

DEVELOPMENT OF ACID-BASE LABORATORY LEARNING MODEL BASED ON SOCIAL
CONSTRUCTIVISM AND CONNECTION BETWEEN THE THREE LEVELS OF CHEMICAL
REPRESENTATION FOR UPPER SECONDARY STUDENTS



A DISSERTATION
BY
NAVARA SEETEE

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Doctor of Education Degree in Science Education
at Srinakharinwirot University

August 2016

DEVELOPMENT OF ACID-BASE LABORATORY LEARNING MODEL BASED ON SOCIAL
CONSTRUCTIVISM AND CONNECTION BETWEEN THE THREE LEVELS OF CHEMICAL
REPRESENTATION FOR UPPER SECONDARY STUDENTS



A DISSERTATION
BY
NAVARA SEETEE

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Doctor of Education Degree in Science Education
at Srinakharinwirot University

August 2016

Copyright 2016 by Srinakharinwirot University

DEVELOPMENT OF ACID-BASE LABORATORY LEARNING MODEL BASED ON SOCIAL
CONSTRUCTIVISM AND CONNECTION BETWEEN THE THREE LEVELS OF CHEMICAL
REPRESENTATION FOR UPPER SECONDARY STUDENTS



Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Doctor of Education Degree in Science Education
at Srinakharinwirot University
August 2016

Navara Seetee. (2016). *Development of Acid-Base Laboratory Learning Model based on Social Constructivism and Connection between the Three Levels of Chemical Representation for Upper Secondary Students*. Dissertation, Ed.D. (Science Education). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Assist. Prof. Dr. Chanyah Dahsah, Acting Sub Lt. Dr. Manat Boonprakob, Prof. Dr. Richard K. Coll.

The purposes of this study were to (1) develop the Acid-Base Laboratory Learning Model based on social constructivism and the connection between the three levels of chemical representation for upper secondary school students; (2) to study the effectiveness of the learning model on the conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning; and (3) to study the key factors of the learning model that affect on students' learning in the three domains. The participants in this study were four Grade 11 science classrooms in the 2013 and 2014 academic years. The two classrooms in 2013 were the control group and the other two classrooms in 2014 were the experimental group. This inquiry was administered in the second semester on the topic of acid-base. The research procedures were composed of four phases which are as follows: (I) collecting the preliminary data of the control group, (II) developing the acid-base laboratory learning model, (III) implementing the learning model with the experimental group and (IV) evaluating the effectiveness of the learning model. The quantitative and qualitative data were analyzed to test the hypotheses and answer the research questions. The results indicated that the learning model was effective for use in the chemistry classroom based on the evaluation of experts. However, the results of the implementation revealed that the students' conceptual understanding on acid-base and integrated science process skills of the experimental group were not statistically significantly higher than the control group at a level of .05. But attitude towards chemistry laboratory learning was statistically significantly higher than the high level at a level of .05. Additionally, the finding suggested that for the use of the learning model to be more effective seven factors should be considered: (1) completing all steps in the class, (2) preparing students background knowledge, (3) requiring teacher's full understanding of concepts and integrated skills, (4) readiness of learning materials, (5) teacher scaffolding in developing concepts and integrated skills, (6) time management, and 7) small collaborative grouping.

การพัฒนาแบบแผนการจัดการเรียนรู้ปฏิบัติการเรื่อง กรด-เบส บนพื้นฐานทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้
โดยกระบวนการทางสังคมและการเชื่อมโยง
ตัวแทนแนวคิดทางเคมี ใน 3 ระดับ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษาดุขฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา
สิงหาคม 2559

ณารา สีที. (2559). การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ปฏิบัติการเรื่อง กรด-เบส บนพื้นฐาน
ทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้โดยกระบวนการทางสังคมและการเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิด
ทางเคมีใน 3 ระดับ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. ปรินญาณพนธ์
กศ.ด. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
คณะกรรมการควบคุม: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรยา ดาสา, ว่าที่ร้อยตรี ดร.มนัส
บุญประกอบ , Prof. Richard K. Coll.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ปฏิบัติการเรื่อง กรด-เบส
บนพื้นฐานทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้โดยกระบวนการทางสังคมและการเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิด
ทางเคมีใน 3 ระดับ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย (2) เพื่อศึกษาประสิทธิผลของ
รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ได้พัฒนาขึ้นในด้านความเข้าใจโน้ตสโน้ตเรื่องกรด-เบส ทักษะ
กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และเจตคติต่อการเรียนปฏิบัติการเคมี และ (3) เพื่อ
ศึกษาปัจจัยของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ส่งผลต่อความเข้าใจโน้ตสโน้ต ทักษะขั้นบูรณาการ และ
เจตคติต่อการเรียนปฏิบัติการเคมีของนักเรียน กลุ่มตัวอย่างคือนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
จำนวน 4 ห้องเรียน โดยในปีการศึกษา 2556 จำนวน 2 ห้องเรียนเป็นกลุ่มควบคุม และในปี
การศึกษา 2557 จำนวน 2 ห้องเรียนเป็นกลุ่มทดลอง ดำเนินการศึกษาในภาคเรียนที่ 2 เนื้อหาเรื่อง
กรด-เบส การวิจัยในครั้งนี้มีขั้นตอนแบ่งได้เป็น 4 ระยะ ระยะที่ 1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจาก
กลุ่มควบคุม ระยะที่ 2 การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ ระยะที่ 3 การนำรูปแบบการจัดการ
เรียนรู้ไปใช้กับกลุ่มทดลอง ระยะที่ 4 การประเมินประสิทธิผลของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ โดย
วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณและคุณภาพเพื่อทดสอบสมมติฐานและตอบคำถามของการวิจัย
ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบการจัดเรียนรู้มีประสิทธิภาพสามารถใช้ในการจัดการเรียนรู้เคมีได้โดย
พิจารณาจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองใช้รูปแบบการจัดการ
เรียนรู้ปฏิบัติการเรื่องกรด-เบส พบว่า ความเข้าใจโน้ตสโน้ตและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
ขั้นบูรณาการของนักเรียนกลุ่มทดลองไม่สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ระดับนัยสำคัญ .05 แต่เจตคติต่อการ
เรียนรู้ปฏิบัติการเคมีหลังเรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้พบว่าสูงกว่าเกณฑ์ (3.51) อย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังค้นพบที่ได้จากการวิจัยเกี่ยวกับการใช้รูปแบบการ
จัดการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นควรคำนึงถึงปัจจัย 7 ประการดังนี้ (1) จัดการเรียนรู้ตาม
ขั้นตอนของรูปแบบให้ครบในชั้นเรียน (2) เตรียมความรู้พื้นฐานของนักเรียนให้พร้อม (3) ครูต้องมี
แนวคิดและทักษะที่ถูกต้อง (4) ความพร้อมของสื่อการเรียนรู้ (5) การให้ความช่วยเหลือของครูใน
การพัฒนาแนวคิดและทักษะขั้นบูรณาการ (6) การบริหารจัดการเวลา และ (7) การจัดกลุ่มการ
เรียนรู้แบบร่วมมือขนาดเล็ก

The dissertation titled
"Development of Acid-Base Laboratory Learning Model based on Social Constructivism
and Connection between the Three Levels of Chemical Representation
for Upper Secondary Students"

by
Navara Seetee

has been approved by the Graduate School as partial fulfillment of the requirements for the
Doctor of Education degree in Science Education of Srinakharinwirot University.

..... Dean of the Graduate School
(Asst. Prof. Chatchai Ekpanyaskul)

August 11, 2016

Dissertation Committee

Oral Defense Committee

..... Chair
(Asst. Prof. Dr. Chanyah Dahsah)

..... Chair
(Asst. Prof. Dr. Pattamaporn Pimthong)

..... Co-advisor
(Acting Sub Lt. Dr. Manat Boonprakob)

..... Committee
(Asst. Prof. Dr. Chanyah Dahsah)

..... Co-advisor
(Prof. Richard K. Coll)

..... Committee
(Acting Sub Lt. Dr. Manat Boonprakob)

..... Committee
(Prof. Richard K. Coll)

..... Committee
(Dr. Chaninan Pruekpramool)



This study was financially supported
by
The Graduate School of Srinakharinwirot University

ACKNOWLEDGEMENTS

This has been an undertaking that I surely could not have completed without help, support, guidance and encouragement from a number of people.

I would like to express my deepest gratitude to Assist. Prof. Dr. Chanyah Dahsah, my supervisor, Acting Sub Lt. Dr. Manat Boonprakob and Prof. Richard K. Coll, my advisors, for their kind guidance, valuable comments and encouragement throughout the study.

I am indebted to Assoc. Prof. Dr. Nason Phonphok, Director of Science Education Center, Srinakharinwirot University, and all the instructors, staff, colleagues, friends for their advice and encouragement during the study. Moreover, it is a pleasure to thank the groups of experts, and all teachers whom I have not named for their advice and helped me to beautifully pass through this study.

I would especially like to thank and express my love to my beloved family, my father, my mother, my brother, my father in law, my mother in law, my brother and sister-in-law, my husband, and my son, who are always with me during the good times and tough times and for being proud of me with all their support.

Lastly, I offer my regards and blessing to all the people who supported me during the completion of my dissertation.

Navara Seetee

TABLE OF CONTENTS

Chapter	Page
1 INTRODUCTION	1
Background.....	1
Research Questions.....	8
Purpose of the Study.....	8
Significance of the Study.....	8
Scope of the Study.....	9
Definition of Terms.....	9
Theoretical Framework.....	12
Conceptual Framework.....	16
Research Hypotheses.....	16
2 REVIEW OF THE LITERATURE.....	18
The Goals of Science Education in Thailand.....	18
Laboratory Learning.....	28
Theory of Learning.....	36
Social Constructivism.....	41
Three Levels of Chemical Representation.....	48
Acid-base.....	56
3. METHODOLOGY.....	64
Research Participants.....	64
Research Instruments for the Study.....	65
Research Procedures.....	72
Related Statistics	86
Ethics Issues in Data Collection	91

TABLE OF CONTENTS (continued)

Chapter	Page
4 RESULTS OF THE STUDY	92
The Results of the Preliminary Data.....	92
The Results of Developing the Acid-base Laboratory Learning Model.....	95
The Results of Implementing and Evaluating the Effectiveness of the Acid-base Laboratory Learning Model.....	111
5 CONCLUSION AND DISCUSSION	127
Summary of Research Inquiry.....	127
Research Findings.....	129
Discussions.....	132
Limitations.....	139
Recommendations	139
BIBLIOGRAPHY	141
APPENDIXES	158
APPENDIX A Lists of Experts and Participating Teachers.....	159
APPENDIX B The Results of Evaluation of the Learning Model, Learning Unit and Research Instruments	161
APPENDIX C Samples of Assessment Forms and Research Instruments (in Thai)	208
APPENDIX D The Learning Model (in Thai)	235
APPENDIX E Samples of the Learning Units (in Thai)	254
APPENDIX F Certificate of Approval.....	341
VITAE	344

LIST OF TABLES

Table	Page
1 Descriptors of the Laboratory Instruction Styles.....	30
2 Summarized Students' Alternative Conception in Acid-Base Chemistry.....	57
3 Nonequivalent (Pretest and Posttest) Control-group Design.....	73
4 The Aims and Sources of the Steps in the Acid-bas Laboratory Learning Model.....	79
5 The Students' Conceptual Understanding and Integrated Science Process Skills of the Control Group.....	93
6 The Results of Evaluation on Item of Consistency (IOC) of the Acid-base Laboratory Learning Model.....	96
7 The Results of Evaluation on Appropriateness of the Acid-base Laboratory Learning Model.....	97
8 The Results of IOC of the Lesson Plans in Acid-base Learning Unit.....	99
9 The Revision of the Time used in the Lesson Plans.....	102
10 The Results of Students' Conceptual Understanding in the Pilot Study.....	103
11 The Results of Students' Integrated Science Process Skills in the Pilot Study.....	103
12 The Results of Students' Attitude towards Chemistry Laboratory Learning in the Pilot Study.....	104
13 Students' Basic Information of the Control and Experimental group.....	112
14 Students' Acid-base Conceptual Understanding of the Experimental group.....	113
15 Descriptive Statistics of Students' Acid-base Conceptual Understanding between Control and Experimental Group	114
16 Comparisons of the Pretest Scores on Students' Acid-base Conceptual Understanding.....	114
17 Comparisons of the Posttest Scores on Students' Acid-base Conceptual Understanding.....	115
18 Students' Integrated Science Process Skills of the Experimental Group....	118
19 Descriptive Statistics of Students' Integrated Science Process Skills between Control and Experimental Group.....	119

LIST OF TABLES (Continued)

Table	Page
20 The Comparison of the Pretest Mean Scores on Students' Integrated Science Process Skills.....	119
21 The ANCOVA of Posttest Score on Students' Integrated Science Process Skills.....	120
22 Students' Attitude towards Chemistry Laboratory Learning after using the Learning Model	122
23 The Results of Evaluation on the Consistency of the Learning Model According to the Experts' Opinion.....	162
24 The Results of Evaluation on Appropriateness of the Acid-base Laboratory Learning Model According to the Experts' Opinion.....	163
25 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit: Lesson Plan 1.....	165
26 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit: Lesson Plan 2.....	168
27 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit: Lesson Plan 3.....	171
28 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit: Lesson Plan 4.....	174
29 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit: Lesson Plan 5.....	177
30 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit: Lesson Plan 6.....	180
31 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit: Lesson Plan 7.....	183
32 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit: Lesson Plan 8.....	186
33 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit: Lesson Plan 9.....	189
34 The Result of Evaluation on IOC of the Acid-Base Conceptual Understanding Test Items.....	192

LIST OF TABLES (Continued)

Table	Page
35 The Results of Evaluation on Item Difficulty (p) and Item Discrimination (r) of the Acid-Base Conceptual Understanding Test Items.....	194
36 Item Difficulty (p) and Item Discrimination (r) after deleted some items of the ABCUT.....	195
37 The Result of Evaluation on IOC of the Integrated Science Process Skills Test.....	196
38 The Results of Evaluation on Item Difficulty (p) and Item Discrimination (r) of the ISPST.....	198
39 Item Difficulty (p) and Item Discrimination (r) after deleted some items of the ISPST.....	198
40 The Result of Evaluation on IOC of the Attitude towards Chemistry Laboratory Learning Questionnaire.....	199
41 The Results of Evaluation on Discrimination (r) and Reliability Analysis-Scale Alpha of the ACLLQ.....	202
42 The Results of Evaluation on IOC of Observation Form.....	204
43 The Results of Evaluation on IOC of Interview Protocol for Teacher.....	206
44 The Results of Evaluation on IOC of Interview Protocol for Student.....	207

LIST OF FIGURES

Figure		Page
1	The Theoretical Framework of the Acid-base Laboratory Learning Model.	15
2	Conceptual Framework of the Study.....	16
3	Zone of Proximal Development (ZPD) and How to Across This Zone.....	42
4	Three Levels of Representation used in Chemistry.....	49
5	The FAR Guide for Teaching and Learning with Analogies.....	54
6	The Research Process.....	74
7	The Acid-base Laboratory Learning Model.....	105
8	Summary of the Developed Acid-base Laboratory Learning Model.....	111
9	Misconception about Nonelectrolyte Solution.....	117
10	Student looked Happy.....	123
11	Students see the Real Thing and use the Science Equipments/Materials..	124

CHAPTER 1

Introduction

Background

Science plays an important role in present and future world communities as it relates to our daily lives and livelihoods. Science involves technologies, instruments, devices, and various products which facilitate our life and work which benefit from our scientific knowledge (The Ministry of Education, Thailand. 2008: 106). Therefore, science is a compulsory strand for all students.

However, many research studies suggest that Thai students face difficulties in learning science and have held misconceptions for many scientific concepts (Dahsah; & Coll. 2008. 592; Juntarung. 2001: 115; Kaewkhong; et al. 2010: 105; Kuhapensang; et al. 2013: 101; Panprueksa; et al. 2012: 275; Rojanapong. 2002: 81; Rompayom. 2010: 5; Tanahoung; Chitaree; & Soankwan. 2010: 85-86). Additionally, the results from the Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS) 2011 at the eighth grade by the International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA)(2012: 44) show that Thai students had an average science achievement (451) below the TIMSS centerpoint of 500 which was classified as being a low level international benchmark (401-475) and showing declines from the years 1999 and 2007 (IEA, 2012: 61). The students performed better in biology (460) and earth science (466), while chemistry (436) and physics (430) were low. The chemistry achievement of Thai students were lower than average since the TIMSS-1999 (IEA, 2000: 100; 2012: 158). This evidence indicated that Thai students had not deeply understood chemistry concepts. Thus, school chemistry teaching needs to be improved and place emphasis more on students' conceptual understanding. If students understand, they can make connections and bind together their knowledge into something that makes sense to them whereas without understanding they might see only unclear, isolated or unhelpful facts (Wiggins; & McTigne. 2005: 7).

The process skills are a central role in learning with understanding. There are inseparable in practice from the conceptual understanding (Harlen. 1999: 130). However, from the literature over the last decade, research on students' science process skills pointed out that the development of science process skills of Thai secondary students is ineffective. Especially, the integrated process skills, for example, Chaiyen; Bunsawansong; & Yutakom (2007: 11) studied Thai upper secondary students' integrated science process

skills about chemical equilibrium. It was reported that most of the students' capabilities of science process skills were categorized to be unsuccessful; especially, operational definition, experimentation, and interpretation of data. Nakthong; Anuntasethakul; & Yutakom (2007: 383) similarly investigated grade 10 students on science process skills related to cells and cell processes which covered six process skills of basic and integrated science process skills including calculating, predicting, formulating hypothesis, identifying variables, experimenting and drawing conclusion. They found that students lacked the science process skills on basic skills, which are calculating and drawing conclusions, and integrated skills of formulating hypothesis and identifying variables. The evidence indicated that upper secondary school students did not perform well on integrated skills.

Regarding attitude towards science, developing a positive attitude towards science is important, since it is related to students' achievement in science knowledge (Cheung. 2009: 76; Freedman. 1997: 343; Kahveci. 2015 :283). The research indicated that Thai student's attitude towards science seemed to be at the moderate to negative level of feeling. Pruekpramool; et. al. (2011: 289) investigated the attitude towards science of 250 upper secondary school non-science students. The results found that only nine students liked science subjects the most from the eight different learning areas. On the other hand, over 150 students arranged science subjects in the five of eight areas. Many research studies also pointed out that the students' attitude toward science generally declined over the middle and high school years (George. 2000: abstract; Barmby; Kind; & Jones. 2008: 1075).

This evidence suggested that teaching chemistry at secondary school level still had problems not only in terms of the understanding of concepts, but also integrated science process skills and attitude towards subject. These were the vital outcomes of science education (IPST. 2006: 2), and numerous researches had pointed out that these outcomes were interconnected to each other. Hence, the goal of this study was to seek an approach for teaching and learning chemistry that may enhance students' understanding of chemistry concepts, acquire integrated science process skills, and bring about a positive attitude towards chemistry.

Laboratory activity or laboratory learning has been an integral component of learning chemistry or any science since late in the nineteenth century (Gilbert. 2003: 69). Science educators have suggested that many benefits accrue from using laboratory activity (Hofstein; & Lunetta. 1982: 201; 2004: 28), including in the following; i) cognitive domain—enhancement of students' understanding of scientific concepts and understanding of the

nature of science, ii) affective domain—interest and motivation, and iii) the psychomotor domain—the enhancement of scientific practical skills. Many research studies suggested that learning in the laboratory could bring about the three main goals of chemistry learning (Hofstein; & Mamlok-Naaman. 2007: 105; Özmen; Demircioğlu; & Coll. 2009: 1). For example, Freedman (1997: abstract) investigated the use of a hands-on laboratory program. The findings showed that the score on the objective examination of achievement in science knowledge of students who had regular laboratory instruction was higher than those who had no laboratory experience, and she concluded that laboratory instruction influenced, in a positive direction, the students' attitude towards science, and influenced their achievement in science knowledge. In addition, in the laboratory environment, there were interactions between the students and the activity, students and the equipment, students and laboratory instructions, and students with others (Gilbert. 2003: 79). Additionally, the results from a study of the Thai high school students' perspective on chemistry and laboratory learning by the researcher, which involved 30 high school students in a 2011 academic year from a school in Chonburi province, suggested that the teaching approach that the students preferred and enjoyed the most was laboratory learning which they said it was fun, had helped them to understand the chemistry concepts and enhance their science process skills. However, in that work only a few experiments were conducted in the chemistry classroom (Seetee. 2012: 29). Therefore, in this present study laboratory learning is the focus.

Although the potential of laboratory activity is greatly valued there have been arguments about the effectiveness of science learning in the laboratory. Some researchers reported that the teaching laboratory has had little or no effect on student learning of science (Berry; et al. 1999: abstract; Hodson. 2001: 17-18; Kirschner; & Huisman, 1998: 665; Kirschner; & Meester. 1988: 91-92). The causes of ineffectiveness of laboratory teaching reported were: (1) scientific knowledge was influenced by socioeconomic, cultural, and ethical considerations and that the laboratory work was not sufficient in itself to bring about all the conceptual understanding (Hodson. 2001: 17); (2) in the laboratory work the students have a limited application of the science processes and teachers do not develop many opportunities for mental engagement or observation (Berry; et al. 1999: 28); (3) a lack of linking to what the students already knew (Berry; et al. 1999: 28); (4) the laboratory work was typically separated from the lecture or theory (Kirschner; & Meester. 1988: 85); (5) students did not understand the aim and purpose of the experiment; (6) the students followed the experimental steps without understanding what they were doing and why they

were doing it. (Berry; et al. 1999: 30; Shah; Riffat; & Reid. 2007: 78); (7) using laboratory work for simple verification of scientific principles already known to the students (Kirschner; & Meester. 1988: 84) and the verification exercises tended to reduce motivation and the curiosity of students, and also tended to make students think learning science was just about learning facts.

However, some research found that the laboratory work was effective in science learning or had value in the curriculum (Berionni; & Baldón. 2006; Ding; & Harskamp. 2011; Özmen; Demircioğlu; & Coll. 2009; Van den Berg; Katu; & Lunetta. 1994; Yeşilyurt; Bayraktar; & Erdemir. 2004). Mostly, the effective laboratory learning occurred when activities were based on or integrated with; i) a theory of learning—such as constructivism (Yeşilyurt; Bayraktar; & Erdemir. 2004: 31; Berionni; & Baldón. 2006: abstract), ii) a learning model—like the conceptual change model (Van den Berg; Katu; & Lunetta. 1994: 16), and iii) techniques—such as predict-observe-explain (Van den Berg; Katu; & Lunetta. 1994: 16), jigsaw technique (Jansoon. 2009), and concept mapping (Berionni; & Baldon. 2006: abstract; Özmen; Demircioğlu; & Coll. 2009: abstract). For example, Van den Berg; Katu; & Lunetta (1994: 15-16) used POE activities that intended to generate cognitive conflict with individual students and reported that the activities were effective in facilitating the learning of correct relationships in circuits. Özmen; Demircioğlu; & Coll (2009: 1) combined the pedagogies of laboratory-based activities and concept mapping for teaching acid-base chemistry concepts. The research findings suggested that the laboratory-based applications can enhance student understanding for acid-base chemistry and it seemed that the visually dramatic and hands-on nature of the practical work was particularly helpful.

As mentioned above, even enjoyable laboratory activities are not necessarily always effective in enhancing student learning. However, laboratory activity is generally useful to bring about the three main goals and most Thai students like such work. The research studies reviewed indicated that laboratory learning can be more effective, when combined with pedagogy of instruction. Thus in this study, the researcher was interested in the model development for laboratory learning in the teaching and learning acid-base topic to enhance students' learning in three domains; the cognitive domain—conceptual understanding, the affective domain—attitude towards chemistry, and the psychomotor domain—integrated science process skills, in an attempt to solve perceived deficiencies in laboratory teaching and to integrate with learning theory and strategies.

A learning theory that has potential for guiding teaching in the laboratory is a social constructivism (Hofstein; & Lunetta. 2004: 32). Constructivism is a view of knowledge acquisition emphasizing knowledge construction rather than knowledge transmission (Applefield; Huber; & Moallem. 2001: 37). In social constructivism, learners construct their own knowledge from the new learning, prior knowledge, and social interaction. The meaningful learning occurs when students are provided with authentic learning tasks (Applefield; Huber; & Moallem. 2001: 38). Constructivism views learning as an active process and stresses the importance of considering what is already in the learner's mind as a place to initiate instruction. Students try to make connections between the new concepts and the existing knowledge. Social interaction is a vital part of social constructivism and the notion is that learners actively build their understanding from the help or scaffolding from other more knowledgeable persons such as teachers, in their Zone of Proximal Development (ZPD) (Watson. 2001: 140), and these interactions help them to acquire new concepts. In learning, students are more active in the learning process and have more fun, and those lead to greater understanding of concepts (Hand; Treagust; & Vance. 1997: 567). Students have the opportunity to see and use their skills as they construct their knowledge actively (Kilavuz, 2005: 9). Consistent with several research studies, it is reported that instruction of chemistry based on constructivism is useful not only to enhance conceptual understanding, but also to develop science process skills, and positive attitude towards chemistry (Akkus; et al. 2003: abstract; Kilavuz. 2005: 52; Seyhan; & Morgil. 2007: abstract). Furthermore, learning with a social constructivist framework places importance on the relationship of school learning and everyday life experiences (Pritchard; & Woollard. 2010: 37). For instance, the use of familiar materials in chemistry instruction appears to enhance conceptual understanding (Gabel. 1999: 550). According to Phelps (1996: 302), who used materials related to college students' life, the research found that using familiar chemicals had a useful effect in that the students appeared to be more motivated to learn about things related to their everyday life. Similarly, in Thailand, using everyday materials in the science experiments is said to be beneficial in motivating and maintaining students' interest in chemistry learning (Colangelo; et al. 2009: abstract; Jansoon. 2009: abstract).

Chemistry is often regarded as a difficult subject (Johnstone. 2000: 9; Sirhan. 2007: 2). As many research studies indicated that students' often lack understanding or hold misconceptions in chemistry (Nakhleh. 1992; Krajcik. 1991; Vidyapati; & Seetharamappa. 1995; Schmidt. 1997; Pinarbaşı; & Canpolat. 2003; Levy Nahum; et

al. 2004; Kousathana; Demerouti; & Tsaparlis. 2005; Drechsler; & Schmidt. 2005; Chiu. 2005; Sheppard. 2006; Beskeni; et al. 2011). One reason posed as to why chemistry is difficult is the complexity of the nature of chemistry knowledge (Gabel. 1999: 549; Johnstone. 2000: abstract). Gabel (1999: 549) stated that chemical knowledge exists at three levels of representation: macroscopic, symbolic, and sub-microscopic, where no one level is superior to another, but each complements the other (Johnstone. 2000: 11). The macroscopic level is the observable chemical phenomena that can include experiences from students' everyday lives (such as color change, and observing a new product being formed and others disappearing). The symbolic level is the way that the chemists communicate what happens at the molecular level (such as chemical equations, graphs, reaction mechanisms analogies and model kits). The sub-microscopic level is used to explain the macroscopic phenomena in terms of the particulate level (such as electrons, atoms, molecules, and ions) (Treagust; Chittleborough; & Mamiala. 2003: 1354).

In order to understand several chemistry concepts and phenomena, students must understand chemistry knowledge at the three levels of representations, and see the connections between the three representational systems (Chandrasegaran; Treagust; & Mocerino. 2008: 237; Gabel, 1999: 549). Various approaches have been used to help students understand chemistry at the three levels of representation: technological tool—multi-media software and computer animations (Chandrasegaran; Treagust; & Mocerino. 2007: 305; 2008. 247; Tasker; & Dalton. 2006; Wu; Krajcik; & Soloway. 2001), laboratory activities (Chandrasegaran; Treagust; & Mocerino. 2008. 246; Gabel. 1999: 549), and analogies (Gabel, 1999: 549; Jansoon; Coll; & Somsook. 2009 :151). In the laboratory, students have an opportunity to perform and observe the changes that occur only at the macroscopic level (Gabel. 1999: 549). Multi-media software and computer animations illustrate the changes that the atoms, ions or molecules undergo during chemical reactions. The use of animations could help the students see the relationship between the observed changes and the changes at the particulate level (Chandrasegaran; Treagust; & Mocerino. 2007: 247). Similar to the use of multi-media tools, analogies allow abstract concept to more easily assimilate with students' prior knowledge thus enabling them to develop a more scientific understanding of the concept (Treagust; Harrison; & Venville. 1998: 85), and enhance an understanding at the submicroscopic level (Coll; & Tresgust. 2001: 25; Gabel. 1999: 549; Jansoon; Coll; & Somsook. 2009: 151). An analogy involves the comparison between an unfamiliar phenomenon or abstract ideas and something familiar in order to explain an unfamiliar phenomenon or abstract ideas (Coll; France; & Taylor. 2005: 185).

Additional teaching with analogies enhances student learning of scientific concepts, and also motivates students to learn science (Harrison; & Coll. 2008: 3).

One of chemistry topics considered as abstract and difficult to understand for upper secondary students is acids and bases (Chaiyapha; Chayajarus; & Chairam. 2011: 139; Demircioğlu; Ayas; & Demircioğlu. 2005: 37). Research studies reported that students who had considerable difficulty with acid-base chemistry were unable to describe accurately acid-base concepts such as pH, neutralization, strength, and the theoretical descriptions of acids and bases. Further, most students could not relate the concepts to actual solutions (Sheppard. 2006: 32-45) including Thai students. Artdej; et al (2010) developed a multiple choice diagnostic instrument to assess Thai Grade 11 students' understanding on the concept of acid-base chemistry. The results indicated that students did not generally acquire a satisfactory understanding of several acid-base chemistry concepts, including acid-base theories, dissociation of strong acids or bases, and dissociation of weak acids or bases. Additionally, Nakasene; Pimthong; & Pornsilapatip (2015: 81) studied Grade 11 students' conception about acid-base and they found that students still held many alternative conceptions.

As mentioned earlier, this study seeks to find an approach for chemistry teaching and learning in order to develop conceptual understanding, integrated science process skills and improve attitude towards chemistry. The learning approach that it is proposed can develop the students' learning in three domains simultaneously is laboratory learning, and literature suggests that the laboratory learning will be more effective if it is integrated with theory of learning like a social constructivism. Additionally, comprehension of the complex nature of chemistry knowledge at the three levels of representation is important for understanding the chemical concepts. Therefore, in this study, the learning model was developed based on laboratory learning, social constructivist view of learning and connection between the three levels of chemical representation. The content of this study focused on acid-base chemistry, a topic for upper secondary students. Thus, this model was called the Acid-base Laboratory Learning Model. The model was designed to enhance acid-base conceptual understanding, develop integrated science process skills, and raise attitude towards chemistry, which was in this study focused on attitude towards chemistry laboratory learning.

Research Questions

1. Is the Acid-base Laboratory Learning Model based on social constructivism and connection between the three levels of chemical representations effective in improving students' conceptual understanding of acid-base, students' integrated science process skills, and students' attitude towards chemistry laboratory learning?
2. How does the Acid-base Laboratory Learning Model affect students' conceptual understanding of acid-base, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning?

Purpose of the Study

The purposes of the study are summarized as follows:

1. To develop the Acid-base Laboratory Learning Model based on the social constructivist theory and connection between the three levels of chemical representation for upper secondary students.
2. To study the effectiveness of the implementation of the Acid-base Laboratory Learning Model on students' conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning.
3. To study the key factors of the Acid-base Laboratory Learning Model that have an affect on students' conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning.

Significance of the Study

This research constructed a laboratory learning model based on social constructivism and connection between the three levels of chemical representation that place emphasis on using the laboratory learning as an important part of learning. The key features of social constructivism were used to improve the effectiveness of laboratory learning, and connection between the three levels of representation was used to enhance students to gain a deeper understanding chemistry concepts.

This model was not only suitable for the use in acid-base topic but also could be used or adapted for teaching and learning other chemistry topics that are abstract and difficult for students in order to enhance students' understanding of chemistry concepts, develop integrated science process skills, and improve attitude toward chemistry laboratory learning.

Moreover, the Acid-base Laboratory Learning Model and lesson plans derived from this research rigorously concentrated on science learning goals as represented by national standards (IPST curriculum) so it could be used directly or adapted for teaching and learning the acid-base topic.

Scope of the Study

Population

The population of this study was upper secondary students who learn the acid-base topic using IPST textbooks in public schools of Thailand of whom there were about 38,000 students. (The Ministry of Education, Thailand. 2014: online)

Samples

The participants of this study were 11th Grade science students from a school in Thailand. The school was selected by convenience sampling from the public secondary schools in Thailand that learned acid-base topic using IPST textbooks. There were four science classrooms in 2013 and 2014 academic years. The two science classrooms in 2013 were the control group (98 students) and the other two science classrooms in 2014 were the experimental group (86 students).

Variables

1. Independent variables.
 - 1.1 Teaching with the Acid-base Laboratory Learning Model.
 - 1.2 Teaching with the traditional instruction.
2. Dependent variables.
 - 2.1 Students' conceptual understanding.
 - 2.2 Students' integrated science process skills.
 - 2.3 Students' attitude towards chemistry laboratory learning.

Definition of Terms

1. Acid-base means a topic in the chemistry subject that upper secondary science students must learn. It encompasses contents which include; electrolyte and non-electrolyte solutions, acids and bases solutions, acid-base theories, conjugate acid-base pairs, the dissociation of water, the dissociation of strong acids and bases, the dissociation of weak acids and bases, pH of solutions, indicators for acids and bases, acid-base reactions, titrations, and buffers.

2. Social constructivism means the learning theories that suggest that students construct their own knowledge by being actively involved in the creation of knowledge via active interactions with the phenomenon. It stresses students' prior knowledge as a place to initiate instruction. Knowledge is co-constructed from new learning, prior knowledge and through social interaction. Learning requires social interaction and collaboration. Teachers act as a facilitator or scaffolder to provide opportunities for students to make their own ideas explicit and encourage the generation of conception, to enable the individual to participate in his or her group or society, and to provide an opportunity to apply the concepts they have learned. Besides, in-school learning should be related to everyday life.

3. The three levels of chemical representation mean levels of representation in chemistry which include the macroscopic level, submicroscopic level, and symbolic levels. The macroscopic level involves the observation of phenomena in the laboratory or through events in everyday life. The submicroscopic level involves the explanation of the phenomena at particular levels: atoms, molecules, and ions. The symbolic level involves explanations by using symbols, equations, graphs, and pictures.

4. Acid-base laboratory learning model means the new chemistry learning model for the topic of acid-base, which places emphasis on using laboratory learning as an important part of learning developed by the researcher. This laboratory learning model was developed and based on the social constructivism and connection between the three levels of chemical representation to enhance students' understanding of acid-base concepts, integrated science process skills, and attitude toward chemistry laboratory learning.

The model consisted of six steps as follows:

Step 1 Introduction: Recap the concept and skills from the last lesson, and review basic concepts or knowledge needed for learning. Then, students are engaged into the topic using various techniques and are encouraged to ask questions related to the topic. Finally, the teacher introduces objectives of teaching and learning.

Step 2 Elicitation: Individual students answer their own question in step 1 and other questions related to the topic based on students' prior knowledge and experiences.

Step 3 Experimentation: Students doing an experiment (guided and open inquiry) in a collaborative group to promote social interactions. The students learn the chemistry phenomena at a macroscopic level. Students are motivated to use the integrated science process skills. The teacher acts as a scaffolder to support students while doing experiments. The experiments use chemicals or materials in daily life.

Step 4 Connection: Students link the macroscopic level that they have seen in step 3 with the sub-microscopic and symbolic levels. The teacher acts as a scaffolder to encourage students to see the relationship between representations. Model, analogies, animations, and video clips could be used to help students for connection between the three levels. Then, the teacher provides an explanation to fulfill the knowledge of the topic.

Step 5 Conceptualization: Individual students constructs his/her own concepts by connecting the concepts of new knowledge, prior knowledge, and knowledge derived from social interaction. The teacher acts as a scaffolder to help students conduct complete concepts.

Step 6 Application: Students apply the concepts they have learned to explain the phenomena in the real world or everyday life. The phenomena include problems in different situations both conceptual and numerical. The application aims to make learning to be more meaningful and link chemistry in the classroom with students' everyday life.

5. Teaching with the Acid-base Laboratory Learning Model means acid-base instruction according to the six steps of the Acid-base Laboratory Learning Model.

6. Teaching with traditional instruction means acid-base instruction that the teacher usually used in normal classrooms such as teacher centered teaching, passive learning, with or without doing experiments, and emphasis on solving numerical chemical problems.

7. Students' conceptual understanding means the students' ability to explain, give an example, interpret, and apply the acid-base concepts to solve various chemical problems and phenomena. Students' conceptual understanding in this study was determined by the Acid-base Conceptual Understanding Test (ABCUT). ABCUT was developed by the researcher to include the 12 concepts of the acid-base unit: 1) electrolyte and non-electrolyte solutions, 2) acid-base theories, 3) conjugate acid-base pairs, 4) dissociation of water, 5) dissociation of strong acids and bases, 6) dissociation of weak acids and bases, 7) pH of solution 8) acid-base indicator, 9) reaction of acids and bases, 10) hydrolysis, 11) titration, and 12) buffer solution. The test was a multiple choice format which consisted of 25 items.

8. Students' integrated science process skills mean abilities that students use in their investigation to gain knowledge of some phenomena. The integrated science process skills composed of identifying and controlling variables, formulating hypotheses, defining variables operationally, experimenting, and interpreting data and making conclusion.

Students' integrated science process skills were assessed using the Integrated Science Process Skills Test (ISPST) which was developed by the researcher. The questions were related to chemistry content for students at the high school level. The test was a paper-and-pencil test and comprised of 20 items of multiple choice with 4 options, and 4 items for each skills.

9. Students' attitudes toward chemistry laboratory learning means student's positive or negative response to the learning in chemistry laboratory. It also refers to whether students like or dislike chemistry laboratory learning. The Attitude towards Chemistry Laboratory Learning Questionnaire (ACLLQ) was used to measure students' attitudes toward chemistry laboratory learning. ACLLQ was developed by the researcher. It was developed as opinion statements using five-point Likert scales starting from strongly agree to strongly disagree. Each statement reflected the feeling of students as to whether the students like or dislike, or value or not-value when engaging in chemistry laboratory learning. It consisted of four aspects which were the importance of laboratory in chemistry learning, the difficulty of laboratory chemistry, the interest of laboratory chemistry, and the usefulness of laboratory chemistry.

Theoretical Framework

In this study, the Acid-base Laboratory Learning Model was developed using laboratory learning approach, social constructivist learning theory and three levels of chemical representation. The laboratory learning model aims to enhance acid-base conceptual understanding, integrated science process skill, and attitude towards chemistry laboratory learning. The details are described below.

Laboratory learning has been proved by many researches to provide many benefits. It enhance conceptual understanding, science process skills and attitude toward science, which are the vital outcomes of science education. However, the use of only laboratory learning in teaching and learning science might not result in the successful learning outcome which is caused from several factors as follows:

- 1) Learning without regard of social-cultural influence (Hodson. 2001: 17)
- 2) Lack of connection between the new knowledge from laboratory learning and students' prior knowledge (Berry; et al. 1999: 28)

3) Doing laboratory work is for confirming the theory or concepts that a student already knew, not for the construction of their own concept nor for connection of the concept with theory (Kirschner; & Meester. 1988: 85).

4) Lack of prompting students to apply the science processes skills in laboratory work (Berry; et al. 1999: 28)

5) Students do not know aims and purposes when doing the experiment (Berry; et al. 1999: 30; Shah; Riffat; & Reid. 2007: 78).

Many research studies on laboratory learning stated that the laboratory activity could be effective if it integrated with the learning theory like social constructivism. So in this study social constructivism was integrated in order to fulfill the deficiency of laboratory learning.

Social constructivism views learning as an active process from which learners actively construct their own knowledge. Knowledge building is not lonely, it is a process created by sharing experiences and discovering meanings together with peers and teachers through dialogue and interpersonal-social communication. The key features of social constructivist based teaching and learning are summarized as follows:

- 1) Students are active learners, teachers act as facilitators or scaffolders.
- 2) Awareness of students' prior knowledge and alternative conceptions.
- 3) Learning requires social interaction and collaboration.
- 4) Students construct his/her own knowledge from new learning, prior knowledge and social interaction.
- 5) Providing an opportunity for students to apply the concepts learned.
- 6) In-school learning experience should be related to daily life experience

Additionally, the complexity of the nature of chemistry knowledge, which is one of the reasons of why chemistry is difficult for students, is important. The chemistry knowledge exists as the three levels of representation which are macroscopic, symbolic, and submicroscopic levels. The students must understand the knowledge at the three levels of representation and see the connections between the three representational systems in order to understand several chemistry concepts and phenomena.

Hence, the laboratory learning model was developed based on laboratory learning, social constructivism, and the three levels of representation which is comprised of six steps as follows:

Step 1 Introduction: Giving basic information that is necessary to use or to know before learning a particular topic such as objectives/purposes of learning and basic knowledge.

Step 2 Elicitation: Probing students' prior knowledge and experiences.

Step 3 Experimentation: Doing experiments in a collaborative group to learn the chemistry phenomena at a macroscopic level and motivating students to use the integrated science process skills.

Step 4 Connection: Linking the macroscopic level that students have seen in the experimental step with the submicroscopic and symbolic levels.

Step 5 Conceptualization: Constructing his/her own concepts.

Step 6 Application: Applying the concepts they have learned in different situations or problems.

The theoretical framework of the Acid-base Laboratory Learning Model is shown in Figure 1.

Step 1 introduction was provided to solve deficiencies of laboratory learning in item 5) that was students do not know aims and purposes when doing the experiment.

Steps 2, 3, 5, and 6 are derived from the features of social constructivism that could be used to solve the deficiency of laboratory learning particular in the items 1) to 4).

Step 4 aimed to help students understand and see connections between the three levels of chemical representation.

Furthermore, in Step 3, experiments were designed by using everyday materials beneficial to motivate and maintain students' interest in chemistry learning. It also affects to promote conceptual understanding and a positive attitude toward chemistry learning.

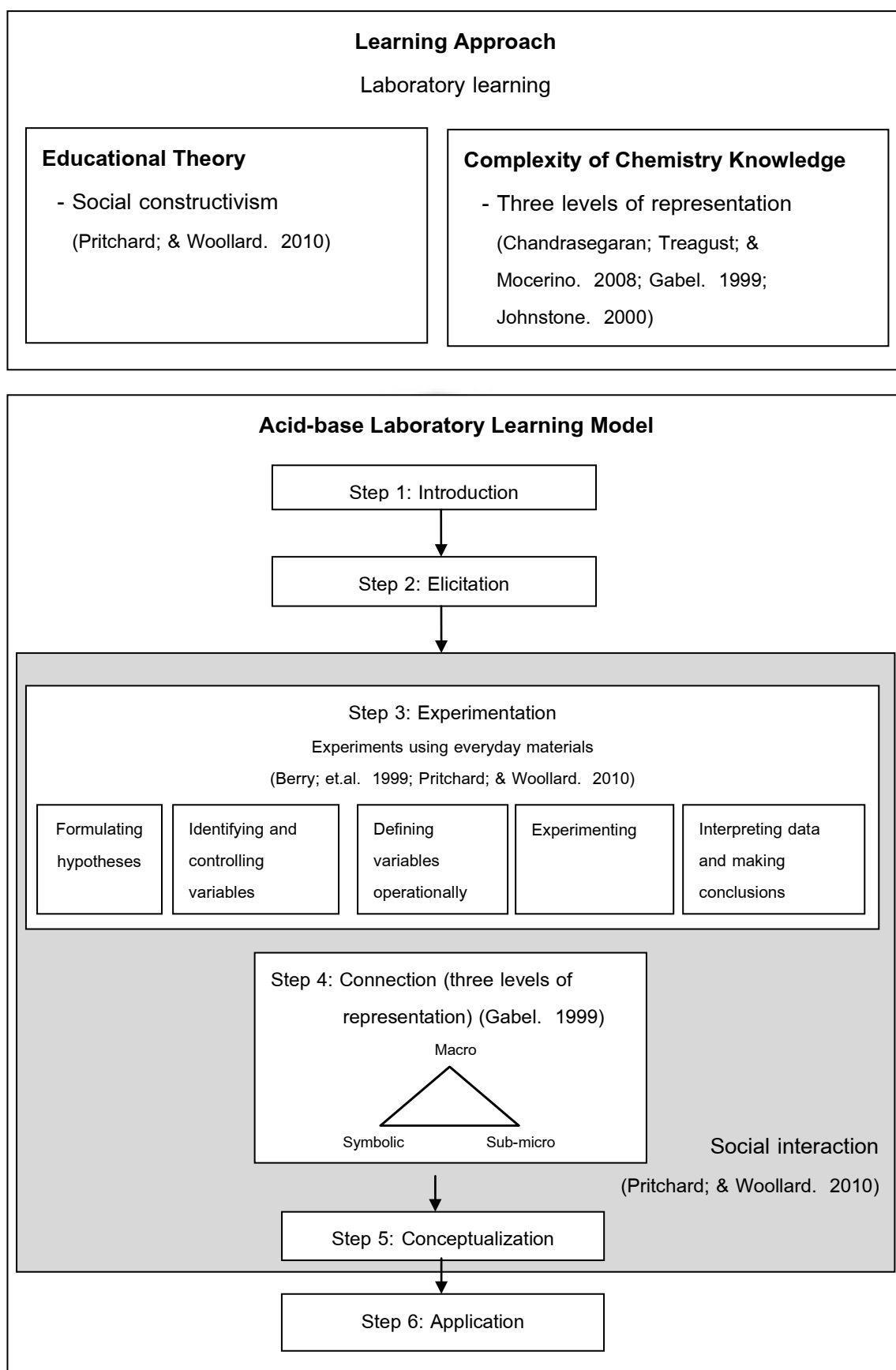


Figure 1 The Theoretical Framework of the Acid-base Laboratory Learning Model

Conceptual Framework

The conceptual framework of this study was an attempt to identify the relationship between the independent variables, which were teaching with an acid-base laboratory learning model and the traditional instruction, and the dependent variables which were the students' conceptual understanding, students' integrated science process skills, and students' attitude towards chemistry laboratory learning as shown in Figure 2.

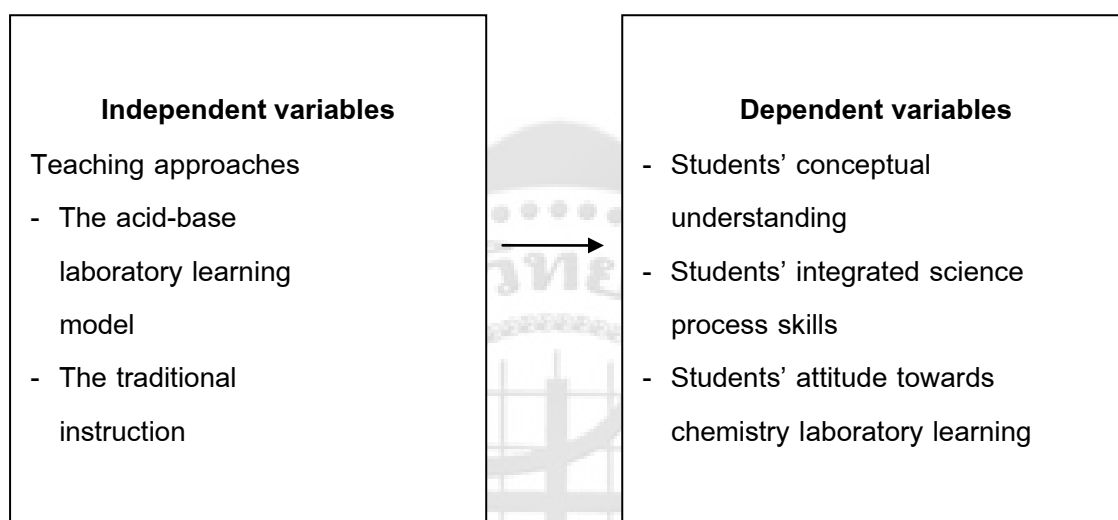


Figure 2 Conceptual Framework of the Study

Research Hypotheses

The related literature review has shown that using laboratory learning (Hofstein; & Lunetta. 1982: 201; 2004: 28; Freedman. 1997: 343), social constructivism (Akkus; et al. 2003: 209; Kilavuz. 2005: 52), and connecting the three levels of chemical representation (Gabel. 1999: 550; Treagust; Harrison; & Venville. 1998: 85) could help students improve their achievements and skills compared with the control group. Regarding attitude towards chemistry laboratory learning, the students' attitude towards chemistry was mostly at a medium level either before or after the intervention (Rompayom. 2010: 157; Lomarak. 2012: 116) which might be due to the resistance to change of the attitude. In this study, for the traditional teaching of acid-base topic in the control group, the students did not experience change in any acid-base experiment. Thus, the attitude toward chemistry laboratory learning could not be compared with the control group, but it was compared with the criterion at a high level (3.51).

Therefore, the hypotheses of this study were:

1. Students' conceptual understanding of acid-base for the experimental group would be statistically significantly higher than the control group at a .05 level.
2. Students' science process skills for the experimental group would be statistically significantly higher than the control group at a .05 level.
3. Students' attitude toward chemistry laboratory learning after using the learning model would be statistically significantly higher than the high level at a .05 level.



CHAPTER 2

Review of the Literature

This chapter reviews the available literature dealing with the development of the Acid-base Laboratory Learning Model for upper secondary students. The review is organized under the following headings; the goal of science education in Thailand, laboratory learning, theory of learning, social constructivism, three levels of chemical representation, and acid-base.

1. The Goals of Science Education in Thailand

The National Science Curriculum Standards in Thailand was developed by The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST) under the Ministry of Education, which is an organization responsible for developing teaching and learning of the subject matters of science, mathematics, and technology. IPST determined the goals of science teaching and learning in basic education as follows (IPST. 2006: 2).

- To understand the basic principles and theories of science.
- To understand the scope, limitation and nature of science.
- To have the useful skills to discover and create the knowledge in science and technology
- To develop and master thinking process skills, creativity, problem solving and managing data, communication skills and ability of decision making.
- To be aware of the interrelations among science, technology, humans and the environment that can have an impact on one another.
- To apply knowledge and understanding of science and technology to daily life and society.
- To realize the importance of using science and technology properly with the scientific mind, morality, and ethics.

According to the Office of Basic Education Commission (OBEC) of the The Ministry of Education of Thailand the aims of science learning in the Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008) are as follows:

The learning area of science aims at enabling learners to learn the subject with emphasis on connecting scientific knowledge with scientific processes, acquiring essential skills to search and construct knowledge through investigative processes and diverse problem solving experience, creating opportunity for student participation in all stages of learning, and organizing various hands-on activities suitable for learners in each level. (The Ministry of Education, Thailand. 2008: 106)

Therefore, the expectation of science education in Thailand can be categorized into three domains, which are i) cognitive domain—understanding basic concepts and nature of science, and applying the knowledge to use in daily life, ii) psychomotor domain—acquiring essential skills including science process skills, thinking skills, communication skills, and iii) affective domain—developing attitudes such as realizing the important of science and technology. Hence this inquiry focused on enhancing conceptual understanding, science process skills, and attitude towards science that are covered in the three domains. These outcomes are described as follows.

1.1 Conceptual Understanding

1.1.1 Meaning

“Understanding” is multidimensional and complicated. Wiggins; & McTighe (2005: 84) have identified the aspects of understanding that are composed of six facets which are the ability to explain, to interpret, to apply, to have perspective, to empathize, and to have self-knowledge. Therefore when students truly understand, students

- Can explain—via generalizations or principles, providing justified and systematic accounts of phenomena, facts, and data; make insightful connections and provide illuminating examples or illustrations.
- Can interpret—tell meaningful stories; offer apt translations; provide a revealing historical or personal dimension to ideas and events; make the object of understanding personal or accessible through images, anecdotes, analogies, and models.
- Can apply—effectively use and adapt what we know in diverse and real contexts- we can “do” the subject.
- Have perspective—see and hear points of view through critical eyes and ears; see the big picture.
- Can empathize—find value in what others might find odd, alien, or implausible; perceive sensitively on the basis of prior direct experience.

- Have self-knowledge—show metacognitive awareness; perceive the personal style, prejudices, projections, and habits of mind that both shape and impede our own understanding; are aware of what we do not understand; reflect on the meaning of learning and experience.

Many research literatures have variously defined the word “conceptual understanding”. For example, it is referred to students’ knowledge of basic concepts in a particular topic (Alao; & Guthrie. 1999: 244; Panprueksa. 2012: 10), and students’ ability to apply the principles or scientific concepts to explain phenomena in everyday life (Alao; & Guthrie. 1999: 244; Harlen. 1999: 130; Kang; & Howren. 2004: 29; Nieswandt. 2007: 909). Harlen (1999: 130) defined that students’ can link new experiences to previous ones. However, Suaalii; & Bhattacharya (2007: 108) pointed out that conceptual understanding involves being able to represent and translate chemical problems using the three forms of representation-macroscopic, sub-microscopic, and symbolic.

Based on the perspective aforementioned, it could be concluded that when students have conceptual understanding, they can explain and interpret the concepts they learn, and be able to apply for the use in other contexts, problems, or phenomena. In this study, the conceptual understanding was defined as the ability to explain, give an example (which is separated from explain), interpret, and apply the concepts to solve various chemical problems and phenomena.

1.1.2 Research on Enhancing Conceptual Understanding

Conceptual understanding is a crucial and a basic goal of science education (Enger; & Yager. 2001: 2). Research studies indicated that in order to promote conceptual understanding, students' prior knowledge must be considered in any classroom and this should be done at the beginning of instruction (Beskeni, et.al. 2011: 610; Enger; & Yager. 2001: 2). Students should also have concrete experiences with concepts before moving to the abstract, and use the concept in a real-life or real-world situations (Enger; & Yager. 2001: 3). So, the teacher should try to make any science topic relevant to the children's lives. Enger and Yager (2001: 3) claimed that students should have an opportunity to try and to do about science, not just read about science. These are key facets to bring about the conceptual understanding.

Science teaching and learning involves the macroscopic properties of phenomena, explaining the macroscopic phenomena and processes using symbols/models, and understanding the processes that scientists use in inquiry. Therefore, the particulate

nature of matter should also be emphasized (Gabel. 1993: 193). When the particle level is emphasized in instruction, this cannot be done in isolation from the sensory level or its symbolic representation. At least one of the other two levels must simultaneously be included in the instruction. For example, a teacher may provide worksheets that require students to link the particulate nature of matter to either physical phenomenon and/or to chemical symbols (Gabel. 1993: 194).

Additionally, Gabel (2003: 71) suggested some effective strategies for promoting the conceptual understanding of science including: Learning Cycle Approach; Science/Technology/Society (STS); Real-life Situations; Discrepant Events; Analogies; Collaborative Learning; Wait-Time; Concept Mapping; Inquiry; and Mathematical Problem Solving. The details of each strategy are described below.

- The Learning Cycle Approach: This involves three phases: exploration, invention, and application. The exploration phase involves providing students with items that they use to explore a given concept with few directives. An interactive teacher-centered phase describing relevant concepts follows. After students understand the concept, they apply it to a new situation in the application phase. The addition of a prediction phase before the exploration, and an evaluation phase after the application, makes the Learning Cycle Approach even more effective.

- Science/Technology/Society (STS): STS is an approach to teaching science that includes developing an appreciation of the interactive natures of science, technology, and society. STS integrates science concepts with knowledge of technology and fosters an awareness of societal implications. Through STS, students learn about the nature of science, scientific inquiry, and good citizenship.

- Real-life situation: One way of representing real-world situations is computer simulations. A computer not only can simulate what is happening on the macroscopic level; its models also can show what occurs on the particle level. One possible danger in using simulations in chemistry is that they can lead to misconceptions. A major focus of using real-life situations is to improve students' problem-solving skills.

- Discrepant event: In this approach anomalous data are presented to students, usually by a demonstration. First, students are asked to predict what they expect to happen before a demonstration and explain why they think it should happen that way. Then they observe what happens and are asked to modify their previous explanation. In the Learning Cycle Approach, the exploration phase can be set up so that students encounter discrepant events.

- Analogies: Using analogies in science teaching is reported to promote conceptual understanding. By comparing the scientific principle under scrutiny with one that is familiar, a student can gain a better understanding of the principle. In using an analogy, care must be taken to make certain that students know the limitations of the analogy.

- Collaborative learning: Students work in groups to solve problems, perform laboratory exercises, or participate in projects, and has positive effects on achievement. The use of collaborative learning frequently results in increased achievement scores, long term retention, higher self-esteem, increased conceptual understanding, and more adept problem solving ability.

- Wait-time: This refers to the time that an instructor waits to call on a student for a response after posing a question.

- Concept maps: These are schematic diagrams that use words to show the relation of one concept to another. During instruction, the use of concept maps requires students to focus on the relationships among concepts. After instruction, teachers can ask students to make concept maps of the topic studied to determine if they have grasped the relationship or if additional instruction is needed.

- Inquiry: Students can use inquiry not only to deepen their conceptual understanding of a given topic, but also to learn the same processes that scientists use in discovering new knowledge. The essential features of classroom inquiry, include engaging students through scientifically oriented questions; obtaining evidence related to the questions; formulating explanations from the evidence; evaluating the explanations in light of other possible explanations; and communicating and justifying their explanations to others.

- Mathematical problem solving: Conceptual understanding would be incomplete without a section on mathematical problem solving in the sciences. Students who use a memorized algorithm or dimensional analysis (factor-label method) frequently obtain correct answers, but a correct answer does not necessarily mean that students understand the concepts. A systematic approach in problem solving results in more correct answers. If students view understanding chemistry and physics as applying formulas to solve problems then little will be gained in terms of conceptual understanding.

In conclusion, many strategies are suggested to enhance students' conceptual understanding. In this study, the strategies, such as considering prior knowledge, providing an opportunity to have concrete experiences, using collaborative learning, applying the concepts in a real-life situation, considering the three levels of

chemical representation, and using analogies, were emphasized in developing the model for chemistry teaching and learning.

1.2 Science Process skills

1.2.1 Meaning

Science process skills are the tools that scientists use in their investigation to gain knowledge of natural phenomena (Ostlund. 1998: online). What we know about the physical world today is a result of investigations made by scientists in the past (Monica. 2005: 12). Nevertheless, Özsgelen (2012: 283) stated science process skills are the thinking skills that scientists use to construct knowledge in order to solve problem and formulate results. Thus, science process skills include both mental and physical abilities. Akinbobola & Afolabi (2010: p.234) described science process skills to be “mental and physical abilities, and competencies which serve as tools needed for the effective study of science and technology”. Additionally, Padilla (1990: online) reported that science process skills are a set of transferable abilities that are applicable to many other disciplines but reflect the behaviors of scientists.

In the Thai science curriculum, science process skills are harmonized within all the indicators of every science learning standard, and are more emphasized in Standard 8.1 of Strand 8: Nature of Science and Technology (The Ministry of Education, Thailand. 2008: 128-131). The science processes skills focused in Thai science education are generally comprised of 13 skills (Rodranga and Nuankeaw, 1999: 3), which according to the American Association for the Advancement of Science (AAAS) (American Institutes for Research in the Behavioral Science, 1971: 1), are observing, classifying, measuring, using numbers, using space/time relationship, inferring, predicting, communicating, identifying and controlling variables, formulating hypotheses, defining variables operationally, experimenting, and interpreting data and making conclusions. They are divided into two groups: basic and integrated process skills. The first eight processes are the basic process skills. The last five are the integrated process skills. These skills are listed and described below (Rodranga; & Nuankeaw. 1999: 3-5).

Basic Science Process Skills

1) Observing means using any one or combination of the five senses to gather information about an object or event.

2) Inferring means making an "educated guess" about an object or event based on previously gathered data or information. It is an interpretation of what is observed

3) Classifying means grouping or ordering objects or events into categories based on properties or criteria.

4) Measuring means using both standard and nonstandard measures or estimates to describe the dimensions of an object or event.

5) Numbers means counting the number of an object and applying numbers by their mathematical relationships or finding average value.

6) Space/Time Relationships means a process to describe a location, direction, shape and size of an object and its changes in a period of time.

7) Communicating means using words or graphic symbols to describe an action, object or event.

8) Predicting means stating the outcome of a future event as to what may happen or what is going to happen based on a pattern of evidence, principle, rule or theory.

Integrated Science Process Skills

9) Identifying and Controlling Variables means being able to identify variables that can affect an experimental outcome, keeping most constant while manipulating only the independent variable.

10) Formulating Hypotheses means stating the expected outcome of an experiment based on prior knowledge that offers an explanation to an event. The statement shows the relationship of independent and dependent variables and can be tested through experimentation.

11) Defining Variables Operationally means stating how to measure a variable in an experiment.

12) Experimenting means the process of conducting an experiment to find the answer from formulated hypotheses. It is composed of 3 activities as follow:

12.1) designing a fair experiment

12.2) conducting the experiment

12.3) record the results of the experiment

13) Interpreting Data and Making Conclusions means interpreting or describing the experimental data and conclusions regarding the relationship between the variables of the data.

The basic process skills provide a foundation for learning the integrated skills. Basic science processes are vital for science learning and concept formation at the primary and junior secondary school levels. Integrated science process skills are more appropriate at the secondary and tertiary school levels (Akinbobola; & Afolabi. 2010: 33).

Since the sample of this study is the upper secondary school level, so the science process skills here are focused on the five integrated science process skills including; identifying and controlling variables, formulating hypotheses, defining variables operationally, experimenting, and interpreting data and making conclusions.

1.2.2 Research on the Promotion of Science Process Skills

Science process skills are an important outcome in science education. Numerous research studies have shown that teaching science through the use of hands-on activities or laboratory work promoted students' science process skills (see, e.g., Bilgin. 2006: abstract; Grace. 2007: 1; Nakthong; Anuntasethakul; & Yutakom. 2007: 393; Yang; & Heh. 2007:452). For example, Bilgin (2006: abstract) used hands-on activities incorporating a cooperative learning approach to promote science process skills of eight grade students. The results indicated that students in the experimental group, who employed hands-on activities along with cooperative learning approach, had better performance on the Post-SPST scores than the control group. Grace (2007: 2) used a science ALIVE! programme where in each module the specific content knowledge was taught using hands-on strategies such as laboratory work, field trips, journal writing and group discussions. The findings showed a significant increase in students' science process skills. Additionally, Nakthong; Anuntasethakul; & Yutakom (2007: 393) suggested that teachers should provide an opportunity for students to think and do science experiments by themselves in order to use and develop the science process skills as they are learning.

In conclusion, laboratory learning is an important part of science teaching and learning for acquisition of science process skills. Hence, in order to develop the integrated science process skills, the laboratory learning was focused on in the development of the learning model.

1.3 Attitudes toward Science

1.3.1 Meaning

The term 'attitudes' have various meanings. According to Allport (2008: 21), "an attitude is a mental and neural state of readiness for response to objects to which it is related". Oskamp (1977: 19) defined attitude as a readiness to respond in a favorable or unfavorable manner to a particular object, similar with Cheung (2009: 76). Cheung stated that an attitude is a predisposition to respond in a favorable or unfavorable manner with respect to a given attitude object. The attitude object can be anything, such as science, laboratory learning, or chemistry. Oskamp (1977: 10) suggested that attitudes are comprised of three components: (1) a cognitive component consisting of the ideas and beliefs which the attitude-holder has about the attitude object; (2) An affective (emotional) component which refers to the feelings and emotions one has toward the object; 3) A behavioral component consisting of one's action tendencies toward the object.

Attitudes towards science mostly are defined as the dimension of pupils' feelings, and beliefs about the science they encounter (Bennett. 2003: 179; Germann. 1988: 694; Osborne; Simon; & Collins. 2003: 1053). It encompasses interest, enjoyment, satisfaction, confidence and motivation in science, attitude about scientists, and attitude towards the use of science (Gabel: 1994: 216, cited in Gardner. 1975).

Hence, generally, the attitude towards science is referred to as a positive or negative response to science, which science is an attitude object, and also refers to whether students like or dislike it.

1.3.2 Research on the Promotion Attitude towards Science

Attitudes, like academic achievement, are important outcomes of science education in secondary school (Cheung. 2009: 75; Kahveci. 2015 :283) and it is one main goals of the science curriculum (IPST. 2006: 2). The development of students' positive attitude towards science is one of the major responsibilities of every science teacher due to two main reasons: 1) attitudes are linked with academic achievement (Kahveci. 2015 :283) and 2) the attitudes guide students' learning behaviors (Cheung. 2009: 76)

Attitude towards science is affected by many factors such as gender, grade level, peer, parents, teachers, curriculum, instruction, cultural and other variables (Gabel. 1994: 217; Osborne; Simon; & Collins. 2003: 1062-1071; Papanastasiou; & Papanastasiou. 2004: 241). However, Papanastasiou; & Papanastasiou. (2004: 239) investigated the attitudes toward science of 8th-Grade students in Australia, Canada,

Cyprus, and Korea, based on recent TIMSS data. The results of this study indicated that the strongest direct influence on attitudes toward science is instruction. According to Osborne; Simon; & Collins (2003: 1066) the teacher variables are a significant factor determining attitude in that the nature of science instruction and the use of teaching strategies also strongly affected students' attitudes toward science.

In addition, Myers; & Fouts (1992:936) proposed that the students' attitudes toward science might be improved by (1) providing more hands-on activities; (2) providing more student-relevant topics that encourage student involvement; (3) using more cooperative learning activities to promote student-to-student interaction; (4) focusing on positive and supportive communication with every student; and (5) using a variety of teaching strategies.

Specifically, many research studies support the idea of using a laboratory to develop more positive students' attitude towards science (Bilgin. 2006: abstract; Foley; & McPhee. 2008: 1; Freedman. 1997: 343; Rompayom. 2010: 147). For example, Freedman (1997: 343) investigated the use of a hands-on laboratory program as a means of improving students' attitude toward science. The findings indicated that laboratory instruction influenced in a positive direction the students' attitude toward science. As well as that, Foley; & McPhee (2008: 1) found that students in the hands-on classes were generally more favorable to science and had a better understanding of the nature of science than students in the textbook classes.

In conclusion, the literature suggested that attitude towards science is affected by many variables. The literature highlights the crucial importance of instruction. The laboratory is one type of instruction that could develop positive students' attitudes toward science. Moreover, using more student-relevant topics, enhancing student-student interaction, and using various teaching strategies would improve students' attitude toward science. In this study, laboratory learning and student-student interaction were focused in the development of the learning model.

Apart from a conceptual understanding, science process skills, and attitude towards science mentioned above, numerous researches pointed out that three main goals of science education are interconnected to each other. For the involvement of science process skills and conceptual understanding, Harlen (1999: 130) pointed out that the process skills have a central role in learning with understanding. These are inseparable in practice from the conceptual understanding. Learning with understanding in science

involves using the science process skills such as testing the usefulness of possible explanatory ideas by using them to make predictions, collecting evidence to test the prediction and interpreting the results. If these skills are not well developed and, for instance, relevant evidence is not collected, or conclusions are based selectively on those findings which confirm initial preconceptions and ignore contrary evidence, then the emerging concepts will not help in the understanding of the world around. Feyzioğlu (2009: 123) found that there was a positive relationship between the students' course achievement and science process skills used in laboratory applications. Additionally, attitudes toward science are linked with academic achievement. Freedman (1997: abstract) and Salta; & Tzougraki (2004: 544) found that there was a positive correlation between students' attitude toward science and their achievement. As well as that, Simpson; & Oliver (1990:13) summarized that how students feel toward science is a strong predictor of subsequent science achievement in high school. Furthermore, science process skills and attitudes toward science are relative to each other as shown in the study of Downing; & Filer (1999: abstract) where the data indicated that ability to perform science process skills and attitudes toward science have a positive correlation.

In conclusion, conceptual understanding, science process skills and attitude toward science are the three main goals of science education. These are necessary to develop simultaneously because they are interconnected. Laboratory learning has been purported to promote central science education goals for more than a century (Hofstein; & Mamlok-Naaman. 2007: abstract). It appears to have a consistent positive influence on enhancing conceptual understanding, developing science process skills and improving students' attitude toward science. Therefore, the development of the learning model for chemistry teaching and learning in this study involved the use of laboratory learning to enhance understanding in chemistry concepts, integrate science process skills and attitudes towards chemistry laboratory learning.

2. Laboratory Learning

Laboratory or practical work is an integral component of learning chemistry or any science (Nakhleh; Polles; & Malina. 2003: 69) which has roots in the 19th century. The term laboratory work as used in U.S. literature corresponds to the term practical work for the United Kingdom (Lazarowitz; & Tamir. 1994: 94).

The definition of school science laboratory activities typically is referred to as learning experiences in the school setting where students interact with materials (or with secondary sources of data) to observe and understand the natural world (Hofstein; & Mamlok-Naaman. 2007: 105; Lunetta; Hofstein; & Clough. 2007: 394). Accordingly, the committee of America's Lab Report defined that laboratory experiences provide opportunities for students to interact directly with the material world (or with data drawn from the material world), using the tools, data collection techniques, models, and theories of science (National Research Council. 2006: 3)

2.1 Aims of Learning Science through the Laboratory

Laboratory experiences have been purported to promote science education goals including: (1) enhancement of students' understanding of science concepts (Bennett. 2003: 78; Hofstein; & Lunetta. 2004: 38) and also mastery of the subject matter (National Research Council. 2006: 3); (2) enhancement of practical skills such as science process skills, problem solving skills (Hofstein; & Lunetta. 2004: 38; Hofstein and Naaman. 2007: 105; National Research Council. 2006: 3), and scientific reasoning skills (National Research Council. 2006: 3); (3) enhancement of attitudes toward science and scientific habits of mind (Hofstein; & Lunetta. 2004: 38 Hofstein ; & Naaman . 2007: 105); (4) cultivating interest in learning science and motivation (Hofstein; & Lunetta. 2004: 38; National Research Council. 2006: 3); (5) understanding the nature of science (Hofstein; & Lunetta. 2004: 38; National Research Council. 2006: 3); (6) helping pupils appreciate what being a scientist involves and how science and scientists work (Bennett. 2003: 78; Hofstein ; & Naaman. 2007: 105); and (7) developing teamwork abilities (National Research Council. 2006: 3).

2.2 Types of Laboratory Instruction

Laboratory instruction ranges from highly structured and teacher-centered to open inquiry (Hofstein ; & Naaman. 2007: 105). For chemistry education, Domin (1999: 543) categorized the styles of laboratory instruction into four distinct types: expository, guided-inquiry, open-inquiry, and problem-based. Three descriptors can differentiate these styles: outcome, approach, and procedure as shown in Table 1

Table 1 Descriptors of the Laboratory Instruction Styles.

Style	Descriptor		
	Outcome	Approach	Procedure
Expository	Predetermined	Deductive	Given
Guided-Inquiry	Predetermined	Inductive	Given
Open-Inquiry	Undetermined	Inductive	Student generated
Problem-based	Predetermined	Deductive	Student generated

Source: Domin, Daniel S. (1999, April). A Review of Laboratory Instruction Styles. *Journal of Chemical Education*. 76(4): p. 543.

The outcome of any laboratory activity is either pre-determined or undetermined. Expository, guided-inquiry and problem-based activities all have predetermined outcomes. For expository lessons, both the students and the instructor are aware of the expected outcomes. For guided-inquiry and problem-based activities, usually it is only the instructor who knows the expected result. Expository and problem-based activities typically follow a deductive approach, in which students apply a general principle to understand a specific phenomenon. Guided-inquiry and open-inquiry activities are inductive in that by observing particular instances the students derive the general principle. This procedure can be criticized on the grounds that students are unlikely to discover, in three hours, what the best minds took many years to find. The procedure to be followed for any laboratory activity is either designed by the students or provided for them from an external source (the instructor, a laboratory manual, or a handout). Open-inquiry and problem-based methods require the students to develop their own procedures. In expository and most guided-inquiry activities the procedure is given to the students. Four types of laboratory instruction are described below (Domin. 1999: 543-546).

2.2.1 Expository Laboratory Instruction

The most popular type of laboratory instruction is the expository (also termed traditional or verification) style. Within this learning environment, the instructor defines the topic to be investigated, relates it to previous work, and directs the actions of the students. The role of the students here is only to repeat the teacher's instructions or read the directions from a manual from which they may experience the predetermined

outcome that is already known to both them and the instructor. The results obtained are typically used only for comparison against the expected results.

The traditional expository laboratory has been designed so that the activities can be performed simultaneously by a large number of students with minimal involvement from the instructor at a low cost and within a two-to three-hour time span. It has evolved into its present form from the need to minimize resources, particularly time, space, equipment, and personnel.

The predominant feature of the expository instruction is its cookbook nature which emphasizes the following of procedures to collect data. Virtually no attention is given to the planning of the investigation or to interpreting the results. There is very little emphasis on thinking which is an ineffective means of building concepts and unrealistic in its portrayal of scientific experimentation.

It is possible that little meaningful learning may take place in such traditional laboratory instruction. Two reasons can explain the inability of this type of laboratory to achieve its full potential. Firstly, it has been designed so that students spend more time determining if they obtained the correct result rather than spend time thinking about planning and organizing the experiment. Secondly, it was designed to facilitate the development of lower-order cognitive skills such as rote learning and algorithmic problem solving. However, it is beneficial for development of students' practical skills, and preparation for more open structure.

2.2.2 Guided-inquiry Laboratory Instruction

The heuristic method taught by Armstrong in the early 20th century, can be regarded as the origin of guided-inquiry laboratory teaching in which students were required to generate their own questions for investigation. No laboratory manual was used and the teacher provided minimal guidance. The student was placed in the role of discoverer (Johnstone; & Al-Shuaili. 2001: 48).

The guided-inquiry approach is inductive. Whereas the outcome is unknown to both the teacher and the learner, in the latter the teacher guides learners toward discovering a desired outcome.

The disadvantage of guided-inquiry learning (shared with the other non-traditional forms of instruction) is that it is more time-consuming and potentially more costly than expository learning. Hodson (1996 cited in Domin. 1999: 543) describes guided-inquiry instruction is not only philosophically unsound, but also pedagogically unworkable.

He asserted that the learner does not know where to look, how to look, or how to recognize something when the learner has found it.

2.2.3 Open-Inquiry Laboratory Instruction

Open-inquiry activities require the students to formulate the problem, relate the investigation to previous work, state the purpose of the investigation, predict the result, identify the procedure, and perform the investigation. Open-inquiry activities are where students are more involved with less direction, and give the students more responsibility for determining a procedural option rather than a traditional format. As shown in Table 1, they are inductive, have an undetermined outcome and require the learners to generate their own procedures. Open-inquiry instruction mimics scientific inquiry by placing the students into the role of junior scientists.

Open-inquiry type is designed to help learners to construct thinking processes, which if done properly gives students an opportunity to engage in authentic investigative processes. This type of practical work could be criticized for placing too much emphasis on the scientific process and not enough on science content.

Open-inquiry laboratories have the potential to develop students' abilities and skills such as: posing scientifically oriented questions, forming hypotheses, designing and conducting scientific investigation, formulating and revising scientific explanations, and communicating and defending scientific arguments.

2.2.4 Problem-Based Laboratory Instruction

Problem-based learning is becoming a popular alternative to the other three styles of laboratory instruction, not only in general chemistry but also in other chemistry courses. In problem-based learning, the teacher adopts an active stimulating role by posing a problem to the learners, providing the necessary reference materials, and through occasional group meetings carefully moving the students towards a successful solution to the problem (Johnstone; & Al-Shuaili. 2001: 48). Students are encouraged to be independent thinking and discard the laboratory manual. Students have to create their own procedure, obtain the result, and reach the conclusions.. Emphasis was placed on developing testable hypotheses rather than obtaining correct results. The methods of solving the problem are secondary to the problem itself. As in the real world, the problem comes first and serves as a vehicle for investigation and learning. In this style, students are presented with a problem statement often lacking in crucial information. From this statement they redefine the problem in their own words and devise a procedure that will

lead them to a solution. The problems are “open-entry” that is they possess a clear goal but there are many viable paths toward a solution. Students working in a problem-based environment must apply their understanding of a concept to devise a solution pathway and this requires them to think about what they are doing and why they are doing it.

Similar to guided and open-inquiry instruction is problem-based learning which is time consuming and places a greater demand on both the instructor and the students more than traditional instruction. Like open-inquiry instruction it fosters the development of higher-order cognitive skills through the implementation and evaluation of student-generated procedures. Problem-based instruction, however, is a deductive approach. Students must have had exposure to the concept or principle of interest before performing the experiment. Successfully completing a problem-based activity denotes an understanding of the concept.

In conclusion, laboratory instruction has four styles including: expository; guided-inquiry; open-inquiry; and problem-based instruction. Each of these styles has different advantages and disadvantages. The expository laboratory instruction is less-time consuming than the other types. However, guided-inquiry, open-inquiry, and problem-based instruction place more emphasis on thinking and process skills. Guided and open-inquiry are inductive approaches that are an effective means of building concepts. In this study, the guided and open-inquiry approaches are used, beginning with the guided-inquiry to practice the integrated science process skills under teacher guidance followed by the open-inquiry laboratory instruction.

2.3 Factors that Facilitate Success in Science Laboratory Instruction

Lazarowitz; & Tamir (1994: 109) pointed out that curricula, resources, learning environments, teaching effectiveness, and assessment strategies are factors to facilitate successful science laboratory instruction which are described as follows:

1) Curricula: This means the inclusion of all parts dealing with the implemented curriculum, for example, instructional materials; selected activities, and integration of the laboratory with other learning experiences. In planning a course or unit related to the laboratory two important considerations are time allocation and sequencing within a particular laboratory period. The work in the laboratory is by nature time-consuming where more time is needed to make the work meaningful. Besides, learning in the laboratory and achieving its goals may be enhanced and supported by integration with other strategies. Accordingly, Özmen; Demircioğlu; & Coll (2009) combined laboratory activities with concept

mapping to enhance student understanding of acid-base chemistry for tenth grade students in a Turkish high school. It was found that the intervention (modification) could enhance student understanding for acid-base chemistry. They also suggested that combining the pedagogies of laboratory-based activities and concept mapping may be a useful strategy for teaching acid-base chemistry concepts.

Thus, laboratory work and curriculum are interrelated. The laboratory determines the nature of the curriculum and the curriculum has a strong influence on the effectiveness of the laboratory

2) Resources: An adequate supply of materials makes teaching more convenient and more effective, with an increase in the use of laboratory work and exploration as a vehicle for learning and teacher enablement to broaden the science curriculum. On the contrary, lack of materials, equipment, and facilities are a major impediment to laboratory activities. Additionally, better facilities are associated with what students perceive as an enriched learning environment.

3) Learning Environment: Learning success is linked to the environment in which learning occurs. The laboratory experience in most secondary schools is that of small groups of three or four students who share the same equipment and cooperate in performing experiments. Laboratory work performed in a cooperative mode may be a more appropriate type of practical work in high schools. The learning environment in the cooperative classroom is more flexible than in the formal classroom. The approach facilitates more interaction among students and the teacher and thereby creates a positive learning climate. The science process skills are enhanced by exchange of ideas and discussion in the cooperative groups. Furthermore, a cooperative learning method enhances students' academic achievement and self-esteem and improves their classroom learning environment.

4) Teaching Effectiveness: Although many factors influence the nature of learning in the student laboratory, the one factor that makes the greatest impact is the teacher. Teaching in the laboratory requires a high level of skills proficiency and subject-matter knowledge, a special kind of subject matter-specific pedagogical knowledge, certain specific attitudes, and readiness for risk taking for which many teachers are ill-prepared. They perceive inquiry as too difficult and time-consuming such as including goals that do not match their personal philosophy and are hard to assess. As already mentioned, teacher's attitude, knowledge, skills and behaviors can also affect whether the learning in the student laboratory attains its objectives. Thus, an in-service course is needed to

prepare teachers to teach the laboratory and help in-service teachers realize the great potential of the student laboratory.

5) Student-Assessment Strategies: Paper-and-pencil tests are inadequate for assessing student performance in the laboratory therefore the assessment of laboratory learning should include both content and process.

Furthermore laboratory instruction can become more effective when theory of learning is incorporated. For example, Yeşilyurt; Bayraktar; & Erdemir (2004: 31) developed a laboratory model having constructivist features called a constructivist laboratory model [Guided-Examination (G-E)]. It was found that the G-E model could increase students' success in college physics laboratory courses. Berionni; & Baldón (2006) also found that the combination of laboratory teaching with social constructivism and concept maps could build scientific knowledge and organize concept network for 6- 13 year old students.

In conclusion, the factors that facilitate success in laboratory instruction include: (1) integrating the laboratory with learning theory or other strategies; (2) having an adequate supply of materials and equipments; (3) using the cooperative group in order to perform the experiments in a small group and enhance sharing ideas and discussion; (4) preparing a teacher to teach in the laboratory; and (5) assessing laboratory learning such as the science process skills which should be both during and after laboratory learning. All factors were emphasized in this study.

2.4 Impediments to effective laboratory activities

Although numerous research studies confirmed that laboratory activities can promote many goals of science learning yet some literature indicate that laboratory work is not effective to enhance students' learning of science due to some barriers, some of which are described below.

1) Scientific knowledge is influenced by social and natural environments. Therefore, laboratory-based activities are not sufficient, in themselves, to bring about all the conceptual understanding. Nevertheless, one way to proceed is by creating opportunities for students to do science in all its complexity and uncertainty (Hodson. 2001: 17).

2) Many students do not know why they did laboratory work. They follow the instructions without understanding (Berry; et al. 1999: 28; Shah; Riffat; & Reid. 2007: 78). Thus, for laboratory learning there needs to be clear thinking and specification of aims.

3) Teachers do not point out to much mental engagement. Laboratory work tends to be hands-on rather than mind-on (Berry; et al. 1999: 28).

4) Students' limited application of science process skills in laboratory work (Berry; et al. 1999:28).

5) Lack of trying to link students' new knowledge with the knowledge that they already knew (Berry; et al. 1999: 28).

6) The work done in laboratory simply verifies something already known to the student. It tends to reduce or eliminate the motivation to investigate (Kirschner; & Meester. 1988: 84-85).

7) The laboratory work is often seen as isolated exercises, bearing little or no relationship with earlier or future work (Kirschner; & Meester. 1988: 84-85).

In conclusion, the factors that impede success in laboratory instruction include: (1) learning without regarding social-cultural influence; (2) lack of connection between the new knowledge from laboratory learning and students' prior knowledge; (3) Doing laboratory work is for confirming the theory or concepts that students already knew, and not for constructing their own concepts nor connecting the concept with theory; (4) Lack of prompting students to apply the science processes skills in laboratory work; (5) Students do not know the aims and purposes when doing the experiment. All these factors are eliminated by the new learning model that is developed in this study.

Laboratory learning has always been an important component in chemistry or any science learning. The use of laboratory learning can potentially bring about the three main goals of science learning. Thus, the learning model places an emphasis on using laboratory learning developed in this study. Nevertheless, some factors are reported to have an influence on the effectiveness of laboratory learning. In order to achieve all the goals in science learning, the ineffective factors of laboratory teaching were reduced by integrating factors that facilitate effectiveness—the learning theory that was used in a combination in the learning process is “Social Constructivism” which will be discussed in the next section.

3 Theory of Learning

Learning theory is an attempt to describe how people learn. This helps to understand the inherently complex process of learning and how to best design teaching,

instruction, training and other education processes. Theories of learning that are usually mentioned in education are behaviorism, cognitivism and constructivism.

3.1 Behaviorism

Behaviorism studies the external workings of human beings and animals rather than the internal processes (Jarvis. 2006: 146). In other words, the behaviorism concentrates on the study of overt behaviors that can be observed and measured but fully ignoring processes occurring in the learner's mind. Learning is viewed as bringing about a visible change in behavior that is a result of stimuli from the external environment or can be said that it operates on the principle of "stimulus-response". There have been many behavioral learning theories including Thorndike's classical connectionism, classical conditioning (Pavlov and Watson), contiguous conditioning (Guthrie), operant conditioning (Skinner), and Hull's systematic behavior theory. However, the major behavioral learning theories are classical conditioning (Pavlov) in which learning is a result of response to a conditioned stimulus; and operant conditioning (Skinner) in which learning or some action occurs through rewards or punishments for behavior. Behavior is shaped through positive reinforcement or negative reinforcement. Both positive reinforcement and negative reinforcement increase the probability that the antecedent behavior will happen again. In contrast, punishment (both positive and negative) decreases the likelihood that the antecedent behavior will happen again. Positive indicates the application of a stimulus while negative indicates the withholding of a stimulus.

Behaviorism in teaching and learning, a learner is essentially passive, responding to environmental stimuli. According to Herron; & Nurrenbern (1999, 1354) they stated that teachers transmit knowledge by providing the appropriate stimuli and conditioning students to respond appropriately. Students, in the behaviorist view, are object manipulated by instructors or programmed materials. Students receive information from experts and respond with answers that are rewarded. In addition, Boghossian (2006) described that changing behavior in an academic venue is more difficult to measure than in other contexts, like a karate class, where there are observable physical behaviors that result from physical stimuli. Yet in the academic context, behaviorists substitute verbal behavior (such as responding appropriately to a question) for physical behavior, for example, a student giving a correct answer to a question is a sign of successful conditioning and then to continue to reinforce the correct responses behaviorally by assigning good grades.

3.2 Cognitivism

Cognitivism focuses on the study of mental processes of the human mind to understanding how people learn and how they think. Mental processes such as thinking, memory, knowing, and problem-solving need to be explored. Knowledge can be seen as schema or symbolic mental constructions. Learning is defined as a change in a learner's schemata (knowledge stored in memory). Two key assumptions underlie the cognitive approach: (1) that the memory system is an active organized processor of information and (2) that prior knowledge plays an important role in learning. Cognitivists consider how human memory works to promote learning. For example, the physiological processes of sorting and encoding information and events into short term memory and long term memory are important to educators working under the cognitive theory. Cognitivism compares the mental operations of the brain (mind) with the computational operations of the central processing unit (Bush, 2006: 15) where information comes in, is processed, thus leading to certain outcomes. The originators and important contributors are Merrill (Component Display Theory (CDT)), Reigeluth (Elaboration Theory), Gagne, Briggs, Wager, Bruner (moving toward cognitive constructivism), Schank (scripts), Scandura (structural learning). Dewey, Piaget, Vygotsky, and Gagne who are a few of the theorists associated with cognitivism. Nevertheless, the three names most often associated with cognitive learning theories are Bruner, Ausubel and Gagne. These recognized authorities emphasized different aspects of cognitive learning. Bruner emphasized categorization and developing a general concept from examples. Ausubel emphasized the reception of information and the need to link that to prior learning. Ausubel gave us the advanced organizer. Gagne looked at the steps or events in learning in which he viewed learning as a series of steps.

The information processing model is an example of cognitivist learning theory that looks at how the mind works as a mirror as to how the computer works. It uses the mind as a metaphor for the computer and information processor, and focuses on how the world's knowledge is perceived, acquired, stored, and retrieved from memory. Learners are viewed as those who acquire, assemble, store, and retrieve material and the process makes meaning transforming the information into knowledge. These studies led to a new approach to learning as the process by which novices become experts. Cognitivist theorists consider the information acquired by novices is stored in isolation.

In instructional design, cognitivism plays an important role in organizing information, using advanced organizers, metaphors, chunking into meaningful parts, and

arranging information from simple to complex (Alonso; et al. 2008: 390). With regards to research, researchers concentrated on topics like cognitive load and information processing theory.

3.3 Constructivism

Constructivism is a cognitive perspective to learning. It emphasizes that knowledge is constructed by the learner (Bush. 2006: 16). Conceptualization by the learners as a passive response to the environment and learning through a direct internalization of knowledge given by others is rejected. Rather, learners are seen as inherently active with self-regulating learners constructing knowledge in developmentally appropriate ways while interacting with a perceived world (Harris; & Graham, 1994, 234). Previous knowledge and experience are starting points for new learning which is the information that is registered as input and is matched with previously stored knowledge (Harris; & Graham, 1994, 234). Additionally, constructivism stressed that real understanding can occur only when children participate fully in their own learning. Such full participation is believed to lead to deeper and richer understanding. The new understanding is again stored for future use and now has more connections. (Bush. 2006: 16). Therefore, constructivism views learning as an active process of constructing knowledge. The learning theories of Jean Piaget, Jerome Bruner, Lev Vygotsky and John Dewey serve as the foundation of constructivist learning theory.

There are many different types of constructivism, such as cognitive, radical, and social constructivism. Cognitive constructivism is based on the work of Jean Piaget and it is perceived that knowledge is actively constructed by the learner as a result of a learner's interaction with the object (Clement. 1988: 89). Prior knowledge enables them to create new knowledge (or schemas) in their heads. These schemas are changed, enlarged, and made more sophisticated through three essential processes: assimilation, accommodation and equilibration. Assimilation is the process of collecting and classifying new experiences. Accommodation is the process of changing cognitive structures in order to accept something from the environment or existing schemas that must be modified or new schemas are created to account for new experiences. Equilibration is the state of having no contradictions present in our mental representation of our environment (Clement B.G. 1988: 87; Pritchard; & Woollard. 2010:10-12). Equilibrium is said to follow a threefold path. First, if we are satisfied then it is said to be in a state of equilibrium. Second, if we become dissatisfied and enter a state of disequilibrium then we experience cognitive

conflict. Third, we move to a more sophisticated mode of thought (Pritchard; & Woollard. 2010:12-13). Contradiction between the learner's existing understanding and what the learner experiences gives rise to disequilibrium thus leading the learner to question his or her belief and try out new ideas (Palincsar: 1998: 350).

Radical constructivism is encapsulated by von Glasersfeld who proposed that reality is within the individual and knowledge is constructed from individual experiences. That is, each individual actively constructs knowledge for him or herself. In other words, learners develop their individual view of the world alone (Pritchard; & Woollard. 2010: 8-9). However, social interactions between and among learners are central to the building of knowledge by an individual.

Social constructivism focuses on the interdependence of social and individual processes in the co-construction of knowledge. It is the idea of learners actively building their knowledge, helped (or 'scaffolded') by other more knowledgeable people such as their teachers or their peers through a process of negotiation among the participants for instance dialogues or conversation, that is, through social interaction. (Palincsar. 1998: 345; Pritchard; & Woollard. 2010: 9; Watson. 2001: 140). Both radical constructivists and social constructivists assert that we construct our view of the world based on the input of new knowledge and the interaction of the input with pre-existing knowledge.

Instructional approaches with constructivist roots include whole languages, cognitive strategy instruction, cognitively guided instruction, scaffolded instruction, literacy-based instruction, directed discovery, self-directed learning, transformational learning, experiential learning, situated cognition, reflective practice and religious practice for example (Harris; & Graham. 1994).

In conclusion, the three school theories of learning have different emphases. Behaviorism places a stress on external behavior and learning comes from a stimulus-response principle. Cognitivism is about the mental processes that are an important part of learning. Constructivism is where the learners actively construct knowledge. In this study the focus is on the constructivist theory of learning which is according to the National Education Act B.E. 2542 (1999) which is written in chapter 4 of the National Education Guidelines in Section 22:

Education shall be based on the principle that all learners are capable of learning and self-development, and are regarded as being most important. The teaching-learning process shall aim at enabling the learners to develop themselves at their own pace and

to the best of their potentiality. (Office of the National Education Commission (ONEC). 2002: 10)

Regarding the constructivist learning theory, there are many forms of constructivism including cognitive, radical, and social. However, Hofstein; & Lunetta (2004: 32) suggested that "a social constructivist framework has special potential for guiding teaching in the laboratory". Hence, this study concentrates on the social constructivist approach to develop a laboratory learning model for promoting conceptual understanding, science process skills, and attitudes toward chemistry laboratory learning.

4. Social Constructivism

4.1 Social Constructivist Views of Learning in Science Education

Social constructivist views in science education began to appear in the first half of the 1990s and see scientific learning as the construction of knowledge which involves both the individual and social processes. However, it places less emphasis on the individual and more on the influence of culture and social context (Bennett. 2003: 47).

Based on the work of Vygotsky, social constructivism emphasizes the importance of social interaction, culture and language in the development of knowledge and understanding (Bennett. 2003: 47). He described that there are two sources of knowledge in an individual. One source of knowledge comes from the interaction with the environment and has been called everyday knowledge, gut knowledge, intuitive knowledge, or spontaneous knowledge. This type of knowledge is influenced by peer interactions, language, and experience. The other source of knowledge is derived from formal instruction that occurs in classrooms. Vygotsky concluded that children use their everyday life experiences as well as school experiences to construct meaning (Jones; & Carter. 1998: 264).

The crucially important element of Vygotsky's work is the idea of the zone of proximal development (ZPD). Vygotsky's notion of ZPD is central the social constructivist learning theory. The ZPD describes the difference between what a person can learn on his or her own and what that person can learn when learning is supported by more knowledgeable people (Pritchard; & Woollard. 2010: 9). In Vygotsky's own words, the ZPD is "the distance between the actual developmental level as determined by independent problem solving and the level of potential development as determined through problem solving under adult guidance, or in collaboration with more capable peers" (Bransford et al,

2000: 81; citing Vygotsky, 1978: 86) as shown in Figure 3. Hence, “what children can do with the assistance of others is even more indicative of their mental development than what they can do alone” (Bransford et al. 2000: 81; citing Vygotsky. 1978: 85).

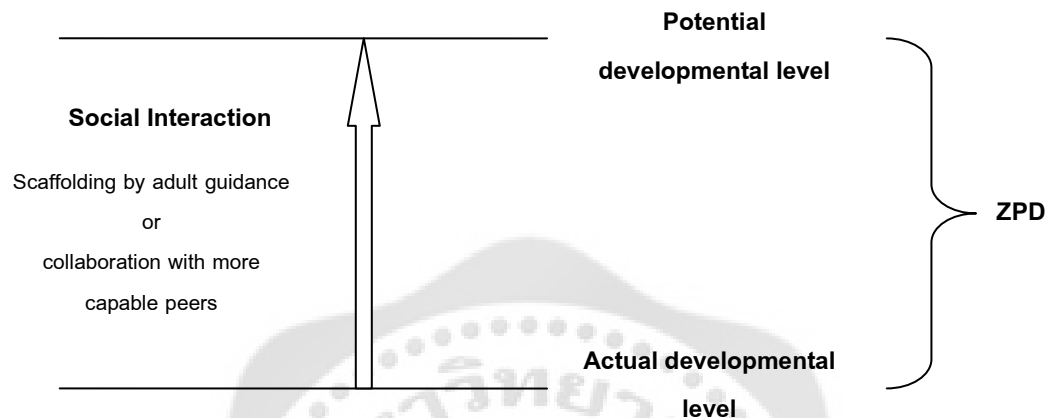


Figure 3 Zone of Proximal Development (ZPD) and How to cross the Zone

In Vygotsky’s concept of ZPD, social interaction is a fundamental aspect of successful cognitive and intellectual growth. In other words, successful and timely movement across this notional zone is dependent upon social interaction as shown in Figure 3. Learners can be assisted in the progress made across their ZPD in a given situation by a more knowledgeable other who can provide the sort of support that will make progress possible. The nature of this support is known as scaffolding. The scaffolder is not always a teacher or even an adult (Pritchard; & Woollard. 2010: 14-15). The term “more knowledgeable other” is used to suggest that social interaction with any other individual who has the potential to support learning to achieve higher levels of development. Scaffolders could be any one who participated with him/her in the task, so it could be his/her teacher or peers. In the case of the teacher acting as a scaffolder, Pritchard; & Woollard (2010: 39) suggested that the teacher can take on different roles in order to provide scaffolding as follows:

- Teacher as support: providing a secure framework and safe context where children feel able to make suggestions and try out ideas.
- Teacher as a prompt: using questions to redirect the individual learner’s thinking or providing alternative, possibly simpler language.

- Teacher as critical listener and provider of feedback: giving critical comments in a form which are understandable by the learner and might suggest pursuing a direction to be taken or perhaps looking elsewhere.

- Teacher as simplifier: breaking a problem into smaller more manageable steps to be tackled by the learner.

- Teacher as motivator: giving appropriate encouragement at critical points in a process.

- Teacher as highlighter: pointing out aspects of a task or question which demand more attention than other less significant aspects.

- Teacher as model: carrying out a task or thinking aloud to demonstrate an approach or a technique.

The interaction in social constructivism can be vertical, as in teacher-student interaction, or horizontal, as in student-student interaction. Teaching strategies that can be used to foster the social interaction in classroom are summarized and described as follows:

- Collaboration and Cooperation: In a collaborative group—a group of students with varying abilities work together to solve a problem or complete a project—which provides an opportunity for children to interact with other, forces them to think and to communicate about their thinking. Especially, for any heterogeneous group of children, there will be an opportunity for a more capable child to assist a child who is academically less able (Jennings; & Di. 1996: 79). Therefore, children should be given the opportunity to work comfortably with a wide range of children in order to acquire social and cognitive skills in playing, working, and learning. For cooperative learning, It is a type of group learning which involves dividing a task into parts and having each group member complete one of the parts, which is different from collaborative learning in that two or more students jointly work out a single solution to a problem (Linn;& Brubules. 1993: 92). In summary, the heart of collaboration is the single goal being pursued by two or more learners.

Collaboration can lead to a single product that is owned by all the participants.

Collaboration is associated with group work, but not all group work is collaborative.

However, the collaboration and cooperation are interdependent that is “without cooperation no collaboration can take place; the expectation of collaboration fosters cooperation” (Pritchard; & Woollard. 2010: 27).

- Dialogue/Discussion/Discourse: In social constructivist literature, dialogue, discussion, and discourse are mentioned as a strategy for social interaction. All of these involve conversation and communication with other participants. Discussion is

thought to be a useful teaching technique for developing higher-order thinking skills. It also provides opportunities for student to explain their ideas and thoughts, rather than merely recite memorized facts and details. During discussion learners are active participants to construct an understanding about the topic (Larson. 2000: 662). However discussion rarely occurs spontaneously, it needs activation such as a question from a teacher that is mentioned below.

- Questions: Constructing knowledge in social constructivism occurs through social interaction such as classroom discourse. Because teacher questions are a frequent component of classroom talk, thus questions are a key component of classroom discourse (Zhang. 2010: 58; Chin. 2007: 816). The purposes of using questions are to foster the social interaction, and to scaffold students constructing their knowledge. Teacher questioning should foster deep understanding rather than question for repetition of memorized information and conclusions. Thus, the questions should be open-ended questions. As Zhang; et.al. (2010: 59) suggested, open-ended questions, or authentic negotiatory questions that focus on eliciting and extending student ideas tend to be more conducive to a productive discussion rather than close-ended, known information questions that seek predetermined correct answers. Furthermore, Minstrell; & Zee (2007) listed the kinds of question to be used in learning science as follows: (1) ask or promote questions to open an inquiry and elicit students' initial understanding and reasoning; (2) ask or promote questions to interpret and make sense of data in order to generate new knowledge and understanding; (3) ask or promote questions to clarify or elaborate on observations and inference; (4) ask or promote questions to encourage learners to justify their answer and conclusions or to explain their reasoning to go beyond merely stating an answer; (5) ask or promote questions to extend or apply learned ideas; and (6) ask or promote questions that help learners monitor their own learning.

All strategies as mentioned above are in accordance with Hand; Treagust; & Vance (1997: 562). They suggested that to promote student-student interaction in a social constructivism, the teacher needs to ask students questions rather than attempt to teach them. In the process of trying to answer the questions posed by the teacher, the students should be allowed to work in group so that they can use their own language to discuss the concept being examined. In addition the interactions between students should not be limited to small group discussions but extend to whole class settings and in answering questions students need to be aware that they should be able to explain their

thinking and defend their own answers in front of the teacher and also the other students in the class.

4.2 Social Constructivist-based Teaching and Learning

A framework of social constructivism in teaching and learning from a number of research literatures are listed and described as follows:

- In social constructivist learning, knowledge is not transmitted as it is built by students (Berionni; & Baldón. 2006: abstract). Individual learners are actively involved in the learning process and construct their own understanding while the teacher acts as a facilitator (Pritchard; & Woollard (2010: 37).

- New knowledge must be related to knowledge the learner already knows (Shiland. 1999: 107). Research by Hand; Treagust; & Vance (1997: 572) suggested that the implementation of social constructivism requires students to use their existing knowledge as the starting point for changing to scientifically acceptable concepts.

- Knowledge building is not a lonely individual operation, it is a process created by sharing experiences and discovering meaning together with peers and teachers (Berionni; & Baldón. 2006: abstract). Social constructivism thus recognizes the importance of social and personal aspect of learning. In the personal sense, meaning is constructed by individuals as new information interacts with their extant knowledge. In the social sense, while knowledge is personally constructed, the constructed knowledge is socially mediated as a result of cultural experiences and interaction with others in that culture (McRobbie. 1997: 194). In other words, learning has a social component. Knowledge construction is therefore primarily a social process in which meaning is constructed in the context of dialogue with others. Cognitive growth results from social interaction. Learning is aided by conversation that seeks and clarifies the ideas of learners (Shiland. 1999: 107).

- Learning and development is a social and collaborative activity which cannot really be taught. Knowledge and use of words play a central part both in the development of children's thought and in all aspects of cognitive development (Pritchard; & Woollard. 2010: 37).

- Learning needs application. Applications must be provided which demonstrate the utility of the new conception (Shiland. 1999: 107). Learning tasks and activities and other learning situations must be set in meaningful contexts in which the knowledge is to be applied (Pritchard; & Woollard. 2010: 37).

- In-school learning should be related to out-of-school experience (Pritchard; & Woollard. 2010: 37). This will serve to create a sense of continuity and help to bridge a gap between school and real life.

In conclusion, the key features of social constructivism used in the development of the learning model for chemistry teaching and learning are as follows:

1) Students are seen as active learners, the teacher acts as a facilitator or scaffolder of knowledge construction. In the learning process, students actively participate in the classroom activities and do not just listen to the teacher. The teacher acts as a guide, telling students what they should do next and giving some suggestions.

2) Awareness of students' prior knowledge and alternative conceptions. Before classroom teaching the teacher should elicit the prior knowledge and alternative conception of students by: questioning; quiz; and/or using the POE technique.

3) Learning requires social interaction and collaboration. In the classroom, students are divided into groups of four or five to work with others and given an opportunity to interact with the materials and people such as other students and teacher.

4) A student constructs his/her own knowledge from new learning, prior knowledge and social interactions. Students are encouraged to be involved in using language to share his/her ideas and understandings, discussion with peers, and listening and making sense of the ideas of other students. Finally, individual students construct his/her knowledge from extant knowledge, new learning, and ideas they learned from other students.

5) Providing an opportunity to apply the concepts they have learned. After students construct the new knowledge the teacher provides a worksheet or questions with situations/problems to encourage the learners to apply the new knowledge to solve those situations/problems.

6) In-school learning should be related to daily life. The laboratory activities in this study are designed to use everyday materials to help students to see the link between science in the classroom and their everyday lives. In addition, the situations/problems used in the step of applying knowledge are also a part of or related to their everyday lives.

4.3 Social Constructivist Assessment

Assessment based on social constructivist perspectives is frequently referred to as "dynamic assessment" (Palincsar. 1998: 366; citing Feuerstein. 1979). Dynamic

assessment refers to measuring the student's assisted performance during collaboration to assess the potential development or what the student is in the process of learning (Dixon-Krauss. 1996: 125-126). The key feature of the dynamic approach is that it links assessment with instruction because it occurs during instruction rather than after the fact. Dynamic assessment provides the teacher with different types of information rather than static assessment which is measuring the student's individual performance to assess actual development (Dixon-Krauss. 1996: 126). In other words, dynamic assessment looks at both what the students can do individually and their potential growth as indicated by the interaction between the examiner and students.

The example of dynamic assessment for science classroom is preceded by engaging the students in (a) predicting what they think would happen given a specific pathway along with their reasons for making these predictions; (b) describing their observations; (c) comparing predictions with observations and discussing differences between them; and (d) explaining the result, focusing on underlying causes (Palincsar. 1998: 368)

Additionally, portfolios as a form of authentic assessment can be used to mediate in an assessment. This is called a portfolio assessment. A portfolio has been described as a container for evidence of an individual. It is a collection of student work samples that are assumed to reflect meaningful understanding of underlying science concepts. Portfolios are considered by advocates to offer teachers a more valid means of evaluating student understanding than traditional forms of testing (Vitale. 2005: 167-168)

In conclusion, the six key features of social constructivism for teaching and learning were used as a guideline for developing the laboratory learning model and activities to promote conceptual understanding, science process skills, and attitudes toward chemistry laboratory learning. Additionally, the strategies included: using collaborative or cooperative group work such as promoting discussions, dialogue, or discourse in the classroom; and using questions which were used to promote the social interaction in order to help students get across his/her ZPD.

For the assessment of students' learning in this study, it was a dynamic process which was performed during the process of collaborative learning or instruction. The portfolio was also used as a tool of assessment according to the social constructivist view.

5. Three Levels of Chemical Representation

Chemistry is one of the most important branches of science concerned with the properties and interactions of substances of which matter is composed. Chemistry topics are generally related to or based on the structure of matter and it enables learners to understand what is happening around them. However, chemistry has been proven to be a difficult subject for many students especially for secondary school student (Özmen; Demircioğlu; & Coll. 2009: 2; Sirhan. 2007:2). Many reasons for the difficulty include: (1) chemistry concepts are abstract in nature. Students are required to construct mental images of things they cannot see (Gabel. 1999: 548; Özmen; Demircioğlu; & Coll. 2009: 2); (2) Language and communication that teachers use in the classroom causes students to be confused between scientific terminology and similar sounding words such as unfamiliar vocabulary or chemical names that are hard to understand for students (Özmen; Demircioğlu; & Coll. 2009: 2; Sirhan. 2007: 4-10); (3) chemical knowledge is complex. It is presented with a three levels of representation and chemical knowledge is learned at three levels (macroscopic, sub-microscopic, and symbolic) (Sirhan. 2007: 4).

Nevertheless, the students' ability to use and connect the macroscopic, submicroscopic and symbolic representations is essential for understanding several chemistry concepts and phenomena. (Chandrasegarana; Treagust; & Mocerino. 2008: 237; Devetak; Vogrinc; & Glažar (2009: 176). The three levels of representation in chemistry and how to connect each level are discussed next.

5.1 Three Levels of Representation in Chemistry

Chemical knowledge is related to the multiple levels of representation in order to describe and explain chemical phenomena. Chemistry is commonly portrayed as three different levels of representation—macroscopic, sub-microscopic and symbolic—that combine to enrich the explanations of chemical concepts (Treagust; Chittleborough; & Mamiala. 2003: 1353). The macroscopic level is a concrete level involving observable chemical phenomena in experiments or experiences from everyday lives such as colour changes, new products being formed and others disappearing. The sub-microscopic level is an abstract level. It is used to explain what is observed at the macroscopic level in terms of the movement of particles such as electrons, molecules, and atoms, based on the particulate theory of matter. The symbolic level involves the use of symbols of elements, chemical formulas and equations, mathematical equations, as well as molecular structure drawings, diagrams, models kits, analogies, and computational forms (such as graphs,

reaction mechanisms, and animations) to communicate what happens at the molecular level as well as to represent macroscopic phenomena (Chandrasegarana; Treagust; & Mocerino. 2007: 294; Devetak; Vogrinc; & Glažar. 2009: 158; Jansoon; Coll; & Somsook. 2009: 149; Treagust; Chittleborough; & Mamiala. 2003: 1354).

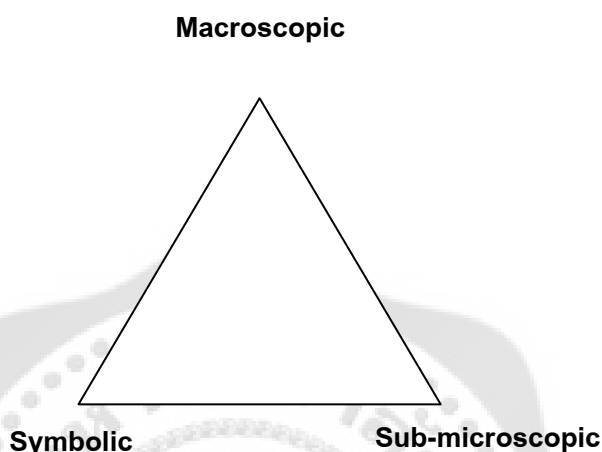


Figure 4 Three Levels of Representation used in Chemistry.

Source: Treagust, David; Chittleborough, Gail; & Mamiala, Thapelo. (2003). The Role of Submicroscopic and Symbolic Representations in Chemical Explanations. *International Journal of Science Education*. 25(11): p. 1354.

The relationship among the three levels of representation is illustrated in Figure 4 where each level is at a corner of an equilateral triangle. No one is superior to another, but all each one complements the other in developing an understanding of the chemistry concept (Johnstone. 2000: 11; Treagust; Chittleborough; & Mamiala. 2003: 1354). The observable chemical phenomena at the macroscopic level are the basis of chemistry. Explanations of these phenomena usually rely on the symbolic and submicroscopic level of representations, which are explained at the particulate level. The particulate level in turn is represented by the symbolic level.

The ability of students to understand the role of each level of chemical representation and the ability to transfer from one level to another is important for chemistry learning. The research of Devetak; Vogrinc; & Glažar (2009: 176) also supported this statement. They suggest that chemistry teachers, when presenting chemistry concepts, should more frequently combine the three levels: macro-, sub-micro-, and the symbolic level

and more efficiently link the students' pre-knowledge with the new topics. Gabel (1993) studied whether student's understanding of chemistry would increase if the particulate nature of matter (sub-microscopic level) was emphasized. He conducted a study involving students in an introductory chemistry course. Introducing extra instruction to the experimental group required students to link the particulate nature of matter to the other levels (macroscopic and symbolic levels). He found that the experimental group performed higher in all levels more than the control group. It seems that this kind of additional instruction is effective in helping students make connections between the three levels in which chemistry can be both taught and understood.

According to Devetak; Vogrinc; & Glažar (2009: 159), Papageorgioua and Johnson (2005), it was reported that the teaching of science phenomena to students aged from 10 to 12 years should originate in macroscopic observations and gradually continue to particle interaction explanations, and finally these explanations ought to translate into the symbolic representations.

Therefore, for improving conceptual understanding in chemistry learning, it is important to help students see the connections between the three representational systems. The strategies that can be used to help the students are discussed below.

5.2 Effective Strategies Assisting Understanding of the Three Levels of Representation

From the literature review, many approaches have been used to help students understand chemistry for the three levels of representation. These include: laboratory activities (Chandrasegaran; Treagust; & Mocerino. 2008. 246; Gabel. 1999: 549); technological tool such as multi-media software and computer animations (Chandrasegaran; Treagust; & Mocerino. 2007: 305; 2008. 247; Tasker; & Dalton. 2006; Wu; Krajcik; & Soloway. 2000); and analogies (Gabel, 1999: 549; Jansoon; Coll; & Somsook. 2009 :151).

5.2.1 Laboratory Activities

In the laboratory, students are provided with opportunities to perform the experiments themselves. They have a chance to practice the science process skills and also observe phenomena and systems (Hofstein; & Lunetta. 2004: 32). It means that, in laboratory learning the students make observations of the changes that occur at the macroscopic level (Gabel. 1999: 549; Hofstein; & Lunetta. 2004: 32).

However, Supasorn (2011: abstract) suggested that performing an experiment/laboratorywork might not be enough to help students understand important concepts at the microscopic level. Chemistry instructors might consider using a simulation, or other visualization tools to help students understand the concepts at the microscopic level and then connect the information to the corresponding macroscopic level.

In conclusion, laboratory activities can provide an opportunity to see the things or activities happen only in the macroscopic level. Therefore, analogies and technological tools can be used to help students understand the other two levels and see the connections between the three levels of chemical representation in order to bring about the conceptual understanding.

5.2.2 Analogies

5.2.2.1 Definition of Analogies

Analogies involve the comparison between two things that are similar in some respects. One is called an analog concept or familiar concept, and the other is called a target concept or unfamiliar science concept (Coll; France; & Taylor. 2005:185; Smith; & Abell. 2008: 50; Orgill; & Bodner. 2004: 15; Treagust; Harrison; & Venville. 1998: 85). Furthermore, analogies can be used for the explanation of unfamiliar phenomena by comparing them to familiar phenomena (Thagard; Cohen; & Holyoak. n.d.: 819).

Analogies could be classified as structural or functional. Structural analogies focus on similarities in appearance or structure between the target concept and the analog concept; for example, “the Earth is like an orange.” Functional analogies link to a behavior, or explain how something operates—“a cell is like a refrigerator” (Smith; & Abell. 2008: 50).

Types of analogies that are mentioned by Thiele; & Treagust (1991: 4-5) include: (1) Verbal Analogies, this type includes only written texts or oral presentations. It is often subtly embedded in the body of the text, the reader is usually left to draw the necessary comparisons and conclusions about the target from the description of the analog; (2) Pictorial Analogies, This kind of analogy allows the textbook author or teacher to pictorially highlight the desired attributes of the analog. Using this analogy helps to provide a greater degree of visualization which reduces the likelihood that the student is not sufficiently familiar with the analog. However, most pictorial analogies are accompanied by some verbal explanation, hence, technically should be referred to as pictorial-verbal

analogies; (3) Personal Analogies, this type is believed to assist students by relating abstract chemical concepts to the students world considerations such as people, money, food, and relationships. Students can be physically involved in a personal analogy, for example, chemistry students may be asked to walk around the classroom in such a manner that their direction of travel is analogous to the motion of electrons through a wire or ionic migration through a solution during electrolysis.

5.2.2.2 Analogies and Three Levels of Chemical Representation

For the three levels of chemical representation, it has been reported that the analogies help students understand the sub-microscopic level or abstract level (Gabel. 1999: 549). Additionally, analogies also help students visualize abstract concepts (Orgill; & Bodner. 2004: 15; Thiele; & Treagust. 1991: 2). They are often used by scientists to explain abstract science concepts (Coll; France; & Taylor. 2005:185). Furthermore, analogies are believed to help compare the similarities of the students' real world with the new concepts, and to motivate students' learning (Thiele; & Treagust. 1991: 6).

5.2.2.3 The Use of Analogies in the Science Classroom

Orgill; & Bodner (2004: 20-23) determined which analogies were useful and not useful for students by interviewing biochemistry students. They found that analogies are very useful when (1) used to explain difficult or challenging target concepts; (2) used to explain or describe objects or processes that are so small that they cannot be seen with the naked eye; and (3) the target concepts are introduced. Analogies are not useful when (1) target concepts are simple or already understood; (2) target concepts are overwhelming that students had to learn them in too short a period of time; and (3) target concepts must be memorized.

The features of good analogies that students can understand are (1) simple; (2) easy to remember; and (3) have familiar analog concepts (Orgill; & Bodner. 2004: 23-24; Smith; & Abell. 2008: 50). According to Treagust; Harrison; & Venville (1998: 85) suggested that when using an analogy in science teaching the teacher should select an appropriate student world analog to assist in explaining the science concept. The analog and target should share attributes that allow a relationship to be identified and contribute to the concept being taught.

In order to make an analogy more effective in classrooms, Orgill; & Bodner (2004: 26-29) reported that the presentation of an analogy in the class should be: (1) tell the purpose of using the analogy and what is expected from the students regarding

the analogy; 2) explain the relationships between the analog and target concepts; (3) not overusing analogies; (4) use visuals when teachers are presenting their analogies; (5) use easy-to-understand words and enthusiasm to present analogies (6) try out the analogies on other students before using them in class. Significantly, Coll; France; & Taylor (2005:188-189) summarized that helping students to understand analogies would be most effective when: learners are helped to understand the role of analogies in the construction of scientific knowledge and to be aware of the strengths and limitations of analogies in describing and explaining scientific concepts; learners are able to construct and critique both their own analogies and scientist's analogies of scientific phenomena; and teachers have a good pedagogical content knowledge about the nature of science—in particular, the role of analogies in scientific communities—and they are also aware of possible analogies that their students may have.

Some models are reported to be useful in teaching with analogies. For example the TWA model and FAR model. Glynn's (1996, 2007) Teaching-With-Analogies (TWA) model helps teachers use analogies systematically and effectively. First the teacher introduces the target scientific concept, such as the cell. Second, the teacher asks students to think about what they know about an analog concept, perhaps Lego. Next, the teacher guides students to identify important features of cells and Lego pieces and to map their similarities (Smith; & Abell. 2008: 50). For the FAR model, Treagust, Harrison, and Venville (1998: 87-92) worked with a group of teachers who modified the TWA model to be more user-friendly in their classrooms. Their model, called FAR (Focus, Action, and Reflection), offers guidelines for thinking about the target, the analog, and the students during each phase of instruction as shown in Figure 5. Focus occurs at the beginning of the lesson, where the teacher analyzes the difficulty of the target concept, what students already know about the concept, and their degree of familiarity with the analog. For example, the teacher would think about difficulties the students might have in understanding cells and how the Lego analogy might help. During the Action phase, teachers help students discuss the features of the target and analog, analyzing their similarities and differences. After the lesson is Reflection, where the teacher considers how the analogy helped students learn and consider the next steps in instruction. After implementing lessons using the FAR Guide, teachers reported increased confidence and enthusiasm in teaching the concept and an increased awareness of the need to establish student familiarity with the analog and help them analyze similarities and differences.

<u>Focus</u>	
Concept	Is it difficult, unfamiliar, or abstract?
Students	What ideas do the students already know about the concept?
Analog	Is it something your students are familiar with?
<u>Action</u>	
Likes	Discuss the features of the analog and the science concept. Draw similarities between them.
Unlikes	Discuss where the analogy is unlike the science concept.
<u>Reflection</u>	
Conclusions	Was the analogy clear and useful or confusing?
Improvements	Refocus as above in light of outcomes

Figure 5 The FAR Guide for Teaching and Learning with Analogies

Source: Treagust, David F.; Harrison, Allan G.; & Venville, Grady J. (1998). Teaching Science Effectively with Analogies: An Approach for Preservice and Inservice Teacher Education. *Journal of Science Education*. 9(2): p.91.

In conclusion, analogies could aid students understand concepts or things/events that happen at the sub-microscopic level and see the connection between macroscopic and sub-microscopic levels. However, analogies should be used carefully. There are a number of models that can be used in teaching with analogies including the TWA model and the FAR model. In this study, analogies were used to connect the concept at macroscopic and sub-microscopic level in the developed learning model. The FAR model was used to teach with analogies.

5.2.3 Technological tools

5.2.3.1 Meaning of Technological tools

Technological tools may refer to a visualization tool (Wu; Krajcik; & Soloway. 2001: 821), multi-media software (Chandrasegaran;Treagust; & Mocerino. 2007: 247; Supasorn. 2011: abstract), computer animation (Chandrasegaran;Treagust; &

Mocerino. 2007: 247), or materials from the internet such as video clips (Chandrasegaran; Treagust; & Mocerino. 2007: 247; Ardac; & Akaygun. 2004: 321).

5.2.3.2 Technological tools and the Three Levels of Chemical

Representation

Technological tools have been used to help students understand the chemical representation such as a molecular-level animation (Tasker; & Dalton. 2006), 3-D molecular modeling software, or eChem (Wu; Krajcik; & Soloway. 2000, 2001), and video clips (Ardac; & Akaygun. 2004).

The research of Tasker; & Dalton (2006: 156) used animation, called VisChem animation that showed molecular-level processes. The result indicated that animations and simulations can communicate many key features about the molecular level effectively and it can link the laboratory level to the symbolic level.

Wu; Krajcik; & Soloway (2000: 822) used the visualizing tool, eChem, that allowed students to build molecular models, visualizing multiple 3-D models, and comparing micro and macroscopic representations to develop the students' understanding of chemical representations (refer to various types of formulas, structures and symbols used in chemistry). Data were collected with the participation of 71 eleventh graders in a high school. The results of the pre- and post-tests show that the students' understanding of chemical representations improved substantially. The analysis of video recordings revealed that several features in eChem helped students construct models and translate representations. Evidence also shows that high engagement students' discussions involved both visual and conceptual aspects of representations, which in turn deepened their understandings of representations.

Ardac; & Akaygun (2004: 321) used video clips that simultaneously displayed chemical changes at the macroscopic level and molecular representations, and integrated with the symbolic representations to enhance students' understanding of chemical changes. The results suggested that the effectiveness of video clips can be improved if instruction includes additional prompting that requires students to attend to the correspondence between different representations of the same phenomena.

From research related to using technology tools, therefore, it can be summarized that these tools have a value for chemistry learning, specifically the chemical representation. The use of technological tools can enhance the student's understanding of the three levels of chemical representation because they illustrate the changes that the

atoms, ions and molecules undergo during chemical reactions, and also reinforce the relationship between the observed changes and the changes at the particulate level (Chandrasegarana; Treagust; & Mocerino. 2007: 305). Additionally, students would have the opportunity to see the connection between the molecular model at the microscopic level and behavior at the macroscopic level (Wu; Krajcik; & Soloway. 2001: 826).

In conclusion, in order to bring about conceptual understanding, laboratory activities, analogies, and technological tools were used to help students understand and see connections between the three levels of chemical representation in the connection step of the developed learning model.

6. Acid-base

Acid-base chemistry is one of the basic concepts and important topics in chemistry. Most of the reactions in daily life are acid-base reactions. Acid-base is one of the chemistry topics considered as abstract and difficult to understand and which research suggests that students frequently have alternative conceptions on acid-base. The details are described below.

6.1 Alternative Conceptions of Acid-Base

The acid-base topic is one of the chemistry topics considered as abstract and difficult to understand (Chaiyapha; Chayajarus; & Chairam. 2011: 139; Demircioğlu; Ayas; & Demircioğlu. 2005: 37; Sheppard. 2006: 32). Many students were unable to accurately describe acid-base concepts (Sheppard. 2006: 32) and hold many alternative conceptions.

The alternative conceptions of acid-base chemistry have been found in literature (Artdej et al. 2010; Özmen; Demircioğlu; & Coll. 2009; Schmidt. 1997) as shown in Table 2.

Table 2 Summarized Students' Alternative Conceptions in Acid-base Chemistry

Content Areas	Alternative Conceptions
Testing Acids and Bases	- The only way to test a sample whether it is an acid or a base is to see if it eats something away (corrosive).
Electrolyte and Non-electrolyte Solutions	- NH_3 and H_2CO_3 are strong acids, thus they are strong electrolytes. - NH_4OH is an alcohol like an organic base such as $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, thus NH_4OH is a non-electrolyte.
Acid-base Theory	- Brønsted-Lowry acids are substances that could accept a proton, for example CO_3^{2-}, NH_3, and HCOO^-. - Both NH_3 and BH_3 are Lewis bases because the molecular formula of BH_3 is similar to NH_3.
Conjugate Acid–Base Pairs	- The conjugate acid is a substance that can accept a pair of electrons. - Conjugate acid of SO_4^{2-} is H_2SO_4. - Conjugate acid–base pairs are a pair of compounds or ions that contain a positive and a negative charged ion such as HPO_4^{2-} and NH_4^+.
Acids and Bases	- All acids and bases have the same electrical conductivity property - All acids and bases are harmful and poisonous. - Acids burn and melt everything. - All bases are ionic compounds. - All bases are corrosive. - Hydroxide ion (OH^-) does not exist in acid solution.
Strong acids	- Strong acids can react with all metals to form hydrogen gas, and the amount of bubbles would represent the strength of an acid. - A strong acid could produce more bubbles when reacting with metal than a weak acid. - A strong acid is always a concentrated acid. - A strong acid does not ionize in water because its intra-molecular bonds are very strong. - Diprotic acids are stronger than monoprotic acids.

Table 2 (Continued)

Content Areas	Alternative Conceptions
Strong acids (Continued)	- Strength of an acid depends on the number of hydrogen atoms in a molecule of acid. - The proton attraction of hydronium ion (H_3O^+) influences the strength of acids. If the proton attraction is high then it is a strong acid otherwise it is weak.
Weak acids	- A weak acid completely ionizes in solution
Dissociation of water	- Pure water is a good conductor. - Pure water is a strong electrolyte. - The addition of an acidic solution to water did not affect the concentration of hydroxide ion (OH^-) or hydronium ion (H_3O^+) in the system because the ionization of water depended on temperature only.
pH of Solution	- pH is only a measure of acidity. - As the concentration of H_3O^+ ions in an acid solution increases the pH of the solution increases. - As the pH value increases the acidity also increases.
Neutralization	- In all neutralization reactions the acids and bases completely react with each other. - When the neutralization reactions are completed, the pH of the product solution is always equal to 7 or the solution is neutral. As well as that there are neither hydrogen ions (H^+) nor hydroxide ions (OH^-) in the resulting solution.
Salts and Hydrolysis	- Salts do not have a pH value. - All salts are neutral. - Electrolysis and hydrolysis are the same.

The evidence in the literature indicated that the sources of students' alternative conceptions in acid–base chemistry were as follows: The concepts were abstract (Sheppard. 2006: 32); Multiple concepts were involved (Özmen; Demircioğlu; & Coll. 2009: 4); Some underlying chemistry, such as the nature of chemical change and the

particulate nature of matter needed to be understood before getting into it (Sheppard. 2006: 32); Lack of agreement about what material should be included in the chemistry curriculum (Sheppard. 2006: 32); Use of different models in acid–base chemistry (Artdej. et.al. 2010: 168); Confusion between acid–base terminology and everyday words (Artdej. et.al. 2010: 168; Sheppard. 2006: 33); Students' and teachers' knowledge not matching (Artdej. et.al. 2010: 169). Complexity of the calculations involved (Sheppard. 2006: 33).

In conclusion, acid-base is an important topic in chemistry. Many high school students have difficulty learning about acid-base and a number of alternative conceptions on acid-base can occur. Thus, this research aims to help upper secondary students get a better understanding for the acid-base topic and find their alternative conceptions.

6.2 Acid-base in the Thai High School Curriculum

According to the Chemistry Textbook Volume 3 (IPST. 2006: 118-214), the acid-base topic encompasses contents which include: electrolyte and non-electrolyte solutions, acids and bases solutions, acid–base theory, conjugate acid–base pairs, the dissociation of acids and bases, the dissociation of water, pH of solutions, indicators for acids and bases, acids and bases solutions in daily life and organisms, acid–base reactions, titrations, and buffers. The instruction of acid–base chemistry may be in either the first or the second semester of Grade 11 or 12 depending on the school curriculum.

The learning objectives of acid-base topic in the Thai science curriculum are as follows (IPST. 2004: 99-100).

- 1) Tell the properties of electrolyte and non-electrolyte solution and identify types of electrolytes.
- 2) Describe the change when acids or bases dissolve in water and identify the type of ion that makes a solution acidic or basic.
- 3) Define the definition and explain the properties of Arrhenius, Brønsted–Lowry, and Lewis acids and bases.
- 4) Identify which molecule or ion is a conjugate acid-base pair in a particular reaction.
- 5) Explain the dissociation of strong acids and strong bases, weak acids and weak bases, and calculate the percent of the dissociation and dissociation constant of weak acids (K_a) and weak bases (K_b).

- 6) Compare the quantity of acid-base dissociation, and calculate the concentration of hydronium ion ($[\text{H}_3\text{O}^+]$) and hydroxide ion ($[\text{OH}^-]$) using the acid and base dissociation constant (K_a and K_b).
- 7) Explain the change of water equilibrium when acids or bases are added and calculate the $[\text{H}_3\text{O}^+]$ and $[\text{OH}^-]$ of that solution.
- 8) Calculate the pH of a solution when given a concentration of hydronium ions ($[\text{H}_3\text{O}^+]$) or hydroxide ions ($[\text{OH}^-]$) and explain the acidity/basicity of a solution from the pH value.
- 9) Explain the reasons for the change in color of indicators and use the pH range of indicator to identify the acidity and basicity of a solution.
- 10) Explain the importance of the pH or the acidity/basicity of a solution in living things and the environment.
- 11) Describe the formation of salt from: (1) acids and bases reactions; (2) reaction between acids or bases and some substances, write an equation of the reaction, and tell the properties of that salt.
- 12) Define the definition of neutralization and write an equation of the reaction.
- 13) Describe hydrolysis of salt in water and write an equation of the reaction.
- 14) Explain the titration method and the choice of an appropriate indicator, and calculate the concentration of the sample solution.
- 15) Draw a titration curve and find the equivalence point, and tell the pH value of solution at equivalence point.
- 16) Explain the change when adding acids or bases to a buffer solution and write an equation to show the pH control of a buffer solution.
- 17) Experiment, collect data, interpret data, and make the conclusion of the following topics.
- 17.1) Some properties of solutions
 - 17.2) The proton donor and acceptor reaction of HCO_3^-
 - 17.3) The conductivity of water
 - 17.4) The reaction between an acid and base solution
 - 17.5) The reaction between acid/base and some chemical substance
 - 17.6) The measuring of the pH of a salt solution using an universal indicator

17.7) Determination of the end point in a strong acid and base titration

17.8) Determination of the equivalent point in a strong acid and base titration

17.9) Choosing the appropriate indicator for an acid-base titration

17.10) Determination of the CaCO_3 quantity in antacids

17.11) The changing of pH in some solutions

In conclusion, the learning objectives of acid-base as mentioned above include both cognitive (conceptual understanding) and psychomotor (scientific practices and skills) domains. All objectives were covered when developing the learning units based on the Acid-base Laboratory Learning Model.

6.3 Research Related to Teaching Acid-base Chemistry

Research studies related to acid-base instruction both in Thailand and other countries are described as follows.

In other countries, the approaches which have been reported to improve acids–bases chemistry teaching and learning include: active-learning instruction based on constructivist approach; conceptual change instruction accompanied with analogies; and combination of laboratory activities and concept mapping.

ÇETİNGÜL; & Geban (2005: 69-73) compared the effectiveness of conceptual change oriented instruction accompanied with analogies against the traditional instruction on eliminating the tenth-grade students' misconceptions on acids and bases concepts and their effect on students' achievement. Forty-seven 10th Grade students from the two classes of the same teacher in a public school at the center of Ankara were enrolled in the study. Students in an experimental group received a conceptual change text oriented instruction accompanied with analogies whereas the control group was instructed by a traditional method. The four weeks course of conceptual change text oriented instruction accompanied with analogies caused a significantly better acquisition of the concepts and elimination of misconceptions more so than the traditional instruction. Thus, the conceptual change oriented instruction resulted in a better conceptual understanding.

Özmen; Demircioğlu; & Coll (2009) determined the effectiveness of a course comprising of a combination of laboratory activities and concept mapping for students' understanding of acid-base chemistry concepts, and in remedying alternative conceptions for these topics. The subjects were fifty-nine Turkish high school students from two 10th

Grade classes. One class was assigned as a course group and the other as the traditional group. It was found that the course could enhance student understanding for acid-base chemistry, and it seemed that the visually dramatic and hands-on nature of the practical work is particularly helpful. This study suggested that combining the pedagogies of laboratory-based activities and concept mapping may be a useful strategy for teaching acid-base chemistry concepts.

Sesen; & Tarhan (2011: 205) investigated the effectiveness of active-learning instruction based on the constructivist approach implementation—which included a variety of specific student-centered instructional strategies such as experimental activities, brain-storming, video presentations, demonstrations, computer animations, and learning together activities that engaged active participation of students in the learning process—on the Turkish high-school students' understanding of acids and bases. The study revealed that active-learning implementation is more effective at improving students' learning achievement and preventing misconceptions rather than teacher-centered instruction.

In Thailand, instructional approaches have been employed in an attempt to improve the teaching and learning of acids–base chemistry which included the jigsaw method; constructivist view of learning; and cooperative learning, which are described.

Artdej (2010: abstract) developed Acid-base Learning Units (ABLUs) based on a constructivist view of learning to improve students' understanding of acid-base chemistry concepts. The ABLUs were implemented with fifty-four 11th Grade Thai students from two classes in a science and mathematics program at a medium-sized public high school in Bangkok by the same chemistry teacher who voluntarily took part in this study. The finding was that the ABLUs were able to improve the students' understanding of acid-base chemistry concepts, particularly in class A, since there was conceptual progress between basic and advanced concepts. The findings suggested that the incorporation of a constructivist approach helped students in understanding concepts better and promoted positive perceptions towards learning.

Chaiyapha; Chayajarus; & Chairam (2011) used the jigsaw method to enhance students' understanding of acid-base chemistry. The findings revealed a statistically significant difference between the intervention and experimental groups in pre-test and post-test scores ($p < .01$). Many students exhibited alternative conceptions for several concepts, consisting of electrolytic and non-electrolytic solution, ion in acids and bases solutions, acids and bases theory, dissociation of strong and weak acids and bases, dissociation of water, and neutralization. This research was more enjoyable and helpful in enhancing

students' conceptual understanding of acid-base chemistry which also reduced alternative conceptions.

Abdulhanung; Supasorn; & Samphao (2012) used cooperative learning approach coupled with science projects to develop students' comprehension and students' scientific methods of acid-base. The paired samples t-test analysis indicated that the students obtained a post-achievement score statistically higher than the pre-achievement score at $p < 0.05$ as the score progress was 9.22 or 28.82%. For the science project, the average scores for scientific method and the overall science project were both at a good levels of 72.52% and 71.64%, respectively. Therefore, the cooperative accompanied with science project learning approach was effective to enhance students' comprehension as well as science process skills.

In conclusion, the use of a deliberate instructional approach has been reported to enhance students' conceptual understanding of acid-base both in Thailand and other countries based on constructivist learning theory. Besides, the combination of learning theory and the other strategies is an effective approach for developing acid-base conceptual understanding.

However, the researches as mentioned above have not developed all three domains simultaneously to include: conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude towards chemistry. Those approaches are not suitable for developing all three main goals.

Therefore, the laboratory learning model using social constructivist approach and the connection between the three levels of representations were developed to promote conceptual understanding of acid-base, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning. Everyday materials were used for seeing the relationship of in school learning and the real world. Analogies and technological tools were used to help students in making a connection between the three levels of chemical representation.

CHAPTER 3

Methodology

This chapter reports on the processes for the development and evaluation of the effectiveness of the Acid-base Laboratory Learning Model for upper secondary students in Thailand. The processes are described as follows:

1. Research Participants
2. Research Instruments for the Study
3. Research Procedures
 - Phase I: Collecting Preliminary Data
 - Phase II: Developing the Acid-base Laboratory Learning Model
 - Phase III: Implementing the Acid-base Laboratory Learning Model
 - Phase IV: Evaluating the Effectiveness of the Acid-base Laboratory Learning Model
4. Related Statistics
5. Ethical Issues in Data Collection

1. Research Participants

The research participants in this study included: (1) the researcher, (2) a chemistry teacher, and (3) upper secondary students. The details are as follows.

1.1 The Researcher

The researcher developed the Acid-base Laboratory Learning Model, developed research instruments, and conducted teacher training for the use of the learning model. During Phase I and Phase III the researcher was an observer of the instructional process in classrooms and the role of the researcher was as a non-participant observer. After the implementation phase the researcher analyzed and interpreted all data for evaluating the effectiveness of the learning models.

1.2 The Participating Chemistry Teacher

The teacher who participated in this work was Miss Dang (Anonymous name). She had been teaching chemistry for twenty years in the upper secondary school levels. In this research she was observed by the researcher for her normal classroom activity in teaching the acid-base topic in Phase I (2013 academic year). After the Acid-base Laboratory Learning Model was completely developed, Miss.Dang was prepared for a good

understanding of the learning unit according to the Acid-base Laboratory Learning Model, instructional material and role of teacher. Then she taught the students using the developed Acid-base Laboratory Learning Model in Phase III (2014 academic year).

1.3 Participating Students

The students who participated in this work were 11th Grade science students from a school in the Chonburi province. This province is only about eighty kilometers from the capital city Bangkok. The school was selected by convenience sampling from the public secondary schools in Thailand that learn the acid-base topic using the IPST textbooks. There were four science classrooms in each grade level. One classroom was the “gifted-science classroom” with students that learned with a special curriculum, another three classrooms were the normal classrooms that learned science using the IPST textbooks. Nevertheless, one of normal classrooms was taught by a student teacher. Students in two of the science classrooms who learned with the IPST textbooks were selected to participate in this study. The two 11th Grade science classrooms in the second semester of the 2013 academic year participated in Phase I as a control group by learning with normal teaching with no treatment added. Another two 11th Grade science classroom in the second semester of 2014 academic year participated in Phase III as an experimental group by learning with the Acid-base Laboratory Learning Model which was developed for this research. The role of students in both control and experimental groups were engaged in acid-base classroom learning, with tests, interviews, and questionnaires administered between and after learning.

2. Research Instruments for the Study

Research instruments for this study were categorized into two parts as follows:

2.1 The Acid-base Laboratory Learning Model and the Learning Unit

A process of developing the Acid-base Laboratory Learning Model and the Learning Unit according to this learning model were discussed in the research procedure Phase II.

2.2 The Research Instruments for Collecting Data

The research instruments for collecting both quantitative and qualitative data in this study included: (1) an acid-base conceptual understanding test, (2) integrated science process skill test, (3) an attitude towards chemistry laboratory learning questionnaire,

(4) classroom observation form, and (5) an interview protocol. The process of developing each research instrument was described as follows.

2.2.1 Acid-base Conceptual Understanding Test (ABCUT)

The acid-base conceptual understanding test was developed to determine the upper secondary students' understanding of acid-base concepts. The test had a multiple choice format which consisted of thirty-two items, covering twelve concepts. The processes of the development is illustrated as follows:

1) Determining content areas and concepts in the acid-base topic. These were based mostly on a list which appeared in the Chemistry Textbook Volume 3 of the Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST), Thailand (2006: 118-214). The main content areas and concepts in the acid-base topic comprised of 12 concepts: electrolyte and non-electrolyte solution; acid-base theory; conjugate acid-base pairs; dissociation of water; pH solution; dissociation of strong acids or bases; dissociation of weak acid-base; indicators; acid-base reaction; hydrolysis; titration; and buffer solution.

2) Determining objectives based on the definition of conceptual understanding of acid-base concepts. The conceptual understanding defined in this research includes the ability to explain, give an example, interpret, and apply the concepts to solve various chemical problems and phenomena.

3) Constructing the test items and each item included four choices. There were three to four items for each concept, thus a total of forty items were developed to cover twelve concepts of acid-base. The information from literature related to the students' conceptual understanding and alternative conceptions about the acid-base chemistry concepts was used for constructing the questions and choices (Chin; Lin; & Liang. 2011; Kousathana; Demerouti; & Tsapalis. 2005; Özmen; Demircioğlu; & Coll. 2009; Sesen; & Tarhan. 2011). Some questions were adapted from the questions in the research of Artdej, et al. (2010) and Bowen; & Bunce (1997:13).

4) Verifying the content validity. For the content validity and error reduction the items were evaluated by three chemistry educators. The index of consistency (IOC) was used for determining a content validity. Then, the test was improved following the experts' suggestions.

5) The test was piloted with a total of eighteen students to establish the time to complete the test and to improve the language used. The test length was approximately sixty minutes.

6) Examining and identifying the reliability of the test. The test was administered to three classrooms of a school consisting of one hundred and ten students who had already been taught the acid-base topic. Subsequently, the score of those students was used for the testing item discrimination (r) using the upper and lower 27% of the sample group technique. Finally, the test consisted of twenty-five items. The reliability of the test was calculated by KR-20 and it was 0.73. The discrimination index of twenty-five items ranked from 0.20-0.63 with the exception of two items. These two items which asked about the neutralization ($r=0.03$) and reactions of acids ($r=0.03$), were not cut out because they were important concepts that students should understand correctly. The results are shown in Appendix B.3. The revised version is shown in Appendix C.1.

2.2.2 The Integrated Science Process Skills Test (ISPST)

The integrated science process skills test was developed to measure the integrated science process skills of students. The test covered five integrated science process skills including: identifying and controlling variables, formulating hypotheses, defining variables operationally, experimenting, and interpreting data and making conclusions. The questions were related to the chemistry content for students at the high school level. The test was a paper-and-pencil test and consisted of thirty items of multiple choice with four options, with six items for each skill. The procedure for constructing the science process skills test is listed as follows:

1) Making a definition for each skill and determining the objective of the test items. The definitions of integrated science process skills are as follows.

- Formulating hypotheses means an ability to state the expected outcome of any experiment or problem. The statement shows the relationship of independent and dependent variables that could be tested through experimentation.

- Identifying and controlling variables means the ability to identify independent variables, dependent variables, and control variables

- Defining variables operationally means the ability to determine the definition and scope of a variable that can be measured and observed in an experiment.

- Experimenting means the ability to select the equipment, design process and conduct an experiment in order to find the answer from the formulated hypotheses.

- Interpreting data and making conclusions means the interpretation or description of the experimental data and conclusions of the relationship between variables of the data.

2) Constructing the test items. The questions in the test items were of well-known situations related to the chemistry content for upper secondary students with a total of thirty items. Some questions in the test were adapted from literature (Bunnag, 2005: 138-142; Dillashaw; & Okey. 2006: 603-604; & Enger; & Yager. 2001).

3) Examination of the science process skills test by advisors and revision of the test following the advisors' suggestions.

4) Verifying the content validity. The relationship between questions, measured skills, and wording was examined by the three experts. The IOC is used for determining the content validity. The items with an IOC above 0.50 were selected. Only two items (item 5 and 25) had an IOC less than 0.50, however, these items were revised following the experts' suggestions.

5) The test was piloted with eighteen students to establish the time to complete the test and to improve the language used.

6) The test was administered to three classrooms of one hundred and ten upper secondary students in a school. The students' responses were scored individually by marking +1 for a right answer and 0 for a wrong one. The scores of these students were consequently used for calculating the reliability (KR-20) of the test, item difficulty (p) and discrimination index (r). Finally, the test consisted of twenty items. It was found that the reliability (KR-20) of the test was 0.78 which was higher than the generally acceptable value of 0.7 up (Worakam. 2011: 297). The discrimination index ranked from 0.32-0.79. Only one item has a discrimination index less than 2.00 (0.17). However, this item had a difficulty index of .45 which was an acceptable value. The results here indicated that the test was valid to measure high school students' integrated science process skills in a chemistry classroom. The results are shown in Appendix B.4. The revised version is shown in Appendix C.2.

2.2.3 Attitude towards Chemistry Laboratory Learning Questionnaire (ACLLQ)

The attitude toward chemistry laboratory learning questionnaire was developed as opinion statements using five-point Likert scales starting from strongly agree

to strongly disagree. Each statement reflected the feeling of a student as either the students 'like or dislike', or 'valuing or non-valuing' when engaging in chemistry laboratory learning. The processes of developing the attitude toward chemistry laboratory learning questionnaire are detailed as follows:

1) Making a definition of attitude toward chemistry laboratory learning. In this study, an attitude object was chemistry laboratory learning. The chemistry laboratory learning refers to learning chemistry via laboratory activities. The "attitude toward chemistry laboratory learning" means students like or dislike, valuing or non-valuing to engage in chemistry laboratory learning.

2) Constructing statements which reflected positive or negative feelings toward chemistry laboratory learning. The constructed statements were categorized into 4 aspects: (1) the importance of a laboratory in chemistry learning; (2) the difficulty of chemistry laboratory; (3) the interest of chemistry laboratory; and (4) the usefulness of chemistry laboratory (adapted from Salta; & Tzougraki. 2004: 538). Nonetheless, some statements were adjusted from previous studies which included Rompayom (2010: 283-286); Salta; & Tzougraki (2004: 545-546); and Cheung (2009: 79). The remaining statements were created by the researcher to complete the questionnaire. The questionnaire had a total of thirty-four statements with seven to ten statements for each category, and consisted of both favorable and unfavorable statements toward chemistry laboratory learning.

3) Examining the questionnaire by advisors and revising the test following their suggestions.

4) Verifying face validity by three experts. The experts verified the face validity between the purpose of each category and each statement. Then, it was improved following the experts' suggestions.

5) Pilot study with a small group of students for comprehension. The questionnaire was verified an understandable language by eighteen high school students who were not the target group. The questionnaire then was revised to be better understood.

6) Field testing the questionnaire. The questionnaire was administered to three classrooms (110 students) of upper secondary students in a school.

7) The reliability of the test was calculated by Cronbach alpha (α) coefficient. The favorable statements were scored from 1 to 5 and the unfavorable

statements were scored in the reverse order. The reliability (α) was 0.92. The results are shown in Appendix B.5. The revised version is shown in Appendix C.3.

2.2.4 Classroom Observation Form

A classroom observation form was developed to collect the data for answering the research question 'How does the Acid-base Laboratory Learning Model affect students' conceptual understanding of acid-base, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning?' The procedures for developing the classroom observation form are listed as follows.

1) Identifying the purpose of classroom observation. In this study, the aims of the observation were to study the environment of acid-base classroom teaching, and to study the factors that promote students' conceptual understanding, integrated science process skills and attitude toward chemistry laboratory learning.

2) Reviewing the related research literature about improving conceptual understanding (Gabel. 1999), integrated science process skills (Hofstein; & Lunetta. 2004; Berry; et al. 1999), and attitude toward science (George. 2000; Papanastasiou; & Papanastasiou. 2004)

3) Constructing the issues/main points of observation based-on the information from literature review. The issues of observation were: position of the students and teacher in classroom, teaching approach, objective of learning, focusing on prior knowledge, classroom materials, laboratory learning and skills that have been used, using familiar chemicals in laboratory, conceptualization after laboratory learning, linking acid-base learning with everyday life, connection to the three levels of representation, the approach to explain the abstract concepts, student-student and teacher-student interaction, cooperative learning, and application of knowledge.

4) Examination by the advisors and revision.

5) Verifying face validity by three experts. The three experts verified the face validity between the purpose of classroom observation and issues in observation then it was revised following their suggestions. The results are shown in Appendix B.6. Some items were revised following the experts' suggestions. The revised version is shown in Appendix C.4.

2.2.5 Interview Protocol

An interview protocol is the set of questions to be presented to the informants. The interview protocol that was used in this inquiry consisted of an interview protocol for students and for the teacher. The protocols were developed by the researcher in the form of a semi-structured interview to collect the data for answering the research question, 'How does the Acid-base Laboratory Learning Model affect students' conceptual understanding of acid-base, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning?' The procedures for developing each protocol are described as follows.

2.2.5.1 The Interview Protocol for Teacher

1) Identify objectives of interview. The objective of the interview was to get feedback from the teacher about acid-base teaching and learning.

2) Reviewing the related literature and constructing the issues in the interview. The issues in the teacher's interview were: background information; objective of acid-base teaching and learning; acid-base teaching approach; the strength of the teaching approach; the weakness of the teaching approach; the satisfaction towards the teaching approach; the obstacles of acid-base learning; laboratory in acid-base learning in terms of frequency, objective, activities, and problems; and the reasons of not using the laboratory.

3) Examination by the advisors and revision.

4) Verifying face validity by three experts. The experts verified the face validity between the objective of the interview and the issues. The result are shown in Appendix B.7. Some items were revised following the experts' suggestions. The revised version is shown in Appendix C.5.

2.2.5.2 The Interview Protocol for Students

1) Identify objectives of interview. The objective of the interview was to study the students' views about acid-base teaching and learning.

2) Reviewing the related literature and constructing the questions/issues of the interview. The questions/issues were: What are the objectives of acid-base learning?; How did the teacher teach?; What do you think about the teaching approach that the teacher used in terms of strength, weakness, and satisfaction?; the obstacles of acid-base learning; laboratory in acid-base learning in terms of frequency, objective, activities, and problems; and the reasons of not using the laboratory.

3) Examination by the advisor and revision.

4) Verifying face validity by three experts. The experts verified the face validity between the objective of the interview and questions/issues. The results are shown in Appendix B.7. Some items were revised following the experts' suggestions. The revised version is shown in Appendix C.6.

3. Research Procedures

The type of research design used in this study was a mixed method design. Creswell (2005: p.510) defined a mixed method research design to be "a procedure for collecting, analyzing, and mixing both quantitative and qualitative data in a single study to understand a research problem, which is a legitimate inquiry approach". The mixed method study can be conducted, (1) when there is both quantitative and qualitative data and to provide a better understanding of a research problem. (2) to follow up a quantitative study with a qualitative one to obtain more detailed specific information than can be gained from the results of statistical tests. (3) to incorporate a qualitative component into an otherwise quantitative study.

A mixed method design can be categorized into three types (Creswell. 2005: 513): (1) The triangulation mixed method design simultaneously collects both quantitative and qualitative data, merge the data, and use the results to understand a research problem. (2) The explanatory mixed method design consists of first collecting quantitative data and then collecting qualitative data to help explain or elaborate the quantitative results. (3) The exploratory mixed method design is the procedure of first gathering qualitative data to explore a phenomenon and then collecting quantitative data to explain a relationship found in the qualitative data.

In the quantitative study, the experimental design was a nonequivalent (pre-test and post-test) control-group design as illustrated in Table 3. In this design, a popular approach to quasi-experiments, the experimental group (E) and the control group (C) were selected without random assignment. Both groups took a pre-test and post-test. Only the experimental group received the treatment (Creswell. 2003: 169).

Table 3 Nonequivalent (Pre-test and Post-test) Control-group Design

Group	Pre-test	Treatment	Post-test
C	O _____	- _____	O
E	O _____	X _____	O

This notation is as follows (Creswell. 2003: 167; citing Campbell; & Stanley. 1963: 6):

X represents and exposure of a group to an experimental variable or event, the effects of which are to be measured.

O represents an observation or measurement recorded on an instrument.

The left-to-right dimension indicates the temporal order of procedures in the experiment.

For qualitative data, the findings of qualitative data were accurately found and triangulated, which is a process of corroborating evidence from different individuals (a teacher and students), and types of data (classroom observation and interviews) in descriptions and themes of the data findings.

Furthermore, this research was carried out using two complementary studies (Webb; & Treagust. 2006). The first study was carried out in the 2013 academic year. The purpose of the first study was to collect the data of acid-base normal classroom teaching, which was the control group, via quantitative testing and qualitative classroom observations and interviews. The second study was carried out in the 2014 academic year. The participants in the study formed the experimental group. They were taught through using the Acid-base Laboratory Learning Model. The quantitative and qualitative data were also collected in the same way as the control group.

From the research design as mentioned above, the process of developing and evaluating the effectiveness of the Acid-base Laboratory Learning Model was divided into four phases as shown in Figure 6.

3.1 Phase I: Collecting Preliminary Data

The aim of the preliminary data collection was to collect the data of the normal classroom teaching on acid-base, which was a control group, using both quantitative and qualitative research instruments. In addition, the qualitative data from this phase was used

to develop the Acid-base Laboratory Learning Model and learning units based on the developed learning model.

The data collection of the control group was performed in the second semester of the 2013 academic year with two 11th Grade science classrooms. The collected data in this phase had no any treatment. Only normal acid-base classroom teaching took place. The collection of both quantitative and qualitative data is described as follows.

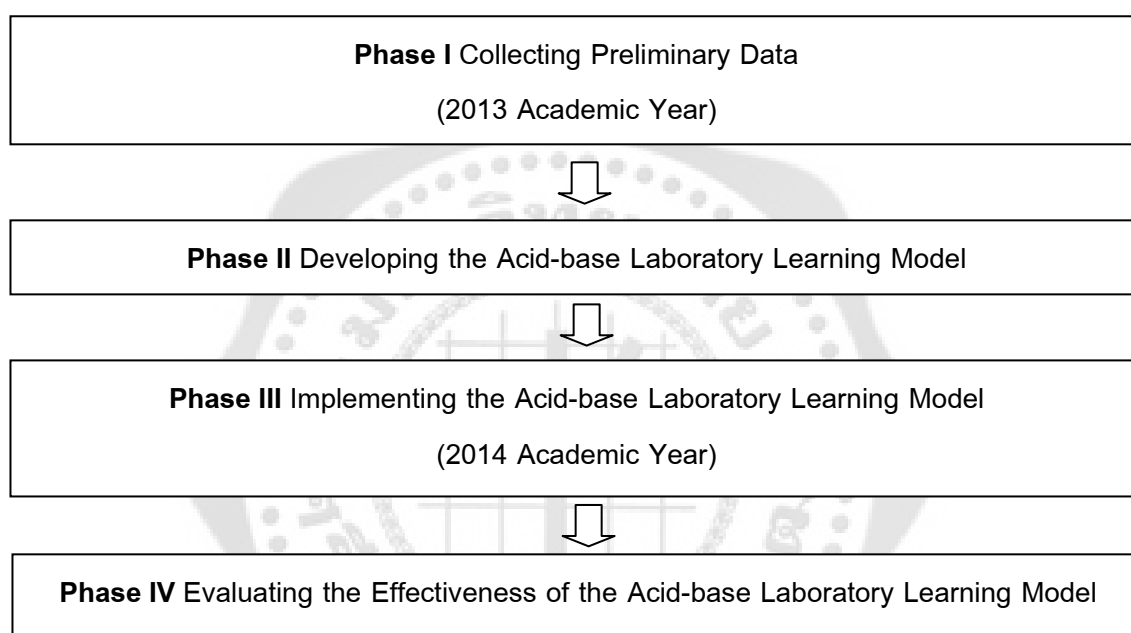


Figure 6 The Research Process

3.1.1 Quantitative Data Collection

The acid-base conceptual understanding test and integrated science process skills test were administered to two classrooms before the acid-base instruction as a form of pre-test. After completing the acid-base topic, the tests were employed as a post-test.

3.1.2 Qualitative Data Collection

Classroom observation carried out during normal acid-base classroom teaching. Non-participant observation was used for observation of the classrooms. The researcher was a non-participant observer as an outsider sitting on the periphery or at some advantageous place to watch and record the phenomena under study (Creswell.

2005: 212). In this study, the researcher was sitting at the back of the classroom taking a fieldnotes using a structured observation form as an instrument and using videotape to record the social situation of an individual, group as well as the whole class.

A semi-structured interview of the students was conducted, after finishing the normal classroom teaching on acid-base topic, with a total of 18 students from the two classrooms with six low, medium, and high scoring students. The interview type was a one-on-one interview—a data collection process in which the researcher asks questions and records only one participant in the study at a time (Creswell. 2005: 215). The meeting was held in a private room at the school site. The interviews were recorded on a recorder and then the transcript of the interview was prepared immediately after the interview.

A semi-structured interview of the teacher was conducted after finishing the acid-base topic. Before the interview, the teacher read the open-ended questions on the interview protocol and then the researcher interviewed the teacher. The interview was recorded on a recorder and then the transcript of the interview was prepared immediately after the interview.

3.2 Phase II: Developing the Acid-base Laboratory Learning Model

The aim of this phase was to develop the Acid-base Laboratory Learning Model and to design a learning unit based on the learning model in order to promote the upper secondary student's conceptual understanding of acid-base, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning. This phase was composed of two stages: (1) developing the Acid-base Laboratory Learning Model, and (2) designing the learning unit based on the learning model. The details of each stage are described as follows.

3.2.1 Developing the Acid-base Laboratory Learning Model

1) Studying and analyzing the data relating to high school acid-base teaching and learning in the Thai context. The data was derived from: (1) the study of the Thai high school students' perspective on chemistry and laboratory learning by a researcher using an open-structured interview protocol. The subjects were 30 high school students in the 2011 academic year from a school in the Chonburi province (Seetee. 2012: 29); (2) classroom observation and a teacher's interview with the control group in the 2013 academic year (Phase I). The information was summarized as follows.

- Mostly teacher-centered with a lecture-type format used. Students were passive in the learning process. They only listened to their teacher, wrote notes, and used textbooks and worksheets as a learning material (from observation).

- The teaching approach that the students preferred and enjoyed the most was laboratory learning, which they said was fun and helped them to understand the chemistry concepts as well as enhance their science process skills (Seetee. 2012: 29; Students' interview. 2013). However, in a practice in acid-base classroom there were no experiments conducted in a chemistry classroom (from observation).

- Students did not know the aims or learning objectives before learning (from observation).

- There was a time limit for learning the acid-base topic. This was the last topic in the second semester of the academic year. Actually, according to the IPST science curriculum the time should have been twenty-eight periods to be used for the acid-base learning (IPST. 2004: 113), but in practice there were only five weeks with a total of fifteen periods (from observation) because in the second semester there were many school activities that the students had to do and the classes had to be canceled such as for Sports Day and School Day.

- Acid-base is a topic that students feel is difficult (Seetee. 2012: 29)
- Acid-base topic has many abstract concepts. The teacher did not know how to explain them (Miss Dang. 2013: interview).

2) Studying the related literature concerning conceptual understanding, integrated science process skills, attitude toward science, chemistry teaching and learning, laboratory learning, learning theory, and why chemistry being difficult.

3) Developing the learning model. The development of the learning model was based on laboratory learning, social constructivism, and the connection between the three levels of chemical representation as follows.

3.1) Laboratory learning

Laboratory learning has been proven by many researchers to provide many benefits. Laboratory learning enhances conceptual understanding, science process skills and attitude toward science which are the vital outcomes of science education which were emphasized in this study. However, the use of only laboratory learning in teaching and learning might not result in the successful learning outcomes caused by several factors as follows:

- Learning without regard for social-cultural influence (Hodson. 2001: 17).

- Lack of connection between the new knowledge from laboratory learning and students' prior knowledge (Berry; et al. 1999: 28).

- Doing laboratory for theory or concept confirmation that the students already knew but not for constructing their own concept nor for connecting the concept with theory (Kirschner; & Meester. 1988: 85).

- Lack of prompting students to apply the science processes skills in laboratory work (Berry; et al. 1999: 28).

- Students do not know aims and purposes when doing the experiment (Berry; et al. 1999: 30; Shah; Riffat; & Reid. 2007: 78).

Many research studies on laboratory learning stated that the laboratory activity could be effective if it was integrated with the learning theory like social constructivism. Thus, in this study social constructivism was integrated in order to fulfill the deficiencies in laboratory learning.

3.2) Social constructivism

Social constructivism views learning as an active process in which learners actively construct their own knowledge. Knowledge building is not a lonely process instead it is a process created by sharing experiences and discovering meanings together with peers and teachers through dialogue and interpersonal-social communication. The teaching and learning framework of social constructivist learning theory consists of six essential features as follows.

i) Students are active learners with the teacher acting as a facilitator or scaffolder.

ii) Awareness of students' prior knowledge and alternative conceptions.

iii) Learning requires social interaction and collaboration.

iv) Students' construct his/her own knowledge from the new learning, prior knowledge and social interaction.

v) Providing students with opportunities to apply concepts learnt.

vi) In-school learning experience should be related to daily life experience.

3.3) Three levels of representation

The nature of chemistry knowledge which exists in the three levels of representation: macroscopic, submicroscopic and symbolic levels makes chemistry be more difficult. Understanding the knowledge for the three levels of representation and see the connections between them would bring about the conceptual understanding and understanding of the abstract concepts.

Hence, enhancing the conceptual understanding of acid-base, integrated science process skills and attitude towards chemistry laboratory learning should have the following key features.

- Consideration of the teacher's and students' roles. Students act as active learners and teachers act as facilitators. In order to achieve the conceptual understanding that knowledge is not transmitted and students need to build it themselves.
- Review background knowledge. Students should prepare the background knowledge related to the topic before learning. If students have sufficiently understood the background knowledge then additional concepts could be easily understood.
- Probing students' prior knowledge. Teachers should know the existing students' knowledge which would be a starting point for constructing the scientifically acceptable concepts. Teachers should also know if the students concepts are alternative concepts or not because the teacher can help the students to correct their concepts after learning.
- Doing experiments. Students should have a chance to practice and develop the integrated science process skills. For students it would be fun and it might have a positive attitude effect toward chemistry laboratory learning and It could bring about an understanding for the acid-base concept more easily.
- Consideration of using everyday materials in experiment. This helps students to see the link between chemistry in the classroom and their everyday life. It also dissipates the gap between school and real life.
- Connecting the chemical concepts of the three levels of representation. This solves the problem of the teacher's difficulty regarding how to explain the abstract concepts. Students would be able to deeply understand many abstract concepts.
- Conclusion or construction of knowledge by the students. The knowledge should be constructed by individuals from new learning, prior knowledge, and social interaction. Use of words in constructing knowledge plays a crucial role in the

development of their thoughts and cognitive development and brings about conceptual understanding.

- Social interaction. Knowledge building and skill development is not a lonely or individual operation but rather it is a process crated together with peers and teachers. It help students to do more than they could do by themselves.

- Application of the students' knowledge/concepts. This helps students to see the benefits and to link knowledge with their everyday lives. They could also perceive that learning is meaningful.

- Informing about the aims of learning and experimentation. This involves not only informing about the aims of experiments but should also inform about the objectives before each learning event.

In conclusion, the learning processes in the Acid-base Laboratory Learning Model are composed of six steps. The aims and sources of each step are shown in Table 4.

Table 4 The Aims and Sources of the Steps in the Acid-bas Laboratory Learning Model

Step	Aims	Sources
1. Introduction	- To review background concepts or knowledge needed for learning - To inform about the learning objective - To encourage student interest	- Students' Interview - Classroom observation
2. Elicitation	- To probe students' prior knowledge and experience	- Social constructivism
3. Experimentation	- To practice the integrated skills - To have fun - To see the macroscopic level	- Laboratory learning - Students' interview - Classroom observation - Three levels of chemical representation
Consideration of using everyday materials	- To connect with their daily life	- Social constructivism

Table 4 (Continued)

Step	Aims	Sources
Consideration of social interaction and collaboration	- To help students build his/her own knowledge and develop the integrated skills	- Social constructivism
4. Connection	- To link the macroscopic level with the submicroscopic and symbolic levels - To understanding the abstract concepts	- Three levels of chemical representation - Teacher's interview
Social interaction and collaboration	- To help students develop their conceptual understanding	- Social constructivism
5. Conceptualization:	- To conclude or construct the knowledge in his/her own word.	- Social constructivism
Social interaction and collaboration	- To help students develop their thoughts and bring about the correct conceptual understanding	- Social constructivism
6. Application	- To make learning is more meaningful - To make a link between chemistry in the classroom and students' everyday lives	- Social constructivism

The first draft of the learning model comprised of six steps as follows.

Step 1 Introduction: Recap the concept and skills from the last lesson, and review basic concepts or knowledge needed for learning. Students are then engaged in the topic using various techniques and are encouraged to ask questions related to the topic. Finally, the teacher introduces the objectives of teaching and learning.

Step 2 Elicitation: Individual students answer their own questions in step 1 and other questions related to the topic based on the students' prior knowledge and experience.

Step 3 Experimentation: Students doing an experiment (guided and open inquiry) in a collaborative group to promote social interaction. The students learn the chemistry phenomena at a macroscopic level and are motivated to use the integrated science process skills. The teacher acts as a scaffolder to support students while doing experiments. The experiments use chemicals or materials used in the students' daily life.

Step 4 Connection: Students link the macroscopic level that they have seen in step 3 with the sub-microscopic and symbolic levels. The teacher acts as a scaffolder to encourage students to see the relationships between the representations. Models, analogies, animations, and video clips could be used to help the students to connect the three levels of representation. Then, the teacher provides explanations to develop the knowledge of the topic.

Step 5 Conceptualization: The Individual students construct his/her own concepts by connecting the concepts of new knowledge, prior knowledge, and knowledge derived from social interaction. The teacher acts as a scaffolder to help students conduct complete concepts.

Step 6 Application: Students apply the concepts they have learned to explain the phenomena in the real world or everyday life. The phenomena include problems of different situations both conceptual and numerical. The application aims to make learning be more meaningful and link chemistry in the classroom with the students' everyday life.

4) Writing the draft of the the Acid-base Laboratory Learning Model which was composed of eight sections: (1) Background, (2) Theory/principles, (3) Purposes, (4) Processes, (5) Teacher and student's roles, (6) Assessments, (7) Outcomes, and (8) Suggestions.

5) Examination of the draft of the Acid-base Laboratory Learning Model by advisors and revision following their comments and suggestions.

6) Verifying the appropriateness and the consistency (using the index of consistency (IOC)) of the draft acid-base laboratory learning model by five experts. If the Acid-base Laboratory Learning Model had the level of appropriateness higher than 3.50 then it would mean the learning model was appropriate (Cojorn. 2011: 75) and if the IOC was higher than 0.5 then it would mean that the components of the learning model would have internal consistency (Cojorn. 2011: 75).

7) Revision of the learning model based on comments and suggestions of experts.

3.2.2 Developing the Learning Unit based on Acid-base Laboratory

Learning Model

The processes of developing the learning unit based on the Acid-base Laboratory Learning Model are described as follows.

1) Studying the acid-base content from several resources such as textbooks and related literature.

2 Analyzing the content areas and main concepts needed to be taught to the students and which the students need to learn. The content areas and main concepts were in accordance with the Chemistry Textbook Volume 3 of the Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST), Thailand (2006: 118-214).

3) Organizing the content areas and concept of acid-base. The acid-base content areas were arranged from easy to difficult concepts and following the prioritisation of what the students need to know step by step.

4) Developing the draft of the acid-base learning unit. The learning unit was composed of;

- Basic information: This was a description of the Acid-base Laboratory Learning Model comprising of: 1) background, 2) theory/principle, 3) purpose, 4) process, 5) teacher and student's role, 6) assessment, 7) outcome, and 8) suggestions.

- Overview: This comprised of an overview of the lesson plan, learning objective, and concepts.

- Lesson plan: The lesson plan comprised of; topic, time usage, learning objectives, learning concepts, learning activities, materials, and assessments. The learning activities in the lesson plan were to carry out the process of the developed acid-base laboratory learning model. In addition, it also included worksheets, for example, experiments, exercises, additional knowledge, and answer keys.

5) Determining the quality of the learning units and instructional materials. There was verification by three experts. Then revision of the lesson plans were carried out as suggested by the experts.

6) Conducting a pilot study. The learning unit based on the Acid-base Laboratory Learning Model was tried out as a pilot study to investigate the suitability of time, language used, and other factors. Then, improvements were made according to the pilot study information.

3.3 Phase III: Implementing the Acid-base Laboratory Learning Model

The aim of this phase was to implement the Acid-base Laboratory Learning Model and to collect the data of the experimental group which learnt with the Acid-base Laboratory Learning Model using both quantitative and qualitative research instruments.

3.3.1 Implementing the Acid-base Laboratory Learning Model

The Acid-base Laboratory Learning Model was implemented with two 11th Grade science classrooms (total 86 students) in the second semester of the 2014 academic year which was the experimental group. The same teacher as in the phase I taught these students using the Acid-base Laboratory Learning Model. Before implementing the Acid-base Laboratory Learning Model with the experimental group the researcher prepared the teacher to have a good understanding of the Acid-base Laboratory Learning Model. The researcher was an observer during the acid-base classroom teaching with the Acid-base Laboratory Learning Model.

3.3.2 Data Collection

The procedure for the data collection of the implementation of the Acid-base Laboratory Learning Model was the same as that in Phase I. Multiple methods of data collection were employed such as; examination of students' conceptual understanding of acid-base, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning; classroom observation and semi-structured face-to-face interviews of the teacher and students.

The ABCUT and ISPST was administered before using the Acid-base Laboratory Learning Model as a form of pre-test. After completing the teaching with the Acid-base Laboratory Learning Model, the ABCUT, ISPST, and ACLKQ were employed as a post-test.

Classroom observation was carried out during the acid-base teaching with the Acid-base Laboratory Learning Model. Non-participant observation was used for the observation of two classrooms. The researcher was the nonparticipant observer at the back of the classroom taking fieldnotes using a structured observation form as an instrument and video recording the social situation of individuals, groups, and the whole class.

A semi-structured interview of the students was conducted after completing the treatment with a total of eighteen students from two classrooms; six each of low,

medium, and high score students. The one-on-one interviews were done and recorded on a recorder.

A semi-structured interview of the teacher was conducted after finishing the acid-base learning unit according to the Acid-base Laboratory Learning Model. The teacher read the questions on the interview protocol and then the researcher asked the teacher to answer the questions. The interview was captured on a video recorder.

3.4 Phase IV: Evaluating the Effectiveness of the Acid-base Laboratory Learning Model

The aim of this phase was to analyze the effectiveness of the Acid-base Laboratory Learning Model. The quantitative data from the three tests were used to answer research question 1. The result of the qualitative data analysis was used to answer research question 2. The quantitative and qualitative data were used to explain the effectiveness of the Acid-base Laboratory Learning Model. The data analysis is described as follows.

3.4.1 Quantitative Data Analysis

The results of the pre-test and the post-test for the control and experimental groups were analyzed. The post-test scores of the control and experimental groups were statistically compared to answer the research hypotheses for determining the effectiveness of conceptual understanding, integrated science process skills and attitude towards chemistry laboratory learning as follows.

1) An independent t-test at a .05 level of significance was used to compare the mean score of acid-base conceptual understanding between the control group and the experimental group to find out if the students' conceptual understanding on acid-base of experimental group would be statistically significantly higher than the control group.

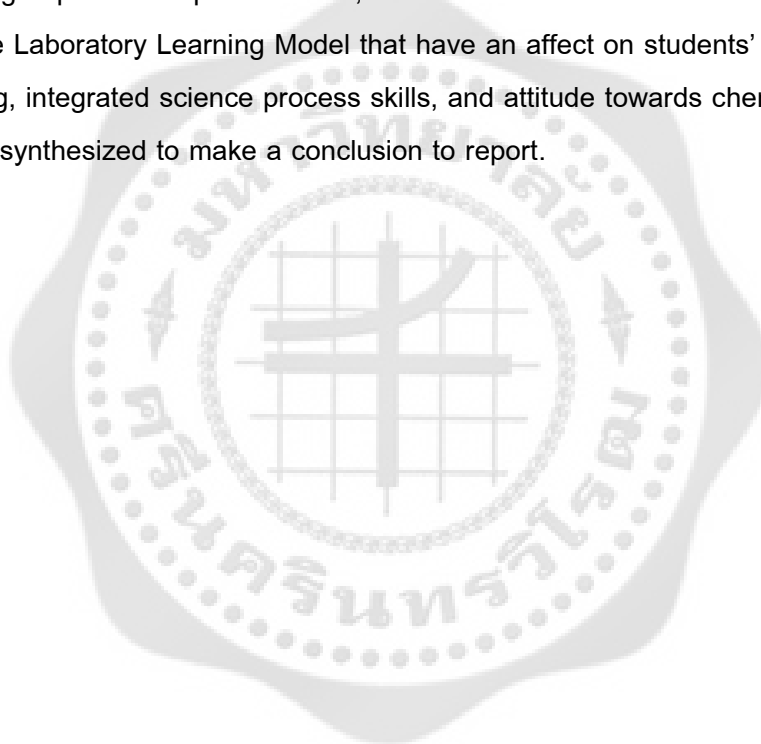
2) An independent t-test at a .05 level of significance was used to compare the mean score of the integrated science process skills between the control group and the experimental group to find out if the students' science process skills of the experimental group would be statistically significantly higher than the control group.

However, the students' pre-test scores of both groups were not equivalent and the one way analysis of covariance (One-way ANCOVA) was used to analyze the data by using the pre-test scores to show covariation.

3) One sample t-test at the .05 level of significance was used to compare the mean score of attitudes toward chemistry laboratory learning after teaching with the Acid-base Laboratory Learning Model to find out if the students' attitudes toward chemistry laboratory learning after using the learning model would be statistically significantly higher than the high level (3.5) at a .05 level.

3.4.2 Qualitative Data Analysis

Thematic analysis was used to analyze the data from the classroom observations and interviews. The fieldnotes and the transcribed audio recording and video recorder were coded and interpreted. The data between the control group and the experimental group was compared. Then, the information as to what are the key factors of the Acid-base Laboratory Learning Model that have an affect on students' conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning was synthesized to make a conclusion to report.



4. Related Statistics

The statistics involved in this study were statistics for assessing research instruments and statistics for hypothesis testing. These are described below.

4.1 Statistics for Assessing Research Instruments

Statistics for assessing research instruments are described as follows.

4.1.1 The Index of Consistency (IOC)

The IOC was used to evaluate the content validity of; (1) the Acid-base Laboratory Learning Model, (2) the learning unit based on the learning model, (3) acid-base conceptual understanding test, and (4) integrated science process skills test; and the face validity of (1) attitudes toward chemistry laboratory learning, (2) classroom observation form, and (3) interview protocol. The three levels of the rating scale were weighted by experts as follows:

The consistent level	Scale value (points)
Consistent	+1
Unsure	0
Inconsistent	- 1

The formula used to calculate the IOC is (Srisaard. 2002: 63):

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

Where:

IOC means index of consistency

$\sum R$ means total score from the experts

N means number of the experts

4.1.2 The Appropriateness Evaluation

The appropriateness evaluation was used to evaluate the Acid-base Laboratory Learning Model. The appropriateness level of each statement was ranged as the following scores (Cojorn. 2011: 74):

The appropriateness level	Scale value(points)
Very high level	5
High level	4
Moderate level	3

Low level	2
Very low level	1

The data from the evaluation form was analyzed by calculating the mean scores and assigning weightings as follows (Cojorn. 2011: 74).

Mean scores	Appropriateness level
4.51-5.00	Very high level
3.51-4.50	High level
2.51-3.50	Moderate level
1.51-2.50	Low level
1.00-1.50	Very low level

4.1.3 The Item Difficulty (p)

Analyzing the test item difficulty of the acid-base conceptual understanding and science process skills used the formula as follows (Worakitkasemsakul. 2011: 291):

$$p = \frac{R}{N}$$

Where:

p means the item difficulty

R means the number of students who answered the item correctly

N means the total number of students who answered the item

4.1.4 The Item Discrimination (r)

Analyzing the test items of discrimination of the acid-base conceptual understanding and science process skills was calculated by using the formula as follows (Srisaard. 2002: 84):

$$r = \frac{R_U - R_L}{N}$$

Where:

r means the discrimination item

R_U means the total number of students in the upper group

R_L means the total number of students in the lower group

N means the total number of students in the upper group or the lower group

4.1.5 The Reliability of the Research Instruments

For this study, the reliability of the acid-base conceptual understanding test and science process skills test were examined by using the Kuder-Richardson Formula 20 (KR 20) and the reliability of the attitudes toward chemistry laboratory learning was examined by using the Cronbach's alpha coefficient.

4.1.5.1 Kuder-Richardson Formula 20 (KR 20)

The Kuder-Richardson measure of reliability was obtained by using the following formula (Keeves. 1997: 787):

$$KR20 = \left(\frac{n}{n-1} \right) \left(1 - \frac{\sum p_i q_i}{S_x^2} \right)$$

The elements in the formula are defined as follows:

KR20 means the reliability of the test

n means the number of items in the test

S_x^2 means the variance of the test X

$\sum p_i q_i$ means the sum of p times q products for all items

Where p and q are the proportion of the participants whose responses are correct and incorrect, respectively (note that $p + q = 1$ for each item).

4.1.5.2 Cronbach's Alpha Coefficient

Cronbach's alpha (α) is computed by the following equation (Keeves. 1997:786):

$$\alpha = \left(\frac{n}{n-1} \right) \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i^2}{S_x^2} \right)$$

Where

α means the reliability of the test

n means the number of items in the test

S_i^2 means the variance of the item i

S_x^2 means the variance of the test X

The KR20 and Cronbach's alpha produce values ranging from 0-1.00, with higher values indicating a higher degree of internal consistency or reliability (Gravetter; & Forzano. :480).

4.2 Statistics for Hypothesis Testing

4.2.1 Basic Statistics

Basic statistics such as mean, standard deviation, and variance were used to calculate the scores of acid-base conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude toward chemistry laboratory learning.

4.2.2 Statistics for Testing Hypotheses

4.2.2.1 Statistics for Testing Hypotheses of conceptual understanding and integrated science process skills

The statistics for analyzing if mean scores of the experimental group on conceptual understanding and integrated science process skills are higher than the control group depended on the pre-test scores.

1) As the students' pre-test scores of both groups were equivalent, the independent t-test was used to analyze the data. However, the t-test can be categorized into two groups as follow.

1.1) For equal population variances ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$), the following formula will be used (Wanichbancha. 2010: 108-109).

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

degrees of freedom (df) for this t-statistic = $n_1 + n_2 - 2$

Where

t means test statistic value

$\bar{x}$ means sample mean for each group

S_p means standard deviation for the two samples

n means sample size for each group

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

S_p^2 means pooled variances for the two samples

S^2 means sample variance for each group

1.2) For unequal population variances ($\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$), the following formula will be used (Wanichbancha. 2010: 109).

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)}}$$

The value of degrees of freedom (df) for this t-statistic is as follows

$$df = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\frac{S_1^2}{n_1}}{n_1 - 1} + \frac{\frac{S_2^2}{n_2}}{n_2 - 1}}$$

Where

t means test statistic value

df means degrees of freedom

$\bar{x}$ means sample mean for each group

n means sample size for each group

S^2 means sample variance for each group

2) As the students' pre-test scores of both groups were not equivalent, the one way analysis of covariance (One-way ANCOVA) was used to analyze the data by using the pre-test scores to show covariance.

4.2.2.2 Statistics for Testing Hypotheses of Attitude towards chemistry laboratory learning

The attitude towards chemistry laboratory learning was analyzed by using basic statistics to find the means and standard deviation. A level of students' attitude towards chemistry laboratory learning was evaluated by comparing the mean score from the

attitude toward chemistry laboratory learning questionnaire with a criterion score. The criterion score was categorized into five levels:

- (1) a mean score of 4.51 - 5.00 interpreted as a very high level
- (2) a mean score of 3.51 - 4.50 interpreted as a high level
- (3) a mean score of 2.51 - 3.50 interpreted as a medium level
- (4) a mean score of 1.51 - 2.50 interpreted as a low level
- (5) a mean score of 1.00 - 1.50 interpreted as a very low level.

5. Ethical Issues in the Data Collection

This inquiry had a certificate of approval to do the research as shown in Appendix F. Prior to the study being conducted the documentation required by the school principle was submitted and permitted. All the participants were initially informed about the purpose of the study using an informed consent form. The participants voluntarily took part in the study.

Furthermore, this research protected the anonymity of the informants by assigning a number or alias to them to use in the process of analyzing and reporting the data.

CHAPTER 4

Results of the Study

This chapter presents the results of the inquiry in the following order.

- 1.The results of the preliminary data.
- 2.The results of developing the Acid-base Laboratory Learning Model.
- 3.The results of implementing and evaluating the effectiveness of the Acid-base Laboratory Learning Model.

1. The Results of the Preliminary Data

The preliminary data of the acid-base normal classroom teaching with the traditional instruction by the participating teacher were collected during the January to February 2014 period. The participating students in this phase were two science classrooms in the 2013 academic year (N=98), which was the control group. The results of the control group were reported in three parts: learning outcomes, students' learning and teacher's teaching, as well as students' and teacher's comments about acid-based instruction.

1.1 Learning Outcomes

The students' conceptual understanding of acid-base concepts and integrated science process skills of the control group was 6.57 and 9.83 in the pre-test, and was 9.39 and 10.57 in the post-test as shown in Table 5. These scores were lower than the 50 percent of the full score in the conceptual understanding test (25), and a little more than 50 percent of the full score in the integrated science process skills test (20).

In comparing the pre-test and post-test scores, the results showed that the post-test mean score of the students' acid-base conceptual understanding was statistically significantly higher than the pre-test at a .01 level. The post-test mean score of the students' integrated science process skills was statistically significantly higher than the pretest at a .05 level.

Table 5 The Students' Conceptual Understanding and Integrated Science Process Skills of the Control Group.

	Test	N	Min	Max	$\bar{X}$	S.D.	t	p
Conceptual Understanding	Pre	82	1	13	6.57	2.749	-7.064**	.000
	Post	82	1	17	9.39	3.340		
Integrated Science Process Skills	Pre	82	3	16	9.83	3.610	-1.682*	.048
	Post	82	4	18	10.57	3.143		

*p < .05, **p < .01,

1.2 Students' Learning and Teacher Teaching

The data collected from the classroom observation and interview related to the teaching and learning on acid-base could be identified as being three parts as follows.

1.2.1 Teacher-centered approach

In the normal classroom teaching, it was found to be mostly teacher-centered with a lecture-type format. Students were passive in the learning process. They only listened to their teacher, made notes, and followed the teachers' documents as a learning material. The teacher usually explained the content and then demonstrated how to solve the numerical problems on the blackboard. After that, the students practiced solving the problems on worksheets which the teacher had provided and the teacher gave them the correct answers after the worksheets were completed. For example, student SC16 said "acid-base had no extra activity. The teacher usually explained the content. The teacher had a document for use in practice and to solve the related problems". In addition, the teacher also said that in her teaching she used "explanation, discussion, and conclusion technique to teach the concepts, before letting the students practice solving the problems".

1.2.2 Fifteen periods for acid-base topic

From the classroom observation, it was found that acid-base took about a total of 15 periods. The time was limited. As the teacher said, "The content was a lot, but the time was limited. There were many school activities in the semester."

1.2.3 No experiments

In teaching the acid-base topic, no experiments had occurred in these two classrooms. The teacher said, "There were no experiments because the time was limited,

and there was a lot of content which needed to be taught.”

In conclusion, it was found that the instruction of the control group was a teacher-centered approach. The time used for acid-base teaching was about 15 periods. Furthermore, the instruction did not include any experiments.

1.3 Students' and Teacher's comments about acid-base instruction

Students' and teacher's comments about acid-base instruction could be identified as four issues as follows.

1.3.1 Difficulty in acid-base teaching and learning

The acid-base topic seemed to be difficult for students to learn and teachers to teach. For example, student SC16 said, “I could not imagine what an acid or base is”. The teacher also faced difficulty in teaching. She implied that she did not know how to help students understand the abstract concept. As she said, “The acid-base topic has many abstract concepts. I did not know how to explain it.”

1.3.2 Need experiments

From the interview data, most students would like to do experiments. For example, student SC08 said, “I would like to do experiments then chemistry learning would be more interesting.” Student SC04 said, “I would like to do experiments.”

1.3.3 Need in depth learning

Students would like the teacher to explain in more detail. For example, student SC18 said, “I would like the teacher to explain why these substances are acid or why these substances are base, and where they come from.”

1.3.4 Need to explore the student's prior knowledge and provide the background knowledge

Students indicated that the teacher should check their background knowledge and provide a background knowledge before teaching complex concepts, since students have different background knowledge. For example, student SC15 said, “The teacher should survey the students' background knowledge. Some students have a strong background knowledge, but some have not”. Student SC13 said, “My friend told me that he/she did not understand. Sometimes the teacher taught too fast. The teacher might have thought that the students' should have known this concept from before, but actually only a few students did.”

In conclusion, the results showed that students and teacher faced the difficulty in acid-base teaching and learning. In learning, they needed to do experiments, have in depth learning, and the teacher should do a survey on background knowledge and provide the background knowledge before teaching.

The data in this phase was used in the development of the Acid-base Laboratory Learning Model. The results pointed out that; the teacher-centered approach should change into a student-centered approach. The learning model should give a chance for students to have in depth learning, do some experiments, consider the students' background knowledge, and help the teacher to know how to explain abstract concepts. In addition, the learning unit should be designed for fifteen periods.

2. The Results of Developing the Acid-base Laboratory Learning Model

The results are reported into two parts, which are the development of the Acid-base Laboratory Learning Model and the learning unit.

2.1 The Acid-base Laboratory Learning Model

The acid-base laboratory learning model was developed for focusing on laboratory learning, using social constructivism as a framework of teaching and learning theory, and connecting between the three levels of chemical representation. The steps of the learning model were shown in Chapter 1 and 3. The first draft of the learning model comprised of eight parts: (1) Background, (2) Theory/principles, (3) Purposes, (4) Processes, (5) Teacher and student's roles, (6) Assessments, (7) Outcomes, and (8) Suggestions. It was evaluated by five experts to check the validity in terms of Item of Consistency (IOC) and appropriateness of the learning model. The results of the IOC and appropriateness are shown in Tables 6 and 7, respectively.

Table 6 The Results of Evaluation on Item of Consistency (IOC) of the Acid-base Laboratory Learning Model

	Lists of Evaluation	IOC(N=5)	Interpretation
1	Purposes and background	1.00	Consistent
2	Purposes and aims of science learning	1.00	Consistent
3	Theories/principles/concepts and purposes	0.80	Consistent
4	Learning processes and purposes	0.80	Consistent
5	Learning processes and theories/principles/concepts	1.00	Consistent
6	Teacher's roles and learning process	1.00	Consistent
7	Students' roles and learning process	1.00	Consistent
8	Teacher's roles and students' roles	0.80	Consistent
9	Assessment approach and purposes	0.60	Consistent
10	Assessment approach and learning processes	0.60	Consistent
11	Benefits and purposes	1.00	Consistent
12	Benefits and learning processes	0.80	Consistent
13	Suggestions and learning processes	0.80	Consistent
14	Suggestions and theories/principles/concepts	1.00	Consistent
	Average	0.87	Consistent

Table 7 The Results of Evaluation on Appropriateness of the Acid-base Laboratory Learning Model

Lists of Evaluation		Appropriateness (N=5)	Level of appropriateness
1.	Purposes are suitable for high school students.	4.60	Very high
2.	Theories/Principles/Concepts are suitable for chemistry teaching.	4.60	Very high
3.	Learning processes are suitable for acid-base topic.	4.60	Very high
4.	Step 1 is appropriate and can implement.	4.80	Very high
5.	Step 2 is appropriate and can implement.	4.60	Very high
6.	Step 3 is appropriate and can implement.	4.60	Very high
7.	Step 4 is appropriate and can implement.	4.80	Very high
8.	Step 5 is appropriate and can implement.	4.80	Very high
9.	Step 6 is appropriate and can implement.	4.60	Very high
10.	Given name of each step is appropriate	4.60	Very high
11.	The 6 steps of the learning model are suitable for action	4.40	High
12.	Teacher's roles are suitable and can implement	4.40	High
13.	Students' roles are suitable	4.40	High
14.	Assessment approach is suitable and can implement	4.40	High
15.	The benefits are suitable	4.60	Very high
16.	Suggestions are understandable	4.20	High
17.	The learning model is appropriate	4.60	Very high
18.	What is the quality of the Learning Model	4.40	High
Average		4.56	Very high

The results in Table 6 shows that the IOC is 0.87 which is higher than 0.5. Furthermore, Table 7 has a level of appropriateness for the Acid-base Laboratory Learning

Model at 4.56 which is higher than 3.50. Both results demonstrate that the model is valid and appropriate for use in the chemistry classroom. However, the experts also gave some suggestions for the learning model improvement as follows:

- In a step 1: introduction, the teacher should give an opportunity to students to express their own questions related to the topic.
- In a step 4: connection, the students should have an opportunity to construct their own explanation at the sub-microscopic level. The teacher might help students to make a connection between the three levels of representation by using animation, video clips, analogies, or diagrams.
- In a step 6: application, this step should use the situations in daily life instead of answering a worksheet or practice exercises.
- Misconceptions should be corrected by appropriate strategies.
- Teacher's role should provide the detail to enable practice.
- Assessments should be incorporated in the learning process.

The researcher revised the learning model based on these suggestions of the experts. The revised version is shown in Appendix D.

2.2 Acid-base Learning Unit

The Acid-base Learning Unit was developed by the researcher for high school students. The data from Phase I was used to design the learning unit as well.

The first draft of the Acid-base Learning Unit comprised of nine lesson plans: (1) Electrolyte, (2) Acid-base theory, (3) Dissociation of water, (4) Dissociation of strong and weak acid-base, (5) pH of solution, (6) Acids and bases reactions, (7) Hydrolysis, (8) Titration, and (9) Buffer. The time used was a total of fifteen periods which was the same used with the control group.

The Acid-base Learning Unit was evaluated by three experts to check the validity. Then, the evaluation from the experts was analyzed in terms of the index of consistency (IOC). The results are presented in Table 8 and it was shown that most have an IOC higher than 0.5 with the exception of lesson plans 1 and 2 which had some lists of evaluation at less than 0.5. However, the researcher revised all lesson plans regarding the the experts' comments and suggestions (APPENDIX B.2). The second draft had twenty periods of time being used.

[illegible]

Table 8 (Continued)

List of Evaluation	Mean of IOC of Lesson Plan (N=3)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4.6 Learning activities make students feel like having fun and like experimenting	1.00	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	1.00	1.00	1.00
4.7 Learning activities support students to see the connection between the three levels of chemical representation	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5. Consistency between evaluation and learning objectives									
5.1 Evaluation is in accord with learning objectives	0.33	0.33	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.2 Evaluation covers all learning objectives	0.67	0.67	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6. Consistency between evaluation and learning activities									
6.1 Evaluation is in accord with learning activities	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6.2 Evaluation is appropriate	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
7. Appropriateness of learning activity									
7.1 The activity in step 1 (introduction) is appropriate	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	1.00	1.00
7.2 The activity in step 2 (elicitation) is appropriate	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
7.3 The activity in step 3 (experimentation) is appropriate	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
7.4 The activity in step 4 (connection) is appropriate	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
7.5 The activity in step 5 (construction) is appropriate	1.00	0.67	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Table 8 (Continued)

List of Evaluation	Mean of IOC of Lesson Plan (N=3)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7.6 The activity in step 6 (application) is appropriate	0.33	0.67	0.67	0.33	0.67	1.00	0.67	1.00	0.67
8. Others									
8.1 Time arrangement is suitable for activity	1.00	0.67	0.67	0.67	0.67	1.00	0.67	0.67	0.67
8.2 Learning materials are suitable for learning	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
8.3 Language usage is appropriate	1.00	0.67	0.67	0.67	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67

In order to obtain the feedback from the students as well as some information which was useful for the next revision, the second draft of the revised learning unit was piloted in a school which was similar to the experimental group school. The learning unit was conducted in the second semester of the 2014 academic year during January to February 2015. The pilot was conducted by the researcher because the teachers did not feel confident in using the learning unit. The results of the pilot study are shown as follows.

1) *Time arrangement*: There were about fifty minutes in one class period including changing classrooms. The learning time in a period would be forty to forty-five minutes only. In addition, students had a low basic knowledge and that they needed more time to be engaged and complete the tasks. Thus, most of the lesson plans took more time than expected. The time used in the pilot study and in the revised version of the lesson plan are shown in Table 9.

Table 9 The Revision of the Time used in the Lesson Plans

Lesson Plan		Number of periods used		
		Planed	Piloted	Revised
1	Electrolyte	2	3	3
2	Acid-base Theory	2	3	3
3	Dissociation of water	2	3	3
4	Dissociation of strong and weak acid-base	3	4	4
5	pH of solution	2	3	3
6	Acid and base reactions	2	-	3
7	Hydrolysis	2	-	3
8	Titration	3	-	4
9	Buffer	2	-	3
Total		20		29

Note: - denotes did not pilot

2) *Learning process*. It was found that students had a low background knowledge, so that teacher needed to put more scaffolding in place in order to promote the students' understanding. The students quite passively responded to the activities and the teacher's questions. Therefore, in each step of the learning process, the teacher had to ask more questions, identify the students response to the question, and make them feel comfortable in responding. In step 3 (experimentation) the teacher motivated and guided the students to work in a collaborative group as well as engage the students to apply their integrated science process skills. Furthermore, it was found that many students could not complete the assignment.

3) *Conceptual understanding*. After applying the Acid-base Learning Unit based on the learning model in the pilot study, the pre-test and post-test scores of the students' conceptual understanding were collected for only fifteen items (five lesson plans) and analyzed. The results of the comparison between the pre-test and post-test mean scores of the students' conceptual understanding are shown in Table10.

Table10 The Results of Students' Conceptual Understanding in the Pilot Study

	N	$\bar{X}$	S.D.	t	p
Pre-test	32	3.50	1.459	-6.091**	.000
Post-test	32	6.34	2.252		

** p < .01

In Table 10, the results of the dependent samples t-test show that the students' conceptual understanding post-test mean scores are higher than the pre-test mean scores with a statistical significance at a .01 level. The findings from analyzing the data imply that the learning unit designed based on the Acid-base Laboratory Learning Model was effective to enhance the students' conceptual understanding of the acid-base topic.

4) *Integrated science process skills*. The results of the comparison between the pre-test and post-test mean scores of the students' integrated science process skills are shown in Table 11.

Table11 The Results of the Students' Integrated Science Process Skills in the Pilot Study

	N	$\bar{X}$	S.D.	t	p
Pre-test	32	10.97	2.621	-4.286**	.000
Post-test	32	13.06	2.078		

** p < .01

The results of the dependent samples t-test show that the students' integrated science process skills post-test mean scores are higher than the pre-test mean scores with a statistical significance at a .01 level. The findings imply that the learning model was effective to enhance the integrated science process skills.

5) *Attitude towards chemistry laboratory learning*. After applying the Acid-base Learning Unit in the pilot study the students' attitude towards chemistry laboratory learning was collected and analyzed. The results of the attitude are shown in Table 12.

Table12 The Results of Students' Attitude towards Chemistry Laboratory Learning in the Pilot Study

	N	Score Criterion	$\bar{X}$	S.D.	t	p
After using the Learning Model	32	3.51	3.9872	0.3860	6.993**	.000

** p < .01

According to Table 12, the students' attitude towards chemistry laboratory learning after using the learning model is about 4.0 which is statistically significantly higher than the criterion score (3.51) at a .01 level. Therefore the learning model is effective in enhancing the students' attitude towards chemistry laboratory learning.

In analyzing the data, it was found that the Acid-base Laboratory Learning Model would influence enhancing acid-base conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning.

However, the problems encountered from the pilot study were used to improve the learning model for more practicality. The final version of the Learning Model is shown in Figure 7 and consists of six steps: 1) Introduction, 2) Elicitation, 3) Experimentation, 4) Connection, 5) Conceptualization, and 6) Application. The Summary of the Acid-base Laboratory Learning Model is shown in Figure 8. More details of the Acid-base Laboratory Learning Model in the Thai language are shown in APPENDIX D. Additionally, the Learning Unit based on the Acid-base Laboratory Learning Model was revised according to the problems found in the pilot classroom before being implemented. The revised learning unit including examples of lesson plans are shown in APPENDIX E.

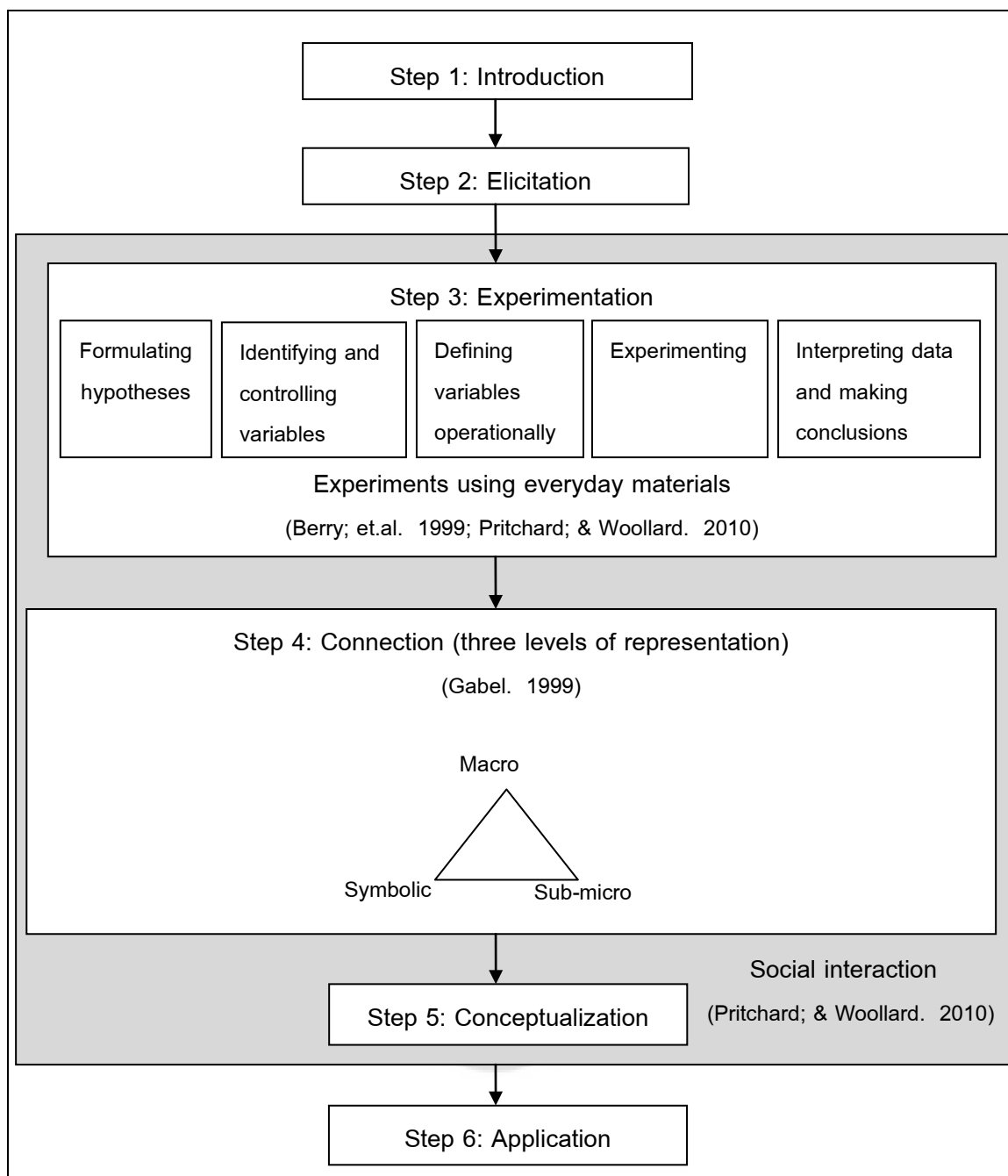


Figure 7 The Acid-base Laboratory Learning Model

The Acid-base Laboratory Learning Model

Background

Chemicals used in our daily life such as cosmetics, medicines, and foods have acid-base properties. Acid-base is one chemistry topic considered as abstract and difficult to understand for upper secondary students (Chaiyapha; Chayajarus; & Chairam. 2011: 139; Demircioğlu; Ayas; & Demircioğlu. 2005: 37). Many students were unable to accurately describe acid-base concepts (Sheppard. 2006: 32) and hold many alternative conceptions.

In addition, science process skills and attitudes toward science affect learning with conceptual understanding. Integrated science process skills are necessary for upper secondary students. But, development of the integrated skills of Thai upper secondary students were ineffective (Chaiyen; Bunsawansong; & Yutakom. 2007: 11; Nakthong; Anuntasethakul; & Yutakom. 2007: 383). Moreover, the students' attitudes aspect is important, since it is related to the students' achievement (Cheung. 2009: 76; Freedman. 1997: 343).

Hence, the Acid-base Laboratory Learning Model was developed in order to enhance students' understanding of acid-base chemistry concepts, acquire integrated science process skills, and bring about a more positive attitude towards chemistry laboratory learning.

Theory/principle

The development of this learning model was based on the teaching and learning framework of social constructivism: (1) students are active learners, the teacher acts as a facilitator or scaffolder, (2) awareness of students' prior knowledge and alternative conceptions, (3) learning requires social interaction and collaboration, (4) students construct their own knowledge from the new learning, prior knowledge and social interaction, (5) to provide an opportunity to apply the concepts students have learned, and (6) in-school learning experience should be related to daily life experience. In addition, chemical knowledge is complex. It exists in the three levels of representation which are the macroscopic, symbolic, and submicroscopic levels (Sirhan. 2007: 4). The students must understand the knowledge of the three levels and see the connections between the three representational systems in order to understand chemistry concepts (Gabel. 1999: 549). Furthermore, laboratory learning is necessary for students. It could bring about the three domains (conceptual understanding, process skills, and a positive attitude) of chemistry learning (Hofstein; & Lunetta. 1982: 201; 2004: 28; Hofstein; & Mamlok-Naaman. 2007:

105; Özmen; Demircioğlu; & Coll. 2009: 1). Students have an opportunity to see the chemistry knowledge at a macroscopic level, as well as have a chance to practice the integrated science process skills.

Purpose

The purposes of the developed learning model were to enhance upper secondary school students in three domains: (1) acid-base conceptual understanding, (2) integrated science process skills, and (3) attitude toward chemistry laboratory learning.

Learning Processes, Teacher's role, and Students' role

The learning model comprised of six steps as follows.

Process	Teacher's role	Student's role
Step 1 Introduction: Recap the concept and skills from the last lesson, and review the basic concepts or knowledge needed for learning. Then, students are engaged with the topic, using various techniques, and are encouraged to ask questions related to the topic. Finally, the teacher introduces the objectives of teaching and learning.	- correct student's concepts of the last lesson using explanation or questioning. - encourage students to review the basic knowledge using explanation or questioning. - provide activities or situations in order to engage the students with the topic and objectives of learning.	- cooperate in reviewing the last lesson. - cooperate in discussions or answer the questions involving the basic concepts or knowledge needed for learning. - participate in determining the objectives of learning.
Step 2 Elicitation: Individual students answer their own questions and other questions in step 1 related to the topic based on students' prior knowledge and experiences.	- explore student's prior knowledge using questions, quiz, or the Predict-Observe-Explain (POE) technique. - listen to and record student's ideas.	- cooperate in answering the questions or give an idea based on prior knowledge and experiences.
Step 3 Experimentation: Students conduct an experiment (guided and	- divide students into groups of varying abilities to work together to solve a problem or	- work in a collaborative group as follows: 1) think and share the

open inquiry) in a collaborative group to promote social interactions and learn the chemistry phenomena at a macroscopic level. Students are motivated to use the integrated science process skills. The teacher acts as a scaffolder to support students while doing the experiment. The experiment uses chemicals or materials in daily life.	complete a project (collaborative group). - encourage students using questions to redirect their thinking and sharing testable questions. - encourage students to understand the purpose of the experiment. - encourage students to apply the integrated science process skills. - support students whilst doing the experiment. - listen and provide feedback after the students present their inquiry.	testable questions. 2) study the purpose of the experiment. 3) formulate hypotheses, identify variables, define variables operationally, and design an experiment. 4) conduct and record the results of the experiment. 5) Interpret data and make a conclusion. 6) keep clean. 7) present the inquiry result and provide feedback to other groups. 8) evaluate his/her own integrated science process skills (self-assessment).
Step 4 Connection: Students link the macroscopic level that they have seen in step 3 with the sub-microscopic and symbolic levels. The teacher acts as a scaffolder to encourage the students to see the relationship between the representations. Model, analogies, animation, and video clips could be used to help students in connecting between the three levels.	- engage students to connect the three levels using a highlighting question. - motivate each group of students to explain things they observed at step 3 (macroscopic level) in terms of the movement of particles (sub-microscopic level) by themselves. Then, each group presents their ideas. - provide activities, animation, video clips, analogies, or diagrams to help each group of students construct their	- work in a collaborative group as follow: 1) construct an explanation of things the students observed at step 3 in terms of the movement of particles and share ideas in the classroom. 2) participate in the activities, construct, and share the explanations. 3) present the particulate level using symbols such as chemical equations, graphs, and diagrams.

Then, the teacher provides an explanation to complete the knowledge of the topic.	own explanation. - give a chance to students to work in groups to represent the particulate level using symbols such as chemical equations, graphs, and diagrams. - provide a student worksheet to connect the three levels of chemical representation. - listen to students responses and provide feedback to the students based on their responses to the worksheet. - complete the knowledge of the topic by using questions for discussion in a collaborative group. - Encourage students to construct and present their own ideas, and make conclusions together.	4) connect between the three levels of representation on a worksheet. - exchange the worksheet with another group to correct each others' work and give scores. 5) cooperate in discussions or answer the questions.
Step 5 Conceptualization: Individual students construct his/her own concepts by connecting the concepts of new knowledge, prior knowledge, and knowledge derived from social interaction. Teacher acts as a scaffolder to help students conduct complete concepts.	- list the highlight issues or questions for constructing the concepts. - motivate students to discuss and share knowledge in a group according to the issues. - encourage individual students to construct his/her own knowledge from the new learning, prior knowledge, and social interaction.	- share your own knowledge in a group according to the issues. - construct your own knowledge from the new learning, prior knowledge, and social interaction. - listen to the teacher's feedback and check your understanding.

	-- listen to the students' responses and provide feedback.	
Step 6 Application: Students apply the concepts they have learned to explain the phenomena in the real world or everyday life. The phenomena include problems in different situations both conceptual and numerical. The application aims to make learning more meaningful and link chemistry in the classroom with students' everyday life.	- present phenomena/ situations in the real world or everyday life to encourage students to apply the knowledge they learn and to help students see the link between chemistry in the classroom and students' everyday life. - assign worksheet exercises for students to practice in solving the chemical problems. - listen to the students' responses and provide feedback.	- participate in questioning and answering as well as discussing the application of concepts or knowledge in the real world or everyday life. - complete the worksheet. - listen to the teacher's feedback and check your answers or understanding.
Assessment Assessment used in the learning model focused on a formative assessment — “the process used by teachers and students to recognize and respond to student learning in order to enhance that learning, during the learning” (Cowie; & Bell. 2001: 8). The assessment collection includes: students' responses in the classroom, questions, discussions, collaborative work in learning activities or experiments, and student's worksheets. Outcomes The outcomes of using the learning model can be categorized into two categories: Direct outcomes and indirect outcomes. Direct outcomes are the students' conceptual understanding on acid-base, integrated science process skills, and a positive attitude toward chemistry laboratory learning. Indirect outcomes are the students collaborative work in groups, sharing their own ideas and opinions, and more actively participating in the learning activities.		

Suggestions

The learning model is suitable for an upper secondary chemistry classroom. Teachers should study the theories or principles supporting the model. In addition, the learning process, teacher's and students' roles, and assessments are important to understand before designing the acid-base lesson plan. Teachers should design experiments using everyday materials, as well as connecting the main chemistry concepts in the three levels of chemical representation. Particularly, the teacher who uses this model should have a good understanding of testable/scientific questioning and integrated science process skills.

Figure 8 Summary of the Developed Acid-base Laboratory Learning Model

3. The Results of Implementing and Evaluating the Effectiveness of the Acid-base Laboratory Learning Model

The implementation of the learning model began in February to March of 2015 which was in total about five weeks duration. As this time, only five lesson plans were implemented. The teacher and researcher designed and decided to implement another four lesson plans in the next semester starting in May of 2015. To evaluate the students' acid-base conceptual understanding, fifteen items of the ABCUT (from 25 items) were tested on students a week after finishing the fifth lesson plan. These items covered all the concepts in the five lesson plans. The last four lesson plans were implemented in May to June of 2015 which was a total of about four weeks. Finally, the remaining items (items 16-25) in the ABCUT for integrated science process skills test (ISPST), and attitude towards chemistry laboratory learning (ACLLQ) were administered after implementing all nine lesson plans.

The quantitative data of the control group and the experimental group were compared and analyzed using inferential statistics in order to test the two hypotheses as follows: (1) Students' conceptual understanding on acid-base for the experimental group would be statistically significantly higher than the control group at a .05 level and (2) Students' integrated science process skills of the experimental group would be statistically significantly higher than the control group at a .05 level. For the third hypothesis, which stated that the students' attitude toward chemistry laboratory learning after using the learning model would be statistically significantly higher than the high level (3.51) at a .05 level, then the result of the ACLLQ for the experimental group after teaching with the learning model was compared with the criterion using the inferential statistics.

The qualitative data were used to understand the quantitative findings and analyzed the factors that affected on the students' conceptual understanding, integrated science process skills and attitude toward chemistry laboratory learning.

The control group and experimental group in the inquiry were two 11th Grade science classrooms in each of 2013 and 2014 academic years. The control group was taught using traditional instruction in the 2013 academic year but the experimental group was taught using the Acid-base Laboratory Learning Model in the 2014 academic year which occurred in the second semesters for both groups. The basic information of students in the two groups is shown in Table 13. There were ninety-eight students in the control group with thirty-nine males and fifty-nine females, and eighty-six students in the experimental group with thirty-seven males and forty-nine females. For the students' achievement, it seems that the control group had a higher ability number than that of the experimental group.

Table 13 Students' Basic Information of the Control and Experimental groups

	Control group	Experimental group
1. Total number of students	98	86
- Class 1	46	39
- Class 2	52	47
2. Students' achievement in chemistry		
- 4.0	25	15
- 3.5	18	24
- 3.0	28	16
- 2.5	18	18
- 2.0	6	7
- 1.5	2	3
- 1.0	1	3

However, some of the students did the test for only the pre-test or the post-test. These groups of students would not be used for answering the hypotheses. Thus in the quantitative data analysis, the number of the students in the control group and the

experimental group were different from the total number of the students that were reported in Table 13.

The results are described into two parts: (1) the effectiveness of the learning model on students' conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning; (2) the factors that affect students' conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning.

3.1 The Effectiveness of the Learning Model on Students' Conceptual Understanding, Integrated Science Process Skills, and Attitude Towards Chemistry Laboratory Learning

3.1.1 Effectiveness on Acid-base Conceptual Understanding

3.1.1.1 Acid-base Conceptual Understanding Within a Group

The students' acid-base conceptual understanding within the experimental group, before and after using the learning model, are shown in Table 14.

Table 14 Students' Acid-base Conceptual Understanding of the Experimental group

Test	Full score	N	Min	Max	$\bar{X}$	S.D.	t	p
Pre	25	69	3	12	7.01	2.252	-7.146**	.000
Post	25	69	3	18	10.10	3.186		

**p < .01

The results show that the post-test mean scores of students' acid-base conceptual understanding are statistically significantly higher than the pre-test at a .01 level.

Qualitative data were collected regarding the students' conceptual understanding which resulted from the experiment. Most students said, that the experiment made them understand the concept easily. For example, student SE08 said, "It was better than reading the book by myself." Student SE13 said, "It made the chemistry more concrete, and students understood the concept easily." As well as that the teacher said, "Students have seen the real thing in the experiment, then it was easy to connect with the concept."

3.1.1.2 Acid-base Conceptual Understanding Between Groups

The students' acid-base conceptual understanding between the control and experimental group are reported in Table15.

Table 15 Descriptive Statistics of Students' Acid-base Conceptual Understanding between Control and Experimental Groups

Group	Test	N	Min	Max	$\bar{X}$	S.D.
Control group	Pre-test	82	1	13	6.57	2.749
	Post-test	82	1	17	9.39	3.340
Experimental group	Pre-test	69	3	12	7.01	2.252
	Post-test	69	3	18	10.10	3.186

Then, the data was analyzed to test the research hypotheses. The pre-test mean score of the students' conceptual understanding between the experimental group, which was taught with the Acid-base Laboratory Learning Model, and the control group, which was taught with the traditional instruction, was tested by an Independent Sample t-test. The results of the t-test are shown in Table16.

Table 16 Comparisons of the Pre-test Scores of Students' Acid-base Conceptual Understanding

Group Contrast	N	$\bar{X}$	S.D.	t	p
Control group	82	6.57	2.749	-1.066	.288
Experimental group	69	7.01	2.252		

From TABLE 16, the results show that the means of the students' acid-base conceptual understanding between the control group (6.57) and the experimental group (7.01) are not significantly different at a .05 level. These indicate that students in both groups had the same level of prior knowledge on acid-base conceptual understanding. Thus, the comparison of the post-test mean scores of students' conceptual understanding between the experimental group and the control group were tested by Independent Sample t-test. The results are shown in Table17.

Table 17 Comparisons of the Post-test Scores on Students' Acid-base Conceptual Understanding

Group Contrast	N	$\bar{X}$	S.D.	t	p
Control group	82	9.39	3.340	-1.331	.0925
Experimental group	69	10.10	3.186		

The results in Table 17 show that the mean score of the students' acid-base conceptual understanding of the experimental group was not significantly higher than the control group at a .05 level. However, the mean score of the students' acid-base conceptual understanding of the experimental group was higher than the control group.

The qualitative data found six factors affecting students' conceptual understanding as follows.

1) *The learning processes were not completed in the classroom.* The teaching using the Acid-base Laboratory Learning Model consisted of six steps. Steps 3-5 need to be done in the classroom because a social interaction was needed such as sharing ideas and having discussions in a group. However, the observation data found that time was wasted a lot in the step 3 experimentation. Therefore in the step 5 conceptualization, the teacher needed to check the students understanding for this step in class and the teacher usually assigned homework including the worksheet of the application in step 6. It was also found that most students did not complete their own worksheet, some were blank and some were lost, with the exception that the last four lesson plans were completed in six steps in the class and the students worksheets were completed.

2) *The teacher conception had an affect on students' understanding.* For example, the concept of pure water with the teacher understanding that the water is neutral at only 25 °C. This led to students misunderstanding this concept.

3) *Students have low background knowledge in many concepts.* It was found that students did not know about the basic concepts in chemistry. For example, they did not know that oxygen gas was composed of single atoms or a group of atoms, and that even some of them did not recognize the symbol of the elements. They could not answer the teacher's questions. For instance,

Teacher : How does oxygen like to be?

Student : ...[quiet]

Teacher : Generally, oxygen would like to be as an atom or combine with other elements to form a compound?

Student : ...[quiet, Then teacher told them]

In addition student SE01 said, "I do not have basic knowledge."

Student SE07 and SE09 said that, they did not understand and could not remember the periodic table and the symbols of elements such as NaOH. Additionally, the teacher said, "Students had low background in many things such as mathematical skills."

Student SE16 said, "I could balance chemical equations, but I could not do calculations ...[stoichiometry]." In the observation, it was found that the students did not know what color resulted when yellow and blue were mixed. This is a requirement for understanding the color change of acid-base indicators.

4) *Worksheet and knowledge sheet was separated.* The learning material used in this learning model were (1) a worksheet including an additional knowledge sheet different from the textbook and (2) an IPST textbook as a knowledge sheet to get a better understanding of the concepts. From the classroom observation of the experimental group, the teacher had told the students that the textbook was not needed to be used [since the first lesson]. Thus, the students did not take the textbook to the class anymore. During the instruction the teacher only concentrated on the use of the worksheet and did not use the textbook. Thus, in this case the students missed some important information from the textbook.

5) *An experiment that is not well designed might cause misconceptions for students.* For example, the concept that electrolyte solutions can conduct electricity and nonelectrolyte solutions can not conduct electricity. In the experiment, an LED which has a high-power sense for current, was used to test the conductivity by observing the brightness of the LED. When testing with pure water a very small amount of light could be seen, so that the teacher asked the students to compare the solution with water. The idea being, if the solution is brighter than water it is an electrolyte solution if not it is brighter than water then it is a nonelectrolyte solution. However, while doing the experiment students still considered that any solution that could produce light was an electrolyte solution. This led to the misconceptions about the electrolyte and non-electrolyte concepts as shown in Figure 9.

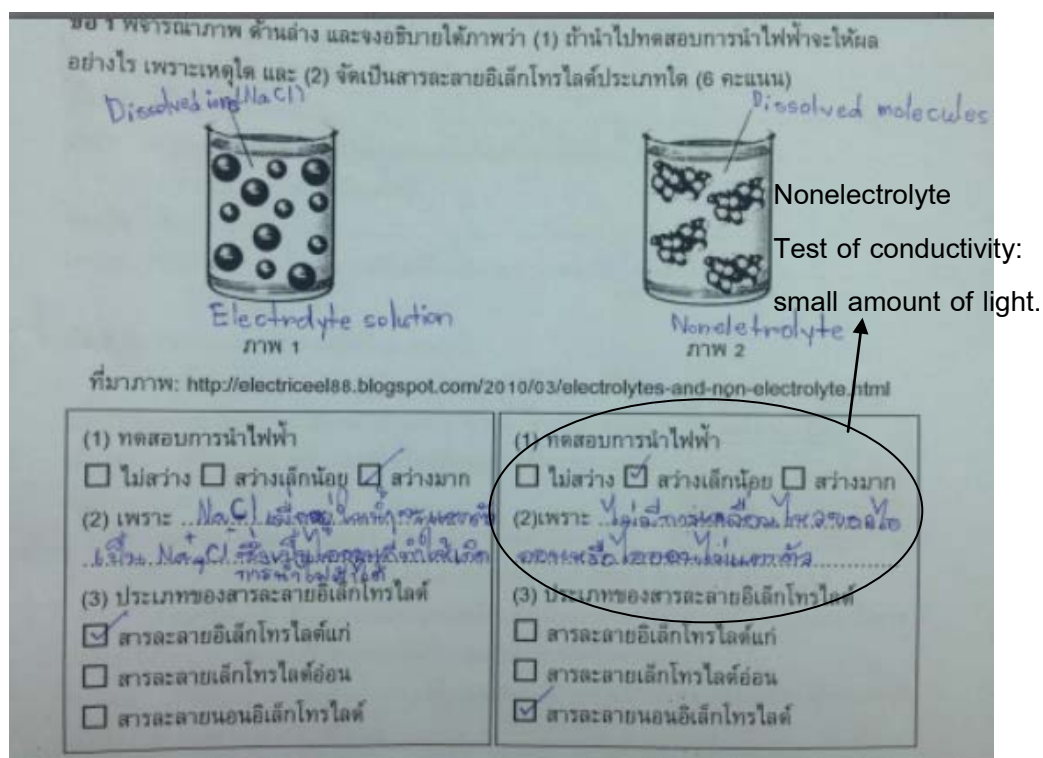


Figure 9 Misconception about Nonelectrolyte Solutions

6) *The three levels of chemical representation was not explained in the classroom.* Although, the lesson plan had designed useful activities in order to help students understand the explanation of the submicroscopic level, but in practice the teacher rarely used these activities as the teacher usually explained and spoke about the knowledge of the three levels of chemical representation in the same way as the traditional instruction. Therefore, it seems the connections between the three levels of chemical representation were not explained. As one student reflected, "It was not different from the traditional instruction. The teacher explained all the things [the three levels of representation]."

In conclusion, the six factors from the qualitative evidence mentioned above might be the main factors that the students' acid-base conceptual understanding of teaching with the Acid-base Laboratory Learning Model was not statistically significantly higher than teaching with the traditional instruction at a .05 level.

3.1.2 Effectiveness on Students' Integrated Science Process Skills

3.1.2.1 Integrated Science Process Skills Within a Group

The Students' integrated science process skills within a group are shown in Table 18.

Table 18 Students' Integrated Science Process Skills of the Experimental Group

Test	Full score	N	Min	Max	$\bar{X}$	S.D.	t	p
Pre	20	73	1	17	11.38	3.369	2.358*	.021
Post	20	73	5	16	10.56	3.018		

*p < .05

The post-test and pre-test mean score of the students' integrated science process skills were statistically significantly different at a .05 level. The pre-test mean scores were statistically significantly higher than the post-test at a .05 level. However, the results showed that the minimum score was improved.

From the qualitative data it was found that it might be from the time to complete the test. From observation, the students completed the ISPST in about ten to fifteen minutes which was very fast compared to the pre-test time which was about thirty to thirty-five minutes. The students' attention to doing the test was an important factor which affected the test score.

3.1.2.2 Integrated Science Process Skills Between Groups

The students' integrated science process skills of the control and the experimental groups are reported in Table 19.

Table 19 Descriptive Statistics of Students' Integrated Science Process Skills between the Control and Experimental Groups

Group	Test	N	Min	Max	$\bar{X}$	S.D.
Control group	Pre-test	82	3	16	9.83	3.610
	Post-test	82	4	18	10.57	3.143
Experimental group	Pre-test	73	1	17	11.38	3.369
	Post-test	73	5	16	10.56	3.018

The data was analyzed to test Research Hypothesis 2: Students' science process skills of the experimental group will be statistically significantly higher than the control group.

The pre-test score of the students' integrated science process skills between the control group and the experimental group were tested by an Independent Sample t-test in order to compare their prior knowledge. The results are shown in Table 20.

Table 20 The Comparison of the Pre-test Mean Scores on Students' Integrated Science Process Skills (full score = 20)

Group Contrast	N	$\bar{X}$	S.D.	t	p
Control group	82	9.83	3.610	-2.761*	.006
Experimental group	73	11.38	3.369		

* $p < .05$

From Table 20, the results show that the mean scores of the students' integrated science process skills between the control group and experimental group are significantly different at a .05 level. These indicate that the experimental group had more prior knowledge of integrated science process skills than the control group.

Therefore, the comparison of the post-test scores of students' integrated science process skills between teaching with the Acid-base Laboratory Learning Model and teaching with the traditional Instruction could be tested by analysis of covariance (ANCOVA) as to which pre-test was covariate. The results are shown in Table 21.

Table 21 The ANCOVA of Post-test Score on Students' Integrated Science Process Skills

Source	df	F	p
Teaching Method	1	1.617	.205
Pre-test	1	35.618**	.000
Teaching Method* Pre-test	1	3.634	.059
Residual	152		

** $p < .01$

From Table 21, the results showed that the pre-test score significantly influenced the post-test of students' integrated science process skills [$F(1, 152) = 35.618$, $p < .01$]. The interaction between teaching methods and pre-test were not significant [$F(1, 152) = 3.634$, $p > .05$]. But it was revealed that the pre-test scores constantly influenced the post-test scores of both teaching methods. Thus, the pre-test was used as a covariate, it was found that students' integrated science process skills between teaching with the Acid-base Laboratory Learning Model and teaching with the traditional instruction were not statistically significant different at a .05 level. In other words, the students' integrated science process skills of teaching with the Acid-base Laboratory Learning Model were not statistically significantly higher than the teaching with the traditional instruction at a .05 level [$F(1, 152) = 1.617$, $p(=.102) > .05$].

The data from classroom observation revealed that the teacher's interview and students' interview confirmed that the acid-base instruction in the control group was a lecture type. It had no experiments to give a chance for the students to practice the integrated science process skills. However, the students did some experiments in previous topics. According to student SC11, "This unit had no experiments, I did in the rate of reaction unit."

In the experimental group, the students had a chance to do many experiments (nine experiments). Thus, the researcher expected that they should have more opportunities to practice five integrated science process skills which are shown in the step 3 of the learning model. From the observation and interview data, the researcher identified the factors that might be obstacles to students developing the integrated science process skills of the experimental group into five factors:

1) *Students need more assistance to develop their integrated skills*, which are constructing scientific questions, formulating hypotheses, identifying variables, defining variables operationally, planning an investigation, and making conclusions. For example, with defining variables operationally the teacher said, "Students could not do it by themselves. It was very difficult for them."

2) *Students lack of background knowledge in related concepts*. This led to misconducting an investigation. For example, students did not know the chemical formula of the compound and they used the wrong substances. As the teacher mentioned, "Sometimes while the students conducted the experiment they took the wrong substance so that they got incorrect results."

3) *Students need more time to understand the experiment*. For example, student SE06 said, "I could do the experiment, but very slowly. My group wasted a lot of time in designing the scientific question and formulating the hypotheses."

4) *Students need to pay attention*. Students did not pay attention to listen to the teacher's instructions and as a result they did not understand the experiment. As student SE05 commented, "While the teacher was guiding about the experiment, the students did not listen to her, as a result of that they did not understand what to do."

5) *Students need a small collaborative group*. The learning model emphasized the use of collaborative groups such as grouping students with varying abilities in each group to work together. However, in practice, the observation data found that students having the same abilities sat in the same group. The teacher gave the reasons, "I could not group students with different abilities in the same group because the school administration had organized the students into the class according to their grade point average (GPA) every year. As well as that, the collaborative group should be a small group (4-5 students)." From the observation, it was found that the groups ranged from two to seven members whereas some groups had no students. Student SE05 suggested, "The number of students in each group was large, it should be 2-3 members. Although with only four members in a group, it was trouble." Therefore, the large number of students in a group was an obstacle to the improvement of student's skills due to a few students doing the investigation while others did not. The teacher said, "With a large number of students in a group some students did not do anything." The teacher could not help all the students. Student SE05 said, "The teacher paid attention to the students but she could not help every student."

In summary, the students' integrated science process skills of the teaching with the Acid-base Laboratory Learning Model were not higher than teaching with the traditional instruction due to the five factors previously mentioned.

3.1.3 Effectiveness on Students' Attitude towards Chemistry Laboratory

Learning

The quantitative data of attitude towards chemistry laboratory learning was analyzed to test Research Hypothesis 3: Students' attitude toward chemistry laboratory learning after learning with the learning model would be statistically significantly higher than the high level. The results are shown in Table 22.

Table 22 Students' Attitude towards Chemistry Laboratory Learning after using the Learning Model

Aspect	N	Criterion	$\bar{X}$	S.D.	t	p
1.The importance of laboratory in chemistry learning	67	3.51	4.07	0.48	9.540**	.000
2. The difficulty of chemistry laboratory	67	3.51	3.56	0.54	0.783	.218
3. The interest in chemistry laboratory	67	3.51	3.92	0.61	5.490**	.000
4. The usefulness of chemistry laboratory	67	3.51	3.94	0.49	7.071**	.000
Overall	67	3.51	3.84	0.48	5.711**	.000

**p < .01

Table 21, the results showed that the mean score overall of the students' attitude towards chemistry laboratory learning after using the learning model was statistically significantly higher than the criterion at a .05 level. Furthermore, the students' attitude towards chemistry laboratory learning concerning the importance of laboratory in chemistry learning, interest in chemistry laboratory, and usefulness of chemistry laboratory were statistically significantly higher than the criterion at a .05 level. There was an exception for the mean score of the students' attitude towards chemistry laboratory learning relating to the difficulty of chemistry laboratory that was not higher than the criterion at a .05

level. However, it indicated that there was statistical evidence of the effectiveness of the learning model in improving students' attitude towards chemistry laboratory learning.

The classroom observation and interview data could explain the quantitative data as follows:

Students looked happy. In the observation data, it was found that students looked happy doing an experiment as shown in Figure 10. According to the participants interviews, most students said, "I enjoyed doing the experiment."



Figure 10 Students looked Happy

Students perceived the importance and usefulness of chemistry laboratory. They found that chemistry laboratory learning was enjoyable. It assisted them to understand the chemistry concept easily. They had a chance to see the real thing, and use the science equipment/materials correctly as shown in Figure 11. For instance, student SE01 said, "It [the experiment] made chemistry learning more fun and students can use the equipment correctly." "Besides," she said, "It helped me in constructing the knowledge by myself, and I got more understanding in the related concepts." Similarly, student SE02 said, "I had got a lot of knowledge and many other things. I used the science equipment/materials that I had never used before such as acid-base indicators. I had only ever used litmus paper." In addition, student SE04 said, "It seems that the experiment made me be able to observe better [the concept is more concrete], and practice critical thinking."



Figure 11 Students see the Real Thing and use the Science Equipment/Materials

Students had a chance to see and touch the real things in chemistry. As a teacher said, “Students have seen the real things in the experiment, then it was easy to connect with the concept.” Students said, “I had a chance to see the real things, see and use the chemicals that I had never seen or used before. Moreover, I had a chance to touch and use the science equipment.”

In conclusion, It was found that students enjoyed, perceived the usefulness, and had a chance to see the real things in chemistry while doing experiments. Therefore, it was confirmed that students’ attitude towards chemistry laboratory learning after learning with the Acid-base Laboratory Learning Model was higher than the high level.

3.2 The Key Factors that affected Students’ Conceptual Understanding, Integrated Science Process Skills, and Attitude towards Chemistry Laboratory Learning

The qualitative data of the implementation of the learning model found seven factors affected the students’ conceptual understanding, integrated science process skills and attitude towards chemistry laboratory learning as follows.

1) *Completion of all steps in the classroom.* The learning process consists of six steps, all which are important to help students understand the concept until they apply the knowledge in daily life as the last step. Therefore, in using this learning model all the steps should be done in the class.

2) *Preparing students' background knowledge.* The learning model considers the students' background knowledge in step 1 introduction. However, if students have a very low background knowledge in many concepts then for the effective use of the learning model the teacher might need extra time to prepare the students background knowledge before teaching with the learning model.

3) *Teacher's understanding of the concepts and integrated science process skills.* The teacher's conceptions have an affect on the students' conceptions. If the teacher did not have a clear understanding of the concepts then this might lead to student misconceptions. Therefore, a teacher should have the correct conceptual understanding for all concepts before implementing the learning model..

Because in the use of the learning model the teacher should be ready to scaffold the students learning and correct students' conceptions when they have misunderstanding in both concepts and skills.

4) *Readiness of learning materials.* The learning materials used in this model were a separate worksheet and textbook. Therefore, to have effectiveness in teaching, the worksheet should be inserted into the students' workbook, and the teacher should inform the students about taking the textbook and workbook into the class.

Another way is, since the teacher might not use the textbook then a fact sheet about the explanation of the concepts could be prepared for the students instead of asking them to read the textbook. Thus, the model should provide completed learning materials including factsheet and worksheet that the students and teachers could follow step by step. In this case the students could use the learning materials to follow the lesson, especially when they are absent. In addition the students could preview the information before class, recap after class, and use it in preparation for the final examination.

5) *Teachers' assistance.* As the learning model gives an opportunity for students to practice all five integrated skills, the teacher should help them while doing the experiment as many students face difficulties in practicing integrated skills and might need the teacher to scaffold them.

6) *Time management.* The teacher should manage the time used in each step and should encourage students to complete the task in an appropriate time. Students planning experiments slowly might need more time to understand and complete the experiment. Therefore, the teacher should focus a lot on class time management.

7) *Student group organization.* The learning model focuses on the collaborative group, that is, groups of students with varying abilities. Therefore, for effective

use, the teacher should organize the students into groups with varying abilities. It is an opportunity for high ability students to be able to help others. In addition, the number of students in a group should be limited to be not more than four, so that all members in a group would be actively engaged in the group activities.

In conclusion, the seven factors that affected students' conceptual understanding, integrated science process skills and attitude towards chemistry laboratory learning in using the learning model were: (1) Completion of all steps in classroom, (2) Preparing students' background knowledge, (3) Teacher's understanding of the concepts and integrated science process skills, (4) Readiness of learning materials, (5) Teachers' assistance, (6) Time management, and (7) Student group organization.



CHAPTER 5

Conclusions and Discussion

The purpose of this chapter is to draw some conclusions from the finding and discuss the research findings presented in Chapter 4 in terms of relevant literature. This chapter begins with a summary of the inquiry, followed by the conclusion of the research findings and then discussion of the research findings. Finally, the limitations and recommendations of the research are reported.

1. Summary of Research Inquiry

The purposes of this study were (1) to develop the Acid-base Laboratory Learning Model based on the social constructivist theory and the connection between the three levels of chemical representation for upper secondary students; (2) to study the effectiveness of the learning model on students' conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning; and (3) to find the key factors of the Acid-base Laboratory Learning Model that have an affect on students' conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning.

The research hypotheses of this study were: (1) students' conceptual understanding on acid-base for the experimental group would be statistically significantly higher than the control group at a .05 level; (2) students' integrated science process skills for the experimental group would be statistically significantly higher than the control group at a .05 level; and (3) students' attitude toward chemistry laboratory learning after using the learning model would be statistically significantly higher than the high level at a .05 level.

The research participants in this study included: (1) the researcher, (2) a chemistry teacher, and (3) upper secondary students. The researcher's roles were developing research instruments, developing the Acid-base Laboratory Learning Model, conducting teacher training for the use of the learning model, and collecting research data. The teacher who participated in this work was a school chemistry teacher. The teacher's roles were teaching the control group with her own normal instruction, preparing for a good understanding of the learning model and learning unit, and teaching the experimental group by using the developed learning model. The students who participated in this work were 11th Grade science students from a school in Chonburi province. The school was selected by

convenience sampling from the public secondary schools in Thailand that learn the acid-base topic using IPST textbooks. The participating students were from four science classrooms, two in 2013 and the others in the 2014 academic year. The students from two science classrooms in 2013 were the control group (98 students) and the other two science classrooms in 2014 were the experimental group (86 students). The students in both groups did pre-tests and post-tests and some were interviewed. However, the students in the control group were taught using the traditional instruction, while the experimental group students were taught using the Acid-base Laboratory Learning Model.

The research instruments are categorized into two parts as follows:

1) The learning unit which was developed and based on the Acid-base Laboratory Learning Model. The contents and the main concepts were aligned with the Chemistry Textbook Volume 3 of the IPST. This unit was composed of nine lesson plans and the time used was twenty-nine periods (50 minute/period).

2) The research instruments for collecting research data included both quantitative and qualitative instruments as follows:

2.1) *Acid-base conceptual understanding test*. The test was a multiple choice format which consisted of twenty-five items, covering twelve concepts. The reliability of the test was calculated by KR-20 which was 0.73.

2.2) *Integrated science process skill test*. The test covers five integrated science process skills which include: identifying and controlling variables, formulating hypotheses, defining variables operationally, experimenting, and interpreting data and making conclusions. The questions are aligned with the chemistry content for students at the high school level. The test was a paper-and-pencil test and comprised of twenty items of multiple choices with four options and four items for each skill. The reliability (KR20) of the test was 0.78.

2.3) *Attitude towards chemistry laboratory learning questionnaire*. This questionnaire was developed as opinion statements using five-point likert scales starting from strongly agree to strongly disagree. Each statement reflected the feeling of a student as either the students like or dislike, or valuing or non-valuing when engaging in chemistry laboratory learning. The reliability (α) was 0.92.

2.4) *Classroom observation form*. The issues of observation are: position of the students and teacher in the classroom, teaching approach, learning objective, classroom materials, laboratory, teaching, application of knowledge and skills,

connection for the three levels of representation, as well as student-student and teacher-student interaction.

2.5) Interview protocol. The teacher's interview protocol was: background information; objectives of acid-base teaching and learning; acid-base teaching approach; the strength and weakness of the teaching approach; satisfaction towards the teaching approach; the obstacles of acid-base learning; acid-base laboratory. The students' interview included: the objectives of acid-base learning; strength, weakness, and satisfaction of acid-based teaching; the obstacles of acid-base learning; and acid-base laboratory learning.

The research design of the study is a mixed method—both quantitative and qualitative data in a single study to understand research problems. The experimental design was a nonequivalent (pre-test and post-test) control-group design. The research procedure was carried out using two complementary studies (Webb; & Treagust. 2006). The first study was carried out in the 2013 academic year and was the control group. The second study was carried out in the 2014 academic year and was the experimental group. The inquiry process was composed of four phases:

Phase I Collecting preliminary data. The aim of this phase was to collect the data of the normal classroom teaching on acid-base, which was the control group, using both quantitative and qualitative research instruments.

Phase II developing the Acid-base Laboratory Learning Model. The aims of this phase were to develop the Acid-base Laboratory Learning Model and to design the acid-base learning unit based on the learning model.

Phase III implementing the learning model. The aim of this phase was to collect the data of the experimental group, which learnt with the learning model, using both quantitative and qualitative research instruments.

Phase IV evaluating the effectiveness of the model. The aim of this phase was to analyze the effectiveness of the Acid-base Laboratory Learning Model. The quantitative data was analyzed using descriptive statistics and inferential statistics in order to describe the data and to test the research hypotheses.

2. Research Findings

The findings from this research can be categorized into four parts: (1) preliminary data findings; (2) development of the acid-base laboratory learning model findings, (3)

effectiveness of the learning model findings, and (4) factors affect on the learning outcomes findings.

2.1 The Findings of the Preliminary Data

It was found that the traditional instruction of the control group was a teacher-centered approach with no experiments. The time used for the acid-base teaching was about fifteen periods.

The results of using the traditional instruction were found to be that the post-test mean score of students' acid-base conceptual understanding was statistically significantly higher than the pre-test at a .01 level. However, the mean score for the post-test was 9.39 which was low. The post-test mean score of students' integrated science process skills was statistically significantly higher than the pre-test at a .05 level and the mean score was 10.57.

The students and the teacher faced difficulty in the acid-base teaching and learning. They required doing some experiments, learning in depth, and considering background knowledge.

2.2 The Findings of the Development of the Acid-base Laboratory Learning Model

The results of the learning model evaluation by experts showed that the learning model was internally consistent and was appropriate at a very high level. It indicated that the learning model would be effective to use in the chemistry classroom.

The developed learning model was composed of six steps as follows.

Step 1 Introduction: Recap the concept and skills from the last lesson, and review basic concepts or knowledge needed for learning. Then, students are engaged into the topic using various techniques and are encouraged to ask questions related to the topic. Finally, the teacher introduces the objectives of teaching and learning

Step 2 Elicitation: Individual students answer their own question and other questions related to the topic based on students' prior knowledge and experiences.

Step 3 Experimentation: Students conduct an experiment (guided and open inquiry) in a collaborative group to promote social interactions and learn the chemistry phenomena at a macroscopic level. The students are motivated to use integrated science process skills. The teacher acts as a scaffolder to support the students while doing an experiment. The experiments use chemicals or materials which are used in daily life.

Step 4 Connection: Students link the macroscopic level that they have seen in step 3 with the sub-microscopic and symbolic levels. The teacher acts as a scaffolder to encourage students to see the relationship between the levels. Models, analogies, animation, and video clips could be used to help students to make connections between the three levels. Then, the teacher provides an explanation to complete the knowledge of the topic.

Step 5 Conceptualization: Individual students construct their own concepts by connecting the concepts of new knowledge, prior knowledge, and knowledge derived from social interaction. The teacher acts as a scaffolder to help the students conduct completing the concepts.

Step 6 Application: The students apply the concepts they have learned to explain the phenomena in their daily life and real world problems. The phenomena include problems in different situations both conceptual and numerical. The application aims to make learning more meaningful and to help students link chemistry in the classroom with their own lives.

2.3 The Findings of the Effectiveness of the Learning Model

It was found that students' acid-base conceptual understanding of the experimental group was not significantly higher than the control group at a .05 level. This was a result of six factors: (1) The learning processes were not completed in the classroom with the result that students could not construct a complete understanding. (2) The teacher had incomplete concepts and that had an affect on the students' understanding. (3) The students had a low background knowledge in many related concepts and as a result had difficulty in understanding some acid-base concepts. (4) With worksheets and knowledge sheets separated, the students could hardly make a complete connection in developing conceptual understanding. (5) Some experiments were not well designed and that created to some misconceptions. (6) The three levels of chemical representation were not clearly explained in the classroom which created an obstacle for the students in constructing a correct conceptual understanding.

The integrated science process skills of the students in the experimental group were not higher than the control group at a .05 level. There were five factors that could have been obstracles to students in developing their integrated science process skills as follows: (1) students lack of background knowledge in related concepts resulted in difficulty

for the students constructing new concepts, (2) students not paying attention in listening to the teacher also resulted in some experimental steps not being done correctly, (3) the students needed more assistance in developing the integrated science process skills, (4) students required more time to understand the experiment, and (5) groups being too big, as small collaborative group would be required in order to develop the integrated science process skills.

However, the students' attitude towards chemistry laboratory learning after using the learning model was statistically significantly higher than the criterion at a .05 level. Students implied that doing experiments was fun. They perceived the importance and usefulness of the chemistry laboratory. In addition, they stated that doing experiments gave them a chance to see and touch the reality of chemistry.

2.4 The Findings of Factors Affecting the Learning Outcomes

The findings suggest that there are seven key factors that affect the student's conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning including: 1) All steps of the learning model should be completed in classroom, 2) Background knowledge should be explored and reviewed before using the learning model, 3) The teacher should have the correct conceptual understanding and integrated science process skills, 4) Learning materials should be ready for use in order for students and teachers to be able to go step by step, 5) The teachers should take more responsibility in helping the students develop the intergrated skills, 6) The teacher should manage the time used in each step well, as well as encouraging the students to complete the task in an appropriate time, and 7) Students should be grouped into small collaborative groups.

3. Discussion

The discussion of the research findings comprises of 2 parts:

1) The effectiveness of the Acid-base Laboratory Learning Model on students' conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning.

2) The factors that affected students' conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning.

3.1 Effectiveness of Acid-base Laboratory Learning Model on Students' Conceptual Understanding, Integrated Science Process Skills, and Attitude towards Chemistry Laboratory Learning

The discussion in this topic is composed of three parts: (1) Students' acid-base conceptual understanding, (2) Students' integrated science process skills, (3) Students' attitude towards chemistry laboratory learning.

3.1.1 Students' Acid-base Conceptual Understanding

The results showed that the students' acid-base conceptual understanding in the experimental group was not higher than the control group at a .05 level. The findings were inconsistent with the proposed research hypotheses that indicated that it should be significantly higher than the control group at a .05 level. The effectiveness of the learning model in enhancing the conceptual understanding should result from the social constructivism, laboratory learning, and connecting between the three levels of chemical representation. The result does not confirm the previous study of the effectiveness of social constructivism (Akkus; et al. 2003: 209; Kilavuz. 2005: 52), laboratory learning (Freedman. 1997: 343, Hofstein; & Lunetta. 1982: 201; 2004: 28), and connecting the three levels of chemical representation (Gabel. 1999: 550; Treagust; Harrison; & Venville. 1998: 85), to enhance conceptual understanding.

The possible reasons that might explain the results of this study are as follows:

1) The learning processes were not completed in the classroom. From observation, steps 5 (conceptualization) and 6 (application) of the learning model were assigned as homework. Therefore, it is highly probable that with step 5 the students lacked social interaction and scaffolding from the teacher to help them construct their own knowledge and to correct their conceptual understanding before application in step 6 which were essential. This is confirmed by Zhang (2010: 58) and Chin (2007: 816) who suggested that the social interaction and teacher questions as a scaffolding were an important component of constructing knowledge based on social constructivism. Additionally, Hand; Treagust; & Vance (1997: 562) studied the social constructivist classroom and found that for there to be effective learning based on social constructivism, the students needed validation of their answers in terms of scientific correctness. Thus, the incompleteness of steps in the class of the learning model based on social constructivism might result in ineffective conceptual understanding.

2) The teacher's conception affected the students' understanding. The results found that teacher's misconception that water is neutral only at 25°C had an influence on the students' misconception for this concept. These is similar to many research studies, which found that teachers' misconceptions may result in students' misconceptions (Blosser, 1986; Chiu; Lin; & Liang. 2011: 2). This may have caused that experimental group students' acid-base conceptual understanding to be lower than expected.

3) Students had a low background knowledge for many concepts. The acid-base concept requires the basic science or underlying chemistry concepts such as atomic structure, ionization, ionic and covalent bond, to be more understood (Sheppard. 2006: 32). The results of this study showed that the students had a low background knowledge, therefore, they could not understand the acid-base chemistry concepts. This was confirmed by previous research studies which found that if students did not sufficiently grasp the underpinning concepts then further chemistry concepts could not be easily understood or misconceptions could result (Faikhamta. 2008: 10; Sirhan. 2007: 2).

4) Worksheet and knowledge sheet was separated. The learning model designed the learning material from two sources: (1) a worksheet developed by the researcher and (2) the textbook as a source of knowledge. The observation found that the teacher and students used only the worksheet withno textbook. Thus, students did not have some required knowledge and concepts which were stated in the textbook.

5) Some of experiments were not well designed, and that might have led to student misconceptions. The results of the study showed that student misconceptions such as the electrolytes came from what they observed in the experiment provided for them. This result was in agreement with the previous study indicating that experiments have both advantages and disadvantages (Chang; & Lederman: 1994: 167; Nakhleh; Polles;& Malina. 2003: 79). For advantage, if the experiment is designed well then the student would easily have conceptual understanding. On the contrary, if the experiment is not designed well then the student might construct an alternative concept.

6) The three levels of chemical representation was not explained properly in the classroom. The observation showed that the teacher usually explained and imparted the knowledge of the three levels of chemical representation in the same way as in the traditional instruction rather than using prepared analogy activities and technological tools in order to help students explain what they observed at the submicroscopic level and symbolic levels by themselves. The previous research indicated that the use of explanation for the three levels of representation without using prepared analogy activities and technological

tools caused the lack of students' interest and engagement in learning in- depth (Orgil; & Bodner. 2004: 29; Wu; Krajcik: & Soloway. 2000: 822).

3.1.2 Students' Integrated Science Process Skills

It was found that the integrated science process skills of the experimental group students were not higher than the control group at a .05 level and were not higher than the traditional instruction. This was not consistent with the proposed research hypotheses which stated that it would be significantly higher than the control group at a 0.05 level. In the learning model the students had a chance to practice the five integrated science process skills in step 3 because of laboratory learning. The outcome did not confirm the previous reports that laboratory learning could promote student science process skills (Hofstein; & Lunetta. 1982: 201; 2004: 28). The possible reasons which might explain the result of this study are as follows:

1) Students need more assistance to develop their integrated skills. The interview of the teacher implied that the integrated science process skills were difficult for the students as they could not be done by themselves, and they needed more assistance from the teacher. This is in accord with Mei (2007: 17) and Nelson (2004: 35) who found that more scaffolding is required for students in learning new or complex skills. The scaffolding would have helped the students to acquire science process skills. However, there needs to be a balance between providing students support and allowing them to be independent learners.

It revealed that the teacher assistance in the implementing the learning model might not enough to help student develop the integrated science process skills.

2) Students lack of background knowledge in related concepts. It was found that students do not know the chemical formula of the substances, some students use wrong chemicals in their experiment. Therefore, the background knowledge influenced on development of the science process skills. These is confirmd by Berry et al. (1999: 27-31) suggested a crucial factors that influence the acquisition of processskills used in laboratory work, which is students' relevant content knowledge that isassumed by the task to be mentally engaged. A more knowledgeable studentwould be able to explain an observation, which in turn "validates" his knowledge and giveshim a certain amount of intellectual satisfaction.

It was revealed that the students lack of background knowledge had an influence on the results of the students' integrated science process skills

3) Students need more time to understand the experiment. The results agreed with many previous studies (Berry. 1999: 30; Hofstein et al. 2004; Padilla, Okey, & Dillashaw. 1983; Watson. 2000: 68-69) which suggested that developing students' science process skills takes a long time and students should be provided sufficient time to understand and do experiments by themselves.

It was revealed that the time might not have been enough for students to develop the integrated skills.

4) Students need to pay attention while the teacher explains experimental steps. Through observation, it was found that the students did not pay attention in listening to the teacher and that they did not conduct some experimental steps well. These could have affected the development of science process skills.

5) A small collaborative group is important. The research confirmed that the collaborative group is effective in developing the science process skills. Such as Mei (2007: 17) who used group collaboration extensively in a research study where students worked in groups of three. He found that group collaboration was a successful strategy in his study where a group of not more than four people would be effective. Berge (1990: 747) studied the effects of group size, gender, and ability grouping on learning science process skills using microcomputers. It was found that teams of two and four members working together solved problems as effectively as individuals. However, the results of this study found that too large a group of students (about two to seven students in a group) is an obstacle to improve student's science process skills. But, if group organization was not designed well or same ability students were in the same group then no one could help each other.

3.1.3 Students' Attitude towards Chemistry Laboratory Learning

The results of the study indicated that the students' attitude towards chemistry laboratory learning of the experimental group was statistically significantly higher than the high level at a .05 level which was consistent with the proposed research hypotheses. Students were happy and enjoyed doing the experiments. They perceived the importance and usefulness of chemistry laboratory as well as having a chance to see and touch real things during the experiment. It was revealed that doing laboratory learning can

enhance student attitudes (Hofstein; & Lunetta. 1982: 201; 2004: 28). The research of Freedman (1997: 343) used a hands-on laboratory program as a means of improving student's attitude towards science. It showed that the laboratory instruction influenced in a positive direction the students' attitude toward science. Accordingly, Foley; & McPhee (2008: 1) found that students in the hands-on classes were generally more favorable to science and had a better understanding of the nature of science than students in textbook classes.

The results confirmed that the learning model was effective in terms of promoting a positive attitude towards chemistry laboratory learning.

3.2 The Factors that Affected Students' Conceptual Understanding, Integrated Science Process Skills, and Attitude towards Chemistry Laboratory Learning Using the Learning Model

The use of the learning model to be more effective in terms of students' conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning is discussed as follows.

1) Completion of all classroom steps. The learning process consisted of six steps based on social constructivism, laboratory learning, and the connection between the three levels of chemical representation. Steps 3-5 need the social interaction between peers and the teacher which should be done in the classroom. However, the other steps still need the teacher's questions and scaffolding for the students' learning. Therefore, in order for the learning model to be more effective, all the steps are important to help the students in understanding a concept until they can apply the knowledge in daily life at the last step. Therefore, when using this learning model every step should be completed in the appropriate way.

2) Preparing students' background knowledge. Students' background knowledge affects future conceptions (Sirhan. 2007: 2) and development of the science process skills (Berry et al. (1999: 27). Therefore, for the use of the learning model to be more effective, the teacher should check and prepare the students' background knowledge that has relevance to a particular topic. However, if students have a very low background knowledge for many concepts the teacher should prepare their background knowledge before implementing the learning model for the effective use of the learning model.

3) Teacher's understanding of the concepts and integrated science process skills. In using this learning model the teacher should be an active person. The teacher should have a complete knowledge of both integrated science process skills and acid-base concepts in order to be ready to scaffold the students' learning, to give feedback, and to correct students' conceptions. The teacher should have correct conceptual understanding especially, as the teacher's conception has an effect on the students' conceptions (Chiu; Lin; & Liang. 2011: 2).

4) Readiness of learning materials. It was found that the worksheets and knowledge sheets were separated. The teacher and students used only the worksheets with no textbooks. This could cause important knowledge or concepts in the textbook to be missing for the students. Therefore, for teaching to be effective using this learning model, the complete learning materials including factsheets and worksheets for students and teachers to follow step by step, should be completed and placed in a students' manual. In this case, students could use the learning materials to follow the lesson especially when they were absent. In addition students could do a preview before the class, recap/review after class, and use for the preparation of the final examinations.

5) Teachers' assistant. The learning model is based on social constructivism which needs the social interaction and scaffolding from the teacher (Zhang. 2010: 58; Chin. 2007: 816). Therefore, the teacher should act as a facilitator and scaffolder to help the students while doing the experiment in step 3 and the other steps. Since many students face difficulty in practicing integrated skills, the teacher needs to provide more scaffolding (Nelson. 2004: 35).

6) Time management. When using the learning model for effective teaching the teacher should manage the time for the topic, the time used in each plan, and each step due to the time for each school level chemistry topic being limited. The teacher should encourage the students to complete the tasks in an appropriate time, as well as give appropriate time for students to develop their integrated science process skills.

7) Organizing student groups. The learning model focuses on the collaborative group and as such a group of students with varying abilities. Therefore, the teacher should organize the students into groups with varying abilities as it is an opportunity for high ability students to help others, and with small numbers in each group in order to give an opportunity to students to develop their skills and get help from teacher. This is in alignment with the findings of a study conducted by Hofstein et al (2004), where collaborative learning in laboratory work helped students construct knowledge.

4. Limitations

It is appropriate at this point to reflect upon what limitations were present in the study and to consider what impact these limitations may have had on the trustworthiness of the inquiry. The research inquiry reported on in this study had some limitations as follows.

1) The samples in this study were not of various abilities in a classroom, but were medium to low achievement students.

2) The teacher who participated in the study was familiar with traditional instruction or teacher-centered instruction because she had taught with this approach for more than twenty years. Therefore, in the implementation phase she might have adapted some things to her mindset and teaching habit.

3) In the implementation phase, the time in the second semester for the acid-base topic was not enough to implement all of the lessons. Therefore, the implementation was continued in the first semester of the 12th Grade which might have led to the disconnection of concepts.

4) Students lack of attention when doing the test as they knew that it did not affect their grades. The post-test of the experimental group was completed in less than fifty minutes for the remaining ten items of ABCUT, twenty items of ISPST, and thirty items of ACLLQ as the appropriate time should have been sixty to seventy minutes.

5. Recommendations

5.1 Recommendations for Policy Makers

From the findings of this research, the researcher would like to give some suggestions for policy makers. Firstly, a large number of students in a classroom or a large class size might have an influence on the teacher not being able to scaffold all the groups. Therefore, if possible the school classroom should limit the number of students. Secondly, organizing students to work in groups is important. Students who have the same ability in a class cannot help each other. Thus, organizing for mixed ability groups should be done.

5.2 Recommendations for Teachers

The recommendation for teachers using the learning model effectively are as follows:

- Teachers should study the Acid-base Laboratory Learning Model and should understand the theories or principles underpinning the model. In addition, the learning

process, teacher's and students' role, and assessments are important to understand before using the learning model.

- Particularly, teachers who use this model should consider the factors that affect student's conceptual understanding, integrated science process skills, and attitude towards chemistry laboratory learning which include: 1) Completion of all steps in the classroom, 2) Preparing students' background knowledge, 3) Understanding the concepts and integrated science process skills, 4) The use of learning materials, 5) Supporting students constructing knowledge and skills, 6) Time management, and 7) Organizing student groups.

- Teachers might adapt some experiments to be more suitable for a school context or to enable understanding the concepts more easily by using everyday life materials.

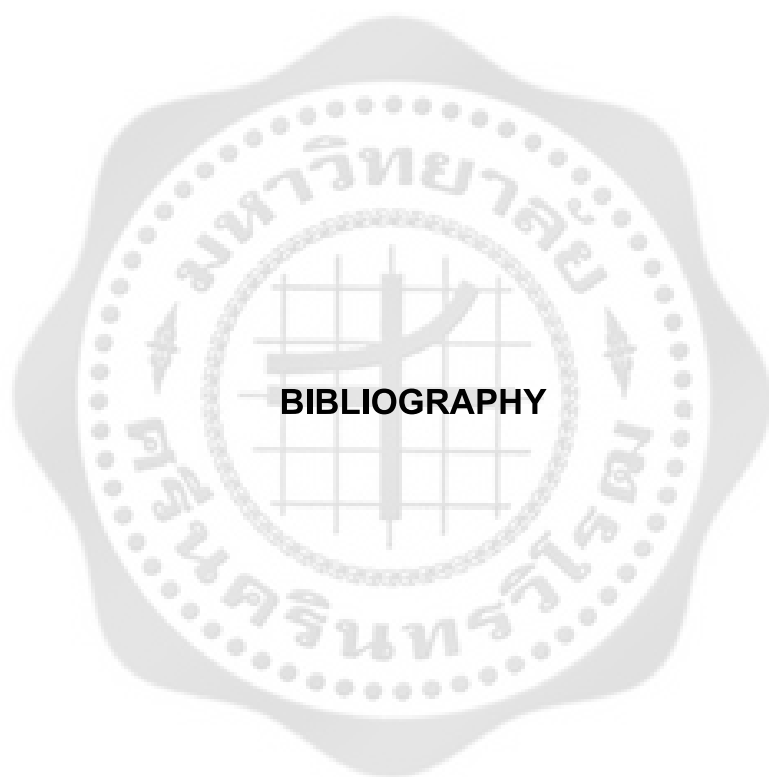
- Teachers might adapt the media or strategies used for the connection between the three levels of chemical representation that best suit their students' background and interest.

5.3 Recommendation for Future Research

From the problems and limitations found in this inquiry, the acid-base learning unit used twenty-nine periods of time which was more than the twenty-seven periods for the Thai science curriculum by IPST. Therefore, the suggestion for future research is that research should be done to improve the learning unit design for the learning model to be more suitable time-wise in practice.

Additionally, in some ways the experiment was not well designed which may have caused misconceptions. The experiment used in the learning unit should be improved.

Moreover, some analogies the teacher did not use as they might not have made sense to the teacher. The selection of appropriate analogies might be an interesting research topic so as to find appropriate acid-base topic analogies.



BIBLIOGRAPHY

- Abdulhanung, Dalareen; Supasorn, Saksri; & Samphao, Anchalee. (2012). Development of Achievement on Acid-base and Scientific Method Using Cooperative Learning Accompanied With Science Projects Learning For M5 Students. *Journal of Education Prince of Songkla University Pattani Campus*. 23(1): 124-134.
- Akinbobola, Akinyemi Olufunmiyi; & Afolabi, Folashade. (2010). Analysis of Science Process Skills in West African Senior Secondary School Certificate Physics Practical Examinations in Nigeria. *Bulgarian Journal of Science and Education Policy*. 4(1): 32-47.
- Akkus. H.; et.al. (2003). Effectiveness of instruction based on the constructivist approach on understanding chemical equilibrium concepts. *Research in Science and Technological Education*. 21(2): 209-227.
- Alao, Solomon; & Guthrie, John T. (1999). Predicting Conceptual Understanding with Cognitive and Motivational Variables. *Journal of Educational Research*. 92(4): 243-254.
- Allport, GW. (2008). Attitudes. In *Attitudes Measurement*. London: Sage.
- Alonso, Fernando; et.al. (2008). Learning Objects, Learning Objectives and Learning Design. *Innovation in Education and Teaching International*. 45(4): 389-400.
- American Institutes for Research in the Behavioral Science. (1971, December). Science—a process approach. *Product Development Report No. 8*. Retrieved from <http://file.eric.edu.gov/fulltext/ED064066.pdf>.
- Applefield, James M.; Huber, Richard; & Moallem, Mahnaz. (2001). Constructivism in Theory and Practice: Toward a Better Understanding. *The High School Journal*. 84(2): 35-53.
- Ardac, Dilek; & Akaygun, Sevil. (2004, April). Effectiveness of Multimedia-based Instruction that Emphasizes Molecular Representations on Students' understanding of Chemical Change. *Journal of Research in Science Teaching*. 41(4): 317–337.
- Artdej, Romklao; et.al. (2010, July). Thai Grade 11 Students' Alternative Conceptions for Acid–Base Chemistry. *Research in Science & Technological Education*. 28(2): 167-183.

- Barmby, Patrick; Kind, Per M.; & Jones, Karen. (2008). Examining Changing Attitudes in Secondary School Science. *International Journal of Science Education*. 30(8): 1075-1093.
- Bennett, Judith. (2003). *Teaching and Learning Science*. London : Continuum.
- Berge, Zane L. (1990). Effects of group size, gender, and ability grouping on learning science process skills using microcomputers. *Journal of Research in Science Teaching*. 27(8): 747–759. DOI: 10.1002/tea.3660270805
- Berionni, Antonietta; & Baldón, Maria Oliva. (2006). *Model of Social Constructivism, Laboratory Teaching and Concept Maps to Build Scientific Knowledge and Organize Concept Network: Teaching Experience in First Level Education in Italian Schools*. Retrieved August 7, 2011, from <http://eprint.ihmc.us/182/1/cmc2006-p41.pdf>.
- Berry, Amanda; et.al. (1999, March). Helping Students Learn from Laboratory Work. *Australian Science Teachers' Journal*. 45(1): 27-31.
- Beskeni, Rhoda D.; et.al. (2011, March). The Effect of Prior Knowledge in Understanding Chemistry Concepts by Senior Secondary School Students. *Internation Journal of Academic Research*. 3(2), Part II: 607-611.
- Bilgin, Ibrahim. (2006). The Effects of Hands-on Activities Incorporating a Cooperative Learning Approach on Eight Grade Students' Science Process Skills and Attitudes Toward Science. *Journal of Baltic Science Education*. 5(1). Retrieved July 6, 2013, from <http://www.scientiasocialis.lt/journals/index.php/jbse/article/view/74>.
- Blosser, P.E. (1986). What Research Says: Improving Science Education. *School Science and Mathematics*. 86(7): 597-612.
- Boghossian, P. A. (2006). *Fear of knowledge: Against relativism and constructivism*. Oxford University Press.
- Bowen, Craig W.; & Bunce, Diane M. (1997). Testing for Conceptual Understanding in General Chemistry. *The Chemical Educator*. 2(2): 1-14.
- Bransford, John D. (2000). *How people learn : brain, mind, experience, and school*. Expanded ed. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Bunnag, Chanawat. (2005). *A Development of an Extra Science Curriculum with Emphasis on Community Resources*. Dissertation, Ed.D. (Science Education). Bangkok: Graduate School Srinakharinwirot University. Photocopied.
- Bush. (2006). Learning About Learning: From Theories to Trends. *Teacher Librarian*. 34(2): 14-18.

- ÇETİNGÜL, Püren İpek; & Geban, Ömer. (2005). Understanding of Acid-Base Concept by using Conceptual Change Approach. *H.U. Journal of Education*. 29: 69-74.
- Chaiyapha, P.; Chayajarus, K. ; & Chairam, S. (2011). *Investigation of High School Students' Understanding of Acid-base Chemistry based on Jigsaw Method*. Pure and Applied Chemistry International Conference 2011. Retrieved August 22, 2011, from http://paccon2011.swu.ac.th/wp-content/uploads/2011/06/03_CE_12p.pdf.
- Chaiyen, Yaowares; & Bunsawansong, Pensri; & Yutakom, Naruemon. (2007). Integrated Science Process Skills on Chemical Equilibrium of High School Students from Schools in Chanthaburi Province. *Kasetsart Journal (Social Science)*. 28: 11-22.
- Chandrasegaran, A.L.; Treagust, David F.; & Mocerino, Mauro. (2007). The Development of a Two-Tier Multiple-Choice Diagnostic Instrument for Evaluating Secondary School Students' Ability to Describe and Explain Chemical Reactions Using Multiple Levels of Representation. *Chemistry Education Research and Practice*. 8(3): 293-307.
- (2008). An Evaluation of a Teaching Intervention to Promote Students' Ability to Use Multiple Levels of Representation When Describing and Explaining Chemical Reactions. *Research in Science Education*. 38: 237-248.
- Chang, Huey-Por. & Lederman, Norman. G. (1994). The effect of levels of cooperation within physical science laboratory groups on physical science achievement. *Journal of Research in Science Teaching*. 31: 167-181.
- Cheung, Derek. (2009). Students' Attitudes Toward Chemistry Lesson: The Interaction Effect between Grade Level and Gender. *Research in Science Education*. 39: 75-91.
- Chin, Christine. (2007). Teacher Questioning in Science Classrooms: Approaches that Stimulate Productive Thinking. *Journal of Research in Science Teaching*. 44(6): 815-843.
- Chin, Mei-Hung; Lin Jing-Wen; & Liang, Jia-Chi. (2011). *An Exploratory Study on the Causes of Students' Misconceptions about Acids and Bases*. Retrieved July 18, 2011, from <http://science.gise.ntnu.edu.tw/profile/workshop/AcidBase%20Conference1216.pdf>.
- Chiu, Mei-Hung. (2005). A National Survey of Students' Conceptions in Chemistry in Taiwan. *Chemical Education International*. 6(1): 1-8.

- Clement B.G. (1988, March 26). *A Piagetian Constructivist Perspective on Curriculum Development*. Prepare for New York Metropolitan Association for Development Education.
- Cojorn, Kanyarat. (2011). *A Development of Creative Problem Solving (CPS) Learning Model on Matter and Properties of Matter for Seventh Grade Students*. Dissertation, Ed.D. (Science Education). Bangkok: Graduate School Srinakharinwirot University. Photocopied.
- Colangelo, Rose; et al. (2009). *Science Lab Activities for Secondary Science Education in Northeast Thailand*. Retrieved September 17, 2012, from http://www.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-030509-040143/unrestricted/ThaiSciB_FinalReport.pdf.
- Coll, Richard K.; & Treagust, David F. (2001, March). Learners' Use of Analogy and Alternative Conceptions for Chemical Bonding: A Cross-Age Study. *Australian Science Teachers' Journal*. 48(1): 24-32.
- Coll, Richard K.; France, Bev; & Taylor Ian. (2005, February 4). The Role of Models/and Analogies in Science Education: Implication form Research. *International Journal of Science Education*. 27(2): 183-198.
- Cowie, Bronwen; & Bell, Beverley. (2001). Formative Assessment and Science Education. *In Series: Science & technology education library; v. 12*. Dordrecht: Kluwer Academic
- Creswell, John W. (2005). *Educational Research: Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Research*. 2nd ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Merrill Prentice Hall.
- (2003). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Method Approaches*. 2nd ed. Thousand Oaks, California: Sage Publications.
- Dahsah, Chanyah; & Coll, Richard K. (2008). Thai Grade 10 and 11 Students' Understanding of Stoichiometry and Related Concepts. *Internaitional Journal of Science and Mathematics Education*. 6(3): 573-600.
- Demircioğlu, Gökhan; Ayas, Alipaşa; & Demircioğlu, Hülya. (2005). Conceptual Change Achieved through a New Teaching Program on Acids and Bases. *Chemistry Education Research and Practice*. 6 (1): 36-51.

- Devetak, Iztok; Vogrinc, Janez; & Glažar, Sasa Aleksij. (2009). Assessing 16-Year-Old Students' Understanding of Aqueous Solution at Submicroscopic Level. *Research in Science Education*. 39: 157-179.
- Dillashaw, F. Gerald; & Okey, James R. (2006). Test of the Integrated Science Process Skills for Secondary Science Students. *Science Education*. 64(5): 601-608.
- Ding, Ning; & Harskamp, Egbert G. (2011). Collaboration and Peer Tutoring in Chemistry Laboratory Education. *International Journal of Science Education*. 33(6): 839-863.
- Dixon-Krauss, Lisbeth. (1996). *Vygotsky in the classroom : mediated literacy instruction and assessment*. White Plains, NY : Longman.
- Domin, Daniel S. (1999, April). A Review of Laboratory Instruction Styles. *Journal of Chemical Education*. 76(4): 543-547.
- Downing, Jan E.; & Filer, Janet D. (1999). Science Process Skills and Attitudes of Preservice Elementary Teachers. *Journal of Elementary Science Education*. 11(2): 57-64.
- Drechsler, Michal; & Schmidt, Hans-Jürgen. (2005). Textbooks' and Teachers' Understanding of Acid-base Models Used in Chemistry Teaching. *Chemistry Education Research and Practice*. 6 (1): 19-35.
- Enger, S. K.; & Yager, R. E. (2001). *Assessing Student Understanding in Science: A Standards-Based K-12 Handbook*. California: Corwin Press.
- Faikhamta, Chatree. (July-December, 2008). Student Alternative Conceptions in Chemistry. *Journal of Education Prince of Songkla University Pattani Campus*. 19(2): 10-28
- Feyzioğlu, Burak. (2009). An Investigation of the Relationship between Science Process Skills with Efficient Laboratory Use and Science Achievement in Chemistry Education. *Journal of Turkish Science Education*. 6(3): 114-132.
- Foley, Brian J; & McPhee, Cameron. (2008). *Students' Attitudes towards Science in Classes Using Hands-On or Textbook Based Curriculum*. Retrieved July 11, 2013, from <http://www.csun.edu/~bfoley/Foley&McPhee%20AERA08.pdf>.
- Freedman, Michael P. (1997). Relationship among Laboratory Instruction, Attitude toward Science, and Achievement in Science Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*. 34(4): 343-357.
- Gabel, Dorothy L. (1993). Use of the Particle Nature of Matter in Developing Conceptual Understanding. *Journal of Chemical Education*. 70(3): 193-194.

- (1994). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan.
- (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*. 76(4): 548-554.
- George, Rani. (2000). Measuring Change in Students' Attitudes Toward Science Over Time: An Application of Latent Variable Growth Modeling. *Journal of Science Education and Technology*. 9(3): 213-225.
- Germann, Paul J. (1988). Development of the Attitude toward Science in School Assessment and Its use to Investigate the Relationship between Science Achievement and Attitude toward Science in School. *Journal of Research in Science Teaching*. 25(8): 689-703.
- Gilbert, John. (2003). *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. Secaucus, NJ, USA: Kluwer Academic Publishers.
- Grace, Teo Yew Mei. (2007, May). *Promoting Science Process Skills and the Relevance of Science Through Science ALIVE! Programme*. Proceedings of the Redesigning Pedagogy: Culture, Knowledge and Understanding Conference, Singapore. Retrieved July 6, 2013, from <http://conference.crpp.nie.edu.sg/2007/paper/papers/SCI432.pdf>.
- Gravetter, Frederick J.; & Forzano, Lori-Ann B. (2012). *Research Methods for the Behavioral Sciences*. 4th ed. Retrieved May 7, 2013, from <http://books.google.co.th/books?id=pl04dzBpHy0C&pg=PA479&lpg=PA479&dq=KR20++formula++cronbach+alpha&source=bl&ots=ueuvvFTwR6&sig=mKCQqRRweaEhaluflmOyHdYwWAg&hl=en&sa=X&ei=C36IUfzNJYPkrAf5mYBA&ved=0CD0Q6AEwAg#v=onepage&q=KR20%20%20formula%20%20cronbach%20alpha&f=false>.
- Hand, B.; Treagust, D. F.; & Vance, K. (1997). Student Perceptions of Social Constructivist Classroom. *Science Education*. 81: 561-575.
- Harlen, W. (1999). *Effective Teaching of Science: A Review of Research*. Edinburgh: Scottish Council for Research in Education.
- Harris, Karen R.; & Graham, Steve. (1994). Constructivism: Principles, Paradigms, and Integration. *The Journal of Special Education*. 28(3): 233-247.
- Harrison, Allan G.; & Coll, Richard K. (2008). *Using Analogies in Middle and Secondary Science Classrooms : The FAR Guide--an Interesting Way to Teach with Analogies*. Thousand Oaks, Calif.: Corwin Press.

- Herron, J.D.; & Nurrenbern, S.C. (1999). Improving Chemistry Learning. *Journal of Chemistry Education*. 76 (10): 1354–1361.
- Hodson, Derek. (2001). *What Counts as Good Science Education*. Retrieved July 11, 2011, from <http://sccao.oise.utoronto.ca/downloads/derek%20oisepapers.pdf>.
- Hofstein, Avi; & Lunetta, Vincent N. (1982). The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research Summer*. 52(2): 201-217.
- (2004). The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*. 88: 28–54.
- Hofstein, A., Shore, R., & Kipnis, M. (2004). Providing high school chemistry students with opportunities to develop learning skills in an inquiry-type laboratory - A case study. *International Journal of Science Education*. 26: 47-62.
- Hofstein, Avi; & Mamlok-Naaman, Rachel. (2007). The Laboratory in Science Education: the State of the Art. *Chemistry Education Research and Practice*. 8 (2): 105-107.
- International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA). (2012). *TIMSS 2011 International Results in Science*. Retrieved July 1, 2016, from http://timssandpirls.bc.edu/timss2011/downloads/T11_IR_Science_FullBook.pdf
- (2000). *TIMSS 1999 International Science Report Findings from IEA's Repeat of the Third International Mathematics and Science Study at the Eighth Grade*. Retrieved July 6, 2016, from http://timssandpirls.bc.edu/timss1999i/pdf/T99i_Sci_All.pdf
- Jansoon, Ninna. (2009). *Using Real-Life Chemistry Experiment and Cooperative Learning to Improve the Teaching of General Chemistry Laboratory*. Retrieved September 17, 2012 from, <http://www.li.mahidol.ac.th/thesis/2552/cd428/4737662.pdf>.
- Jansoon, Ninna; Coll, Richard K.; & Somsook, Ekasith. (2009, April). Understanding Mental Models of Dilution in Thai Students. *International Journal of Environmental and Science Education*. 4(2): 147-168.
- Jarvis, P. (2006). *Towards a comprehensive theory of human learning*. London: Routledge
- Jennings, Clara M.; & Di, Xu. (1996). Chapter 5 Collaborative Learning and Thinking: The Vygotskian Approach. In *Vygotsky in the Classroom : Mediated Literacy Instruction and Assessment*. White Plains, NY : Longman.
- Jodtang, Banjung. (2013, March 11). *Interview by Sasipipa Seetee*, at Chonburi Sukkhabot Shool.

- Johnson, Philip. (2000). Developing Students' Understanding of Chemical Change: What Should We Be Teaching?. *Chemistry Education Research and Practice in Europe*. 1(1): 77-90.
- Johnstone, A.H.; & Al-shuaili. (2001). Learning in the Laboratory; Some thoughts from the Literature. *University Chemistry Education*, 5, 42-51.
- Johnstone, Alex H. (2000). Teaching of Chemistry-Logical or Psychological?. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*. 1(1): 9-15.
- Jones, M. Gail; & Carter, Glenda. (1998). Small Groups and Shared Constructions. In *Teaching Science for Understanding : A Human Constructivist View*. pp. 261-279. San Diego : Academic Press.
- Juntarung, Thawal. (2002). *Alternative Conceptions of Some Biology Concepts: Cell, Cell Division, and Transport of Materials Through Cell Held by Mathayomsuksa 4 Students Attending Schools with Different Preparations for Teaching Biology*. Dissertation, M.Ed. Mahasarakham: Faculty of Graduate Studies Mahasarakham University. Photocopied.
- Kaewkhong, Kreetha; et.al. (2010). Thai High-School Students' Misconceptions About and Models of Light Refraction Through a Planar Surface. *Physics Education*. 45(1): 97-101.
- Kahveci, Ajda. (2015). Assessing High School Students' Attitudes Toward Chemistry with a Shortened Semantic Differential. *Chemical Education Research and Practice*. 16: 283-292.
- Kang, Nam-Hwa; & Howren, Carrie. (2004). Teaching for Conceptual Understanding. *Science and Children*. 42(1): 29-32.
- Keeves, J.P. (1997). *Educational Research, Methodology and Measurement : An International Handbook*. 2nd ed. New York: Pergamon.
- Kilavuz, Yeliz. (2005). *The Effects of 5E Learning Cycle Model based on Constructivist Theory on Tenth Grade Students' Understanding of Acid-base Concepts*. Retrieved October 4, 2011, from <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12608670/index.pdf>.
- Kirschner, P.A.; & Meester, M.A.M. (1988). The Laboratory in Higher Science Education: Problem, Premises, and Objectives. *Higher Education*. 17(81): 81-98.

- Kirschner, Paul; & Huisman, Willibrord. (1998). 'Dry Laboratories' in Science Education; Computer-Based Practical Work. *International Journal of Science Education*. 20(6): 665-682.
- Kousathana, Margarita; Demerouti, Margarita; & Tsapalis, Georgios. (2005). Instructional Misconceptions in Acid-base Equilibria: An Analysis from a History and Philosophy of Science Perspective. *Science & Education*. 14: 173-193.
- Krajcik, J. S. (1991). Developing Students' Understanding of Chemical Concepts. In *The Psychology of Learning Science*, V. 6. pp. 117-147. New Jersey: Lawrence Erlbaum, Hillsdale.
- Kuhapensang, Orawan; et al. (2013). Enhancing of the 10th Grade Students' Scientific Conceptions of Animal Kingdom Using Variation Theory. *Journal of Research Unit on Science, Technology, and Environmental for Learning*. 4(2): 99-107.
- Larson, Bruce E. (2000). Classroom Discussion: A Method of Instruction and A Curriculum Outcome. *Teaching and Teacher Education*. 16: 661-677.
- Lazarowitz, Reuven; & Tamir, Pinchas. (1994). Research on Using Laboratory Instruction in Science. In *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Gabel, Dorothy L. pp.94-128. New York : Macmillan.
- Levy Nahum, Tami; et al. (2004). Can Final Examinations Amplify Students' Misconceptions in Chemistry?. *Chemical Education: Research and Practice*. 5(3). 301-325.
- Linn, M. C.; & Burbules, N. C. (1993). Construction of Knowledge and Group Learning. In *The Practice of Constructivism in Science Education*. pp. 91-119. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science (AAAS) Press.
- Lomarak, Tepporn. (2010). *A Development of High School Chemical Bonding Learning Units Incorporated with Information Processing Theory*. Dissertation, Ed.D. (Science Education). Bangkok: Graduate School Srinakharinwirot University. Photocopied.
- Lunetta, Vincent N.; Hofstein, Avi; & Clough, Michael P. (2007). Learning and Teaching in The School Science Laboratory: An Analysis of Research, Theory, and Practice. In *Handbook of Research on Science Education*. Mahwah, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates.
- McRobbie, Campbell. (1997). A Social Constructivist Perspective on Learning Environments. *International Journal of Science Education*. 19(2): 193-208.

- Mei, Grace Teo Yew. (2007). *Promoting Science Process Skills and the Relevance of Science through science Alive! Programme*. Retrieved Aug 30, 2016, from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.489.2768&rep=rep1&type=pdf>
- Minstrell, Jim; & Zee, Emily van. (2007). *Using Questioning to Assess and Foster Student Thinking*. Retrieved April 11, 2013, from <http://dev.ncosp.wvu.edu/Resources/Summer2007PD/Assessment/Making%20the%20Case/Gathering%20Evidence%20of%20Student%20Thinking/G.%20Questioning/Using%20Questioning%20to%20Assess%20and%20Foster%20Student%20Thinking.pdf>.
- Monica, Kazeni Mungandi Monde. (2005). *Development and Validation of a Test of Integrated Science Process Skills for the Further Education and Training Learners*. Dissertation, M.Sc. (Science Education). Retrieved March 19, 2012, from <http://upetd.up.ac.za/thesis/available/etd-04302008-145702/unrestricted/dissertation.pdf>.
- Myers, R.E.; & Fouts, J.T. (1992). A Cluster Analysis of High School Science Classroom Environments and Attitude Toward Science. *Journal of Research in Science Teaching*. 29: 929–937.
- Nakasenee, Jinnipa; Pimthong, Pattamaporn; & Pornsilapatip, Pornpun. (2015). The Study of Grade 11th Students' Acid-Base Conceptions. *Journal of Research Unit on Science Technology and Environment for Learning*. 6(1): 70-83.
- Nakhleh, Mary B. (1992, March). Why Some Students Don't Learn Chemistry: Chemical Misconception. *Journal of Chemical Education*. 69(3): 191-196.
- Nakhleh, Mary B.; Polles, John; Malina, Eric. (2003). Chemical Education: Towards Research-based Practice Chapter 4 Learning Chemistry in a Laboratory Environment. *Science & Technology Education Library*. 17: 69-94.
- Nakthong, Usa; Anuntasethakul, Thiraporn; & Yutakom, Naruemon. (2007, July-September). Science Process Skills of Grade 10 Students Related to Cells and Cell Processes. *Songklanakarin Journal of Social Science and Humanities*. 13(3): 383-394.
- National Research Council. (2006). *America's Lab Report: Investigations in High School Science. Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision*. Washington, DC: The National Academies Press. Retrieved December 2, 2010 , from <http://www.nap.edu/catalog/11311.html>.

- Nelson, T.H. (2004). Helping students make connections. *The Science Teacher*. 71(3): 32-35.
- Nieswandt, Martina. (2007). Student Affect and Conceptual Understanding in Learning Chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*. 44(7). 908-937.
- Office of the National Education Commission (ONEC), Thailand. (2002). *National Education Act B.E. 2542 (1999) and Amendments (Second National Education Act B.E. 2545 (2002))*. Retrieved October 25, 2012, from http://www.onesqa.or.th/en/publication/nation_edbook.pdf.
- Orgill, MaryKay; & Bodner, George. (2004). What Research Tells Us About Using Analogies to Teach Chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*. 5(1): 15-23.
- Osborne, Jonathan; Simon, Shirley; & Collins, Sue. (2003). Attitudes towards Science: A Review of the Literature and Its Implications. *International Journal of Science Education*. 25(9): 1049-1079.
- Oskamp, Stuart. (1977). *Attitudes and opinions*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Ostlund, Karen. (1998). *What the Research Says About Science Process Skills*. Retrieved August 8, 2012, from <http://wolfweb.unr.edu/homepage/jcannon/ejse/ostlund.html>.
- Özmen, Haluk; Demircioğlu, Gökhan; & Coll, Richard K. (2009). A Comparative Study of the Effects of a Concept Mapping Enhanced Laboratory Experience on Turkish High School Students' Understanding of Acid-base Chemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 7: 1-24.
- Özsgelen, S. (2012). Students' science process skills within a cognitive domain framework. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. 8(4): 283-292
- Padilla, Michael J. (1990, March). The Science Process Skills. *Research Matters - to the Science Teacher*. Retrieved February, 3, 2013, from www.narst.org/publications/research/skill.cfm.
- Palincsar A.Sullivan. (1998). Social constructivist perspectives on teaching and learning. *The Annual Review of Psychology*. 49: 345-375
- Palmer, D. 1999. Exploring to link between students' scientific and nonscientific conceptions. *Science Education* 83: 639–653.
- Panprueksa, Kittima. (2012). *Development of Scienc Instructional Model Emphasizing Contextual Approach to Enhance Analytical Thinking and Application of Knowledge*

- for Lower Secondary School Students*. Dissertation, Ed.D. (Science Education). Bangkok: Graduate School Srinakharinwirot University. Retrieved January 1, 2013, from http://thesis.swu.ac.th/swudis/Sci_Ed/Kittima_P.pdf.
- Panprueksa, Kittima; et al. (2012). Thai Students' Conceptual Understanding on Force and Motion. *2012 International Conference on Education and Management Innovation (IPEDR)*. 30: 275-279. Retrieved July 4, 2016, from <http://www.ipedr.com/vol30/54-ICEMI%202012-M10050.pdf>
- Papanastasiou, Constantinos; & Papanastasiou, Elena C. (2004). Major Influences on Attitudes Toward Science. *Educational Research and Evaluation*. 10(3): 239-257.
- Phelps, Amy J. (1996, April). Teaching to Enhance Problem Solving. *Journal of Chemical Education*. 73(4): 301-304.
- Pinarbaşı, Tacettin; & Canpolat, Nurtaç. (2003, November). Students' Understanding of Solution Chemistry Concepts. *Journal of Chemical Education*. 80(11): 1328-1332.
- Pongsopon, Pongprapan. (2010) *Science Competency of Thai Students in World Competition: TIMSS Finding*. Retrieved June 7, 2010, from <http://doed.edu.ku.ac.th/article/competency.pdf>.
- Pritchard, Alan; & Woollard, John. (2010). *Psychology for the Classroom: Constructivism and Social Learning*. London. New York: Routledge.
- Pruekpramool, Chaninan; et.al. (2011). Student Attitudes toward Science: The Case of Thai Upper Secondary School Non-science Students. *The International Journal of Learning*. 18(1): 289-301.
- Rodranga, Wanthipa; Nuankeaw, Jit. (1999). *Development of Students' Thinking Skills with Science Process Skills Activities*. 2nd ed. Bangkok: Institute of Academic Development (IAD).
- Rojanapong, Umaporn. (2002). *Alternative Conception on Biology: Plant Growth, Photosynthesis, and The Relationship Between Plant and Animal Held by Pratomsuksa 5 Students in Nakhonpanom Murng District*. Independent Study, M.Ed. Mahasarakham: Faculty of Graduate Studies Mahasarakham University. Photocopied.
- Rompayom, Patcharee. (2010). *Development of "Chemical Bonding" Learning Units Incorporated with Elicitation Strategy for High School Students*. Dissertation, Ed.D. (Science Education). Bangkok: Graduate School Srinakharinwirot University. Photocopied.

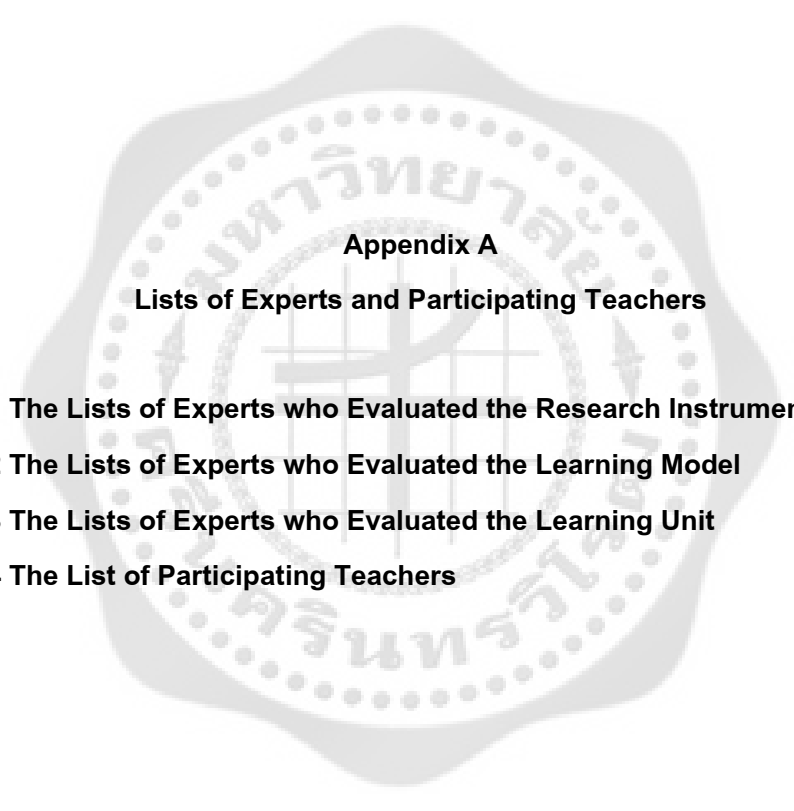
- Salta, Katerina; & Tzougraki, Chryssa. (2004). Attitudes Toward Chemistry Among 11th Grade Students in High Schools in Greece. *Science Education*. 88: 535–547.
- Schmidt, Hans-Jürgen. (1997). Students' Misconceptions—Looking for a Pattern. *Science Education*. 81: 123–135.
- Seetee, Sasipipa. (2012). Thai High School Students' Perspective on Chemistry and Laboratory Learning. In *Program and Abstracts the International Science Education Symposium (ISES) 2012*. Khon Kaen: Science Education Program, The Faculty of Education, Khon Kaen University.
- Sesen, Burcin Acar; & Tarhan, Leman. (2011). Active-learning versus Teacher-centered Instruction for Learning Acids and Bases. *Research in Science & Technological Education*. 29(2): 205-226.
- Seyhan, Hatice Güngör; & Morgil, Inci. (2007). The Effect of 5E learning Model on Teaching of Acid-base Topic in Chemistry Education. *Journal of Science Education*. 8(2): 120-123.
- Shah, Iqbal; Riffat, Qudsia; & Reid, Norman. (2007). Students Perceptions of Laboratory Work in Chemistry at School and College in Pakistan. *Journal of Science Education*. 8(2): 75-79.
- Sheppard, Keith. (2006). High School Students' Understanding of Titrations and Related Acid-base Phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*. 7 (1): 32-45.
- Shiland, Thomas W. (1999). Constructivism: The Implications for Laboratory Work. *Journal of Chemical Education*. 76(1): 107-109.
- Simon, Shirley. (2000). Students' Attitude towards Science. In *Good Practice in Science Teaching: What Research has to say*. Monk, M.; Osborne, J; (editors). pp. 104-119. Philadelphia(PA): Open University Press.
- Simpson, Ronald D.; & Oliver, J. Steve. (1990). A Summary of Major Influences on Attitude Toward and Achievement in Science Among Adolescent Students. *Science Education*. 74(1): 1-18.
- Sirhan, Ghassan. (2007). Learning Difficulties in Chemistry: An Overview. *Journal of Turkish Science Education*. 4(2). 2-20.
- Smith, Rena; & Abell, Sandra K. (2008). Using Analogies in Elementary Science. *Science and Children*: 50-51.
- Srisaard, Boonchom. (2002). *Basic Research*. 6th ed. Bangkok: Suweeriyasart.

- Suaalii, Faguele; & Bhattacharya, Madhumita. (2007). Conceptual Model of Learning to Improve Understanding of High School Chemistry. *The Journal of Interactive Learning Research*. 18(1): 101-110.
- Supasorn, Saksri. (2011). *Development and Evaluation of Interactive Multimedia Learning Tools in Undergraduate chemistry: Caffeine Extraction Simulated Experiment and NMR Spectroscopy Web-based Learning Course*. Dissertation Ph.D. (Science and Technology Education). Bangkok: Faculty of Graduate Studies, Mahidol University. Retrieved July 18, 2013, from http://stang.sc.mahidol.ac.th/text/pdf/thesis/2008/ScienceTX_2008_S158d.pdf.
- Tanahoung, Choksin; Chitaree, Ratchapak; & Soankwan, Chernchok. (2010) Probing Thai Freshmen Science Students' Conceptions of Heat and Temperature Using Open-ended Questions: A Case Study. *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education*. 2(2): 82-89.
- Tasker, Roy; & Dalton, Rebecca. (2006). Research into Practice: Visualisation of the Molecular World Using Animations. *Chemistry Education Research and Practice*. 7(2): 141-159.
- Thagard, Paul; Cohen, M. Cohen; & Holyoak, Keith J. (n.d.). Chemical Analogies: Two Kinds of Explanation. *Machine Learning*. 819-824.
- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2012) *TIMSS 2011 Science Report*. Retrived July 1, 2016, from <https://drive.google.com/file/d/0BwqFSkq5b7zSSEZCOFdkZzZIUGM/view>
- (2006). *Chemistry Textbook Volume 3*. 5th ed. Bangkok: Kurusapa Ladprao.
- (2006). *Science Assessment Manual*. Retrived October 2, 2012, from http://www3.ipst.ac.th/sa/images/book/science_assessment.pdf.
- The Ministry of Education, Thailand. (2008). *The Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008)*. Retrieved September 29, 2010, from <http://www.act.ac.th/document/1741.pdf>.
- (2014). *National data report about the number of students, teacher, and janitor*. Retrieved November 14, 2014, from http://doc.obec.go.th/dataonweb/report/sum2_all.php
- Thiele, Rodney B.; & Treagust, David F. (1991). *Using Analogies to aid Understanding in Secondary Chemistry Education*. A paper presented at the Royal Australian Chemical Institute Conference on Chemical Education, Perth. Retrieved July 15, 2011, from <http://www.eric.ed.gov/PDFS/ED349164.pdf>.

- Treagust, David F.; Harrison, Allan G.; & Venville, Grady J. (1998). Teaching Science Effectively with Analogies: An Approach for Preservice and Inservice Teacher Education. *Journal of Science Education*. 9(2): 85-101.
- Treagust, David; Chittleborough, Gail; & Mamiala, Thapelo. (2003). The Role of Submicroscopic and Symbolic Representations in Chemical Explanations. *International Journal of Science Education*. 25(11): 1353-1368.
- Treagust, Van den Berg, Euwe ; Katu, Nggandi; & Lunetta, Vincent N. (1994). *The Role of "Experiments" in Conceptual Change: A Teaching-Experiment Study of Electric Circuits*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Anaheim, March 26-29, 1994.
- Vidyapati, TJ; & Seetharamappa, J. (1995, September). Higher Secondary School Students' Concepts of Acids and Bases. *School Science Review*. 77(278): 81-84.
- Vitale, Michael R. (2005). Chapter 8 Portfolios in Science Assessment: A Knowledge-Based Model for Classroom Practice. In *Assessing Science Understanding: A Human Constructivist View*. Retrieved January 4, 2013, from <http://www.google.co.th/books>.
- Wanichbancha, Kanlaya. (2010). *Statistics for Research*. 5th ed. Bangkok: Department of Statistics, Faculty of Commerce and Accountancy, Chulalongkorn University.
- Watson, Judith. (2001). Social Constructivism in the Classroom. *Support for Learning*. 16(3): 140-147.
- Watson, R. (2000). The Role of Practical Work. In *Good Practice in Science Teaching: What Research Has to Say*. Monk, M. and Osborne, J. (editor). pp. 57-71. Philadelphia (PA): Open University Press.
- Webb, Paul; & Treagust, David F. (2006). Using Exploratory Talk to Enhance Problem-solving and Reasoning Skills in Grade-7 Science Classrooms. *Research in Science Education*. 36: 381-401.
- Wiggins, Grant P.; & McTighe, Jay. (2005). *Understanding by Design*. 2nd. ed. USA: ASCD publication.
- Worakitkasemsakul, Somchai. (2011). *Research Methodology for Behavioral and Social Science*. Retrieved July 15, 2013, from <http://www.udru.ac.th/website/attachments/elearning/01/10.pdf>.
- Worrakam, Paisarn. (2011). *Educational Research*. Mahasarakham: Rajabhat Mahasarakham University.

- Wu, Hsin-kai; Krajcik Joseph S.; & Soloway, Elliot. (2000). *Promoting Conceptual Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualization Tool in the Classroom*. Paper present at the annual meeting of the National Association of Research in Science Teaching, April 28-May 1, 2000, New Orleans, LA.
- , (2001). Promoting Conceptual Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualization Tool in the Classroom. *Journal of Research in Science Teaching*. 38(7): 821-842.
- Yang, Kun-Yuan; & Heh, Jia-Sheng. (2007). The Impact of Internet Virtual Physics Laboratory Instruction on the Achievement in Physics, Science Process Skills and Computer Attitudes of 10th-Grade Students. *Journal of Science Education and Technology*. 16: 451-461.
- Yeşilyurt, Mustafa; Bayraktar, Şule; & Erdemir, Naki. (2004). Constructivism in Laboratory: (G-E) Model. *Journal of Turkish Science Education*. 1(1): 30-32.
- Zhang, M.; et. al. (2010). Using Questioning to Facilitate Discussion of Science Teaching Problems in Teacher Professional Development. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*. 4(1): 57-82 Retrieved April 11, 2013, from <http://dx.doi.org/10.7771/1541-5015.1097>.





Appendix A

Lists of Experts and Participating Teachers

A.1 The Lists of Experts who Evaluated the Research Instruments

A.2 The Lists of Experts who Evaluated the Learning Model

A.3 The Lists of Experts who Evaluated the Learning Unit

A.4 The List of Participating Teachers

A.1 The Lists of Experts who Evaluated the Research Instruments

1. Dr.Patcharee Rompayom Wichaidit
Faculty of Education, Thepsatri Rajabhat University
2. Dr.Kanyarat Cojorn
Faculty of Education, Mahasarakham University
3. Dr.Wanphen Pratoomtong
Faculty of Education, Srinakharinwirot University
4. Dr.Kanchulee Panyain
Office of the Basic Education Commission
5. Dr.Suthida Chamrat
Faculty of Education, Chiang Mai University

A.2 The Lists of Experts who Evaluated the Learning Model

1. Associated Prof. Dr.Waree Naengjumnon
Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University
2. Mr.Sarunyou Srisomporn
Specialist Teacher, Prachinratsadornamroong School, Prachin Buri
3. Dr.Patcharee Rompayom Wichaidit
4. Dr.Tepporn Lomarak
Faculty of Education, Buriram Rajabhat University
5. Dr.Kanyarat Cojorn

A.3 The Lists of Experts who Evaluated the Learning Unit

1. Associated Prof. Dr.Waree Naengjumnon
2. Dr.Tepporn Lomarak
3. Dr.Kanyarat Cojorn

A.4 The List of Participating Teachers

- | | |
|----------------------------|-------------------------------|
| 1. Miss Banjong Jodtang | Chonburi Sukkabot School |
| 2. Mr. Weerachot tuppayung | Nakhonnayok Wittayakom School |
| 3. Mrs. Sukhontip Tongta | Pantong School |

Appendix B

The Results of Evaluation of the Learning Model, Learning Unit and Research Instruments

B.1 The Results of Evaluation of the Learning Model

B.2 The Results of Evaluation of the Learning Unit

B.3 The Results of Evaluation of the Acid-Base Conceptual Understanding

Test (ABCUT)

**B.4 The Results of Evaluation of the Integrated Science Process Skills Test
(ISPST)**

**B.5 The Results of Evaluation of the Attitude towards Chemistry Laboratory
Learning Questionnaire (ACLLQ)**

B.6 The Results of Evaluation of Classroom Observation Form

B.7 The Results of Evaluation of Interview Protocol

B.1 The Results of Evaluation of the Learning Model

B.1.1 The Item of Consistency (IOC)

Table 23 The Results of Evaluation on the Consistency of the Learning Model According to the Experts' Opinion

List of Evaluation	N=5					IOC	Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅		
1. Purposes and Background	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	Consistent
2. Purpose and Aims of Science Learning	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	Consistent
3. Theories/Principles/Concepts and Purposes	+1	+1	+1	+1	0	0.80	Consistent
4. Learning Processes and Purposes	+1	+1	+1	+1	0	0.80	Consistent
5. Learning Processes and . Theories/Principles/Concepts	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	Consistent
6. Teacher's Roles and Learning Process	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	Consistent
7. Students' Roles and Learning Process	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	Consistent
8. Teacher's Roles and Students' Roles	+1	+1	0	+1	+1	0.80	Consistent
9. Assessment Approach and Purposes	+1	+1	+1	+1	-1	0.60	Consistent
10. Assessment Approach and Learning Processes	+1	+1	+1	+1	-1	0.60	Consistent
11. Benefits and Purposes	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	Consistent
12. Benefits and Learning Processes	+1	0	+1	+1	+1	0.80	Consistent
13. Guidances and Learning Processes	+1	+1	0	+1	+1	0.80	Consistent
14. Guidances and Theories/Principles/Concepts	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	Consistent
Average						0.87	Consistent

B.1.2 The Appropriateness

Table 24 The Results of Evaluation on Appropriateness of the Acid-base Laboratory Learning Model According to the Experts' Opinion

List of Evaluation	N=5					Average	Level of appropriateness
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅		
1. Purposes are suitable for high school students.	4	5	4	5	5	4.60	Very high
2. Theories/Principles/Concepts are suitable for chemistry teaching.	4	5	5	5	4	4.60	Very high
3. Learning processes are suitable for acid-base topic.	4	5	5	5	4	4.60	Very high
4. Step 1 is appropriately and teacher can do.	5	5	5	5	4	4.80	Very high
5. Step 2 is appropriately and teacher can do.	5	4	5	5	4	4.60	Very high
6. Step 3 is appropriately and teacher can do.	5	4	4	5	5	4.60	Very high
7. Step 4 is appropriately and teacher can do.	5	5	5	5	4	4.80	Very high
8. Step 5 is appropriately and teacher can do.	5	5	5	5	4	4.80	Very high
9. Step 6 is appropriately and teacher can do.	5	5	5	5	3	4.60	Very high
10. Given name of each step is appropriately	4	5	5	5	4	4.60	Very high
11. The 6 steps of learning model are suitable for action	5	3	5	5	4	4.40	High
12. Teacher's roles are suitably and can act	4	4	5	5	4	4.40	High

Table 24 (Continued)

List of Evaluation	N=5					Average	Level of appropriateness
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅		
13. Students' roles are suitably and can act	4	4	5	5	4	4.40	High
14. Assessment approach is suitably and can act.	5	5	4	5	3	4.40	High
15. The benefits are suitably	5	5	4	5	4	4.60	Very high
16. Guidance is suitably	4	5	3	5	4	4.20	High
17. The learning model is appropriately	5	4	5	5	4	4.60	Very high
18. What is the quality of Learning Model	4	4	5	5	4	4.40	High
Average						4.56	Very high

Suggestion from the experts

- In a step 1: introduction, teacher should give opportunity for student to express their own question in order to feel have a participation in determining the objective
- In a step 4: connection, student should have opportunity to construct their own explanation before, afterthat, teacher can assist them. Including write the teacher's role more in detail for enable to practice.
- In a step 6: application, in this step should use the situation in daily life instead of using only a worksheet.
- Should gave an approach or strategies to correct the misconception
- Assessment should stress on process.
- Step 1 and 2 can be integrated.

B.2 The Results of Evaluation of the Acid-base Learning Unit

Table 25 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit:
Lesson Plan 1

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
1. Consistency between concepts and learning objectives						
1.1 Concepts are in accord with learning objectives	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
1.2 Concepts are in accord with aims of learning model	1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2. Consistency between learning activities and concepts						
2.1 Experiements are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.2 Learning activities are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.3 Concepts are correct	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
3. Consistency between learning activities and learning objectives						
3.1 Learning activities are in accord with learning objectives	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
4. Consistency between learning activities and learning model						
4.1 Learning activities focus on exploration of prior knowledge, and connection between prior and new knowledge	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
4.2 Learning activities support social interaction	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.3 Learning activities encourage integrated science process skills development	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.4 Experiment focus on everyday material	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent

Table 25 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
4.5 Learning activities bring about a good conceptual understanding	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.6 Learning activities make students feel fun and like experiment	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.7 Learning activities support students can see the connection between three levels of chemical representation	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
5. Consistency between evaluation and learning objectives						
5.1 Evaluation is in accord with learning objectives	0	+1	0	0.33	0.58	Inconsistent*
5.2 Evaluation is cover all learning objectives	0	+1	+1	0.67	0.58	Consistent
6. Consistency between evaluation and learning activities						
6.1 Evaluation is in accord with learning activities	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
6.2 Evaluation is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7. Appropriateness of learning activity						
7.1 The activity in a step 1 (introduction) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.2 The activity in a step 2 (elicitation) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.3 The activity in a step 3 (experimentation) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.4 The activity in a step 4 (connection) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.5 The activity in a step 5 (construction) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.6 The activity in a step 6 (application) is appropriate	0	+1	0	0.33	0.58	Inconsistent*

Table 25 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
8. Others						
8.1 Time arrangement is suitable for activity	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
8.2 Learning materials are suitable for learning	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
8.3 Language usage is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent

Note: * The lesson plan was revised following the experts' suggestions.

Suggestion from the experts for Lesson Plan 1

- Students should identify type of substances (electrolyte or non-electrolyte) if we know only chemical formula or name.
- Some concept is not cover all the learning objective.
- Activity is not cover all learning objective.
- The activity is too many, it would be take more time used.
- Activity for application is not suitable.
- Writing should be more clear and tight.

Table 26 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit:
Lesson Plan 2

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
1. Consistency between concepts and learning objectives						
1.1 Concepts are in accord with learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
1.2 Concepts are in accord with aims of learning model	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2. Consistency between learning activities and concepts						
2.1 Experiements are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.2 Learning activities are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.3 Concepts are correct	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
3. Consistency between learning activities and learning objectives						
3.1 Learning activities are in accord with learning objectives	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
4. Consistency between learning activities and learning model						
4.1 Learning activities focus on exploration of prior knowledge, and connection between prior and new knowledge	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
4.2 Learning activities support social interaction	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.3 Learning activities encourage integrated science process skills development	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.4 Experiment focus on everyday material	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent

Table 26 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
4.5 Learning activities bring about a good conceptual understanding	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.6 Learning activities make students feel fun and like experiment	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.7 Learning activities support students can see the connection between three levels of chemical representation	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
5. Consistency between evaluation and learning objectives						
5.1 Evaluation is in accord with learning objectives	0	+1	0	0.33	0.58	Inconsistent
5.2 Evaluation is cover all learning objectives	0	+1	+1	0.67	0.58	Consistent
6. Consistency between evaluation and learning activities						
6.1 Evaluation is in accord with learning activities	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
6.2 Evaluation is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7. Appropriateness of learning activity						
7.1 The activity in a step 1 (introduction) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.2 The activity in a step 2 (elicitation) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.3 The activity in a step 3 (experimentation) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.4 The activity in a step 4 (connection) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.5 The activity in a step 5 (construction) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.6 The activity in a step 6 (application) is appropriate	0	+1	+1	0.67	0.58	Consistent

Table 26 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
8. Others						
8.1 Time arrangement is suitable for activity	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
8.2 Learning materials are suitable for learning	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
8.3 Language usage is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent

Note: * The lesson plan was revised following the experts' suggestions

Suggestion from the experts for Lesson Plan 2

- Students should identify which one is acid, base, or amphoteric from their chemical formula or their name.
- Students should write the chemical equation correctly.
- Activity is not cover all learning objective.
- In the step 1 should engage students with the everyday phenomena
- Researcher should tell some method/strategies to correct the students' misconception.
- The activity is too many, it would be take more time used.
- Writing should be more clear and tight.
- Some question should be improved in order to motivate students participate in discussion.
- Evaluation should stress on the process.

Table 27 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit:
Lesson Plan 3

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
1. Consistency between concepts and learning objectives						
1.1 Concepts are in accord with learning objectives	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
1.2 Concepts are in accord with aims of learning model	+1	+1	+1	0.67	0.58	Consistent
2. Consistency between learning activities and concepts						
2.1 Experiements are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.2 Learning activities are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.3 Concepts are correct	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
3. Consistency between learning activities and learning objectives						
3.1 Learning activities are in accord with learning objectives	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
4. Consistency between learning activities and learning model						
4.1 Learning activities focus on exploration of prior knowledge, and connection between prior and new knowledge	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
4.2 Learning activities support social interaction	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.3 Learning activities encourage integrated science process skills development	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.4 Experiment focus on everyday material	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent

Table 27 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
4.5 Learning activities bring about a good conceptual understanding	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.6 Learning activities make students feel fun and like experiment	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.7 Learning activities support students can see the connection between three levels of chemical representation	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
5. Consistency between evaluation and learning objectives						
5.1 Evaluation is in accord with learning objectives	0	+1	+1	0.67	0.58	Consistent
5.2 Evaluation is cover all learning objectives	0	+1	0	0.33	0.58	Inconsistent*
6. Consistency between evaluation and learning activities						
6.1 Evaluation is in accord with learning activities	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
6.2 Evaluation is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7. Appropriateness of learning activity						
7.1 The activity in a step 1 (introduction) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.2 The activity in a step 2 (elicitation) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.3 The activity in a step 3 (experimentation) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.4 The activity in a step 4 (connection) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.5 The activity in a step 5 (construction) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.6 The activity in a step 6 (application) is appropriate	0	+1	-1	0.00	1.00	Inconsistent*

Table 27 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
8. Others						
8.1 Time arrangement is suitable for activity	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
8.2 Learning materials are suitable for learning	+1	+1	+1	1.00	0.58	Consistent
8.3 Language usage is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent

Note: * The lesson plan was revised following the experts' suggestions

Suggestion from the experts for Lesson Plan 3

- Researcher should explain and calculate in order to students know that; when we add acid or base into pure water, the results are change of concentration and pH, pure water has pH = 7 and it will be change when we add acid or base.

- Some concept is not cover all the learning objective.
 - In the step 1 should engage students with the everyday phenomena.
 - Researcher should tell some method/strategies to correct the students' misconception.

- Activity for application is not suitable.
- The activity is too many, it would be take more time used.
- Writing should be more clear and tight.
- Some activity has no evaluation method.

Table 28 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit:
Lesson Plan 4

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
1. Consistency between concepts and learning objectives						
1.1 Concepts are in accord with learning objectives	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
1.2 Concepts are in accord with aims of learning model	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2. Consistency between learning activities and concepts						
2.1 Experiements are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.2 Learning activities are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.3 Concepts are correct	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
3. Consistency between learning activities and learning objectives						
3.1 Learning activities are in accord with learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4. Consistency between learning activities and learning model						
4.1 Learning activities focus on exploration of prior knowledge, and connection between prior and new knowledge	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
4.2 Learning activities support social interaction	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.3 Learning activities encourage integrated science process skills development	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.4 Experiment focus on everyday material	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent

Table 28 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
4.5 Learning activities bring about a good conceptual understanding	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.6 Learning activities make students feel fun and like experiment	0	+1	+1	0.67	0.58	Consistent
4.7 Learning activities support students can see the connection between three levels of chemical representation	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
5. Consistency between evaluation and learning objectives						
5.1 Evaluation is in accord with learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
5.2 Evaluation is cover all learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
6. Consistency between evaluation and learning activities						
6.1 Evaluation is in accord with learning activities	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
6.2 Evaluation is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7. Appropriateness of learning activity						
7.1 The activity in a step 1 (introduction) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.2 The activity in a step 2 (elicitation) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.3 The activity in a step 3 (experimentation) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.4 The activity in a step 4 (connection) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.5 The activity in a step 5 (construction) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.6 The activity in a step 6 (application) is appropriate	+1	+1	-1	0.33	1.15	Inconsistent*

Table 28 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
8. Others						
8.1 Time arrangement is suitable for activity	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
8.2 Learning materials are suitable for learning	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
8.3 Language usage is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent

Note: * The lesson plan was revised following the experts' suggestions

Suggestion from the experts for the Lesson Plan 4

- Researcher should remind that in these topic students should be able to; identify type of acids and bases, why strong acid-base has calculation method different from weak acid-base
- Some concept is not cover all the learning objective.
- In the step 1 should engage students with the everyday phenomena.
- The worksheets are more, it would be take more time used.
- Researcher should tell some method/strategies to correct the students' misconception.
- Activity for application is not suitable.
- Writing should be more clear.

Table 29 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit:
Lesson Plan 5

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
1. Consistency between concepts and learning objectives						
1.1 Concepts are in accord with learning objectives	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
1.2 Concepts are in accord with aims of learning model	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
2. Consistency between learning activities and concepts						
2.1 Experiements are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.2 Learning activities are in accord with concepts	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
2.3 Concepts are correct	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
3. Consistency between learning activities and learning objectives						
3.1 Learning activities are in accord with learning objectives	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
4. Consistency between learning activities and learning model						
4.1 Learning activities focus on exploration of prior knowledge, and connection between prior and new knowledge	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
4.2 Learning activities support social interaction	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.3 Learning activities encourage integrated science process skills development	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.4 Experiment focus on everyday material	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent

Table 29 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
4.5 Learning activities bring about a good conceptual understanding	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.6 Learning activities make students feel fun and like experiment	0	+1	+1	0.67	0.58	Consistent
4.7 Learning activities support students can see the connection between three levels of chemical representation	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
5. Consistency between evaluation and learning objectives						
5.1 Evaluation is in accord with learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
5.2 Evaluation is cover all learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
6. Consistency between evaluation and learning activities						
6.1 Evaluation is in accord with learning activities	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
6.2 Evaluation is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7. Appropriateness of learning activity						
7.1 The activity in a step 1 (introduction) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.2 The activity in a step 2 (elicitation) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.3 The activity in a step 3 (experimentation) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.4 The activity in a step 4 (connection) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.5 The activity in a step 5 (construction) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.6 The activity in a step 6 (application) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent

Table 29 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
8. Others						
8.1 Time arrangement is suitable for activity	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
8.2 Learning materials are suitable for learning	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
8.3 Language usage is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent

Suggestion from the experts for the Lesson Plan 5

- In these topic, students need to know the main concepts of the following: why need to have pH, why pH < 7 is acid, pH = 7 is neutral, and pH > 7 is base, How pH tell us about acid-base properties.

- Some concept is not cover all the learning objective.
- Some learning objective has no an activity.
- In the step 1 should engage students with the everyday phenomena.
- Researcher should tell some method/strategies to correct the students' misconception.

- Activity for application is not suitable.
- The worksheets are more, it would be take more time used.

Table 30 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit:
Lesson Plan 6

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
1. Consistency between concepts and learning objectives						
1.1 Concepts are in accord with learning objectives	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
1.2 Concepts are in accord with aims of learning model	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2. Consistency between learning activities and concepts						
2.1 Experiements are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.2 Learning activities are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.3 Concepts are correct	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
3. Consistency between learning activities and learning objectives						
3.1 Learning activities are in accord with learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4. Consistency between learning activities and learning model						
4.1 Learning activities focus on exploration of prior knowledge, and connection between prior and new knowledge	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
4.2 Learning activities support social interaction	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.3 Learning activities encourage integrated science process skills development	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.4 Experiment focus on everyday material	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent

Table 30 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
4.5 Learning activities bring about a good conceptual understanding	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.6 Learning activities make students feel fun and like experiment	0	+1	+1	0.67	0.58	Consistent
4.7 Learning activities support students can see the connection between three levels of chemical representation	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
5. Consistency between evaluation and learning objectives						
5.1 Evaluation is in accord with learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
5.2 Evaluation is cover all learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
6. Consistency between evaluation and learning activities						
6.1 Evaluation is in accord with learning activities	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
6.2 Evaluation is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7. Appropriateness of learning activity						
7.1 The activity in a step 1 (introduction) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.2 The activity in a step 2 (elicitation) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.3 The activity in a step 3 (experimentation) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.4 The activity in a step 4 (connection) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.5 The activity in a step 5 (construction) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.6 The activity in a step 6 (application) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent

Table 30 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
8. Others						
8.1 Time arrangement is suitable for activity	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
8.2 Learning materials are suitable for learning	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
8.3 Language usage is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent

Suggestion from the experts for the Lesson Plan 6

- Students have to write the chemical equation of acids and bases reactions
- Students must identify which salt can or can not dissolve in water
- The concepts are not cover the learning objectives.
- Some question need to be revised
- In the step 1 should use the phenomena related to students' daily life.
- Do not forget to check the students' misconception.

Table 31 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit:
Lesson Plan 7

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
1. Consistency between concepts and learning objectives						
1.1 Concepts are in accord with learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
1.2 Concepts are in accord with aims of learning model	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2. Consistency between learning activities and concepts						
2.1 Experiements are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.2 Learning activities are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.3 Concepts are correct	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
3. Consistency between learning activities and learning objectives						
3.1 Learning activities are in accord with learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4. Consistency between learning activities and learning model						
4.1 Learning activities focus on exploration of prior knowledge, and connection between prior and new knowledge	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
4.2 Learning activities support social interaction	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.3 Learning activities encourage integrated science process skills development	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.4 Experiment focus on everyday material	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent

Table 31 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
4.5 Learning activities bring about a good conceptual understanding	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.6 Learning activities make students feel fun and like experiment	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.7 Learning activities support students can see the connection between three levels of chemical representation	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
5. Consistency between evaluation and learning objectives						
5.1 Evaluation is in accord with learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
5.2 Evaluation is cover all learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
6. Consistency between evaluation and learning activities						
6.1 Evaluation is in accord with learning activities	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
6.2 Evaluation is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7. Appropriateness of learning activity						
7.1 The activity in a step 1 (introduction) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.2 The activity in a step 2 (elicitation) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.3 The activity in a step 3 (experimentation) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.4 The activity in a step 4 (connection) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.5 The activity in a step 5 (construction) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.6 The activity in a step 6 (application) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent

Table 31 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
8. Others						
8.1 Time arrangement is suitable for activity	0	+1	+1	0.67	0.58	Consistent
8.2 Learning materials are suitable for learning	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
8.3 Language usage is appropriate	0	+1	+1	0.67	0.58	Consistent

Suggestion from the experts for the Lesson Plan 7

- Activity for application is not suitable.
- It would be take more time used.
- In writing, you should use formal language.

Table 32 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit:
Lesson Plan 8

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
1. Consistency between concepts and learning objectives						
1.1 Concepts are in accord with learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
1.2 Concepts are in accord with aims of learning model	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2. Consistency between learning activities and concepts						
2.1 Experiements are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.2 Learning activities are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.3 Concepts are correct	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
3. Consistency between learning activities and learning objectives						
3.1 Learning activities are in accord with learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4. Consistency between learning activities and learning model						
4.1 Learning activities focus on exploration of prior knowledge, and connection between prior and new knowledge	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.2 Learning activities support social interaction	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.3 Learning activities encourage integrated science process skills development	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.4 Experiment focus on everyday material	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent

Table 32 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
4.5 Learning activities bring about a good conceptual understanding	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.6 Learning activities make students feel fun and like experiment	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.7 Learning activities support students can see the connection between three levels of chemical representation	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
5. Consistency between evaluation and learning objectives						
5.1 Evaluation is in accord with learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
5.2 Evaluation is cover all learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
6. Consistency between evaluation and learning activities						
6.1 Evaluation is in accord with learning activities	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
6.2 Evaluation is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7. Appropriateness of learning activity						
7.1 The activity in a step 1 (introduction) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.2 The activity in a step 2 (elicitation) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.3 The activity in a step 3 (experimentation) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.4 The activity in a step 4 (connection) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.5 The activity in a step 5 (construction) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.6 The activity in a step 6 (application) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent

Table 32 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
8. Others						
8.1 Time arrangement is suitable for activity	0	+1	+1	0.67	0.58	Consistent
8.2 Learning materials are suitable for learning	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
8.3 Language usage is appropriate	0	+1	+1	0.67	0.58	Consistent

Suggestion from the experts for the Lesson Plan 8

- It would be take more time used.
- In writing, you should use formal language.

Table 33 The Results of Evaluation on the Consistency of the Acid-base Learning Unit:
Lesson Plan 9

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
1. Consistency between concepts and learning objectives						
1.1 Concepts are in accord with learning objectives	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
1.2 Concepts are in accord with aims of learning model	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2. Consistency between learning activities and concepts						
2.1 Experiements are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.2 Learning activities are in accord with concepts	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
2.3 Concepts are correct	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
3. Consistency between learning activities and learning objectives						
3.1 Learning activities are in accord with learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4. Consistency between learning activities and learning model						
4.1 Learning activities focus on exploration of prior knowledge, and connection between prior and new knowledge	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.2 Learning activities support social interaction	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.3 Learning activities encourage integrated science process skills development	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.4 Experiment focus on everyday material	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent

Table 33 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
4.5 Learning activities bring about a good conceptual understanding	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.6 Learning activities make students feel fun and like experiment	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
4.7 Learning activities support students can see the connection between three levels of chemical representation	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
5. Consistency between evaluation and learning objectives						
5.1 Evaluation is in accord with learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
5.2 Evaluation is cover all learning objectives	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
6. Consistency between evaluation and learning activities						
6.1 Evaluation is in accord with learning activities	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
6.2 Evaluation is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7. Appropriateness of learning activity						
7.1 The activity in a step 1 (introduction) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.2 The activity in a step 2 (elicitation) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent
7.3 The activity in a step 3 (experimentation) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.4 The activity in a step 4 (connection) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.5 The activity in a step 5 (construction) is appropriate	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
7.6 The activity in a step 6 (application) is appropriate	+1	+1	0	0.67	0.58	Consistent

Table 33 (Continued)

List of Evaluation	N=3			IOC		Interpretation
	E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
8. Others						
8.1 Time arrangement is suitable for activity	0	+1	+1	0.67	0.58	Consistent
8.2 Learning materials are suitable for learning	+1	+1	+1	1.00	0.00	Consistent
8.3 Language usage is appropriate	0	+1	+1	0.67	0.58	Consistent

Suggestion from the experts for the Lesson Plan 9

- In the step 1, researcher should tell strategies could be used in a review about conjugate acid-base pairs.
- Researcher should tell teacher's role if students have a misconception.
- Activity in an application step is not suitable.
- Some learning objective lack of a concept such as application of buffer solution.
- It would be take more time used.
- In writing, you should use formal language.

B.3 The Results of Evaluation of the Acid-Base Conceptual Understanding Test (ABCUT)

Table 34 The Result of Evaluation on IOC of the Acid-Base Conceptual Understanding Test Items

No.	Concepts	N=3			IOC		Results
		E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
1	Electrolyte and Non-electrolyte	0	0	1	0.33	0.58	Disapproval*
2	Electrolyte and Non-electrolyte	1	1	1	1.00	0.00	Approval
3	Electrolyte and Non-electrolyte	1	1	1	1.00	0.00	Approval
4	Acid-base Theory	1	1	1	1.00	0.00	Approval
5	Acid-base Theory	1	1	1	1.00	0.00	Approval
6	Acid-base Theory	1	1	1	1.00	0.00	Approval
7	Conjugate Acid-base Pairs	1	1	1	1.00	0.00	Approval
8	Conjugate Acid-base Pairs	1	1	1	1.00	0.00	Approval
9	Conjugate Acid-base Pairs	1	1	1	1.00	0.00	Approval
10	Dissociation of Water	0	1	1	0.67	0.58	Approval
11	Dissociation of Water	0	1	1	0.67	0.58	Approval
12	Dissociation of Water	1	1	1	1.00	0.00	Approval
13	pH Solution	1	1	1	1.00	0.00	Approval
14	pH Solution	0	0	1	0.33	0.58	Disapproval*
15	pH Solution	0	1	1	0.67	0.58	Approval
16	Dissociation of Strong Acids and Bases	1	1	1	1.00	0.00	Approval
17	Dissociation of Strong Acids and Bases	1	1	1	1.00	0.00	Approval
18	Dissociation of Strong Acids and Bases	1	1	1	1.00	0.00	Approval
19	Dissociation of Strong Acids and Bases	1	0	1	0.67	0.58	Approval
20	Dissociation of Weak Acids and Bases	1	1	1	1.00	0.00	Approval

Table 34 (Continued)

No.	Concepts	N=3			IOC		Results
		E ₁	E ₂	E ₃	Mean	SD	
21	Dissociation of Weak Acids and Bases	1	1	1	1.00	0.00	Approval
22	Dissociation of Weak Acids and Bases	1	1	1	1.00	0.00	Approval
23	Dissociation of Weak Acids and Bases	1	1	1	1.00	0.00	Approval
24	Indicator	1	1	1	1.00	0.00	Approval
25	Indicator	1	0	1	0.67	0.58	Approval
26	Indicator	1	1	0	0.67	0.58	Approval
27	Acid-Base Reaction	1	1	1	1.00	0.00	Approval
28	Acid-Base Reaction	1	1	1	1.00	0.00	Approval
29	Acid-Base Reaction	1	0	1	0.67	0.58	Approval
30	Hydrolysis	0	1	1	0.67	0.58	Approval
31	Hydrolysis	0	0	1	0.33	0.58	Disapproval*
32	Hydrolysis	1	1	1	1.00	0.00	Approval
33	Titration	1	0	1	0.67	0.58	Approval
34	Titration	1	1	1	1.00	0.00	Approval
35	Titration	1	0	1	0.67	0.58	Approval
36	Titration	1	1	1	1.00	0.00	Approval
37	Titration	0	1	0	0.33	0.58	Disapproval*
38	Buffer Solution	1	1	1	1.00	0.00	Approval
39	Buffer Solution	1	1	1	1.00	0.00	Approval
40	Buffer Solution	1	1	1	1.00	0.00	Approval

Note * The item was revised following the experts' suggestions before being used.

Table 35 The Results of Evaluation on Item Difficulty (p) and Item Discrimination (r) of the Acid-Base Conceptual Understanding Test (ABCUT) Items

No.	P	r	Interpretation	Used No.	No .	p	r	Interpretation	Used No.
1	0.37	0.20	Can be used	-	21	0.60	0.33	Can be used	13
2	0.78	0.47	Can be used	1	22	0.26	0.27	Can be used	-
3	0.54	0.50	Can be used	2	23	0.33	0.47	Can be used	-
4	0.26	0.47	Can be used	3	24	0.42	0.20	Can be used	14
5	0.52	0.50	Can be used	4	25	0.36	0.33	Can be used	-
6	0.37	0.53	Can be used	5	26	0.52	0.63	Can be used	15
7	0.54	0.60	Can be used	6	27	0.16	0.03	Can not be used	16*
8	0.43	0.60	Can be used	7	28	0.20	0.03	Can not be used	17*
9	0.66	0.57	Can be used	-	29	0.60	0.50	Can be used	-
10	0.42	0.33	Can be used	8	30	0.30	0.37	Can be used	18
11	0.21	-0.07	Can not be used	-	31	0.22	0.40	Can be used	19
12	0.28	0.33	Can be used	9	32	0.22	0.27	Can be used	20
13	0.18	0.17	Can not be used	-	33	0.27	0.07	Can not be used	-
14	0.27	0.37	Can be used	10	34	0.25	0.23	Can be used	21
15	0.55	0.63	Can be used	-	35	0.28	0.03	Can not be used	-
16	0.41	0.33	Can be used	-	36	0.45	0.33	Can be used	22
17	0.65	0.60	Can be used	11	37	0.25	0.23	Can be used	23
18	0.27	0.47	Can be used	12	38	0.32	0.20	Can be used	24
19	0.24	0.00	Can not be used	-	39	0.27	0.10	Can not be used	-
20	0.30	0.23	Can be used	-	40	0.41	0.27	Can be used	25

Note: 1. The reliability (KR20) for 40 items was 0.76.

2. The item discriminant index (r) used the upper and lower 27% of the sample group technique, because the samples are more than 100 (Saiyod; & Saiyod. 2000: 186)

3. The items that have p and r value rang in 0.20-0.80 was selected. However the star (*) designation was used because it is an important concept that student should understand correctly.

4. The 25 items that were selected show a 0.73 of the reliability (KR20).

Table 36 Item Difficulty (p) and Item Discrimination (r) after deleted some items of the ABCUT

No.	P	R	No.	p	R
1	0.78	0.40	14	0.42	0.27
2	0.54	0.60	15	0.52	0.67
3	0.26	0.47	16	0.16	0.00
4	0.52	0.53	17	0.20	0.03
5	0.37	0.50	18	0.30	0.47
6	0.54	0.43	19	0.22	0.43
7	0.43	0.60	20	0.22	0.23
8	0.42	0.30	21	0.25	0.20
9	0.28	0.37	22	0.45	0.43
10	0.27	0.53	23	0.25	0.17
11	0.65	0.63	24	0.32	0.20
12	0.27	0.53	25	0.41	0.37
13	0.60	0.47			

Note: The reliability (KR20) of 25 items after deleted some items was 0.73.

B.4 The Results of Evaluation of the Integrated Science Process Skills Test (ISPST)

Table 37 The Result of Evaluation on IOC of the Integrated Science Process Skills Test

No.	Integrated Science Process Skills Test	N=3			IOC		Results
		E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
1	Identifying and controlling variables	1	1	1	1.00	0.00	Approval
2	Identifying and controlling variables	1	1	1	1.00	0.00	Approval
3	Identifying and controlling variables	1	1	1	1.00	0.00	Approval
4	Identifying and controlling variables	1	1	1	1.00	0.00	Approval
5	Formulating hypotheses	1	0	0	0.33	0.58	Disapproval*
6	Formulating hypotheses	1	1	1	1.00	0.00	Approval
7	Formulating hypotheses	1	1	1	1.00	0.00	Approval
8	Identifying and controlling variables	1	1	1	1.00	0.00	Approval
9	Experimenting	1	1	1	1.00	0.00	Approval
10	Experimenting	1	0	1	0.67	0.58	Approval
11	Interpreting data and making conclusion	1	1	1	1.00	0.00	Approval
12	Identifying and controlling variables	1	1	1	1.00	0.00	Approval
13	Defining variables operationally	1	1	1	1.00	0.00	Approval
14	Formulating hypotheses	1	1	0	0.67	0.58	Approval*
15	Experimenting	1	1	1	1.00	0.00	Approval
16	Defining variables operationally	1	1	1	1.00	0.00	Approval
17	Defining variables operationally	1	1	0	0.67	0.58	Approval
18	Experimenting	1	1	1	1.00	0.00	Approval

Table 37 (Continued)

No.	Integrated Science Process Skills Test	N=3			IOC		Results
		E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
19	Interpreting data and making conclusion	1	1	1	1.00	0.00	Approval
20	Interpreting data and making conclusion	1	1	1	1.00	0.00	Approval
21	Experimenting	1	1	1	1.00	0.00	Approval
22	Interpreting data and making conclusion	1	1	1	1.00	0.00	Approval
23	Formulating hypotheses	1	1	0	0.67	0.58	Approval*
24	Formulating hypotheses	1	1	1	1.00	0.00	Approval
25	Defining variables operationally	1	0	0	0.33	0.58	Disapproval*
26	Defining variables operationally	1	1	1	1.00	0.00	Approval
27	Interpreting data and making conclusion	0	1	1	0.67	0.58	Approval*
28	Interpreting data and making conclusion	1	1	1	1.00	0.00	Approval
29	Experimenting	1	1	1	1.00	0.00	Approval
30	Defining variables operationally	1	1	0	0.67	0.58	Approval*

Note: * The item was revised following the experts' suggestions before being pilot study.

Table 38 The Results of Evaluation on Item Difficulty (p) and Item Discrimination (r) of the ISPST

No.	P	R	Interpretation	Used No.	No .	p	r	Interpretation	Used No.
1	0.43	0.43	Can be used	1	16	0.82	0.37	Can be used	-
2	0.50	0.33	Can be used	2	17	0.68	0.53	Can be used	14
3	0.32	0.23	Can be used	3	18	0.68	0.70	Can be used	15
4	0.38	0.27	Can be used	-	19	0.45	0.20	Can be used	-
5	0.64	0.60	Can be used	4	20	0.79	0.50	Can be used	16
6	0.71	0.60	Can be used	5	21	0.49	0.50	Can be used	-
7	0.77	0.50	Can be used	6	22	0.49	0.57	Can be used	17
8	0.51	0.47	Can be used	7	23	0.41	0.17	Can not be used	-
9	0.65	0.47	Can be used	8	24	0.27	0.10	Can not be used	-
10	0.73	0.63	Can be used	9	25	0.35	0.33	Can be used	18
11	0.46	0.63	Can be used	10	26	0.19	0.17	Can not be used	-
12	0.24	0.03	Can not be used	-	27	0.69	0.50	Can be used	-
13	0.48	0.37	Can be used	11	28	0.73	0.47	Can be used	19
14	0.45	0.20	Can be used	12	29	0.54	0.50	Can be used	-
15	0.48	0.60	Can be used	13	30	0.57	0.70	Can be used	20

Note: The reliability (KR20) for 30 items is 0.78.

Table 39 Item Difficulty (p) and Item Discrimination (r) after deleted some items of the ISPST

No.	p	r	No.	p	r	No.	p	r	No.	p	r
1	0.43	0.53	6	0.77	0.50	11	0.48	0.33	16	0.79	0.53
2	0.50	0.37	7	0.51	0.50	12	0.45	0.17	17	0.49	0.63
3	0.32	0.23	8	0.65	0.40	13	0.48	0.63	18	0.35	0.33
4	0.64	0.63	9	0.73	0.63	14	0.68	0.53	19	0.73	0.47
5	0.71	0.50	10	0.46	0.67	15	0.68	0.73	20	0.57	0.67

Note: The reliability (KR20) of 20 items after deleted some items is 0.78.

B.5 The Results of Evaluation of the Attitude towards Chemistry Laboratory Learning Questionnaire (ACLLQ)

Table 40 The Result of Evaluation on IOC of the Attitude towards Chemistry Laboratory Learning Questionnaire

No.	Consideration Items	N=3			IOC		Results
		E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
The importance of laboratory in chemistry learning							
1	Experiment is essential for chemistry learning. (Positive)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
2	Experiment is not necessary for understanding of chemistry concept. (Negative)	1	0	1	0.67	0.58	Approval*
3	Doing experiments conducted in the misconception. (Negative)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
4	Doing experiments conducted in science process skills. (Positive)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
5	The progress of chemistry is the result of the experiment. (Positive)	1	1	0	0.67	0.00	Approval*
6	Doing experiment make me think like a chemist. (Positive)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
7	Chemistry concepts is not relate to experiment. (Negative)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
The difficulty of chemistry laboratory							
8	I feel that doing experiment waste the time. (Negative)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
9	I understand the procedure of experiment very easily. (Positive)	0	1	1	0.67	0.58	Approval*
10	Doing experiments take a long time to prepare the materials, equipments, and chemicals. (Positive)	1	0	1	0.67	0.58	Approval*

Table 40 (Continued)

No.	Consideration Items	N=3			IOC		Results
		E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
The difficulty of chemistry laboratory (Continued)							
11	In doing experiment, I know how to start. (Positive)	0	1	1	0.67	0.58	Approval*
12	I found that chemistry experiment is more easily than my expectation. (Positive)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
13	I can find the materials, equipments, and chemicals for the experiment. (Positive)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
14	I make high efforts to understand experiment activity. (Negative)	1	0	1	0.67	0.58	Approval*
15	I do the chemistry experiment with understanding. (Positive)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
16	I can explain the procedure of experiments to my friends. (Positive)	0	1	1	0.67	0.58	Approval*
17	Doing experiment is a hard work for me. (Negative)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
The interest of chemistry laboratory							
18	I would like to have a fewer experiment activities. (Negative)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
19	I am willing to spend more time doing chemistry experiment. (Positive)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
20	I don't like to do chemistry experiment. (Negative)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
21	When doing chemistry experiment, I feel excited. (Positive)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
22	During chemistry experiment, I am sleepy. (Negative)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
23	I feel that doing chemistry experiment is fun. (Positive)	1	1	1	1.00	0.00	Approval

Table 40 (Continued)

No.	Consideration Items	N=3			IOC		Results
		E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
The interest of chemistry laboratory (Continued)							
24	During chemistry experiment activity, I get bored. (Negative)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
25	I find the chemistry experiments very interesting. (Positive)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
26	I prefer to learn chemistry with the experiment. (Positive)	1	1	0	0.67	0.58	Approval*
The usefulness of chemistry laboratory							
27	I understand the chemistry concepts very easily by using the experiment activity. (Positive)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
28	Doing experiment activity, chemistry learning is not boring. (Positive)	1	1	0	0.67	0.58	Approval*
29	I understand the events in daily life from doing the experiments. (Positive)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
30	In experiment activities, I have participated in learning. (Positive)	1	1	0	0.67	0.58	Approval*
31	Doing experiments do not conducted skills in using chemistry equipments. (Negative)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
32	Chemistry experiments make me feel that chemistry is difficult. (Negative)	1	1	0	0.67	0.58	Approval*
33	Experiment activities make me like to learn chemistry even more. (Positive)	1	1	0	0.67	0.58	Approval*
34	I don't know why we must do an experiment. (Negative)	1	1	1	1.00	0.58	Approval

Note: *The items that have IOC lower than 1.00 were revised following the experts' suggestions before being used

Table 41 The Results of Evaluation on Discrimination (r) and Reliability Analysis-Scale Alpha of the ACLLQ

Item	Corrected Item-Total Correlation (r_{XY})	Results	Used No.
The importance of laboratory in chemistry learning			
1	0.401	Can be used	1
2	0.424	Can be used	20
3	0.025	Can not be used	-
4	0.587	Can be used	18
5	0.281	Can be used	6
6	0.419	Can be used	26
7	0.193	Can not be used	-
The difficulty of chemistry laboratory			
8	0.505	Can be used	7
9	0.532	Can be used	14
10	-0.007	Can not be used	-
11	0.439	Can be used	24
12	0.460	Can be used	21
13	0.358	Can be used	12
14	0.021	Can not be used	-
15	0.604	Can be used	29
16	0.519	Can be used	27
17	0.526	Can be used	13
32	0.274	Can be used	25
The interest of chemistry laboratory			
18	0.442	Can be used	28
19	0.657	Can be used	9
20	0.588	Can be used	4
21	0.586	Can be used	15
22	0.473	Can be used	16
23	0.721	Can be used	19
24	0.583	Can be used	10

Table 41 (Continued)

Item	Corrected Item-Total Correlation (r_{xy})	Results	Used No.
The interest of chemistry laboratory (Continued)			
25	0.685	Can be used	23
26	0.658	Can be used	3
The usefulness of chemistry laboratory			
27	0.573	Can be used	5
28	0.577	Can be used	8
29	0.533	Can be used	11
30	0.509	Can be used	2
31	0.219	Can be used	22
33	0.713	Can be used	17
34	0.315	Can be used	30

Note: 1) Cronbach's Alpha (α) of 34 items is 0.90.
 2) After deleted the items, which are lower than .20, the α is 0.92.

B.6 The Results of Evaluation of Classroom Observation Form

Table 42 The Results of Evaluation on IOC of Observation Form

No.	Consideration Items	N=3			IOC		Results
		E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
1	Classroom orientation	1	1	1	1.00	0.00	Approval
2	Learning approach and time manangement	1	1	1	1.00	0.00	Approval
3	Informing learning objective before teaching	1	1	1	1.00	0.00	Approval
4	Focusing on students' prior knowledge or alternative conception	1	1	1	1.00	0.00	Approval
5	Learning materials	1	1	1	1.00	0.00	Approval
6	Laboratory learning						
	6.1 Introduction (teacher's role, students' role, and students' behavior)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
	6.2 Formulating hypotheses (teacher's role, students' role, students' behavior, and example)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
	6.3 Identifying and controlling variables (teacher's role, students' role, students' behavior, and example)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
	6.4 Defining variables operationally (teacher's role, students' role, students' behavior, and example)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
	6.5 Experimenting						
	6.5.1 desing process (teacher's role, students' role, students' behavior, and example)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
	6.5.2 select the equipment (teacher's role, students' role, students' behavior, and example)	1	1	1	1.00	0.00	Approval

Table 42 (Continued)

No.	Consideration Items	N=3			IOC		Results
		E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
	6.5.3 conduct an experiment (teacher's role, students' role, and students' behavior)	1	1	1	1.00	0.00	Approval
	6.6 Interpreting data and making conclusion (teacher's role, students' role, students' behavior, and example	1	1	1	1.00	0.00	Approval
	6.7 Using familiar or everyday material	1	1	1	1.00	0.00	Approval
	6.8 Concluding a concept after experimentation	1	1	1	1.00	0.00	Approval
	6.9 goal of doing experiment	1	1	1	1.00	0.00	Approval
7	Using familiar/everyday name	1	1	1	1.00	0.00	Approval
8	Connection acid-base into everyday live	1	1	1	1.00	0.00	Approval
9	Connection concept in three levels of chemical representation	1	1	1	1.00	0.00	Approval
10	Approach used for connection three levels of chemical representation	1	1	1	1.00	0.00	Approval
11	student-student and student-teacher interaction	1	1	1	1.00	0.00	Approval
12	collaborative learning	1	1	1	1.00	0.00	Approval
13	Concluding knowledge students' have learned at the end of class	1	1	1	1.00	0.00	Approval
14	Applying the knowledge	1	1	1	1.00	0.00	Approval
15	Active or passive learning	1	1	1	1.00	0.00	Approval
16	Level of students' enthusiasm	1	1	1	1.00	0.00	Approval

B.7 The Results of Evaluation of Interview Protocol

Table 43 The Results of Evaluation on IOC of Interview Protocol for Teacher

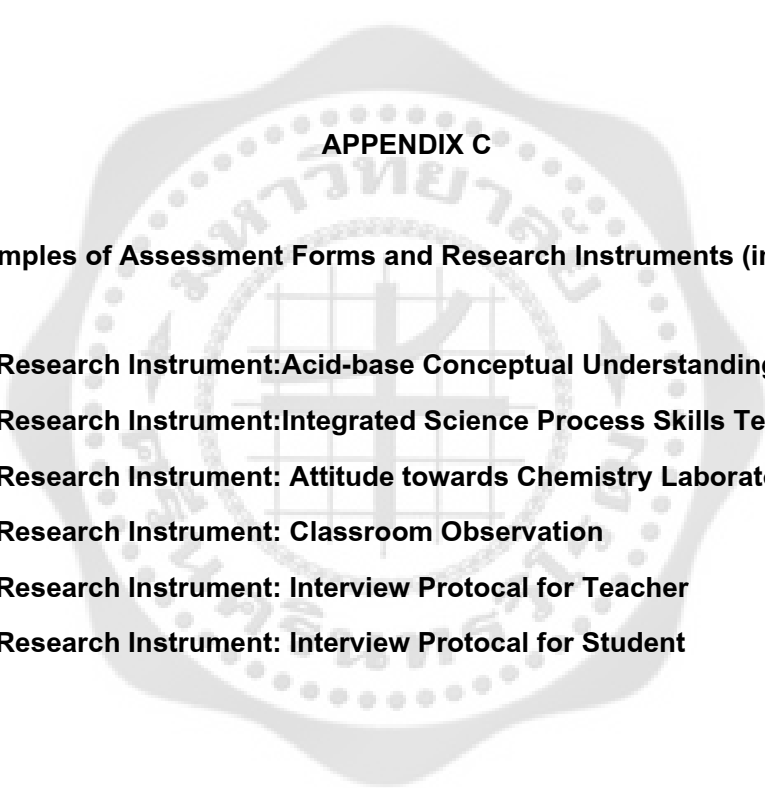
No.	Consideration Items	N=3			IOC		Results
		E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
1	Personal profile	1	1	1	1.00	0.00	Approval
2	Aims of Acid-base teaching and learning	0	1	1	0.67	0.58	Approval
3	Learning approach	1	1	1	1.00	0.00	Approval
4	Strength of your teaching approach	1	1	1	1.00	0.00	Approval
5	Weakness of your teaching approach	1	1	1	1.00	0.00	Approval
6	Satification towards your teaching approach	1	1	1	1.00	0.00	Approval
7	Obstacle in teaching and learning of acid-base	1	1	1	1.00	0.00	Approval
8	Laboratory: Frequency	1	0	1	0.67	0.58	Approval
	Laboratory: aim of using experiment	1	1	1	1.00	0.00	Approval
	Laboratory: process	1	1	1	1.00	0.00	Approval
	Laboratory: problem	1	1	1	1.00	0.00	Approval
9	(if not) why do not have laboratory learning	1	1	1	1.00	0.00	Approval
10	Your opinion toward laboratory	0	1	1	0.67	0.58	Approval*

Note: *The items was revised following the experts' suggestions before being used.

Table 44 The Results of Evaluation on IOC of Interview Protocol for Student

No.	Consideration Items	N=3			IOC		Results
		E ₁	E ₂	E ₃	Mean	S.D.	
1	what is purpose of acid-base learning?	1	1	1	1.00	0.00	Approval
2	how teacher teach the acid-base?	1	1	1	1.00	0.00	Approval
3	what is the strength of this instruction?	1	1	1	1.00	0.00	Approval
4	what is the weakness of this instruction?	0	1	1	0.67	0.58	Approval*
5	what is your satisfaction for this instruction?	0	0	1	0.33	0.58	Disapproval*
6	what is the obstacle of acid-base learning?	1	1	1	1.00	0.00	Approval
7	Laboratory: how many and what experiment are there in acid-base learning?	0	1	1	0.67	0.58	Approval*
	Laboratory: what is the aim of doing experiment?	0	1	1	0.67	0.58	Approval *
	Laboratory: what is the problem in laboratory learning?	1	1	1	1.00	0.00	Approval
	Laboratory: how teacher teach laboratory learning?	1	1	1	1.00	0.00	Approval
	Laboratory: what thing you have learned from laboratory?	1	1	1	1.00	0.00	Approval
	Laboratory: what is your opinion toward laboratory learning?	1	1	1	1.00	0.00	Approval
8	(if not) why your classroom do not have laboratory learning?	1	1	1	1.00	0.00	Approval

Note: *The items was revised following the experts' suggestions before being used.



APPENDIX C

Samples of Assessment Forms and Research Instruments (in Thai)

- C.1 Research Instrument: Acid-base Conceptual Understanding Test**
- C.2 Research Instrument: Integrated Science Process Skills Test**
- C.3 Research Instrument: Attitude towards Chemistry Laboratory Learning**
- C.4 Research Instrument: Classroom Observation**
- C.5 Research Instrument: Interview Protocol for Teacher**
- C.6 Research Instrument: Interview Protocol for Student**

C.1 Research Instrument: Acid-base Conceptual Understanding Test

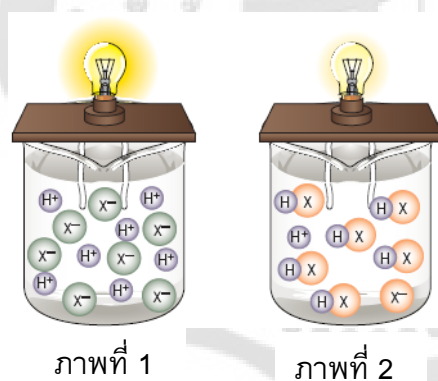
แบบวัดความเข้าใจโน้ตส์ เรื่อง กรด-เบส

- คำชี้แจง ☺ ข้อสอบมีทั้งหมด 8 หน้า จำนวน 25 ข้อ
- ☺ ให้นักเรียนทำให้ครบทุกข้อ
- ☺ ให้นักเรียนใช้ปากกาในการตอบ โดยทำลงในกระดาษคำตอบ
- ☺ ในการตอบแบบวัดฯ นี้ ขอให้นักเรียนทำให้เต็มที่เท่าที่นักเรียนจะทำได้ โดยไม่จำเป็นต้องดูเพื่อน

1. กรดไฮโดรคลอริกจัดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่ เหตุผลในข้อใดถูกต้องที่สุด

- ก. เพราะสารนี้เมื่อละลายน้ำแล้วจะแตกตัวเป็นไอออนได้ไม่ดี
- ข. เพราะสารนี้เมื่อละลายน้ำแล้วจะแตกตัวเป็นไอออนได้ดี
- ค. เพราะสารนี้มีความเข้มข้นสูง
- ง. เพราะสารนี้มีสมบัติเป็นกรด

2. พิจารณาภาพต่อไปนี้



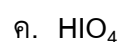
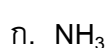
ภาพที่ 1

ภาพที่ 2

ข้อใดแปลความจากภาพได้ถูกต้อง

	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2
ก.	สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่	สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน
ข.	สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่	สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์
ค.	สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน	สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์
ง.	สารละลายอิเล็กโทรไลต์	สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์

3. สารในข้อใด เป็นกรดตามทฤษฎีเบรินสเตด-ลาวรี



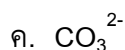
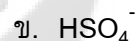
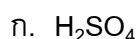
4. น้ำเป็นสารที่เป็นได้ทั้งกรดและเบสตามทฤษฎีกรด-เบสของเบรินสเตด-ลาวรี
สมการในข้อใดที่แสดงให้เห็นว่าน้ำเป็นเบสตามทฤษฎีของเบรินสเตด-ลาวรี



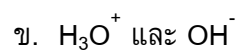
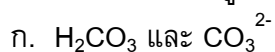
5. ข้อใดอธิบายเกี่ยวกับ NH_3 ได้ถูกต้องตามทฤษฎีกรด-เบสของเบรินสเตด-ลาวรีและลิวอิส

	เบรินสเตด-ลาวรี	ลิวอิส
ก.	เป็นเบสเพราะสามารถรับโปรตอนได้	เป็นเบสเพราะสามารถให้คู่อิเล็กตรอนได้
ข.	เป็นกรดเพราะสามารถให้โปรตอนได้	เป็นเบสเพราะสามารถให้คู่อิเล็กตรอนได้
ค.	เป็นเบสเพราะสามารถให้คู่อิเล็กตรอนได้	เป็นเบสเพราะสามารถให้โปรตอนได้
ง.	เป็นกรดเพราะเมื่อละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน	เป็นกรดเพราะสามารถรับคู่อิเล็กตรอนได้

6. ข้อใดคือคู่กรดของ SO_4^{2-}



7. สารในข้อใดต่อไปนี้เป็นคู่กรด-เบส ซึ่งกันและกัน



8. น้ำบริสุทธิ์จัดเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดีที่สุด และเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ไม่ดีเช่นกัน เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

ก. เพราะน้ำบริสุทธิ์ไม่แตกตัวเป็นไอออน

ข. เพราะน้ำบริสุทธิ์ไม่มีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่

ค. เพราะน้ำบริสุทธิ์แตกตัวเป็นไอออนได้ดีมาก

ง. เพราะน้ำบริสุทธิ์แตกตัวเป็นไอออนได้น้อยมาก

9. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับการแตกตัวของน้ำ

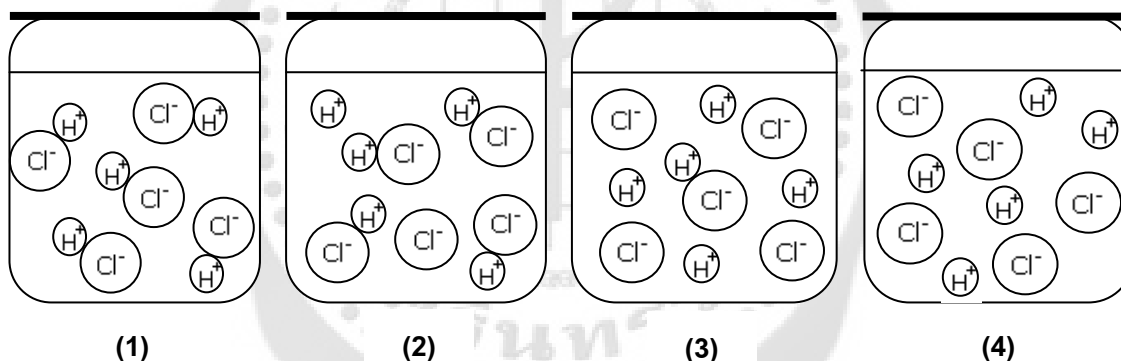
- ก. ในน้ำบริสุทธิ์จะมี $[\text{OH}^-]$ เท่ากับ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ เสมอ
- ข. ค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ (K_w) เท่ากับ 1.0×10^{-7}
- ค. ในสารละลายกรด ความเข้มข้นของ H_3O^+ จะน้อยกว่า 10^{-7} mol/dm^3
- ง. ปริมาณการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าอุณหภูมิจะสูงหรือต่ำ

10. ถ้าสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) มีค่า $\text{pH} = 8$

ข้อความในข้อใดถูกต้อง

- ก. มีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนเท่ากับ 10^{-6}
- ข. มีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนเท่ากับ 10^{-7}
- ค. มีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนเท่ากับ 10^{-8}
- ง. มีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนเท่ากับ 10^{-8}

11. กรดไฮโดรคลอริกจัดเป็นกรดแก่ ภาพในข้อใดแสดงการแตกตัวของกรดนี้ในน้ำได้ดีที่สุด



ก. ภาพที่ 1

ข. ภาพที่ 2

ค. ภาพที่ 3

ง. ภาพที่ 4

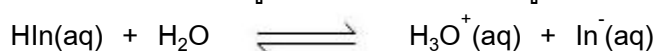
12. $\text{Ba}(\text{OH})_2$ เป็นเบสแก่ ถ้าสารละลาย $\text{Ba}(\text{OH})_2$ เข้มข้น 0.020 mol/dm^3 ความเข้มข้นของ OH^- มีค่าเท่ากับข้อใด

- ก. 0.010 mol/dm^3
- ข. 0.020 mol/dm^3
- ค. 0.040 mol/dm^3
- ง. $2.5 \times 10^{-13} \text{ mol/dm}^3$

13. ข้อใดกล่าวได้ถูกต้องที่สุดเกี่ยวกับกรดอ่อนและเบสอ่อน

- ก. ค่าคงที่การแตกตัว (K_a , K_b) บอกให้ทราบว่ากรดอ่อนและเบสอ่อนแตกตัวได้ดีเพียงใด
- ข. การแตกตัวของกรดอ่อนและเบสอ่อนเป็นปฏิกิริยาที่ไม่ผันกลับ ภาวะสมดุลจึงไม่เกิดขึ้น
- ค. ความเข้มข้นของสารละลายสามารถใช้ในการเปรียบเทียบปริมาณการแตกตัวได้
- ง. กรดอ่อนและเบสอ่อนทุกชนิดสามารถแตกตัวเป็นไอออนได้เพียง 1 ชั้น

14. กำหนดให้ HIn แทนสูตรของโบรโมไทมอลบลู เกิดการแตกตัวในน้ำดังสมการ



โบรโมไทมอลบลู เปลี่ยนสีในช่วง 6.0-7.6 สีที่เปลี่ยนคือ เหลือง - น้ำเงิน

เพราะเหตุใด เมื่อหยดโบรโมไทมอลบลูลงไปในสารละลายเบส สารละลายจึงปรากฏเป็นสีน้ำเงิน

- ก. เพราะสารละลายเบส มี $[\text{In}^-]$ มาก จึงเห็นสีในรูปเบสซึ่งเป็นสีน้ำเงิน
- ข. เพราะสารละลายเบส มี $[\text{H}_3\text{O}^+]$ น้อย สมดุลปรับไปทางที่ทำให้เกิด $[\text{HIn}]$ มากขึ้น จึงปรากฏเป็นสีน้ำเงิน
- ค. เพราะ OH^- ในสารละลายเบส ไปทำปฏิกิริยากับ HIn ทำให้เกิด In^- มากขึ้น สารละลายจึงปรากฏเป็นสีน้ำเงิน
- ง. เพราะ OH^- ในสารละลายเบส รวมตัวกับ H_3O^+ ทำให้ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ ลดลง สมดุลปรับไปทางขวา เกิด In^- มาก จึงปรากฏเป็นสีน้ำเงิน

15. ข้อใดอธิบายเกี่ยวกับอินดิเคเตอร์ ไม่ถูกต้อง

- ก. สามารถบอกค่า pH เป็นตัวเลขที่แน่นอนได้
- ข. ใช้ตรวจสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลายได้
- ค. อินดิเคเตอร์แต่ละชนิดเปลี่ยนสีได้ในช่วง pH ที่มีค่าเฉพาะ
- ง. พืชในท้องถิ่นบางชนิดสามารถนำมาสกัดสีใช้เป็นอินดิเคเตอร์ได้

16. ข้อใดกล่าวถึงปฏิกิริยาการสะเทินได้ถูกต้องที่สุด

- ก. เป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสแก่ได้เกลือกับน้ำ
- ข. เป็นปฏิกิริยาการรวมกันของ H_3O^+ กับ OH^- เกิดเป็นน้ำ
- ค. เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะไม่มีทั้ง H^+ และ OH^- อยู่ในสารละลาย
- ง. เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา ค่า pH ของสารละลายที่เกิดขึ้นจะเท่ากับ 7 เสมอ

17. ข้อใดกล่าวเกี่ยวกับปฏิกิริยาของกรดได้ถูกต้อง

- ก. กรดทำปฏิกิริยากับโลหะได้ทุกชนิด เกิดเป็นแก๊สไฮโดรเจน
- ข. กรดทำปฏิกิริยากับเบส ได้เกลือกับน้ำหรือเกลือเพียงอย่างเดียว
- ค. กรดทำปฏิกิริยากับผงฟู ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำเท่านั้น
- ง. กรดทุกชนิดเป็นสารกัดกร่อน สามารถกัดกร่อนโลหะ พลาสติก และเนื้อเยื่อของเราได้

18. ถ้านำสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ซึ่งมีความเข้มข้นและปริมาตรเท่ากันมาผสมกัน อยากทราบว่าสารละลายที่ได้มีสมบัติความเป็นกรด-เบสอย่างไร

- ก. เป็นกรด
- ข. เป็นเบส
- ค. เป็นกลาง
- ง. ข้อมูลไม่เพียงพอ

19. เคมีภัณฑ์ที่ใช้สำหรับดูแลทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในสระว่ายน้ำ น้ำยาปรับสภาพน้ำ น้ำยากำจัดตะไคร่ กรดเกลือ และโซดาแอช อยากทราบว่าถ้าเราใส่โซดาแอช (Na_2CO_3) ลงไปในสระน้ำเพียงอย่างเดียว น้ำในสระจะมีสมบัติความเป็นกรด-เบส อย่างไร

- ก. เป็นกรด
- ข. เป็นเบส
- ค. เป็นกลาง
- ง. อาจมีสมบัติเป็นกรด เป็นเบส หรือเป็นกลางขึ้นอยู่กับค่า K_a และ K_b

20. ข้อใดกล่าวถึงเกลือได้ถูกต้อง

- ก. เกลือทุกชนิดเมื่อละลายน้ำแล้วมีสมบัติเป็นกลาง
- ข. เกลือเกิดจากกรดแก่ทำปฏิกิริยากับเบสแก่
- ค. เกลือบางชนิดไม่ละลายน้ำ
- ง. เกลือไม่มีค่า pH

21. ยาลดกรดชนิดหนึ่งมี $\text{Mg}(\text{OH})_2$ เป็นส่วนประกอบ ถ้านำยาลดกรดชนิดนี้ 0.10 g มาไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.10 mol/dm^3 เมื่อถึงจุดยุติปรากฏว่าต้องใช้กรดไฮโดรคลอริก 10 cm^3 ค่า pH ที่จุดสมมูลมีค่าเท่าใด

- ก. ต่ำกว่า 7
- ข. เท่ากับ 7
- ค. สูงกว่า 7
- ง. ข้อมูลไม่เพียงพอ

22. ข้อใดคือเหตุผลที่ถูกต้องที่ทำให้เราต้องหยุดทำการไทเทรต เมื่อถึงจุดยุติ

- ก. เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสี
- ข. เพราะสารละลายมีค่า $\text{pH} = 7$ แล้ว
- ค. เพราะเกิดภาวะสมดุลระหว่างกรดกับเบส
- ง. เพราะกรดและเบสทำปฏิกิริยาพอดีกันแล้ว

23. ในการไทเทรตหาปริมาณกรดแอสคอบิก ($C_6H_8O_6$) ในลูกอมวิตามินซีเม็ด ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ควรเลือกใช้อินดิเคเตอร์ในข้อใดเหมาะสมที่สุด

- ก. ลิตมัส (pH 5.8 – 8.0)
- ข. ไทมอลบลู (pH 8.0 – 9.6)
- ค. เมทิลออเรนจ์ (pH 3.1 – 4.4)
- ง. โบรโมไทมอลบลู (pH 6.0 – 7.6)

24. สารละลายใดต่อไปนี้ ถ้าเติมกรดแก่หรือเบสแก่เล็กน้อย จะไม่ทำให้ pH ของสารละลายเปลี่ยนไปมากนัก

- | | |
|---------------------------|-----------------------------------|
| ก. KOH กับ KCl | ข. NH_3 กับ NaCl |
| ค. NH_3 กับ CH_3COONa | ง. C_6H_5COONa กับ C_6H_5COOH |

25. นักเรียนคนหนึ่ง นำน้ำประปามาวัดค่า pH ได้ 8.0 เมื่อเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 ลงไปจำนวน 2 หยด ปรากฏว่าวัดค่า pH ได้ 3.0 เขาจึงอยากจะทำการศึกษาทดลองกับน้ำทะเลดูบ้าง ซึ่งในน้ำทะเลมีองค์ประกอบของสารและไอออนต่างๆ มากมาย เช่น H_2CO_3 , HCO_3^{2-} , CO_3^{2-} , $CaCO_3$, H_3BO_3 , $H_2BO_3^-$ เป็นต้น เขาจึงนำน้ำทะเลตัวอย่างมา 10 mL วัดค่า pH ได้ 8.2 อยากทราบว่าเมื่อเขาเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 ลงไปจำนวน 2 หยด น้ำทะเลตัวอย่างจะมีค่า pH เปลี่ยนไปอย่างไร

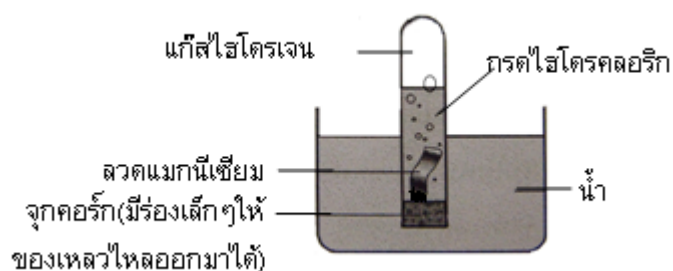
- | | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| ก. ค่า pH ลดลงมาก | ข. ค่า pH เพิ่มขึ้นมาก |
| ค. ค่า pH ลดลงเพียงเล็กน้อย | ง. ค่า pH เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย |

C.2 Research Instrument: Integrated Science Process Skills Test

แบบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

คำชี้แจง: จงใช้ข้อมูลต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 1-3

การศึกษ้อัตราการเกิดแก๊สไฮโดรเจน โดยใช้ลวดแมกนีเซียมทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก ดังภาพ แล้วจับเวลาการเกิดแก๊สไฮโดรเจน



ถ้าต้องการศึกษาว่า “อัตราการเกิดแก๊สไฮโดรเจนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดหรือไม่”

1. ตัวแปรตามคือข้อใด

ก. ความเข้มข้นของกรด

ข. ปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจน

ค. อัตราการเกิดแก๊สไฮโดรเจน

ง. เวลาที่ใช้ในการเกิดแก๊สไฮโดรเจน

2. ตัวแปรต้นคือข้อใด

ก. ความเข้มข้นของกรด

ข. ปริมาณของสารละลายกรด

ค. อัตราการเกิดแก๊สไฮโดรเจน

ง. เวลาที่ใช้ในการเกิดแก๊สไฮโดรเจน

3. ตัวแปรควบคุมสำหรับการศึกษานี้คือข้อใด

ก. ปริมาตรน้ำ ความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิ ปริมาตรของกรด ขนาดภาชนะ

ข. ขนาดภาชนะ ปริมาตรน้ำ เวลาที่ใช้ในการเกิดแก๊สไฮโดรเจน ปริมาตรของกรด

อุณหภูมิ

ค. ปริมาตรน้ำ ขนาดของลวดแมกนีเซียม อุณหภูมิ ชนิดและปริมาตรของกรด ขนาดภาชนะ

ง. ขนาดภาชนะ ความเข้มข้นของกรด ขนาดของลวดแมกนีเซียม อุณหภูมิ ชนิดและปริมาตรของกรด

คำชี้แจง: จงใช้ข้อมูลในตารางต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 4

สาร	เวลาที่ใช้ในการละลายโดยเฉลี่ย (วินาที)			
	อุณหภูมิของน้ำที่ 20 °C	อุณหภูมิของน้ำที่ 40 °C	อุณหภูมิของน้ำที่ 50 °C	อุณหภูมิของน้ำที่ 60 °C
น้ำตาล 20 กรัม	80	40	20	5
เกลือ 20 กรัม	60	30	16	3

4. เมื่อพิจารณาจากตาราง ข้อใดคือสมมติฐานของการทดลองนี้

ก. อุณหภูมิมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการละลายของสาร

ข. สารต่างชนิดกัน จะละลายได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน

ค. เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณของสารที่ละลายได้จะมากขึ้น

ง. ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ สารที่มีปริมาณมาก จะใช้เวลาในการละลายมากกว่าสารที่มีปริมาณ

น้อย

5. เด็กชายต้นสนต้องการพิสูจน์ว่า อุณหภูมิของน้ำมีผลต่อปริมาณของน้ำตาลที่ละลายในน้ำหรือไม่ เขาจึงเติมน้ำลงในบีกเกอร์ขนาดเดียวกัน 4 ใบ ๆ ละ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วทำให้น้ำในบีกเกอร์ใบที่ 1 มีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ใบที่ 2 มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใบที่ 3 มีอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และใบที่ 4 มีอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จากนั้นเขาก็ใส่น้ำตาลลงในบีกเกอร์และคนให้น้ำตาลละลายได้มากที่สุด สมมติฐานที่เด็กชายต้นสนกำลังพิสูจน์คือข้อใด

ก. ถ้าใช้ปริมาณของน้ำมากขึ้น อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้น

ข. ถ้าคนสารนานมากขึ้น ปริมาณของน้ำตาลจะละลายได้มากขึ้น

ค. ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น ปริมาณของน้ำตาลที่ละลายได้จะมากขึ้น

ง. ถ้าปริมาณของน้ำตาลที่ละลายได้เพิ่มมากขึ้น ของเหลวจะมีรสหวานมากขึ้น

6. จินดาพร นำน้ำมันที่ฟุ้งจากโคนมที่โรงโคนมสวนจิตรลดา มาแบ่งใส่บีกเกอร์ในปริมาณเท่า ๆ กัน 2 ใบ นำบีกเกอร์ใบที่หนึ่งไปต้มจนเดือด ส่วนใบที่สองตั้งไว้เฉยๆ จากนั้นนำบีกเกอร์ทั้งสองใบมาวางไว้ในห้องเดียวกัน แล้วเฝ้าสังเกตเมื่อเวลาผ่านไป จากวิธีการทดลองดังกล่าว นักเรียนคิดว่า จินดาพรตั้งสมมติฐานไว้ว่าอย่างไร

ก. นมดิบมีคุณค่าทางอาหารสูง

ข. นมที่ได้รับความร้อน จะเสียหรือบูดเร็วกว่านมที่ไม่ได้รับความร้อน

ค. นมที่ไม่ได้รับความร้อนและนมที่ได้รับความร้อน จะมีรสชาติต่างกัน

ง. นมที่ได้รับความร้อน จะมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่านมที่ไม่ได้รับความร้อน

คำชี้แจง: จงใช้สถานการณ์ต่อไปนี้ ในการตอบคำถามข้อที่ 7-8

สถานการณ์ที่ 1

คิมอยากรู้ว่าอะไรเป็นตัวกำหนดเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำจนเดือด เขาเทน้ำปริมาณเท่ากันลงในภาชนะขนาดต่างกัน 4 ใบ ซึ่งทำจากดินเหนียว สแตนเลส อลูมิเนียม และทองแดง จากนั้นเขาให้ความร้อนปริมาณเท่ากันแก่ภาชนะและวัดเวลาที่ใช้ในการทำให้น้ำในแต่ละภาชนะเดือด

7. ปัจจัยใดที่อาจส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการทำให้น้ำเดือด

- ก. รูปร่างภาชนะและปริมาณของน้ำที่ใช้ ข. เวลาและชนิดของภาชนะที่ใช้
 ค. ขนาดและชนิดของภาชนะที่ใช้ ง. ชนิดของภาชนะและปริมาณความร้อน

8. นักเรียนจะแนะนำอะไรเพื่อปรับปรุงการทดลองนี้

- ก. ปริมาณน้ำที่ใส่ภาชนะควรแตกต่างกัน ข. ควรเลือกศึกษาตัวแปรต้นที่ละตัวแปร
 ค. การวัดเวลาควรวัดเป็นหน่วยชั่วโมง ง. ความร้อนที่ให้ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน

9. ถ้าต้องการทดลองเพื่อแสดงให้เห็นว่า ของเหลวต่างชนิดกัน ระเหยได้มากน้อยไม่เท่ากันจะต้องทำตามข้อใด

- ก. ใส่ของเหลวชนิดเดียวกันในปริมาณที่ต่างกันลงในภาชนะที่ขนาดเท่ากัน
 ข. ใส่ของเหลวชนิดเดียวกันลงในภาชนะขนาดต่างกัน 2 ใบ ในปริมาณที่เท่ากัน
 ค. ใส่ของเหลวต่างชนิดกันในปริมาณที่เท่ากันลงในภาชนะที่มีขนาดต่างกัน 2 ใบ
 ง. ใส่ของเหลวต่างชนิดกันในปริมาณที่เท่ากันลงในภาชนะที่มีขนาดและรูปร่างเท่ากัน 2

ใบ

10. จากตารางแสดงความสามารถในการละลายของสารที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

สาร	ความสามารถในการละลาย (กรัม/น้ำ 100 กรัม)
แมกนีเซียมซัลเฟต	36.3
โซเดียมคลอไรด์	36.0
โซเดียมคาร์บอเนต	29.4
คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต	22.0
สารส้ม	7.8
แคลเซียมซัลเฟต	0.21

ข้อใดคือข้อสรุปที่ถูกต้องจากข้อมูลนี้

- ก. แมกนีเซียมซัลเฟตละลายได้ดีที่สุด
- ข. สารประกอบไอออนิกละลายน้ำได้ดี
- ค. ความสามารถในการละลายของสารทั้ง 6 ชนิดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ
- ง. สารส้ม 100 กรัม จะละลายได้ 7.8 กรัมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

11. ขอรอยากจะแสดงให้เห็นว่าขนาดของภาชนะมีผลต่ออัตราการสูญเสียน้ำเมื่อทำให้น้ำเดือด เขาเทน้ำปริมาณเท่ากันในภาชนะที่แตกต่างกันแต่ทำจากวัสดุเหมือนกัน เขาให้ความร้อนแก่ภาชนะทุกใบในปริมาณที่เท่ากัน เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเขาก็วัดปริมาณของน้ำที่เหลืออยู่ในแต่ละภาชนะ ข้อใดคือวิธีการวัดอัตราการสูญเสียน้ำของการทดลองนี้

- ก. วัดปริมาณของน้ำที่เหลืออยู่ในแต่ละภาชนะ
- ข. หาเวลาที่ใช้ในการทำให้น้ำเดือดในแต่ละภาชนะ
- ค. เปรียบเทียบระดับของน้ำที่ลดลงในแต่ละภาชนะ
- ง. หาความแตกต่างระหว่างปริมาณของน้ำเริ่มต้นและปริมาณของน้ำที่เหลืออยู่

คำชี้แจง: จงใช้สถานการณ์ต่อไปนี้ ในการตอบคำถามข้อที่ 12-14

สถานการณ์ที่ 2

นักเรียนคนหนึ่ง อยากทราบว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่ออัตราเร็วในการละลายของน้ำแข็งก้อน ซึ่งเขาคิดว่าขนาดของก้อนน้ำแข็ง อุณหภูมิของห้อง และรูปร่างของน้ำแข็งก้อนคือปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราเร็วของการละลาย

12. ข้อใดเป็นสมมติฐานที่ดี ที่เขาสามารถทำการทดสอบได้

- ก. น้ำแข็งก้อน ที่มีรูปร่างเหมือนกัน ไม่มีผลต่ออัตราเร็วในการละลายของน้ำแข็ง
- ข. ถ้าน้ำแข็งก้อนทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มาวางไว้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการละลาย ของน้ำแข็งก้อนจะมากที่สุด
- ค. ถ้าใช้น้ำแข็งก้อนทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์เหมือนกัน ชั่งมวลมาเท่ากัน ก้อนน้ำแข็งขนาดเล็กจะมีอัตราเร็วในการละลายมากกว่าขนาดใหญ่
- ง. ถ้าใช้น้ำแข็งก้อนทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์เหมือนกัน เพราะเหตุใดก้อนน้ำแข็งขนาดใหญ่ มีอัตราเร็วในการละลายน้อยกว่าก้อนน้ำแข็งขนาดเล็ก

13. ถ้าเขาดัดสันใจที่จะทดสอบสมมติฐานที่ว่า “รูปร่างของน้ำแข็งก้อนมีผลต่ออัตราเร็วในการละลาย” การทดลองในข้อใด ที่นักเรียนคนนี้ควรเลือกเพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่เขาตั้งไว้

- ก. ใช้น้ำแข็ง 5 ก้อน แต่ละก้อนมีรูปร่างและมวลแตกต่างกัน ใช้ภาชนะเหมือนกัน 5 ใบ ทำการทดลองที่อุณหภูมิเดียวกัน แล้วสังเกตการละลายของน้ำแข็ง
- ข. ใช้น้ำแข็ง 5 ก้อน แต่ละก้อนมีรูปร่างเหมือนกัน แต่มีมวลต่างกัน ใช้ภาชนะเหมือนกัน 5 ใบ ทำการทดลองที่อุณหภูมิเดียวกัน แล้วสังเกตการละลายของน้ำแข็ง
- ค. ใช้น้ำแข็ง 5 ก้อน ทุกก้อนมีมวลเท่ากัน แต่มีรูปร่างแตกต่างกัน ใช้ภาชนะเหมือนกัน 5 ใบ ทำการทดลองที่อุณหภูมิเดียวกัน แล้วสังเกตการละลายของน้ำแข็ง
- ง. ใช้น้ำแข็ง 5 ก้อน ทุกก้อนมีมวลเท่ากัน แต่มีรูปร่างแตกต่างกัน ใช้ภาชนะเหมือนกัน 5 ใบ ทำการทดลองที่อุณหภูมิต่างกัน แล้วสังเกตการละลายของน้ำแข็ง

14. มัลลียต้องการหาปริมาณน้ำที่อยู่ในอาหาร ได้แก่ เนื้อสัตว์ แดงกวา มะลาล์ปลี และเมลลิด ข้าวโพด เขาจึงทำการทดลองโดย สับอาหารเหล่านี้จนละเอียดและชั่งมาอย่างละ 10 กรัม ใส่ในจาน และนำไปวางในตู้บัพที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทุกๆ 30 นาทีเขาจะนำอาหารออกมาชั่ง จนมวลของอาหารไม่เปลี่ยนแปลงต่อเนื่องกันสองครั้ง อยากทราบว่าปริมาณน้ำที่อยู่ในอาหารสำหรับการทดลองนี้วัดได้อย่างไร

- ก. วัดจากปริมาตรน้ำที่ระเหยออก
- ข. วัดจากการเปลี่ยนสีของจุนสีสตุ
- ค. วัดจากมวลที่เหลืออยู่หลังจากเข้าตู้บัพครั้งสุดท้าย
- ง. วัดจากความแตกต่างระหว่างมวลเริ่มต้นและมวลที่เหลืออยู่

15. ถ้านักเรียนต้องการทดสอบว่า “เกลือทำให้น้ำแข็งมีอุณหภูมิต่ำลงจริงหรือไม่” จะเลือกใช้อุปกรณ์ใดในการทดลอง

- ก. เกลือ น้ำแข็ง เทอร์มอมิเตอร์ น้ำ
- ข. เกลือ น้ำแข็ง เทอร์มอมิเตอร์ บีกเกอร์
- ค. เกลือ น้ำแข็ง บีกเกอร์ แท่งแก้วคนสาร
- ง. เกลือ น้ำแข็ง เทอร์มอมิเตอร์ หลอดฉีดยา

16. นำน้ำมันก๊าดและแอลกอฮอล์ ใส่ลงในภาชนะฝาเปิดขนาดเท่ากัน ปริมาณเท่ากันแล้ววางทิ้งไว้บริเวณเดียวกันประมาณ 2-3 ชั่วโมง สังเกตพบว่าปริมาณแอลกอฮอล์เหลือน้อยกว่าน้ำมันก๊าดจากการทดลองนี้จะสรุปได้ว่าอย่างไร

- ก. แอลกอฮอล์รับความร้อนได้ดีกว่าน้ำมันก๊าด
- ข. แอลกอฮอล์มีอัตราการระเหยสูงกว่าน้ำมันก๊าด
- ค. แอลกอฮอล์ระเหย แต่น้ำมันก๊าดไม่เกิดการระเหย
- ง. น้ำมันก๊าดได้รับความร้อนจากอากาศมากกว่าแอลกอฮอล์

17. จากการทดลองข้างล่างนี้ นักเรียนจะสรุปผลการทดลองว่าอย่างไร

การทดลอง	ผลการทดลองเมื่อเขย่าสาร
1. เติมน้ำสบู่ในน้ำที่มีน้ำมันพืชอยู่	ได้สารละลายขุ่นขาว ไม่เห็นน้ำและน้ำมันแยกเป็นชั้น
2. เติมสารละลายผงซักฟอกในน้ำที่มีน้ำมันพืชอยู่	ได้สารละลายขุ่นขาว ไม่เห็นน้ำและน้ำมันแยกเป็นชั้น
3. เติมสารละลายแชมพูในน้ำที่มีน้ำมันพืชอยู่	ได้สารละลายขุ่นขาว ไม่เห็นน้ำและน้ำมันแยกเป็นชั้น

ก. น้ำมันพืชไม่ละลายน้ำ

ข. น้ำมันพืช เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำสบู่ จะได้สารละลายขุ่นขาว

ค. สบู่ ผงซักฟอก และแชมพู มีสมบัติทำให้น้ำมันละลายในน้ำได้

ง. สบู่ ผงซักฟอก และแชมพู มีสมบัติแยกน้ำมันออกจากน้ำเห็นเป็นชั้นชัดเจน

18. ข้อความใดเป็นความหมายของคำว่า “แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์” ที่สามารถวัดและสังเกตได้

ก. แก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำส้มสายชูกับผงฟู ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ช่วยให้ไฟติด

ข. แก๊สที่เกิดจากกระบวนการหายใจระดับเซลล์ หรือการสลายอาหารของร่างกายเพื่อให้ได้พลังงาน

ค. สารประกอบชนิดหนึ่ง ซึ่งแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยธาตุคาร์บอนหนึ่งอะตอมกับธาตุออกซิเจนสองอะตอม

ง. แก๊สชนิดหนึ่งมีคุณสมบัติไม่ช่วยให้ไฟติด ถ้าจุดไฟแหล่งไปในกระบอกแก้วที่มีแก๊สนี้บรรจุอยู่ไฟจะดับอย่างรวดเร็ว

คำชี้แจง: จงใช้ข้อมูลต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อ 19

จากการวัดความดันบรรยากาศและความหนาแน่นของอากาศที่ระดับความสูงต่าง ๆ ได้ผลการทดลองดังนี้

ความสูงจากระดับน้ำทะเล (km)	ความดันบรรยากาศ (mmHg)	ความหนาแน่นของอากาศ (g/cm ³)
0	760	0.00130
2	600	0.00100
4	470	0.00082
6	360	0.00066
8	280	0.00052
10	210	0.00041
12	160	0.00031

19. จากตารางข้อมูลข้างต้น สรุปความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูง ความดันบรรยากาศ และความหนาแน่นของอากาศได้อย่างไร

- ก. ยิ่งความสูงจากระดับน้ำทะเลเพิ่มมากขึ้น ความดันบรรยากาศและความหนาแน่นของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น
- ข. ยิ่งความสูงจากระดับน้ำทะเลเพิ่มมากขึ้น ความดันบรรยากาศและความหนาแน่นของอากาศมีค่าลดลง
- ค. ยิ่งความสูงจากระดับน้ำทะเลเพิ่มมากขึ้น ความดันบรรยากาศมีค่าลดลง ความหนาแน่นของอากาศคงที่
- ง. ความดันบรรยากาศแปรผันตรงกับความหนาแน่นของอากาศ ที่ความสูงใด ๆ

คำชี้แจง: จงใช้สถานการณ์ต่อไปนี้ ในการตอบคำถามข้อที่ 20

สถานการณ์ที่ 3

นักเรียนคนหนึ่งต้องการจะตรวจสอบว่าปริมาณการดูดกลืนความร้อนเป็นผลมาจากสีของผ้าหรือไม่ เขาจึงเตรียมการทดลองโดยนำผ้ามาสองผืนซึ่งมีสีแตกต่างกัน ใช้ผ้าสีเขียวห่อแก้วใบที่หนึ่ง และผ้าสีเหลืองห่อแก้วใบที่สอง แก้วแต่ละใบจะใส่น้ำในปริมาณที่เท่ากัน จากนั้นก็นำแก้วทั้งสองใบไปวางในบริเวณที่มีแสงแดดจ้า ซึ่งในแก้วแต่ละใบจะใส่เทอร์มอมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิไว้ด้วย

20. ปริมาณการดูดกลืนความร้อนสำหรับการทดลองนี้ หมายถึงข้อใด

- ก. ปริมาณความร้อนที่ได้จากการวัดอุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์
- ข. ปริมาณความร้อนที่ได้จากการใช้มือทั้งสองสัมผัสข้างแก้ว
- ค. ปริมาณความร้อนที่ได้จากการวัดอุณหภูมิของผ้าที่ใช้ห่อ
- ง. ความแตกต่างของมวลของน้ำในบีกเกอร์ก่อนและหลัง

C.3 Research Instrument: Attitude towards Chemistry Laboratory Learning

แบบวัดเจตคติต่อการเรียนปฏิบัติการเคมี

ชื่อ-นามสกุล เลขที่

เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง ชั้น

เกรดวิชาเคมี เกรดเฉลี่ย

คำชี้แจง ให้นักเรียนอ่านและพิจารณาข้อความในช่องซ้ายมือที่ละข้อความ แล้วทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงหรือสอดคล้องกับระดับความคิดเห็น ความรู้สึกของนักเรียนมากที่สุด โดยที่

5 หมายถึง ข้อความนั้นตรงหรือสอดคล้องกับความคิดเห็น ความรู้สึกของนักเรียนมากที่สุด

4 หมายถึง ข้อความนั้นตรงหรือสอดคล้องกับความคิดเห็น ความรู้สึกของนักเรียนมาก

3 หมายถึง ข้อความนั้นตรงหรือสอดคล้องกับความคิดเห็น ความรู้สึกของนักเรียนปานกลาง

2 หมายถึง ข้อความนั้นตรงหรือสอดคล้องกับความคิดเห็น ความรู้สึกของนักเรียนน้อย

1 หมายถึง ข้อความนั้นตรงหรือสอดคล้องกับความคิดเห็น ความรู้สึกของนักเรียนน้อยที่สุด

ข้อความ	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1. การทดลอง เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเรียนรู้เคมี					
2. การทำการทดลอง ทำให้ฉันได้มีส่วนร่วมในการเรียนรู้.					
3. ฉันชอบที่จะเรียนเคมี ด้วยการทดลอง					
4. ฉันไม่ชอบทำการทดลองเคมี					
5. การทำการทดลอง ช่วย使我เข้าใจแนวคิดในวิชาเคมีได้ง่ายขึ้น					
6. ความก้าวหน้าทางเคมี เป็นผลมาจากการทดลอง					
7. การทำการทดลอง ทำให้เสียเวลาในการเรียน					
8. การได้ทำการทดลอง ทำให้การเรียนเคมีไม่น่าเบื่อ					
9. ฉันเต็มใจที่จะใช้เวลาอยู่กับการทำการทดลองเคมีมาก ๆ					
10. ฉันรู้สึกเบื่อทุกครั้งที่ทำทำการทดลองเคมี					
11. การทำการทดลอง ช่วย使我เข้าใจเหตุการณ์ในชีวิตประจำวัน					
12. ฉันสามารถหาวัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการทดลอง เหล่านี้ได้					
13. การทำการทดลอง เป็นงานที่ยากลำบากสำหรับฉัน					
14. ฉันเข้าใจวิธีการปฏิบัติการทดลองได้อย่างง่ายดาย					

ข้อความ	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
15. ฉันรู้สึกตื่นเต้น เมื่อได้ทำการทดลองเคมี					
16. ในระหว่างที่ทำการทดลองเคมี ฉันรู้สึกง่วงนอน					
17. การได้ทำการทดลอง ทำให้ฉันชอบเรียนเคมีมากขึ้น					
18. การทำการทดลอง ทำให้ได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์					
19. ฉันรู้สึกสนุกเมื่อได้ทำการทดลองเคมี					
20. การเข้าใจเนื้อหาในวิชาเคมี ไม่จำเป็นต้องทำการทดลอง					
21. ฉันพบว่า การทดลองเคมีง่ายกว่าที่คิด					
22. การทำการทดลอง ไม่ทำให้มีทักษะในการใช้อุปกรณ์เคมีเพิ่มขึ้น					
23. ฉันพบว่าการทดลองเคมี น่าสนใจ					
24. ฉันรู้ว่าจะเริ่มต้นทำการทดลองอย่างไร					
25. การทดลองเคมี ทำให้ฉันรู้สึกว่าเคมีเป็นวิชาที่ยาก					
26. การทำการทดลอง ช่วย使我ได้ฝึกการคิดแบบนักวิทยาศาสตร์					
27. ฉันสามารถอธิบายขั้นตอนการทำการทดลองให้เพื่อนเข้าใจได้					
28. ฉันชอบที่จะให้มีกิจกรรมการทดลองน้อย ๆ					
29. ฉันทำการทดลองเคมีด้วยความเข้าใจ					
30. ฉันไม่รู้ว่า ทำการทดลองไปเพื่ออะไร					

C.4 Research Instrument: Classroom Observation

แบบสังเกตการณ์การเรียนการสอน เรื่อง กรด-เบส

วันที่ทำการสังเกต เวลาทำการสังเกต

(Date of Observation) (Time of Observation)

ผู้สอนที่ถูกสังเกต..... ชั้นเรียนทำการสังเกต.....

(Instructor Observed) (Class Observed)

จำนวนนักเรียนในช่วงทำการสังเกต เรื่องที่สอน.....

(Approximate number of students present during observation period) (Topic Observed)

1. แผนผังห้องเรียน

บันทึกผลการสังเกต (Descriptive field note)	บันทึกการสะท้อน ความคิด (Reflective Notes)
---	---

2. แนวทางการจัดการเรียนรู้และการบริหารเวลา

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
(บันทึกกระบวนการจัดการเรียนรู้และเวลาโดยประมาณ)	แนวทางการจัดการเรียนรู้
การบริหารเวลา สอน อภิปราย กิจกรรม ทำแบบฝึกหัด	

3. การชี้แจงจุดประสงค์ของการเรียนให้นักเรียนทราบ

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
-------------------	------------------------

☐ มี ☐ ไม่มี
เช่น

(ถ้ามี) การบรรลุตามจุดประสงค์

☐ บรรลุ ☐ ไม่บรรลุ

4. การให้ความสำคัญกับความรู้เดิมหรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียน

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
-------------------	------------------------

☐ มี ☐ ไม่มี
เช่น

5. สื่อการเรียนรู้ที่ใช้

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
-------------------	------------------------

6. กิจกรรมปฏิบัติการทดลอง (ถ้ามี)

6.1 การนำเข้าสู่กิจกรรมการทดลอง

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
-------------------	------------------------

บทบาทครู

บทบาทนักเรียน.

พฤติกรรมของนักเรียน

(นักเรียนเข้าใจวัตถุประสงค์ของการทำการทดลองหรือไม่)

6.2 การตั้งสมมติฐาน

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
-------------------	------------------------

บทบาทครู

บทบาทนักเรียน.

พฤติกรรมของนักเรียน

ตัวอย่างสมมติฐาน

6.3 การกำหนดและควบคุมตัวแปร

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
-------------------	------------------------

บทบาทครู

บทบาทนักเรียน

พฤติกรรมของนักเรียน

ตัวอย่างของการกำหนดตัวแปร

6.4 การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
บทบาทครู บทบาทนักเรียน พฤติกรรมของนักเรียน	
ตัวอย่างของนิยามเชิงปฏิบัติการ	

6.5 การทดลอง

6.5.1 การออกแบบการทดลอง

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
บทบาทครู บทบาทนักเรียน พฤติกรรมของนักเรียน ตัวอย่างของการออกแบบการทดลอง	

6.5.2 การกำหนดวัสดุ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลอง

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
บทบาทครู บทบาทนักเรียน พฤติกรรมของนักเรียน ตัวอย่างของการกำหนดวัสดุอุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลอง	

6.5.3 การปฏิบัติการทดลอง (ขณะทำการทดลอง)

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
บทบาทครู บทบาทนักเรียน พฤติกรรมของนักเรียนขณะทำการทดลอง	

6.6. การตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
บทบาทครู บทบาทนักเรียน พฤติกรรมของนักเรียน ตัวอย่างของการสรุป	

6.7 การใช้สารเคมีที่นักเรียนคุ้นเคย(หรือพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน)

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
☐ มี เช่น..... ☐ ไม่มี	

6.8. การสรุปแนวคิดหลักทางเคมีหลังการทำทดลอง

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
☐ นักเรียนเข้าใจและสามารถสรุปได้เอง ☐ นักเรียนสรุปได้ภายใต้การช่วยเหลือของครู ☐ ไม่มีการสรุปแนวคิด	

6.9 เป้าหมายของการทำการทดลอง

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
☐ เพื่อยืนยันสิ่งที่นักเรียนรู้อยู่แล้ว ☐ เพื่อนำไปสู่การสร้างองค์ความรู้	

7. การเรียกชื่อสารที่นักเรียนคุ้นเคย

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
☐ มี เช่น	☐ ไม่มี

8. การเชื่อมโยงกรด-เบส กับชีวิตประจำวัน

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
☐ มี เช่น พฤติกรรมของนักเรียน	☐ ไม่มี

9. การเชื่อมโยงแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับ คือ (1) ปรากฏการณ์จากการทดลองหรือในชีวิตประจำวัน (macroscopic level) (2) การอธิบายปรากฏการณ์ในระดับอะตอมหรือโมเลกุล (submicroscopic level) (3) การใช้สัญลักษณ์ (symbolic level)

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
☐ มี เช่น พฤติกรรมของนักเรียน	☐ ไม่มี

10. แนวทางการอธิบายแนวคิดทางเคมีที่เป็นนามธรรม หรือการเชื่อมโยงแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับ

บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
☐ แบบจำลอง (model) ไม่มี ☐ อุปมาอุปไมย (analogy) ☐ ภาพเคลื่อนไหว (dynamic computer simulation)	☐

☐ รูปภาพ/ภาพนิ่ง (static visuals)

☐ แผนภาพ (diagram)

☐ อื่น ๆ

เช่น

ลักษณะท่าทางหรือพฤติกรรมของนักเรียน.

11. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนกับนักเรียน และนักเรียนกับครู

บันทึกผลการสังเกต		บันทึกการสะท้อนความคิด	
11.1 นักเรียน-นักเรียน			
☐ มาก	☐ ปานกลาง	☐ น้อย	☐ ไม่มี
11.2 นักเรียน-ครู			
☐ มาก	☐ ปานกลาง	☐ น้อย	☐ ไม่มี

12. การเรียนรู้ร่วมกันของนักเรียน

บันทึกผลการสังเกต				บันทึกการสะท้อนความคิด			
☐ มาก	☐ ปานกลาง	☐ น้อย	☐ ไม่มี				
อธิบาย							

13. การสรุปบทเรียนหรือองค์ความรู้ที่ได้รับ เมื่อจบบทเรียน

บันทึกผลการสังเกต		บันทึกการสะท้อนความคิด	
☐ มี		☐ ไม่มี	
(ถ้ามี) ความสามารถในการตอบคำถามของนักเรียน			
☐ มาก	☐ ปานกลาง	☐ น้อย	☐ ไม่มี

14. การนำองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ (ในการแก้โจทย์ปัญหาทางเคมีหรือสถานการณ์อื่น ๆ)

	บันทึกผลการสังเกต	บันทึกการสะท้อนความคิด
☐ มี		☐ ไม่มี
เช่น		

15. ลักษณะการเรียนรู้ของผู้เรียน

บันทึกผลการสังเกต

บันทึกการสะท้อนความคิด

- ☐ นักเรียนรับความรู้จากครูผู้สอนเพียงฝ่ายเดียว
- ☐ นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้

16. ความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ของผู้เรียน

บันทึกผลการสังเกต

บันทึกการสะท้อนความคิด

- ☐ มาก ☐ ปานกลาง ☐ น้อย ☐ ไม่มี



C.5 Research Instrument: Interview Protocol for Teacher

แบบสัมภาษณ์ครู

คำชี้แจงการสัมภาษณ์

ผู้สัมภาษณ์อธิบายเกี่ยวกับการสัมภาษณ์ครั้งนี้ ดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของการสัมภาษณ์ คือ เพื่อได้ข้อมูลสะท้อนกลับเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนเคมี เรื่อง กรด-เบส จากครูผู้สอน
 2. การสัมภาษณ์นี้ไม่มีผลใดๆ ต่อหน้าที่การงาน
 3. ข้อมูลของผู้ให้ข้อมูลและข้อมูลที่ได้มาจากการสัมภาษณ์จะเก็บเป็นความลับ
 4. เวลาที่จะใช้ในการสัมภาษณ์ ประมาณ 20 นาที
- [ผู้สัมภาษณ์พูดคุยเรื่องทั่วไปเพื่อสร้างความคุ้นเคย]

ข้อ	ประเด็นการสัมภาษณ์
1	ข้อมูลทั่วไป (เช่น ประวัติการศึกษา ประสบการณ์การสอน ตำแหน่งทางวิชาการ ภาระงานสอน)
2	จุดมุ่งหมายของการเรียนการสอนเรื่อง กรด-เบส
3	แนวทางการจัดการเรียนการสอนเรื่องกรด-เบสที่ใช้อยู่
4	ข้อดี/จุดแข็งของแนวการสอนที่ใช้อยู่

5	ข้อเสีย/จุดอ่อนของแนวการสอนที่ใช้อยู่
6	ความพึงพอใจต่อแนวการสอนที่ใช้อยู่ (มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด)
7	ปัญหา/อุปสรรค ของการเรียนรู้และการสอนเรื่องกรด-เบส
8	การปฏิบัติการทดลองเรื่อง กรด-เบส
	8.1 ความบ่งชี้ของการทำการทดลอง
	8.2 จุดมุ่งหมายของการให้นักเรียนทำการทดลอง
	8.3 ลักษณะการจัดกิจกรรมการทดลอง
	8.4 ปัญหาของการทำการทดลอง
9	(ถ้าไม่มีการทำการทดลอง) สาเหตุที่ไม่ได้ทำการทดลอง

10	ความคิดเห็นต่อการทดลอง 10.1 การทดลองมีความจำเป็นอย่างไร 10.2 การทดลองมีประโยชน์อย่างไรกับครู และการเรียนรู้ของผู้เรียน
----	---

[ผู้สัมภาษณ์ขอขอบคุณที่ผู้ให้ข้อมูลให้ความร่วมมือและย้ำอีกครั้งว่า ข้อมูลของผู้ให้ข้อมูลและข้อมูลที่ได้มาจากการสัมภาษณ์จะเก็บเป็นความลับ]

วันที่สัมภาษณ์..... ณ

เวลาในการสัมภาษณ์..... ผู้สัมภาษณ์.....

C.6 Research Instrument: Interview Protocol for Student

แบบสัมภาษณ์นักเรียน

คำชี้แจงการสัมภาษณ์

ผู้สัมภาษณ์อธิบายเกี่ยวกับการสัมภาษณ์ครั้งนี้ ดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของการสัมภาษณ์ คือ เพื่อศึกษาสภาพการจัดการเรียนการสอนเรื่องกรด-เบส จากผู้เรียน

2. การสัมภาษณ์นี้ไม่มีผลต่อคะแนนของนักเรียน

3. ข้อมูลของผู้ให้ข้อมูลและข้อมูลที่ได้มาจากการสัมภาษณ์จะเก็บเป็นความลับ

4. เวลาที่จะใช้ในการสัมภาษณ์

[ผู้สัมภาษณ์พูดคุยเรื่องทั่วไปเพื่อสร้างความคุ้นเคย]

ข้อ	คำถาม
1	จุดประสงค์ของการเรียนเรื่อง กรด-เบส คืออะไร [หรืออาจถามว่า คิดว่าเรียน กรด-เบส ไปทำไม หรือ การได้เรียนเรื่องกรด-เบสมีประโยชน์อย่างไร]
2	ครูสอนเรื่องนี้อย่างไร [หรือ ครูใช้วิธีการสอนใด เช่น บรรยาย /ทดลอง /Lab แห่ง/ สาธิต) และให้ทำกิจกรรมอะไรบ้าง]
3	คิดว่าการสอนแบบนี้มีข้อดีอย่างไร
4	คิดว่าการสอนแบบนี้มีข้อเสียอย่างไร [หรือ สิ่งที่ต้องปรับปรุง]
5	พึงพอใจแค่ไหนกับการสอนแบบที่ครูใช้อยู่ [หรือ อาจจะให้นักเรียนบอกระดับ ดังนี้มากที่สุด (5) มาก (4) ปานกลาง (3) น้อย (2) น้อยที่สุด (1)]
6	ปัญหา/อุปสรรคในการเรียนเรื่องกรด-เบส [หรือ สิ่งทำให้เรียนรู้เรื่องกรด-เบส ได้ไม่ดีเท่าที่ควร]

7	การปฏิบัติการทดลอง 7.1 (ในการเรียนเรื่องกรด-เบส) นักเรียนได้ทำการทดลองเรื่องอะไรบ้าง
	7.2 คิดว่าจุดประสงค์ของการทำการทดลองคืออะไร (หรือ ทำไมในการเรียนเคมีจึงต้องทำการทดลอง หรือคิดว่าทำการทดลองไปเพื่ออะไร เช่น เพื่อพิสูจน์ว่าเป็นไปตามทฤษฎี เพื่อให้เข้าใจแนวคิดทางเคมี)
	7.3 ครูจัดกิจกรรมการทดลองอย่างไร [ให้นักเรียนอธิบายสิ่งที่ครูให้ทำตั้งแต่ก่อนจะเริ่มทำการทดลอง เช่น ชี้แจงจุดประสงค์ของการทดลอง ตั้งสมมติฐาน กรอบอวกวิธีการทำ หรือศึกษาวิธีทำเอง หรือออกแบบการทดลองเอง ทำการทดลอง บันทึกผล สรุป นำเสนอหน้าชั้นเรียน]
	7.4 ปัญหาที่พบในขณะที่ทำการทดลอง มีอะไรบ้าง
	7.5 จากที่ได้ทำการทดลองเรื่องกรด-เบส นักเรียนได้เรียนรู้อะไรบ้าง (สิ่งที่นักเรียนจำได้ องค์ความรู้ที่เขาจำได้จากการทำการทดลอง)
	7.6 นักเรียนมีความคิดเห็นอย่างไร กับกิจกรรมการทดลองที่ได้ทำ
8	(ถ้าไม่ได้ทำการทดลอง) เพราะเหตุใด จึงไม่ได้ทำการทดลอง

[ผู้สัมภาษณ์ขอขอบคุณที่ผู้ให้ข้อมูลให้ความร่วมมือและย้ำอีกครั้งว่า ข้อมูลของผู้ให้ข้อมูลและข้อมูลที่ได้มาจากการสัมภาษณ์จะเก็บเป็นความลับ]

วันที่สัมภาษณ์..... โรงเรียน.....

เวลาในการสัมภาษณ์..... ผู้สัมภาษณ์.....



Appendix D
The Learning Model (in Thai)

**รูปแบบการจัดการเรียนรู้ปฏิบัติการ เรื่อง กรด-เบส
บนพื้นฐานทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้โดยกระบวนการทางสังคม
และการเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับ**

1. บทนำ

เคมีเป็นสาขาวิชาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ที่มีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม มโนทัศน์ (Concepts) ในรายวิชาเคมีส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับแนวคิดที่เป็นนามธรรม กล่าวคือ นักเรียนไม่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงหรือไม่สามารถสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาคได้โดยตรง จึงส่งผลให้นักเรียนเผชิญความยากลำบากในการทำความเข้าใจ มโนทัศน์ที่เป็นนามธรรมนั้น

สารต่าง ๆ ที่เราใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น น้ำยาทำความสะอาด เครื่องสำอาง ยารักษาโรค เป็นต้น ล้วนมีสมบัติความเป็นกรด-เบสและเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของกรดและเบส ดังนั้น กรด-เบส จึงเป็นหัวข้อที่สำคัญ แต่เป็นหัวข้อหนึ่งในสาขาวิชาเคมีที่นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ประสบปัญหาในการเรียนมากที่สุด เนื่องจากมีเนื้อหาที่เป็นนามธรรมและมีความยากต่อการทำความเข้าใจ (Chaiyapha; Chayajarus; & Chairam. 2011:139; Demircioğlu; Ayas; & Demircioğlu. 2005: 37) ทำให้นักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนและไม่สามารถอธิบายมโนทัศน์เรื่องกรด-เบสได้อย่างถูกต้อง (Artdej; et al. 2010: 167; Sheppard. 2006: 32) ดังนั้น จึงควรมีการส่งเสริมให้เกิดความเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกต้อง เมื่อนักเรียนมีความเข้าใจมโนทัศน์แล้ว นักเรียนจะสามารถนำความรู้นั้นมาประยุกต์ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ และแก้ปัญหาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้

นอกจากนี้ยังมีอีกสองปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการเรียนวิทยาศาสตร์คือ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการเป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในขณะที่งานวิจัยพบว่าการพัฒนาทักษะชั้นบูรณาการของนักเรียนยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร (Chaiyen; Bunsawansong; & Yutakom. 2007: 11; Nakthong; Anuntasethakul; & Yutakom. 2007: 383) ซึ่งจะเป็นปัญหาสำหรับนักเรียนในการทำความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ และขาดความสามารถในการปฏิบัติการทดลองและการสืบเสาะความรู้ทางวิทยาศาสตร์ต่อไป

เจตคติของนักเรียนต่อวิชาที่เรียนเป็นอีกปัจจัยที่มีความสัมพันธ์และส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (Cheung. 2009: 76; Freedman. 1997: 343) ซึ่งเจตคติของนักเรียนไทยต่อสาขาวิชาต่าง ๆ ทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับปานกลางจนถึงระดับต่ำ (Pruekpramool; et.al. 2011: 289) และมีรายงานการวิจัยพบว่าเจตคติต่อวิทยาศาสตร์มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ เมื่อนักเรียนอยู่ในระดับชั้นที่สูงขึ้น (George. 2000: abstract; Barmby; Kind; & Jones. 2008: 1075)

ดังนั้นเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ (สสวท. 2549: 2) ที่ครอบคลุมทั้งด้านความเข้าใจในทฤษฎี ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ รูปแบบการจัดการเรียนรู้ปฏิบัติการเรื่อง กรด-เบส สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจึงได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อพัฒนาความเข้าใจในทฤษฎีเรื่องกรด-เบส พัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และส่งเสริมให้มีเจตคติที่ดีต่อการเรียนปฏิบัติการเคมี

2. ทฤษฎี/หลักการ/แนวคิดของรูปแบบการจัดการเรียนรู้

รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นโดยเน้นการจัดการเรียนรู้ปฏิบัติการและการเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับ บนพื้นฐานทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้โดยกระบวนการทางสังคม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การเรียนปฏิบัติการ (Laboratory Learning)

การเรียนปฏิบัติการ เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนเคมีและวิทยาศาสตร์สาขาอื่นๆ มาเป็นเวลานาน ในการเรียนปฏิบัติการนั้นนักเรียนจะได้สังเกตปรากฏการณ์หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นจริง ได้ลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง ทำให้ได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และได้ค้นพบองค์ความรู้ด้วยตนเอง ทั้งยังได้มีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นไม่ว่าจะเป็นระหว่างนักเรียนด้วยกันเอง กับครูผู้สอน และกับวัสดุอุปกรณ์ นอกจากนี้ยังส่งผลให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนวิทยาศาสตร์อีกด้วย กล่าวคือ นักเรียนรู้สึกสนุกสนานขณะปฏิบัติกิจกรรมการทดลอง ทำให้นักเรียนมีความอยากเรียนวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น

การเรียนการสอนปฏิบัติการสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ (Domin. 1999: 543-546) ได้แก่ (1) การสอนปฏิบัติการแบบดั้งเดิม (Traditional laboratory instruction) (2) การสอนปฏิบัติการแบบสืบเสาะชนิดชี้แนะแนวทาง (Guided-inquiry laboratory instruction) (3) การสอนปฏิบัติการแบบสืบเสาะชนิดเปิด (Open-inquiry laboratory instruction) และ (4) การสอนปฏิบัติการแบบใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-based laboratory instruction)

ความแตกต่างของการสอนปฏิบัติการแต่ละแบบสามารถจำแนกได้โดยใช้ตัวบ่งชี้ 3 ตัว ได้แก่ องค์ความรู้ที่คาดหวังให้นักเรียนค้นพบ (Outcome) แนวทางการสอน (Approach) และการดำเนินการทดลอง (Procedure) ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ความแตกต่างของการสอนปฏิบัติการแต่ละแบบ

รูปแบบของ การสอนปฏิบัติการ	ตัวบ่งชี้		
	ผลการทดลอง/องค์ความรู้ที่ คาดหวังให้นักเรียนค้นพบ	แนวทางการ สอน	การดำเนินการทดลอง
แบบดั้งเดิม	กำหนดไว้ล่วงหน้า	นิรนัย	มีให้
แบบสืบเสาะชนิดชี้แนะแนวทาง	กำหนดไว้ล่วงหน้า	อุปนัย	มีให้
แบบสืบเสาะชนิดเปิด	ไม่ได้กำหนดไว้ก่อน	อุปนัย	นักเรียนออกแบบเอง
แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน	กำหนดไว้ล่วงหน้า	นิรนัย	นักเรียนออกแบบเอง

ที่มา: Domin, Daniel S. (1999, April). A Review of Laboratory Instruction Styles.

Journal of Chemical Education. 76(4): p. 543.

อย่างไรก็ตาม ในที่นี้จะเน้นการเรียนการสอนปฏิบัติการแบบสืบเสาะชนิดชี้แนะแนวทางและชนิดเปิดซึ่งเป็นการทำการทดลองเพื่อนำไปสู่การสร้างองค์ความรู้ นั่นคือ มโนทัศน์เรื่องกรด-เบส เพื่อให้นักเรียนได้สร้างความเข้าใจในหลักการและมีทักษะกระบวนการในการหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง ลักษณะที่สำคัญของการสอนปฏิบัติการแบบสืบเสาะทั้งสองชนิดสรุปได้ดังตาราง 2

ตาราง 2 สรุปลักษณะที่สำคัญของการสอนปฏิบัติการแบบสืบเสาะชนิดชี้แนะแนวทางและชนิดเปิด

ตัวบ่งชี้	การสอนปฏิบัติการแบบสืบเสาะ	
	ชี้แนะแนวทาง	เปิด
1. ที่มาของคำถาม/ปัญหา	ครูเป็นผู้นำเสนอคำถาม/ปัญหาในการสำรวจตรวจสอบ (Blanchard. et.al. 2010: 581)	นักเรียนเป็นผู้เสนอคำถาม/ปัญหาในการสำรวจตรวจสอบ
2. ผลการทดลอง/องค์ความรู้ที่คาดหวังให้นักเรียนค้นพบ	ครูเป็นผู้กำหนดและทราบคำตอบล่วงหน้าส่วนนักเรียนไม่ทราบ	ทั้งครูและนักเรียนไม่ทราบคำตอบล่วงหน้า
3. การดำเนินการสำรวจตรวจสอบ	วิธีการดำเนินการสำรวจตรวจสอบได้มาจากครูหรือคู่มือ (Domin. 1999: 543-546) หรืออาจเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ออกแบบวิธีการสำรวจตรวจสอบเองก็ได้ (Blanchard. et.al. 2010: 581)	นักเรียนเป็นผู้ออกแบบวิธีการสำรวจตรวจสอบเอง
4. การแปลผล	นักเรียนแปลผลข้อมูลที่ได้จากการทดลองเอง	นักเรียนแปลผลข้อมูลที่ได้จากการทดลองเอง

2.2 ทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้โดยกระบวนการทางสังคม (Social

Constructivism)

ทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้โดยกระบวนการทางสังคมของไวทสกี้ (Vygotsky) เป็นทฤษฎีการเรียนรู้ที่เชื่อว่า ปฏิสัมพันธ์ทางสังคม (Social interaction) วัฒนธรรม และภาษามีส่วนสำคัญในการสร้างองค์ความรู้ของบุคคล (Bennett. 2003: 47)

สิ่ง ที่สำคัญของทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้โดยกระบวนการทางสังคมของไวทสกี้ คือ Zone of Proximal Development (ZPD) ซึ่งหมายถึง ระยะห่างระหว่างระดับพัฒนาการจริงของนักเรียนที่ทำได้ด้วยตนเอง (Actual developmental level) กับระดับพัฒนาการเต็มศักยภาพ (Potential development level) ที่นักเรียนสามารถทำได้ภายใต้คำชี้แนะและความช่วยเหลือ (Scaffolding) ของผู้ใหญ่หรือผู้ที่มีประสบการณ์มากกว่า (Bransford; et al, 2000: 81; citing Vygotsky, 1978: 86) อีกนัยหนึ่งคือ ความแตกต่างระหว่างสิ่งที่นักเรียนสามารถทำได้หรือเรียนรู้ได้ด้วยตนเองกับสิ่งที่นักเรียนทำได้หรือเรียนรู้ได้โดยมีผู้ที่มีประสบการณ์มากกว่าคอยช่วยเหลือ ดังนั้นการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมกับผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์มากกว่าซึ่งอาจเป็นครู ผู้ใหญ่ หรือการร่วมมือกับเพื่อนที่มีความสามารถที่หลากหลายจะช่วยให้นักเรียนสามารถก้าวข้าม ZPD ได้

กลวิธีในการจัดการเรียนการสอนที่จะช่วยส่งเสริมการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม มีดังนี้

1) การเรียนรู้แบบร่วมมือ (Collaboration) คือ การจัดการเรียนรู้โดยแบ่งนักเรียนเป็นกลุ่มย่อยที่มีความสามารถหลากหลายทำงานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่งหรือทำงานใดงานหนึ่งให้บรรลุผลสำเร็จ โดยสมาชิกในกลุ่มช่วยกันคิดและสื่อสารแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับสมาชิกในกลุ่ม กรณีที่สมาชิกในกลุ่มมีหลากหลายความสามารถ จะเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้ที่มีความสามารถมากกว่าช่วยเหลือผู้ที่มีความสามารถน้อยกว่าให้ได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้น (Jennings: & Di. 1996: 79) ดังนั้นผู้เรียนจึงควรมีโอกาสได้ทำงานกลุ่มกับเพื่อน ๆ ที่มีความสามารถหลากหลายเพื่อพัฒนาการเรียนรู้และทักษะ

2. การสนทนา การอภิปราย และการโต้แย้ง (Dialogue discussion and discourse) การพูดคุยสนทนา การอภิปราย หรือการโต้แย้งเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนได้พูดอธิบายแนวคิดหรือความคิดของตนเองออกมาทำให้ได้รับการพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง ในระหว่างที่ต้องมีการพูดคุยสนทนาแลกเปลี่ยนนั้น นักเรียนแต่ละคนจะต้องพยายามทำการสร้างความเข้าใจกับเรื่องที่กำลังเรียนหรือกำลังจะพูดเพื่อจะได้มีส่วนร่วมในการสนทนาโดยการเล่าเรื่องราวให้เพื่อนฟัง (Larson. 2000: 662) อย่างไรก็ตาม ในชั้นเรียนการสนทนา การอภิปราย และการโต้แย้ง ไม่ใช่สิ่งที่เกิดขึ้นได้เอง จึงจำเป็นที่จะต้องได้รับการกระตุ้น เช่น กระตุ้นด้วยคำถามของครู เป็นต้น

3. การใช้คำถาม (Questioning) ตามทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้โดยกระบวนการทางสังคม การจะเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนผู้เรียนได้นั้นจะต้องมีการใช้คำถามกระตุ้น ดังนั้นคำถามจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญของการอภิปรายและการโต้แย้งกันในชั้นเรียน จุดมุ่งหมายของการใช้คำถามคือเพื่อส่งเสริมหรือกระตุ้นการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม เพื่อเป็นการค่อย ๆ ชี้แนะแนวทาง

ให้นักเรียนได้สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ดังนั้นคำถามที่ใช้ถามนักเรียนจึงควรเป็นคำถามที่มุ่งให้เกิดความเข้าใจในเนื้อหา มากกว่าการถามเพื่อให้จดจำข้อมูล ดังนั้นคำถามควรเป็นคำถามปลายเปิดเกี่ยวข้องกับโลกแห่งความเป็นจริง เป็นการถามเพื่อให้เกิดการอภิปรายโต้แย้ง ที่นักเรียนจะต้องดึงเอาความรู้ของตนเองที่มีมาตอบหรือเป็นการขยายประยุกต์ใช้ความรู้มาอธิบายสิ่งใหม่หรือในสถานการณ์ใหม่ (Zhang; et.al. 2010: 59)

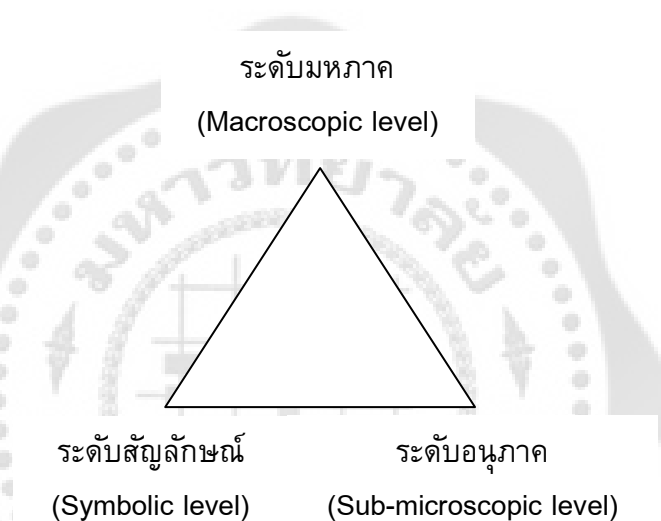
การจัดการเรียนการสอนตามทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้โดยกระบวนการทางสังคมมีลักษณะสำคัญ (Berionni; & Baldón. 2006; Hand; Treagust; & Vance. 1997: 572; Pritchard; & Woollard. 2010: 37; Shiland. 1999: 107) สรุปได้ดังนี้

1. นักเรียนเป็นผู้เรียนที่กระตือรือร้น กล่าวคือ นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ ไม่ใช้รับความรู้จากครูเพียงฝ่ายเดียว ส่วนครูทำหน้าที่เป็นผู้คอยอำนวยความสะดวกหรือคอยชี้แนะแนวทาง
2. มีการคำนึงถึงความรู้เดิมและแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน โดยก่อนที่จะทำการสอนครูควรมีการจัดกิจกรรมเพื่อสำรวจและดึงความรู้เดิมของนักเรียน
3. ในการเรียนรู้ต้องการการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมทั้งระหว่างนักเรียนด้วยกันเอง ระหว่างนักเรียนกับครู และระหว่างนักเรียนกับวัสดุอุปกรณ์ โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบร่วมมือ รวมถึงการใช้คำถามเพื่อกระตุ้นให้เกิดการพูดคุยสนทนา การอภิปราย หรือการโต้แย้งขึ้นในชั้นเรียน
4. นักเรียนเป็นผู้สร้างหรือสรุปองค์ความรู้ด้วยตนเองจากความรู้เดิมผนวกกับความรู้ใหม่และความรู้ที่ได้จากการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม ซึ่งครูอาจกระตุ้นโดยการใช้คำถามเพื่อให้ นักเรียนได้พูดคุยแลกเปลี่ยนความรู้ซึ่งกันและกัน จากนั้นกระตุ้นให้นักเรียนแต่ละคนสรุปองค์ความรู้ที่ตนเองได้รับ
5. นักเรียนได้มีโอกาสนำองค์ความรู้ที่ตนเองได้สร้างขึ้นมาประยุกต์ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ หรือการแก้ปัญหาในสถานการณ์อื่น ๆ
6. การจัดประสบการณ์ในห้องเรียนควรมีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกับประสบการณ์นอกห้องเรียนซึ่งนักเรียนได้พบเห็นจริง ๆ ในชีวิตประจำวัน

2.3 ตัวแทนแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับ (Three Levels of Chemical Representation)

เคมีเป็นสาขาวิชาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับสาร ได้แก่ สมบัติของสารและการเปลี่ยนแปลงของสารโดยเฉพาะในระดับอนุภาคซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ ในการอธิบายปรากฏการณ์ทางเคมีนักเคมีมักจะอธิบายใน 3 ระดับ ได้แก่ (1) ระดับมหภาค (Macroscopic level) เป็นการอธิบายปรากฏการณ์ (ในชีวิตประจำวันหรือจากการทดลอง) ที่สามารถสังเกตได้ด้วยประสาทสัมผัสทั้ง 5 เช่น การเกิดตะกอน การเปลี่ยนสี เป็นต้น (2) ระดับอนุภาค (Sub-microscopic Level) เป็นการอธิบายปรากฏการณ์ในระดับอนุภาค ได้แก่ อิเล็กตรอน อะตอม โมเลกุล และไอออน

เพื่ออธิบายสิ่งที่สังเกตได้ในระดับมหภาค และ (3) ระดับสัญลักษณ์ (Symbolic Level) เป็นการอธิบายปรากฏการณ์ในระดับอนุภาค(และ/หรือระดับมหภาค) หรือความสัมพันธ์โดยใช้ระบบสัญลักษณ์ เช่น สูตรเคมี สูตรโครงสร้างทางเคมี สมการเคมี สูตรคณิตศาสตร์ สมการทางคณิตศาสตร์ แบบจำลอง ภาพเคลื่อนไหว (Animation) กราฟ เป็นต้น จากที่กล่าวข้างต้นอาจสรุปได้ว่า ตัวแทนแนวคิดทางเคมี (Chemical representation) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ดังภาพประกอบ 1 ดังนั้นการเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับ เป็นแนวทางในการที่จะส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจโมโนทัศน์และปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทางเคมีได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้น การจัดการเรียนรู้เคมีควรมีการคำนึงถึงธรรมชาติขององค์ความรู้ทางเคมีที่มีความซับซ้อน โดยการทำให้นักเรียนเข้าใจตัวแทนแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับ และให้เห็นการเชื่อมโยงระหว่าง 3 ระดับ



ภาพประกอบ 1 ตัวแทนแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับ

ที่มา : Treagust, David; Chittleborough, Gail; & Mamiala, Thapelo. (2003).

The Role of Submicroscopic and Symbolic Representations in Chemical Explanations.
International Journal of Science Education. 25(11): p. 1354.

แนวทางในการเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับ มีดังนี้

- การปฏิบัติการทดลอง (Laboratory) คือการลงมือทำการทดลองด้วยตนเอง การที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองทำให้ได้เห็นปรากฏการณ์ทางเคมีและได้สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจริงในระดับมหภาค

- การใช้เทคนิคอุปมาอุปไมย (Analogy) เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบสิ่งที่นักเรียนไม่รู้จักหรือไม่คุ้นเคย เช่น มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (Science Concepts) กับสิ่งที่นักเรียนรู้จักหรือคุ้นเคยที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน โดยทั่วไปจุดประสงค์ของการใช้เทคนิคอุปมาอุปไมยก็เพื่อ 1) ให้เกิดความเข้าใจโมโนทัศน์ที่กระจ่างชัดขึ้น (Clarifying) และ 2) เพื่ออธิบายความเป็นเหตุเป็นผลกันว่าทำไมจึงเป็นเช่นนั้น (Why-answering) (Thagard; Cohen; & Holyoak. nd.: 819)

ตัวอย่างของการใช้เทคนิคนี้ เช่น การอธิบายโมเลกุลเรื่องการถ่ายเทความร้อน โดยเปรียบเทียบกับภาชนะที่ไหลของน้ำ การอธิบายโครงสร้างของอะตอมโดยเปรียบเทียบกับโครงสร้างของระบบสุริยะ (Thagard; Cohen; & Holyoak. nd. 819) เป็นต้น โดยใช้เทคนิคอุปมาอุปไมยในวิชาเคมีจะช่วยทำให้นักเรียนเข้าใจเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาคและช่วยในการอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับมหภาคได้ด้วย

- การใช้เครื่องมือทางเทคโนโลยี (Technological Tools) ได้แก่ โปรแกรมจำลองโครงสร้างโมเลกุล (Molecular modeling software) ภาพเคลื่อนไหว (Animations) และวีดิทัศน์ (Video clips) สิ่งเหล่านี้จะช่วยให้นักเรียนได้เห็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาค นอกจากนี้สื่อบางชนิดอาจทำให้นักเรียนได้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างระดับอนุภาคและระดับมหภาค

ในการจัดการเรียนรู้เคมี ควรเริ่มจากปรากฏการณ์ในระดับมหภาคซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่นักเรียนสามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวันก่อน แล้วค่อยทำให้นักเรียนได้เห็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาคหรือเป็นคำอธิบายในระดับอนุภาค จากนั้นให้นักเรียนได้เห็นสิ่งที่ใช้แทนปรากฏการณ์ด้วยระดับสัญลักษณ์ รวมถึงการให้นักเรียนได้เห็นการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของตัวแทนแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับ

3. จุดมุ่งหมายของรูปแบบการจัดการเรียนรู้

รูปแบบการจัดการเรียนรู้ปฏิบัติการเรื่อง กรด-เบส มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนานักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายใน 3 ด้านหลัก ดังนี้

1. เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีความเข้าใจในโมเลกุลของ กรด-เบสที่ถูกต้อง
 2. เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ได้แก่ การตั้งสมมติฐาน การกำหนดและควบคุมตัวแปร การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การทดลอง และการแปลความหมายข้อมูลและสรุปผล
 3. เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนปฏิบัติการเคมี
- โดยรูปแบบการจัดการเรียนรู้นี้มีแนวทางการจัดกิจกรรมที่ช่วยส่งเสริมจุดมุ่งหมายในแต่ละด้านดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดมุ่งหมายของรูปแบบการจัดการเรียนรู้และแนวทางการจัดกิจกรรมของรูปแบบการจัดการเรียนรู้

จุดมุ่งหมาย	แนวทางการจัดกิจกรรม
ความเข้าใจโมเลกุล	- สืบหาความรู้เดิมและประสบการณ์เดิมของผู้เรียน - เชื่อมโยงความรู้ใหม่กับความรู้เดิมและสร้างองค์ความรู้ของตนเองขึ้นโดยมีครูและเพื่อนๆ คอยช่วยเหลือ

ตาราง 3 (ต่อ)

จุดมุ่งหมาย	แนวทางการจัดกิจกรรม
ความเข้าใจโมทัศน์(ต่อ)	- ลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง เพื่อให้ได้ประสบการณ์ตรงและได้เห็นของจริง - นำองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาและอธิบายเหตุการณ์ต่างๆ ในชีวิตประจำวัน - เชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับเพื่อให้เข้าใจโมทัศน์ทางเคมีอย่างลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น
ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	- ลงมือปฏิบัติการทดลองค้นหาคำตอบด้วยตนเอง - ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ได้แก่ ตั้งสมมติฐาน กำหนดและควบคุมตัวแปร กำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ออกแบบการทดลอง ทำการทดลอง แปลความหมายและสรุปผลการทดลอง
เจตคติที่ดีต่อการเรียนปฏิบัติการเคมี	- ลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง ทำให้เกิดความสนุกสนาน ตื่นเต้น - แลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนและครู โดยการทำงานเป็นกลุ่มย่อย ทำให้บรรยากาศในการเรียนไม่เครียด - เชื่อมโยงสิ่งที่เรียนเข้ากับชีวิตประจำวัน ทำให้นักเรียนรู้สึกว่าการเรียนวิชาที่ใกล้ตัวและมีความสำคัญ

4. กระบวนการเรียนการสอนของรูปแบบการจัดการเรียนรู้

กระบวนการจัดการเรียนการสอนของรูปแบบการจัดการเรียนรู้นี้ ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพประกอบ 2 และมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นที่ 1: ขั้นเกริ่นนำ (Introduction)

ทบทวนความรู้และความเข้าใจของการเรียนครั้งก่อน ทบทวนแนวคิดทางเคมีที่จำเป็นต่อการเรียน ดึงความสนใจของนักเรียนเข้าสู่เรื่องที่จะเรียน เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ตั้งคำถามเกี่ยวกับสิ่งที่นักเรียนอยากรู้ และนำไปสู่วัตถุประสงค์ของการเรียน

ขั้นที่ 2: ขั้นสำรวจความรู้เดิม (Elicitation)

สำรวจความรู้และประสบการณ์เดิมของนักเรียน โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบคำถามสิ่งที่นักเรียนอยากรู้ที่ได้ตั้งขึ้นในขั้นที่ 1 และประเด็นคำถามอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่จะเรียน หรือใช้เทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย มาช่วยในการดึงความรู้เดิมของนักเรียน

ขั้นที่ 4: ขั้นเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดทางเคมี (Connection)

เปิดโอกาสให้นักเรียนแต่ละกลุ่มลองช่วยกันสร้างคำอธิบายของปรากฏการณ์ที่สังเกตได้จากการทำการทดลอง(ในระดับมหภาค) ด้วยคำอธิบายในระดับอนุภาค และเขียนแสดงแบบสั้นๆ หรือสื่อสารสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาคออกมาในระดับสัญลักษณ์ ครูคอยให้ความช่วยเหลือ คอยชี้แนะ และชี้ให้เห็นถึงความเชื่อมโยงของตัวแทนแนวคิดทั้งสามระดับ เทคนิคที่สามารถนำมาช่วยเหลือนักเรียน ได้แก่ การใช้แบบจำลอง (Model) เทคนิคอุปมาอุปไมย(Analogies) ภาพเคลื่อนไหว (Animations) และวีดิทัศน์ (Video Clips) เป็นต้น โดยเน้นการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม

ขั้นที่ 5: ขั้นสร้างองค์ความรู้ (Conceptualization)

นักเรียนพูดคุยแลกเปลี่ยนความรู้ที่ได้รับกับ เพื่อนในกลุ่ม ตามกรอบประเด็นคำถามหรือประเด็นในการอภิปราย จากนั้นนักเรียนแต่ละคนสรุปองค์ความรู้ที่ได้รับด้วยตนเองโดยการผสมผสานระหว่างความรู้เดิม ความรู้ใหม่ และความรู้จากการได้แลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นจากเพื่อนในกลุ่ม ครูทำหน้าที่กระตุ้น แนะนำ และกำกับมิให้ออกนอกกลุ่มนอกทาง

ขั้นที่ 6: ขั้นประยุกต์ใช้องค์ความรู้ (Application)

นักเรียนนำองค์ความรู้ที่ตนเองได้สรุปมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจริงในชีวิตประจำวันเพื่อให้เห็นความเชื่อมโยงและประโยชน์ของมโนทัศน์ทางเคมีกับชีวิตจริง หรือใช้แก้ปัญหาโจทย์ปัญหาทางเคมี และถือเป็นการให้ผู้เรียนได้ตรวจสอบองค์ความรู้ที่ตนเองได้สร้างขึ้นอีกรอบหนึ่งด้วย

5. บทบาทครูและบทบาทนักเรียนตามรูปแบบการจัดการเรียนรู้

บทบาทของครูและนักเรียนในแต่ละขั้นตอนตามรูปแบบการจัดการเรียนรู้นี้ สามารถสรุปได้ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 บทบาทครูและนักเรียนตามรูปแบบการจัดการเรียนรู้

ขั้นตอน	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
ขั้นเกริ่นนำ	- ช่วยเหลือนักเรียน แก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และอธิบายเพิ่มเติมในการทบทวนความรู้ที่ได้เรียนไปในครั้งก่อน - กระตุ้นด้วยคำถามและอธิบายเพิ่มเติมในการทบทวนความรู้พื้นฐานที่จำเป็นต่อการเรียนรู้ในครั้งนี้ - จัดกิจกรรม สถานการณ์ คอยชี้แนะและตีกรอบมาสู่การกำหนดวัตถุประสงค์ของการเรียนในครั้งนี้	- ให้ความร่วมมือในการทบทวนความรู้ที่ได้เรียนไปในครั้งก่อน - ให้ความร่วมมือในการอภิปรายหรือตอบคำถามเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานที่จำเป็นต่อการเรียนรู้ในครั้งนี้ - มีส่วนร่วมในการกำหนดวัตถุประสงค์ของการเรียนในครั้งนี้

ตาราง 4 (ต่อ)

ขั้นตอน	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
ขั้นสำรวจ ความรู้เดิม	- ใช้คำถาม หรือ แบบทดสอบ หรือ การ สาสิตควบคู่กับเทคนิคทำนาย สังเกต อธิบาย ในการสำรวจความรู้และ ประสบการณ์เดิมของนักเรียน - คอยรับฟังและบันทึกแนวคำตอบของ นักเรียนเพื่อให้เห็นภาพรวมทั้งหมด	- ให้ความร่วมมือในการตอบคำถาม หรือทำนายพร้อมทั้งให้เหตุผลหรือ คำอธิบายประกอบ บนพื้นฐานของ ความรู้และประสบการณ์เดิมที่มีอยู่
ขั้นทดลอง	- กำกับดูแลนักเรียนแบ่งเป็นกลุ่มย่อย แบบคละความสามารถ กลุ่มละประมาณ 4-5 คน - กระตุ้นให้นักเรียนสร้างคำถามที่ สามารถสำรวจตรวจสอบได้(บางแผน) - คอยกระตุ้นให้นักเรียนศึกษาและทำ ความเข้าใจวัตถุประสงค์ของการทดลอง ก่อนทำการทดลอง - คอยกระตุ้น อธิบาย และชี้แนะแนวทาง ในการตั้งสมมติฐาน กำหนดและควบคุม ตัวแปร กำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ และ ออกแบบการทดลอง ก่อนดำเนินการ ทดลอง - ในขณะที่นักเรียนทำการทดลองครูคอย ชี้แนะแนวทาง คอยอำนวยความสะดวก และคอยกระตุ้นให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์ ระหว่างกัน - กระตุ้นและชี้แนะแนวทางนักเรียนใน ขั้นสรุปและอภิปรายผลการทดลอง - ให้คำชมเชยและข้อเสนอแนะ ภายหลัง ที่นักเรียนออกมาแนะนำเสนอการออกแบบ การดำเนินการทดลองจนถึงการสรุปผล การทดลอง	- นักเรียนทำงานเป็นกลุ่ม ช่วยเหลือ ซึ่งกันและกัน รับฟังความคิดเห็นของ ผู้อื่น - นักเรียนแต่ละกลุ่มช่วยกันสร้าง คำถามที่สามารถสำรวจตรวจสอบได้ (บางแผน) - ทำความเข้าใจเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ ของการทดลองก่อนทำการทดลอง - ช่วยกันคิดตั้งสมมติฐาน กำหนดและ ควบคุมตัวแปร กำหนดนิยามเชิง ปฏิบัติการ และออกแบบการทดลอง ให้มีความสอดคล้องกัน - ให้ความสนใจขณะทำการทดลอง และปฏิบัติการทดลองด้วยความ ระมัดระวัง - ช่วยกันสรุปผลการทดลอง - ช่วยกันทำความสะอาดบริเวณที่ทำ การทดลองและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้หลัง การทดลอง - นำเสนอการออกแบบและผลการ ทดลอง - แต่ละกลุ่มประเมินตนเองด้านทักษะ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้น บุรณาการ

ตาราง 4 (ต่อ)

ขั้นตอน	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
ขั้นเชื่อมโยง ตัวแทนแนวคิด	- นำเสนอประเด็นคำถามที่จะให้นักเรียนทำการเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดใน 3 ระดับ - เปิดโอกาสให้นักเรียนลองสร้างคำอธิบายของสิ่งที่สังเกตเห็นในการทดลอง จากนั้นนำเสนอคำอธิบายในระดับอนุภาค - จัดกิจกรรมเพื่อช่วยนักเรียนในการสร้างคำอธิบายในระดับอนุภาคของสิ่งที่สังเกตได้จากการทดลอง เช่น นำเสนอสื่อวิทัศน์ สื่อภาพเคลื่อนไหว อุปมาอุปไมย หรือแผนภาพ - เปิดโอกาสให้นักเรียนลองสื่อสารสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาคด้วยสมการเคมีหรือกราฟ - คอยกระตุ้นให้มีการสนทนาพูดคุยและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันในกลุ่มย่อย คอยให้ความช่วยเหลือ คอยชี้แนะแนวทางระหว่างทำการเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดใน ระหว่างทำการเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดใน 3 ระดับ	- แต่ละกลุ่มช่วยกันสร้างคำอธิบายในระดับอนุภาคของสิ่งที่สังเกตเห็นจากการทดลองตามประเด็นคำถามที่ครูกำหนดด้วยตนเองก่อน - มีส่วนร่วมในกิจกรรม ร่วมอภิปรายตอบคำถาม แสดงความคิดเห็น และแลกเปลี่ยนความคิดเห็น - แต่ละกลุ่มช่วยกันเขียนสมการหรือสร้างกราฟ เพื่อสื่อสารสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาค - ทำการเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับโดยบันทึกลงในใบงาน
ขั้นสร้าง องค์ความรู้	- กำหนดประเด็นหรือใช้คำถาม กระตุ้นให้นักเรียนอภิปรายพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและความเข้าใจของตนเองกับเพื่อนในกลุ่ม - กระตุ้นให้นักเรียนแต่ละคนสรุปองค์ความรู้ที่ตนเองได้รับ โดยคอยชี้แนะแนวทางและคอยตรวจสอบและแก้ไของค์ความรู้ที่นักเรียนแต่ละคนได้สร้างขึ้น	- มีส่วนร่วมในการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและความเข้าใจกับเพื่อนในกลุ่มตามประเด็นหรือคำถามที่ครูกำหนด - นักเรียนแต่ละคนสรุปความรู้ที่ตนเองได้รับด้วยตนเอง โดยสังเคราะห์ข้อมูลจากความรู้เดิม ความรู้ใหม่ และความรู้ที่ได้จากการพูดคุยแลกเปลี่ยนกับเพื่อนและครู

ตาราง 4 (ต่อ)

ขั้นตอน	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
ขั้นประยุกต์ใช้ องค์ความรู้	- นำเสนอสถานการณ์ หรือประเด็นคำถามที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันให้นักเรียนได้นำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้มาอธิบาย และเชื่อมโยงสิ่งที่ได้เรียนเข้ากับชีวิตประจำวัน - มอบหมายแบบฝึกหัด เพื่อฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางเคมี โดยประยุกต์ใช้มโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้ - ครูตรวจสอบแนวคำตอบหรือแนวทางการอธิบายของนักเรียน ถ้าหากยังมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนอยู่ ครูควรให้ข้อมูลสะท้อนกลับและชี้แนะนักเรียน เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้อง	- ให้ความร่วมมือในการอภิปราย ตอบคำถาม ในประเด็นต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน หรือการแก้โจทย์ปัญหาทางเคมีโดยการทำแบบฝึกหัดที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้

บทบาทของครูในการเป็นผู้อำนวยความสะดวก เพื่อให้ นักเรียนสามารถค้นหาความรู้ด้วยตนเอง มีลักษณะดังนี้

1. เป็นผู้กระตุ้นให้นักเรียนคิด โดยกำหนดปัญหาแล้วให้นักเรียนวางแผน หรือ กระตุ้นให้นักเรียนกำหนดปัญหาและวางแผนการหาคำตอบเอง
2. เป็นผู้ให้การเสริมแรง โดยการให้รางวัล กล่าวชม เพื่อให้กำลังใจเพื่อเกิดพฤติกรรมการเรียนอย่างต่อเนื่อง
3. เป็นผู้ให้ข้อมูลย้อนกลับ โดยการบอกข้อดี ข้อบกพร่องแก่นักเรียน
4. เป็นผู้แนะนำและกำกับ แนะนำเพื่อให้เกิดความคิด กำกับควบคุมเพื่อมิให้ออกนอกกลุ่
นอกทาง
5. เป็นผู้จัดระเบียบ จัดบรรยากาศและสิ่งแวดล้อม จัดสื่อการเรียนแก่นักเรียน

6. แนวทางการประเมินผลรูปแบบการจัดการเรียนรู้

การประเมินผลการเรียนของรูปแบบการจัดการเรียนรู้จะเน้นการประเมินผลระหว่างเรียน ดังนี้

6.1 พิจารณาแนวคำตอบของนักเรียนระหว่างเรียน หรือ พิจารณาจากการเขียนสรุปองค์ความรู้ตามเกณฑ์การประเมินที่ระบุไว้ แล้วให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนทันที หากถูกต้องดีแล้ว

ควรกล่าวชมเชย หากยังไม่สมบูรณ์หรือยังไม่ถูกต้องควรอธิบายหรือให้คำแนะนำหรือให้การชี้แนะ เพื่อให้นักเรียนนำไปปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้องต่อไป

6.2 ให้มีการจัดทำเป็นแฟ้มสะสมผลงาน (Portfolio) ครูพิจารณาเพื่อประเมินความก้าวหน้าในการเรียนรู้โดยเปรียบเทียบการเรียนรู้ปัจจุบันกับครั้งก่อนหน้า และมีการให้ข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อให้เกิดการปรับปรุงและพัฒนาในด้านการเรียนรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และการทำงานร่วมกับผู้อื่น

7. ผลที่นักเรียนจะได้รับจากการเรียนตามรูปแบบการจัดการเรียนรู้

ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการเรียนตามรูปแบบการจัดการเรียนรู้ปฏิบัติการ เรื่อง กรด-เบส มีดังนี้

7.1 ผลทางตรง

- 1) นักเรียนมีความเข้าใจในโมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส
- 2) นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ
- 3) นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้ปฏิบัติการเคมี

7.2 ผลทางอ้อม

- 1) นักเรียนรู้จักการทำงานเป็นกลุ่ม
- 2) นักเรียนกล้าแสดงความคิดเห็นมากขึ้น
- 3) นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการเรียนมากยิ่งขึ้น

8. คำแนะนำในการนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้ไปใช้

การจัดการเรียนการสอนตามรูปแบบการจัดการเรียนรู้ปฏิบัติการเรื่องกรด-เบส มีคำแนะนำในการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้และการเตรียมความพร้อมของผู้สอน ดังต่อไปนี้

8.1 ศึกษารูปแบบการจัดการเรียนรู้ปฏิบัติการเรื่องกรด-เบสให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ และมีความเชื่อในทฤษฎีและแนวคิดที่เป็นพื้นฐานของรูปแบบการจัดการเรียนรู้อันได้แก่ การสอนปฏิบัติการแบบสืบเสาะชนิดชี้แนะแนวทาง (Guided inquiry) และชนิดเปิด (Open-ended inquiry) ทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้โดยกระบวนการทางสังคม และการเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับว่าจะช่วยพัฒนาความเข้าใจโมโนทัศน์ทางเคมีเรื่องกรด-เบส ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้ปฏิบัติการเคมี

8.2 ศึกษาขั้นตอนของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ รายละเอียดแต่ละขั้น และบทบาทของครูผู้สอนในแต่ละขั้นเพื่อนำไปสู่การบรรลุผลตามเป้าหมาย

8.3 ศึกษาแผนการจัดการเรียนรู้ให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ก่อนสอนว่าแผนนี้ต้องการให้ผู้เรียนได้อะไรบ้าง ทำอะไรบ้าง และประเมินผลอย่างไร

8.4 ศึกษาสิ่งที่ต้องเตรียมให้พร้อมก่อนการสอนในแต่ละครั้ง เช่น วัสดุอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทดลอง เอกสารประกอบการจัดการเรียนรู้ เป็นต้น

8.5 การเรียนรู้ตามทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้โดยกระบวนการทางสังคมจะต้องมีการสำรวจความรู้เดิมของผู้เรียนก่อนเรียนเสมอ โดยในรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่อยู่ในขั้นที่ 2

8.6 การจัดกลุ่มผู้เรียนควรจัดแบบคละสามารถ (อาจใช้คะแนนก่อนเรียน หรือ ผลการเรียนรู้เฉลี่ย) กลุ่มละ 4-5 คน เพื่อส่งเสริมการก้าวข้าม ZPD ไปสู่ระดับพัฒนาการเต็มศักยภาพ

8.7 ควรจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์สำหรับการทำการทดลองให้พอเพียงสำหรับทุกกลุ่ม ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลา และกระตุ้นความสนใจให้กับนักเรียนได้ หากอุปกรณ์เครื่องแก้วไม่เพียงพอสามารถใช้วัสดุอื่นที่สามารถใช้ทดแทนได้ เช่น ปีกเกอร์ไม่เพียงพอ ใช้วัสดุประเภทพลาสติกกับสารละลายเบสได้ ใช้วัสดุประเภทแก้วกับสารละลายกรดได้ เป็นต้น

8.8 ในขั้นการทดลองเน้นการใช้สารเคมีในชีวิตประจำวัน และเน้นให้นักเรียนได้ฝึกใช้ทักษะขั้นบูรณาการในการทดลองเพื่อหาคำตอบของคำถามที่อยากจะรู้ในการเรียนแต่ละครั้ง และมีการอภิปรายร่วมกันกับนักเรียนถึงผลการทดลองที่อาจจะคลาดเคลื่อนได้

8.9 ควรศึกษา/เตรียมคำถามที่ต้องใช้เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนได้ฝึกการใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการก่อนใช้สอนจริง

8.10 ควรศึกษา/เตรียมคำถามที่ต้องใช้ในการกระตุ้นส่งเสริมให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นโดยเฉพา 3 ขั้นนี้ ได้แก่ ขั้นที่ 3 ทดลอง ขั้นที่ 4 เชื่อมโยง และขั้นที่ 5 สร้างองค์ความรู้

8.11 เลือกและจัดเตรียมสื่อการเรียนที่ต้องใช้ในขั้นเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดทางเคมี เช่น สื่อวีดิทัศน์ สื่อสำหรับอุปมาอุปไมย โมเดลกระดาษ ให้พร้อมก่อนสอนเสมอ

8.12 การประเมินผลเน้นการประเมินผลระหว่างเรียน ครูควรมีความพร้อมในด้านเนื้อหาและความสามารถในการด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการเพื่อสามารถพิจารณาและตอบกลับด้วยการให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง และให้ความช่วยเหลือแก่นักเรียนระหว่างเรียนเพื่อพัฒนาและปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้องได้ทันที หากถูกต้องดีแล้วควรกล่าวคำชมเชยให้กำลังใจ

8.13 ให้นักเรียนเก็บรวบรวมใบงาน ใบความรู้ทั้งหมดให้อยู่ในรูปแบบแฟ้มสะสมผลงาน เพื่อสามารถประเมินพัฒนาการในด้านต่าง ๆ ได้

เอกสารอ้างอิง

- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท). (2549). *คู่มือวัดผลประเมินผล วิทยาศาสตร์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 2 ตุลาคม 2555, จาก http://www3.ipst.ac.th/sa/images/book/science_assessment.pdf.
- Artdej, Romkiao; et.al. (2010, July). Thai Grade 11 Students' Alternative Conceptions for Acid–Base Chemistry. *Research in Science & Technological Education*. 28(2): 167-183.
- Barmby, Patrick; Kind, Per M.; & Jones, Karen. (2008). Examining Changing Attitudes in Secondary School Science. *International Journal of Science Education*. 30(8): 1075-1093.
- Bennett, Judith. (2003). *Teaching and Learning Science*. London : Continuum.
- Berionni, Antonietta; & Baldón, Maria Oliva. (2006). *Model of Social Constructivism, Laboratory Teaching and Concept Maps to Build Scientific Knowledge and Organize Concept Network: Teaching Experience in First Level Education in Italian Schools*. Retrieved August 7, 2011, from <http://eprint.ihmc.us/182/1/cmc2006-p41.pdf>.
- Blanchard, Margaret R. et.al. (2010). Is Inquiry Possible in Light of Accountability?: A Quantitative Comparison of the Relative Effectiveness of Guided Inquiry and Verification Laboratory Instruction. *Science Education*. 94: 577-616.
- Bransford, John D. (2000). *How people learn : brain, mind, experience, and school*. Expanded ed. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Chaiyapha, P.; Chayajarus, K. ; & Chairam, S. (2011). *Investigation of High School Students' Understanding of Acid-base Chemistry based on Jigsaw Method*. Pure and Applied Chemistry International Conference 2011. Retrieved August 22, 2011, from http://paccon2011.swu.ac.th/wpcontent/uploads/2011/06/03_CE_12p.pdf.
- Chaiyen, Yaowares; & Bunsawansong, Pensri; & Yutakom, Naruemon. (2007). Integrated Science Process Skills on Chemical Equilibrium of High School Students from Schools in Chanthaburi Province. *Kasetsart Journal (Social Science)*. 28: 11-22.
- Cheung, Derek. (2009). Students' Attitudes Toward Chemistry Lesson: The Interaction Effect between Grade Level and Gender. *Research in Science Education*. 39: 75-91.

- Demircioğlu, Gökhan; Ayas, Alipaşa; & Demircioğlu, Hülya. (2005). Conceptual Change Achieved through a New Teaching Program on Acids and Bases. *Chemistry Education Research and Practice*. 6 (1): 36-51.
- Domin, Daniel S. (1999, April). A Review of Laboratory Instruction Styles. *Journal of Chemical Education*. 76(4): 543-547.
- Freedman, Michael P. (1997). Relationship among Laboratory Instruction, Attitude toward Science, and Achievement in Science Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*. 34(4): 343-357.
- George, Rani. (2000). Measuring Change in Students' Attitudes toward Science Over Time: An Application of Latent Variable Growth Modeling. *Journal of Science Education and Technology*. 9(3): 213-225.
- Hand, B.; Treagust, D. F.; & Vance, K. (1997). Student Perceptions of Social Constructivist Classroom. *Science Education*. 81: 561-575.
- Jennings, Clara M.; & Di, Xu. (1996). Chapter 5 Collaborative Learning and Thinking: The Vygotskian Approach. In *Vygotsky in the Classroom : Mediated Literacy Instruction and Assessment*. White Plains, NY : Longman.
- Larson, Bruce E. (2000). Classroom Discussion: A Method of Instruction and A Curriculum Outcome. *Teaching and Teacher Education*. 16: 661-677.
- Nakthong, Usa; Anuntasethakul, Thiraporn; & Yutakom, Naruemon. (2007, July-September). Science Process Skills of Grade 10 Students Related to Cells and Cell Processes. *Songklanakarin Journal of Social Science and Humanities*. 13(3): 383-394.
- Pritchard, Alan; & Woollard, John. (2010). *Psychology for the Classroom: Constructivism and Social Learning*. London. New York: Routledge.
- Pruekpramool, Chaninan; et.al. (2011). Student Attitudes toward Science: The Case of Thai Upper Secondary School Non-science Students. *The International Journal of Learning*. 18(1): 289-301.
- Sheppard, Keith. (2006). High School Students' Understanding of Titrations and Related Acid-base Phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*. 7 (1): 32-45.
- Shiland, Thomas W. (1999). Constructivism: The Implications for Laboratory Work. *Journal of Chemical Education*. 76(1): 107-109.

- Thagard, Paul; Cohen, Dawn M.; & Holyoak, Keith J. (nd). Chemical Analogies: Two Kinds of Explanation. *Machine Learning*: 819-824
- Treagust, David; Chittleborough, Gail; & Mamiala, Thapelo. (2003). The Role of Submicroscopic and Symbolic Representations in Chemical Explanations. *International Journal of Science Education*. 25(11): 1353-1368.
- Zhang, M.; et. al. (2010). Using Questioning to Facilitate Discussion of Science Teaching Problems in Teacher Professional Development. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*. 4(1): 57-82 Retrieved April 11, 2013, from <http://dx.doi.org/10.7771/1541-5015.1097>.





Appendix E

Samples of the Learning Units (in Thai)

หน่วยการเรียนรู้เรื่อง กรด-เบส
ตามรูปแบบการจัดการเรียนรู้ปฏิบัติการเรื่อง กรด-เบส
สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

1. การจัดโครงสร้างเนื้อหา

หน่วยการเรียนรู้เรื่อง กรด-เบส ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายสามารถจัดแบ่งได้เป็น 7 หัวข้อย่อย (ภาพประกอบ 1) แบ่งเป็น 9 แผนการจัดการเรียนรู้ และใช้เวลาในการจัดการเรียนการสอน ทั้งสิ้น 29 คาบ ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 การจัดหน่วยการเรียนรู้ แผนการจัดการเรียนรู้ และเวลาที่ใช้ตามรูปแบบการจัดการเรียนรู้ปฏิบัติการเรื่อง กรด-เบส

หัวข้อย่อย	แผนการจัดการเรียนรู้	จำนวนคาบ
1. สารละลายอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์	1. สารละลายอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์	3
2. ทฤษฎีกรด-เบส	2. ทฤษฎีกรด-เบสและคู่กรด-เบส	3
3. การแตกตัว	3. การแตกตัวของน้ำ	3
	4. การแตกตัวของกรดแก่-เบสแก่และกรดอ่อน-เบสอ่อน	4
4. ค่า pH ของสารละลายและการวัด pH	5. ค่า pH ของสารละลายและอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส	3
5. ปฏิกริยา	6. ปฏิกริยาของกรดและเบส	3
	7. ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส	3
6. การไทเทรต	8. การไทเทรตกรด-เบส	4
7. สารละลายบัฟเฟอร์	9. สารละลายบัฟเฟอร์	3
รวม		29

2. จุดประสงค์การเรียนรู้เรื่อง กรด-เบส

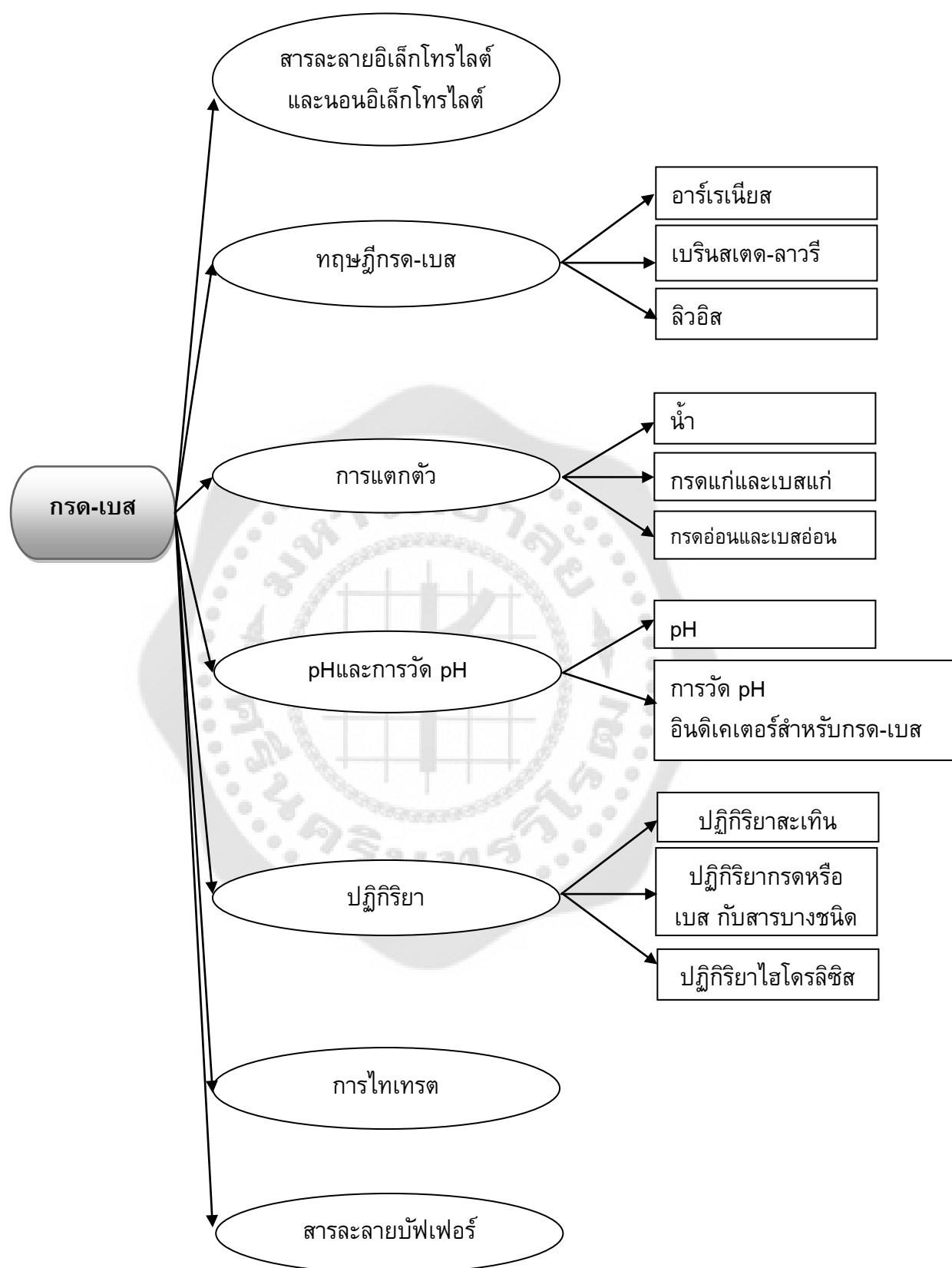
จุดประสงค์การเรียนรู้ตามแนวทางของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ปฏิบัติการ เรื่อง กรด-เบส ครอบคลุมจุดประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้ในคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 3 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (สสวท. 2554:

87-88) และปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีความเข้าใจในโมโนทัศน์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและเจตคติที่ดีต่อการเรียนปฏิบัติการเคมี มีดังนี้

- 1) ออกแบบและดำเนินการสำรวจตรวจสอบเพื่อจำแนกสารตัวอย่างในชีวิตประจำวันตามสมบัติความเป็นกรด-เบสและการนำไฟฟ้าได้
- 2) สรุปความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-เบสของสารละลายกับการนำไฟฟ้าได้
- 3) อธิบายความแตกต่างระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์ในระดับมหภาค ระดับอนุภาค และระดับสัญลักษณ์ได้
- 4) อธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันโดยใช้โมโนทัศน์เกี่ยวกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้
- 5) ระบุประเภทของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เมื่อกำหนดสารมาให้ได้
- 6) ออกแบบและดำเนินการสำรวจตรวจสอบเกี่ยวกับความเป็นกรดเป็นเบสของสาร
- 7) อธิบายเหตุผลที่ทำให้สารละลายกรดทุกชนิดมีสมบัติเหมือนกันและสารละลายเบสทุกชนิดมีสมบัติเหมือนกันทั้งในระดับมหภาค อนุภาค และระดับสัญลักษณ์ได้
- 8) อธิบายความแตกต่างระหว่างทฤษฎีกรด-เบสของอาร์เรเนียส เบรินสเตด-ลาวรีและลิวอิสได้
- 9) เขียนสมการและระบุกรด-เบสตามทฤษฎีเบรินสเตด-ลาวรีได้
- 10) อธิบายเกี่ยวกับสารแอมโฟเทริกได้
- 11) ทำนายความเป็นกรด-เบสของสารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในสารรอบตัวโดยใช้ทฤษฎีกรด-เบสได้
- 12) อธิบายการแตกตัวและการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์ได้
- 13) ออกแบบและดำเนินการสำรวจตรวจสอบเกี่ยวกับสมบัติของน้ำบริสุทธิ์ได้
- 14) อธิบายผลของอุณหภูมิต่อการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำทั้งในระดับมหภาค อนุภาค และสัญลักษณ์ได้
- 15) อธิบายค่าคงที่การแตกตัวของน้ำและใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน ($[H_3O^+]$) และไฮดรอกไซด์ไอออน ($[OH^-]$) ในสารละลายได้
- 16) อธิบายการเปลี่ยนแปลงภาวะสมดุลของน้ำเมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปทั้งในระดับมหภาค อนุภาค และสัญลักษณ์ได้
- 17) อธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันโดยใช้โมโนทัศน์เกี่ยวกับการแตกตัวของน้ำได้
- 18) ออกแบบและดำเนินการสำรวจตรวจสอบเพื่อระบุความแตกต่างระหว่างกรดแก่เบสแก่และกรดอ่อนเบสอ่อนได้
- 19) บอกความแตกต่างของความสามารถในการแตกตัวเป็นไอออนระหว่างกรดแก่เบสแก่และกรดอ่อนเบสอ่อนทั้งในระดับมหภาค อนุภาค และสัญลักษณ์ได้

- 20) จำแนกและระบุชนิดของกรด-เบสได้
- 21) อธิบายความแตกต่างระหว่างวิธีคำนวณหาความเข้มข้นของ H_3O^+ และ OH^- ของกรดแก่/เบสแก่และกรดอ่อน/เบสอ่อนได้
- 22) เปรียบเทียบปริมาณการแตกตัวของกรดอ่อนหรือเบสอ่อนและคำนวณหาร้อยละการแตกตัวและค่าคงที่การแตกตัวของกรดอ่อนหรือเบสอ่อนได้
- 23) คำนวณหาความเข้มข้นของ H_3O^+ และ OH^- ของกรดแก่ เบสแก่ กรดอ่อน และเบสอ่อนได้
- 24) ออกแบบและดำเนินการสำรวจตรวจสอบเพื่อระบุค่า pH ของสารละลายในชีวิตประจำวันได้
- 25) บอกความแตกต่างของค่า pH ที่วัดด้วยวิธีที่แตกต่างกันได้
- 26) อธิบายการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบสในระดับมหภาค อนุภาค และระดับสัญลักษณ์ได้
- 27) คำนวณเกี่ยวกับค่า pH ของสารละลายได้
- 28) บอกความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ความเข้มข้นของ H_3O^+ และความเป็นกรด-เบสได้
- 29) ระบุค่า pH หรือความเป็นกรด-เบสของสารละลายจากการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบสได้
- 30) ออกแบบและดำเนินการสำรวจตรวจสอบเกี่ยวกับปฏิกิริยาของกรดและเบสได้
- 31) อธิบายการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบสทั้งในระดับมหภาค อนุภาคและสัญลักษณ์ได้
- 32) อธิบายปฏิกิริยาสะเทินทั้งในระดับอนุภาคและสัญลักษณ์ได้
- 33) ระบุและเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญของกรดและเบสได้
- 34) ประยุกต์ใช้โมโนทัศน์เรื่องปฏิกิริยาเคมีของกรดและเบสในการอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันได้
- 35) ออกแบบและดำเนินการสำรวจตรวจสอบเพื่ออธิบายสมบัติความเป็นกรด-เบสของเกลือที่ละลายน้ำได้
- 36) อธิบายการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเกลือและสมบัติความเป็นกรด-เบสของเกลือที่ละลายน้ำได้แต่ละชนิด ในระดับมหภาค อนุภาค และระดับสัญลักษณ์ได้
- 37) อธิบายความหมายของปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้
- 38) ประยุกต์ใช้โมโนทัศน์เกี่ยวกับปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสเพื่อทำนายความเป็นกรด-เบสของเกลือได้อย่างสมเหตุสมผล
- 39) อธิบายวิธีการไทเทรตกรด-เบสได้
- 40) บอกความแตกต่างระหว่างจุดยุติและจุดสมมูลได้

- 41) ระบุวิธีการและเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไทเทรตกรด-เบสที่กำหนดให้ได้
- 42) ออกแบบและดำเนินการสำรวจตรวจสอบเพื่อหาปริมาณของกรดแอสติลซาลิซาลิกในยาแอสไพรินด้วยวิธีการไทเทรตกรด-เบสได้ถูกต้อง
- 43) ระบุและอธิบายค่า pH ของสารละลายที่จุดสมมูลของการไทเทรตระหว่างกรดและเบสต่าง ๆ ในระดับมหภาค ระดับอนุภาค และระดับสัญลักษณ์ได้
- 44) คำนวณหาปริมาณสารจากการไทเทรตกรด-เบสได้
- 45) ประยุกต์ใช้วิธีการไทเทรตในการหาปริมาณหรือความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวันได้
- 46) ออกแบบและดำเนินการสำรวจตรวจสอบเพื่อสรุปสมบัติที่สำคัญของสารละลายบัฟเฟอร์ได้
- 47) วิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายบัฟเฟอร์เพื่อสรุปส่วนประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์ได้
- 48) อธิบายการควบคุมค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ทั้งในระดับมหภาค อนุภาค และสัญลักษณ์ได้
- 49) ประยุกต์ใช้สมโนทัศน์เกี่ยวกับสารละลายบัฟเฟอร์ในการอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันได้



ภาพประกอบ 1 แผนผังมโนทัศน์การจัดหัวข้อของหน่วยการเรียนรู้เรื่อง กรด-เบส

3. ภาพรวมวัตถุประสงค์การเรียนรู้ของแผนการจัดการเรียนรู้

วัตถุประสงค์ของการเรียนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของนักเรียน ในแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 9 แผนตามรูปแบบการจัดการเรียนรู้ปฏิบัติการเรื่องกรด-เบสมีการกำหนดวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 2 วัตถุประสงค์ของการเรียนรู้โดยภาพรวมสำหรับแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้	วัตถุประสงค์ของการเรียนรู้โดยภาพรวม
1. สารละลายอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์	1. เพื่อทดลองและจำแนกสารตามสมบัติการนำไฟฟ้าและความเป็นกรด-เบส 2. เพื่อศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์และความแตกต่างระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่ สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน และสารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์ 3. เพื่อจัดกลุ่มประเภทของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ให้แก่สารละลายกรดและเบส
2. ทฤษฎีกรด-เบสและคู่กรด-เบส	1. เพื่อศึกษาไอออนที่แสดงสมบัติของสารละลายกรดและไอออนที่แสดงสมบัติของสารละลายเบส 2. เพื่อศึกษาทฤษฎีกรด-เบสที่ใช้ในการทำนายความเป็นกรด-เบสของสาร
3. การแตกตัวของน้ำ	1. เพื่อศึกษาการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์ ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์ 2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปในน้ำบริสุทธิ์ และความเป็นกรด-เบสหรือค่า pH ของน้ำบริสุทธิ์
4. การแตกตัวของกรดแก่-เบสแก่และกรดอ่อน-เบสอ่อน	1. เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างกรดแก่ เบสแก่ กรดอ่อน และเบสอ่อน 2. เพื่อศึกษาวิธีการจำแนกประเภทเป็นกรดแก่ เบสแก่ กรดอ่อน และเบสอ่อนโดยไม่ต้องทำการทดลอง 3. เพื่อศึกษาการคำนวณหา $[H_3O^+]$ และ $[OH^-]$ ในสารละลายกรดแก่ เบสแก่ กรดอ่อน และเบสอ่อน
5. ค่า pH ของสารละลายและอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบสและสารในชีวิตประจำวัน	1. เพื่อวัดค่า pH ของสารละลายในชีวิตประจำวัน 2. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า pH ที่ได้จากการวัดด้วยวิธีที่ต่างหากัน 3. เพื่อศึกษาการคำนวณหาค่า pH และการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส

ตาราง 2 (ต่อ)

แผนการจัดการเรียนรู้	วัตถุประสงค์ของการเรียนรู้โดยภาพรวม
6. ปฏิกริยาของกรดและเบส	1. เพื่อศึกษาปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบส 2. เพื่อศึกษาปฏิกิริยาสะเทิน 3. เพื่อศึกษาปฏิกิริยาของกรดกับสารอื่นๆ 4. เพื่อศึกษาปฏิกิริยาของเบสกับสารอื่นๆ
7. ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส	1. เพื่อศึกษาสมบัติความเป็นกรด-เบสของเกลือที่ละลายน้ำได้ 2. เพื่อศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเกลือ
8. การไทเทรต	1. เพื่อศึกษาวิธีการหาปริมาณของกรดหรือเบสที่อยู่ในสารที่ใช้ในชีวิตประจำวันด้วยการไทเทรตกรด-เบส 2. เพื่อศึกษาจุดสมมูลและจุดยุติของการไทเทรตระหว่างกรดและเบส 3. เพื่อศึกษาการเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไทเทรตกรด-เบส 4. เพื่อศึกษาการคำนวณหาความเข้มข้นของกรดและเบสที่ได้จากการไทเทรตกรด-เบส
9. สารละลายบัฟเฟอร์	1. เพื่อศึกษาสมบัติและความแตกต่างระหว่างสารละลายบัฟเฟอร์และสารละลายที่ไม่ใช่บัฟเฟอร์ 2. เพื่อศึกษาส่วนประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์ 3. เพื่อศึกษาสารละลายบัฟเฟอร์ในชีวิตประจำวัน

4. มโนทัศน์เรื่องกรด-เบส ตามรูปแบบการจัดการเรียนรู้ ๖

ตาราง 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหาและมโนทัศน์

ลำดับที่	เนื้อหา/แผนการจัดการเรียนรู้	มโนทัศน์
1	สารละลายอิเล็กโทรไลต์และ สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์	สารที่พบในชีวิตประจำวัน ถ้าใช้สมบัติความเป็นกรด-เบสเป็นเกณฑ์สามารถจำแนกได้เป็นสารที่มีสมบัติเป็นกรด เป็นเบส และเป็นกลาง ถ้าใช้การนำไฟฟ้าเป็นเกณฑ์สามารถจำแนกได้เป็นสารที่นำไฟฟ้าได้ดี สารที่นำไฟฟ้าได้น้อย และสารที่ไม่นำไฟฟ้า สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์ คือ สารละลายที่ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้เพราะไม่มีไอออนอยู่ในสารละลาย แต่สารละลายอิเล็กโทรไลต์สามารถนำไฟฟ้าได้เพราะมีไอออนอยู่ในสารละลาย ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ (1) สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่เป็นสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดีเพราะมีไอออนอยู่ในสารละลายมาก และ (2) สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน เป็นสารละลายที่นำไฟฟ้าได้น้อยเพราะมีไอออนอยู่ในสารละลายน้อย การเขียนสมการของสารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่จะใช้ลูกศรทางเดียว ($\rightarrow$) เนื่องจากแตกตัวเป็นไอออนได้หมดหรือเกือบหมดและผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของไอออน สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อนเมื่อละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนได้บางส่วนยังมีสารตั้งต้นเหลืออยู่ทำให้เกิดสมดุลดังนั้นจะใช้ลูกศรสองทาง ($\rightleftharpoons$) และผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของไอออน แต่สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์ไม่มีไอออนดังนั้นใช้ลูกศรทางเดียวและผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปโมเลกุลของสารตั้งต้นเหมือนเดิม สำหรับสารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนและนำไฟฟ้าได้ เรียกว่า สารอิเล็กโทรไลต์ ส่วนสารที่ละลายน้ำแล้วไม่แตกตัวเป็นไอออนและไม่นำไฟฟ้า จัดเป็นสารนอนอิเล็กโทรไลต์ สารละลายกรดและสารละลายเบสทุกชนิดสามารถนำไฟฟ้าได้ จึงจัดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แต่สารละลายอิเล็กโทรไลต์อาจมีสมบัติเป็นกรด เป็นเบส หรือเป็นกลางก็ได้

ตาราง 3 (ต่อ)

ลำดับที่	เนื้อหา/แผนการจัดการเรียนรู้	มโนทัศน์
	สารละลายอิเล็กโทรไลต์และ สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์ (ต่อ)	การระบุประเภทของสารอิเล็กโทรไลต์โดยไม่ต้องทำการทดลอง พิจารณาจาก (1) สารอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่ สารที่ละลายน้ำแล้วมีสมบัติเป็นกรดและเบสทุกชนิด และสารประกอบไอออนิกที่มีสมบัติเป็นกลาง (2) สารนอนอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่ สารอินทรีย์กลุ่มแอลกอฮอล์ (มีหมู่-OH อยู่ในโมเลกุล) อัลดีไฮด์ (-COH) และ คีโตน (-CO-) สารรอบตัว ได้แก่ น้ำในแหล่งน้ำต่าง ๆ น้ำกรดในแบตเตอรี่รถยนต์ ของเหลวในร่างกาย และเครื่องดื่ม เกลือแร่ จัดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้
2	ทฤษฎีกรด-เบสและคู่กรด-เบส	เมื่อกรดละลายน้ำจะแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) จากนั้น H^+ รวมตัวกับน้ำเกิดเป็น ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ทำให้ในสารละลายกรดทุกชนิดมีไอออนที่แสดงสมบัติของสารละลายกรดคือ H_3O^+ ซึ่งให้ผลการเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีน้ำเงินเป็นสีแดงเหมือนกัน เมื่อเบสละลายน้ำจะแตกตัว ให้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ทำให้ในสารละลายเบสทุกชนิดมีไอออนที่แสดงสมบัติของสารละลายเบส คือ OH^- ซึ่งให้ผลการเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีแดงเป็นสีน้ำเงินเหมือนกัน ทฤษฎีกรด-เบสอาร์เรเนียสให้นิยาม กรด คือ สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) เบส คือ สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ทฤษฎีกรด-เบส เบรินสเตด-ลาวรี พิจารณาความเป็นกรด-เบสของสารจากการถ่ายโอนโปรตอน (H^+) โดยกรดคือสารที่ให้ โปรตอนแก่สารอื่น เบสคือสารที่รับโปรตอนจากสารอื่น และทฤษฎีกรด-เบสลิวี่สให้นิยาม กรด คือ สารที่ สามารถรับคู่อิเล็กตรอน เบส คือ สารที่สามารถให้คู่อิเล็กตรอน

ตาราง 3 (ต่อ)

ลำดับที่	เนื้อหา/แผนการจัดการเรียนรู้	มโนทัศน์
	ทฤษฎีกรด-เบสและคู่กรด-เบส (ต่อ)	ตามทฤษฎีกรด-เบสของเบรินสเตด-ลาวรี โมเลกุลหรือไอออนที่เป็นคู่กรด-เบสกันจะมีโปรตอนต่างกันอยู่ 1 โปรตอน โดยคู่กรดจะมีโปรตอนมากกว่าเบสอยู่ 1 โปรตอน คู่เบสจะมีโปรตอนน้อยกว่ากรดอยู่ 1 โปรตอน สารบางชนิดสามารถให้และรับโปรตอนได้ จึงเป็นได้ทั้งกรดและเบส (ขึ้นอยู่กับสารที่เข้าทำปฏิกิริยา) เรียกว่า สารแอมโฟเทอริก ตามทฤษฎีกรด-เบสของเบรินสเตด-ลาวรี
3	การแตกตัวของน้ำ	น้ำบริสุทธิ์แตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) น้อยมาก ทำให้น้ำบริสุทธิ์นำไฟฟ้าได้น้อยมาก ปริมาณการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำขึ้นกับอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิสูงน้ำแตกตัวเป็นไอออนได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ (K_w) มีค่ามากกว่าและมีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ (K_w) = $[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$ การบอกค่า K_w ต้องระบุอุณหภูมิด้วย ที่อุณหภูมิ 25°C น้ำบริสุทธิ์มีค่าคงที่การแตกตัวเท่ากับ 1.0×10^{-14} แตกตัวให้ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ และ $[\text{OH}^-]$ อย่างละ $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$ เท่ากัน ดังนั้นน้ำบริสุทธิ์จะมีค่า pH = 7 ที่อุณหภูมิ 25°C เท่านั้น แต่น้ำบริสุทธิ์จะมีสมบัติเป็นกลางเสมอเพราะแตกตัวให้ H_3O^+ และ OH^- ในปริมาณที่เท่ากันเสมอ การเติมกรดหรือเบสลงในน้ำเป็นการรบกวนภาวะสมดุลของน้ำ ทำให้ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ หรือ $[\text{OH}^-]$ เปลี่ยนแปลงไปในสัดส่วนที่จะรักษาค่าคงที่การแตกตัวของน้ำให้เท่ากับ 1.0×10^{-14} เสมอที่อุณหภูมิ 25°C เมื่อเติมกรดลงในน้ำจะทำให้สารละลายมีสมบัติเป็นกรดเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสสีน้ำเงินเป็นแดง เนื่องจากที่สมดุลใหม่ $[\text{H}_3\text{O}^+] > 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$, $[\text{OH}^-] < 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$ เมื่อเติมเบสลงในน้ำจะทำให้สารละลายมีสมบัติเป็นเบส

ตาราง 3(ต่อ)

ลำดับที่	เนื้อหา/แผนการจัดการเรียนรู้	มโนทัศน์
	การแตกตัวของน้ำ (ต่อ)	เปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน เนื่องจากที่สมดุลใหม่ $[H_3O^+] < 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$, $[OH^-] > 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$
4	การแตกตัวของกรดแก่ เบสแก่ และ การแตกตัวของกรดอ่อนเบสอ่อน	กรดแก่และเบสแก่นำไฟฟ้าได้ดีมากจัดเป็นอิเล็กโทรไลต์แก่ ซึ่งแตกตัวเป็นไอออนในน้ำได้มากหรือได้อย่างสมบูรณ์ จะเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเพียงอย่างเดียว ในการเขียนแสดงการแตกตัวของกรดแก่และเบสแก่ด้วยสมการเคมีจึงนิยมใช้ลูกศรไปทางเดียว ส่วนกรดอ่อนและเบสอ่อนนำไฟฟ้าได้น้อยจัดเป็นอิเล็กโทรไลต์อ่อน ซึ่งแตกตัวได้น้อยหรือแตกตัวได้เพียงบางส่วน ในสารละลายจึงมีโมเลกุลของสารเป็นส่วนใหญ่กับไอออนจากการแตกตัวเป็นส่วนน้อย และมีภาวะสมดุลเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของสารกับไอออนในสารละลาย จัดเป็นปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ ในการเขียนแสดงการแตกตัวของกรดอ่อนและเบสอ่อนด้วยสมการเคมีจึงนิยมใช้ลูกศรสองทาง กรดแก่มีเพียง 6 ชนิด ได้แก่ HCl HBr HI HClO₄ HNO₃ และ H₂SO₄* (*เป็นกรดแก่เฉพาะการแตกตัวในครั้งที่ 1) ที่เหลือจัดเป็นกรดอ่อน ส่วนเบสแก่ ได้แก่ ไฮดรอกไซด์ของหมู่ IA และ IIA(บางตัว ได้แก่ Ca Sr Ba) ที่เหลือจัดเป็นเบสอ่อน เนื่องจากกรดแก่และเบสแก่แตกตัวได้มากหรือได้อย่างสมบูรณ์ การคำนวณหา $[H_3O^+]$ และ $[OH^-]$ ของกรดแก่และเบสแก่ทำได้ดังนี้ ถ้าทราบความเข้มข้นของกรดแก่หรือเบสแก่จะสามารถบอก $[H_3O^+]$ หรือ $[OH^-]$ ได้โดยในกรณีที่สารละลายมีความเข้มข้นสูง จะถือว่าไอออนที่เกิดจากการแตกตัวของน้ำมีค่าน้อยมากสามารถละทิ้งได้ ในกรณีที่สารละลายมีความเข้มข้นต่ำหรือเจือจาง ต้องนำไอออนที่เกิดจากการแตกตัวของน้ำมาคิดด้วย

ตาราง 3 (ต่อ)

ลำดับที่	เนื้อหา/แผนการจัดการเรียนรู้	มโนทัศน์
	การแตกตัวของกรดแก่ เบสแก่ และ การแตกตัวของกรดอ่อนเบสอ่อน (ต่อ)	เนื่องจากกรดอ่อนและเบสอ่อนแตกตัวได้น้อย ปริมาณการแตกตัวของกรดอ่อนและเบสอ่อน นียบบอกเป็นร้อยละหรือค่าคงที่การแตกตัวของกรด (K_a) หรือเบส (K_b) ค่าคงที่การแตกตัวของกรดอ่อนและเบสอ่อนสามารถใช้เปรียบเทียบปริมาณการแตกตัวของกรดอ่อนหรือเบสอ่อนได้โดยสารใดที่มีค่าร้อยละหรือค่าคงที่การแตกตัวมากกว่าจะมีปริมาณการแตกตัวมากกว่าโดยเทียบระหว่างกรดอ่อนเหมือนกันหรือเบสอ่อนเหมือนกัน และใช้คำนวณหา $[H_3O^+]$ และ $[OH^-]$ ในสารละลายของกรดอ่อนและเบสอ่อนได้ การคำนวณหา $[H_3O^+]$ และ $[OH^-]$ ในสารละลายของกรดอ่อนและเบสอ่อนมีขั้นตอนดังนี้ (1) เขียนสมการ ดุลสมการ และหาความเข้มข้นที่ภาวะต่าง ๆ (2) เขียนค่าคงที่สมดุลและแทนค่า (3) เลือกวิธีแก้สมการ ถ้าการแตกตัวมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ให้ประมาณว่าเท่ากับสารตั้งต้นได้ ถ้าไม่สามารถใช้การประมาณได้ ให้จัดสมการให้อยู่ในรูปสมการกำลังสอง และ (4) แก้สมการหาความเข้มข้นที่ต้องการ
5	ค่า pH และการวัด pH	สารในชีวิตประจำวันมีค่า pH แตกต่างกันไปอาจมีค่า $pH < 7$ $pH = 7$ หรือ $pH > 7$ การวัดค่า pH ของสารละลายอาจวัดด้วย กระดาษพีเอช (pH paper) เครื่องวัดพีเอช (pH meter) หรืออินดิเคเตอร์สำหรับกรดเบส ซึ่งแต่ละวิธีให้ค่า pH แตกต่างกันดังนั้น เครื่องวัดพีเอช สามารถวัดและบอกค่า pH ได้ละเอียดถึงระดับจุดทศนิยม กระดาษพีเอช ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ และน้ำกะหล่ำปลีสีม่วงสามารถวัดและบอกค่า pH เป็นเลขจำนวนเต็มตั้งแต่ 0-14 ส่วนอินดิเคเตอร์แต่ละชนิดเปลี่ยนสีได้ในช่วง pH ที่มีค่าเฉพาะจึงสามารถวัดและบอกค่า pH เป็นช่วงกว้าง ๆ และเนื่องจากอินดิเคเตอร์แต่ละชนิดมีช่วงการเปลี่ยนสีที่แตกต่างกันออกไปดังนั้นถ้าใช้อินดิเคเตอร์หลายชนิดมาวัดสารละลายเดียวกัน จะได้ค่า pH เป็นช่วงที่แคบ

ตาราง 3 (ต่อ)

ลำดับที่	เนื้อหา/แผนการจัดการเรียนรู้	มโนทัศน์
ค่า pH และการวัด pH (ต่อ)	ขึ้นกว่าใช้อินดิเคเตอร์เพียงชนิดเดียว	อินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส คือสารที่ใช้ตรวจสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ส่วนใหญ่จะเป็นกรดอ่อน ให้ HIn แทนสูตรทั่วไปของอินดิเคเตอร์ เมื่อละลายน้ำจะแตกตัว ดังสมการ $\text{HIn(aq)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{In}^-(\text{aq})$ สารทดสอบมี $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$ ← (↑) → [HIn]/[In⁻] > 10 ปรากฏสี HIn สารทดสอบมี $[\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{OH}^-]$ → (↓) ← [HIn]/[In⁻] < 1/10 ปรากฏสี In⁻ เนื่องจาก กรด HIn และ คู่เบส In⁻ มีสีต่างกัน ถ้านำไปทดสอบกับสารที่มี $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$ สมดุลเลื่อนไปทางซ้าย ทำให้ HIn เพิ่มขึ้น และถ้า $[\text{HIn}]/[\text{In}^-] > 10$ เท่า จะปรากฏสีในรูปกรด HIn ถ้านำไปทดสอบกับสารที่มี $[\text{OH}^-] > [\text{H}_3\text{O}^+]$ ทำให้ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ ลดลง (OH^- จะรวมตัวกับ H_3O^+) สมดุลเลื่อนมาทางขวา ทำให้ [In⁻] เพิ่มขึ้น และถ้า $[\text{HIn}]/[\text{In}^-] < 1/10$ เท่า จะปรากฏสีในรูปเบส In⁻ ถ้า HIn และ In⁻ มีปริมาณใกล้เคียงกันจะปรากฏเป็นสีผสม ดังนั้นการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ขึ้นอยู่กับ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ ความเป็นกรด-เบสของสารละลายนิยมบอกเป็นค่า pH คำนวณได้จาก $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$ pH ของสารละลาย ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 0-14 แต่อาจมีค่าอยู่นอกช่วงนี้ได้ (อาจมีค่าน้อยกว่า 0 (ติดลบ) หรือมากกว่า 14) สารละลายที่มี $[\text{H}_3\text{O}^+]$ มาก จะมีความเป็นกรดมาก แต่ค่า pH จะต่ำ ส่วนสารละลายที่มี $[\text{H}_3\text{O}^+]$ น้อย จะมีความเป็นกรดน้อย ค่า pH จะสูง สารละลายที่เป็นกรด จะมีค่า $\text{pH} < 7$ สารละลายที่เป็นกลาง จะมีค่า $\text{pH} = 7$ สารละลายที่เป็นเบส จะมีค่า $\text{pH} > 7$

ตาราง 3 (ต่อ)

ลำดับที่	เนื้อหา/แผนการจัดการเรียนรู้	มโนทัศน์
	ค่า pH และการวัด pH (ต่อ)	การคำนวณเกี่ยวกับค่า pH ทำได้ดังนี้ (1) เมื่อทราบค่า $[H_3O^+]$ หรือ $[OH^-]$ คำนวณหาค่า pH โดยใช้สูตร $pH = -\log [H_3O^+]$ และความสัมพันธ์ $K_w = [H_3O^+][OH^-]$ (2) เมื่อทราบค่า pH คำนวณหา $[H_3O^{++}]$ โดยใช้สูตร $[H_3O^+] = 10^{-pH}$
6	ปฏิกิริยาของกรดและเบส	ปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบสเป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนโปรตอนระหว่างไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) กับ ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จะได้ผลิตภัณฑ์คือเกลือกับน้ำ หรือเกลือเพียงอย่างเดียว โดยเกลือที่ได้ อาจจะละลายน้ำได้ (aq) หรือ ไม่ละลายในน้ำ (s) เขียนแสดงด้วยสมการเคมีทั่วไปดังนี้ $\text{กรด (aq)} + \text{เบส (aq)} \rightarrow \text{เกลือ (aq/s)} + \text{น้ำ (l)}$ $\text{กรด (aq)} + \text{เบส (aq)} \rightarrow \text{เกลือ (aq/s)}$ ปฏิกิริยาการสะเทิน (Neutralization) คือ ปฏิกิริยาระหว่าง H_3O^+ (หรือ H^+) กับ OH^- โดย H_3O^+ เป็นสารที่ให้โปรตอนแก่ OH^- และได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ ดังสมการ $H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2H_2O \text{ หรือ } H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$ ปฏิกิริยาของกรด เช่น (1) กรดทำปฏิกิริยากับโลหะบางชนิดได้เกลือกับแก๊สไฮโดรเจน (2) กรดทำปฏิกิริยากับเกลือของไฮโดรเจนคาร์บอเนต/เกลือคาร์บอเนตได้ผลิตภัณฑ์คือ เกลือ น้ำ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ กรดบางชนิดเท่านั้นที่มีฤทธิ์กัดกร่อน ปฏิกิริยาของเบส เช่น (1) เบสทำปฏิกิริยากับโลหะบางชนิด (เช่น Zn , Al) เกิดเกลือกับแก๊สไฮโดรเจน (2) เบสทำปฏิกิริยากับน้ำมันหรือไขมันได้เกลือของกรดไขมัน(สบู่) และน้ำ (3) เบสแก่ไม่สามารถกัดกร่อนวัสดุบางชนิดได้

ตาราง 3 (ต่อ)

ลำดับที่	เนื้อหา/แผนการจัดการเรียนรู้	มโนทัศน์
7	ไฮโดรลิซิส (Hydrolysis)	ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากไอออนบวกหรือไอออนลบของเกลือทำปฏิกิริยากับน้ำได้ผลิตภัณฑ์เป็น H_3O^+ หรือ OH^- ในสารละลาย ทำให้สารละลายมีสมบัติเป็นกรด เบส หรือ กลาง ไอออนที่มาจากกรดแก่และเบสแก่ จะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (ให้โปรตอนหรือรับโปรตอน) กับน้ำได้ แต่ไอออนที่มาจากกรดอ่อนหรือเบสอ่อนเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำได้ ความเป็นกรด-เบสของเกลือสรุปได้ดังนี้ - เกลือที่เกิดจากกรดแก่กับเบสแก่ สารละลายจะมีสมบัติเป็นกลาง เพราะเกลือชนิดนี้เมื่อละลายน้ำไอออนบวกและไอออนลบจะไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำ ทำให้ $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ ที่ได้จากการแตกตัวของน้ำยังคงเท่าเดิม และ $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ ดังนั้นสารละลายจึงมีสมบัติเป็นกลาง - เกลือที่เกิดจากกรดแก่กับเบสอ่อน สารละลายจะมีสมบัติเป็นกรด เพราะเมื่อเกลือชนิดนี้ละลายน้ำ ไอออนบวกของเบสอ่อนจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (ให้โปรตอน) กับน้ำได้ H_3O^+ ทำให้ $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$ ดังนั้นสารละลายจึงมีสมบัติเป็นกรด - เกลือที่เกิดจากกรดอ่อนกับเบสแก่ สารละลายจะมีสมบัติเป็นเบส เพราะเกลือชนิดนี้เมื่อละลายน้ำไอออนลบของกรดอ่อน จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (รับโปรตอน) กับน้ำ ได้ OH^- ทำให้ $[\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{OH}^-]$ ดังนั้นสารละลายจึงมีสมบัติเป็นเบส - เกลือที่เกิดจากกรดอ่อนกับเบสอ่อน สารละลายอาจมีสมบัติเป็นกรด เป็นเบส หรือเป็นกลาง ขึ้นอยู่กับค่า K_a ของไอออนบวก และ K_b ของไอออนลบของเกลือ นั้น เนื่องจากไอออนบวกและไอออนลบสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำได้ จึงขึ้นอยู่กับว่าไอออนใดเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้มากกว่ากัน

ตาราง 3 (ต่อ)

ลำดับที่	เนื้อหา/แผนการจัดการเรียนรู้	มโนทัศน์
	ไฮโดรลิซิส (ต่อ)	ดังนี้ $K_a < K_b$ สารละลายจะมีสมบัติเป็นเบส $K_a > K_b$ สารละลายจะมีสมบัติเป็นกรด $K_a \approx K_b$ สารละลายจะมีสมบัติเป็นกลางหรือใกล้เคียงกับความเป็นกลาง 5. เกลือที่ประกอบด้วยไอออนบวกที่มีขนาดเล็กและมีประจุสูง (เช่น Al^{3+} Cr^{3+} Fe^{3+} Bi^{3+} และ Be^{2+}) กับไอออนลบที่เป็นคู่เบสของกรดแก่ สารละลายจะมีสมบัติเป็นกรด เนื่องจากเมื่อละลายน้ำแล้วจะมีน้ำมาล้อมรอบและเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสโดยการให้โปรตอนแก่น้ำ ได้ H_3O^+ ทำให้ $[H_3O^+] > [OH^-]$ ดังนั้น สารละลายมีจึงมีสมบัติเป็นกรด
8	การไทเทรต	การไทเทรตกรด-เบส เป็นกระบวนการหาความเข้มข้นหรือปริมาณของกรดหรือเบสในสารละลาย ตัวอย่าง โดยให้ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายกรดหรือเบสที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (สารละลายมาตรฐาน) วัดปริมาตรของสารละลายกรดและเบสที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน แล้วนำไปคำนวณหาความเข้มข้นหรือปริมาณของกรดหรือเบสที่ต้องการทราบ ภาวะที่กรดและเบสทำปฏิกิริยาพอดีกัน หรือภาวะที่ H_3O^+ ทำปฏิกิริยาพอดีกับ OH^- ด้วยจำนวนโมลเท่ากัน เรียกว่า จุดสมมูล ส่วนจุดยุติ เป็นภาวะที่ใกล้เคียงกับจุดสมมูลหรืออาจภาวะเดียวกันได้ (ถ้าเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม) จุดยุติของการไทเทรตกรด-เบสอาจพิจารณาได้จากการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส จุดสมมูล สามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ของสารละลายกับปริมาตรของกรดหรือเบสที่เติมลงไป (กราฟของการไทเทรต) ซึ่งจุดสมมูล คือ จุด ณ ครึ่งเส้นกราฟในช่วงที่ชันที่สุด

ตาราง 3 (ต่อ)

ลำดับที่	เนื้อหา/แผนการจัดการเรียนรู้	มโนทัศน์
การไทเทรต (ต่อ)	อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไทเทรตกรด-เบสเพื่อบอกจุดยุติ ควรเป็นอินดิเคเตอร์ที่เปลี่ยนสีในช่วง pH ที่ตรงกับหรือใกล้เคียงกับ pH ของเกลือที่เกิดจากการดกับเบสคู่กันนั้นๆ หรืออินดิเคเตอร์ที่มีการเปลี่ยนสีในช่วง pH ที่กราฟการไทเทรตมีความชันมากที่สุด การไทเทรตระหว่างกรดและเบสต่างๆ มีจุดสมมูลที่แตกต่างกัน ดังนั้น 1) การไทเทรตระหว่างกรดแก่กับเบสแก่ จุดสมมูลจะมีค่า $pH = 7$ เนื่องจากที่จุดสมมูลกรดแก่และเบสแก่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน เกิดเกลือซึ่งไอออนบวกจากเบสแก่และไอออนลบจากกรดแก่ไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำ ทำให้ $[H_3O^+]$ และ $[OH^-]$ ที่ได้จากการแตกตัวของน้ำไม่เปลี่ยนแปลง และ $[H_3O^+] = [OH^-]$ ดังนั้นที่จุดสมมูล สารละลายจึงมีค่า $pH = 7$ 2) การไทเทรตระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่ จุดสมมูลจะมีค่า $pH > 7$ เนื่องจากที่จุดสมมูลกรดอ่อนและเบสแก่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน เกิดเกลือซึ่งไอออนลบจากกรดอ่อนเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำ(รับโปรตอน) ได้ OH^- ทำให้ $[H_3O^+] < [OH^-]$ ดังนั้นที่จุดสมมูล สารละลายจึงมีค่า $pH > 7$ 3) การไทเทรตระหว่างกรดแก่กับเบสอ่อน จุดสมมูลจะมีค่า $pH < 7$ เนื่องจากที่จุดสมมูลกรดแก่กับเบสอ่อนทำปฏิกิริยาพอดีกัน เกิดเกลือซึ่งไอออนบวกจากเบสอ่อนสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำ(ให้โปรตอน) ได้ H_3O^+ ทำให้ $[H_3O^+] > [OH^-]$ ดังนั้นที่จุดสมมูล สารละลายจึงมีค่า $pH < 7$ 4) การไทเทรตระหว่างกรดอ่อนกับเบสอ่อน หากจุดสมมูลได้ค่อนข้างยากและไม่เที่ยงตรง จึงไม่นิยมทำการไทเทรตระหว่างกรดอ่อนกับเบสอ่อน	

ตาราง 3 (ต่อ)

ลำดับที่	เนื้อหา/แผนการจัดการเรียนรู้	มโนทัศน์
	การไทเทรต (ต่อ)	การคำนวณหาปริมาณสารจากการไทเทรตกรด-เบส มีหลักในการคำนวณดังนี้ จุดสมมูลคือจุดที่กรดและเบสทำปฏิกิริยาพอดีกัน ดังสมการ $a\text{HA} + b\text{BOH} \rightarrow \text{BA} + \text{H}_2\text{O}$ ดังนั้น $\frac{\text{จำนวนโมลของกรด HA}}{\text{จำนวนโมลของเบส BOH}} = \frac{a}{b}$ การหาปริมาณกรดแอสติลซาลิซิลิก (acetylsalicylic acid) ในยาแอสไพรินด้วยวิธีการไทเทรตกรด-เบส มีวิธีการดังนี้คือ กรดแอสติลซาลิซิลิกมีสมบัติเป็นกรดอ่อน ควรให้ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานที่มีสมบัติเป็นเบสแก่ เช่น NaOH เนื่องจากเป็นการไทเทรตระหว่างกรดอ่อนและเบสแก่ที่จุดสมมูลจะมีค่า pH > 7 ดังนั้นจุดยุติควรเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่มีการเปลี่ยนสีในช่วง pH ที่มากกว่า 7 เช่น ฟีนอล์ฟทาลีน เป็นต้น
9	สารละลายบัฟเฟอร์	สารละลายบัฟเฟอร์ คือ สารละลายที่สามารถรักษาระดับค่า pH ไว้ได้เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปเพียงเล็กน้อย ประกอบด้วยสารละลายของกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อน หรือ สารละลายของเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อนซึ่งเป็นคู่กรด-เบสกัน สารละลายบัฟเฟอร์สามารถรักษาระดับค่า pH ไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงไปมากเมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปเพียงเล็กน้อยได้ เนื่องจากในสารละลายบัฟเฟอร์ประกอบด้วยโมเลกุลหรือไอออนที่เป็นคู่กรด-เบสซึ่งกันและกันอยู่ในภาวะสมดุล เมื่อเติมกรด คู่เบสจะมารวมกับ H^+ เกิดเป็นคู่กรดและน้ำ หรือเมื่อเติมเบส คู่กรดมารวมตัวกับ OH^- เกิดเป็นคู่เบสและน้ำ ทำให้ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ และ $[\text{OH}^-]$ โดยรวมเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์จึงมีค่าคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เลือด น้ำทะเล และน้ำมะพร้าว เป็นตัวอย่างของสารละลายบัฟเฟอร์ในธรรมชาติ

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1

หน่วยการเรียนรู้ สารละลายอิเล็กโทรไลต์
เรื่อง สารละลายอิเล็กโทรไลต์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
เวลา 150 นาที

1. จุดประสงค์การเรียนรู้

นักเรียนสามารถ

- 1) ออกแบบและดำเนินการสำรวจตรวจสอบเพื่อจำแนกสารตัวอย่างในชีวิตประจำวันตามสมบัติความเป็นกรด-เบสและการนำไฟฟ้าได้
- 2) สรุปความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-เบสของสารละลายกับการนำไฟฟ้าได้
- 3) อธิบายความแตกต่างระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์ในระดับมหภาค ระดับอนุภาค และระดับสัญลักษณ์ได้
- 4) อธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันโดยใช้โมเดลเกี่ยวกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้
- 5) ระบุประเภทของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เมื่อกำหนดสารมาให้ได้

หมายเหตุ ระดับมหภาค คือ สิ่งที่สามารถสังเกตได้จากการทดลองหรือพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน ระดับอนุภาค คือคำอธิบายของสิ่งที่สังเกตได้ในระดับอะตอม โมเลกุล และไอออน และระดับสัญลักษณ์คือ ระบบที่ใช้แทนคำอธิบายในระดับอนุภาค เช่น สมการเคมี กราฟ โมเดล เป็นต้น

2. มโนทัศน์

สารที่พบในชีวิตประจำวัน ถ้าใช้สมบัติความเป็นกรด-เบสเป็นเกณฑ์สามารถจำแนกได้เป็นสารที่มีสมบัติเป็นกรด เป็นเบส และเป็นกลาง ถ้าใช้การนำไฟฟ้าเป็นเกณฑ์สามารถจำแนกได้เป็นสารที่นำไฟฟ้าได้ดี สารที่นำไฟฟ้าได้น้อย และสารที่ไม่นำไฟฟ้า

สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์ คือ สารละลายที่ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้เพราะไม่มีไอออนอยู่ในสารละลาย แต่สารละลายอิเล็กโทรไลต์สามารถนำไฟฟ้าได้เพราะมีไอออนอยู่ในสารละลาย ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ (1) สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่เป็นสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดี เพราะมีไอออนอยู่ในสารละลายมาก และ (2) สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน เป็นสารละลายที่นำไฟฟ้าได้น้อยเพราะมีไอออนอยู่ในสารละลายน้อย

การเขียนสมการของสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะใช้ลูกศรทางเดียว ($\rightarrow$) เนื่องจากแตกตัวเป็นไอออนได้หมดหรือเกือบหมดและผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของไอออน สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อนเมื่อละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนได้บางส่วนยังมีสารตั้งต้นเหลืออยู่ทำให้เกิดสมดุลดังนั้นจะ

ใช้ลูกศรสองทาง ($\rightleftharpoons$) และผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของไอออน แต่สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์ไม่มีไอออนดังนั้นใช้ลูกศรทางเดียวและผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปโมเลกุลของสารตั้งต้นเหมือนเดิม

สำหรับสารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนและนำไฟฟ้าได้ เรียกว่า สารอิเล็กโทรไลต์ ส่วนสารที่ละลายน้ำแล้วไม่แตกตัวเป็นไอออนและไม่นำไฟฟ้า จัดเป็นสารนอนอิเล็กโทรไลต์

สารละลายกรดและสารละลายเบสทุกชนิดสามารถนำไฟฟ้าได้ จึงจัดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แต่สารละลายอิเล็กโทรไลต์อาจมีสมบัติเป็นกรด เป็นเบส หรือเป็นกลางก็ได้

การระบุประเภทของสาร อิเล็กโทรไลต์โดยไม่ต้องทำการทดลอง พิจารณาจาก (1) สารอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่ สารที่ละลายน้ำแล้วมีสมบัติเป็นกรดและเบสทุกชนิด และสารประกอบไอออนิกที่มีสมบัติเป็นกลาง (2) สารนอนอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่ สารอินทรีย์กลุ่มแอลกอฮอล์ (มีหมู่-OH อยู่ในโมเลกุล) อัลดีไฮด์ (-COH) และ คีโตน (-CO-)

สารรอบตัว ได้แก่ น้ำในแหล่งน้ำต่าง ๆ น้ำกรดในแบตเตอรี่รถยนต์ ของเหลวในร่างกาย และเครื่องดื่มเกลือแร่ จัดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้

3. กระบวนการจัดกิจกรรม

ขั้นที่ 1 เกริ่นนำ

25 นาที

1) นักเรียนอภิปรายร่วมกันตามประเด็นคำถามในใบงานที่ 1.1 เพื่อทบทวนความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสมการเคมี การนำไฟฟ้าของสารละลาย และการทดสอบความเป็นกรด-เบส ครูคอยอธิบายเพิ่มเติม

2) ครูยกตัวอย่างสาร ดังนี้

กลุ่มที่ 1 (สารที่เป็นของแข็ง) ได้แก่ 1) เกลือแกง (โซเดียมคลอไรด์) 2) เบกกิ้งโซดา (โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต) 3) โซดาไฟ (โซเดียมไฮดรอกไซด์) 4) น้ำตาลทราย

กลุ่มที่ 2 (สารที่เป็นของเหลว) ได้แก่ 1) น้ำยาล้างห้องน้ำ (กรดไฮโดรคลอริก 10%w/w) 2) น้ำส้มสายชู (กรดแอซิติก 6%v/v) 3) น้ำมะนาว (กรดซิตริก 9%w/v) 4) แอลกอฮอล์ล้างแผล (เอทานอล 70%v/v)

นักเรียนตอบคำถาม ต่อไปนี้

- ถ้าต้องการวัดการนำไฟฟ้าของสาร 2 กลุ่มนี้ ควรทำอย่างไร
- สารกลุ่มที่ 1 สามารถวัดด้วยเครื่องการนำไฟฟ้าได้เลยหรือไม่ ถ้าไม่ ต้องทำอย่างไร (ละลายน้ำให้เป็นสารละลายก่อน)
- ถ้าต้องการเปรียบเทียบการนำไฟฟ้าของสารต่างๆ ควรทำอย่างไร ควรควบคุมอะไรให้เหมือนกัน (ความเข้มข้น)

3) นักเรียนตั้งคำถามที่อยากรู้ ถ้ามีสารตัวอย่างดังกล่าวอยู่ในรูปสารละลาย และเตรียมให้มีความเข้มข้นเท่ากัน (ตัวอย่างคำถามเช่น สารแต่ละชนิดนำไฟฟ้าได้เหมือนกันหรือไม่ สารชนิดใดนำไฟฟ้าได้ดีกว่ากัน เป็นต้น)

- 4) นักเรียนและครูสรุปวัตถุประสงค์ของการเรียนร่วมกัน ดังนี้
- เพื่อทดลองและจำแนกสารตามสมบัติการนำไฟฟ้าและความเป็นกรด-เบส
 - เพื่อศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์และความแตกต่างระหว่างสารละลาย อิเล็กโทรไลต์แก่ สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน และสารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์
 - เพื่อจัดกลุ่มประเภทของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ให้แกสารละลายกรดและเบส

ขั้นที่ 2 สืบหาความรู้เดิม

10 นาที

5) นักเรียนแต่ละคนคาดคะเนคำตอบที่อยากรู้ในขั้นที่ 1 และตอบคำถามในใบงานที่ 1.2 จากความรู้และประสบการณ์เดิม (ครูเน้นย้ำว่าไม่ต้องลอกเพื่อนหรือถามเพื่อน ไม่ต้องเปิดหนังสือตอบความคิดเห็นของตนเองเท่าที่เรารู้ ณ ตอนนี้อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีคำตอบที่ถูกหรือผิดเพราะเรายังไม่ได้เรียน แต่ถ้าใครที่มีความรู้อยู่แล้วก็ให้ตอบมาตามที่เรารู้ไม่ต้องกังวลตอบผิด ครูจะได้ทราบว่าที่นักเรียนเข้าใจอยู่นั้นถูกต้องหรือไม่ หรือยังขาดความรู้อะไรเพิ่มเติมอีกบ้างหรือไม่)

6) นักเรียนนำเสนอแนวคำตอบของตนเอง ครูเขียนและจัดกลุ่มแนวคำตอบของนักเรียนบนกระดานดำ

ขั้นที่ 3 ทดลอง

15 นาที

7) นักเรียนและครูอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับทักษะที่จำเป็นสำหรับการสืบเสาะหาความรู้ (รายละเอียดดังแสดงในใบความรู้)

-----หมดเวลา 1 คาบ-----

ขั้นที่ 3 ทดลอง (ต่อ)

50 นาที

8) นักเรียนหนึ่งเป็นกลุ่มแบบคละความสามารถกลุ่มละ 4-5 คน (อาจจัดกลุ่มโดยใช้คะแนนก่อนเรียนหรือเกรดเฉลี่ย) ตัวแทนกลุ่มหยิบอุปกรณ์การทดลอง ตามรายการดังแสดงในหัวข้อ 4.2 และใบงานที่ 1.3 การทดลองเรื่อง สมบัติของสารรอบตัว

9) นักเรียนสำรวจวัสดุ อุปกรณ์และสารเคมีที่ได้รับ จากนั้นทำความเข้าใจวัตถุประสงค์ของการทดลองร่วมกัน ตามที่ปรากฏในใบงานที่ 1.3

9) นักเรียนปฏิบัติการทดลองแบบสืบเสาะชนิดชี้แนะแนวทาง ตามขั้นตอนต่อไปนี้

9.1) สมาชิกในกลุ่มช่วยกันคาดคะเนคำตอบของคำถามที่กำหนดให้คือ (1) สารรอบตัวเหล่านี้สามารถจำแนกได้เป็นกี่ประเภท อะไรบ้าง พร้อมบอกเกณฑ์ในการจำแนก และ (2) ความเป็นกรด-เบส มีความสัมพันธ์กับการนำไฟฟ้าของสารหรือไม่ อย่างไร จากนั้นรวบรวมความคิด แล้วตั้งเป็นสมมติฐาน ในระหว่างนี้ครูคอยให้คำชี้แนะ

9.2) สมาชิกในกลุ่มช่วยกันกำหนดตัวแปรที่จะศึกษา และกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของคำว่า นำไฟฟ้า และความเป็นกรด-เบส ครูคอยสังเกตและให้คำชี้แนะ

9.3) สมาชิกในกลุ่มช่วยกันออกแบบการทดลองและการบันทึกผลเพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่ได้ตั้งขึ้น ระหว่างนี้ครูคอยให้คำชี้แนะ

9.4) นักเรียนแต่ละกลุ่มดำเนินการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ สังเกตและบันทึกผล
ครูคอยอำนวยความสะดวกและให้คำชี้แนะ

9.5) นักเรียนสรุปผลการทดลองจากหลักฐานเชิงประจักษ์ อธิบายผลการตรวจสอบ
สมมติฐานที่ได้ตั้งขึ้น

10) นักเรียนนำเสนอผลการทดลองเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ให้กับเพื่อนกลุ่มอื่น ๆ ครูและ
นักเรียนช่วยกันประเมินและให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการตั้งสมมติฐาน การกำหนดตัวแปร การ
ออกแบบการทดลอง การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การทดลองและบันทึกผล และการสรุปผลการ
ทดลองเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงครั้งต่อไป

11) นักเรียนแต่ละกลุ่มทำแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ
ของกลุ่มตนเอง (การประเมินตนเอง)

-----หมดเวลา 1 คาบ-----

ขั้นที่ 3 ทดลอง (ต่อ)

15 นาที

12) นักเรียนสรุปผลการทดลองร่วมกัน โดยตอบคำถามต่อไปนี้

- นักเรียนสามารถแบ่งสารละลายได้เป็นกี่ประเภท พร้อมบอกเกณฑ์ (ถ้าใช้
ความสามารถในการนำไฟฟ้าเป็นเกณฑ์แบ่งได้ 3 ประเภท คือ สารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดี
สารละลายที่นำไฟฟ้าได้น้อย สารละลายที่ไม่นำไฟฟ้า ถ้าใช้สมบัติความเป็นกรด-เบสเป็นเกณฑ์แบ่ง
ได้เป็น 3 ประเภท คือ กรด เบส และกลาง)
- สารละลายที่นำไฟฟ้าได้ มีสมบัติความเป็นกรด-เบสอย่างไร (สารละลายที่นำไฟฟ้า
ได้ อาจมีสมบัติเป็นกรด เบส หรือเป็นกลางก็ได้)
- สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรดและเป็นเบสทุกตัว การนำไฟฟ้าที่เหมือนกันหรือไม่
อย่างไร (สารละลายกรดและเบสสามารถนำไฟฟ้าได้ทุกชนิด แต่บางชนิดอาจจะนำได้ดี บางชนิด
อาจนำไฟฟ้าได้น้อย)

13) ครูแนะนำคำศัพท์เฉพาะ ดังนี้

สารที่เมื่อละลายน้ำแล้วนำไฟฟ้าได้ เรียกว่าสารอิเล็กโทรไลต์ (เช่น เกลือ โซดาไฟ เบ
กิ้งโซดา) และสารที่เมื่อละลายน้ำแล้วนำไฟฟ้าไม่ได้ เรียกว่า สารนอนอิเล็กโทรไลต์ เช่น น้ำตาล
สารละลายที่นำไฟฟ้าได้ เรียกว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์ สารละลายที่ไม่นำไฟฟ้า
เรียกว่า สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์ สารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดี เรียกว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่
ส่วนสารละลายที่นำไฟฟ้าได้น้อยเรียกว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน

14) นักเรียนทำแบบประเมินความรู้สึกสนุกหรือชอบเกี่ยวกับการทำการทดลองทางเคมี
โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องใต้ภาพที่ตรงความรู้สึกของนักเรียนมากที่สุดเกี่ยวกับการทำการ
ทดลองทางเคมี จากนั้นส่งต่อไปให้เพื่อนคนอื่นๆ ไปเรียงจนครบ

-----หมดเวลา 1 คาบ-----

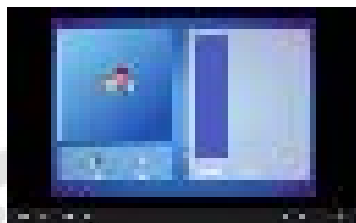
ขั้นที่ 4 เชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดทางเคมี

(35 นาที)

12) นักเรียนสงสัยหรือไม่ เพราะเหตุใดสารละลายแต่ละชนิดจึงนำไฟฟ้าได้ต่างกัน และบางชนิดไม่นำไฟฟ้า

13) นักเรียนแต่ละกลุ่ม ช่วยกันสร้างคำอธิบาย และนำเสนอ

14) นักเรียนสังเกตอนุภาคของสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดี (สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่) นำไฟฟ้าได้น้อย (สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน) และไม่นำไฟฟ้า (สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์) จากวิดีโอที่ <http://www.youtube.com/watch?v=-8RvguSsRSQ> จากนั้นอภิปรายกันในกลุ่ม ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร



15) นักเรียนตอบคำถาม ต่อไปนี้

- สิ่งสังเกตเห็นในระดับอนุภาคของสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดี นำไฟฟ้าได้น้อย และไม่นำไฟฟ้า แตกต่างกันอย่างไร (ต่างกันที่จำนวนไอออน สารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดี มีไอออนอยู่เป็นจำนวนมาก สารละลายที่นำไฟฟ้าได้น้อย จะมีไอออนอยู่น้อย ส่วนสารละลายที่ไม่นำไฟฟ้าไม่มีไอออน)

- ปัจจัยใดทำให้สารละลายนำไฟฟ้าได้มากน้อยไม่เท่ากัน (จำนวนไอออนในสารละลาย)

- จากวิดีโอ แกลลี แก๊สไฮโดรเจนฟลูออไรด์ และเอทานอลจัดอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ประเภทใด เพราะเหตุใด (แกลลีเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่เพราะเมื่อละลายน้ำแล้วเกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้มาก แก๊สไฮโดรเจนฟลูออไรด์เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อนเพราะแตกตัวเป็นไอออนได้น้อย และเอทานอลจัดเป็นสารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์เพราะไม่มีไอออน)

16) นักเรียนแต่ละกลุ่มช่วยกันเขียนแสดงด้วยสมการ เมื่อสารอิเล็กโทรไลต์แต่ละประเภทยละลายน้ำ ตัวแทนกลุ่มนำเสนอ ครูอธิบายเพิ่มเติม ดังรายละเอียดในใบความรู้สำหรับครู

17) นักเรียนแสดงความเชื่อมโยงของสิ่งที่สังเกตได้จากการทดลอง คำอธิบายในระดับอนุภาค และสิ่งที่ใช้แทนคำอธิบายในระดับอนุภาคด้วยสมการเคมี โดยการนำภาพที่ครูแจกให้ (แบบคณะ) ไปติดในใบงานที่ 1.4 จากนั้นนักเรียนสลับกันตรวจให้คะแนนตามคำแนะนำของครูและส่งใบงานคืนเพื่อน

18) ถ้าไม่ได้ทำการทดลอง นักเรียนคิดว่ามีวิธีการใดหรือไม่ ที่พอจะทำนายได้ว่าสารใดนำไฟฟ้าได้ สารใดนำไฟฟ้าไม่ได้ จากนั้นนักเรียนศึกษาใบความรู้ เรื่อง รู้ได้อย่างไร ? เป็นสารอิเล็กโทรไลต์หรือนอนอิเล็กโทรไลต์ และสรุปร่วมกัน

ขั้นที่ 5 สร้างองค์ความรู้ (Conceptualization)

(15 นาที)

19) นักเรียนอภิปราย แลกเปลี่ยนความรู้กับเพื่อนในกลุ่มเกี่ยวกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในประเด็นต่อไปนี้

- 1) สารอิเล็กโทรไลต์และสารนอนอิเล็กโทรไลต์แตกต่างกันอย่างไร
- 2) สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่ สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน และสารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์แตกต่างกันอย่างไร

3) สารละลายอิเล็กโทรไลต์มีสมบัติความเป็นกรด-เบส อย่างไร สารละลายกรดและเบส จัดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์หรือไม่ เพราะเหตุใด

4) จะทราบได้อย่างไรว่าเป็นสารอิเล็กโทรไลต์หรือนอนอิเล็กโทรไลต์

20) นักเรียนแต่ละคนเขียนสรุปองค์ความรู้ที่ได้รับลงในใบงานที่ 1.5 โดยสังเคราะห์จากความรู้ที่มีอยู่เดิมที่ได้ตอบไปในใบงานที่ 1.2 ความรู้ใหม่ที่ได้จากการทำการทดลอง และความรู้ที่ได้จากการพูดคุยแลกเปลี่ยนกับเพื่อนและกับครู ครูควรคอยกระตุ้นให้นักเรียนสรุปองค์ความรู้ที่ได้รับด้วยตนเองและเขียนให้ครบทุกประเด็น คอยชี้แนะ และล้อมกรอบหากมีนักเรียนสรุปในสิ่งที่นอกประเด็น

21) นักเรียนสลับกลุ่มกันตรวจใบงานที่ 1.5 ตามคำเฉลยของครู และส่งคืนเพื่อน เพื่อแก้ไขให้ถูกต้อง

22) ครูตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนด้วยการใช้คำถาม และอธิบายเพิ่มเติมในประเด็นที่นักเรียนยังเข้าใจไม่ถูกต้อง และย้อนกลับไปเฉลยใบความรู้ที่ 1.2

ขั้นที่ 6 ประยุกต์ใช้องค์ความรู้ ((5 นาทีและการบ้าน)

23) นักเรียนคิดว่าสาร/สารละลายอิเล็กโทรไลต์ในชีวิตประจำวัน พบได้ที่ไหนบ้างและมีประโยชน์อย่างไร

24) ครูแสดงภาพปลาไหลไฟฟ้า ซึ่งเป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งมีรูปร่างเรียวยาวคล้ายปลาไหลแต่มีความสามารถพิเศษคือปล่อยไฟฟ้าได้สูงถึง 600 โวลต์ ชอบอยู่ตามบึงน้ำตื้น ๆ หมกโคลนเลน หรือซ่อนตามวัชพืชในน้ำและชอบน้ำนิ่ง พบอาศัยอยู่ทั่วไปในลุ่มน้ำอะเมซอนและโอริโนโคในทวีปอเมริกาใต้ นักเรียนคิดว่าถ้าเราไปจับปลาชนิดนี้เพื่อมาบริโภคจะได้รับอันตรายในการถูกช็อตหรือไม่ (แม้ว่าจะยังไม่ได้สัมผัสตัวของมัน) เพราะเหตุใด

25) นักเรียนแต่ละคนอ่านคำถามในใบงานที่ 1.6 และถามในประเด็นที่สงสัยหรือไม่เข้าใจหรือต้องการขอคำชี้แนะจากครู จากนั้นนำกลับไปทำเป็นการบ้าน

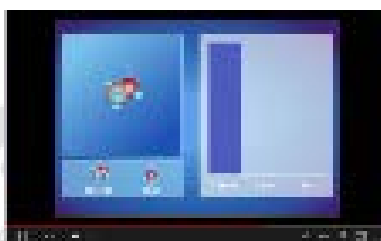
4. สื่อและอุปกรณ์

4.1 สื่อการเรียนรู้

- 1) ใบงานที่ 1.1 ทบทวนความรู้พื้นฐาน
- 2) ใบงานที่ 1.2 สิ่งที่ต้องรู้ก่อนเรียน

- 3) ใบงานที่ 1.3 การทดลองเรื่อง สมบัติของสารรอบตัว
- 4) ใบความรู้ เรื่อง ทักษะที่จำเป็นสำหรับการสืบเสาะหาความรู้
- 5) ใบงานที่ 1.4 เพราะเหตุใดสารละลายแต่ละชนิดจึงนำไฟฟ้าได้ต่างกัน?
- 6) ใบงานที่ 1.5 สิ่งที่คุณได้เรียนรู้
- 7) ใบความรู้ เรื่อง รู้ได้อย่างไร? เป็นสารอิเล็กโทรไลต์หรือนอนอิเล็กโทรไลต์
- 8) ใบงานที่ 1.6 ฉันเข้าใจสารละลายอิเล็กโทรไลต์แค่ไหน?
- 9) วิดีทัศน์

9.1) <http://www.youtube.com/watch?v=-8RvguSsRSQ> (Strong Weak and Non Electrolytes)



4.2 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีประกอบการทดลอง เรื่อง สมบัติของสารรอบตัว

4.2.1 ครูเตรียมก่อนสอน

1) สารที่เป็นของแข็ง เช่น โซดาไฟ เบกกิ้งโซดา น้ำตาลทราย เกลือแกง และผงซักฟอก เตรียมเป็นสารละลายประมาณ 5 %w/v โดยชั่งสารดังกล่าวประมาณ 5 g ละลายเป็นสารละลาย 100 mL

2) สารที่เป็นของเหลวหรืออยู่ในรูปสารละลายอยู่แล้ว ให้เจือจางเป็นสารละลายเข้มข้นประมาณ 1 M

ข้อควรระวัง โซดาไฟและน้ำยาล้างห้องน้ำให้สัมผัสโดนมือหรือเข้าตา ถ้าโดนมือให้รีบล้างด้วยน้ำเปล่าจำนวนมาก หากเข้าตาให้ล้างตาด้วยน้ำสะอาด และรีบนำส่งโรงพยาบาล

4.2.2 สำหรับนักเรียน (แต่ละกลุ่ม)

1) ชุดตรวจการนำไฟฟ้า (ประกอบด้วยหลอดไฟ LED สายไฟพร้อมปากคีบจะเข้และ ถ่าน 9 โวลต์)

2) กระดาษลิตมัส

3) HCl 0.1 M จากน้ำยาล้างห้องน้ำ

4) CH_3COOH 0.1 M จากน้ำส้มสายชู

5) $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_8$ 0.1 M จากน้ำมะนาว

6) NaHCO_3 0.1 M จากเบกกิ้งโซดา

7) NaOH 0.1 M จากโซดาไฟ

8) NaCl 0.1 M จากเกลือแกง

9) $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (Sucrose) 0.1 M จากน้ำตาลทราย

10) $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (เอทานอล) 0.1 M จากแอลกอฮอล์ล้างแผล

4.3 สื่อและแหล่งการเรียนรู้เพิ่มเติม

- 1) หนังสือแบบเรียนรายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 3 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6

2) <http://www.youtube.com/watch?v=3ulzo5VzLwY> (Symbolic Representations)



5. การวัดและประเมินผล

จุดประสงค์ที่	วิธีการและเครื่องมือ	เกณฑ์การผ่าน
1. ออกแบบและดำเนินการสำรวจตรวจสอบเพื่อจำแนกสารตัวอย่างในชีวิตประจำวันตามสมบัติความเป็นกรด-เบสและการนำไฟฟ้า	- ครูสังเกตขณะปฏิบัติการทดลองประกอบกับการตรวจใบงานที่ 1.3 การทดลองเรื่องสมบัติของสารรอบตัวโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการพร้อมให้ข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงในครั้งถัดไป (เต็ม 15 คะแนน) - นักเรียนประเมินตนเองโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ (เต็ม 15 คะแนน)	ได้ 8 คะแนนขึ้นไป (เต็ม 15 คะแนน) โดยเฉลี่ยจากคะแนนครูและนักเรียน)
2. สรุปความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-เบสของสารละลายกับการนำไฟฟ้า	- ตรวจจากการสรุปผลการทดลองในใบงานที่ 1.3 โดยใช้เกณฑ์การประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ เฉพาะทักษะการแปลความหมายข้อมูลและสรุปผลการทดลอง (เต็ม 3 คะแนน) - ตรวจจากใบงานที่ 1.5 ประเด็นที่ 3 (เต็ม 2 คะแนน) เกณฑ์การประเมินดังแสดงในใบงาน	ได้ 3 คะแนนขึ้นไป (เต็ม 5 คะแนน)
3. อธิบายความแตกต่างระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์ในระดับมหภาค ระดับอนุภาค และระดับสัญลักษณ์	- ตรวจใบงานที่ 1.4 (9 คะแนน) - ตรวจใบงานที่ 1.5 ประเด็นที่ 2 (เต็ม 4 คะแนน) โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในใบงาน	ได้ 10 คะแนนขึ้นไป (เต็ม 13 คะแนน)
4. อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆในชีวิตประจำวันโดยใช้โมเดลเกี่ยวกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้	ตรวจใบงานที่ 1.6 ข้อ 1-2 (เต็ม 4 คะแนน) โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในใบงาน	2 คะแนนขึ้นไป (เต็ม 4 คะแนน)
5. ระบุประเภทของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เมื่อกำหนดสารมาให้ได้	ตรวจใบงานที่ 1.6 ข้อ 3 (เต็ม 10 คะแนน) โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในใบงาน	6 คะแนนขึ้นไป (เต็ม 10 คะแนน)

6. บันทึกผลการจัดการเรียนรู้

6.1 ผลการจัดการเรียนรู้

ชั้นที่ 1 เกริ่นนำ

ชั้นที่ 2 สำนวความรู้เดิม

ชั้นที่ 3 ทดลอง

ชั้นที่ 4 เชื่อมโยงตัวแทนแนวคิด

ชั้นที่ 5 สร้างองค์ความรู้

ชั้นที่ 6 ประยุกต์ใช้องค์ความรู้

6.2 ปัญหาและอุปสรรค

6.3 ข้อเสนอแนะ

ลงชื่อ.....ผู้บันทึก
...../...../.....

ใบความรู้ สำหรับครู

1. การให้คำแนะนำเพิ่มเติมขณะออกแบบและดำเนินการทดลอง

จุดประสงค์เพื่อแนะนำนักเรียนให้เข้าใจและสามารถออกแบบวิธีการสำรวจตรวจสอบอย่างเป็นระบบได้

แนวทาง นักเรียนและครูอภิปรายร่วมกัน พร้อมเอกสารประกอบคือ ใบความรู้ เรื่อง ทักษะที่จำเป็นสำหรับการสืบเสาะหาความรู้

- สมมติฐาน คือ การคาดคะเนคำตอบของปัญหาที่ต้องการศึกษา โดยอิงจากการรวบรวมข้อมูลหรือประสบการณ์เดิมที่มีอยู่หรือที่ได้เคยพบเห็นในชีวิตประจำวัน ซึ่ง สมมติฐานต้องแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม สมมติฐานที่ตั้งขึ้นนั้นอาจจะถูกหรือผิดก็ได้ จึงจำเป็นต้องมีการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่ได้ตั้งขึ้น (สมมติฐานที่ตั้งขึ้นของแต่ละกลุ่มไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน ขึ้นอยู่กับความสนใจของสมาชิกในกลุ่ม ที่จะเลือกตัวแปรหรือประเด็นใดในการดำเนินการ ครูสามารถให้นักเรียนแต่ละกลุ่มทำการสืบค้นในเรื่องเดียวกันที่มีกำหนดตัวแปรต้นต่างกัน เพื่อนักเรียนจะได้แนวทางในการศึกษาที่หลากหลายมากขึ้น และได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกัน)

- แต่ละคำถาม/ปัญหาอาจมีหลายแนวคำตอบก็ได้ (เช่น คำถามที่ 1 แนวคำตอบ 1: จำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ นำไฟฟ้า และไม่นำไฟฟ้า แนวคำตอบ 2: จำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ กรด กลาง เบส เป็นต้น)

- ในการลงมือทำการสำรวจตรวจสอบเพื่อหาคำตอบใด ๆ ควรมีการพิจารณาเลือกตัวแปรต้นคือสิ่งที่เราจะทำการเปลี่ยนแปลงให้แตกต่างไปจากเดิม แล้วกำหนดตัวแปรตามคือสิ่งที่เป็นผลที่เกิดขึ้นจากการทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต้น ส่วนตัวแปรต่าง ๆ ที่อาจมีผลต่อตัวแปรตามที่ต้องควบคุมไว้ให้คงที่ กำหนดให้เป็น ตัวแปรควบคุม

- การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ คือ การกำหนดความหมายและขอบเขตของคำหรือตัวแปรต่าง ๆ (ที่อยู่ในสมมติฐานที่ต้องการทดลอง) ให้เข้าใจตรงกัน สามารถสังเกตและวัดได้ โดยให้คำอธิบายเกี่ยวกับการทดลองและบอกวิธีวัดตัวแปรที่เกี่ยวกับการทดลองนั้น เช่น การนำไฟฟ้า คือ สมบัติของสารละลายที่เมื่อทดสอบด้วยชุดตรวจการนำไฟฟ้าสามารถทำให้หลอดไฟสว่างได้ นำไฟฟ้าได้ดี คือ หลอดไฟสว่างมาก นำไฟฟ้าได้ คือ หลอดไฟสว่าง เป็นต้น)

2. การเขียนสมการ

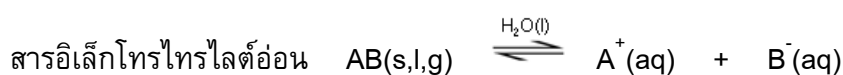
ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการเขียนสมการ ดังนี้

สารตั้งต้น สถานะของสารขึ้นอยู่กับเริ่มแรกสารนั้นมีสถานะเป็นอะไร ของแข็ง (s) ของเหลว (l) แก๊ส (g) สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (aq)

ผลิตภัณฑ์ ละลายน้ำได้หรือไม่ ถ้าละลายได้ สถานะจะเปลี่ยนเป็น (aq) ถ้าละลายไม่ได้ สถานะจะเหมือนเดิม สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้หรือไม่ ถ้าแตกตัวเป็นไอออนได้ จะอยู่ในรูป

ไอออนถ้าแตกตัวเป็นไอออนไม่ได้จะอยู่ในรูปโมเลกุล เช่น กลีเซอรอล ละลายน้ำได้และแตกตัวเป็นไอออนได้ NaCl (aq) หรือ $\text{Na}^+(\text{aq}) \text{Cl}^-(\text{aq})$ (เขียนได้สองแบบ) เอทานอลละลายน้ำได้แต่ไม่แตกตัวเป็นไอออน $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH (aq)}$ เขียนได้แบบเดียว

ลูกศร เมื่อละลายน้ำแล้ว ถ้าแตกตัวเป็นไอออนได้หมดหรือเกือบหมดจะใช้ลูกศรทางเดียว ($\rightarrow$) แต่ถ้าเมื่อละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนได้บางส่วนยังมีสารตั้งต้นเหลืออยู่จะเกิดสมดุล ดังนั้นจะใช้ลูกศรสองทาง ($\rightleftharpoons$)



3. สารอิเล็กโทรไลต์ในชีวิตประจำวัน

3.1 อิเล็กโทรไลต์ในร่างกาย

ในร่างกายของมนุษย์จะประกอบด้วยสารต่างๆ เช่น โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และน้ำ ในส่วนของน้ำและอิเล็กโทรไลต์ที่อยู่ภายในร่างกาย จะมีบทบาทสำคัญต่อการดำรงดุล (homeostasis) ให้ร่างกายอยู่ในภาวะปกติ ซึ่งความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์และปริมาณน้ำในร่างกายจะมีค่าคงที่ อยู่ค่าหนึ่งเสมอ ภายใต้การควบคุมของระบบต่างๆ ภายในร่างกาย โดยการขับออกน้ำและอิเล็กโทรไลต์ให้มีปริมาณเท่ากับที่รับเข้ามา ซึ่งในแต่ละวันอาจได้รับเข้ามาไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น การรับประทานอาหาร การดื่มน้ำ หรือแม้แต่การเจ็บไข้ได้ป่วย การสูญเสียความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ทางการขับเหงื่อ โดยปกติแล้ว ร่างกายจะขับน้ำและโซเดียมออกทางเหงื่อ ประมาณ 500 มิลลิลิตรต่อวัน สูญเสียน้ำและอิเล็กโทรไลต์จากระบบทางเดินอาหาร เช่น การถ่ายอุจจาระ อาเจียน ซึ่งในภาวะปกติจะสูญเสียออกมาน้อย ไอออนเบื้องต้นที่อยู่ในร่างกายของเรา คือ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม คลอไรด์ ฟอสเฟต และไบคาร์บอเนต

3.2 เครื่องดื่มเกลือแร่จะประกอบไปด้วยเกลือโซเดียมและโพแทสเซียมซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณน้ำและไอออนในร่างกายหลังจากที่เสียน้ำออกจากร่างกายจากการออกกำลังกาย ท้องเสีย อดอาหารหรืออาเจียน การให้น้ำบริสุทธิ์ไม่ใช่ทางที่ดีที่สุดในการรักษาระดับของเหลวในร่างกายเพราะน้ำจะไปทำให้เกลือในเซลล์ในร่างกายเจือจางลง ส่งผลต่อการทำปฏิกิริยาเคมีในเซลล์ทำให้เกิดความมีเม้าได้

เครื่องดื่มอิเล็กโทรไลต์สามารถทำได้โดยการผสมน้ำตาล เกลือและน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม

3.3 อิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่ แบตเตอรี่รถยนต์มีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ขั้วไฟฟ้า (electrod) สารละลายอิเล็กโทรไลต์

ใบงานที่ 1.1 ทบทวนความรู้พื้นฐาน

คำชี้แจง: นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1) จงอธิบายหลักการเขียนสมการเคมีที่สมบูรณ์ พร้อมยกตัวอย่าง

สมการเคมี เป็นการเขียนสั้นๆ เพื่ออธิบายถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น โดยมีหลักการเขียนสมการ ดังนี้

- สารที่เข้าทำปฏิกิริยา หรือ สารตั้งต้น จะเขียนไว้ทางซ้ายมือ ส่วนสารที่เกิดจากปฏิกิริยาหรือผลิตภัณฑ์จะเขียนไว้ทางขวามือ
- มีลูกศรแสดงทิศทางของปฏิกิริยาเคมีอยู่ระหว่างกลางสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ ถ้าเป็นลูกศรไปทางเดียว ($\longrightarrow$) แสดงว่าสารตั้งต้นเกิดเป็นผลิตภัณฑ์หมด เป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถผันกลับได้ ถ้าเป็นลูกศรคู่ ($\rightleftharpoons$) แสดงว่าเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้และมีสมดุลเกิดขึ้น
- ภาวะหรือเงื่อนไขการเกิดปฏิกิริยา ถ้าจำเป็นต้องบอกให้เขียนไว้ข้างบนหรือข้างล่างลูกศร เช่น เครื่องหมายเดลตา (Δ) เขียนไว้ข้างบนลูกศร ($\xrightarrow{\Delta}$) แสดงให้ทราบว่า ในการทำให้เกิดปฏิกิริยานั้นต้องให้ความร้อน เป็นต้น
- ระบุสถานะของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา หรือที่ได้จากการทำปฏิกิริยา โดยเขียนเป็นอักษรตัวเล็กไว้ในวงเล็บ ได้แก่ (s) = ของแข็ง (aq) = สารละลาย (ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย) (l) = ของเหลว (g) = แก๊ส
- การเขียนสมการเคมีที่สมบูรณ์ จะต้องมีการดุลสมการเพื่อให้จำนวนอะตอมของแต่ละธาตุในสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เท่ากัน ตัวอย่างเช่น

- ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง



- ปฏิกิริยาการเกิดแก๊สแอมโมเนีย



2) การนำไฟฟ้าของสารละลายบางชนิดเกิดขึ้นได้อย่างไร จะทราบได้อย่างไรว่าสารละลายนั้นนำไฟฟ้าหรือไม่

การนำไฟฟ้าของสารละลายจะเกิดขึ้นเมื่อมีไอออนอยู่ในสารละลายสามารถสังเกต

ได้จาก 1) ความสว่างของหลอดไฟ หรือ 2) มีค่ากระแสไฟฟ้าเมื่อวัดด้วยแอมมิเตอร์

3) จงบอกวิธีการทดสอบความเป็นกรด-เบสด้วยกระดาษลิตมัส พร้อมทั้งอธิบายการแปลความหมายของผลการทดสอบ

ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสสีน้ำเงิน สีน้ำเงิน $\rightarrow$ สีแดง แสดงว่า เป็นกรด

ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสสีแดง สีแดง $\rightarrow$ สีน้ำเงิน แสดงว่า เป็นเบส

ถ้ากระดาษลิตมัสสีน้ำเงิน ไม่เปลี่ยน กระดาษลิตมัสสีแดง ไม่เปลี่ยนแสดงว่าสารละลายมีสมบัติเป็นกลาง

ใบงานที่ 1.2 สิ่งที่เราจะรู้ก่อนเรียน

คำชี้แจง: ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้ (ภายในเวลา 5 นาที)

ข้อ 1 จงบอกความหมายของสารละลายอิเล็กโทรไลต์และสารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์ตามความเข้าใจของนักเรียน

ข้อ 2 จงตอบคำถามในช่องว่าง และทำเครื่องหมาย ✓ หน้าคำตอบที่ตรงกับความคิดเห็น
นักเรียน (อาจเลือกได้มากกว่า 1 คำตอบ)

2.1 สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด เช่น

☐ นำไฟฟ้าได้ ☐ นำไฟฟ้าไม่ได้

2.2 สารละลายที่มีสมบัติเป็นเบส เช่น

☐ นำไฟฟ้าได้ ☐ นำไฟฟ้าไม่ได้

2.3 สารละลายที่มีสมบัติเป็นกลาง เช่น

☐ นำไฟฟ้าได้ ☐ นำไฟฟ้าไม่ได้

ใบงานที่ 1.3

การทดลองเรื่อง สมบัติของสารรอบตัว

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. ตั้งสมมติฐาน กำหนดตัวแปร กำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ทดลอง และสรุปผลการทดลองเพื่อจำแนกสารละลายชนิดต่าง ๆ ตามสมบัติการนำไฟฟ้าและความเป็นกรด-เบส
2. เพื่อสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-เบสกับการนำไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาสมบัติของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และสารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์
4. เพื่อให้เกิดความรู้สึกรู้สึกและชอบทำการทดลองทางเคมี

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี (ต่อกลุ่ม)

ชุดตรวจการนำไฟฟ้า	กระดาษลิตมัส
HCl 0.1 M จากน้ำยาล้างห้องน้ำ	CH ₃ COOH 0.1 M จากน้ำส้มสายชู
C ₆ H ₁₀ O ₈ 0.1 M จากน้ำมะนาว	NaHCO ₃ 0.1 M จากเบกกิ้งโซดา
NaOH 0.1 M จากโซดาไฟ	NaCl 0.1 M จากเกลือแกง
C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (Sucrose) 0.1 M จากน้ำตาลทราย	C ₂ H ₅ OH (เอทานอล) 0.1 M จากแอลกอฮอล์ล้างแผล

คำถาม (1) สารเหล่านี้สามารถจำแนกได้เป็นกี่ประเภท อะไรบ้างพร้อมบอกเกณฑ์ในการจำแนก

(2) ความเป็นกรด-เบส มีความสัมพันธ์กับการนำไฟฟ้าของสารหรือไม่ อย่างไร

สมมติฐาน (ตัวอย่างของสมมติฐาน)

- สารตัวอย่างเหล่านี้ สามารถจำแนกโดยใช้การนำไฟฟ้าเป็นเกณฑ์ ได้เป็น 2 กลุ่มคือ นำไฟฟ้า และ ไม่นำไฟฟ้า (หรืออาจจำแนกได้ 3 กลุ่มคือ นำไฟฟ้าได้มาก นำไฟฟ้าได้น้อย และไม่นำไฟฟ้า)
- สารตัวอย่างเหล่านี้ สามารถจำแนกโดยใช้สมบัติความเป็นกรด-เบส ได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กรด เบส และกลาง
- สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรดและเบส สามารถนำไฟฟ้าได้ทุกตัว แต่สารละลายที่มีสมบัติเป็นกลางอาจนำไฟฟ้าหรือไม่นำไฟฟ้าก็ได้ หรือ สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด เบส และกลางบางตัวอาจนำไฟฟ้าได้ บางตัวอาจไม่นำไฟฟ้า

ตัวแปรต้น (ตัวอย่าง) สารละลายชนิดต่าง ๆ

ตัวแปรตาม (ตัวอย่าง) การนำไฟฟ้า และ ความเป็นกรด-เบส

ตัวแปรควบคุม (ตัวอย่าง) ปริมาณของสาร ความเข้มข้นของสาร อุณหภูมิ

นิยามเชิงปฏิบัติการ (ตัวอย่าง)

- การนำไฟฟ้า คือ เมื่อทดสอบด้วยชุดตรวจการนำไฟฟ้าแล้ว ถ้านำไฟฟ้าคือหลอดไฟสว่าง นำไฟฟ้าได้มาก หลอดไฟสว่างมาก นำไฟฟ้าได้น้อยหลอดไฟสว่างน้อย ถ้าไม่นำไฟฟ้าหลอดไฟจะไม่สว่าง
- ความเป็นกรด-เบสคือ เมื่อทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสสีน้ำเงินแล้วเปลี่ยนเป็นสีแดงแสดงว่าเป็นกรด เปลี่ยนกระดาษลิตมัสสีแดงเป็นสีน้ำเงิน แสดงว่าเป็นเบส ไม่เปลี่ยนสีของกระดาษลิตมัสทั้งสองสีแสดงว่าเป็นกลาง

วิธีการทดลอง (ตัวอย่าง)

1. นำสารละลายแต่ละชนิดมาทดสอบความเป็นกรดเบสด้วยกระดาษลิตมัส สังเกต บันทึกผล
2. นำสารละลายแต่ละชนิดมาทดสอบการนำไฟฟ้าด้วยชุดตรวจการนำไฟฟ้า สังเกต บันทึกผล
3. ดูความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-เบส และการนำไฟฟ้า

บันทึกผล (ตัวอย่าง)

สารละลายในชีวิตประจำวัน(สารสำคัญ)	ความเป็นกรด-เบส	การนำไฟฟ้า
น้ำยาล้างห้องน้ำ (HCl)	กรด	นำไฟฟ้าได้(ดีมาก)
น้ำส้มสายชู (CH ₃ COOH)	กรด	นำไฟฟ้าได้(น้อย)
น้ำมะนาว (C ₆ H ₁₀ O ₈ ;Citric acid)	กรด	นำไฟฟ้าได้(น้อย)
น้ำตาลทราย (C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)	กลาง	ไม่นำไฟฟ้า
เอทานอล (C ₂ H ₅ OH)	กลาง	ไม่นำไฟฟ้า
เกลือแกง (NaCl)	กลาง	นำไฟฟ้าได้(ดีมาก)
เบกกิ้งโซดา (NaHCO ₃)	เบส	นำไฟฟ้าได้(ดีมาก)
โซดาไฟ (NaOH)	เบส	นำไฟฟ้าได้(ดีมาก)

สรุปผล (ตัวอย่าง)

- ถ้าใช้การนำไฟฟ้าเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งสารละลายได้เป็น 3 ประเภท คือ
 - (1) สารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดี ได้แก่ น้ำยาล้างห้องน้ำ (HCl) โซดาไฟ (NaOH) เกลือแกง (NaCl) เบกกิ้งโซดา (NaHCO₃)
 - (2) สารละลายที่นำไฟฟ้าได้น้อย ได้แก่ น้ำส้มสายชู (CH₃COOH) และน้ำมะนาว(Citric acid)
 - (3) สารละลายที่ไม่นำไฟฟ้า ได้แก่ น้ำตาล (C₁₂H₂₂O₁₁) เอทานอล (C₂H₅OH)
 หรือ อาจแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ สารละลายที่นำไฟฟ้าได้ ได้แก่ น้ำยาล้างห้องน้ำ โซดาไฟ เกลือแกง เบกกิ้งโซดา น้ำส้มสายชู น้ำมะนาว และ สารละลายที่ไม่นำไฟฟ้า ได้แก่ น้ำตาล และเอทานอล
- ถ้าใช้สมบัติความเป็นกรด-เบสเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งสารละลายได้เป็น 3 ประเภท คือ (1) กรด ซึ่ง ได้แก่ น้ำยาล้างห้องน้ำ น้ำส้มสายชู น้ำมะนาว (2) เบส ได้แก่ โซดาไฟ เบกกิ้งโซดา และ (3) กลาง ได้แก่ เกลือแกง น้ำตาล เอทานอล
 - สารละลายที่นำไฟฟ้าได้ อาจมีสมบัติเป็นกรด เบส หรือเป็นกลางก็ได้
 - สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรดและเบสทุกชนิด สามารถนำไฟฟ้าได้

บันทึก (คำศัพท์ใหม่)

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือ สารละลายที่นำไฟฟ้าได้

สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์ คือ สารละลายที่นำไฟฟ้าไม่ได้

สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่ คือ สารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดีหรือดีมาก

สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน คือ สารละลายที่นำไฟฟ้าได้น้อย

ใบความรู้ เรื่อง ทักษะที่จำเป็นสำหรับการสืบเสาะหาความรู้

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นทักษะที่มีความสำคัญต่อการแสวงหาความรู้และการเรียนรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางธรรมชาติของนักวิทยาศาสตร์

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ประกอบด้วย 13 ทักษะ โดยแบ่งออกเป็นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐาน 8 ทักษะ ได้แก่ การสังเกต การวัด การจำแนกประเภท การหาความสัมพันธ์ระหว่างมีติดกับมิติและมิติกับเวลา การสื่อความหมายข้อมูล การลงความคิดเห็น การใช้ตัวเลข และการพยากรณ์ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ 5 ทักษะ ได้แก่ การตั้งสมมติฐาน การกำหนดและควบคุมตัวแปร การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การทดลอง และการแปลความหมายข้อมูลและสรุปผลการทดลอง

ทักษะที่มีความสำคัญและจำเป็นที่จะต้องพัฒนาฝึกฝนให้เกิดขึ้นกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย คือ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ 5 ทักษะ โดยมีแนวทางในการปฏิบัติเพื่อช่วยในการสืบเสาะหาความรู้ ดังต่อไปนี้

1. การตั้งสมมติฐาน

สมมติฐาน เป็นการคาดคะเนคำตอบของปัญหาที่ต้องการศึกษาล่วงหน้า โดยอิงจากการรวบรวมข้อมูลหรือประสบการณ์เดิมที่มีอยู่หรือที่ได้เคยพบเห็นในชีวิตประจำวัน ซึ่งการเขียนสมมติฐานนั้นต้องแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม โดยสมมติฐานที่ตั้งขึ้นนั้นอาจจะถูกหรือผิดก็ได้ จึงจำเป็นต้องมีการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่ได้ตั้งขึ้น และสมมติฐานมีหลายข้อก็ได้

ตัวอย่างที่ 1 เรอยากรู้ว่า จำนวนของเม็ดลูกอมมีผลต่อการละลายหรือไม่

สมมติฐาน คือ จำนวนของลูกอมยิ่งมาก ยิ่งทำให้ความสามารถในการละลายของลูกอมลดลง หรือจำนวนลูกอมมากขึ้น การละลายจนหมดใช้เวลามากขึ้น เป็นต้น

ซึ่งจะเห็นข้อความในสมมติฐานมีทั้งตัวแปรต้นคือ จำนวนของลูกอม และตัวแปรตามคือ ความสามารถในการละลาย หรือ ระยะเวลาที่ใช้ในการละลาย

ตัวอย่างที่ 2 เรอยากรู้ว่า ลูกทรงกลมเหล็กและทรงกลมพลาสติกขนาดเท่ากันแต่มีมวลต่างกัน เมื่อใส่ในกระบอกตวงจะทำให้ระดับน้ำต่างกันหรือไม่

สมมติฐาน 1 มวลของลูกทรงกลมเหล็กซึ่งมากกว่ามวลลูกทรงกลมพลาสติกที่มีปริมาตรเท่ากัน ทำให้การเพิ่มของระดับน้ำในกระบอกตวงต่างกัน

สมมติฐาน 2 ลูกทรงกลมเหล็กซึ่งมีมวลมากกว่าจะทำให้ระดับน้ำในกระบอกตวงสูงกว่าลูกทรงกลมพลาสติกที่มีปริมาตรเท่ากัน

2. การกำหนดตัวแปร

ในการทดลองหรือการสืบเสาะหาความรู้ใด ๆ ควรจะเลือกตัวแปรเพียงตัวเดียวที่จะทำการเปลี่ยนแปลงและทำการวัดผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนตัวแปรนั้น ส่วนตัวแปรอื่นๆ จะเป็นตัวแปรควบคุม (ถ้าการทดลองมีตัวแปรต้นหลายตัว ต้องทำการเปลี่ยนตัวแปรทีละตัวแปร) ดังนั้นก่อนที่จะลงมือทำการทดลอง จะต้องกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ก่อน ดังนี้

ตัวแปรต้น (Independent Variable) คือ สิ่งที่เราจะทำการเปลี่ยนแปลงให้แตกต่างไปจากเดิม และทำให้เกิดผลต่าง ๆ ตามมา

ตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ สิ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต้น

ตัวแปรควบคุม (Controlled Variable) คือ สิ่งต่างๆ ที่อาจมีผลต่อตัวแปรตามที่ต้องควบคุมไว้ให้คงที่

ตัวอย่างเช่น การทดลองเกี่ยวกับ จำนวนของเม็ดลูกอมมีผลต่อการละลายหรือไม่

ตัวแปรต้น คือ จำนวนเม็ดลูกอม

ตัวแปรตาม คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการละลายของลูกอม

ตัวแปรควบคุมคือ ปริมาตรน้ำ อุณหภูมิ สีของลูกอม ชนิดของลูกอม

3. การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ

การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ เป็นกำหนดความหมายและขอบเขตของคำหรือตัวแปรต่าง ๆ (ที่อยู่ในสมมติฐานที่ต้องการทดลอง) ให้เข้าใจตรงกัน สามารถสังเกตและวัดได้ โดยให้คำอธิบายเกี่ยวกับการทดลองและบอกวิธีวัดตัวแปรที่เกี่ยวกับการทดลองนั้น เช่น

ตัวอย่างที่ 1 ในสมมติฐานข้างต้นที่ว่า จำนวนของลูกอมยิ่งมาก ยิ่งทำให้ความสามารถในการละลายของลูกอมลดลง คำว่า “ความสามารถในการละลาย” จะลดลง หรือ เพิ่มขึ้น เป็นคำที่ยังวัดหรือยังสังเกตไม่ได้ ดังนั้นเราจึงต้องกำหนดความหมายของคำนี้ให้สามารถวัดหรือสังเกตได้

“ความสามารถในการละลาย” คือ ความเร็ว-ช้าในการละลายของสารจนเป็นสารละลายหมด โดยวัดจากเวลาที่ใช้ในการละลายจนหมด ถ้าใช้เวลาน้อยลง(เมื่อจำนวนเม็ดลูกอมเพิ่มขึ้น) แสดงว่ามีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใช้เวลามากขึ้น(เมื่อจำนวนเม็ดลูกอมเพิ่มขึ้น) แสดงว่ามีความสามารถในการละลายลดลง

ตัวอย่างที่ 2 การกำหนดนิยามของคำว่า การเจริญเติบโต เช่น

การเจริญเติบโต คือ ความสูงเพิ่มขึ้น จำนวนใบเพิ่มขึ้น และน้ำหนักเพิ่มขึ้น หรือ

การเจริญเติบโต คือ เมื่อวัดความสูงแล้วสูงมากขึ้น หรือ

การเจริญเติบโต คือ เมื่อชั่งน้ำหนักแล้วน้ำหนักเพิ่มขึ้น

4. การทดลอง

การทดลองเป็น การปฏิบัติการเพื่อหาคำตอบของปัญหา โดยการสร้างเหตุการณ์หรือสถานการณ์จำลองขึ้นมาอย่างหนึ่งเพื่อที่จะสังเกตผลที่เกิดขึ้นภายใต้ปัญหาที่กำหนด

ก่อนลงมือทำการสำรวจ สืบค้น หรือ เสาะหาความรู้ควรมีการวางแผนออกแบบการทดลองโดยควรออกแบบให้สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ รวมถึงออกแบบตารางที่ใช้ในการบันทึกผลไว้ล่วงหน้าด้วย ซึ่งในตารางบันทึกผลจะประกอบด้วยตัวแปรต้นและตัวแปรตาม

ตัวแปรต้น

ชนิดกระดาษชำระ	ปริมาณน้ำที่ซึมซับ (cm ³)
สก๊อต	
ซิลล์	

ตัวแปรตามที่จะทำการบันทึกผล

ค่าที่ได้จากการวัดให้ใส่หน่วยกำกับด้วย

สามารถเขียนชนิดของตัวแปรต้นที่ต้องการสำรวจก่อนลงมือทำได้

5. การแปลความหมายข้อมูลและสรุปผลการทดลอง

การแปลความหมายเป็นการนำข้อมูลที่บันทึกได้ มาจัดให้อยู่ในรูปแบบใหม่ที่เข้าใจง่าย ทำให้เกิดความชัดเจนเพื่อนำไปสู่การสรุปผลมากขึ้น ด้วยวิธีการ เช่น หาค่าเฉลี่ย เขียนให้อยู่ในรูปของกราฟ จัดระบบข้อมูล การคำนวณผล เป็นต้น

การสรุปผลการทดลองเป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตามที่เป็นผลลัพธ์จากการสืบค้น หรืออธิบายเกี่ยวกับคำตอบของคำถามที่อยากจะรู้ก็ได้ แต่การสรุปผลต้องอยู่หลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้จากการทดลอง

ใบความรู้

เรื่อง รู้ได้อย่างไร? เป็นสารอิเล็กโทรไลต์หรือนอนอิเล็กโทรไลต์

	สารอิเล็กโทรไลต์แก่	สารอิเล็กโทรไลต์อ่อน	สารนอนอิเล็กโทรไลต์
สารประกอบไอออนิก	ทุกตัวที่ละลายน้ำได้	-	-
สารประกอบโคเวเลนต์	กรดแก่ เบสแก่	กรดอ่อน เบสอ่อน	สารประกอบโคเวเลนต์ อื่น ๆ ที่เหลือ

ตาราง 5 สรุปกลุ่มสารที่จัดเป็นสารอิเล็กโทรไลต์และสารนอนอิเล็กโทรไลต์

การพิจารณาว่าสารใดจัดเป็นสารอิเล็กโทรไลต์หรือนอนอิเล็กโทรไลต์ มีเกณฑ์ในการพิจารณา ดังนี้

1. สารอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่ สารที่ละลายน้ำแล้วมีสมบัติเป็นกรดและเบสทุกชนิด และสารประกอบไอออนิกที่มีสมบัติเป็นกลาง โดยแบ่งเป็น

1.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่ ได้แก่

- สารที่มีสมบัติเป็นกลางและเป็นสารประกอบไอออนิกทุกชนิด(ที่ละลายน้ำได้)

- กรดแก่ มี 6 ตัว ได้แก่

HCl, HBr, HI, H₂SO₄, HNO₃, และ HClO₄

- เบสแก่ ได้แก่ ไฮดรอกไซด์ของโลหะหมู่ IA และ IIA (ตั้งแต่ Ca เป็นต้นไป)

(LiOH, NaOH, KOH, RbOH, CsOH, Ca(OH)₂, Ba(OH)₂, Sr(OH)₂)

1.2 สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน ได้แก่

- กรดอ่อน

แบ่งเป็น (1) สารอินทรีย์ เช่น HF H₂CO₃ HNO₂ (2) สารอินทรีย์

กลุ่มกรดคาร์บอกซิลิก (มี-COOH อยู่ในโมเลกุล) เช่น HCOOH (กรดมด), CH₃COOH (กรดน้ำส้ม)

- เบสอ่อน

ได้แก่ ไฮดรอกไซด์ของโลหะที่ไม่ใช่หมู่ IA และ IIA เช่น Fe(OH)₂

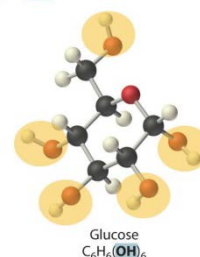
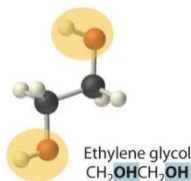
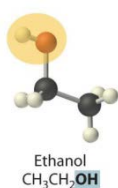
Al(OH)₃ แอมโมเนีย (NH₃) หรือ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH₄OH) และสารอินทรีย์กลุ่มเอมีน (มี-NH₂) อยู่ในโมเลกุล เช่น CH₃NH₂ เป็นต้น

2. สารนอนอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่ สารอินทรีย์กลุ่มแอลกอฮอล์ (มีหมู่-OH อยู่ในโมเลกุล)

อัลดีไฮด์ (-COH) และ คีโตน (-CO-) ซึ่งมักจะมีหมู่ OH- อยู่ในโมเลกุล หรือ เกิดการสร้างพันธะ

ไฮโดรเจนกับน้ำได้ ทำให้ละลายน้ำได้ แต่โมเลกุลของสารเหล่านี้ไม่แตกตัวเป็นไอออน จึงนำไฟฟ้า

ไม่ได้ เช่น C₆H₁₂O₆ (น้ำตาลกลูโคส) C₁₂H₂₂O₁₁ (น้ำตาลทราย) CH₃CH₂OH (เอทานอล) CH₃OH (เมทานอล) เป็นต้น



ใบงานที่ 1.4 เพราะเหตุใดสารละลายแต่ละชนิดจึงนำไฟฟ้าได้ต่างกัน?

ข้อ 1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์

ข้อ 1.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่

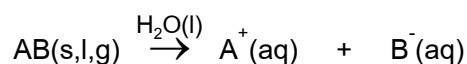


สิ่งที่สังเกตได้จากการทดลอง(ระดับมหภาค)



คำอธิบาย(ระดับอนุภาค)

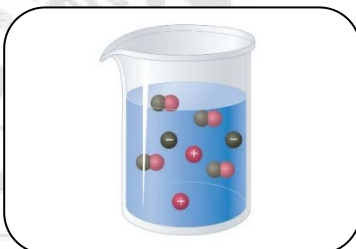
สิ่งที่ใช้แทนคำอธิบายในระดับอนุภาค (ระดับสัญลักษณ์)



ข้อ 1.2 สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน



สิ่งที่สังเกตได้จากการทดลอง(ระดับมหภาค)



คำอธิบาย(ระดับอนุภาค)

สิ่งที่ใช้แทนคำอธิบายในระดับอนุภาค (ระดับสัญลักษณ์)



ข้อ 2 สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์

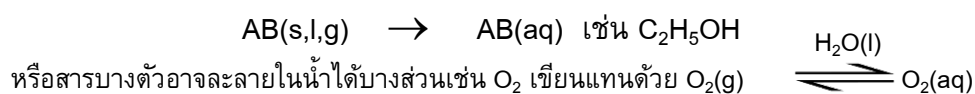


สิ่งที่สังเกตได้จากการทดลอง(ระดับมหภาค)



คำอธิบาย(ระดับอนุภาค)

สิ่งที่ใช้แทนคำอธิบายในระดับอนุภาค (ระดับสัญลักษณ์)



เกณฑ์การให้คะแนน คือ ถูกต้อง=1 ผิด=0 ในการตอบแต่ละตำแหน่ง(ตัวแทนแนวคิด)

(ภาพสำหรับใบงานที่ 1.3)



$AB(s,l,g) \xrightarrow{H_2O(l)} A^+(aq) + B^-(aq)$
$AB(s,l,g) \rightleftharpoons A^+(aq) + B^-(aq)$
$AB(s,l,g) \xrightarrow{H_2O(l)} AB(aq)$





$AB(s,l,g) \xrightarrow{H_2O(l)} A^+(aq) + B^-(aq)$
$AB(s,l,g) \rightleftharpoons A^+(aq) + B^-(aq)$
$AB(s,l,g) \xrightarrow{H_2O(l)} AB(aq)$





$AB(s,l,g) \xrightarrow{H_2O(l)} A^+(aq) + B^-(aq)$
$AB(s,l,g) \rightleftharpoons A^+(aq) + B^-(aq)$
$AB(s,l,g) \xrightarrow{H_2O(l)} AB(aq)$



ที่มาภาพ: 1) http://catalog.flatworldknowledge.com/bookhub/4309?e=averill_1.0-ch04_s01

2) <http://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/s08-01-aqueous-solutions.html>

ใบงานที่ 1.5 สิ่งที่ฉันได้เรียนรู้

คำชี้แจง ให้นักเรียนเขียนสรุปองค์ความรู้ในกรอบด้านล่างนี้ (10 คะแนน)

ประเด็นที่ 1 สารอิเล็กโทรไลต์และสารนอนอิเล็กโทรไลต์แตกต่างกันอย่างไร (2 คะแนน)

สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนและนำไฟฟ้าได้ เรียกว่า สารอิเล็กโทรไลต์ ส่วนสารที่ละลายน้ำแล้วไม่แตกตัวเป็นไอออนและไม่นำไฟฟ้า จัดเป็นสารนอนอิเล็กโทรไลต์

ประเด็นที่ 2 สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่ สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน และสารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์แตกต่างกันอย่างไร (4 คะแนน)

สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์ คือ สารละลายที่ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้เพราะไม่มีไอออนอยู่ในสารละลาย แต่สารละลายอิเล็กโทรไลต์สามารถนำไฟฟ้าได้เพราะมีไอออนอยู่ในสารละลาย ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ (1) สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่เป็นสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดีเพราะมีไอออนอยู่ในสารละลายมาก และ (2) สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน เป็นสารละลายที่นำไฟฟ้าได้น้อยเพราะมีไอออนอยู่ในสารละลายน้อย

การเขียนสมการของสารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่จะใช้ลูกศรทางเดียว เนื่องจากแตกตัวเป็นไอออนได้หมดหรือเกือบหมดและผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของไอออน สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อนเมื่อละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนได้บางส่วนยังมีสารตั้งต้นเหลืออยู่ทำให้เกิดสมดุล ดังนั้นจะใช้ลูกศรสองทาง และผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของไอออน แต่สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์ไม่มีไอออนดังนั้นใช้ลูกศรทางเดียวและผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปโมเลกุลของสารตั้งต้นเหมือนเดิม

ประเด็นที่ 3 สารละลายอิเล็กโทรไลต์มีสมบัติความเป็นกรด-เบส อย่างไร สารละลายกรดและเบสจัดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์หรือไม่ เพราะเหตุใด (2 คะแนน)

สารละลายอิเล็กโทรไลต์อาจมีสมบัติเป็นกรด เบส และกลาง สารละลายกรดและเบสทุกชนิดจัดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เพราะนำไฟฟ้าได้

ประเด็นที่ 4 จะทราบได้อย่างไรว่าเป็นสารอิเล็กโทรไลต์หรือนอนอิเล็กโทรไลต์ (2 คะแนน)

การระบุประเภทของสารอิเล็กโทรไลต์โดยไม่ต้องทำการทดลอง พิจารณาจาก (1) สารอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่ สารที่ละลายน้ำแล้วมีสมบัติเป็นกรดและเบสทุกชนิด และสารประกอบไอออนิกที่มีสมบัติเป็นกลาง (2) สารนอนอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่ สารอินทรีย์กลุ่มแอลกอฮอล์ (มีหมู่-OH อยู่ในโมเลกุล) อัลดีไฮด์ (-COH) และ คีโตน (-CO-)

เกณฑ์การให้คะแนน

- เขียนมโนทัศน์ถูกต้อง = 2 คะแนน
- เขียนมโนทัศน์ถูกต้องบางส่วน = 1 คะแนน
- เขียนมโนทัศน์ผิดหรือคลาดเคลื่อน หรือไม่เขียน = 0 คะแนน

ใบงานที่ 1.6 ฉันท้ใจสารละลายอิเล็กโทรไลต์แค่ไหน?

(เฉลยและการตรวจให้คะแนน)

ข้อ 1 เพราะเหตุใด เราจึงสามารถช้อนปลาในแม่น้ำลำคลองได้ (2 คะแนน)



ที่มาภาพ <http://m.dmc.tv/dhamma/index.php?action=page&id=2956>

แนวคำตอบ เพราะน้ำในแม่น้ำลำคลองเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ มีไอออนต่าง ๆ อยู่มากมาย ทำให้น้ำในแม่น้ำลำคลองสามารถนำไฟฟ้าได้ เราจึงใช้กระแสไฟฟ้าในการช้อนปลาเพื่อจับปลาเป็นอาหารได้

ข้อ 2 เพราะเหตุใด สารละลายอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่รถยนต์จึงไม่ใช้กรดอ่อน เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) แต่ใช้กรดแก่ เช่น กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)

แนวคำตอบ เพราะกรดอะซิติก เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน ส่วนกรดซัลฟูริกเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่ มีไอออนอยู่ในสารละลายมากและสามารถนำไฟฟ้าได้ดีมาก

เกณฑ์การให้คะแนนข้อ 1-2

จุดประสงค์ที่ 4 อธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันโดยใช้นิเทศน์เกี่ยวกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้

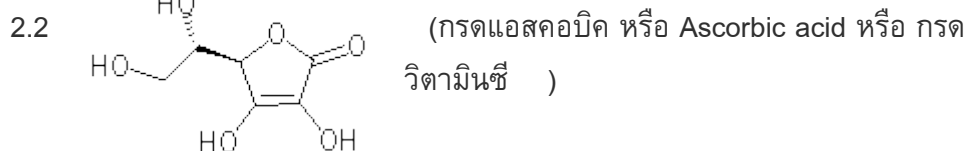
รายการประเมิน	คะแนน
ตอบถูกต้อง และ เขียนคำอธิบายถูกต้องหรือใกล้เคียง	2
ตอบถูกต้อง แต่ ให้เหตุผลผิด หรือ ไม่ให้เหตุผล หรือ ตอบผิด แต่ให้เหตุผลถูกต้องหรือใกล้เคียง	1
ตอบผิดทั้งสองที่ หรือ เขียนไม่สมบูรณ์ หรือ ไม่ตอบ	0

ข้อ 3 พิจารณาสสูตรของสารต่อไปนี้ แล้วระบุว่าจัดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่ สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน หรือ สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์ พร้อมให้เหตุผลประกอบ

2.1 CsCl (ซีเซียมคลอไรด์, cesium chloride)

จัดเป็น ...สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่.....

เพราะ ...เป็นสารประกอบไอออนิก สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้หมด.....



จัดเป็น ...สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน.....

เพราะ ...เป็นกรดอ่อน มี COOH ในโมเลกุล.....

2.3 CH₃OH (เมทานอล หรือ เมทิลแอลกอฮอล์, methanol)

จัดเป็น ...สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์.....

เพราะ ...เป็นสารกลุ่มแอลกอฮอล์ ละลายน้ำได้ แต่ไม่แตกตัวเป็นไอออน.....

2.4 Al(OH)₃ (อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์, aluminium hydroxide)

จัดเป็น ...สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน.....

เพราะ ...เป็นเบสอ่อน.....

2.5 HClO₄ (กรดเปอร์คลอริก, perchloric acid)

จัดเป็น ...สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่.....

เพราะ ...เป็นกรดแก่.....

เกณฑ์การให้คะแนน

จุดประสงค์ที่ 5 ระบุประเภทของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เมื่อกำหนดสารมาให้ได้

รายการประเมิน	คะแนน (ต่อ 1 ข้อย่อย)
ตอบถูกต้องและให้เหตุผลถูกต้อง	2
ตอบถูกต้อง แต่ ให้เหตุผลผิด หรือ ไม่ให้เหตุผล หรือ ตอบผิด แต่ให้เหตุผลถูกต้องหรือใกล้เคียง	1
ตอบผิดและให้เหตุผลผิด หรือ ไม่ตอบ	0

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 การแตกตัว
เรื่อง การแตกตัวของน้ำ

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
เวลา 150 นาที

1. จุดประสงค์การเรียนรู้

นักเรียนสามารถ

- 1) อธิบายการแตกตัวและการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์ได้
- 2) ออกแบบและดำเนินการสำรวจตรวจสอบเกี่ยวกับสมบัติของน้ำบริสุทธิ์ได้
- 3) อธิบายผลของอุณหภูมิต่อการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำทั้งในระดับมหภาค อนุภาค และสัญลักษณ์ได้
- 4) อธิบายค่าคงที่การแตกตัวของน้ำและใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ในสารละลายได้
- 5) อธิบายการเปลี่ยนแปลงภาวะสมดุลของน้ำเมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปทั้งในระดับมหภาค อนุภาค และสัญลักษณ์ได้
- 6) อธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันโดยใช้นิเทศน์เกี่ยวกับการแตกตัวของน้ำได้

2. มโนทัศน์

น้ำบริสุทธิ์แตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) น้อยมาก ทำให้น้ำบริสุทธิ์นำไฟฟ้าได้น้อยมาก ปริมาณการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำขึ้นกับอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิสูงน้ำแตกตัวเป็นไอออนได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ (K_w) มีค่ามากกว่าและมีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

ค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ (K_w) = $[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$ การบอกค่า K_w ต้องระบุอุณหภูมิด้วย

ที่อุณหภูมิ 25°C น้ำบริสุทธิ์มีค่าคงที่การแตกตัวเท่ากับ 1.0×10^{-14} แตกตัวให้ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ และ $[\text{OH}^-]$ อย่างละ $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$ เท่ากัน ดังนั้นน้ำบริสุทธิ์จะมีค่า $\text{pH} = 7$ ที่อุณหภูมิ 25°C เท่านั้น แต่น้ำบริสุทธิ์จะมีสมบัติเป็นกลางเสมอเพราะแตกตัวให้ H_3O^+ และ OH^- ในปริมาณที่เท่ากันเสมอ

การเติมกรดหรือเบสลงในน้ำเป็นการรบกวนภาวะสมดุลของน้ำ ทำให้ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ หรือ $[\text{OH}^-]$ เปลี่ยนแปลงไปในสัดส่วนที่จะรักษาค่าคงที่การแตกตัวของน้ำให้เท่ากับ 1.0×10^{-14} เสมอที่อุณหภูมิ 25°C เมื่อเติมกรดลงในน้ำจะทำให้สารละลายมีสมบัติเป็นกรดเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสสีน้ำเงินเป็นแดง เนื่องจากที่สมดุลใหม่ $[\text{H}_3\text{O}^+] > 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$, $[\text{OH}^-] < 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$ เมื่อเติมเบสลงในน้ำจะทำให้

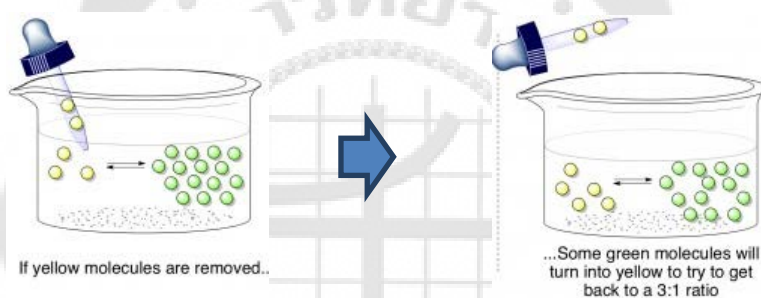
สารละลายมีสมบัติเป็นเบสเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน เนื่องจากที่สมดุลใหม่ $[H_3O^+] < 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$, $[OH^-] > 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$

3. กระบวนการจัดกิจกรรม

ขั้นที่ 1 เกริ่นนำ

35 นาที

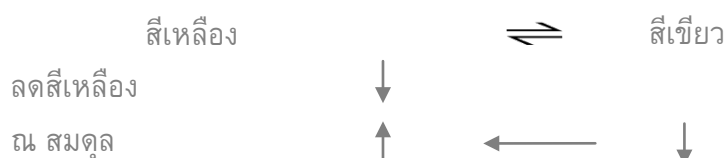
- 1) นักเรียนสลับกลุ่มกันตรวจให้คะแนนใบงานที่ 2.5 และส่งกลับคืนให้เพื่อน
- 2) นักเรียนทบทวนความรู้เกี่ยวกับไอออนในสารละลายกรดและเบส และทฤษฎีกรด-เบส ครูให้คำชมเชยถ้านักเรียนเข้าใจถูกต้องดีแล้ว หรือครูอธิบายเพิ่ม/ใช้การถาม-ตอบเพื่อแก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อน
- 3) นักเรียนอภิปรายเพื่อทบทวนความรู้พื้นฐานที่จำเป็นต่อการเรียนเรื่องนี้ร่วมกัน ตามประเด็นต่อไปนี้ ครูคอยช่วยอธิบายเพิ่มเติม
พิจารณาภาพต่อไปนี้



3.1) จากภาพ ภาวะสมดุลถูกรบกวนด้วยปัจจัยใด (ความเข้มข้น)

3.2) เราปรับภาวะสมดุลของปฏิกิริยานี้ โดยลดความเข้มข้นของโมเลกุลสีเหลือง หรือเอาโมเลกุลสีเหลืองออกจากระบบ เราจะอธิบายสมดุลใหม่ที่เกิดขึ้นอย่างไร (จากหลักเลอชาเตอริเย กล่าวว่า “เมื่อระบบที่อยู่ในภาวะสมดุล ถูกรบกวนโดยการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลของระบบ ระบบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่จะลดผลของการรบกวนนั้น ดังนั้น สมดุลจะปรับไปทางซ้ายเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของโมเลกุลสีเหลือง ทำให้เมื่อเข้าสู่ภาวะอีกครั้ง ความเข้มข้นของโมเลกุลสีเหลืองเพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มข้นของโมเลกุลสีเขียวลดลงเมื่อเทียบกับตอนแรก แต่ค่า K ยังคงเท่าเดิม)

3.3) จะเขียนแสดงด้วยสมการเคมีได้อย่างไร



3.4) ในระดับมหภาค ที่นักเรียนสังเกตเห็นได้ ผลการสังเกตก่อนรบกวนและหลังรบกวนภาวะสมดุลเป็นอย่างไร (ก่อนรบกวนเห็นเป็นสีเขียวเหลือง หลังรบกวนจะได้สีเขียวปนเหลือง ซึ่งจะออกสีเหลืองมากขึ้นกว่าเดิม)

4) ครูแสดงขวดน้ำกลั่น (น้ำบริสุทธิ์) นักเรียนตอบคำถาม ดังนี้

4.1) เราสามารถพบน้ำบริสุทธิ์ได้จากที่ไหนบ้าง น้ำบริสุทธิ์แตกต่างจากน้ำปกติที่เราใช้ อย่างไร (น้ำปกติมีไอออนต่างๆ เจือปนอยู่ แต่น้ำบริสุทธิ์หรือน้ำกลั่นไม่มีไอออนอื่นๆ เจือปน)

4.2) ถ้ามีอุปกรณ์คือ ชุดตรวจการนำไฟฟ้าแบบไมโครแอมมิเตอร์ นักเรียนอยากรู้อะไรเกี่ยวกับบริสุทธิ์ (น้ำบริสุทธิ์นำไฟฟ้าได้หรือไม่ อย่างไร น้ำบริสุทธิ์และน้ำประปา การนำไฟฟ้าแตกต่างกันหรือไม่)

4.3) ถ้ามีชุดตะกั่วแก๊สแอลกอฮอล์ เทอร์มอมิเตอร์ สารละลายกรด สารละลายเบส นักเรียนนำเสนอคำถามที่อยากรู้ (ถ้าน้ำบริสุทธิ์นำไฟฟ้าได้ อุณหภูมิมีผลต่อการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์หรือไม่ ถ้าเติมกรดหรือเบสลงไปในน้ำบริสุทธิ์ น้ำบริสุทธิ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร)

4.4) นักเรียนและครูช่วยกันปรับคำถามให้เป็นคำถามที่สามารถสำรวจตรวจสอบได้ (ครูศึกษาจากใบความรู้สำหรับครูก่อนสอน)

5) นักเรียนและครูร่วมกันกำหนดวัตถุประสงค์ของการเรียน ดังนี้ เพื่อศึกษาการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์ ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์ การเปลี่ยนแปลงเมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปในน้ำบริสุทธิ์ ความเป็นกรด-เบสและค่า pH ของน้ำบริสุทธิ์

ขั้นที่ 2 สำรวจความรู้เดิม

15 นาที

6) นักเรียนตอบคำถาม น้ำบริสุทธิ์นำไฟฟ้าได้หรือไม่ เพราะเหตุใด ในใบงานที่ 3.1

7) นักเรียนทำนายว่า ถ้าทดสอบการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์หลอดไฟจะสว่างหรือไม่ และเมื่อวัดด้วยไมโครแอมมิเตอร์ ผลจะเป็นอย่างไร ในใบงานที่ 3.1

8) ครูสาธิตการทดลอง นักเรียนสังเกตที่หลอดไฟและค่ากระแสไฟฟ้า บันทึกผลการสังเกตและอธิบายสิ่งที่เกิดว่าเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น ในใบงานที่ 3.1

9) นักเรียนแสดงความคิดเห็นต่อคำถามที่ว่า น้ำบริสุทธิ์มีสมบัติเป็นกลางเสมอ และน้ำบริสุทธิ์มีค่า pH เท่ากับ 7 เสมอ ในใบงานที่ 3.1

-----หมดเวลา 1 คาบ -----

ขั้นที่ 3 ทดลอง(ต่อ)

50 นาที

10) นักเรียนหนึ่งเป็นกลุ่มแบบคละความสามารถกลุ่มละ 4-5 คน จากนั้นนักเรียนและครูอภิปรายร่วมกันเพื่อทบทวนทักษะขั้นบูรณาการ 5 ทักษะที่จำเป็นสำหรับการสืบเสาะหาความรู้ จากนั้นแต่ละกลุ่มสะท้อนทักษะ/สิ่งที่กลุ่มตนเองต้องปรับปรุงจากการประเมินทักษะขั้นบูรณาการท้ายใบงานที่ 2.2 ด้วยตนเองและข้อเสนอแนะจากครู

11) แต่ละกลุ่มรับใบงานที่ 3.2 จากนั้นเลือกคำถาม(ที่สามารถสำรวจตรวจสอบได้หรือเชิงวิจัย) ที่กลุ่มสนใจจะศึกษาจากขั้นที่ 1 และสนทนากันเพื่อให้เข้าใจวัตถุประสงค์ของการทดลองของกลุ่มตนเอง

12) นักเรียนดำเนินการปฏิบัติการทดลอง (ชนิดเปิด) ดังต่อไปนี้

12.1) สมาชิกในกลุ่มช่วยกันลองคาดคะเนคำตอบ และตั้งเป็นสมมติฐาน ครูคอยให้คำชี้แนะ

12.2) สมาชิกในกลุ่มร่วมกันกำหนดตัวแปรที่จะศึกษา และกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปรตาม ครูคอยให้คำชี้แนะ

12.3) ออกแบบการทดลองและการบันทึกผลเพื่อตรวจสอบสมมติฐานของกลุ่มตนเอง จากนั้นทำการทดลองตามที่ออกแบบไว้ ระหว่างนี้ครูคอยอำนวยความสะดวกและให้คำชี้แนะ

12.4) นักเรียนสรุปผลการทดลอง ครูคอยชี้แนะเกี่ยวกับการสรุปผลให้สอดคล้องกับคำถามหรือสมมติฐาน โดยอิงจากหลักฐานจากการทดลอง

13) นักเรียนนำเสนอผลการทดลองเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ได้ เพื่อนและครูช่วยกันประเมินและให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการตั้งสมมติฐาน การกำหนดตัวแปร การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การออกแบบและทำการทดลอง และการสรุปผลการทดลองเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงครั้งต่อไป

14) นักเรียนแต่ละกลุ่มประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของกลุ่มตนเอง

15) นักเรียนสรุปผลการทดลองทั้งหมดร่วมกัน โดยตอบคำถาม ต่อไปนี้

- อุณหภูมิมีผลต่อการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์อย่างไร
- เมื่อเติมสารละลายกรดหรือเบสลงไปใ้ในน้ำบริสุทธิ์เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
- ประเด็นอื่นๆ

16) นักเรียนประเมินความสนุกหรือความชอบเกี่ยวกับการทดลองทางเคมี โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องใต้ภาพที่ตรงความรู้สึกรักของนักเรียนมากที่สุดเกี่ยวกับการทำการทดลองทางเคมี จากนั้นส่งต่อไปให้เพื่อนคนอื่นๆ ไปเรียงจนครบ

-----หมดเวลา 1 คาบ -----

ขั้นที่ 4 เชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดทางเคมี

35 นาที

17) นักเรียนสงสัยหรือไม่ว่า ทำไมน้ำบริสุทธิ์จึงนำไฟฟ้าได้น้อยมากและนำไฟฟ้าได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

18) สมาชิกในกลุ่มอภิปรายร่วมกันในประเด็นต่อไปนี้ (ใบงานที่ 3.3)

18.1) สิ่งที่เกิดขึ้นและวัดได้จากการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ และที่อุณหภูมิสูง

18.2) คำอธิบายของสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาค (นักเรียนลองสร้างคำอธิบายเองก่อน จากนั้นครูช่วยเหลือโดยการทำกิจกรรมในข้อ 19 และ 20)

18.3) เขียนแสดงสิ่งที่เกิดขึ้นแบบสั้นๆ ด้วยสมการเคมี

19) นักเรียนในห้องร่วมกันแสดงบทบาทสมมติ ดังนี้

19.1) ผู้ชายเป็นอะตอมของออกซิเจน ผู้หญิงเป็นอะตอมของไฮโดรเจน

19.2) ผู้ชาย 1 คน ผู้หญิง 2 คน จับกันเป็นโมเลกุลของน้ำ วิ่งเคลื่อนที่ไปมาอย่างคงที่ในห้อง

19.3) ณ อุณหภูมิปกติ น้ำ 2 โมเลกุลวิ่งมาเข้าใกล้ ดึงอะตอมของไฮโดรเจน(ผู้หญิง 1 คน)ไป กลายเป็น ไฮโดรเนียมไอออน และ ไฮดรอกไซด์ไอออน

19.4) ณ อุณหภูมิสูง โมเลกุลของน้ำวิ่งเคลื่อนที่ไปมาได้เร็วขึ้น น้ำ 4 โมเลกุล มีการเปลี่ยนแปลง คือ 2 โมเลกุลชนกัน และอีก 2 โมเลกุลชนกัน แล้วดึงอะตอมของไฮโดรเจน(ผู้หญิง 1 คน)ไป กลายเป็น ไฮโดรเนียมไอออน และ ไฮดรอกไซด์ไอออน ดังนั้นที่อุณหภูมิสูงจะเกิดไฮโดรเนียมไอออน 2 ไอออน และ ไฮดรอกไซด์ไอออน 2 ไอออน

20) นักเรียนศึกษาการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำเพิ่มเติม จากวิดีโอ

<https://www.youtube.com/watch?v=zeFSzt5x9uo>

21) นักเรียนอภิปรายร่วมกันถึงข้อดีและข้อเสียของการใช้บทบาทสมมติแสดงพฤติกรรมเป็นโมเลกุลน้ำและสื่อวิทัศน์ (เช่น ในความเป็นจริงโมเลกุลของน้ำมีจำนวนมากก่นี่มาก ๆ แต่แตกตัวเพียงเล็กน้อย น้ำมีการชนกันเกิดเป็นไฮโดรเนียมไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออน และกลับเป็นโมเลกุลของน้ำตามเดิม ส่วนโมเลกุลคู่อื่นชนกันเกิดเป็นไอออนแทน มีการสลับไปมาระหว่างไอออนและโมเลกุล แต่โดยรวมทั้งระบบที่มีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาแล้วจะมีปริมาณไอออนคงที่ค่าหนึ่ง)

22) นักเรียนร่วมกันเขียนแสดงด้วยสมการเคมี และทำใบงานที่ 3.3 ให้เสร็จ จากนั้นสลับกลุ่มกันตรวจให้คะแนน และส่งคืนเพื่อน ครูให้คำชมเชยหากนักเรียนเขียนถูกต้องดีแล้ว และปรับแก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อนหรือให้ความรู้เพิ่มเติม โดยการอธิบายเพิ่มเติมหรือการถาม-ตอบ

23) นักเรียนศึกษาค่าคงที่การแตกตัวของน้ำจากในหนังสือเรียนและตารางแสดงค่าค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ อภิปรายร่วมกันในกลุ่มและตอบคำถามต่อไปนี้

TABLE 7.1.1 K_w AND pH VALUES FOR PURE WATER		
Temperature (°C)	K_w ($\text{mol}^2 \text{dm}^{-6}$)	pH
0	1.14×10^{-15}	7.47
10	2.92×10^{-15}	7.27
20	6.81×10^{-15}	7.08
25	1.00×10^{-14}	7.00
30	1.47×10^{-14}	6.92
40	2.92×10^{-14}	6.77
50	5.5×10^{-14}	6.26
100	5.5×10^{-13}	5.26

23.1) ค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ คืออะไร มีประโยชน์อย่างไร

23.2) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การแตกตัวของน้ำเป็นอย่างไร หลักฐานที่สนับสนุนคำอธิบายนี้คืออะไร

23.3 น้ำบริสุทธิ์มีค่า pH เท่ากับ 7 เสมอหรือไม่ และมีสมบัติเป็นกลางเสมอ ใช่หรือไม่ เพราะเหตุใด

24) นักเรียนอภิปรายร่วมกันในประเด็น เมื่อเติมสารละลายกรดหรือเบสลงไปในน้ำบริสุทธิ์ จะมีผลต่อภาวะสมดุลของน้ำอย่างไร (ใบงานที่ 3.4) และตอบคำถามดังต่อไปนี้

24.1) สิ่งที่ได้จากการทดลองเมื่อเติมสารละลายกรดหรือเบสลงไปในน้ำบริสุทธิ์คืออะไร

24.2) เกิดอะไรขึ้นในระดับอนุภาค เพราะเหตุใดจึงได้ผลการทดลองเช่นนั้นสมาชิกในกลุ่มช่วยกันสร้างคำอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้น นำเสนอให้เพื่อนฟัง พร้อมอภิปรายถึงข้อดีข้อเสียของโมเดลที่ใช้ในการอธิบาย และจะเขียนแสดงสิ่งที่เกิดขึ้นแบบสั้นๆ ได้อย่างไร

25) นักเรียนทำใบงานที่ 3.4 (อาจช่วยเหลือโดยการให้ภาพแบบคณะ มาติดในใบงาน) สลับกันตรวจให้คะแนน ครูให้คำชมเชย หรือ แก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อนโดยการอธิบายเพิ่มเติม หรือการถาม-ตอบ

26) ครูอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับคำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน และไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลายโดยใช้ค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ ดังแสดงในใบความรู้สำหรับครูหัวข้อที่ 3

ขั้นที่ 5 สร้างองค์ความรู้

10 นาที

27) นักเรียนพูดคุย สนทนา แลกเปลี่ยนความรู้กับเพื่อนในกลุ่มเดียวกัน ในประเด็นดังต่อไปนี้

- 1) การแตกตัวและการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์
- 2) ค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ
- 3) ค่า pH และ ความเป็นกรด-เบสของน้ำบริสุทธิ์
- 4) การเปลี่ยนแปลงเมื่อน้ำบริสุทธิ์ถูกเติมด้วยกรดหรือเบส

28) นักเรียนแต่ละคนเขียนสรุปองค์ความรู้ทั้งหมดเกี่ยวกับการแตกตัวของน้ำบริสุทธิ์ที่ครอบคลุมประเด็นข้างต้นด้วยตนเองลงในใบงานที่ 3.5 จากนั้นสลับกันตรวจให้คะแนน และส่งคืนเพื่อน ครูคอยให้คำชมเชยและแก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อนด้วยการอธิบายเพิ่มเติมหรือใช้การถาม-ตอบ

ขั้นที่ 6 ประยุกต์ใช้องค์ความรู้

5 นาที

29) นักเรียนตอบคำถาม จากสถานการณ์ต่อไปนี้

มีคน 3 คน อยู่ในสระน้ำที่แตกต่างกัน คนที่ 1 อยู่ในสระน้ำที่ใช้น้ำธรรมดา (น้ำประปา) คนที่ 2 อยู่ในสระน้ำที่ใช้น้ำทะเล คนที่ 3 อยู่ในสระน้ำที่เป็นน้ำบริสุทธิ์ (ที่เตรียมไว้สำหรับเป็นสารหล่อเย็นในเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์) ถ้าบังเอิญเกิดไฟรั่วไปจนถึงสระน้ำ คนใดบ้างที่แนวโน้มจะถูกไฟฟ้าช็อต และเพราะเหตุใด (คนที่ 1 และคนที่ 2 สระน้ำที่ใช้น้ำธรรมดาและน้ำทะเลตามลำดับ เนื่องจากในน้ำประปามีส่วนประกอบของไอออนต่าง ๆ อยู่หลายชนิด เช่น Ca^{2+} Mg^{2+} Cl^- F^- NO_2^- NO_3^- PO_4^{3-} SO_4^{2-} เป็นต้น และน้ำทะเลมีไอออนของเกลือ เช่น Na^+ Cl^- และไอออน

อื่น ๆ เช่น Ca^{2+} CO_3^{2-} เป็นต้น ทำให้น้ำสามารถนำไฟฟ้าได้ แต่น้ำบริสุทธิ์มีเพียงโมเลกุลของน้ำและไอออนที่เกิดจากการแตกตัวของน้ำซึ่งมีน้อยมาก ๆ และไม่มีไอออนอื่น ๆ เจือปน ทำให้น้ำบริสุทธิ์นำไฟฟ้าได้น้อยมาก ๆ หรือเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดี ดังนั้นคนที่อยู่ในสระที่ใช้ น้ำบริสุทธิ์จึงไม่ถูกไฟฟ้าช็อต)

30) นักเรียนฝึกแก้โจทย์ปัญหาทางเคมีโดยการทำใบงานที่ 3.6 เป็นการบ้าน

4. สื่อและอุปกรณ์

4.1 สื่อการเรียนรู้

ใบงานที่ 3.1 สิ่งที่คุณรู้ก่อนเรียน

ใบงานที่ 3.2 การทดลองเรื่อง สมบัติของน้ำบริสุทธิ์

ใบงานที่ 3.3 ทำไมน้ำบริสุทธิ์จึงนำไฟฟ้าได้และนำไฟฟ้าได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ใบงานที่ 3.4 เกิดอะไรขึ้นเมื่อเติมกรดเติมเบสลงไปใส่น้ำบริสุทธิ์

ใบงานที่ 3.5 สิ่งที่คุณได้เรียนรู้

ใบงานที่ 3. 6 ความเข้มข้นของ H_3O^+ และ OH^- ในสารละลาย

4.2 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมีประกอบการทดลอง

• วางไว้โต๊ะกลาง

- HCl 0.1 M (จากน้ำยาล้างห้องน้ำ) - NaOH 0.1 M (โซดาไฟ)
- สำหรับแต่ละกลุ่ม
- ไมโครแอมมิเตอร์ - ชุดตรวจการนำไฟฟ้า - น้ำบริสุทธิ์ 40 mL
- บีกเกอร์ 2 ใบ - ชุดตะเกียงแอลกอฮอล์ - เทอร์มอมิเตอร์ 0-100 °C

4.3 สื่อและแหล่งการเรียนรู้เพิ่มเติม

- หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6
- <https://www.youtube.com/watch?v=zeFSzt5x9uo> auto-ionization of water



สื่อวีดิทัศน์ <https://www.youtube.com/watch?v=iqlNYjHyimY> (water autoionization)



5. การประเมินผล

จุดประสงค์ที่	วิธีการและเครื่องมือ	เกณฑ์การผ่าน
1. อธิบายการแตกตัวและการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์ได้	- ตรวจใบงานที่ 3.5 ประเด็นที่ 1 โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในใบงาน (2 คะแนน)	ได้ 2 คะแนน
2. ออกแบบและดำเนินการสำรวจตรวจสอบเกี่ยวกับสมบัติของน้ำบริสุทธิ์ได้	- ครูสังเกตขณะปฏิบัติการทดลองและตรวจใบงานที่ 3.2 สมบัติของน้ำบริสุทธิ์ โดยใช้เกณฑ์การประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ พร้อมให้ข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงในครั้งถัดไป (15 คะแนน) - นักเรียนประเมินตนเองโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ (15 คะแนน)	ได้ 8 คะแนนขึ้นไป (เต็ม 15 คะแนนโดยเฉลี่ยจากคะแนนของครูและนักเรียน)
3. อธิบายผลของอุณหภูมิต่อการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำทั้งในระดับมหภาค อนุภาค และสัญลักษณ์ได้	ตรวจใบงานที่ 3.3 (12 คะแนน) ตรวจใบงานที่ 3.5 ประเด็นที่ 1 (2 คะแนน) โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในใบงาน	ได้ 8 คะแนนขึ้นไป (เต็ม 14 คะแนน)
4. อธิบายค่าคงที่การแตกตัวของน้ำและใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลายได้	ตรวจใบงานที่ 3.5 ประเด็นที่ 2 โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในใบงาน (2 คะแนน) ตรวจใบงานที่ 3.6 (4 คะแนน) โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในใบงาน	ได้ 3 คะแนนขึ้นไป (เต็ม 6 คะแนน)
5. อธิบายการเปลี่ยนแปลงภาวะสมดุลของน้ำเมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปทั้งในระดับมหภาค อนุภาค และสัญลักษณ์ได้	ตรวจใบงานที่ 3.4 (12 คะแนน) ตรวจใบงานที่ 3.5 ประเด็นที่ 4 (2 คะแนน)	ได้ 8 คะแนนขึ้นไป (เต็ม 14 คะแนน)
6. อธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันโดยใช้โมเดลเกี่ยวกับการแตกตัวของน้ำได้	ตอบคำถามในชั้นเรียน	ตอบถูกต้อง

6. บันทึกผลการจัดการเรียนรู้

6.1 ผลการจัดการเรียนรู้

ขั้นที่ 1 เกริ่นนำ

.....

.....

ขั้นที่ 2 สำรวจความรู้เดิม

.....

.....

ขั้นที่ 3 ทดลอง

.....

.....

ขั้นที่ 4 เชื่อมโยงตัวแทนแนวคิด

.....

.....

ขั้นที่ 5 สร้างองค์ความรู้

.....

.....

ขั้นที่ 6 ประยุกต์ใช้องค์ความรู้

.....

.....

6.2 ปัญหาและอุปสรรค

.....

.....

6.3 ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ใบความรู้ สำหรับครู

1. การตั้งคำถามที่สามารถสำรวจตรวจสอบได้

จุดมุ่งหมาย เพื่อให้ครูเข้าใจคำถามที่สามารถสำรวจตรวจสอบได้และคำถามเชิงวิจัย สามารถแนะนำนักเรียนในการตั้งคำถามและช่วยปรับคำถามให้นักเรียนได้

คำถามเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการสืบค้นเพื่อหาคำตอบหรือเพื่อตอบข้อสงสัยที่เราอยากรู้ คำถามที่เกิดจากการสังเกตสิ่งรอบตัว ความสนใจและการลองคาดเดาในเรื่องหนึ่ง ๆ มักเป็นคำถามที่ง่าย ๆ และเราสามารถนำคำถามง่าย ๆ นั้นมาปรับเปลี่ยนให้เป็นคำถามในเชิงวิจัยได้

คำถามเชิงวิจัย มีลักษณะดังนี้

- เป็นคำถามที่มีความชัดเจนที่จะตอบคำถามได้
- เป็นคำถามที่มีความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม
- เป็นคำถามที่สามารถตั้งเป็นสมมติฐานเพื่อทดสอบต่อไปได้
- เป็นคำถามที่สามารถวัดค่าได้ชัดเจนมากขึ้น

ตัวอย่างที่ 1 นักเรียนสังเกตและสงสัยว่า ในสนามหญ้าของโรงเรียน ได้ก้อนหินบางก้อนจะพบแมลงมากมาย แต่บางก้อนจะไม่พบแมลงอยู่เลย

คำถามเชิงวิจัย คือ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก้อนหินก้อนใหญ่กับก้อนหินก้อนเล็ก หินแบบใดมีแมลงอยู่ข้างใต้มากกว่ากัน จะเห็นได้ว่ามีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เช่น พื้นที่ก้อนหิน ความชื้นใต้ก้อนหิน ที่ร่ม-ที่แจ้ง ชนิดแมลง เป็นต้น ซึ่งทำให้ง่ายต่อการตั้งสมมติฐาน เช่น (1) ใต้ก้อนหินก้อนใหญ่มีความชื้นมากกว่าใต้ก้อนหินก้อนเล็ก ดังนั้นจะพบแมลงอยู่มากกว่า (2) พื้นที่ผิวใต้ก้อนหินมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของแมลงที่อาศัยอยู่

ตัวอย่างที่ 2 นักเรียนสงสัยว่า ปัจจัยใดที่มีผลต่อการแตกตัวของน้ำบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นคำถามทั่วไป เมื่อปรับให้เป็นคำถามเชิงวิจัย จะได้เป็น อุณหภูมิสูงกับอุณหภูมิต่ำ ส่งผลต่อการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์อย่างไร ซึ่งมีความชัดเจนของตัวแปรและสามารถวัดได้

คำถามที่สามารถสำรวจตรวจสอบได้ คือ คำถามที่สามารถหาคำตอบได้จากการทำการทดลอง/สำรวจ/ค้นคว้าด้วยสื่อวัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่หรือสามารถหามาได้

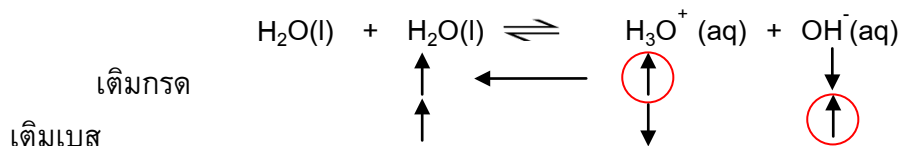
อาจสรุปได้ว่า คำถามเชิงวิจัยจัดเป็นคำถามที่สามารถสำรวจตรวจสอบได้ และเป็นคำถามที่มีความชัดเจนที่จะตอบคำถาม มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม สามารถตั้งเป็นสมมติฐานเพื่อทดสอบต่อไปได้

ดังนั้น หากนักเรียนตั้งเป็นคำถามทั่วไปที่ไม่สามารถหาคำตอบได้ครูควรให้ความช่วยเหลือโดยการปรับแก้ไขคำถามให้เป็นคำถามเชิงวิจัยหรือคำถามที่สามารถสำรวจตรวจสอบได้

2. คำอธิบายเกี่ยวกับการเติมกรดหรือเบสลงในน้ำบริสุทธิ์

จุดมุ่งหมาย เพื่อให้ครุศึกษาทำความเข้าใจ และนำไปใช้การอธิบายเพิ่มเติม

การเติมกรดหรือเบสลงในน้ำเป็นการรบกวนภาวะสมดุลของน้ำ ทำให้ $[H_3O^+]$ หรือ $[OH^-]$ เปลี่ยนแปลงไปในสัดส่วนที่จะรักษาค่าคงที่การแตกตัวของน้ำให้คงที่เสมอ เช่น เท่ากับ 1.0×10^{-14} เสมอที่อุณหภูมิ $25^\circ C$

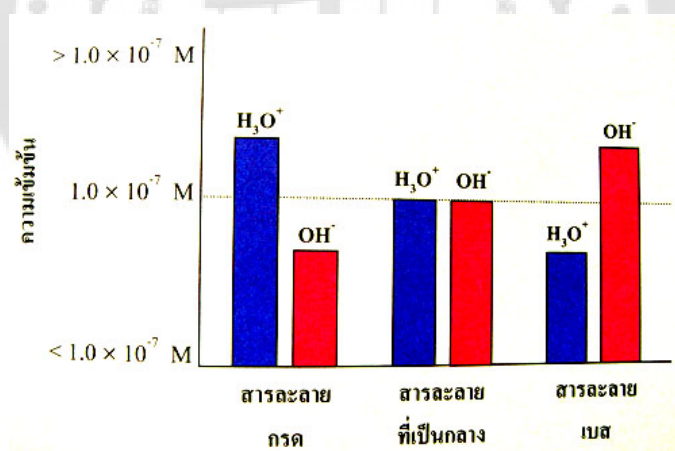


การเติมกรดลงไปในน้ำบริสุทธิ์ จะทำให้ $[H_3O^+]$ เพิ่มขึ้น ภาวะสมดุลจะถูกรบกวนด้วยการปรับไปในทางที่ลด $[H_3O^+]$ โดย H_3O^+ การรวมตัวกับ OH^- เกิดเป็นโมเลกุลของน้ำ และเข้าสู่สมดุลอีกครั้งซึ่งที่ภาวะสมดุล $[OH^-]$ ลดลง $[H_3O^+]$ เพิ่มขึ้น

$$[H_3O^+] > 10^{-7} \text{ mol/dm}^3, [OH^-] < 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$$

เติมเบสลงไปในน้ำบริสุทธิ์ จะทำให้ $[OH^-]$ เพิ่มขึ้น ภาวะสมดุลจะถูกรบกวนด้วยการปรับไปในทางที่ลด $[OH^-]$ โดยการรวมตัวกับ H_3O^+ เกิดเป็นโมเลกุลของน้ำ และเข้าสู่สมดุลอีกครั้งซึ่งที่ภาวะสมดุล $[H_3O^+]$ ลดลง $[OH^-]$ เพิ่มขึ้น

$$[H_3O^+] < 10^{-7} \text{ mol/dm}^3, [OH^-] > 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$$



3. การคำนวณหาความเข้มข้นของ H_3O^+ และ OH^- ในสารละลาย โดยใช้ค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ

การเติมกรดหรือเบสลงในน้ำเป็นการรบกวนภาวะสมดุลของน้ำ ทำให้ $[H_3O^+]$ หรือ $[OH^-]$ เปลี่ยนแปลงไปในสัดส่วนที่จะรักษาค่าคงที่การแตกตัวของน้ำให้คงที่เสมอ

$$K_w = [H_3O^+][OH^-]$$

ที่อุณหภูมิ $25^\circ C$ ค่าคงที่การแตกตัวของน้ำเท่ากับ 1.0×10^{-14} ดังนั้น

$$K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$$

สามารถนำมาใช้คำนวณหาความเข้มข้นของ H_3O^+ และ OH^- ในสารละลายได้

ตัวอย่างที่ 1 เมื่อเติมกรดลงไปใ้ในน้ำจำนวนหนึ่งแล้วที่ภาวะสมดุลมีความเข้มข้นของ H_3O^+ เป็น $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ อยากทราบว่า $[\text{OH}^-]$ มีค่าเท่าใด

วิธีทำ เนื่องจาก $[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}$

ดังนั้น $[\text{OH}^-] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3} = 1.0 \times 10^{-9} \text{ mol/dm}^3$

ตัวอย่างที่ 2 เมื่อนำสารละลายกรด HCl (ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งในน้ำยาล้างห้องน้ำ) ที่มีความเข้มข้นของ H_3O^+ เท่ากับ 2 mol/dm^3 หยดลงไปใ้ในน้ำปริมาตร 5 dm^3 จำนวน 1 หยด (กำหนดให้สารละลาย 20 หยด มีปริมาตร 1 cm^3) อยากทราบว่า จะมีความเข้มข้นของ H_3O^+ เท่าใด

วิธีทำ

ปริมาตรของสารละลาย 1 หยด = $\frac{1 \text{ cm}^3}{20 \text{ หยด}} = 0.05 \text{ cm}^3$

จำนวนโมลของ H_3O^+ ที่หยดลงไป = $\frac{2 \text{ mol}}{1 \text{ dm}^3} \times \frac{1 \text{ dm}^3}{1,000 \text{ cm}^3} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol}$

เมื่อหยดกรดที่มี H_3O^+ ลงในน้ำ 5 dm^3 ถือว่าปริมาตรรวมของสารละลายยังคงเป็น 5 dm^3

ดังนั้น $[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{1.0 \times 10^{-4} \text{ mol}}{5 \text{ dm}^3} = 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$

ใบงานที่ 3.1 สิ่งที่ฉันรู้ก่อนเรียน

คำชี้แจง: ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

ข้อ 1 นักเรียนคิดว่าน้ำบริสุทธิ์นำไฟฟ้าได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

- ☐ ได้ เพราะ
- ☐ ไม่ได้ เพราะ

ข้อ 2 กิจกรรม น้ำบริสุทธิ์นำไฟฟ้าได้หรือไม่

ทำนาย นักเรียนคิดว่าถ้าทำทดสอบการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์โดยการวัดกระแสไฟฟ้าด้วย ไมโครแอมมิเตอร์จะให้ผลเป็นอย่างไร และเพราะเหตุใด

.....

สังเกต จบบันทึกสิ่งที่สังเกตได้จากการทดลอง

.....หลอด LED มีไฟติดหรือ ๑ และเมื่อวัดด้วยไมโครแอมมิเตอร์พบว่ามีความกระแสไฟฟ้าอ่าน ได้ 30 ไมโครแอมแปร์.....

อธิบาย จงอธิบายสิ่งที่ได้จากการสังเกต เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

น้ำบริสุทธิ์นำไฟฟ้าได้ แต่น้อยมากๆ เพราะน้ำแตกตัวเป็นไอออนได้น้อยมากๆ

ข้อ 3 “น้ำบริสุทธิ์มีสมบัติเป็นกลางเสมอ” นักเรียนเห็นด้วยกับคำกล่าวนี้อหรือไม่

- ☐ เห็นด้วย เพราะ
- ☐ ไม่เห็นด้วย เพราะ

ข้อ 4 “น้ำบริสุทธิ์มีค่า pH เท่ากับ 7 เสมอ” นักเรียนเห็นด้วยกับคำกล่าวนี้อหรือไม่

- ☐ เห็นด้วย เพราะ
- ☐ ไม่เห็นด้วย เพราะ

ใบงานที่ 3.2

การทดลองเรื่อง สมบัติของน้ำบริสุทธิ์

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อตั้งสมมติฐาน กำหนดตัวแปร กำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ทำการทดลอง และสรุปผลการทดลองเกี่ยวกับน้ำบริสุทธิ์
2. เพื่อให้เกิดความรู้สึกรักสนุกและชอบทำการทดลองทางเคมี



การต่ออุปกรณ์

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี (ต่อกลุ่ม)

- ไมโครแอมมิเตอร์
- ชุดตรวจการนำไฟฟ้า
- น้ำบริสุทธิ์
- บีกเกอร์ 2 ใบ
- ชุดตะเกียงแอลกอฮอล์
- เทอร์มอมิเตอร์ 0-100 °C

คำถาม (ที่สามารถสำรวจตรวจสอบได้ หรือ เชิงวิจัย) ตัวอย่างคำถาม เช่น

- อุณหภูมิมีผลต่อการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์หรือไม่ อย่างไร (สำรวจตรวจสอบได้)
- อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำบริสุทธิ์นำไฟฟ้าได้มากขึ้นหรือไม่ (เชิงวิจัย)
- เมื่อเติมสารที่เป็นกรดหรือเบสลงในน้ำบริสุทธิ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร (สำรวจตรวจสอบได้)
- เมื่อเติมสารที่เป็นกรดหรือเบสลงในน้ำบริสุทธิ์ ความเป็นกรด-เบสของน้ำจะเหมือนเดิมหรือไม่

สมมติฐาน (ตัวอย่างสมมติฐาน)

- อุณหภูมิมีผลต่อการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์ โดยอุณหภูมิยิ่งสูงขึ้น น้ำบริสุทธิ์สามารถนำไฟฟ้าได้มากขึ้น
- อุณหภูมิไม่มีผลต่อการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์ อุณหภูมิที่แตกต่างกัน น้ำบริสุทธิ์จะสามารถนำไฟฟ้าได้เท่าเดิม
- อุณหภูมิสูงขึ้น น้ำบริสุทธิ์จะนำไฟฟ้าได้น้อยลง
- การเติมสารละลายกรดหรือเบสลงในน้ำบริสุทธิ์ จะทำให้ความเป็นกรด-เบสของน้ำเปลี่ยนไป

ตัวแปรต้น อุณหภูมิ(คำถาม 1) สารละลายกรดและสารละลายเบส (คำถาม 2)

ตัวแปรตาม การนำไฟฟ้า (คำถาม 1) ความเป็นกรด-เบส (คำถาม 2)

ตัวแปรควบคุม ปริมาณน้ำ ยี่ห้อของน้ำบริสุทธิ์

นิยามเชิงปฏิบัติการ (ตัวอย่างสำหรับคำถาม 1)

การนำไฟฟ้า คือความสามารถในการนำไฟฟ้า วัดได้โดยไมโครแอมมิเตอร์ ยิ่งมีค่ามากแสดงว่านำไฟฟ้าได้มากขึ้น

วิธีการทดลอง (ตัวอย่างสำหรับคำถาม 1)

1. ตวงน้ำบริสุทธิ์ปริมาตรเท่ากันใส่ในบีกเกอร์ 2 ใบ
2. ใบที่ 1 วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง บันทึกผล
3. ใบที่ 2 นำไปตั้งไฟที่อุณหภูมิประมาณ 50°C วัดค่ากระแสไฟฟ้า บันทึกผล

บันทึกผล

(คำถาม 1)

น้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ค่ากระแสไฟฟ้า (ไมโครแอมแปร์)
27	10
50	30

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิสูงกว่า อ่านค่ากระแสไฟฟ้าได้มากกว่า แสดงว่าอุณหภูมิมีผลต่อการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์ โดยอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำบริสุทธิ์นำไฟฟ้าได้มากขึ้น

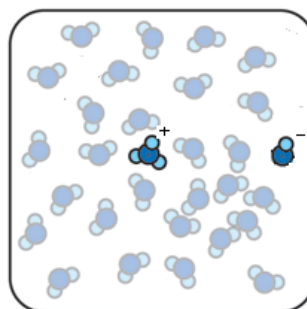
ใบงานที่ 3.3 เพราะเหตุใด น้ำจึงนำไฟฟ้าได้และนำไฟฟ้าได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

(แนวคำตอบ)

1. ที่อุณหภูมิห้อง

ค่าการนำไฟฟ้า = $1 \mu\text{A}$

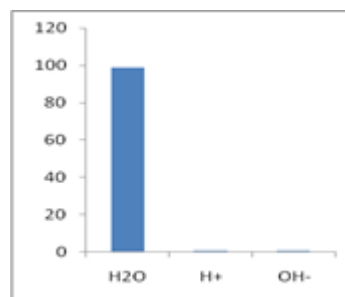
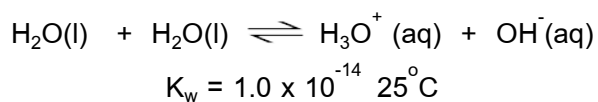
หลอดไฟไม่สว่าง



สิ่งที่สังเกตได้จากการทดลอง(ระดับมหภาค)

คำอธิบาย(ระดับอนุภาค)

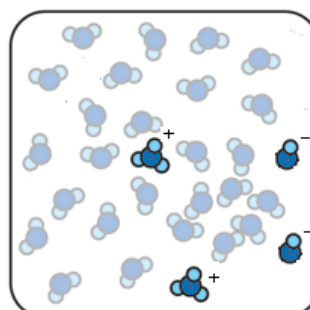
สิ่งที่ใช้แทนคำอธิบายในระดับอนุภาค (ระดับสัญลักษณ์)



2. ที่อุณหภูมิสูง

ค่าการนำไฟฟ้า = $2-3 \mu\text{A}$

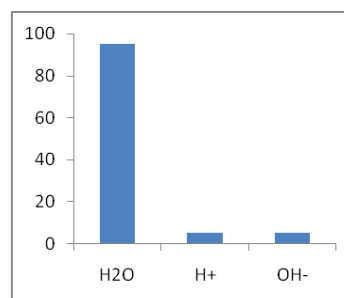
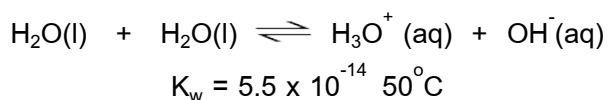
หลอดไฟไม่สว่าง



สิ่งที่สังเกตได้จากการทดลอง(ระดับมหภาค)

คำอธิบาย(ระดับอนุภาค)

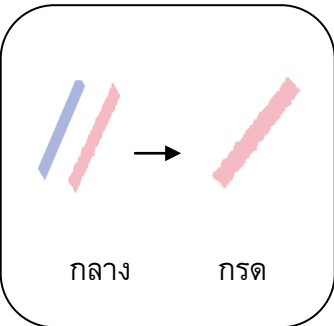
สิ่งที่ใช้แทนคำอธิบายในระดับอนุภาค (ระดับสัญลักษณ์)



เกณฑ์การให้คะแนน คือ ถูกต้องทั้งหมด = 2 ถูกต้องบางส่วน = 1 ผิด = 0 สำหรับการตอบแต่ละตำแหน่งของตัวแทนแนวคิด

ใบงานที่ 3.4 เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปในน้ำบริสุทธิ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
(แนวคำตอบ)

1. เติมกรดลงในน้ำ



กลาง

OH⁻ H⁺ H⁺

H⁺ OH⁻ H⁺ OH⁻

OH⁻ H⁺ OH⁻ H⁺

OH⁻ H⁺ H⁺

[H⁺] = 10⁻⁷ mol/L

[OH⁻] = 10⁻⁷ mol/L

เติม H⁺

H⁺ H⁺ H⁺

H⁺ OH⁻ H⁺ OH⁻

OH⁻ H⁺ OH⁻ H⁺

H⁺ H⁺ H⁺

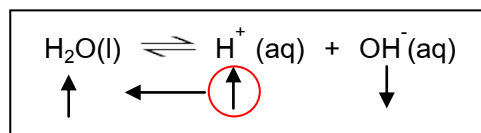
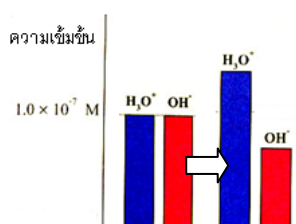
[H⁺] = 10⁻⁵ mol/L

[OH⁻] = 10⁻⁹ mol/L

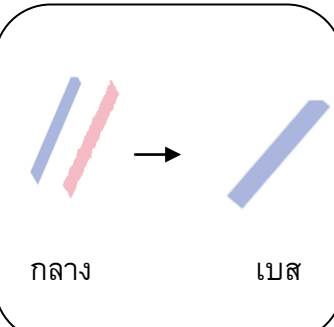
สิ่งที่สังเกตได้จากการทดลอง(ระดับมหภาค)

คำอธิบาย(ระดับอนุภาค)

สิ่งที่ใช้แทนคำอธิบายในระดับอนุภาค (ระดับสัญลักษณ์)



2. เติมเบสลงในน้ำ



กลาง

OH⁻ H⁺ H⁺

H⁺ OH⁻ H⁺ OH⁻

OH⁻ H⁺ OH⁻ H⁺

OH⁻ H⁺ H⁺

[H⁺] = 10⁻⁷ mol/L

[OH⁻] = 10⁻⁷ mol/L

เติม OH⁻

OH⁻ H⁺

OH⁻ OH⁻ OH⁻ OH⁻

OH⁻ H⁺ OH⁻ OH⁻

OH⁻ H⁺ H⁺

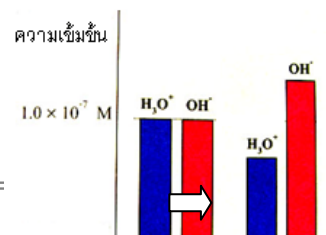
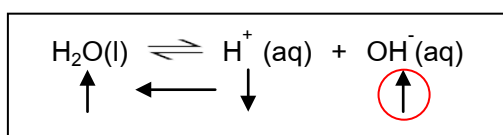
[H⁺] = 10⁻⁹ mol/L

[OH⁻] = 10⁻⁵ mol/L

สิ่งที่สังเกตได้จากการทดลอง(ระดับมหภาค)

คำอธิบาย(ระดับอนุภาค)

สิ่งที่ใช้แทนคำอธิบายในระดับอนุภาค (ระดับสัญลักษณ์)



เกณฑ์การให้คะแนน คือ ถูกต้องทั้งหมด = 2 ถูกต้องบางส่วน =
ผิด = 0 สำหรับการตอบแต่ละตำแหน่งของตัวแทนแนวคิด

ใบงานที่ 3.6

การคำนวณหาความเข้มข้นของ H_3O^+ และ OH^- ในสารละลาย

การเติมกรดหรือเบสลงในน้ำเป็นการรบกวนภาวะสมดุลของน้ำ ทำให้ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ หรือ $[\text{OH}^-]$ เปลี่ยนแปลงไปในสัดส่วนที่จะรักษาค่าคงที่การแตกตัวของน้ำให้คงที่เสมอ

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$$

ที่อุณหภูมิ 25°C ค่าคงที่การแตกตัวของน้ำเท่ากับ 1.0×10^{-14} ดังนั้น

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}$$

สามารถนำมาใช้คำนวณหาความเข้มข้นของ H_3O^+ และ OH^- ในสารละลายได้

คำชี้แจง: จงแสดงวิธีการคำนวณหาความเข้มข้นของ H_3O^+ และ OH^- ในสารละลาย

ข้อ 1 เมื่อนำสารละลายกรด HCl (ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งในน้ำยาล้างห้องน้ำ) ที่มีความเข้มข้นของ H_3O^+ เท่ากับ 2 mol/dm^3 หยดลงไปในน้ำปริมาตร 5 dm^3 จำนวน 1 หยด พบว่าความเข้มข้นของ H_3O^+ เท่ากับ $2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ อยากทราบว่าความเข้มข้นของ OH^- เท่าใด

แนวคำตอบ เนื่องจาก

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$\text{ดังนั้น } [\text{OH}^-] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3} = 5.0 \times 10^{-10} \text{ mol/dm}^3$$

ข้อ 2 เมื่อละลายโซดาไฟ (NaOH) ซึ่งมีปริมาณ OH^- 0.01 mol ในน้ำ แล้วทำให้มีปริมาตร 500 cm^3 จงหา $[\text{H}_3\text{O}^+]$ ในสารละลาย

แนวคำตอบ

$$[\text{OH}^-] = \frac{0.01 \text{ mol}}{500 \text{ cm}^3} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ dm}^3} = 0.02 \text{ mol/dm}^3$$

เนื่องจาก

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$\text{ดังนั้น } [\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{OH}^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{0.02 \text{ mol/dm}^3} = 5.0 \times 10^{-13} \text{ mol/dm}^3$$

เกณฑ์การให้คะแนน (ใช้เกณฑ์เดียวกันทุกข้อ)

รายการประเมิน	คะแนน
1) วิธีการคำนวณ ถูกต้องหรือเป็นไปได้ที่จะได้คำตอบถูกต้อง 2) คำตอบสุดท้ายถูกต้อง	2
วิธีการคำนวณ ถูกต้องหรือเป็นไปได้ที่จะได้คำตอบสุดท้ายถูกต้อง แต่คำตอบผิด	1
คำตอบสุดท้ายถูกต้อง แต่วิธีการคำนวณผิดหรือเป็นไปได้ที่จะได้คำตอบสุดท้ายถูกต้อง ตอบผิดทั้งสองที่ หรือ ไม่แสดงวิธีทำ หรือ ไม่ตอบ	0

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 9

หน่วยการเรียนรู้ที่ 7 สารละลายบัฟเฟอร์
เรื่อง สารละลายบัฟเฟอร์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
เวลา 150 นาที

1. จุดประสงค์การเรียนรู้

นักเรียนสามารถ

- 1) ออกแบบและดำเนินการสำรวจตรวจสอบเพื่อสรุปสมบัติที่สำคัญของสารละลายบัฟเฟอร์ได้
- 2) วิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายบัฟเฟอร์เพื่อสรุปส่วนประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์ได้
- 3) อธิบายการควบคุมค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ทั้งในระดับมหภาค อนุภาค และสัญลักษณ์ได้
- 4) ประยุกต์ใช้มโนทัศน์เกี่ยวกับสารละลายบัฟเฟอร์ในการอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันได้

2. มโนทัศน์

สารละลายบัฟเฟอร์ คือ สารละลายที่สามารถรักษาระดับค่า pH ไว้ได้เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปเพียงเล็กน้อย ประกอบด้วยสารละลายของกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อน หรือ สารละลายของเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อนซึ่งเป็นคู่กรด-เบสกัน

สารละลายบัฟเฟอร์สามารถรักษาระดับค่า pH ไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงไปมากเมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปเพียงเล็กน้อยได้ เนื่องจากในสารละลายบัฟเฟอร์ประกอบด้วยโมเลกุลหรือไอออนที่เป็นคู่กรด-เบสซึ่งกันและกันอยู่ในภาวะสมดุล เมื่อเติมกรด คู่เบสจะมารวมกับ H^+ เกิดเป็นคู่กรดและน้ำ หรือเมื่อเติมเบส คู่กรดมารวมตัวกับ OH^- เกิดเป็นคู่เบสและน้ำ ทำให้ $[H_3O^+]$ และ $[OH^-]$ โดยรวมเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์จึงมีค่าคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

เลือด น้ำทะเล และน้ำมะพร้าว เป็นตัวอย่างของสารละลายบัฟเฟอร์ในธรรมชาติ

3. กระบวนการจัดกิจกรรม

ขั้นที่ 1 เกริ่นนำ

20 นาที

- 1) นักเรียนสลับกันตรวจใบงานที่ 8.5 ตามคำเฉลยและเกณฑ์ให้คะแนน จากนั้นส่งคืนเพื่อน ครูให้คำชมเชยหรือแก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อนให้ถูกต้องโดยการอธิบายเพิ่มเติม หรือการถาม-ตอบจนนักเรียนเกิดความเข้าใจที่ถูกต้อง

2) นักเรียนทบทวนความรู้เกี่ยวกับคู่กรด-เบส ตามทฤษฎีของเบรินสเตด-ลาวรี โดยตอบคำถามต่อไปนี้ ครูคอยอธิบายเพิ่มเติม ดังแสดงในใบความรู้สำหรับครู หัวข้อที่ 1

2.1) คู่กรด-เบสตามทฤษฎีของเบรินสเตด-ลาวรี คืออะไร

2.2) สารคู่ใดต่อไปนี้ จัดเป็นคู่กรด-เบส จงอธิบาย

2.1.1) NH_3 - NaCl

2.1.2) Cl^- - NaCl

2.1.3) HCl - Cl^-

2.1.4) H_2SO_4 - SO_4^{2-}

2.1.5) NaH_2PO_4 - Na_2HPO_4

2.3) คู่กรดของ CH_3COO^- คืออะไร คู่เบสของ NH_4^+ คืออะไร

3) ครูแสดงตัวอย่างของสารละลาย 2 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ได้แก่ (1) สารละลายผสมของ $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa}$ (2) สารละลายผสมของ $\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$ (3) น้ำมะพร้าวสด (4) น้ำทะเล

กลุ่มที่ 2 ได้แก่ (1) น้ำ (2) สารละลายผสมของ $\text{NaOH} + \text{NaCl}$ (3) สารละลายผสมของ $\text{NH}_3 + \text{NaCl}$ (4) สารละลายผสมของ $\text{HCl} + \text{NaCl}$

3.1) นักเรียนตั้งคำถามที่อยากจะรู้เกี่ยวกับสาร 2 กลุ่มนี้ (เช่น สารละลายกลุ่มที่ 1 แตกต่างจากสารละลายกลุ่มที่ 2 อย่างไร)

3.2) ถ้ามีสารเพิ่มเติมคือ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 mol/dm^3 และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 mol/dm^3 นักเรียนลองตั้งคำถามที่อยากจะรู้เพิ่มเติม (เช่น เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไป สารละลายกลุ่มที่ 1 และสารละลายกลุ่มที่ 2 จะให้ผลเหมือนหรือต่างกันอย่างไร)

4) นักเรียนและครูสรุปวัตถุประสงค์ของการเรียนครั้งนี้ร่วมกัน คือ เพื่อศึกษาสมบัติและความแตกต่างระหว่างสารละลายสองกลุ่ม สารละลายบัฟเฟอร์ สมบัติและส่วนประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์ สารละลายบัฟเฟอร์ในชีวิตประจำวัน

ขั้นที่ 2 สรุปรวความรู้เดิม

10 นาที

5) นักเรียนและครูสนทนาร่วมกันเกี่ยวกับค่า pH ของสารรอบตัวและของเหลวในร่างกาย เช่น เลือด มีค่า pH ประมาณ 7.3-7.4 น้ำทะเล มีค่า pH ประมาณ 8.1-8.2 น้ำมะพร้าวมีค่า pH ประมาณ 6-7 นม มีค่า pH ประมาณ 6.6 เป็นต้น จากนั้นนักเรียนตอบคำถามจากประสบการณ์เดิมเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารเหล่านี้และน้ำเปล่าเมื่อเติมกรดหรือเบสลงไป ตามใบงานที่ 9.1

6) นักเรียนนำเสนอแนวคำตอบของตนเอง ครูเขียนและจัดกลุ่มแนวคำตอบของนักเรียนบนกระดาน (ครูบันทึกแนวคำตอบที่เป็นแนวคิดที่คลาดเคลื่อนไว้ในบันทึกหลังสอน เพื่อให้ความช่วยเหลือนักเรียนในการแก้ไขแนวคิดจนเกิดความเข้าใจให้ถูกต้องในขั้นที่ 4 และขั้นที่ 5)

ขั้นที่ 3 ทดลอง

20 นาที

7) นักเรียนหนึ่งเป็นกลุ่มแบบความสามารถกลุ่มละ 4-5 คน

8) นักเรียนและครูอภิปรายร่วมกันเพื่อทบทวนทักษะขั้นบูรณาการ 5 ทักษะ จากนั้นแต่ละกลุ่มสะท้อนทักษะ/สิ่งที่กลุ่มตนเองต้องปรับปรุงจากการประเมินทักษะขั้นบูรณาการท้ายใบงานที่ 8.2 ด้วยตนเองและข้อเสนอแนะจากครูนักเรียน

9) นักเรียนทำความเข้าใจวัตถุประสงค์ของการทดลอง ดังแสดงในใบงานที่ 9.2 เพื่อหาคำตอบว่าสารละลายกลุ่มที่ 1 และ 2 มีสมบัติแตกต่างกันอย่างไร

10) นักเรียนดำเนินการปฏิบัติการทดลอง (แบบสืบเสาะชนิดชี้แนะแนวทาง) ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

10.1) สมาชิกในกลุ่มร่วมกันคาดคะเนคำตอบของคำถาม ที่กำหนดให้ จากนั้นปรับคำตอบให้เป็นสมมติฐาน ซึ่งสมมติฐานจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม เมื่ออ่านสมมติฐานแล้วทราบว่าจะมีวิธีการทดลองอย่างไร ครูคอยให้คำชี้แนะ

10.2) สมาชิกในกลุ่มร่วมกันกำหนดตัวแปรที่จะศึกษา กำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปรตามให้สามารถวัดและสังเกตได้ ระหว่างนี้ครูคอยให้คำชี้แนะหรืออธิบายเพิ่มเติม

10.3) สมาชิกในกลุ่มร่วมกันออกแบบการทดลอง (ด้วยการเขียนแบบสั้น ๆ วาดภาพหรือ ผังแสดงขั้นตอน (flow chart)) และการบันทึกผลเพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่ได้ตั้งขึ้น ครูคอยชี้แนะแนวทางหรือให้คำแนะนำ

-----หมดเวลา 1 คาบ -----

ขั้นที่ 3 ทดลอง(ต่อ)

50 นาที

10.4) นักเรียนแต่ละกลุ่มดำเนินการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ สังเกตและบันทึกผล ครูคอยอำนวยความสะดวกและคอยให้คำชี้แนะ

10.5)) นักเรียนแต่ละกลุ่มอธิบายผลการตรวจสอบตามสมมติฐานและสรุปผลการทดลองจากหลักฐานเชิงประจักษ์ ครูคอยให้คำชี้แนะ

11) นักเรียนนำเสนอผลการทดลองเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ได้ เพื่อนและครูช่วยกันประเมินและให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการตั้งสมมติฐาน การกำหนดตัวแปร การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การออกแบบและทำการทดลอง และการสรุปผลการทดลอง

12) นักเรียนแต่ละกลุ่มสรุปร่วมกันเกี่ยวกับ การตั้งสมมติฐานที่ดี การกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การออกแบบการทดลอง การบันทึกผล และการสรุปผลการทดลอง ครูคอยอธิบายเพิ่มเติม (ใบความรู้สำหรับครู หัวข้อที่ 2)

13) นักเรียนแต่ละกลุ่มประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของกลุ่มตนเอง

14) นักเรียนประเมินความสนุกหรือความชอบเกี่ยวกับการทดลองทางเคมี โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องใต้ภาพที่ตรงความรู้สึกของนักเรียนมากที่สุดเกี่ยวกับการทำการทดลองทางเคมี จากนั้นส่งต่อให้เพื่อนคนอื่นๆ ไปเรียงจนครบ

15) นักเรียนสรุปผลการทดลองร่วมกัน โดยตอบคำถามต่อไปนี้

15.1) สารละลายกลุ่มที่ 1 และ สารละลายกลุ่มที่ 2 เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปเพียงเล็กน้อยให้ผลเหมือนหรือต่างกันอย่างไร (สารละลายกลุ่มที่ 1 ค่า pH เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมไม่มาก แต่สารละลายกลุ่มที่ 2 ค่า pH เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมาก)

15.2) เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปในสารละลายกลุ่มที่ 1 และสารละลายกลุ่มที่ 2 ให้ผลเหมือนหรือต่างกันอย่างไร (ค่า pH เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากเหมือนกัน)

ครูแนะนำคำศัพท์ ว่าสารละลายกลุ่มที่ 1 เรียกว่า สารละลายบัฟเฟอร์ ส่วนสารละลายกลุ่มที่ 2 ไม่ใช่สารละลายบัฟเฟอร์

15.3) สมาชิกแต่ละกลุ่มคิดว่าสารละลายบัฟเฟอร์มีสมบัติเป็นอย่างไร และนำเสนอแนวคำตอบของกลุ่มตนเอง (สารละลายบัฟเฟอร์จะรักษาระดับค่า pH ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปมากนัก เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปเล็กน้อย (ระดับหนึ่งเท่านั้น หากเติมไปมาก จะทำให้ไม่สามารถรักษาค่า pH ไว้ได้))

16) สมาชิกในกลุ่มช่วยกันวิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการทดลอง ตอบคำถาม และนำเสนอข้อสรุปเกี่ยวกับส่วนประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์ ดังแสดงในใบงานที่ 9.3

-----หมดเวลา 1 คาบ-----

ขั้นที่ 4 เชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดทางเคมี

25 นาที

17) นักเรียนสงสัยหรือไม่ว่า “เพราะเหตุใด สารละลายบัฟเฟอร์จึงสามารถรักษาค่า pH ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปมากนักได้ เมื่อหยดกรดหรือเบสเพียงเล็กน้อยลงไป”

18) สมาชิกในกลุ่มช่วยกันสร้างคำอธิบาย ระหว่างนี้นักเรียนทำกิจกรรมเชื่อมโยงสิ่งที่สังเกตได้จากการทดลอง (ระดับมหภาค) กับสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาค โดยใช้ Lego หรือใช้กระดาษสีต่าง ๆ ที่ตัดเป็นวงกลมแสดง H^+ OH^- A^- Cl^- Na^+ และ OH^- ตามคำชี้แนะของครู ดังแสดงในใบความรู้สำหรับครู หัวข้อที่ 3 เรื่องหลักการทำงานของสารละลายบัฟเฟอร์ ตามประเด็นย่อยต่อไปนี้

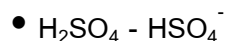
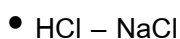
- ทำไมเมื่อหยดกรดหรือเบสลงในสารละลายที่ไม่ใช่บัฟเฟอร์ เช่น น้ำ แล้วค่า pH จึงเปลี่ยนแปลงไปมาก
- ทำไมเมื่อหยดกรดหรือเบสลงในสารละลายบัฟเฟอร์ที่เกิดจากการผสมกันของกรดอ่อนและเกลือของกรดอ่อนแล้วค่า pH จึงเปลี่ยนแปลงไปไม่มาก
- ทำไมเมื่อหยดกรดหรือเบสลงในสารละลายบัฟเฟอร์ที่เกิดจากการผสมกันของเบสอ่อนและเกลือของเบสอ่อนแล้วค่า pH จึงเปลี่ยนแปลงไปไม่มาก

19) สมาชิกในกลุ่มร่วมกันเขียนคำอธิบายในระดับอนุภาค และเขียนเป็นสมการเคมีเพื่อสื่อความหมายถึงสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาค เพื่อแสดงการเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับในใบงานที่ 9.4

20) นักเรียนสลับกลุ่มกันตรวจและเฉลยใบงานที่ 9.4 ตามคำเฉลยของครู

21) นักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับข้อจำกัดของแบบจำลองและคำอธิบายในระดับอนุภาคที่แสดงในใบงานที่ 9.4 (เช่น อนุภาคมีการเคลื่อนที่ไปมาตลอดเวลา โมเลกุลของน้ำและโมเลกุลหรือไอออนของกรด/เบสอ่อนมีจำนวนมากว่านี้มาก เป็นต้น)

22) สมาชิกในกลุ่มอภิปรายและลงความเห็นร่วมกันว่าสารผสมต่อไปนี้ จัดเป็นสารละลายบัฟเฟอร์หรือไม่ เพราะเหตุใด



(ไม่ใช่สารละลายบัฟเฟอร์ แม้ว่า $\text{HCl} - \text{Cl}^-$ และ $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{HSO}_4^-$ เป็นคู่กรดเบสกัน แต่เป็นกรดแก่ ดังนั้นไม่ใช่สารละลายบัฟเฟอร์)

ขั้นที่ 5 สร้างองค์ความรู้

10 นาที

23) นักเรียนอภิปรายเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้กับเพื่อนในกลุ่มเดียวกัน ตามประเด็นในใบงานที่ 9.5

24) นักเรียนแต่ละคนสังเคราะห์ความรู้จากความรู้เดิม ความรู้ใหม่ และความรู้ที่ได้จากการแลกเปลี่ยนกับเพื่อน แล้วเขียนสรุปความรู้ลงในใบงานที่ 9.5

25) นักเรียนสลับกลุ่มกันตรวจใบงานที่ 9.5 ตามคำเฉลยของครู และส่งคืนเพื่อน เพื่อแก้ไขให้ถูกต้อง

26) ครูประเมินคำตอบของนักเรียน กล่าวคำชมเชยหากนักเรียนเข้าใจถูกต้องดีแล้วหรือแก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อนให้ถูกต้องโดยการอธิบายเพิ่มเติมหรือการถาม-ตอบ

ขั้นที่ 6 ประยุกต์ใช้องค์ความรู้

15 นาที

27) นักเรียนตอบคำถาม ดังนี้

27.1) เพราะเหตุใด เลือดในร่างกายและน้ำทะเล จึงจัดเป็นสารละลายบัฟเฟอร์

27.2) ระบบบัฟเฟอร์ที่อยู่ในเลือด สามารถควบคุม pH ของเลือดในร่างกายได้อย่างไรเมื่อภาวะสมดุลในเลือดของเราถูกรบกวนด้วยกรด

28) นักเรียนสลับกันตรวจให้คะแนน (แนวคำตอบและการให้คะแนนดังแสดงในหนังสือเรียน และใบความรู้สำหรับครูหัวข้อที่ 4) ครูคอยให้คำชมเชยหรือแก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อนให้ถูกต้องโดยการอธิบายเพิ่มเติมหรือการถามตอบ

4. สื่อและอุปกรณ์

4.1 สื่อการเรียนรู้

ใบงานที่ 9.1 สิ่งที่ฉันรู้ก่อนเรียน

ใบงานที่ 9.2 การทดลอง เรื่อง สารรอบตัวกับค่า pH ที่เปลี่ยนไป

ใบงานที่ 9.3 ส่วนประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์

ใบงานที่ 9. 4 สารละลายบัฟเฟอร์รักษาค่า pH ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปมากนักได้อย่างไร

ใบงานที่ 9. 5 สิ่งที่ฉันได้เรียนรู้

5. การประเมินผล

จุดประสงค์ที่	วิธีการและเครื่องมือ	เกณฑ์การผ่าน
1) ออกแบบและดำเนินการ สำรวจตรวจสอบเพื่อสรุป สมบัติที่สำคัญของ สารละลายบัฟเฟอร์ได้	ด้านทักษะ - ครุสังเกตขณะปฏิบัติการทดลองและตรวจใบงานที่ 9.2 ตามเกณฑ์การให้คะแนนการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ(15 คะแนน) - นักเรียนประเมินตนเองโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ (15 คะแนน) ด้านความรู้ - ตรวจใบงานที่ 9.2 เฉพาะบันทึกเพิ่มเติม โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในใบงาน (เต็ม 2 คะแนน) - ตรวจใบงานที่ 9.5 ประเด็นที่ 1 โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในใบงาน (2 คะแนน)	ด้านทักษะ ได้ 8 คะแนนขึ้นไป (เต็ม 15 คะแนนโดย เฉลี่ยจากคะแนนของ ครูและนักเรียน) ด้านความรู้ ได้ 2 คะแนนขึ้นไป (เต็ม 4 คะแนน)
2) วิเคราะห์ตัวอย่าง สารละลายบัฟเฟอร์เพื่อสรุป ส่วนประกอบของสารละลาย บัฟเฟอร์ได้	- ตรวจใบงานที่ 9.3 โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในใบงาน (10 คะแนน) - ตรวจใบงานที่ 9.5 ประเด็นที่ 2 โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในใบงาน (2 คะแนน)	ได้ 6 คะแนนขึ้นไป (เต็ม 12 คะแนน)
3) อธิบายการควบคุมค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ ทั้งในระดับมหภาค อนุภาค และสัญลักษณ์ได้	- ตรวจใบงานที่ 9.4 โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในใบงาน (24 คะแนน) - ตรวจใบงานที่ 9.5 ประเด็นที่ 3 โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในใบงาน (2 คะแนน)	ได้ 13 คะแนนขึ้นไป (เต็ม 26คะแนน)
4) ประยุกต์ใช้มโนทัศน์ เกี่ยวกับสารละลายบัฟเฟอร์ ในการอธิบายปรากฏการณ์ ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันได้	- การตอบคำถาม โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในใบความรู้สำหรับครู (4 คะแนน)	ได้ 2 คะแนนขึ้นไป (เต็ม 4คะแนน)

6. บันทึกผลการจัดการเรียนรู้

6.1 ผลการจัดการเรียนรู้

ชั้นที่ 1 เกริ่นนำ

.....

.....

ชั้นที่ 2 สำรวจความรู้เดิม

.....

.....

ชั้นที่ 3 ทดลอง

.....

.....

ชั้นที่ 4 เชื่อมโยงตัวแทนแนวคิด

.....

.....

ชั้นที่ 5 สร้างองค์ความรู้

.....

.....

ชั้นที่ 6 ประยุกต์ใช้องค์ความรู้

.....

.....

6.2 ปัญหาและอุปสรรค

.....

.....

6.3 ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้บันทึก

...../...../.....

ใบความรู้ สำหรับครู

1. การทบทวนความรู้เรื่องคู่กรด-เบส ตามทฤษฎีของเบรินสเตด-ลาวรี

จุดประสงค์ เพื่อต้องการทบทวนเนื้อหาเรื่องคู่กรด-เบส ซึ่งเป็นพื้นฐานของการเรียนเรื่องนี้
แนวคำตอบ คือ

- 1) คู่กรด-เบสกัน จะมีหน้าตาหรือองค์ประกอบคล้ายกัน ต่างกันแค่โปรตอน 1 โปรตอน โดยคู่กรดมีโปรตอนมากกว่าอยู่ 1 โปรตอน คู่เบสจะมีโปรตอนน้อยกว่าอยู่ 1 โปรตอน
- 2) สารคู่ใดต่อไปนี้ จัดเป็นคู่กรด-เบส จงอธิบาย
 - 2.1.1) $\text{NH}_3 - \text{NaCl}$ ไม่เป็นคู่กรด-เบสกัน เพราะองค์ประกอบไม่คล้ายกัน
 - 2.1.2) $\text{Cl}^- - \text{NaCl}$ ไม่เป็นคู่กรด-เบสกัน เพราะแม้องค์ประกอบจะคล้ายกัน แต่ต่างกันตรงที่ Na^+ ซึ่งถ้าเป็นคู่กรด-เบสกันจะต่างกันที่โปรตอน (H^+)
 - 2.1.3) $\text{HCl} - \text{Cl}^-$ เป็นคู่กรด-เบสกัน เพราะมีองค์ประกอบคล้ายกัน และต่างกันที่ H^+ 1 โปรตอน
 - 2.1.4) $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{SO}_4^{2-}$ ไม่เป็นคู่กรด-เบสกัน เพราะแม้จะมีองค์ประกอบคล้ายกัน และต่างกันที่โปรตอน แต่โปรตอนต่างกันถึง 2 โปรตอน ซึ่งถ้าเป็นคู่กรด-เบสควรจะต่างกันแค่ 1 โปรตอนเท่านั้น
 - 2.1.4) Na_2HPO_4 กับ NaH_2PO_4 เป็นคู่กรด-เบสกัน เพราะมีองค์ประกอบคล้ายกัน และต่างกันที่ H^+ 1 โปรตอน
- 3) คู่กรดของ CH_3COO^- คือ CH_3COOH (ได้จาก CH_3COO^- เพิ่ม H^+ เข้า 1 โปรตอน)
คู่เบสของ NH_4^+ คือ NH_3 (ได้จาก NH_4^+ เอา H^+ ออก 1 โปรตอน)

2. สรุปทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ

จุดประสงค์ คือ เพื่อทบทวนเกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการทั้ง 5 ทักษะ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

- การตั้งสมมติฐานที่ดี สมมติฐานเป็นการคาดคะเนคำตอบล่วงหน้าจากข้อมูลหรือประสบการณ์ที่มี อาจจะถูกหรือผิดก็ได้ ในการเขียนสมมติฐานควรมีทั้งตัวแปรต้นและตัวแปรตามอยู่ในข้อความนั้น ซึ่งแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม
- การกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม ตัวแปรต้น (Independent Variable) คือ สิ่งที่เราจะทำการเปลี่ยนแปลงให้แตกต่างไปจากเดิม เพื่อทำให้เกิดผลต่าง ๆ ตามมา ตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ ผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต้น ตัวแปรควบคุม (Controlled Variable) คือ สิ่งต่างๆ ที่อาจมีผลต่อตัวแปรตาม ต้องควบคุมไว้ให้คงที่ ทำให้เหมือนกัน สิ่งที่มีการผันแปรขอให้เป็นตัวแปรต้นเพียงอย่างเดียว

- การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ เป็นการกำหนดความหมายและขอบเขตของคำหรือตัวแปรต่าง ๆ (โดยเฉพาะตัวแปรตาม ที่อยู่ในสมมติฐานที่ต้องการทดลอง) ให้เข้าใจตรงกัน สามารถสังเกตและวัดได้

- การออกแบบการทดลอง เป็นการสร้างวิธีการ/ขั้นตอนเพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่ได้ตั้งขึ้น ส่วนการบันทึกผล ทำได้หลายวิธี ถ้าเป็นตารางตัวแปรต้นมักอยู่ฝั่งซ้าย ตัวแปรตามมักอยู่ฝั่งขวาและควรมีความสอดคล้องกับตัวแปรในสมมติฐาน

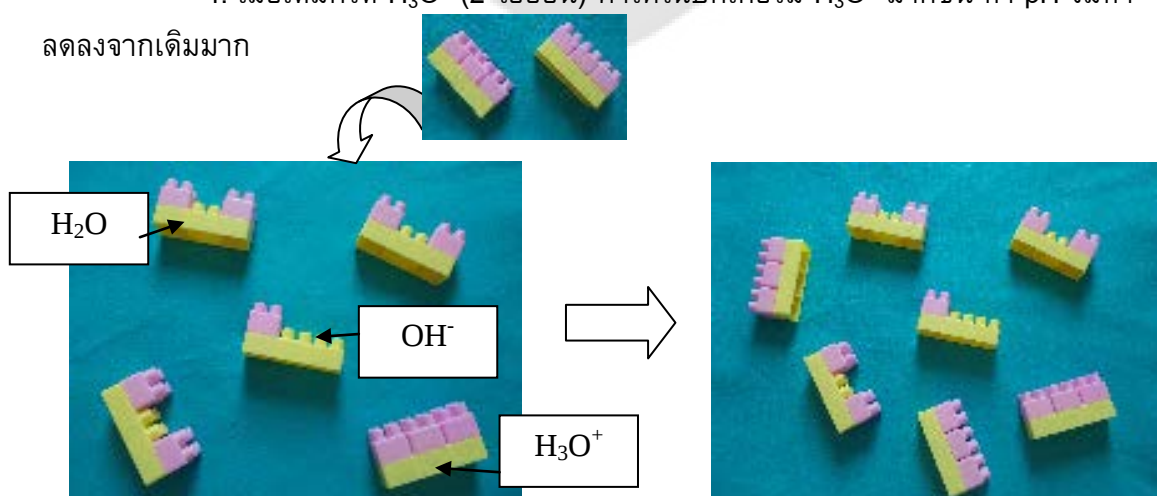
- การแปลความหมายและการสรุปผลการทดลอง การแปลความหมายเป็นการนำข้อมูลที่บันทึกได้ มาจัดให้อยู่ในรูปแบบใหม่ที่เข้าใจง่าย ทำให้เกิดความชัดเจนเพื่อนำไปสู่การสรุปผลมากขึ้น ด้วยวิธีการ เช่น หาค่าเฉลี่ย เขียนให้อยู่ในรูปของกราฟ จัดระบบข้อมูล การคำนวณผล เป็นต้น การสรุปผลการทดลอง เป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตามบนพื้นฐานของผลการทดลองที่ได้ หรืออธิบายเกี่ยวกับคำตอบของคำถามที่อยากรู้ หรืออธิบายผลการตรวจสอบสมมติฐาน ทั้งนี้การสรุปผลต้องอยู่บนหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้จากการทดลอง

3. การทำกิจกรรมเพื่ออธิบายหลักการทำงานของสารละลายบัฟเฟอร์

กรณีที่ 1 เพราะเหตุใด เมื่อหยดกรดหรือเบสลงในสารละลายที่ไม่ใช่บัฟเฟอร์ เช่น น้ำ ค่า pH จึงเปลี่ยนแปลงไปมาก

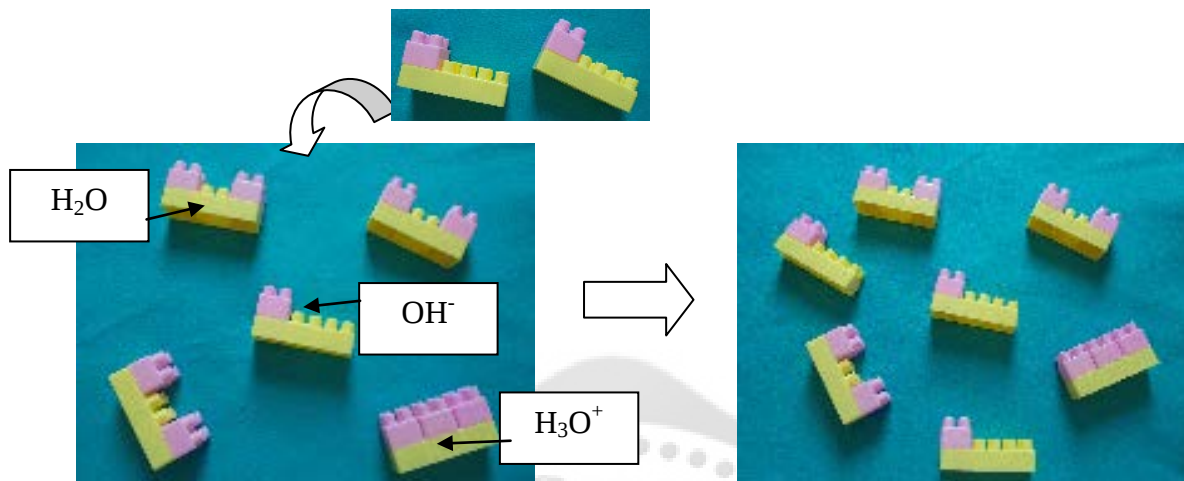
กิจกรรม มีดังนี้

1. แจก Lego กลุ่มละ 1 ชุด
2. ชี้แจง Lego แต่ละชิ้นแทนอนุภาค ดังแสดง
3. สมมติ ในบีกเกอร์มีน้ำ 5 โมเลกุล และน้ำ 2 โมเลกุลมีการให้และรับโปรตอนเกิดเป็น H_3O^+ และ OH^- (เนื่องจากน้ำแตกตัวเป็นไอออนได้น้อยมากๆ ดังนั้นในความเป็นจริงจะมีจำนวนโมเลกุลของน้ำมากกว่านี้)
4. เมื่อเติมกรด H_3O^+ (2 ไอออน) ทำให้ในบีกเกอร์มี H_3O^+ เพิ่มขึ้น ค่า pH จะมีค่าลดลงจากเดิมมาก



5. เมื่อเติมเบสจะทำให้ในบีกเกอร์มี OH^- มากขึ้น อย่างเห็นได้ชัดทำให้ ค่า pH มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมมาก

6. นักเรียนอาจทำซ้ำอีก 1-2 รอบ เพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น

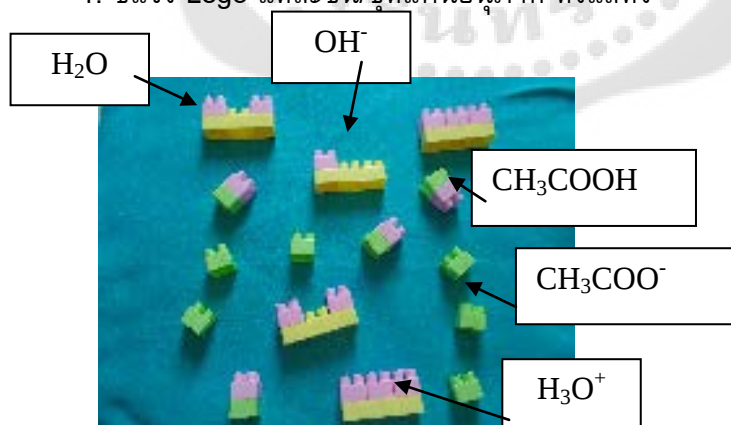


คำอธิบาย สิ่งที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาค คือ เมื่อเติมกรดลงในน้ำจะทำให้ น้ำมีปริมาณของ H_3O^+ เพิ่มขึ้น ทำให้ ค่า pH ของน้ำมีค่าลดลงจากเดิมอย่างมาก เมื่อเติมเบสลงในน้ำจะทำให้มีปริมาณของ OH^- เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า pH ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างมาก

กรณีที่ 2 เพราะเหตุใด เมื่อหยดกรดหรือเบสลงในสารละลายบัฟเฟอร์ที่เกิดจากการผสมกันของกรดอ่อนและเกลือของกรดอ่อน ค่า pH จึงเปลี่ยนแปลงไปไม่มาก

กิจกรรม มีดังนี้

1. ชี้นำ Lego แต่ละชิ้น/ชุดแทนอนุภาค ดังแสดง



2. สมมติ ในบีกเกอร์มี

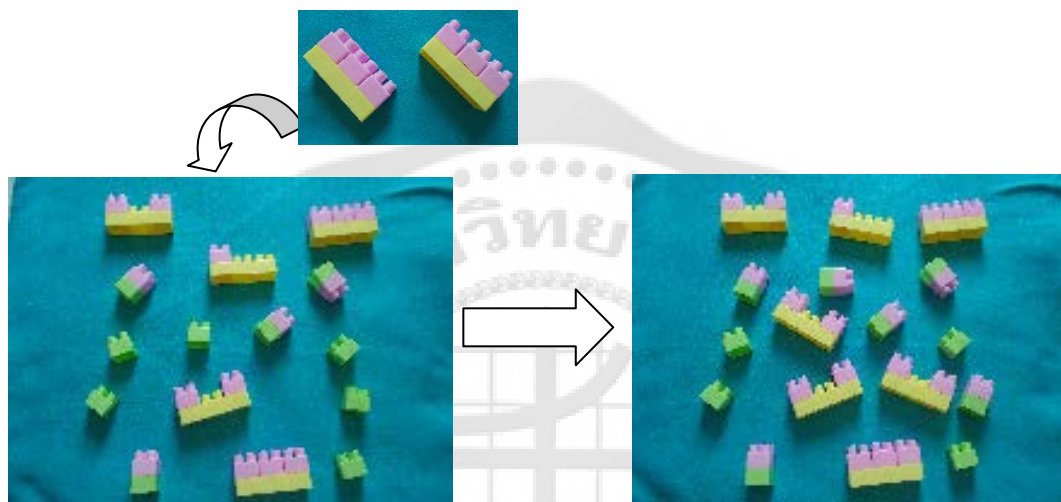
- น้ำ 4 โมเลกุล โดยที่น้ำ 2 โมเลกุลมีการให้และรับโปรตอนเกิดเป็น H_3O^+ และ OH^- (เนื่องจากน้ำแตกตัวเป็นไอออนได้น้อยมากๆ ดังนั้นในความเป็นจริงจะมีจำนวนโมเลกุลของน้ำมากกว่านี้)

- มี CH_3COOH 5 โมเลกุล เป็นกรดอ่อนแตกตัวไป 1 โมเลกุล ให้ CH_3COO^- และ H^+ (รวมตัวกับน้ำ เกิดเป็น H_3O^+)

- มี CH_3COO^- 5 ไอออน ซึ่งได้จากการแตกตัวของ CH_3COONa

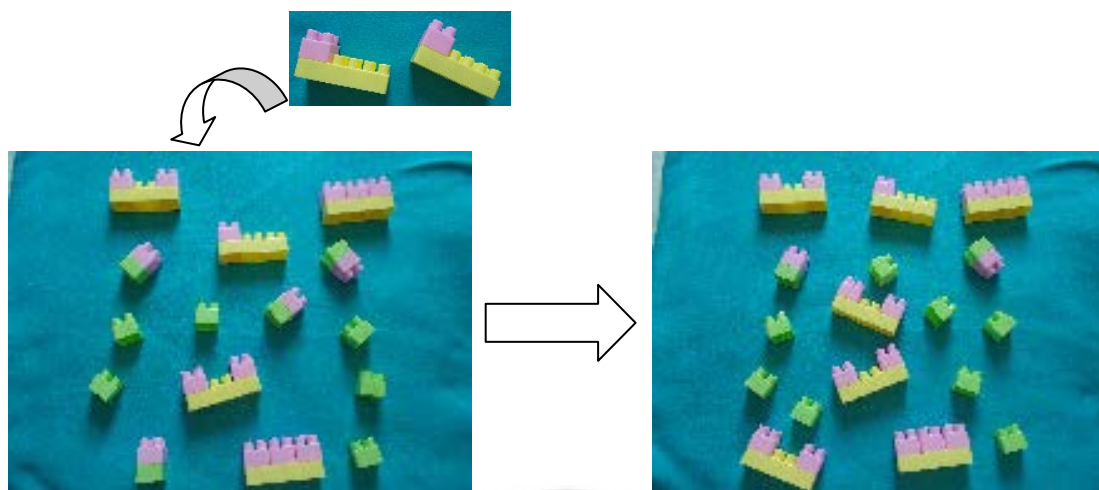
ดังนั้นในสารละลายบัฟเฟอร์จะมีโมเลกุลและไอออนของ $\text{CH}_3\text{COOH} - \text{CH}_3\text{COO}^-$ ซึ่งเป็นคู่กรด-เบสกัน

3. เมื่อเติมกรด H_3O^+ 2 ไอออน จะทำให้คู่เบส CH_3COO^- มาจับกับ H_3O^+ เกิดเป็น CH_3COOH และ น้ำ ซึ่งดูเหมือนว่า $[\text{H}_3\text{O}^+]$ และ $[\text{OH}^-]$ จะไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นค่า pH จึงไม่เปลี่ยนแปลง ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย



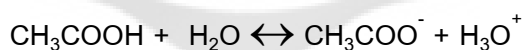
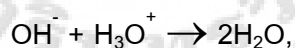
โมเลกุล/ไอออน	ก่อน	หลังเติมกรด
H_3O^+	2	2
H_2O	2	4
OH^-	1	1
CH_3COO^-	6	4
CH_3COOH	4	6

4. ทำเหมือนข้อ 2 จากนั้นเติมเบส OH^- 2 ไอออน จะทำให้คู่กรด CH_3COOH มาจับกับ OH^- เกิดเป็น CH_3COO^- และ น้ำ ซึ่งดูเหมือนว่า $[\text{H}_3\text{O}^+]$ และ $[\text{OH}^-]$ จะไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นค่า pH จึงไม่เปลี่ยนแปลง ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงก็เปลี่ยนแปลงน้อยมาก



โมเลกุล/ไอออน	ก่อน	หลังเติมเบส
H_3O^+	2	2
H_2O	2	4
OH^-	1	1
CH_3COO^-	6	8
CH_3COOH	4	2

คำอธิบายเพิ่มเติม จริงๆ แล้ว OH^- ไม่ได้ไปจับกับคู่กรดเพียงอย่างเดียว แต่จะจับกับ H_3O^+ ด้วย แล้ว CH_3COOH ค่อยแตกตัวเพื่อรักษาสมดุล ดังสมการ



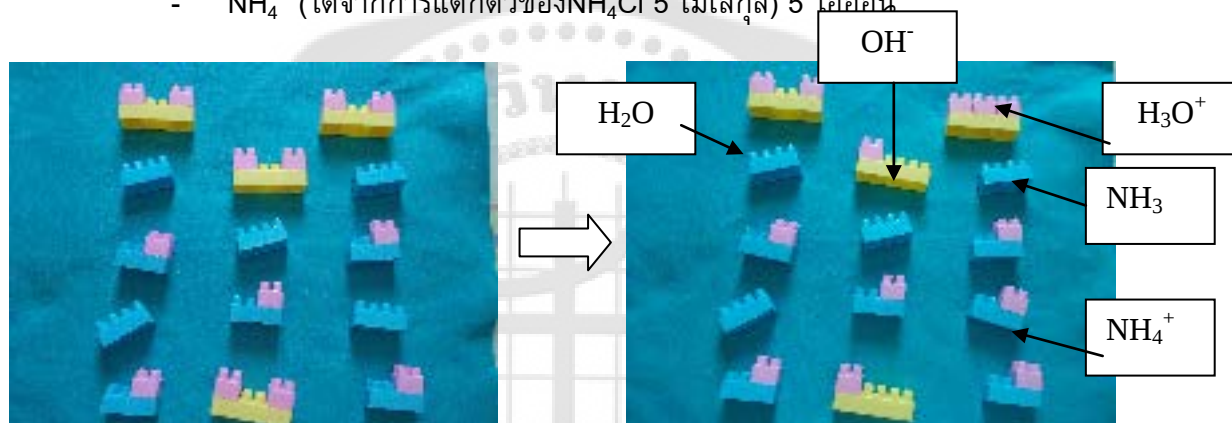
(H_3O^+ ลดลงไปก่อน และ แตกตัวมาใหม่เพื่อรักษาสมดุล แต่อาจแตกตัวได้น้อยลงเพราะมี CH_3COOH อยู่บ่อย ค่า pH จึงเปลี่ยนแปลงน้อยมาก)

และในความเป็นจริงโมเลกุลของสารในสารละลายมีจำนวนเยอะมากๆ มากกว่าที่ ยกตัวอย่าง กล่าวคือ สาร 1 โมลจะมีจำนวนเท่ากับ 6.02×10^{23} โมเลกุล สมมติว่าในสารละลาย บัฟเฟอร์มี $[\text{H}_3\text{O}^+] 2 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ (นั่นคือ 1.204×10^{19} โมเลกุล) ดังนั้น $\text{pH} = 5 - 0.30 = 4.70$ เมื่อเติมเบส H_3O^+ ที่แตกตัวมาชดเชยตัวที่ทำปฏิกิริยากับเบสน้อยลงนิดหน่อยทำให้ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ อาจจะเหลือ $1.8 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ ค่า $\text{pH} = 5 - 0.25 = 4.75$ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อเติมเบสค่า pH ของสารละลายจะเพิ่มขึ้น เพียงเล็กน้อย

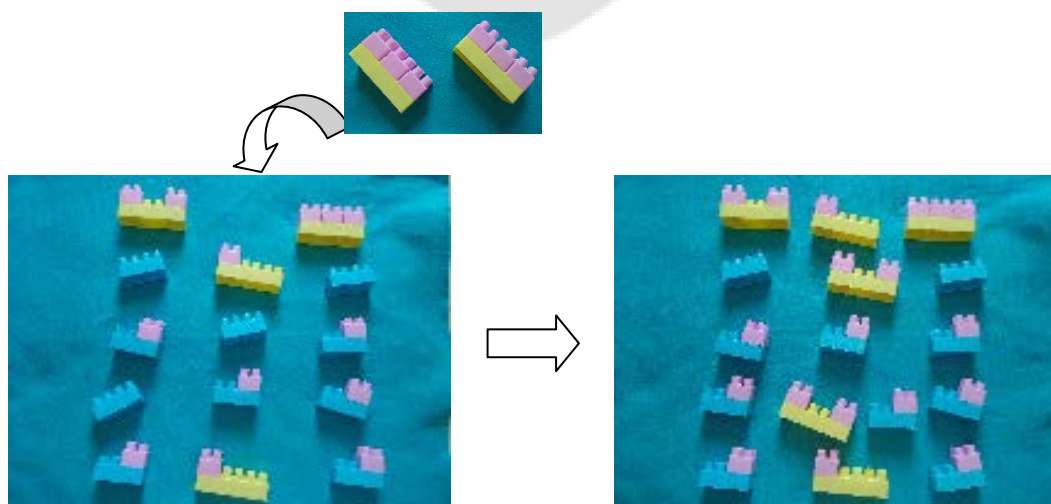
กรณีที่ 3 ทำไมเมื่อหยดกรดหรือเบสลงในสารละลายบัฟเฟอร์ที่เกิดจากการผสมกันของเบสอ่อนและเกลือของเบสอ่อนแล้วค่า pH จึงเปลี่ยนแปลงไปไม่มาก

กิจกรรม คือ

1. ชี้แจง Lego แต่ละอันแทนอนุภาค ดังแสดง
2. ในสารละลายบัฟเฟอร์มี
 - น้ำ 4 โมเลกุล โดยที่น้ำ 2 โมเลกุลมีการให้และรับโปรตอนเกิดเป็น H_3O^+ และ OH^- (เนื่องจากน้ำแตกตัวเป็นไอออนได้น้อยมากๆ ดังนั้นในความเป็นจริงจะมีจำนวนโมเลกุลของน้ำมากกว่านี้)
 - NH_3 5 โมเลกุล เพียงแค่ 1 โมเลกุล รวมตัวกับน้ำได้เป็น NH_4^+ และ OH^- เพราะเป็นเบสอ่อน
 - NH_4^+ (ได้จากการแตกตัวของ NH_4Cl 5 โมเลกุล) 5 ไอออน

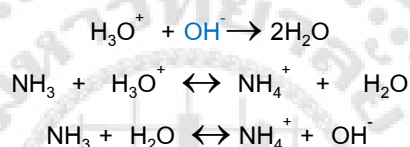


3. เมื่อเติมกรด H_3O^+ 2 ไอออนลงไป คู่เบส NH_3 จะมารวมตัวกับ H_3O^+ เกิดเป็น NH_4^+ กับน้ำ ซึ่งดูเหมือนว่า $[\text{H}_3\text{O}^+]$ และ $[\text{OH}^-]$ จะไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นค่า pH จึงไม่เปลี่ยนแปลง ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงก็เปลี่ยนแปลงน้อยมาก

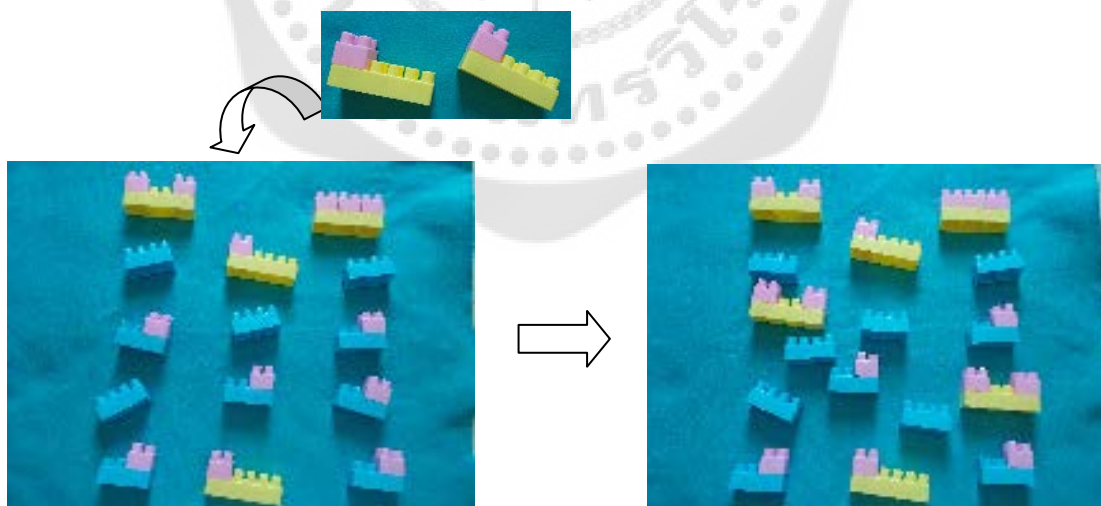


โมเลกุล/ไอออน	ก่อน	หลังเติมกรด
H_3O^+	1	1
H_2O	1	3
OH^-	2	2
NH_4^+	6	8
NH_3	4	2

อธิบายเพิ่มเติม ในความเป็นจริง H_3O^+ ไม่ได้ไปรวมกับคู่เบส (NH_3) เพียงอย่างเดียว มีบางส่วนไปรวมกับ OH^- ทำให้มีปริมาณลดลง ดังนั้น NH_3 พยายามแตกตัวให้ OH^- เพื่อรักษาสสมดุล ดังสมการ แต่เนื่องจาก NH_3 มีปริมาณน้อยลงจึงให้ได้ OH^- ลดลงกว่าเดิมเล็กน้อย ทำให้ค่า pH ลดลงเพียงเล็กน้อย



4. เมื่อเติมเบส OH^- 2 ไอออน ลงไป คู่กรด NH_4^+ จะรวมกับ OH^- เกิดเป็น NH_3 และน้ำ ซึ่งดูเหมือนว่า $[\text{H}_3\text{O}^+]$ และ $[\text{OH}^-]$ จะไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นค่า pH จึงไม่เปลี่ยนแปลง ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงก็เปลี่ยนแปลงน้อยมาก



โมเลกุล/ไอออน	ก่อนเติม	หลังเติมเบส
H_3O^+	1	1
H_2O	1	3
OH^-	2	2
NH_4^+	6	4
NH_3	4	6

4. คำอธิบายการประยุกต์สมโนทัศน์เรื่องสารละลายบัฟเฟอร์ในชีวิตประจำวัน

4.1 เพราะเหตุใด ในเลือดและน้ำทะเล จึงจัดเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ (2 คะแนน)

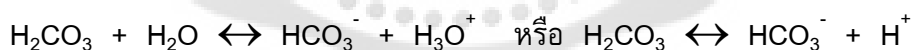
ในเลือดมี HCO_3^- H_2CO_3 เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ซึ่ง HCO_3^- และ H_2CO_3 เป็นคู่กรด-เบสกัน และเป็นกรดอ่อน ดังนั้น เลือดจึงจัดเป็นสารละลายบัฟเฟอร์

ในน้ำทะเลประกอบด้วยโมเลกุลของสารและไอออนต่างๆ มากมาย เช่น H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , CaCO_3 , H_3BO_3 , H_2BO_3^- เป็นต้น ซึ่งมีมีส่วนประกอบของกรดอ่อนและเกลือของกรดอ่อน หรือมีโมเลกุลหรือไอออนที่เป็นคู่กรด-เบสกัน ดังนี้ (1) H_2CO_3 - HCO_3^- โดยที่ H_2CO_3 เป็นกรดอ่อน HCO_3^- เป็นเกลือของกรดอ่อน และ (2) H_3BO_3 - H_2BO_3^- โดยที่ H_3BO_3 กรดอ่อน และ H_2BO_3^- เป็นเกลือของกรดอ่อน

เกณฑ์การประเมิน อธิบายได้ถูกต้อง = 2 คะแนน อธิบายถูกต้องบางส่วน = 1 คะแนน ไม่ตอบหรืออธิบายผิด = 0 คะแนน

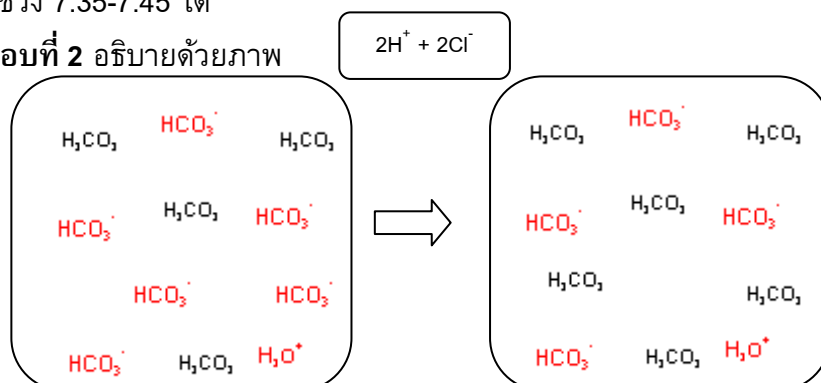
4.2 ระบบบัฟเฟอร์ที่อยู่ในเลือด สามารถควบคุม pH ของเลือดในร่างกายได้อย่างไร เมื่อภาวะสมดุลในเลือดของเราถูกรบกวนด้วยกรด (2 คะแนน)

แนวคำตอบที่ 1 อธิบายด้วยสมการ



จากสมการการเติมกรดลงไป จะไปรวมตัวกับคู่เบสเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งไม่ทำให้ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ เพิ่มขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย จึงยังคงรักษาค่า pH ให้อยู่ช่วง 7.35-7.45 ได้

แนวคำตอบที่ 2 อธิบายด้วยภาพ



จากภาพจะเห็นว่า ปริมาณหรือความเข้มข้นของ H_3O^+ มีค่าคงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมากทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย จึงยังคงรักษาค่า pH ให้อยู่ช่วง 7.35-7.45 ได้

คำอธิบายเพิ่มเติมสำหรับครู

$\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$			$\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}^+ + \text{HCO}_3^-$		
5	-	-	5	-	-
-1	+1	+1	-5	+5	+5
4	1	1	0	+5	+5
ระบบบัฟเฟอร์	$\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$				
	4	6	1		
เติม $2\text{H}_3\text{O}^+$	$\text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$				
ร	6	1	4		
ป	-2	0	+2	+2	
ส	4	1	6	2	

เกณฑ์การให้คะแนน

รายการประเมิน	คะแนน
เขียนอธิบายด้วยข้อความหรือสมการหรือการวาดภาพที่แสดงให้เห็นว่า เมื่อเติมกรดลงไปเล็กน้อย ไม่ได้ทำให้ปริมาณหรือความเข้มข้นของ H_3O^+ เปลี่ยนแปลงไปมากนักได้ถูกต้องหรือใกล้เคียง และเขียนคำอธิบายประกอบตามแนวคำตอบได้ถูกต้อง	2
เขียนอธิบายด้วยสมการ หรือการวาดภาพถูกต้อง หรือ เขียนคำอธิบายประกอบตามแนวคำตอบได้ถูกต้อง	1
ตอบผิด เขียนไม่สมบูรณ์ หรือไม่ตอบ	0

ใบงานที่ 9.1 สิ่งที่ฉันรู้ก่อนเรียน

คำชี้แจง: ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

ข้อ 1 นักเรียนคิดว่า เมื่อหยดสารละลายกรดหรือเบสความเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 ประมาณ 1-2 หยด ลงไปในน้ำ 1 แก้ว ค่า pH จะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร และเพราะเหตุใด

.....

ข้อ 2 สารต่อไปนี้ 1) เลือดในร่างกายของเรา 2) น้ำทะเล 3) น้ำมะพร้าวสด เมื่อหยดสารละลายกรดหรือเบสความเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 ประมาณ 1-2 หยด ลงในสารปริมาตร 250 cm^3 ค่า pH จะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร และเพราะเหตุใด

2.1 เมื่อหยดกรด

.....

2.2 เมื่อหยดเบส

.....

ใบงานที่ 9.2

การทดลองเรื่อง สารละลายบัฟเฟอร์

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. ตั้งสมมติฐาน กำหนดตัวแปร กำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ทดลอง และสรุปผลการทดลองเพื่อสรุปสมบัติสารละลายบัฟเฟอร์เมื่อเติมกรดและเบสลงไป
2. เพื่อให้เกิดความรู้สึกรู้สึกและชอบทำการทดลองทางเคมี

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี (ต่อกลุ่ม)

pH meter/สารละลายยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์/กระดาษพีเอช หลอดหยด น้ำกลั่น/น้ำธรรมดา
 บีกเกอร์/หลอดทดลอง/แก้วพลาสติก 8 ใบ สารละลาย HCl 0.1 M สารละลาย NaOH 0.1 M
 ตัวอย่างสารละลายกลุ่มที่ 1 $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa}$ $\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$ น้ำมะนาวสด
 ตัวอย่างสารละลายกลุ่มที่ 2 น้ำ $\text{NaOH} + \text{NaCl}$ $\text{NH}_3 + \text{NaCl}$ $\text{HCl} + \text{NaCl}$

คำถาม สารละลายกลุ่มที่ 1 และสารละลายที่กลุ่มที่ 2 เมื่อหยดกรดหรือเบสลงไป ค่า pH จะมีการเปลี่ยนแปลงไป แตกต่างกันอย่างไร

สมมติฐาน (ตัวอย่าง)

เมื่อหยดกรดลงไป ในสารละลายกลุ่มที่ 1 ค่า pH จะลดลงไม่มาก สารละลายกลุ่มที่ 2 ค่า pH จะลดลงมาก และเมื่อหยดเบสลงไป ในสารละลายกลุ่มที่ 1 ค่า pH จะเพิ่มขึ้นไม่มาก สารละลายกลุ่มที่ 2 ค่า pH จะเพิ่มขึ้นมาก

เมื่อหยดกรดและเบสลงในสารละลายกลุ่มที่ 1 ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปจะน้อยกว่าสารละลายกลุ่มที่ 2

ตัวแปรต้น (ตัวอย่าง) สารละลายกลุ่มที่ 1 และสารละลายกลุ่มที่ 2

ตัวแปรตาม (ตัวอย่าง) ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไป

ตัวแปรควบคุม (ตัวอย่าง) ปริมาตรของสารละลาย จำนวนหยดของกรดและเบส

นิยามเชิงปฏิบัติการ (ตัวอย่าง)

ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไป หาได้จากความแตกต่างของค่า pH เริ่มต้นและค่า pH หลังเติมกรดและเบส โดยค่า pH วัดได้จากสารละลายยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ หรือ กระดาษ หรือ pH meter

วิธีการทดลอง (ตัวอย่าง)

- 1) เทตัวอย่างสารละลายกลุ่มที่ 1 และสารละลายกลุ่มที่ 2 ลงในบีกเกอร์ ในปริมาตรที่เท่าๆ กัน วัดค่า pH บันทึกค่า pH
- 2) หยดสารละลายกรดลงไป คนให้ทั่ว วัดค่า pH บันทึกค่า pH
- 3) ทำเหมือนข้อ 1-2 แต่เติมสารละลายเบสลงไป

บันทึกผล (ตัวอย่าง)

สารละลาย	ค่า pH ของสารละลาย	ค่า pH ของสารละลายเมื่อหยด	
		HCl 1 หยด	NaOH 1 หยด
สารละลายกลุ่มที่ 1 1) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa}$ 2) $\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$ 3) น้ำมะพร้าวสด 4) น้ำทะเล		อาจให้นักเรียนลองหยดมากขึ้นแล้วดูว่าค่า pH จะเป็นอย่างไร	อาจให้นักเรียนลองหยดมากขึ้นแล้วดูว่าค่า pH จะเป็นอย่างไร
สารละลายกลุ่มที่ 2 4) น้ำ 5) $\text{NaOH} + \text{NaCl}$ 6) $\text{NH}_3 + \text{NaCl}$ 7) $\text{HCl} + \text{NaCl}$			

สรุปผล (ตัวอย่าง)

เมื่อหยดกรดลงไป ในสารละลายกลุ่มที่ 1 ค่า pH จะลดลงไม่มาก สารละลายกลุ่มที่ 2 ค่า pH จะลดลงมาก และเมื่อหยดเบสลงไป ในสารละลายกลุ่มที่ 1 ค่า pH จะเพิ่มขึ้นไม่มาก สารละลายกลุ่มที่ 2 ค่า pH จะเพิ่มขึ้นมาก เมื่อหยดกรดและเบสลงไป ในสารละลายกลุ่มที่ 1 ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปจะน้อยกว่าสารละลายกลุ่มที่ 2

บันทึกเพิ่มเติม (แนะนำคำศัพท์)

สารละลายกลุ่มที่ 1 เรียกว่า สารละลายบัฟเฟอร์ คือ สารละลายที่สามารถรักษาระดับค่า pH ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปมากนัก เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปเพียงเล็กน้อย
 สารละลายกลุ่มที่ 2 ไม่ใช่ สารละลายบัฟเฟอร์

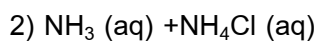
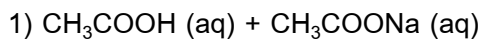
ข้อสรุปที่สำคัญ

สารละลายบัฟเฟอร์ มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือสามารถรักษาระดับค่า pH ของสารละลายไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปมากนักเมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปเล็กน้อย.....

เกณฑ์การให้คะแนน คือ ถูกต้องครบถ้วน 2 คะแนน ถูกต้องบางส่วน 1 คะแนน ผิดหรือไม่ตอบ 0 คะแนน

ใบงานที่ 9.3 ส่วนประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์

คำชี้แจง: จากตัวอย่างสารละลายบัฟเฟอร์



นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1) จากการทดลอง สารละลายบัฟเฟอร์มีสมบัติเป็นอย่างไร

สามารถควบคุม pH ของสารละลายไม่ให้เกิดเปลี่ยนแปลงไปมากนักเมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปเล็กน้อย

2) CH_3COOH มีสมบัติเป็น ...กรดอ่อน... และ CH_3COONa เป็น ...เกลือ (ของกรดอ่อน)...

CH_3COOH และ CH_3COONa มีความเกี่ยวข้องกันอย่างไร เป็นคู่กรด-เบสกัน.....

3) NH_3 มีสมบัติเป็น...เบสอ่อน...และ NH_4Cl เป็น ...เกลือ (ของเบสอ่อน)....

NH_3 และ NH_4Cl มีความเกี่ยวข้องกันอย่างไรเป็นคู่กรด-เบสกัน.....

4) สารละลายบัฟเฟอร์ทั้งสองระบบเหล่านี้ มีองค์ประกอบใดที่เหมือนกันประกอบด้วยกรด/เบสอ่อน และ เกลือของกรด/เบสอ่อน หรือ ประกอบด้วยโมเลกุลหรือไอออนที่เป็นคู่กรด-เบสกัน.....

5) ดังนั้น สารละลายบัฟเฟอร์ประกอบด้วย ...กรดอ่อนและเกลือของกรดอ่อน หรือ เบสอ่อนและเกลือของเบสอ่อน หรือ โมเลกุลหรือไอออนที่เป็นคู่กรด-เบสกัน....

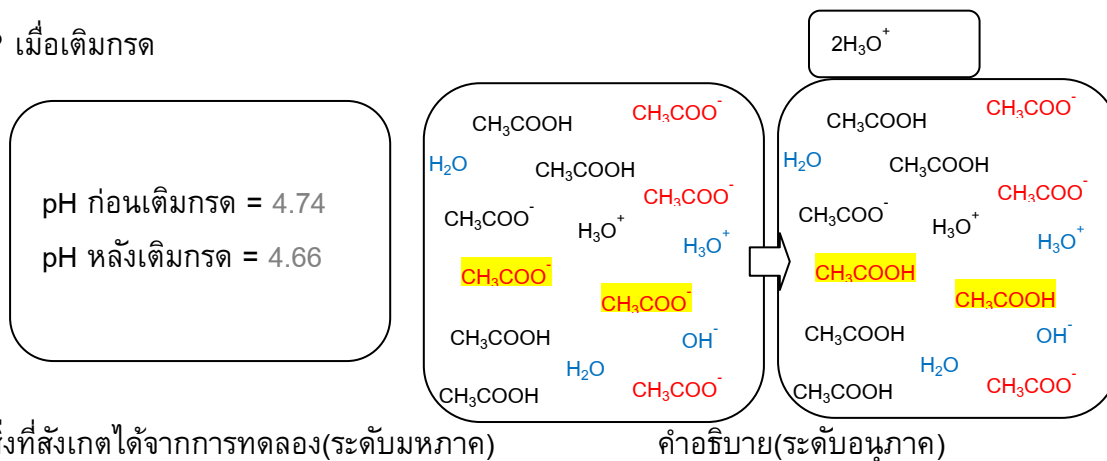
เกณฑ์การให้คะแนนแต่ละข้อ คือ ตอบถูกต้องได้ 2 คะแนน ตอบถูกบางส่วนได้ 1 คะแนน และตอบผิดหรือไม่ตอบได้ 0 คะแนน

ในงานที่ 9.4 เพราะเหตุใด สารละลายบัฟเฟอร์จึงสามารถรักษาค่า pH ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปมากนักได้

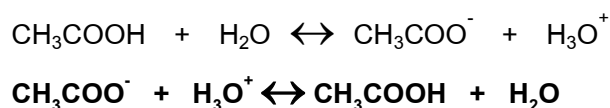
(แนวคำตอบ)

1. สารละลายบัฟเฟอร์ที่เกิดจากกรดอ่อนและเกลือของกรดอ่อน

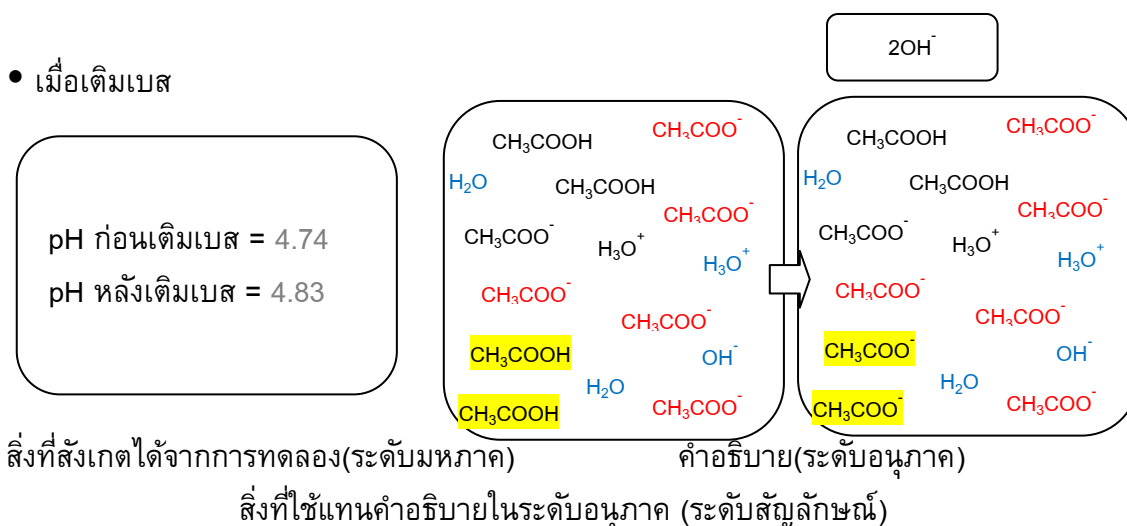
• เมื่อเติมกรด



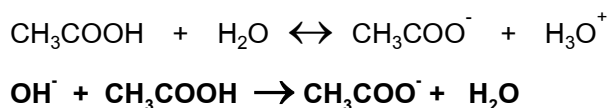
สารละลายบัฟเฟอร์
เมื่อเติมกรด



• เมื่อเติมเบส



สารละลายบัฟเฟอร์
เมื่อเติมเบส

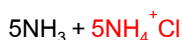


$\text{OH}^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{OH}^- + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}$, $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$
(H₃O⁺ ลดลงไปก่อน และ แยกตัวมาใหม่เพื่อรักษาสสมดุล แต่อาจแตกตัวได้น้อยลงเพราะมี CH₃COOH อยู่บ่อย ค่า pH จึงเปลี่ยนแปลงน้อยมาก)

ใบงานที่ 9.4 (ต่อ)

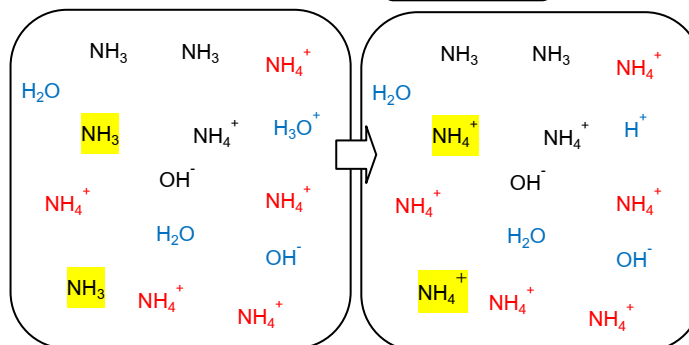
1. สารละลายบัฟเฟอร์ที่เกิดจากเบสอ่อนและเกลือของเบสอ่อน

• เมื่อเติมกรด



pH ก่อนเติมกรด = ____

pH หลังเติมกรด = ____



สิ่งที่สังเกตได้จากการทดลอง(ระดับมหภาค)

คำอธิบาย(ระดับอนุภาค)

สิ่งที่ใช้แทนคำอธิบายในระดับอนุภาค (ระดับสัญลักษณ์)

ระบบบัฟเฟอร์



เมื่อเติมกรด

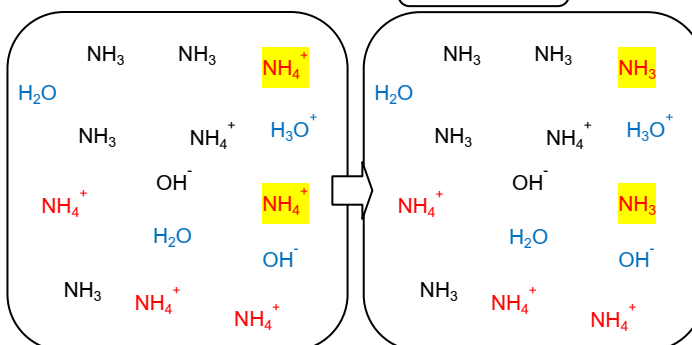


• เมื่อเติมเบส



pH ก่อนเติมเบส = ____

pH หลังเติมเบส = ____

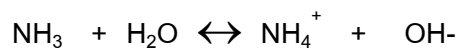


สิ่งที่สังเกตได้จากการทดลอง(ระดับมหภาค)

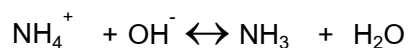
คำอธิบาย(ระดับอนุภาค)

สิ่งที่ใช้แทนคำอธิบายในระดับอนุภาค (ระดับสัญลักษณ์)

ระบบบัฟเฟอร์



เมื่อเติมเบส



ใบงานที่ 9.5 สิ่งที่เราได้เรียนรู้

(แนวคำตอบ)

คำชี้แจง ให้นักเรียนสรุปองค์ความรู้เรื่องสารละลายบัฟเฟอร์ลงในกรอบด้านล่างนี้ (5 คะแนน)

ประเด็นที่ 1 สมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์

สารละลายบัฟเฟอร์ คือ สารละลายที่สามารถรักษาระดับค่า pH ไว้ได้เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปเพียงเล็กน้อย

ประเด็นที่ 2 ส่วนประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์

สารละลายบัฟเฟอร์ประกอบด้วยสารละลายของกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อน หรือ สารละลายของเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อนซึ่งเป็นคู่กรด-เบสกัน หรือ อาจกล่าวได้ว่า สารละลายบัฟเฟอร์ประกอบด้วยโมเลกุลหรือไอออนที่เป็นคู่กรด-เบสกัน

ประเด็นที่ 3 หลักการควบคุมค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์

สารละลายบัฟเฟอร์สามารถรักษาระดับค่า pH ไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงไปมากเมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปเพียงเล็กน้อยได้ เนื่องจากในสารละลายบัฟเฟอร์ประกอบด้วย โมเลกุลหรือไอออนที่เป็นคู่กรด-เบส ($\text{CH}_3\text{COOH} - \text{CH}_3\text{COO}^-$) ซึ่งกันและกันอยู่ในภาวะสมดุล เมื่อเติมกรด (H_3O^+) คู่เบส (CH_3COO^-) จะมารวมกับ H_3O^+ เกิดเป็นคู่กรด CH_3COOH หรือเมื่อเติมเบส (OH^-) คู่กรด (CH_3COOH) มารวมตัวกับ OH^- เกิดเป็นคู่เบส (CH_3COO^-) และน้ำ ทำให้ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ และ $[\text{OH}^-]$ โดยรวมมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์จึงมีค่าคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

เกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละข้อย่อย เขียนถูกต้อง = 2 เขียนถูกต้องบางส่วน = 1 เขียนผิด = 0

เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

คำชี้แจง: ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ ที่ตรงกับสิ่งที่กลุ่มทำได้มากที่สุดในแต่ละทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

รวม/..15.. คะแนน

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ระดับคะแนน			
	3 (ดีเยี่ยม)	2 (ดี)	1 (พอใช้)	0 (ต้องปรับปรุง)
การตั้งสมมติฐาน	ตั้งสมมติฐานถูกต้อง และสอดคล้องกับตัวแปรต้นและตัวแปรตามที่จะทำการศึกษา ☐	ตั้งสมมติฐานถูกต้อง แต่ยังไม่สอดคล้องกับตัวแปรต้นและตัวแปรตามที่จะทำการศึกษา ☐	ตั้งสมมติฐานไม่ถูกต้อง และไม่สอดคล้องกับตัวแปรต้นและตัวแปรตามที่จะทำการศึกษา ☐	ไม่มีการตั้งสมมติฐานก่อนทำการทดลอง ☐
การกำหนดและควบคุมตัวแปร	ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมถูกต้องทั้ง 3 ตัวแปร ☐	ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม หรือตัวแปรควบคุมถูกต้องเพียง 2 ตัวแปร ☐	ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม หรือตัวแปรควบคุมถูกต้องเพียง 1 ตัวแปร ☐	ไม่มีการระบุตัวแปร หรือระบุแต่ผิดทุกตัวแปร ☐
การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	มีการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปรตามที่สามารถวัดและสังเกตได้จริง และสอดคล้องกับสิ่งที่ จะทำการศึกษา ☐	มีการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปรตามที่สามารถวัดและสังเกตได้จริง แต่ไม่สอดคล้องกับสิ่งที่ จะทำการศึกษา ☐	มีการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปรตาม แต่ไม่สามารถวัดและสังเกตได้จริง และไม่สอดคล้องกับสิ่งที่ จะทำการศึกษา ☐	ไม่มีการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปรตาม ☐
การทำการทดลอง	มีการออกแบบการทดลอง ทำการทดลองและบันทึกผลการทดลองสอดคล้องกับสมมติฐานหรือตัวแปรที่กำหนด ☐	มีการออกแบบการทดลองสอดคล้องกับสมมติฐาน แต่ทำการทดลองและบันทึกผลไม่สอดคล้องกับสมมติฐานหรือตัวแปรที่กำหนด ☐	มีการออกแบบการทดลอง แต่ไม่สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ และบันทึกผลไม่สอดคล้องกับสมมติฐานหรือตัวแปรที่กำหนด ☐	ไม่มีการออกแบบการทดลอง บันทึกผลไม่สอดคล้องกับสมมติฐานหรือตัวแปรที่กำหนด หรือไม่มีการบันทึกผล ☐
การแปลความหมายข้อมูลและสรุปผลการทดลอง	สรุปผลการทดลองจากหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับสมมติฐานหรือตัวแปร ได้ถูกต้อง ชัดเจนและครอบคลุม ☐	สรุปผลการทดลองจากหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับสมมติฐานหรือตัวแปร แต่ไม่ชัดเจน และไม่ครอบคลุม ☐	สรุปผลการทดลองจากหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้จากการทดลอง แต่ไม่สอดคล้องกับสมมติฐานหรือตัวแปรที่กำหนด ☐	สรุปผลการทดลองจากความ คิดเห็น ไม่ได้ใช้ข้อมูลจากหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้จากการทดลอง ☐

หมายเหตุ: ปรับมาจาก Rompayom. 2010: p324*สำหรับ(1)นักเรียนประเมินตนเอง(กลุ่ม) และ (2) ครูใช้เป็นแนวทางในการตรวจให้คะแนน*

การประเมินความรู้สึกสนุกหรือชอบเกี่ยวกับการทำการทดลองทางเคมี

คำชี้แจง: ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องใต้ภาพที่ตรงความรู้สึกของนักเรียนมากที่สุด
เกี่ยวกับการทำการทดลองทางเคมี โดยแต่ละหน้ามีความหมายและระดับคะแนนดังนี้

- 1) 😊 = การทดลองทางเคมีสนุกหรือชอบทำการทดลองทางเคมีมาก
- 2) 😐 = การทดลองทางเคมีสนุกหรือชอบทำการทดลองทางเคมีปานกลาง
- 3) ☹️ = การทดลองทางเคมีสนุกหรือชอบทำการทดลองทางเคมีน้อย

(คิดเป็นค่าเฉลี่ยและแปลความหมายได้ดังนี้ (0.00-0.50 หมายถึง รู้สึกไม่สนุกและไม่ชอบ
การทดลองทางเคมี 1.51-2.00 หมายถึง รู้สึกสนุกและชอบการทดลองทางเคมีในระดับต่ำ 2.01-2.50
หมายถึง รู้สึกสนุกและชอบการทดลองทางเคมีในระดับปานกลาง 2.51-3.00 หมายถึง รู้สึกสนุกและ
ชอบการทดลองทางเคมีในระดับสูง)



--	--	--



Appendix F
Certificate of Approval



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย โทร. 11013

ที่ ศธ 0519.38/ ๒๗

วันที่ ๒๒ มกราคม 2558

เรื่อง ใบอนุญาตการทำวิจัยในมนุษย์

เรียน นางสาวศศิพิภา สิทธิ (ศูนย์วิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ)

ตามที่ ท่านได้ส่งโครงการวิจัย เพื่อขออนุญาตทำการวิจัยในมนุษย์ นั้น คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ได้พิจารณาและออกใบอนุญาตให้ท่าน ดังนี้

หนังสือรับรองเลขที่ SWUEC/E-003/2558 เรื่อง การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ ปฏิบัติการเรื่อง กรด-เบส บนพื้นฐานทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้โดยกระบวนการทางสังคมและการเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

อนึ่งท่านต้องดำเนินการโครงการวิจัยตามที่ได้กำหนดไว้อย่างเคร่งครัด หากมีการปรับเปลี่ยน/แก้ไขใดๆ ต้องนำเสนอคณะกรรมการเพื่อขออนุมัติก่อน และถ้าโครงการวิจัยนี้เสร็จสิ้นแล้ว ขอความกรุณาส่งรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์(รูปเล่ม)ให้กับประธานคณะกรรมการจริยธรรมฯ จำนวน 1 เล่ม

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและดำเนินการดังกล่าวด้วย จักขอบคุณยิ่ง

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

ประธานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

หมายเหตุ : ใบอนุญาตการทำวิจัยในมนุษย์ ที่ท่านได้รับนี้ออกโดยคณะกรรมการจริยธรรมฯ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สามารถทำวิจัยได้เฉพาะภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ หากท่านต้องการทำวิจัยในมนุษย์ ที่หน่วยงานภายนอก ท่านจะต้องขอใบอนุญาตการทำวิจัยฯ จากหน่วยงานภายนอกที่มีคณะกรรมการจริยธรรมฯ ด้วย



MF4Version1:15/7/2556

ใบรับรองจริยธรรมการวิจัยของข้อเสนอการวิจัย
เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมการวิจัยและยินยอม

หมายเลขข้อเสนอการวิจัย

SWUEC- 208/57E

ข้อเสนอการวิจัยนี้และเอกสารประกอบของข้อเสนอการวิจัยตามรายการแสดงด้านล่าง ได้รับการพิจารณาจาก คณะกรรมการสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒแล้ว คณะกรรมการฯ มีความเห็นว่าข้อเสนอการวิจัยที่จะดำเนินการมีความสอดคล้องกับหลักจริยธรรมสากล ตลอดจนกฎหมาย ข้อบังคับและ ข้อกำหนดภายในประเทศ จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยตามข้อเสนอการวิจัยนี้ได้

- ชื่อโครงการวิจัยเรื่อง:** การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้รูปแบบการเรื่อง กรด-เบส บนพื้นฐานทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้โดยกระบวนการทางสังคมและการเชื่อมโยงตัวแทนแนวคิดทางเคมีใน 3 ระดับ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
- ชื่อผู้วิจัยหลัก:** นางสาวศศิพิภา สิริ
- สังกัด:** ศูนย์วิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- เอกสารที่รับรอง:**
1. แบบเสนอโครงการวิจัย
 2. โครงการวิจัย
 3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมวิจัย
 4. หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

เอกสารที่พิจารณาทบทวน

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1. แบบเสนอโครงการวิจัย | ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 29 ธ.ค. 2558 |
| 2. โครงการวิจัย | ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 29 ธ.ค. 2558 |
| 3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมวิจัย | ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 29 ธ.ค. 2558 |
| 4. หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย | ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 29 ธ.ค. 2558 |

(ลงชื่อ).....

(อาจารย์ แพทย์หญิงจันทร์พร่า ตันนันทูทองค์)

เลขานุการคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

(ลงชื่อ).....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

ประธานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

หมายเลขรับรอง : SWUEC/E-003/2558

วันที่ให้การรับรอง : 09/01/2558

วันหมดอายุใบรับรอง : 09/01/2559

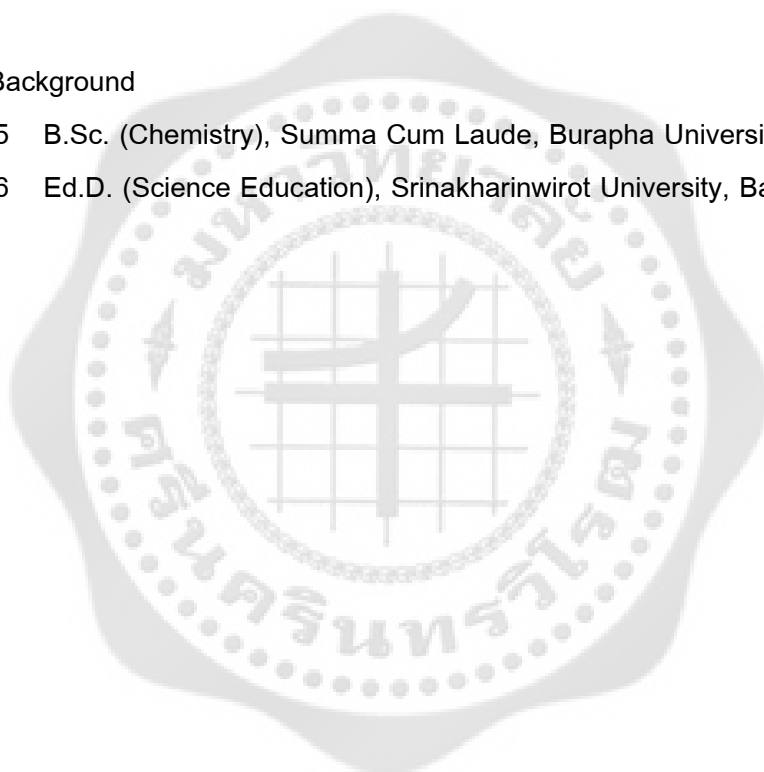


VITAE

Name Miss Navara Seetee
Date of Birth October 6, 1983
Place of Birth Muang District, Nakhonnayok Province
Address 93/189, Keerada, Soi 9, Saensuk Rd., Saensuk District,
Chonburi 20130
Thailand
E-mail: jpt2526@gmail.com

Educational Background

- 2005 B.Sc. (Chemistry), Summa Cum Laude, Burapha University, Chonburi
2016 Ed.D. (Science Education), Srinakharinwirot University, Bangkok





VITAE

Name Miss Navara Seetee
Date of Birth October 6, 1983
Place of Birth Muang District, Nakhonnayok Province
Address 93/189, Keerada, Soi 9, Saensuk Rd., Saensuk District,
Chonburi 20130
Thailand
E-mail: jpt2526@gmail.com

Educational Background

- 2005 B.Sc. (Chemistry), Summa Cum Laude, Burapha University, Chonburi
2016 Ed.D. (Science Education), Srinakharinwirot University, Bangkok

