A DEVELOPMENT OF PLANT BIOLOGY LEARNING UNITS INCORPORATED WITH AN ANALOGY TECHNIQUE FOR LOWER SECONDARY SCHOOL STUDENTS

A DISSERTATION

BY

SITTICHAI WICHAIDIT

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Doctor of Education Degree in Science Education

at Srinakharinwirot University

August 2010

A DEVELOPMENT OF PLANT BIOLOGY LEARNING UNITS INCORPORATED WITH AN ANALOGY TECHNIQUE FOR LOWER SECONDARY SCHOOL STUDENTS

A DISSERTATION

BY

SITTICHAI WICHAIDIT

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Doctor of Education Degree in Science Education

at Srinakharinwirot University

August 2010

Copyright 2010 by Srinakharinwirot University

A DEVELOPMENT OF PLANT BIOLOGY LEARNING UNITS INCORPORATED WITH AN ANALOGY TECHNIQUE FOR LOWER SECONDARY SCHOOL STUDENTS

AN ABSTRACT

BY

SITTICHAI WICHAIDIT

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Doctor of Education Degree in Science Education

at Srinakharinwirot University

August 2010

Sittichai Wichaidit. (2010). *A Development of Plant Biology Learning Units Incorporated with an Analogy Technique for Lower Secondary School Students*. Dissertation, Ed.D. (Science Education). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Assoc. Prof. Dr. Somson Wongyounoi, Assoc. Prof. Dr. Parin Chaivisuthangkura, Dr. Precharn Dechsri.

This study aimed to develop the learning units on plant biology incorporated with an analogy technique for lower secondary school students, and to study learning outcomes of the students who studied through the learning units including learning achievement, conceptual status, learning retention, and satisfaction toward the instruction.

Research methodology consisted of two stages, preparatory and confirmatory stage. In preparatory stage, research materials which included learning units and materials for collecting data were developed. The learning units consisted of five main topics drawn on the Thai Basic Education Curriculum B.E. 2551 including plant cell and organelles, plant transportation, photosynthesis, plant reproduction, and plant response. Analogies were selected and verified to use for designing the learning activities. The instructional materials including a teaching guide and a learning guide were examined by the experts on the basis of their appropriateness and consistency, then; the learning units were trialed with 48 seventh grade students from Rattanakosinsomposh Ladgrabang School in order to improve their quality and collect data to set a criterion score. In confirmatory stage, the learning units were implemented with 48 seventh grade students from Suratpittaya School. Data collection included pre-test and post-test of student's achievement scores and student's conceptual status scores. The student's satisfaction toward the instruction was collected after the implementation. After two weeks of the instruction, the students took the achievement test again as the retention test. Classroom observations and teacher's interviews were documented by the researcher for the result discussion.

The research finding showed that after learning through the learning units, the students' scores from the achievement test, the conceptual status test, and the students' satisfaction questionnaire were higher than the criterion scores at the .05 level of significance. In addition, there was also a correlation between the conceptual status score and learning retention score at the .05 level of significance. These results supported the research hypotheses.

การพัฒนาหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ชีววิทยาเกี่ยวกับพืช ที่สอดแทรกเทคนิคการสอนแบบอุปมาอุปไมย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น

บทคัดย่อ

ของ

สิทธิชัย วิชัยดิษฐ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตรศึกษา
สิงหาคม 2553

สิทธิชัย วิชัยดิษฐ. (2553). *การพัฒนาหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ชีววิทยาเกี่ยวกับพืช ที่สอดแทรกเทคนิคการสอนแบบอุปมาอุปไมย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น*. ปริญญานิพนธ์. กศ.ด. (วิทยาศาสตรศึกษา).กรุงเทพ ฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรรมการควบคุม: รศ.ดร. สมสรร วงษ์อยู่น้อย, รศ.ดร. ปรินทร์ ชัยวิสุทธางกูร, ดร. ปรีชาญ เดชศรี

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนา หน่วยการเรียนรู้เรื่อง ชีววิทยาเกี่ยวกับพืช ที่สอดแทรกเทคนิคการสอนแบบอุปมาอุปไมย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และศึกษาผลการเรียนรู้ของ นักเรียนที่ผ่านการเรียนการสอนจากหน่วยการเรียนรู้ดังกล่าว ในด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สถานะของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ความคงทนในการเรียนรู้ และความพึงพอใจต่อการเรียนการสอน

กระบวนการวิจัยเพื่อพัฒนาหน่วยการเรียนรู้แบ่งเป็น 2 ระยะ คือ การเตรียมเครื่องมือวิจัย และ การยืนยันผลการใช้หน่วยการเรียนรู้ ระยะการเตรียมเครื่องมือวิจัย ประกอบด้วยการพัฒนาหน่วยการเรียนรู้ และการพัฒนาเครื่องมือวิจัยที่ใช้ในการเก็บข้อมูล หน่วยการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นมี 5 เนื้อหาหลัก ตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 คือ เซลล์พืช การลำเลียงในพืช การสังเคราะห์ด้วยแสง การสืบพันธุ์ของพืช และ การตอบสนองของพืช ในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ มีการสอดแทรกอุปมาอุปไมยที่ได้รับการคัดเลือกและผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง หน่วยการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นได้รับการประเมินความเหมาะสมและความสอดคล้องจากผู้เชี่ยวชาญ และได้นำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จำนวน 48 คนจากโรงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภชลาดกระบัง เพื่อพัฒนาคุณภาพของหน่วยการเรียนรู้และรวมรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดเกณฑ์สำหรับการทดสอบสมมติฐาน ในระยะการยืนยันผลการใช้หน่วยการเรียนรู้ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จำนวน 48 คนจากโรงเรียนสุราษฎร์พิทยา ได้รับการเรียนการสอนโดยใช้หน่วยการเรียนรู้ที่ปรับปรุงแล้ว ข้อมูลที่ได้รับจากการใช้หน่วยการเรียนรู้ประกอบด้วย คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และคะแนนสถานะของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จากการสอบก่อนและหลังการเรียนการสอน คะแนนความพึงพอใจต่อหน่วยการเรียนรู้หลังการเรียนการสอน และ คะแนนความคงทนในการเรียนรู้ โดยใช้คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการเรียนการสอน 2 สัปดาห์ นอกจากนั้นผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลการสังเกตการณ์ในชั้นเรียน และการสัมภาษณ์ครูผู้สอนสำหรับการอภิปรายผลการศึกษา

ผลการวิจัยพบว่า ภายหลังการเรียนรู้ตามหน่วยการเรียนรู้ที่สร้างขึ้น นักเรียนมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คะแนนสถานะของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ และ คะแนนความพึงพอใจต่อการเรียนการสอนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างสถานะของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์และความคงทนในการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลการศึกษานี้สนับสนุนสมมติฐานการวิจัย

The dissertation titled

"A Development of Plant Biology Learning Units Incorporated with An Analogy Technique for Lower Secondary School Students"

by

Sittichai Wichaidit

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

(Assoc. Prof. Dr. Somchai Santiwatanakul)

Date……..

Dissertation Committee:

……..…….. Chair

(Assoc. Prof. Dr. Somson Wongyounoi)

……..…… Co-advisor

(Assoc. Prof. Dr. Parin Chaivisuthangkura)

……..…… Co-advisor

(Dr. Precharn Dechsri)

Oral Defense Committee:

……..……..……...Chair

(Dr. Wanida Tanaprayothsak)

……..……..……..……..Committee

(Assoc. Prof. Dr. Somson Wongyounoi)

…..……..……..……...Committee

(Assoc. Prof. Dr. Parin Chaivisuthangkura)

……..……..……...Committee

(Dr. Precharn Dechsri)

……..…..Committee

(Assoc. Prof. Dr. Supaluk Prachayasittikul)

This study was financially supported by

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST)

Acknowledgement

I would like to express deep gratitude to Assoc. Prof. Dr.Somson Wongyounoi, Assist. Prof. Dr. Parin Chaivisuthangkura, and Dr. Precharn Dechsri for their valuable suggestions and encouragement throughout five years of this study. Without them, my research would not be completed.

My thankfulness is also for Prof. Dr Peter Hewson and Prof. Dr Mariana Hewson for their guidance and suggestions during my study at the University of Wisconsin at Madison, and also Dr. Orvil White for editing this dissertation.

I would like to extend my appreciation to Dr. La-aw Ampornpan, Assist. Prof. Dr. Sompop Intasuwan, Dr. Wanida Tanaprayothsak and all other experts contributing to this study for their suggestions in examining and verifying the draft learning units and the research instruments. This dissertation is also dedicated to Assoc. Prof. Dr. Therachai Puranajoti who generously gave his precious time to verify the appropriateness of the analogies for teaching in science classrooms.

I also wish to express my thankfulness to the proposal examination committee and the oral defense committee for their precious times to provide valuable suggestions contributing this study. Also, I would like to express my thankfulness for all instructors in the Science Education Center, Srinakharinwirot University, for providing the valuable learning experience on science education.

I would like to express gratitude to the Institute for Promotion of Teaching Science and Technology (IPST) for providing the research financial support and conference expend for NARST 2010 conference in Philadelphia, and the graduate school of Srinakharinwirot University for providing conference expend for SMTE 2010 conference in Taiwan.

I would like to give special thanks for Patcharee Rompayom. Every time I had problems during my study, she was there and helped me pass through the difficult time.

Finally, I am indebted to my farther for his love, financial support and encouragement throughout my study.

Sittichai Wichaidit

TABLE OF CONTENTS

Chapter		Page
1	**INTRODUCTION**.....	1
	Background.....	1
	Objective of the study.....	5
	Significance of the study.....	5
	Scope and limitation of the study.....	5
	Definition of terms.....	6
	Theoretical framework.....	9
	Research hypotheses.....	9
2	**REVIEW OF THE LITERATURE**.....	11
	Alternative conception.....	11
	Conceptual change.....	15
	Conceptual change in various perspectives.....	16
	Student's conceptual status.....	17
	The role of conceptual status in interpreting the type of conceptual change	18
	Determining conceptual status.....	19
	Related research on conceptual status determination.....	20
	Level of scientific explanation.....	22
	The Learning Cycle.....	23
	The three phases of the learning cycle.....	25
	Linking exploration and term introduction with conceptual bridges.....	26
	Analogy Technique.....	27
	Analogy category in science teaching.....	28
	Presentation formats for analogy technique.....	29
	An instructional sequence of analogy technique.....	36

TABLE OF CONTENTS (Continued)

Chapter	Page
2 (Continued)	
Advantages of analogies…….....	38
Analogy contribute to conceptual change in biology…….....	39
Disadvantages of analogies……	39
Learning from pictorial-verbal analogy and analogy-based animation…….....	40
The principle of representation……..…….....	40
Learning from text and graphics…….……	41
Learning from animation……	41
Learning retention…….....	44
The components of memory……	44
Separate-store model……	45
Retention function…….....	46
Research on Learning Retention in Classrooms…….	47
Educational assessment…….....	47
Use of educational assessment data…….....	48
The criterion-referenced measurement and norm-referenced measurement……..	50
Cutting score…….....	52
Conclusion……	54
3 METHODOLOGY……..…….....	56
Research participants…….	56
Materials of the study…….....	57
Research methodology…….....	57
Preparatory stage…….	59
Confirmatory stage……..	82
Roles of individuals…….	84
Statistics and data analysis……..……	85

TABLE OF CONTENTS (Continued)

Chapter		Page
4	**RESULT OF THE STUDY**……..	88
	SECTION I THE PREPARATORY STAGE…….	88
	The results of developing the learning units……	89
	The results of evaluating the instructional material……	93
	The results of conducting field trial study…….	96
	The revision of learning units after field trial study…….....	102
	SECTION II THE CONFIRMATORY STAGE……..	104
	The result of student's achievement…….	105
	The result of student's conceptual status……	108
	The result of student's learning retention……	112
	The result of student's satisfaction toward the instruction……..	114
	The result of classroom observation and teacher interview……	120
	Summary of research results…….	121
5	**CONCLUSIONS, DISCUSSIONS, AND RECOMMENDATIONS**……...	123
	Objectives of the study……..	123
	Research hypotheses……	123
	Participants……..	124
	Research materials……	124
	Research methodology…….	125
	Conclusion of research results……	129
	Discussions…..…….....	134
	Discussion about the result of student's achievement…….	134
	Discussion about the result of student's conceptual status……	138
	Discussion about the result of student's learning retention….....	142
	Discussion about the result of student's satisfaction toward the instruction..	144
	Discussion about teacher perspective on teaching science with analogy…..	145

TABLE OF CONTENTS (Continued)

Chapter	Page
5 (Continued)	
Recommendations……	146
Recommendation for classroom practice……....	146
Recommendation for professional development program……	148
Recommendation for school administration……	148
Recommendation for curriculum developers……..	148
Recommendations for further studies……..	149
BIBLIOGRAPHY.....	150
APPENDIX.....	158
VITAE……	263

LIST OF TABLES

Table		Page
1	The “school dance” personal analogy for chemical equilibrium……	35
2	Three elements in a cognitive theory of multimedia learning……....	42
3	Three type of learning outcomes from words and images……	44
4	The common elements in instruction and evaluation……...	48
5	The differences between criterion-referenced and norm-referenced measurement……	51
6	Formulas for the probability calculation……..	54
7	The learning unit contents…….	59
8	The outline of learning objectives and concept flow……	60
9	The levels of scientific concepts……..	68
10	Mode of representations of analogies…….	70
11	The operational definitions and indicators for determining conceptual status……	80
12	The analogy verification by the experts……..	89
13	The content and learning activities……..	90
14	Evaluation of teaching guide appropriateness……..	94
15	Evaluation of learning guide appropriateness……	95
16	The student’s score after the instruction…….	96
17	The student’s satisfaction toward the instruction in field trail study……	97
18	The comparison of the student’s satisfaction score in field trail study with the criterion score…….	97
19	The comparison of the student achievement score before and after using the learning units according to the main study……...	105
20	The result of calculating the cutting score for achievement test……...	106
21	The comparison of the achievement mean score with the cutting score for the achievement test……..	107
22	The comparison of the student’s conceptual status score before and after using the learning units in the main study……..	108

LIST OF TABLES (Continued)

Table		Page
23	The result of calculating the cutting score for the condition required for raising conceptual status…….	109
24	The comparison of the conceptual status mean scores with the cutting scores for the conceptual status test…….	110
25	The comparison of the students' learning retention score and the post-test score from the achievement test……..	112
26	The correlation between the conceptual status score and the retention test score……..	113
27	The student's satisfaction toward the instruction in the main study……	114
28	The comparison of the student's satisfaction score in the main study with the criterion score…….	115
29	Evaluation of the teaching guide appropriateness……..	162
30	Overall evaluation of the teaching guide appropriateness……	164
31	Evaluation of the teaching guide consistency……..	165
32	Evaluation of the learning guide appropriateness…….....	167
33	Overall evaluation of the learning guide appropriateness…….	168
34	The results of assessing and evaluating the item objective congruence(IOC) item difficulty(p) and item discrimination (r) of the achievement test……	169
35	The results of assessing and evaluating the item objective congruence(IOC) item difficulty(p) and item discrimination (r) of the conceptual status test……	170
36	The results of evaluating the satisfaction questionnaire……	171
37	The learning achievement scores from the field trial study…….	174
38	The conceptual status scores from the field trial study…….	175
39	The student's satisfaction toward the instruction in the field trial study……	177
40	The learning achievement scores from the main study…….	179
41	The conceptual status scores from the main study (pre-test)…….....	180
42	The conceptual status scores from the main study (post-test)…….	182
43	The student's satisfaction toward the instruction in the main study……	184

LIST OF FIGURES

Figure		Page
1	Theoretical framework of the study …….	10
2	Levels of scientific conceptions ……	23
3	Pictorial analogy comparing cell structure with a factory ……	30
4	Analogy to the increasing size of atomic orbitals with increasing value of the ***n*** quantum number……	31
5	Analogy to the relationship of the l quantum number and the shape of an atomic orbital..……...	31
6	Analogy to the directional relationship of the m_l quantum number ……	32
7	A model of an analogy and an analogical model……	36
8	Cognitive theories of multimedia learning…….	43
9	General form of encoding, storage, and retrieval ……..	45
10	Ebbinghaus's retention function……...	46
11	Score distribution graph……	53
12	Framework for research methodology……	58
13	Research tools used in each period of study……..	83
14	Level of satisfaction of analogies used in field trial study…….	98
15	Graphs of favorite ranking for the house analogy, the cooking food analogy, and the diffusion model according to the field trial study…….	99
16	Graphs of favorite ranking for the osmosis model and Blindfold children walking analogy according to the field trial study……	100
17	Type of conceptual change occurring after the instruction……..	111
18	Level of satisfaction of analogies used according to the main study…….	116
19	Graphs of favorite ranking for the house analogy, the cooking food analogy and the diffusion model according to the main study…….....	117
20	Graphs of favorite ranking for the osmosis model and the blindfold children walking analogy according to the main study…….	118
21	The frequency curves of the achievement scores……..	187
22	The frequency curves of the conceptual status scores…….	188

LIST OF FIGURES (Continued)

Figure **Page**

23 A.The frequency curves of the achievement score separated according to the content (cell, plant transportation, and photosynthesis)…….. 189

23 B.The frequency curves of the achievement score separated according to the content (cell, plant reproduction, and experimental skill)…… 190

24 The frequency curves of the conceptual status scores separated into 3 conditions: intelligible, plausible, and fruitful……. 191

CHAPTER 1
INTRODUCTION

Background

One of the important characteristics of the new science of learning is the emphasis on learning with understanding (Branford; Brown;& Cocking. 2000: 8). Students need to know, use, and interpret scientific explanations of the natural world to be competent in science. They must understand the relationship among central scientific concepts and use them to build and critique scientific arguments (Michaels; Shouse; & Schweingruber. 2008: 19). The vision of science learning in the National Science Curriculum Standards in Thailand state:(The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. n.d: 4)

> Basic science learning is for greater understanding, better appreciation of nature and the environment. This viewpoint should make the learners integrate various and diverse disciplines leading to creativity in the development of the quality of life. It should also enhance our ability to collaborate to manage the natural world more sustainably.

An emphasis on understanding leads to the study of the knowing process. The contemporary view of learning is the constructivist theory which states that people construct new knowledge and understandings based on what they already know and believe (Branford; Brown; & Cocking. 2000: 10). Because students come to science classrooms with various perspectives and experiences, they may construct their own ideas about everyday phenomena. Sometimes, those ideas are scientifically limited or incorrect (Branford; & Donovan. 2005: 399). The problematic issues of learning science with understanding that have been studied in many of literatures include the effect of students' alternative conceptions on learning new knowledge, and the level of abstractness of scientific concepts themselves.

Students may hold alternative conceptions which are inconsistent with the scientific knowledge before they come to formal education. The constructivist view of learning suggests that those alternative conceptions effect how the students interpret learning experience in classroom. Wandersee, Mintzes and Novak (1994: 181) have summarized the result of 400 studies on alternative conceptions in science which represented about 20 percent of the entire body of literature. They also identified eight

assertions which reflect how science educators view teaching and learning in science. Those assertions suggest that students bring their alternative conceptions to the formal science instruction, and the result of the interaction between a student's prior knowledge and the knowledge presented in formal instruction is a diverse set of unintended learning outcomes.

Several studies suggested that Thai students also hold alternative conceptions in many areas of science including plant biology. Juntarung (2001: 115) studied student's conception concerning cell, cell division, and the transportation through cell membrane. The result revealed that most primary school students in his study hold alternative conceptions on the transportation through cell membrane and cell division. In addition, they have only a partial understanding of cell theory. Another research study was conducted by Rojanapong (2002: 81). The results of this study suggested that most high school students have alternative conceptions on photosynthesis, and have partial understanding on plant growth and the relationship between plants and animals. These results supported the notion that student ideas may change over the instruction but this change is not consistent with the teacher's expectation.

There are several learning theories used to explain how student's conception develops over time. One of the well-known learning theories that explain how student construct new conception based on the previous one is the conceptual change model. The critical feature of this theory is the status of conception which refers to the degree of the conception which a person knows and accepts it. Status is determined by its intelligibility, plausibility and fruitfulness to that person. Hewson and Thorley (1989: 543) have considered two possibilities which can be happened when a learner perceives a new conception. First, the new conception can be incorporated with existing conceptions if the new conception is intelligible, plausible, and probably fruitful to a learner. This process was called assimilation or conceptual capture. Second, if the new conception is intelligible to the learner but contradicts with the relevant existing conceptions, it cannot be plausible to the learner. This is because two conflicting conceptions cannot be plausible to one person at the same time. Understanding the new conception is blocked by the existing conceptions. In order for a person to accept it fully, the status of the existing conception has to be lowered before the status of the new conception can be raised. This process was called accommodation or conceptual exchange.

The conceptual change model suggests the instructional strategy that focuses on students' ideas and the process of raising the status of scientific concepts and lowering the

status of the alternative one. Unfortunately, the abstractness of scientific knowledge can make the process of raising status difficult for the teacher and students. Jonestone (1993: 118) proposed the level of scientific explanation that suggests the reason why science is difficult to understand considering the level of abstractness of concepts. The scientific concepts in chemistry that can be observed are perceived as the concepts in macro level while the concepts that cannot be observed such as the explanation in molecular level are considered as the concepts in micro or submicro level. In addition, chemical formula or the equations of chemical reactions are considered as the concepts in the symbolic level. This principle can be applied to physics concepts and biology concepts. For biology, the multilevel of thought includes concepts in macro, micro and biochemical level. Many of the concepts of science are in micro level. Students cannot use their ideas in long-term memory to make sense of the new scientific concepts. Johnstone also suggested that the best strategy to understand this kind of concept is an analogy which has to be carefully thought.

From those learning theories described previously, students tend to have difficulties when their existing knowledge is not available for making sense the new concept to be taught, or the scientific concept is in the micro level which is too difficult for the students to understand. Effective teaching strategies; therefore, should focus on addressing student's ideas and making the new concept intelligible, plausible and fruitful to students. The learning cycle is one of the most effective teaching models for science. This model is derived from the developmental theory of Jean Piaget, especially from the mental functioning process related to the notion of assimilation, accommodation (Abraham; & Renner. 1986: 122) Renner, Abraham and Birnie (1988: 40) argued that curriculum materials and instructional strategies which are compatible with Piaget's ideas such as the learning cycle would give the student the opportunity to assimilate information by exploring the learning environment, accommodate that information by developing a concept to explain or organize the information, relate the new concept to existing knowledge by expanding the new concept to explain different phenomena. The three phases of the learning cycle are *exploration, term introduction* and *concept application* which Abraham and Renner (1986: 123) believed that they correspond to Piaget's elements of assimilation, accommodation, and organization. Sunal and Sunal (2003: 43) also described the advantages of the learning cycle that it helps elementary and middle school students construct new scientific knowledge by creating conceptual change through interaction with the social and natural world.

One of the essentials sequences in the learning cycle is when the teacher introduces a new concept to students after the learning experience has been explored. It is necessary for the students to make connections between their experiences and an explanation of those experiences. Sunal and Sunal (2003: 335-338) argued that similes, metaphors, analogies, models, and stories are frequently used to create that connection in teaching science. An analogy is the comparison between an unfamiliar concept and a familiar one in order to explain that unfamiliar concepts. Harrison and Treagust (2008: 13) also suggested that if the analogies are used in science teaching appropriately, they promote concept learning because they encourage students to build links between past familiar knowledge and experiences and new contexts and problems. Venville and Treagust (1996: 295-320) described the role of analogies in promoting conceptual change in biology. They pointed out that analogy acts as a sense maker providing an initial, intelligible idea of the new concept for the learner. In other words, analogies can raise the status of new conceptions by making them intelligible to students.

There are several ways to present analogies in classrooms. Curtis and Reigeluth (1984: 101-102) described three aspects of using analogies in classroom context which include analogies in testing, analogies in oral communication and analogies in text. Other researchers (Bean, et al ,1990; Fortman,1993; Lai,1998) offered pictorial analogy and analogy based animation as the alternative ways to teach science with analogy in the classroom. Lai (1998: 151-152) argued that analogies can be easily presented through different visual displays especially with the microcomputer. In addition, Milheim (1993: 172) pointed out that animated computer graphics can provide concrete visual information about the moving and changing of an object over time which cannot be achieve with the static or pictorial graphics.

From the literature review above, there was a possibility to utilize the learning cycle and the analogy technique to promote student's conceptual learning in plant biology to raise the status of new conceptions, improve learning achievement and learning retention. In this study, the learning units were developed based on the learning cycle. Furthermore, analogies for teaching plant biology were presented to students in several formats including pictorial-verbal, animation, and an analogical model. The evidence of student's learning outcome in term of the conceptual status, learning achievement and learning retention were collected using the conceptual status test based on Thorley's status analysis categories (1990), the achievement test and the retention test, respectively. The student's satisfaction

toward the instruction was also measured by the student's satisfaction questionnaire as the process of learning unit evaluation.

Objectives of the study

The objectives of this research study were:

1. To develop learning units on plant biology incorporated with an analogy technique for lower secondary school students

2. To evaluate students' learning outcomes after the implementation of the learning units by analyzing:

2.1 Students' learning achievement

2.2 Students' conceptual status

2.3 Students' learning retention

2.4 Students' satisfaction towards the instruction

Significance of the study

Many Thai secondary school students continue to have alternative conceptions about plants or have a difficult time learning scientific concepts in the micro or abstract level even after taking a biology class. It is conceptual understanding that students have to experience in order to restructure their existing knowledge and make sense of scientific ideas. This study provided evidence how the analogy technique and the learning cycle enhance the students' learning outcomes. Moreover, learning activities and instructional media derived from this research can be used by science teachers directly or adapted for teaching scientific concepts about plant to address students' alternative conceptions and develop the scientific one.

Scope and limitation of the study

This study intended to develop and implement the learning units on plant biology which consists of a teaching guide and a learning guide. The content of these units was based on Thailand's Basic Education Curriculum B.E. 2551.

Participants

The participants in each phase of study were as follows:

1. Participants during the development of materials for collecting data:

The participants during the development of materials for collecting data were 151 of lower secondary school students (grade7) from Ratwinit Matthayom School, and 48 of lower secondary school students (grade 7) from Rattanakosinsomposh Ladgrabang School.

2. Participants during field trial study:

The participants during field trial study were one science teacher and 48 of lower secondary school students (grade 7) from Rattanakosinsomposh Ladgrabang School.

3. Participants during main study:

The participants during main study were one science teacher and 48 of lower secondary school students (grade 7) from Suratpittaya School.

Variables

1. Independent variable:

The integration of the analogy technique and the learning cycle

2. Dependent variables:

2.1 Students' learning achievement

2.2 Students' conceptual status

2.3 Students' learning retention

2.4 Students' satisfaction toward the instruction

Definition of terms

1. Learning units: A set of content, learning experiences and instructional material that were created in order to promote student's learning to achieve the learning objectives. The plant biology learning units incorporated with an analogy technique were developed to enhance learning achievement, conceptual status, and learning retention. Analogies were selected and verified to use for designing learning activities. The learning units consisted of five main topics drawn on the Thai Basic Education Curriculum B.E. 2551 including plant cell and organelles, plant transportation, photosynthesis, plant reproduction, and plant response. The learning unit materials included a teaching guide and learning guide.

2. Students' learning achievement: The student's ability to remember, understand and apply scientific concepts, and science experimental skills which are the expected learning objectives of the instructional unit. Students' learning achievement in this study was determined by the achievement test.

3. Students' conceptual status: An indication of the degree of the conception which a person knows and accepts it. Status is determined by its intelligibility, plausibility and fruitfulness to that person. In this study, the conceptual status test was constructed based on the Thorley's status analysis categories (1990), and was used to determine the students' conceptual status.

4. Students' learning retention: Students' ability to recall scientific knowledge that has been studied for two weeks. Students' learning retention in this study was determined by the achievement test after studying with the learning units for two weeks.

5. Students' satisfaction towards the instruction: The satisfaction toward the instruction is defined as a feeling of pleasure or favor towards the instruction incorporated with analogy technique. It is composed of three aspects including learning activities, instructional media and assessment used in the learning units. The students' satisfaction questionnaire was used to determine how well the learning activities, instructional media and assessment are favorite to the students.

6. Analogy technique: The teaching method that used analogies as the tools for rendering scientific concepts more intelligible and plausible. This technique was adapted from Harrison; & Treagust (1993) which is composed of six steps for introducing analogies to students: (1) introducing the target concept, (2) recalling the analog concept by presenting analogy to students, (3) identifying similar features of concepts between target and analog (4) mapping similar features (5) identifying dissimilar features of concepts between target and analog (6) drawing conclusions about concepts. Analogies used in this study are presented in several formats including analogy in text, pictorial analogy, analogy-based animation, personal analogy, and an analogical model. The descriptions of each format are as follows:

6.1 Analogy in text: A text analogy is found in the learning guide book where the author intends to use analogy to explain difficult scientific concepts. In this study text analogies were used along with all other formats.

6.2 Pictorial analogy: The pictorial analogy presents features of the analog and the target concept to be compared via pictures. This form of presentation can facilitate

visualization of the abstract target concept and emphasize the features to be compared. Pictorial analogies were used for teaching cell functions and photosynthesis in this study.

6.3 Analogy-based animation: The analogy-based animation provides concrete visual information about the moving and changing of an object over time. In this case, the features of analog concept can be compared with the features of the scientific one in the animated computer graphics form. In this study, an analogy-based animation was used for teaching the diffusion process.

6.4 Personal analogy: The personal analogy compares abstract scientific concepts to students' real world situations such as people, money, food, and relationships. In this study, personal analogy was used for teaching the diffusion process.

6.5 Analogical model: The model can be used as a tool to present analogical relationships between the features of the model and the features of the scientific concept. Gas diffusion model developed in this study was used to present the molecular movement of particles in gas diffusion process. The main ideas of osmosis process including the concentration of solution, semi-permeable membrane, and the movement of water molecules were compared with the features of osmosis model developed in this study.

7. The learning cycle: The instructional model that is composed of three phases. These phases are exploration, term introduction and concept application. The exploration phase provides the opportunity for students to test their ideas with the new experience. This phase also leads to the identification of a pattern of the phenomena. The second phase, term introduction, starts with the introduction of new terms which are used to refer to the pattern discovered during exploration. In this study the scientific conceptions in micro level were introduced by using the analogy technique. In the last phase, concept application, students apply the new term or thinking pattern to address new problems in the related context.

8. Cutting score: The score used as the standard point for criterion-evaluation. The students who have test scores at this point or more than this point are classified as the master of the learning objectives. Therefore, the assumption is that the learning units will be qualified as the effective one if the student's mean scores is significantly more than the cutting score. In this study, the cutting score is used as the criterion-reference measurement for students' achievement scores and students' conceptual status scores. The process of establishing cutting score followed Berk (1976: 4).

Theoretical framework

The learning activities and instructional materials in this study were developed in order to enhance students' learning outcomes on plant biology. The theory of learning that contributes to this study is the conceptual change model (Hewson,Beeth; & Thorley. 1998: 199) and the multilevel of scientific conceptions (Johnstone. 1993: 118). Conceptual change model describes learning as the process of conceptual status change over time. Teaching for conceptual change should focus on students' ideas and the process of raising status of scientific concepts and lowering status of the alternative one. Multilevel of scientific conceptions explains why certain scientific concepts are difficult to understand. It is micro or submicro level that students usually have difficult to learn. Therefore, it may be difficult to make those concepts intelligible and plausible to students. Analogies were used in this study to provide cognitive tools that help students transfer their existing knowledge understand, organize and visualize new knowledge (Glynn, Duit, & Thiele,1995: 255). The analogy technique was integrated in the sequence of the learning cycle which provided the inquiry teaching context where students investigated phenomena from scientific experiments, and the instructional materials provided the scientific explanation using analogy technique. The students who participated in this instruction were expected to develop understanding in plant biology. The evidence of students' learning outcome were collected in terms of scores from the achievement test, conceptual status test, retention test, and satisfaction questionnaire. Figure 1 illustrates the theoretical framework of this study.

Research hypotheses

The hypotheses of this study were:

1. Students' achievement mean score was higher than the cutting score of achievement test.

2. Students' conceptual status mean score was higher than the cutting score of conceptual status test.

3. There was a positive correlation between the conceptual status scores and the retention test scores.

4. Students' satisfaction towards the learning units was at a high level.

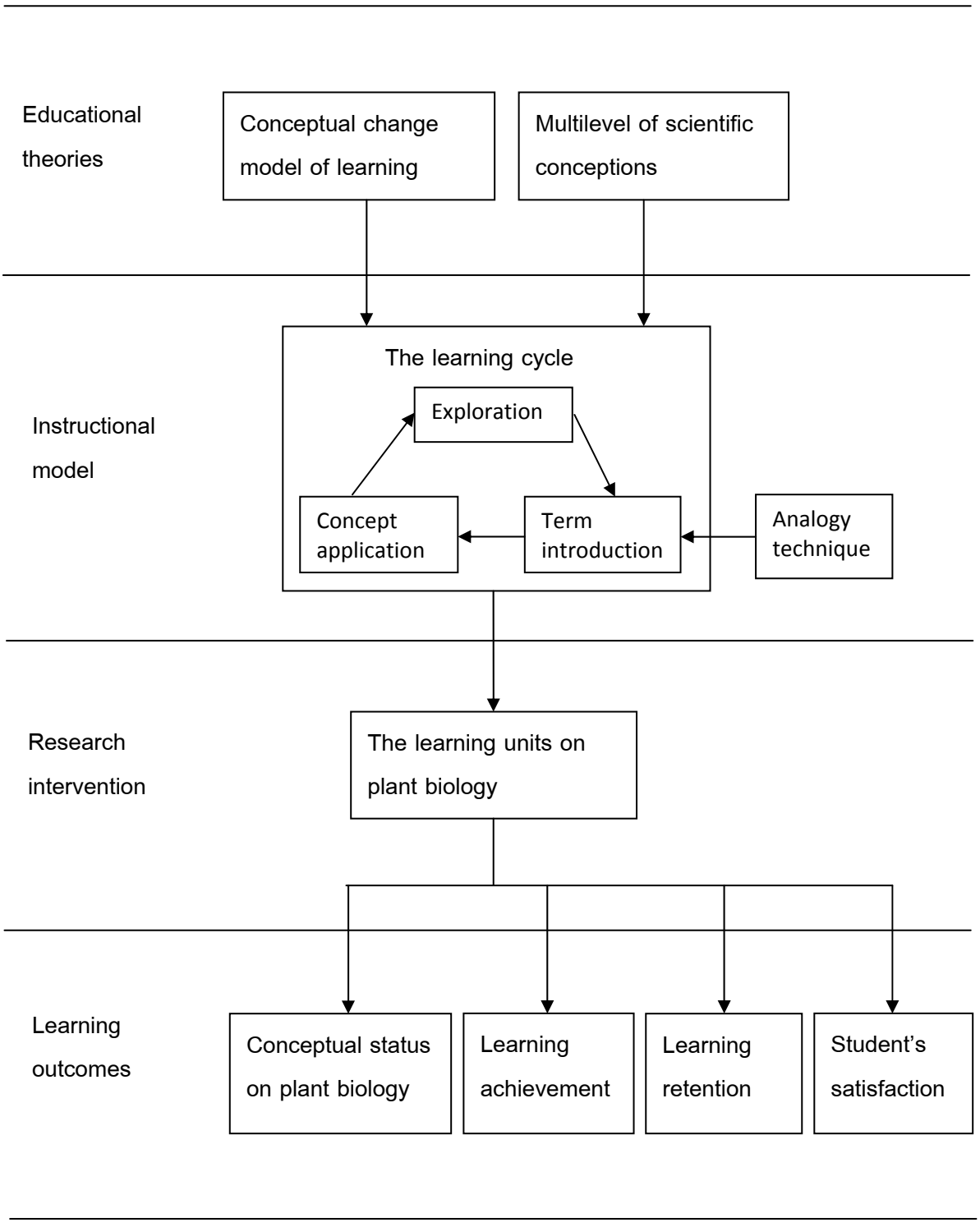


FIGURE 1 THEORETICAL FRAMEWORK OF THE STUDY

CHAPTER 2

REVIEW OF THE LITERATURE

In this chapter, related educational theories and research conducted in the past are described to provide a framework of what is known about a topic from previous research. It is also the expectation to provide a theoretical background including the literature about the variables in this study. The topics of the literature review are as follows:

1. Alternative conception
2. Conceptual change
3. Levels of scientific conceptions
4. The learning cycle
5. Analogy technique
6. Learning from pictorial-verbal analogy and analogy-based animation
7. Learning retention
8. Educational assessment
9. Conclusion

1. Alternative conception

Children usually develop ideas about the world around them before they are taught science in school. Sometimes, these ideas are consistent with the scientific ideas which are taught. In many cases, however, there are significant differences between children's ideas and the scientific ones (Driver. 1994: 1). Alternative conceptions refer to students' conceptions that are not consistent with currently accepted scientific conceptions. Wandersee, Mintzes; & Novak (1994: 181) have summarized the results of 400 studies conducted on alternative conceptions in science and have identified eight of the most frequently repeated assertions which reflect how science educators view teaching and learning in science. The assertions are that:

1. Learners come to formal science instruction with a diverse set of alternative conceptions concerning natural objects and events.

2. The alternative conceptions that learners bring to formal science instruction cut across age, ability, gender, and cultural boundaries.

3. Alternative conceptions are tenacious and resistant to extinction by conventional teaching strategies.

4. Alternative conceptions often parallel explanations of natural phenomena offered by previous generations of scientists and philosophers.

5. Alternative conceptions have their origins in a diverse set of personal experiences including direct observation and perception,peer cultureand language,as well as in teachers' explanations and instructional materials.

6. Teachers often subscribe to the same alternative conceptions as their students.

7. Learners' prior knowledge interacts with knowledge presented in formal instruction, resulting in a diverse set of unintended learning outcomes.

8. Instructional approaches that facilitate conceptual change can be effective class room tools.

Scott, Asoko; & Leach (2007: 38) have also derived fundamental insights from their review of literature related to students' conceptions and conceptual learning in science. Their assertions are consistent with the cognitive perspective.

1. Individuals' beliefs about the natural world are constructed, rather than received.

2. There are strong commonalities in how individuals appear to think about the natural world.

3. A person's existing ideas about a given subject greatly influence his/her subsequent learning about the subject.

Barman; et.al (2006: 73-79) conducted a study on students' ideas about plant and plant growth. The result of this study indicated that K-5 students tended to imagine the way plants need materials to grow as the same process as how humans require nutrients. For example, students usually think that plants eat, drink, and breathe. Plants in the students' view are provided sunlight, water, and food externally, much like students' ideas of how they take in food and water to grow, or stand in the sun to be warmer. It was unclear what the grades 3-5 students believe about the role of light and nutrients are on plant growth.

Westbrook; & Marek (1991: 649-660) conducted a cross-age study on students' ideas about diffusion. Seventh grade students, Tenth grade students and college zoology students were examined for understanding of the concept of diffusion. The result of this study showed that none of the 300 students have a complete understanding of the diffusion concept. The conclusion was that the alternative conceptions of the diffusion concepts were prevalent regardless of the age of the student or the level of schooling.

Aleixandre; et al. (1996: 10) have summarized the results of studies on students' alternative conceptions related to photosynthesis, and concluded that two specific alternative conceptions were found in most studies; their incidence spans across ages and cultures. The alternative conceptions are that:

1. Plants obtain organic materials(food) from the soil.
2. Photosynthesis is the respiration of plants.

Marmaroti, Panagiota; & Galanopoulou (2006: 384) have recently reviewed the research on students' alternative conceptions on photosynthesis and came to the same conclusion as Aleixandre et al. The two most common alternative conceptions are that plants obtain their food from the soil, and confusion between the processes of photosynthesis and respiration. In addition, the review suggested that students were not able to describe the energy transfer occurring during the photosynthetic process.

Aleixandre; et al. (1996: 10) suggested that the existence of the student's ideas about food for plants should not be surprising. From daily life experiences, students know that plants grow in soil, and their growth is promoted if we water them and add various fertilizers to the soil. Moreover, this idea is not completely wrong. Plants do get water and important inorganic substances from the soil, but these materials do not contain energy for supporting plant growth and development. Stavy; et. al. (1987: 112) suggested that students who have the idea that plants obtain organic materials from the soil might be referring to organic fertilizers.

Another alternative conception related to respiration, and very common among middle school students, is that "plants respire during the night; during the day plants perform photosynthesis, which is also a process of respiration." Alternatively, students may say that "during the day, plants absorb carbon dioxide and discharge oxygen and this is respiration, at night the process is reversed" (Stavy; et al. 1987: 110). Both respiration and photosynthesis have a gas exchange component which includes the same gases, namely oxygen and carbon dioxide. The term 'breathing' is used for this component of respiration. For students who are not aware of the complex biochemical reaction of both processes, they often develop conceptions which confuse both processes (Aleixandre; et al. 1996: 11).

Haslam; & Treagust (1987: 206) constructed the diagnostic test to survey students' alternative conceptions on photosynthesis across ages. The results of this study have been

used as evidence that alternative conceptions are resistant to change even after formal education. The students' alternative conceptions included:

1. Respiration in green plants takes place only during the day.
2. Respiration does not take place in the presence of light energy.
3. Carbon dioxide gas is given off in largest amounts by green plants in the presence of sunlight.
4. Photosynthesis occurs in green plants all of the time.
5. Photosynthesis occurs when there is no light energy.
6. Carbon dioxide is used in respiration when there is no light energy to photosynthesize.
7. Oxygen gas is used in respiration which only occurs in green plants when there is no light energy to photosynthesize.
8. Green plants make their food from oxygen gas in the presence of light energy.
9. Respiration in green plants is a chemical process to obtain energy which occurs in plant cells but not in animal cells.
10. Respiration in green plants is the taking in of carbon dioxide and giving off of oxygen gases through plant stomata.
11. Green plants respire only at night (when there is no light energy).
12. In the process of respiration, carbon dioxide and water are used by the green plant to produce energy during which time glucose and oxygen waste are produced.
13. The green pigment called chlorophyll combines with the carbon dioxide in the presence of light energy and produces glucose and water.
14. Non green plants like fungi which do not contain chlorophyll or similar pigments can also photosynthesize.
15. The most important benefit to green plants when they photosynthesize is the removal of carbon dioxide from the air through the leaf's stomata.
16. Respiration takes place in all plants only when there is no light energy and in all animals all the time.

Marmaroti, Panagiota; & Galanopoulou (2006: 383) have developed a questionnaire for assessing all aspects of the photosynthesis concept, and administered to 290 Greek pupils aged 15 After carrying out cross-analysis, the research finding are as follows:

1. The students were not able to conceive photosynthesis as a chemical reaction and they did not appreciate the role of chlorophyll.
2. Student's misunderstanding of the energy concept concerns the form of energy required as well as the notion of harnessing the sun's energy.
3. Some students hold the alternative conception that plants receive all their nutrients from the environment.

4. Students confuse photosynthesis with respiration and also believe that respiration occurs when there is no photosynthesis.

2. Conceptual change

Since the 1980s, the study of conceptual change teaching and learning has been developed in various theoretical frameworks. Duit and Treagust (2003: 671-688) have reviewed research studies on conceptual change and also proposed the alternative approach for analyzing conceptual change. In their article, the researchers defined conceptual change as “learning pathways from students’ pre-instructional conceptions to the science concepts to be learned” (Duit; & Treagust, 2003: 671). Conceptual change learning includes adding new knowledge to preexisting knowledge without replacing the preexisting one, and restructuring the preexisting knowledge in order to understand the new knowledge.

Research on conceptual change has developed a unique vocabulary because conceptual change can happen at a number of levels and because different authors use alternative terms to describe similar learning. The most common understanding is that there are two types of conceptual change. The first type has been called weak knowledge restructuring, assimilation, or conceptual capture. The second type has been called strong/radical knowledge restructuring, accommodation, or conceptual exchange (Treagust. 2006: 26).

Tyson; et al. (1997: 389) described two kinds of conceptual change as “big changes and small change” in term of the levels of conceptual change. At the basic level, there is the simple addition of knowledge into the conceptual structure. This kind of conceptual change is described as knowledge accumulation and does not involve restructuring. Alternatively, there are some kinds of change to the existing conceptual structure that occur rather than simple addition of new knowledge. This kind of conceptual change is called revision. The latter is most commonly described as conceptual change and is divided into strong revision and weak revision. In order to provide the comparison of various descriptors for these degrees of conceptual change, Tyson; et al. (1997: 390) also presented a table that illustrates the authors’ names and the specific descriptive terms they used in their studies.

2.1 Conceptual change in various perspectives

2.1.1 The epistemology perspective on conceptual change

The best-known conceptual change model in science education was originated by George Posner, Kenneth Strike, Peter Hewson, and William Gertzog in 1982. In this conceptual change model, if the learner is dissatisfied with his or her prior conception and the new conception is intelligible, plausible, and or fruitful, accommodation of the new conception may follow. The new conception is intelligible, if it is non-contradictory and its meaning is understood by the student; plausible means that in addition to the student knowing what the conception means, he or she finds the conception believable; the conception is fruitful if it helps the learner solve other problems or suggests new research directions. The extent to which the conception meets these three conditions is termed the status of a learner's conception (Treagust. 2006: 26). This conceptual change model has been highly influential in the design of instructional materials and activities and the way in which the results of this study were analyzed. The details of this model will be described later.

2.1.2 The ontology perspective on conceptual change

Conceptual change theory based on the ontology perspective used specific ontological terms to explain how students conceptualize science entities, and the process of change occurs when the students change the entities of their concepts. Two examples of this perspective are, heat needs to change from a flowing fluid to kinetic energy, and a gene needs to change from an inherited object to a biochemical process (Duit; & Treagust. 2003: 677).

2.1.3 The social/affective perspective on conceptual change

The social/affective lens of conceptual change was introduced by Pintrich et al. (1993: 167-199). Instead of focusing on individual logical reasoning, this perspective suggests that dissatisfaction with an inappropriate conception is dependent on affective features. In their article, Pintrich et al. (1993: 168) claimed that the learning models which focus only on cognition tend to avoid an individual's goals, intentions, purposes, expectations, or needs. This cognition-only strategy is useful for researchers in the experimental setting where the subjects are provided clearly defined goals, problems, or tasks, but the model may lose some usefulness when applied to learning that takes place within the context of an actual classroom. Students can and do adopt different goals and

purposes for their work, and their motivational beliefs can be important factors that influence their willingness to persist at the task.

2.2 Student's conceptual status

In order to define the status of a student's conception, it is necessary to describe the conditions for conceptual change. From the conceptual change model developed by Posner et al, there are several important conditions which must be fulfilled before an accommodation is likely to occur. The following four guidelines seem to express conditions which are common to most cases of accommodation (Posner; et al. 1982: 214).

1. There must be dissatisfaction with existing conceptions. Scientists and students are unlikely to make major changes in their concepts until they believe that less radical changes will not work. Thus, before an accommodation will occur, it is reasonable to suppose that an individual must have collected a store of unsolved puzzles or anomalies and lost faith in the capacity of his current concepts to solve these problems.
2. A new conception must be intelligible. The individual must be able to grasp how experience can be structured by a new concept sufficiently to explore the possibilities inherent in it. Writers often stress the importance of analogies and metaphors to lending initial meaning and intelligibility to new concepts (Ortony, 1975; Belth, 1977; Black,1962).
3. A new conception must appear initially plausible. Any new concept adopted must at least appear to have the capacity to solve the problems generated by its predecessors; otherwise it will not appear a plausible choice. Plausibility is also a result of consistency of the concepts with other knowledge. A new idea in, say, astronomy is less likely to be accepted if it is inconsistent with current physical knowledge or if it simply has no clear physical account. Physical scientists prior to the 20th century, for example, were reluctant to accept what geologists were claiming about the age of the world since they had no theory which would allow the sun to provide energy for that period of time.
4. A new concept should suggest the possibility of a fruitful research program. It should have the potential to be extended; to open up new areas of inquiry.

The status of a person's conception refers to the features of the conception that meet these conditions. Expressed in these terms, the conceptual change model is about changing, i.e., raising or lowering, the status of conceptions. As more conditions are met, the conception's status is raised. Intelligibility is a necessary requirement for raising status of a concept. Without intelligibility, a conception has no status to a person and cannot become either plausible or fruitful. If conditions that were once met are no longer seen to

be, the conception's status is lowered. The status of a person's conception may not become unintelligible from intelligible because once we know what an idea is; we are likely to remember it, even if we no longer believe it (Hewson; & Thorley. 1989: 542).

Teaching for conceptual change is likely to facilitate students considering different ideas and find that some ideas become more (and others less) acceptable to them. In other words, the status of their ideas changes, with the status of some being raised and of others being lowered. Activities aimed at raising the status of particular ideas should be a part of teaching for conceptual change. The objectives of these activities might be constructed to present and develop the ideas, to provide examples of them, to apply them to other circumstances, to give different ways of thinking about them, and to link them to other ideas. Activities aimed at lowering the status of other ideas also should be a part of teaching for conceptual change. These activities might aim to explore their unacceptable implications, to consider experiences which they are unable to explain, or to find ways of thinking about them that point to their inadequacies (Hewson; Beeth; & Thorley. 1998: 207-208).

Hewson and Hewson (1992: 59) argued that investigating the status of student's conceptions is important in various ways. First, their investigation provides a powerful method of analyzing instruction, whether or not it was designed based on the conceptual change model. Second, it provides valuable techniques for a teacher who wants to influence the course of conceptual change in their students. Third, it opens up new instructional possibilities by introducing status as an explicit part of classroom discussion. Finally, it provides evidence to support or deny the conceptual change model's assertions for researcher to test this model. In addition, Lemberger (1995: 26) claimed that the evidence of conceptual change learning can be derived from the learners' statements that are related to the status of their conceptions.

2.3 The role of conceptual status in interpreting the type of conceptual change

The conceptual change process is most likely to occur when a student's existing knowledge interacts with a new conception to be learned in the classroom. Hewson and Thorley (1989: 543) have considered two possibilities which can occur when a learner considers a new conception.

> The new conception can be incorporated with existing conceptions if the learner is able to find the new conception intelligible, plausible, and fruitful. When all of these conditions have been met, the status of the concept will have risen. This process was called assimilation by Posner et al. (1982) and conceptual capture by Hewson (1981). If, however, the new conception is intelligible to the learner, and appears to be in contradiction with relevant existing conceptions, it cannot be plausible to the learner. This is because conflicting conceptions cannot simultaneously be plausible to one person. The new conception's acceptance is blocked by the existing conceptions. In order for a person to accept it fully, the status of the blocking conception has to be lowered before the status of the new conception can rise. This process was called accommodation by Posner et al. (1982) and conceptual exchange by Hewson (1981).

The processes of conceptual capture and conceptual exchange are both examples of conceptual change. Determining the status of a student's conception can help one determine which kind of conceptual change happened in classroom.

2.4 Determining conceptual status

In order to determine the status of a student's conception, it is necessary to have some communication from the students and have the statement from students to be analyzed. An analyst needs to take three steps in the determination of status (Hewson; & Hewson, 1992: 62). First, identify the representation of a conception from student's statement. Second, identify comments on the conception that are made by students related to the status of conception. Finally, interpret statements of representations and comments in term of their intelligibility, plausibility, and fruitfulness. The difficulty of this task depends on whether or not the person who makes the statements has used the conceptual change model technical language (intelligible, plausible, and fruitful).

The following are different methods of status determination. The choice of one method over another may depend on whether data is gathered in individual or classrooms interviews, and whether or not the technical language of the CCM is used.

2.4.1 Non-technical interview

In this technique, interviewees do not know the technical language of the conceptual change and the interviewer performs the analysis of status. If the interviewing style is clinical and the interviewer has explicitly elicited comments about conceptions, the task of status determination becomes less interpretive and therefore easier.

2.4.2 Non-technical classroom discourse

The statements related to the status of conceptions are collected from classroom discourse. However, there will be relatively fewer comments about status than in an interview even when the teacher has status determination in mind because there are many students and different purposes in a classroom. Thus the analyst is likely to require a more complex framework, and the task of analysis is more interpretive and difficult.

2.4.3 Technical interview

Interviewees are expected to know the technical language of the conceptual change model and thus the interviewer can ask for status directly, e.g., “Is this idea plausible to you?” The interviewees become partners in the analysis. While the quality of the analysis depends on how well interviewees can use the technical language, the validity of the outcome of the analysis depends on the evidence the interviewees have provided about the meaning they give to the technical terminology as well as the way in which they use it.

2.4.4 Technical classroom discourse

In this method, the technical language becomes a part of the normal classroom vocabulary. Like the second method, the complexity of a classroom will decrease the amount of status conversation, even when it is one of the teacher’s purposes. Like the third method, the explicit use of the technical language both facilitates analysis and influences its quality.

2.5 Related research on conceptual status determination

Hennessey (1991) conducted a classroom study which utilized technical classroom discourse analysis for determining status of students’ conceptions. The objectives of this study were to determine the status of students’ conceptions of force and motion, and to probe the relationship between the status of the students' conceptions and corresponding changes in the content of those. The study was conducted in three phases. In Phase I (7 weeks), the students learned the technical language of the conceptual change model and established a consensus about a set of descriptors for each of the technical terms. Phase II (10 weeks), was a unit on force and motion. In this phase, data was gathered by having the students comment on both the content and status of selected force explanations. In Phase III (after a six week delay), further data about status and content was gathered. This study concluded that the students had the ability to use the

technical terms of conceptual change model. However, the status analysis became a low-inference task suitable for use in normal classrooms when the students provided direct evidence of the status of their conceptions. In addition, the data support the model's prediction of a correlation between conceptual exchange and changes in plausibility but do not support the notion of a change of fruitfulness as being correlated to conceptual exchange.

Lemberger (1995) studied the relationship between a model-building in problem-solving classrooms and conceptual change learning. He utilized status determination for gathering evidence of students' conceptual learning and identifying the process of conceptual change. This study was conducted in a genetics course which was designed to provide an environment for students to pose problems and try to find the solutions for themselves. The problems were based on anomalous data, and the students had to work in an effect-to-cause direction to propose solutions. Solutions to the problems were constructed through the process of conceptual change known as conceptual capture. The method for determining status was non-technical classroom discourse in which the researcher conducted discourse analysis to interpret students' statements. This research found that student statements reflected explicit changes in the status of their conceptions of several important genetic concepts.

Thorley (1990) developed discourse analysis categories for interpreting conceptual change in classroom discourse. This study identified and described what the author called "the occurrence of status-related interactions" in discourse samples from science classrooms having a conceptual change orientation. Recordings were obtained from classrooms of three physics teachers addressing "force and motion," and one life science teacher focusing on "photosynthesis." Thorley's category system can be used to analyze content in science classroom discourse.

Tsui; & Treagust (2007) utilized Thorley's status analysis categories to determine the status of students' conceptions about genes. The study used multidimensional conceptual change frameworks. The authors used a case-based design with multiple data collection methods, and used an interpretive approach to analyze the data. The students in their study learned genetics in classroom lessons using the software BioLogica that provides multiple representations of gene. Results of the online tests and interview tasks revealed that most students improved their understanding of genetics as evidenced in the development of genetics reasoning. However, the analysis of

students' status of gene conception indicated that only four students' post-instructional conceptions were intelligible–plausible–fruitful.

3. Levels of scientific conceptions

This section deals with the nature of scientific concepts in order to explain why certain concepts are difficult for students. Scientists develop models and representations as ways to think about the natural world. The kinds of model that scientist construct vary widely, both within and across disciplines. Nevertheless, in building and testing theories, the practice of science is governed by efforts to invent, revise, and contest models. Using models in another important way that scientists make their thinking visible (Michaels, Shouse, & Schweingruber. 2007: 109). Scientists constructed mental models or conceptions for which there are no directly observable instances (for example atoms, electric fields) and conceptions that have no physical reality. Such concepts have certainly increased the explanatory and predictive power of science (Schollum; & Osborne. 1985: 55). Considering the level of scientific conceptions, Johnstone (1982: 377) refers to three levels used by chemists as follows:

- Descriptive and functional: This is the level at which chemists can see and handle materials, and describe their properties in terms of color, hardness and so on. At this level chemists are also interested in the possibility of conversion of one material into another with consequent change in properties.

- Representational: This is the level at which chemists try to represent chemical substances by formulae and their change by equations.

- Explanatory: This level is 'atomic and molecular, a level at which chemists attempt to explain why chemical substances behave the way they do'. Chemists invoke atoms, molecules, ions, isomers, polymers, and so on to give a mental picture by which to direct their thinking and rationalize the descriptive level mentioned earlier.

Johnstone (1993: 118) also propose the level of conceptions for physic and biology. In physics, there are three similar levels: the macro, the invisible (e.g. forces, reactions, electrons) and the symbolic (math, formulae etc). Biology has its three levels: the macro (plant or animal), the micro (cells), the biochemical (DNA etc.). Figure 2 illustrates the interaction of three levels as the triangle.

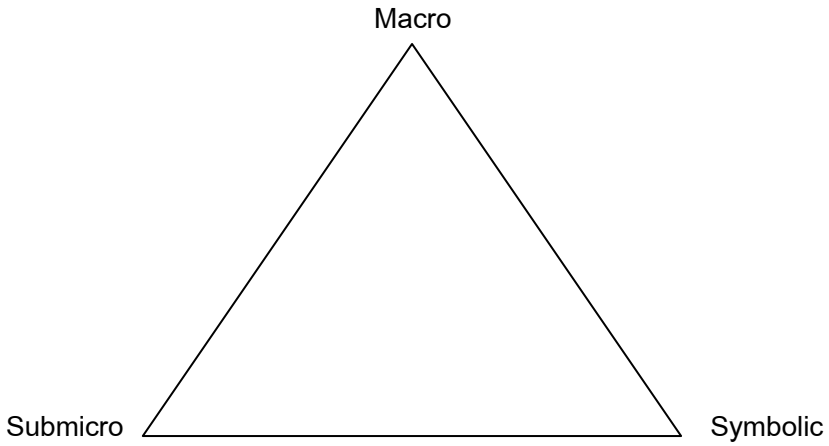


FIGURE 2 LEVELS OF SCIENTIFIC CONCEPTIONS

Source: Johnstone, A.H. (1993). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. In *Teaching Learning and Assessment in Science Education.* Edwards, Dee; Scanlon, Eileen; & West, Dick. editors. pp. 113-123. London: The Open University

Many of the concepts of science are at the micro level. Students cannot use their ideas in long-term memory to make sense of the new scientific concepts. Johnstone (1993:121) also suggested that the best strategy to understand this kind of concepts is an analogy which has to be carefully thought.

4. The learning cycle

The learning cycle approach is an instructional model which can be used to design curriculum materials and develop instructional strategies for science classrooms. The model is derived from the developmental theory of Jean Piaget, especially with the mental functioning process in that theory (Abraham; & Renner. 1986: 121) The mental functioning process begins with assimilation. Learners try to assimilate data from their environments into their mental structures where those data are processed. The mental structures can be changed with the process called accommodation. The learners use assimilation and accommodation together to connect the newly developed and understood concepts with the other concepts in a network of relationships. In other words, the new concepts must be organized with other concepts (Renner; Abraham; & Birnie. 1988: 39-40). Curriculum

materials and instructional strategies which are compatible with Piaget's ideas would give the student the opportunity to assimilate information by exploring the learning environment, accommodate that information by developing a concept to explain or organize the information, and organize or relate the new concept to existing knowledge by applying the new concept to explain different phenomena (Renner; Abraham; & Birnie.1988: 40).

The overall goal of the learning cycle is to help elementary and middle school students construct new scientific knowledge by creating conceptual change through interaction with the social and natural world. The inquiry teaching strategy takes into account students' developmental level and helps them use their prior knowledge as they learn new thought processes, develop higher levels of thinking, and become aware of their own reasoning. This strategy is designed to adapt instruction to help students (Sunal; & Sunal. 2003: 43)

1. become aware of their prior knowledge.
2. compare new science ideas to their prior knowledge.
3. connect new science ideas to what they already know.
4. construct their own new scientific knowledge.
5. apply the new scientific knowledge in a novel situation.

Since 1979, several key studies have compared the learning cycle approach with traditional approaches. The conclusions of the research can be summed up in the following statements(Abraham; & Renner,1986 : 123).

- The learning cycle approach more accurately reflects scientific inquiry processes than traditional approaches.
- The learning cycle approach emphasizes the explanation and investigation of phenomena, the use of evidence to back up conclusions, and the designing of experiments.
- Traditional approaches emphasize the development of skills and techniques, and receiving of information, and the knowing of the outcome of an experiment before doing it.
- Using the learning cycle approach, formal operational students learn both concrete and formal concepts better than concrete operational students.
- For concrete operational students, the learning cycle approach is superior to traditional approaches in content achievement and intellectual development gains.
- Formal operational students learn equally well with learning cycle or traditional approaches.

- The learning cycle approach is superior to traditional approaches in the retention of gains of content achievement.

4.1 The three phases of the learning cycle

The learning cycle approach divides instruction into three phase which Abraham and Renner (1986: 123) believe that there is a one-to-one correspondence between Piaget's elements of assimilation, accommodation, and organization and the phases of learning cycle that are gathering the data (exploration), conceptual invention and conceptual expansion (discovery).The three phases of the learning cycle has been introduced by Robert Karplus and the persons who developed the materials of the Science Curriculum Improvement Study(Renner; Abraham; & Birnie ,1988: 39). The terms exploration, invention and discovery that referred to each phase of the learning cycle continued to be used by Karplus and others through 1975. However, in 1976-1977, it became apparent that many teachers were having a difficult time understanding what the terms invention and discovery were intended to mean in context of classroom lessons. The learning cycle phases as exploration, term introduction, and concept application are suggested instead because the names of the phases are intended to convey meaning to teachers. Teachers can introduce scientific terms during the second phase of the learning cycle, but they cannot introduce concepts. The concepts must be invented or constructed by students (Lawson; 2002: 161). The details of each phase are as follows:

4.1.1 Exploration

During exploration, students learn through their own actions and reactions in a new situation. They explore new materials and new ideas. The new experience should raise questions or complexities that they cannot resolve with their accustomed ways of thinking. In this way, exploration provides the opportunity for students to reveal their prior knowledge. This can encourage students to analyze the reasons for their ideas. That analysis can then lead to an explicit discussion to find the ways to test alternative ideas through the generation of predictions. The gathering and analysis of results may then lead to a rejection of some ideas and the retention of others. Exploration should also lead to the identification of a pattern of regularity in the phenomena.

4.1.2 Term introduction

The second phase, term introduction, starts with the introduction of a new term or terms such as metabolism and coldblooded, which are used to refer to the patterns or ideas which are discovered during exploration. Such terms may be introduced by the teacher, the textbook, a film, or another medium. This step should always follow exploration and relate directly to the ideas discovered during the exploration activity.

4.1.3 Concept application

In the last phase of the learning cycle, concept application, students apply the new term or thinking pattern to additional examples. After the introduction of cold-bloodedness, for instance, concept application might be concerned with determination of the type of metabolism of other invertebrates or of vertebrates such as mice or humans.

4.2 Linking exploration and term introduction with conceptual bridges

Conceptual bridges are aspects of a lesson that facilitate student's conceptual change by helping create meaningful links between their experiences and an explanation of those experiences. Similes, metaphors, analogies, models, and stories are frequently used to create conceptual bridges in teaching science (Sunal; & Sunal. 2003: 335-338).

4.2.1 Using Models

Mathematical expressions and graphs of events are two examples of models. Others are diagrams and physical models such as charts or a plastic model of a human ear. The model is taught by making connections for students between real-world observations and the model.

4.2.2 Using Similes, Metaphors and Stories

Similes are figures of speech that compare two unlike things such as, a rock can have stripes that look like layers. Metaphors are words or phrases, or figures of thought where one idea is used in place of another to suggest a likeness between them, such as, if a cell were a boat, the nucleus would be its captain. Stories in books also attempt to represent or model real-world events. It is assume that the characteristics of one well-known idea, which is the new idea are immediately transferred to the lesser known idea, which is the new idea of the lesson.

4.2.3 Using Analogies

An analogy is more elaborate and explicit than simile. When analogies are used to teach science ideas, the new idea is first introduced during the Exploration phase of the learning cycle. The second step during the Term introduction phase is to review, explain, and identify the important characteristics of the known idea used in the analogy. This is followed by an explanation of the new idea. Its key characteristics are highlighted by comparing them to the better known idea used in the analogy. The characteristics of analogy will be discussed in more detail later.

5. Analogy technique

Harrison (2008: 9) pointed out that the attraction of analogies in science, mathematics, social studies, technology, and literature lies in the ability to explain abstract ideas in familiar terms. Using analogy in classroom is common for the teacher who tries to explain scientific knowledge, for example, an artery or vein is like a hose or tube; the earth is round like a ball; the eye works like a camera; and plants, animals, and microorganisms are classified into functional groups, like the separate sections for fresh foods, canned foods, stationery, and cleaning supplies in a supermarket. With analogies, objects and processes, especially those that cannot be seen, like atoms and molecules can be described and explained to students. Glynn, Duit; & Thiele (1995: 251) have defined analogy in science teaching that “An analogy is drawn by identifying similarities between two concepts. In this way, ideas can be transferred from a familiar concept to an unfamiliar one. The familiar concept is called the analog and the unfamiliar one the target. Both the analog and the target have features. If the analog and the target share common or similar features, an analogy can be drawn between them. A systematic comparison, verbally or visually, between the features of the analog and target is called a mapping”. In this sense, analogy can usually be used to explain the unfamiliar concepts to students by comparing to the familiar concepts.

When students study new concepts, meaningful learning proceeds when they find and visualize connections between the new concepts and the concepts that they already know. This is especially important in inquiry learning where connections are built between familiar and non-intuitive science contexts. Inquiry learning includes students’ investigation of scientific questions and problems. The students need to discuss and interpret the data. Sometimes the teacher offers analogies to help the students make sense of the collected

data. If the analogies are appropriate, they promote concept learning because they encourage students to build links between past familiar knowledge and experiences and new contexts and problems (Harrison; & Treagust. 2006: 12). Therefore, the analogies act like a conceptual bridge connecting physical experience to the abstract scientific explanations.

5.1 Analogy category in science teaching

Curtis; & Reigeluth (1984: 99-117) analyzed 216 analogies found in science textbooks and developed classification system for analogies. They finally grouped analogies according to the level of enrichment which has three levels; simple analogy, enrich analogy and extended analogy. The details of each group are as follows.

5.1.1 Simple analogy

Simple analogy is the most basic level of an analogy. It composes of an analog, a target and a connector such as “is like” or “may be compared to” There are no explanation for this kind of analogies. It tends to be used in cased where the relationship between the target and the analog is highly obvious and needs little or no explanation. An example of a simple analogy is “The spinal cord is like a large cable which extends down through the hollow vertebrate”

5.1.2 Enriched analogy

A simple analogy can be enriched for the learner by stating the explanation for the relationship between an analog and a target. In addition, an enriched analogy may also contain the limitations or the unlike characteristics between the analog and the target.

5.1.3 Extended analogy

Extended analogy is the most complex level of enrichment which the various analogs are used to explain one target or more than one target. The extended analogy has been also called multiple analogies. Harrison (2008: 46) described the advantages of using multiple analogy that “ multiple analogies are effective because each analogy explains only the ideas where it works well, and students can choose the analogies that best suit their experience and thinking needs”. In other word, multiple analogies can reduce alternative conceptions, which can be generated by using only one analogy presenting only one aspect of the sophisticated concept, and provide choices for all

students who have different experiences and interests to make sense of the new conception.

5.2 Presentation format for analogy technique

Analogies can be presented in several ways. Curtis and Reigeluth (1984: 101-102) described the contexts for using analogies in three aspects which include analogies in testing, analogies in oral communication and analogies in text.

5.2.1 Analogies in testing

Many standardized tests use analogical reasoning as a testing device. The Miller Analogies Test, often used for admission to graduate schools, consists strictly of analogical problem solving.

An example of a test analogy is :

Elephant : large : : ant :_____

(a) ground; (b) clean; (c) small; (d) loud; (e) happy

The first pair of words (elephant, large) is related as an animal to its size; therefore, the second pair must share a similar (analogous) relationship. Hence, the correct answer is (c) small.

5.2.2 Analogies in oral communication

A less formal context for analogies is oral communication, which may include oral instruction. In this category, analogies are used to explain and clarify information that is given from one person to another. Oral analogies are often used to explain a concept to another person. This type of analogy may take on various formats, depending on its ability to be understood. Oral analogies usually permit feedback from the receiver of the analogy so that the person using the analogy can clarify or explain it further.

5.2.3 Analogies in text

A text analogy can be found in many science text books where the author intends to explain difficult scientific concepts. This type of analogy is quite different from a test analogy or an oral analogy. It differs from the test analogy because it is intended as a cognitive strategy to improve the learner's understanding of the more complex concept being presented, rather than as a means of determining the learner's general level of analogical reasoning ability. It differs from the oral analogy in that it has no mechanism for receiving feedback from the learner.

5.2.3 Pictorial analogy

The alternative ways in which analogy was presented to students in science educational research has been proposed. Instead of presenting text or oral communication alone, some researcher introduced pictorial analogies to enhance student's understanding in science content because they can facilitate a visualization of the abstract target concept (Duit. 1991: 655). Teachers can use the pictorial analogy to emphasize the features of analog concept to be compared. In practice, most pictorial analogies are accompanied by some verbal explanation; therefore, they should be referred to as pictorial-verbal analogies (Treagust. 1993: 295)

Bean;& et al. (1990: 223) introduced a pictorial analogy with its written form to help students understand biological concepts. The purpose of their study was to test the hypothesis that combining a pictorial analogy (figure 3) with its written form would produce greater understanding of cell structure and function than using the analogical study guide alone. The result of this study confirmed the hypothesis. Students who received instructional combining a pictorial analogy comparing the cell to a factory and an analogical study guide expressed the comprehension of cell structure and function concepts significantly better than students who used only the study guide.

Fortman (1993: 56) has published a series articles presenting pictorial analogies in chemistry topics such as, states of matter, types of solids, quantum numbers and orbitals, heat flow, thermodynamics, and entropy etc. Figure 4-6 presents his pictorial analogy dealing with quantum numbers.

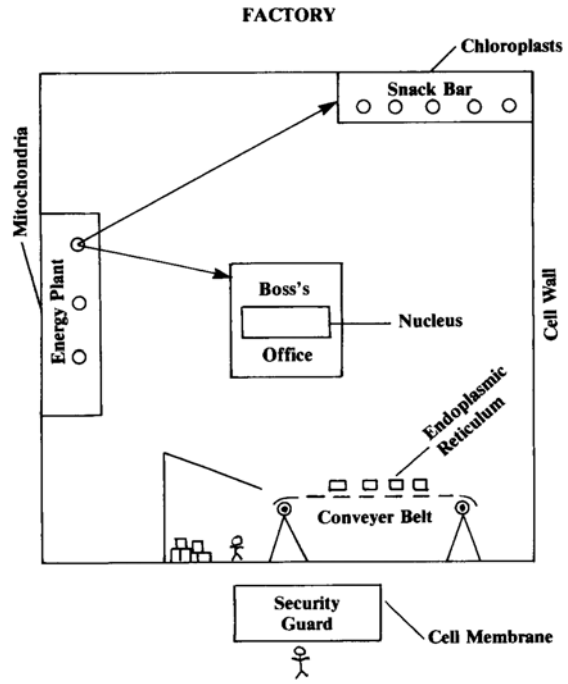


FIGURE 3 PICTORIAL ANALOGY COMPARING CELL STRUCTURE WITH A FACTORY

Source: Bean, Thomas W.; et. al. (1990, March/April). Learning Concepts from Biology Text ThroughPictorial Analogies and an Analogical Study Guide. *The Journal of Educational Research*. 83(4): 233-237

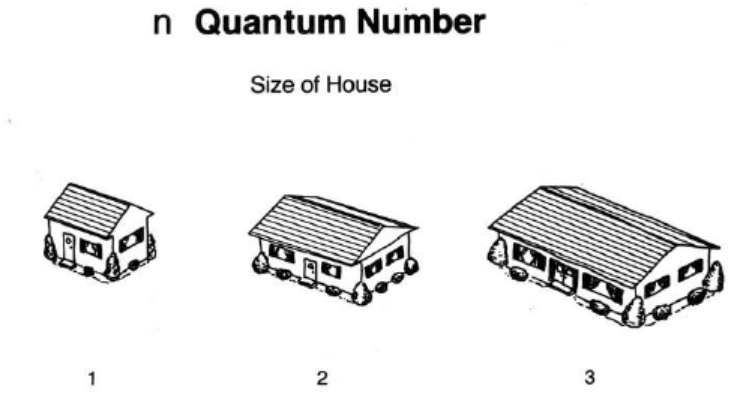


FIGURE 4 ANALOGY TO THE INCREASING SIZE OF ATOMIC ORBITALS WITH INCREASING VALUE OF THE ***n*** QUANTUM NUMBER

Source: Fortman, John J.(1993, August). Pictorial Analogies VII: Quantum Numbers and Orbitals. *Journal of Chemical Education*, 70(8): 649-65

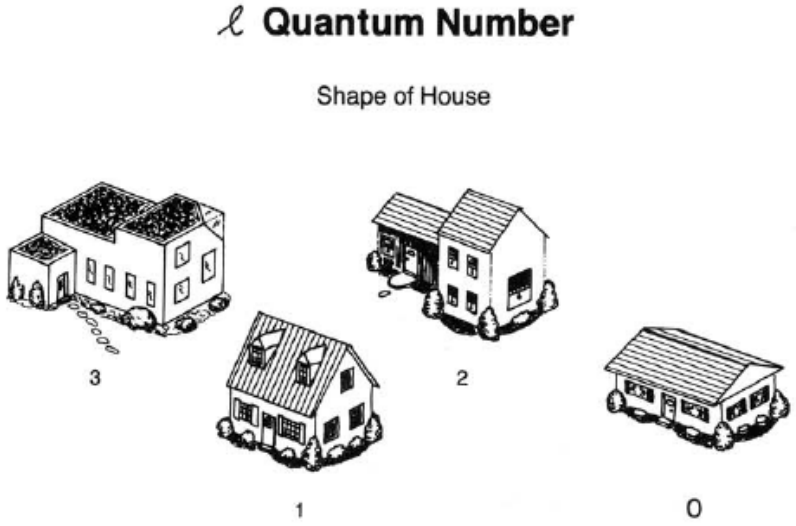


FIGURE 5 ANALOGY TO THE RELATIONSHIP OF THE ℓ QUANTUM NUMBER AND THE SHAPE OF ATOMIC ORBITALS

Source: Fortman, John J. (1993, August). Pictorial Analogies VII: Quantum Numbers and Orbitals. *Journal of Chemical Education*, 70(8): 649-650

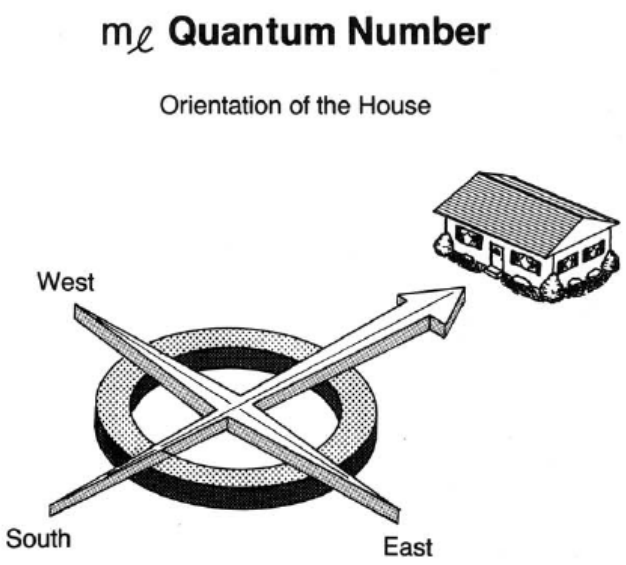


FIGURE 6 ANALOGY TO THE DIRECTIONAL RELATIONSHIP OF THE M_l QUANTUM NUMBER

Source: Fortman, John J. (1993, August). Pictorial Analogies VII: Quantum Numbers and Orbitals. *Journal of Chemical Education*, 70(8): 649-650

5.2.4 Analogy-based animation

One of the alternative formats for presenting analogies is analogy-based animation. In contrast to static graphics or pictorial analogy, Milheim (1993: 172) suggested that animated computer graphics can provide concrete visual information about the moving and changing of an object over time. Lai (1998: 151-160) investigated the effects of visual display within a Computer-Based Learning (CBL) program that taught computer programming language through analogies. The first version of the lesson presented the analogy through text only. The second version of the lesson supplemented the text analogies with static graphics. The third version was further provided with animation for the analogy. Seventy-eight college students were randomly assigned to the three groups. A main finding was that analogical text can be supplemented with appropriate static graphics to increase the level of concept learning produced by computer based learning. The subjects who used the CBL program with static graphics showed a greater increase in recall and recognition of concepts than the subjects who used the CBL program that presented the analogy through text or animated representation. The author suggested that analogy based animation in this study did not directly represent the real process that

happens in a computer, and it needs additional guidance for interpreting the animation. Suggestions for further research have been also proposed which include the investigation of (a) long-term retention of the gains from the treatment with different visual display, (b) the effect of animation with units of study other than programming learning, (c) the effects of animation with different levels of learner control.

5.2.5 Personal analogy

Personal analogy compares abstract scientific concepts to students' real world situations such as people, money, food, and relationships. Treagust (1993: 295) suggested that students can be physically involved in a personal analogy by role-playing activities. For example, students may be asked to walk around the classroom in a manner that their directions of travel are like the motion of electrons through a wire or ionic migration through a solution during electrolysis. Alternatively, the students may only be involved at a mental level. Treagust (1993: 295) also pointed out that personal analogies cause better learning of concepts and that this learning approach is enjoyable; however, personal analogies can cause students to give intuitive feelings to inanimate objects and concepts

One of the studies considering the effectiveness of the personal analogy conducted by Tsai (1999: 83-90). In this study, the analogy was presented in the form of role-playing in which students acted as particles and worked together to perform the conditions of phase change in microscopic view. To demonstrate the phase change of Br_2, the students in pairs worked together as the Br molecule and all students were identical Br atoms. The two persons in each team should be held together in every situation. When the teacher assumed the temperature of -10 $^{\circ}C$ (in Br_2's solid stage), the students, as teams of two persons were asked to have minute movement. When the teacher assumed the temperature of 20 $^{\circ}C$ (in Br_2's liquid stage), the students, still as teams, were asked to have a more rapid movement. In order to create more violent motion, students' original structure would become looser, unconsciously. The same activity rule was applied to the temperature of 75 $^{\circ}C$ (Br_2's gaseous stage).

The result of Tsai's study revealed that the students in the experimental group who learnt from the analogy activity did not perform better than those who were in control group in the posttest. However, the comparison of a retention test between these two groups indicated that there was dramatically regression of the students' performance in control group; on the other hand, there was merely a little regression for experimental

subjects. The result showed its positive influence on students' long-term understanding (Tsai. 1999: 89).

In addition to participate in a role-playing activity, students can also learn from a personal analogy at the mental level. Harrison; & De Jong (2005: 1135-1159) observed a teacher's analogy on chemical equilibrium. The teacher in their study had students think about "school dance" as the analog to understand the target concept which is chemical equilibrium. The analog concept is that there are 1,000 students in the gymnasium, half boys and half girls. Everyone is blindfolded and has to walk around until they find a partner. Feeling the head of a partner is the only way boys and girls can pair off because boys have stubble and girls have their hair in pony-tails. After they find the partner, they can go into the commitment room, up to a maximum of 500 students or 250 couples, with the teacher as gatekeeper. If more students want to go to the room, some students have to leave. This analog situation was to be compared with the concept of chemical equilibrium where boy-girl meetings represent atom collisions, and the couples going to the commitment room represent a chemical reaction and bonding. The idea of simultaneous forward and reverse reactions with the same rate was compared with the idea that a new couple can enter the commitment room only when one of the 250 couple in the room split. Table 1 shows the analog and the target of this personal analogy.

TABLE 1 THE “SCHOOL DANCE” PERSONAL ANALOGY FOR CHEMICAL EQUILIBRIUM

Analog (familiar situation)	Target (science concept)
Chemical reaction	
Dancing students in the gym (reactants)	Moving and colliding particles
Commitment between students	Chemical bond (product)
Reaction rate	
Number of people in the gym	Concentration effect on reaction rate
Speed of running students	Temperature effect on reaction rate
Extent of body contact	Surface area effect on reaction rate
Equilibrium conditions	
Couples going in and out the commitment room.	Simultaneous forward and reverse reaction
Couples going in and out at the same time	Rate of forward=rate of reverse reaction
Gym doors are sealed	Reaction system is closed

Source: Harrison, Allan G.; & De Jong, Onno. (2005, December). Exploring the Use of Multiple Analogical Models When Teaching and Learning Chemical Equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching.* 42(10) : 1135-1159

5.2.6 Analogical model

The term model is used in many different ways. Coll (2005: 184) had defined a model as “a representation of an idea, object, event, process or a system” and “analogies may be considered a subset of models as they involve the comparison between two things that are similar in some respects”. In another perspective, Duit (1991: 651) viewed the model as a tool for providing analogies because it is the analogical relation that makes a model a model and there appears to be some concurrence in that both model and analogies have the common feature considering the structural mapping of different domains.

Harrison and De Jong (2005: 1136) gave the example of how the kinetic theory model provides the analogical relation between “moving ball in a box” and “moving atoms in the flask”. The shared attributes between the analog and the target are that elastic collisions between balls are like perfectly elastic inter-atom collisions and balls hitting the box wall apply a force like the pressure atoms produce when they bounce off the flask’s wall. Harrison (2008: 10) stated that most models are analogies and he treated analogical models and verbal analogies in the same way. Furthermore, he also proposed the model of an analogy and an analogical model which is illustrated in figure 7.

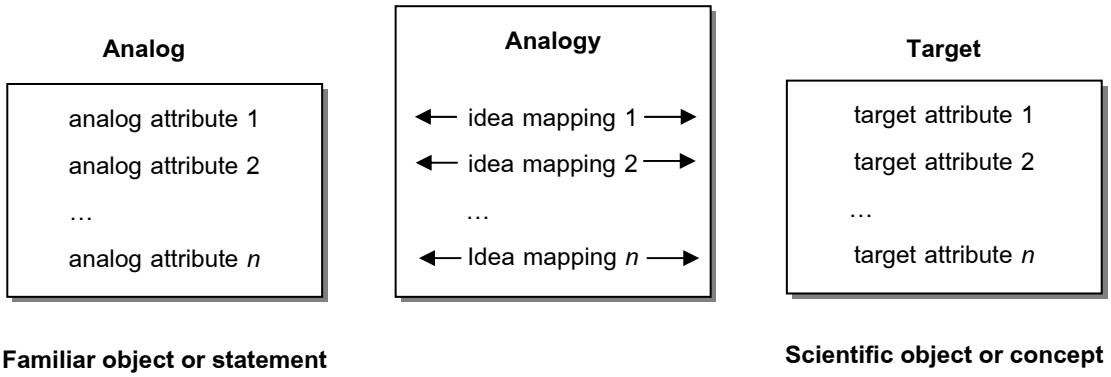


FIGURE 7 A MODEL OF AN ANALOGY AND AN ANALOGICAL MODEL

Source: Harrison, Allan G. (2008). Teaching With Analogies: Friends or Foes? In *Using Analogies in Middle and Secondary Science Classrooms*. Harrison, Allan G.; & Coll, Richard K., editors. pp. 6-21. California: Corwin Press.

5.3 An instructional sequence of analogy technique

Science educators have developed several approaches to instructional analogies to aid students' learning. Dagher (1998: 195-211) have summarized models for teaching with analogies, and three models are described here as an instructional sequence that is relevant to this study.

5.3.1 The General Model of Analogy Teaching (GMAT)

One of the earliest models for teaching scientific analogies was proposed by Zeitoun in 1984. There are nine steps to used analogies in science teaching:

1. Measuring student characteristics related to analogical reasoning ability, ability to handle visual imagery. This step is optional.

2. Assessing students' prior knowledge to determine whether analogies are helpful or not.

3. Analyzing the learning materials of the topic to determine whether they already contain analogies

4. Judging the appropriateness of the analogy by considering the extent to which the analogies are (a) familiar and/or (b) highly complex, having many attributes that correspond to the great domain.

5. Determining the characteristics of the analogy in relation to the characteristic of students.

6. Selecting the strategy of teaching and medium of presentation. This involves choosing between three strategies: student self-developed, guided teaching, or expository teaching. Additional choices have to be made concerning the medium of presentation: written, oral by teacher, slide presentation, demonstrations, games, manipulatory models, pictures and graph.

7. Presenting the analogy includes several steps: Introducing the target concept, introducing the analog, connecting the analogy to the target, presenting the analogous attributes one by one starting with the most salient first, using transfer statement to present the irrelevant attributes, and finally discussing those irrelevant attributes.

8. Evaluating the outcomes by determining students' knowledge of attributes of the topic and identifying misconceptions they might have acquiring from using the analogy.

9. Revising the stages after evaluating every stage of the model in order to determine whether additional discussion, an alternative analog, or a different strategy is needed.

5.3.2 Teaching With Analogies Model (TWA)

The Teaching With Analogies model is based on an extensive study of high school physics, chemistry, and biology textbooks. There are six components to this model:

1. introducing the target concept
2. recalling the analog concept
3. identifying similar features of concepts between target and analog
4. mapping similar features
5. drawing conclusions about concepts
6. indicating where the analogy breaks down.

Harrison; & Treagust. (1993: 1291-1307) have modified this model by reversing step five and six, and used in their study.

5.3.3 Student-Generated Analogies Model

Teaching by this method consists of presenting students with a new topic or an event that illustrates a number of science concepts and asking them to produce and modify explanations about that particular phenomenon. With the teacher as facilitator, students engage in four steps as follows:

1. explaining the phenomenon

2. creating their own analogies to achieve a better understanding of the phenomenon

3. applying the analogy to the phenomenon by identifying similarities and differences

4. participating in a class discussion to discuss the degree of adequacy of the suggested analogies in explaining phenomena.

The common feature of each model is the mapping process which includes identifying similarities and differences between the target concept and the analogy. This is because teaching with an analogy might generate misunderstanding if the students connect the wrong attributes of the analogy to the target concepts. In this study, the sequence of teaching with analogies are (1) introducing the target concept, (2) recalling the analog concept by presenting the analogy to students, (3) identifying similar features of concepts between target and analog (4) mapping similar features (5) identifying dissimilar features of concepts between target and analog (6) drawing conclusions about concepts.

5.4 Advantages of analogies

Duit (1991: 666) described the benefit of using analogies in science instruction that analogies are powerful tools to facilitate the learners' knowledge construction from the concepts that are already available. With a constructivist perspective of learning, these advantages include:

5.4.1 Analogies are valuable tools in conceptual change learning, which open new perspective.

5.4.2 Analogies may facilitate an understanding of the abstract by pointing to similarities in the real world.

5.4.3 Analogies may provide visualization of the abstract.

5.4.4 Analogies may provoke students' interest and may therefore motivate them.

5.4.5 Analogies force the teacher to take students' prior knowledge into consideration. Analogy use may also reveal misconceptions in areas already taught.

5.5 Analogy contribute to conceptual change in biology

Venville and Treagust (1996: 295-320) described the role of analogies in promoting conceptual change in biology. The analogies have been viewed from different perspectives of conceptual change. The contributions of analogies to conceptual change are as follows.

5.5.1 The analogy can help students as a sense maker that makes a new concept intelligible for the students. This is the beginning condition for conceptual change learning

5.5.2 The role of the analogy is a memory aid when the physical objects or processes are used to explain biological process because the students can easier recall the mental model from the physical science framework theory than from the biological framework theory

5.5.3 An analogy may have the role of transforming the ontological category of a concept from the misplaced ontological category to the preferred category. In this sense the role of the analogy in the process of conceptual change could be described as a transformer.

5.5.4 The analogy increased students' confidence that the learning task was something achievable. This is the motivation factor for conceptual change learning. The analogy acts as a motivator in that it eliminates the technical vocabulary, encourages confidence to learn the content and allowed the learning process to proceed.

5.6 Disadvantages of analogies

Despite of the advantages of analogies as previously described, Duit (1991: 666) listed the disadvantages of using analogies as follows:

5.6.1 There are always features of the analog structure that are different from those of the target. These features may cause misunderstanding for students who try to compare the different features of the analog and the target.

5.6.2 Analogical reasoning is only possible if the intended analogies really are drawn by the students. If students hold misconceptions in the analog domain, analogical reasoning will transfer them into the target domain. It is therefore important to ensure that the intended analogies really are drawn by the students.

5.6.3 Although analogical reasoning appears to be quite common both in daily life and in other contexts, spontaneous use of analogies provided by teachers or learning media seldom happens. Analogical reasoning in learning situations requires considerable guidance.

6. Learning from pictorial-verbal analogy and analogy-based animation

Because this study utilizes the advantages of pictorial-verbal analogy and analogy-based animation in term of visual representation of the analogies, the theory on how picture and animated graphic effects student's learning need to be reviewed. This section aims to report the literature including the principle of representation, learning from text and graphics, and learning from animation.

6.1 The principle of representation

Andrade and May (2004: 86) defined a representation as "a sign, symbol or token that 're-presents' something in its absence". From this notion, external representations include paintings, photographs, written descriptions, diagrams and so on. Some of these representations bear some physical resemblance to the object or event they represent. For example, a painting or scale model of a town may retain the structural features and spatial layout of the buildings and streets in that town. Representations that do this are called analogue representations. Other types of representation, particularly linguistic representations, do not resemble the represented object or scene in any way. Rather, they serve as discrete tokens of objects and their interrelations. Thus letters and words are symbol that have no physical relation to the objects they represented. These representations are called symbolic representations, because they symbolize rather than mimic the thing they stand for.

Internal or mental representation serves similar purposes to the external representations. They provide a means of manipulating, exploring and describing things in their absence. Mental representations are created by the process of perception and are exchanged between cognitive processes, serving as the currency of thought. There has been much debate about the nature of mental representations whether they are analogical or propositional. In other words, the debates focus on whether we think in images or language-likes descriptions. However, several theorists have argued that there are different

forms of representation, which are used selectively depending on the different task demands and different cognitive processes in operation.

6.2 Learning from text and graphics

Betrancourt; & Chassot (2008: 142-143) summarized numerous research studies in the last two decades on learning from graphics. Most of research in this area compared text alone with text and pictures in term of subjects' performance on retention and inference tests. The findings largely support the claim that graphics benefit learning, with most studies indicating that graphics improved memory for the illustrated information and comprehension of the situation described in the text. Various reasons have been proposed to explain the effects of graphics. Some of these reasons are associated with the affective role that graphics can fulfill. Graphics may indeed be "worth a thousand words" when one needs to describe situations that are inherently spatial and multidimensional, such as faces, maps, knots, and the like. Moreover, graphics could also help to facilitate mental model construction by offering an external representation that supports an internal representation, thus partially offloading information from working memory and increasing available processing capabilities.

6.3 Learning from animation

The characteristic that distinguishes animations from other graphics is their direct visualization of changes that occur over time. Animations can be generated by computers, recorded on video from a real scene, or be formed from a mixture of real and computer-generated features (Betrancourt; & Chassot. 2008: 142-143). To explain why animation can contribute to students' learning, Mayer (2008: 33-34) applied three majors ideas from cognitive science including duals-channels, limited capacity, and generative processing. First, the dual-channels idea is that humans possess two channels for processing information including a visual/pictorial channel for processing pictures and an auditory/verbal channel for processing words. Second, the limited capacity idea is that each channel has a limited capacity for processing information. Third, the generative processing idea is that deep understanding occurs when learners engage in appropriate cognitive processing such as selecting relevant information, organizing the selected information, and integrating the selected information with prior knowledge and other representations. These ideas are summarized in Table 2.

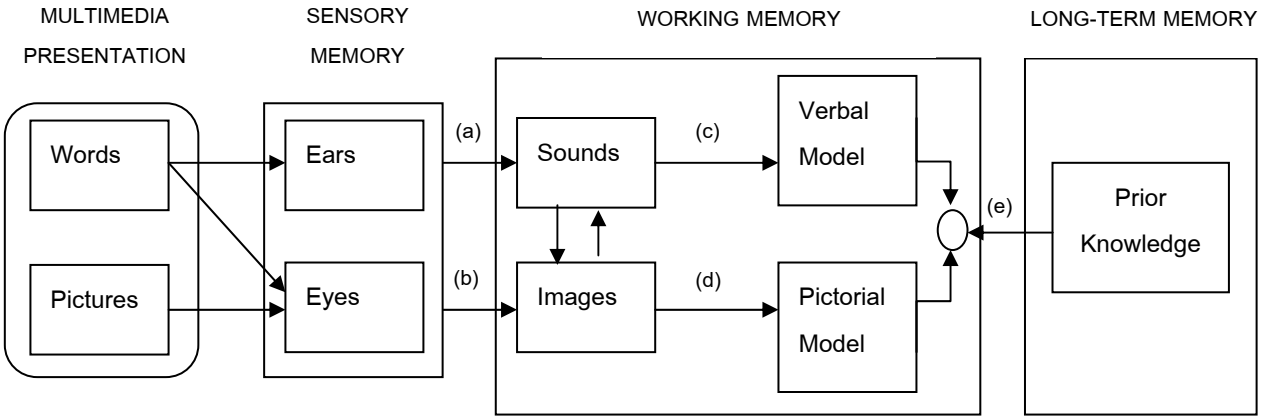
TABLE 2 THREE ELEMENTS IN A COGNITIVE THEORY OF MULTIMEDIA LEARNING

Dual channels	Learners possess separate channels for processing auditory/verbal material and visual/pictorial material.
Limited capacity	Each channel can process a limited amount of material at one time.
Generative processing	Meaningful learning occurs when learners engage in appropriate cognitive processing, such as selecting relevant words and pictures for further processing, organizing selected words into a verbal model and organizing selected images into a pictorial model, and integrating verbal and pictorial models with each other and with prior knowledge

Source: Mayer, Richard E. (2008). Research-Based Principles for Learning with Animation. In *Learning with Animation: Research Implications for Design*. Lowe, Richard; & Schnotz, Wolfgang, editors, pp.30-48. New York: Cambridge University Press.

Mayer (2008) proposed the cognitive model of multimedia learning which consists of three memory stores including sensory memory, working memory, and long-term memory. There are also cognitive processes in this model including selecting words, selecting images, organizing words, organizing images, and the integration. This model can explain how students learn from both animation and pictorial-verbal forms of analogy. Animations or pictures from outside impinge on the eyes and enter through the visual channel while narration impinges on the ears and enters through the auditory channel. The result is a brief sensory image in sensory memory-sound images for spoken words and visuals images for animations and pictures. The first cognitive process is selecting relevant material for further processing. If the learner pays attention to some of the sounds in sensory memory, these sounds are transferred to working memory as the process of selecting words. If the learner pays attention to some of the images, these images are transferred to working memory as the process of selecting images. Some of the incoming sounds may be converted into images, and some of the incoming images may be converted into sound in working memory. The second process is organizing the selected material into coherent representations. The learner mentally organizes the words into a verbal model and organized the images into a pictorial model. Finally, the third process is integrating

the verbal and pictorial models with each other and with prior knowledge. Figure 8 presents the cognitive theory described above.



(a) Selecting Words
(b) Selecting Images
(c) Organizing Words
(d) Organizing Image
(e) Integrating

FIGURE 8 COGNITIVE THEORY OF MULTIMEDIA LEARNING

Source: Mayer, Richard E. (2008: 34). Research-Based Principles for Learning with Animation. In *Learning with Animation: Research Implications for Design*. Lowe, Richard; & Schnotz, Wolfgang, editors, pp.30-48. New York: Cambridge University Press.

When learners do not select the appropriate words and images, the learning outcome is no learning. This outcome is indicated by poor performance on retention and transfer tests. When the learner adequately selects the appropriate words and images, but does not engage in large amounts of organizing and integrating, the learning outcome is rote learning. This outcome is indicated by good performance on retention test but poor performance on transfer tests. When learners adequately engage in selecting, organizing, and integrating, the learning outcome is meaningful learning. This outcome is indicated by good performance on both retention and transfer tests. These three types of learning outcomes are summarized in Table 3.

TABLE 3 THREE TYPE OF LEARNING OUTCOMES FROM WORDS AND IMAGES

Type	Cognitive Process During Learning	Retention Test Performance	Transfer Test Performance
No learning	None	Poor	Poor
Rote learning	Selecting	Good	Poor
Meaningful learning	Selecting, organizing, and integrating	Good	Good

Source: Mayer, Richard E. (2008: 36). Research-Based Principles for Learning with Animation. In *Learning with Animation: Research Implications for Design*. Lowe, Richard; & Schnotz, Wolfgang, editors, pp.30-48. New York: Cambridge University Press.

7. Learning retention

Learning retention relates to memory which is the ability to retain information about a past experience. Learning and memory are related because memory has to do with how the outcomes of learning are retained or forgotten. Anderson (1995: 6) emphasized the relationship between learning and memory as the statement: “ learning refers to the process of adaptation of behavior to experience, and memory refers to the permanent records that underlie this adaptation”. Practically, studies of learning focus on the rate at which information or a skill is acquired under given conditions, while studies of memory focus on the amount of information or a skill that is retained after a given the learning situation and the materials to be learned, and after a given amount of time after that situation and materials are discontinued (Carroll. 1993: 248). In this section, the theories of remembering and forgetting are described including the components of memory, the separate-store model, and retention function.

7.1 The components of memory

The components of the memory system include encoding, storage, and retrieval. Andrade; & May (2004: 59) defined memory as the process by which we acquire, record or encode information, store information in an accessible format, and retrieve that information later. Houston (1991: 254) described more details about each processes that encoding refers to the process by which the nervous system develops a representation of

an external stimulus while storage refers to the persistence of encoded materials overtime, and finally, retrieval refers to the utilization of this stored information. The components of memory are illustrated in figure 9.

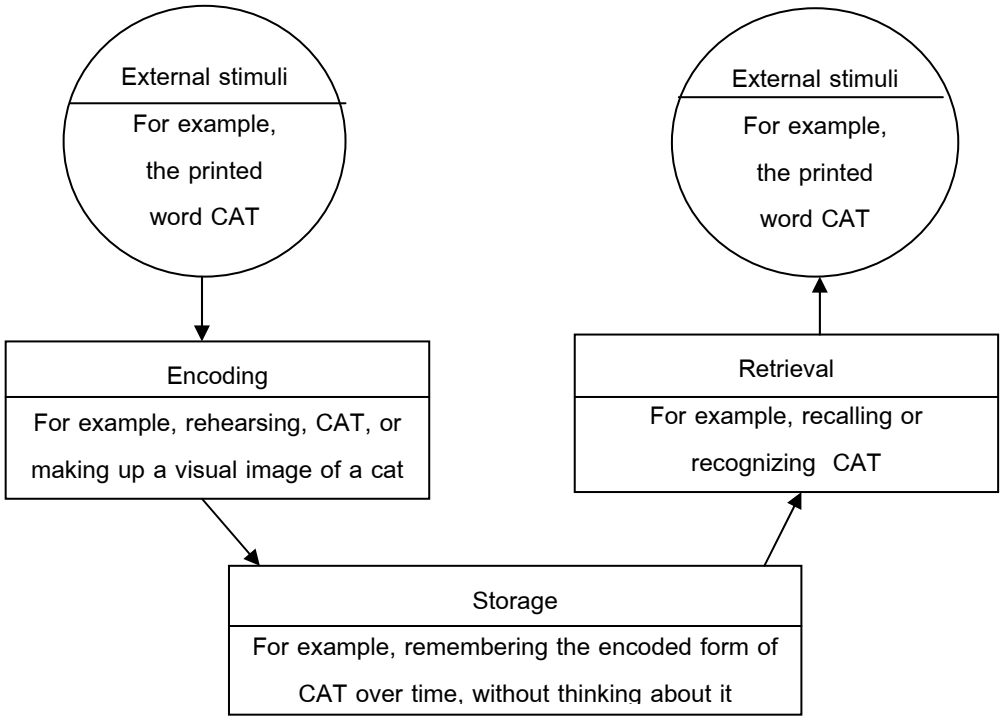


FIGURE 9 GENERAL FORM OF ENCODING, STORAGE, AND RETRIEVAL

Source: Houston, John P. (1991). *Fundamentals of Learning and Memory*. 4th ed. New York: Harcourt Brace Jovanovich.

7.2 Separate-store model

Memory can be classified in different ways. In 1890, William James described two types of memory: primary memory, which is memory for events that just happened; and secondary memory, which is memory for events that happened some time ago. Thus primary memory is a relatively temporary store, whereas secondary memory is long-lasting. Primary memory and secondary memory are now commonly referred to as short-term memory (STM) and long-term memory (LTM) respectively. The model of memory proposed by Atkinson and Shiffrin in 1968 considers information processing in both separate-stores. Incoming information from the environment is very briefly captured in sensory registers. Some of the information in the sensory registers is then transferred to the short-term store,

from which it may be lost through decay or transferred via rehearsal to the long-term store. Long-term stores a practically limitless amount of information in meaning-based format. Information in the long-term store may be lost through decay or interference, or may be output via the short-term store.(Andrade; & May. 2004: 59-63)

7.3 Retention function

Retention function refers to the measure of retention as a function of time. Hermann Ebbinghaus performed the first studies of human memory in 1885 and derived the well known retention curve and learning curve. Ebbinghaus used himself as his subject. In his study, he learned lists of 13 syllables to the point of being able to repeat the lists twice in order without error, and then looked at his ability to recall these lists after various delays. He measured the amount of time he needed to relearn the lists to the same criterion of two perfect recitations. Figure 10 displays a retention curve as a function of the delay with relearning. Initial forgetting is rapid, but the rate of forgetting slows down dramatically over time (Anderson: 1995: 7-8)

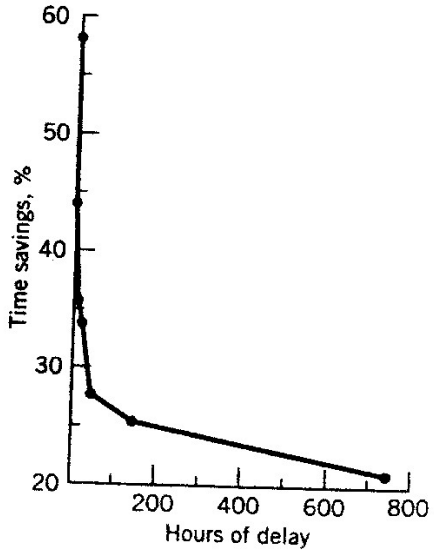


FIGURE 10 EBBINGHAUS'S RETENTION FUNCTION

Source: Anderson, John. (1995: 8).Learning and Memory: An Integrated Approach. Singapore: John Wiley & Sons, INC.

7.4 Research on learning retention in classrooms

Several research studies in classrooms have been conducted considering how teaching intervention affects students' learning retention. Laney (1989: 231) studied the effect of experience-type teaching and concept-label-type teaching on first graders' understanding of economic concepts and recall of the concept that they were taught. The results showed that real-life experiences and invented concept labels enhance first graders' learning and retention of the economic concept.

Ozden and Gultekin (2008: 1) studied the effects of brain-based Learning on academic achievement and retention of knowledge in science course. This experimental study was designed as a pre- and post-test control group model. During the research process, the instructional approach in the experimental group was a brain-based learning approach, while the control group was administered a traditional teaching approach. Analysis of post-test and retention level tests revealed a significant difference between the groups favoring brain-based learning.

Glynn and Takahashi (1995: 1129) studied the role of elaborate analogy in students' learning and retention in cell biology. The elaborate analogy had both graphic and text components that integrated and mapped key features from an analog (a factory) to the target concept (an animal cell). The results of the experiment showed that eighth graders who studied an analogy-enhanced text had greater two-week recall of cell part functions than students who studied a control text. In Addition, sixth graders who studied an analogy-enhance text considered the target concept to be more understandable than students who studied a control text. Glynn and Takahashi (1995: 1129) concluded that the analogy mapped a familiar, concrete schema onto that of the target concept, making the target concept more understandable and memorable.

8. Educational assessment

In order to determine the effectiveness of the expected learning unit, the principle of educational assessment must be applied in the context of research studies. The term educational assessment refers to "the collection and evaluation of data involving inputs to, transactions within, and outputs from an educational system" (Payne. 1974: 3) The following paragraphs describe educational assessment principles regarding this study which include how educational assessment data can be used, how criterion-referenced measurement

differ from norm-referenced measurement, and how the cutting score in this study can be establish as the criteria for criterion-reference measurement.

8.1 Use of educational assessment data

Most educators agree that measurement and evaluation are integral components of the instructional process. Progress toward the achievement of instructional goals must be periodically evaluated if effective teaching and learning are to be accomplished. It is widely recognized that educational objectives and learning experiences are intimately related. Dressel(1954: 23-24. Ref by Payne. 1974: 9) listed the parallel elements in instruction and evaluation which illustrate their common objectives. The list is shown in Table 4.

TABLE 4 THE COMMON ELEMENTS IN INSTRUCTION AND EVALUATION

Instruction	Evaluation
1. Instruction is effective to the degree that it leads to desired changes in students.	1. Evaluation is effective to the degree that it provides evidence of the extent of changes in students.
2. New behavior patterns are best learned by students when the inadequacy of present behavior is understood and the significance of the new behavior patterns thereby made clear.	2. Evaluation is most conductive to learning when it provides for and encourages self evaluation
3. New behavior patterns can be more efficiently promoted by teachers who recognize the existing behavior patterns of individual students and the reasons for them	3. Evaluation is conductive to good instruction when it reveals major types of inadequate behavior and the contributory causes.
4. Learning is encouraged by problems and activities that require thought and/or action by each individual student.	4. Evaluation is most significant in learning when it permits and encourages the exercise of individual initiative

TABLE 4 (continued)

Instruction	Evaluation
5. Activities that provide the basis for the teaching and learning of specified behavior and also the most suitable for evoking and evaluating the adequacy of that behavior.	5. Activities or exercise developed for the purpose of evaluating specified behavior are also useful in the teaching and learning of that behavior.

Source: Payne, David A. (1974: 9). *The Assessment of Learning: Cognitive and Affective.* Canada: D.C. Heath and Company.

From the relationship of instruction and evaluation, the general uses of measurement data in education can be defined as three broad use categories.

8.1.1 Selecting, Appraising, and Clarifying Instructional Objectives

Achievement in school involves movement toward a specified set of objectives. Ideally, the specification of objectives will be accomplished before instruction begins, and will continue as the curriculum is modified to meet individual student needs. It may even be desirable to administer an achievement test to reveal deficiencies at the beginning of a course of study. The original objectives may then be modified, enlarged upon, or discarded, as decreed by data.

8.1.2 Determining and Reporting Pupil Achievement of Educational Objectives

Educational measurement is most frequently used in assessing the level of pupil achievement in school subjects. The application of measurement procedures yields more objective data on achievement than does subjective appraisal. Such information is obviously of critical importance to the student, as it provides him with some perspective on his position relative to acceptable educational standards.

8.1.3 Planning, Directing, and Improving Learning Experiences

The diagnostic use of measurement data can be extremely helpful. Test can serve a valuable function by identifying strengths and weaknesses in the achievement of individual pupils or classes. If the teacher and student can identify the area in which achievement is less than adequate, individual learning efforts and, for that matter, teaching can be directed more efficiently.

In the improvement and facilitation of learning, data on the sequence, continuity, and integration of learning experiences can be of great value. For example, the requisite skills and knowledge for certain courses or units can be identified. The effectiveness of selected instructional practices can also be evaluated. This essentially involves the use of tests for research. A teacher might compare the results of a new device or program to previous educational outcomes with the same class, outcomes obtained in control groups, or outcomes commonly obtained by similar classes.

8.2 The criterion-referenced measurement and norm-referenced measurement

In this study, students' scores from the achievement test, the conceptual status test, and the students' satisfaction questionnaire are interpreted based on a set criteria. The difference between norm- and criterion- referenced measurement, therefore, should be clearly identified. Mehrens; & Lehmann (1984: 18) described the distinction between norm- and criterion- referenced test scores:

> "If we interpret a score of an individual by comparing that score with those of other individuals (called a norm group) this would be norm-referencing. If we interpret a person's performance by comparing it with some specified behavioral domain or criterion of proficiency, this would be criterion referencing"

Several of differences between criterion-referenced and norm-referenced measures are briefly summarized by Payne (1974: 293) in Table 5. The differences are in most cases matters of degree rather than kind.

Sax (1974: 254) stated that criterion-referenced measures compare the students not in relation to others but in relation to the level of performance they will be expected to achieve in a carefully defined domain of behaviors.

Popham (1993: 134) also pointed out the difference between norm-referenced tests and criterion-referenced tests in terms of how test scores would be interpreted. The interpretive framework for norm-reference tests is provided by the norm group's performance while criterion-referenced test are used to ascertain an individual's status with respect to a defined behavioral domain. Popham (1993: 134) emphasized the importance of a sufficiently clear description of the behavioral domain being assessed because the examinees' test scores would be referenced to that domain of behaviors in criterion-referenced measurement.

TABLE 5 THE DIFFERRENCES BETWEEN CRITERION-REFERENCED AND NORM-REFERENCED MEASUREMENT

Dimension	**Criterion-Referenced Measures**	**Norm-Referenced Measures**
1. Intent	Information on degree to which absolute external performance standards have been met Description of maximum performance by individuals groups, and treatment	Information for relative internal comparisons Comparisons of individuals, particularly when high degree of selectivity is required
2. Directness of Measurement	Great emphasis	Lesser emphasis
3. Variability among scores	Relative low	Relative high
4. Difficulty of items	Items tend to be easy, but with some range	Item difficulty localized around 50 percent
5. Item type	Great variety, but less reliance on selection-type items	Variety, but emphasis on selection-type items
6. Discriminating ability of item	Not emphasized	Greatly emphasized
7. Method of establishing validity	Reliance on content validity	Emphasis on criterion-related validity
8. Emphasis on reliability	Focus on reliability of domain sampling; therefore internal consistency of some interest	Greater concern with parallel form and test-retest estimates of performance stability
9. Influence of guessing	Can be of consequence	Generally not a problem
10. Importance of which items are missed	High	Emphasis on number of missed items
11. Necessity for maintaining security of test items	Relatively low	Relatively high
12. Area of education best served	Instruction	Guidance Selection Grading

Source: Payne, David A. (1974: 294). *The Assessment of Learning: Cognitive and Affective.* Canada: D.C. Heath and Company.

In conclusion, criterion-reference measurement considers how students' test scores would be interpreted. Students' performances are compared with the specific criterion they are expected to achieve. In this study, students' achievement scores and students' conceptual status scores are compared with the cutting score of each test.

8.3 Cutting score

Cutting score is used in this study as the standard point for criterion-evaluation. The students who have test scores at this point or more than this point are classified as a master of learning objectives. Therefore, the assumption is that are the learning units will be qualified as an effective one if the student's mean scores significantly more than the cutting score. In this study, the cutting score is used as the criterion-reference measurement for students' achievement scores and students' conceptual status scores. The process of establishing cutting score follows Berk (1976: 4) which has details as follows:

8.3.1 Defining uninstructed and instructed groups of students. The students who had studied with the learning units in the field trial study were defined as the instructed group, while the students who had not studied with the instructional unit yet in the main study were defined as the uninstructed group.

8.3.2 Collecting data of students' scores from student's post-test score in the pilot study as the instructed group scores, and students' pre- test scores in the main study as the uninstructed group scores.

8.3.3 Constructing the distribution graph. The instructed and uninstructed group score distributions are the primary determinants of the tests whether or not they can classify students as true masters and true nonmasters of an objective. If the distribution is completely overlapped, it indicates that the test cannot classify students. If there is no overlap, it indicates that the tests can classify students with perfect accuracy. The point at which the distributions intersect is the optimal cutting score (figure 11). The possible outcomes from these steps are the categories of students as follows:

- True Masters (TM): The instructed students who have scores at or above the cutting score
- False Master (FM): The uninstructed students who have scores at or above the cutting score (Type II misclassification)

- True Nonmasters (TN): The uninstructed students who have scores below the cutting score

- False Nonmasters (FN): The instructed student who have scores below the cutting score(Type I misclassification)

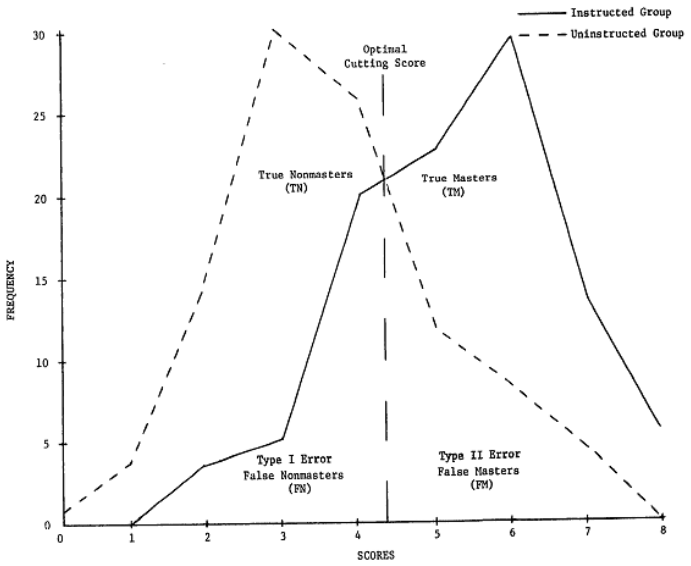


FIGURE 11 SCORE DISTRIBUTION GRAPH

Source: Berk, A. R. (1976, Winter). Determination of optional cutting scores in criterion-referenced measurement. Journal of Experimental Education, 45(2) : 4-9.

8.3.4 Calculating the probability of every outcome, the probability of correct decisions, the probability of incorrect decisions and validity coefficient for each score. The following formulas in Table 6 can be used in the calculation.

8.3.5 Determining the cutting score from the score which maximizes the probability of correct decisions, and minimizes the probability of incorrect decisions. The cutting score can also be the score which maximizes the validity coefficient.

TABLE 6 FORMULAS FOR THE PROBABILITY CALCULATION

	Formulas for the calculation
The probability of every outcomes	p(TM) = TM/(M+N) p(FM) = FM/(M+N) p(TN) = TN/(M+N) p(FN) = FN/(M+N)
The probability of mastery	BR= p(FN)+ p(TM)
The probability of predicted master in the population	SR= p(TM) +p(FM)
The probability of correct decisions	The probability of correct decisions = p(TM) + p(TN)
The probability of incorrect decisions	The probability of incorrect decisions = p (FN) + p(FM)
The validity coefficient	$\Phi_{vc} = \frac{p(TM) - BR(SR)}{\sqrt{BR(1-BR)SR(1-SR)}}$

9. Conclusion

Many research literatures in the past indicate that alternative conceptions related to scientific knowledge have existed across ages and cultures. An alternative conception on plant biology was one of the subjects having been studied, and the results reveal that students usually constructed ideas about plants from everyday experiences: for example, plants gain their organic material (food) from environments while photosynthesis is perceived as the respiration of plants.

The conceptual change model, one of the well known educational theories, explains the interaction between students' prior knowledge and new scientific knowledge to be learned. Four conditions have been suggested to change students' alternative conceptions to the scientific one. The first condition is that the new scientific conception to be learned needs to be intelligible. It means that the students can make sense of the new conception, and can represent this conception in different form. Second, the new scientific conception needs to be plausible which indicates that students believe them. The students must have evidence that support their own thinking and believing. Third, the scientific

conception needs to be fruitful. In other words, the students perceive the scientific conception that it is useful for them. The last condition is that the students' alternative conceptions need to be dissatisfied because these conceptions cannot help the students solve problem or understand new events. The alternative conception is not plausible, or fruitful, in other words, the status of alternative conception is lowed. The more conditions are met, the more status of conception is raised. One of the difficulties considering how to make new conception intelligible is the level of the scientific concept. The students may have difficulties understanding the concept at the level of micro or symbolic.

The analogy technique can help teachers make scientific conceptions more intelligible or plausible to the students because the analogy connects what the students are familiar with to the abstract conception. Analogies can be presented in various forms including text, picture, and animation. Using instructional media can bring the various forms of analogy to the classroom environment, and facilitate learning.

Several research evidences indicated that an analogy could enhance learning, raise the status of the students' conception, increase knowledge retention, and motivate students (Duit. 1991: 666; Glynn; & Takahashi. 1995: 1129; Venville; & Treagust. 1996: 295-320; Tsai. 1999: 89). The expected learning outcomes after the students learn from the analogy technique, therefore, include students' achievement, students' conceptual status on plant biology, students' knowledge retention, and students' satisfaction. Educational assessment is applied to collect data from the students and interpret that data to be meaningful. Criterion-referenced measurement was used to be the framework for analyzing data, and the cutting score for each learning outcome will be established.

CHAPTER 3

METHODOLOGY

The purpose of this study was to develop the learning units on plant biology incorporated with an analogy technique for lower secondary school students, and to study learning outcomes of the students who studied through the learning units including learning achievement, conceptual status, learning retention, and satisfaction toward the instruction. The following steps were used as research methodology in this study

1. Research participants
2. Material of the study
3. Research method
4. Roles of individuals
5. Statistics and Data Analysis

1. Research participants

The participants in each phase of study were as follows:

1. Participants during the development of material for collecting data:

The participants during the development of materials for collecting data were 151 of lower secondary school students (grade 7) from Ratwinit Matthayom School and 48 of lower secondary school students (grade 7) from Rattanakosinsomposh Ladgrabang School.

2. Participants during field trial study:

The participants during field trial study were one science teacher and 48 of lower secondary school students (grade 7) from Rattanakosinsomposh Ladgrabang School.

3. Participants during main study:

The participants during main study were one science teacher and 48 of lower secondary school students (grade 7) from Suratpittaya School.

2. Materials of the study

Materials of this study were classified into two main parts described as follows:

2.1 The learning units

The learning unit materials which were developed based on the theoretical framework in this study included a teaching guide and a learning guide. The teaching guide is composed of 1) the curriculum alignment, 2) the guidelines for using analogies in classrooms, 3) the lesson plans. The learning activities in the lesson plans were developed based on the integration of the learning cycle model and the analogy technique. The learning guide is composed of a lab manual, students' texts, worksheets and assessments. The instructional media included the analogical models, and PowerPoint presentations.

2.2 Research instruments for data collection

2.2.1 The achievement test on plant biology

2.2.2 The conceptual status test on plant biology

2.2.3 The students' satisfaction questionnaire

3. Research methodology

The research methodology in this study consisted of two main stages including preparatory and confirmatory stages. The process of developing and implementing the learning units were proceed as follows:

3.1 Preparatory stage

3.1.1 Determining learning objectives

3.1.2 Building explicit steps of students' knowledge development

3.1.3 Selecting analogies used in the learning units and designing instructional materials

3.1.4 Evaluating instructional materials

3.1.5 Developing materials for collecting data

3.1.6 Preparing the participating teacher

3.1.7 Conducting field trial study

3.2 Confirmatory stage

3.2.1 Conducting main study

3.2.2 Analyzing data and evaluating the learning units

Both stages are summarized and presented as the methodology framework shown in figure 12.

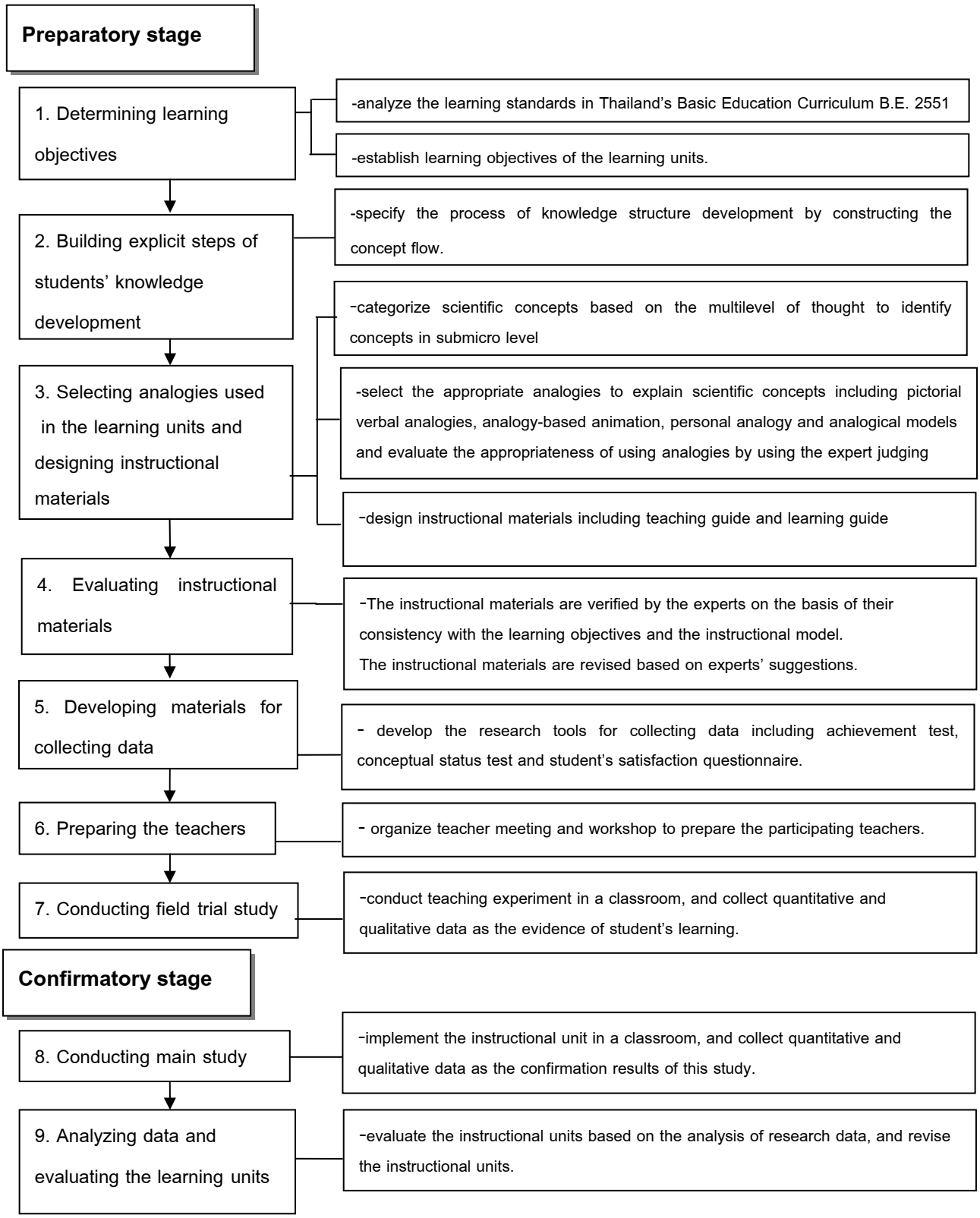


FIGURE 12 FRAMEWORK FOR RESEARCH METHODOLOGY

3.1 Preparatory stage

3.1.1 Determining learning objectives

The first phase began with the analysis of the learning standards in Thailand's Basic Education Curriculum B.E. 2551, and then the learning objectives of the learning units were established.

Step 1: The Analysis of the Learning Standards

The purpose of this analysis was to identify the scientific content concerning the plant biology subject in Thailand's Basic Education Curriculum B.E. 2551. The scientific content was selected as shown in Table 7

TABLE 7 THE LEARNING UNIT CONTENTS

Topics	Contents	Periods	Weeks
Plant cell and organelles	The variety of cell shape and size of living things	1	1
	Cell structure and the difference between plant cells and animal cells	1	1
	The function of certain cell organelles	1	1
Plant transportation	The structures and functions of root, stem and leaf	1	2
	Transportation through xylem and phloem	1	2
	Diffusion and Osmosis process	3	2-3
	Transpiration process and gas exchange in plants	2	3-4
Photosynthesis	The difference between plants and animals about how they obtain food.	1	4
	Photosynthesis process	1	4
	The effect of certain factors on the rate of photosynthesis	1	5
	The products of photosynthesis and their transformation	1	5
	The importance of photosynthesis for other living things and the environment	1	5
Plant reproduction	The structure of flowers	1	6
	Sexual reproduction and asexual reproduction	1	6
Plant response	Response to light, gravity and touch	1	6
	Total	18	6

Step 2: The Establishing of Learning Objectives

From the results of the previous step, the learning objectives of the learning units were establish considering the content and the appropriate cognitive skills based on Bloom's taxonomy. The details of content and cognitive skills are described in Table 8.

3.1.2 Building Explicit Steps of Students' Knowledge development

This step was to build explicit steps of students' learning that describes the processes involved in the construction of knowledge. In order to achieve this objective, the concept flow (firstly originated by The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology in Thailand) was constructed to represent the expected process of learning scientific concepts. This concept flow is also described in Table 8 and it was used to design learning activities and instructional media in the next phase.

TABLE 8 THE OUTLINE OF LEARNING OBJECTIVES AND CONCEPT FLOW

Content	Learning objectives	Concept flow
1. The variety of cell shape and size of living things	1. Explain the variety of cell shape and size of living things considering the function of each type of cell.	There are different types of cells which have different shapes and sizes depending on specific functions of those kinds of cells.
2. Cell structure and function and the difference between plant and animal cells	2. Identify cell structure from diagram. 3. Compare the difference between the structure of plant and animal cells. 4. Describe the function of certain cell components including cell wall, cell membrane, cytoplasm, nucleus, chloroplast and vacuole. 5. Explain why animal cells cannot make their own food.	Cell structures compose of three main parts which are cell membrane, cytoplasm, and nucleus. ↓ Cell membrane is a layer that surrounds the cell. It controls the transportation of substance trough cells. ↓ Cytoplasm is a clear, jellylike material between the cell membrane and the nucleus. There are several organelles being in cytoplasm. ↓ Nucleus is the cell part that controls most of the cell's activities. It contains genetic material that determines what traits living things will have. ↓

TABLE 8 (continued)

Contents	Learning objectives	Concept flow
	6. Apply the concepts of cell structure to identify unknown cells.	The structures of plant cell differ from those of animal cell in that plant cells have cell wall, chloroplast and central vacuole which do not appear in animal cells. ↓ Cell wall is a thick outer covering outside the cell membrane. It protects and support cell shape. The cells of plants, algae, fungi, and some bacteria have cell walls. Animal cells do not have cell walls. ↓ Chloroplast is an organelle that contains the green pigment, chlorophyll. Chloroplast is the place where photosynthesis occurs. ↓ Central vacuole is a liquid-filled space that stores food, water, and minerals. In most plant cells, the central vacuole takes up a large amount of space within the cell. The fluid inside the vacuole helps to support the plant. An animal cell does not have central vacuole but it may have small vacuoles storing substances. Some single-celled organisms have vacuoles controlling water balance in their cells.
3. The structure and functions of root and stem	7. Recognize the structure of root and stem. 8. Explain why the structure of root is proper for water uptake.	A root is the plant part that takes in water and minerals for plants. ↓ Water with minerals enter the root through the root hairs which increase the surface area of the root and so increase the amount of water that can be absorb. ↓

TABLE 8 (continued)

Contents	Learning objectives	Concept flow
	9. Identify the structure inside stem that transports water and food.	A stem is a plant part that supports the plant and transports materials. ↓ Water and dissolved minerals taken in by the roots is transported up through the stem. ↓ Food in the form of sugars that are made in leaves is also transported through stems.
4. The structure and functions of leaf	10. Recognize main parts of a leaf including a stalk, a blade, a midrib, and veins. 11. Explain why plant leaf is usually green. 12. Identify structures and functions of tissues in plant leaf including epidermis, mesophyll, xylem and phloem. 13. Describe functions of veins.	Leaves are the main plant parts that make food. They are usually green and are made up of a stalk, a blade, a midrib, and veins. ↓ A leaf composes of different kinds of tissues including epidermis, mesophyll, xylem and phloem. ↓ Veins carry water and nutrients from the plant's roots to the leaves. The veins also deliver organic molecules produced in the leaves to other parts of the plant.
5. Transportation through xylem and phloem	14.Describe functions of xylem and Phloem.	Water and mineral moves from root to other parts of plants through xylems, and sugar produced by leaves move to stem and root through phloem. The arrangement of xylem and phloem in dicot plants is different from the arrangement in monocot plants.
6. Diffusion and Osmosis process	15. Explain the movement of particles during diffusion process.	Diffusion is the random movement of particles from a more concentrated to a less concentrated area. ↓

TABLE 8 (continued)

Contents	Learning objectives	Concept flow
	16. Explain the movement of water molecules during osmosis process. 17. Explain why water can move to root cell with osmosis process. 18. Apply the concepts of diffusion and osmosis to solve problems.	Osmosis is the movement of water molecule across the semi-permeable membrane from the lower concentrated solution to the higher concentrate solution. ↓ Water moves to root cells because the solution in cell is more concentrate than the soil solution; therefore, the water osmosis from the soil to root cells.
7.Gas exchange and transpiration process.	19. Identify stomata and guard cells from diagram. 20. Explain the function of guard cells in term of changing the size of stomata. 21. Explain rate of transpiration that is influent by humidity, temperature, water availability, and light intensity. 22. Describe how carbon dioxide enters to a leaf and oxygen gas is released during photosynthesis. 23. Apply the concepts of transpiration to solve problems	A stoma is a small pore in the epidermis of a leaf. Around the stoma are two bean-shaped cells called guard cells. ↓ The guard cells control the opening of a stoma to allow gas exchange between a leaf and the atmosphere by changing shape, widening or narrowing the gap between the two cells. ↓ Transpiration is the process of water evaporation and diffusion through the stomata of leaves. ↓ Rate of transpiration is influent by humidity, temperature, water availability, and light intensity because these factors affect the evaporation and diffusion of water vapor and affect changing the size of a stoma. ↓ Carbon dioxide enters to a leaf and oxygen gas is released during photosynthesis through stomata ↓

TABLE 8 (continued)

Contents	Learning objectives	Concept flow
		Stomata are usually opened during the day to take in carbon dioxide for photosynthesis and closed at night. Stomata are also closed during the day to prevent losing water too fast.
8. The difference between plants and animals about how they obtain food.	24. Compare the difference between plants and animals about how they obtain food.	How plants obtains their food differs from animals. Plants make their own food internally while animals gain material which is source of energy, and building material from eating other living things.
9.Photosynthesis process	25. Describe the process of photosynthesis which includes identifying raw material, energy source, products and the function of chlorophyll.	Photosynthesis occurs in chloroplast which has green pigment called chlorophyll. ↓ Photosynthesis is the process that plants use light energy capturing by chlorophyll to make sugar from carbon dioxide and water. Another product of photosynthesis is oxygen.
10.The effect of certain factors on the rate of photosynthesis	26. Explain why the amount of carbon dioxide affect the rate of photosynthesis 27. Explain why the intensity of light affect the rate of photosynthesis 28. Apply the concepts of essential factors of photosynthesis to predict phenomena.	When carbon dioxide increases, the rate of photosynthesis also increases until another factor is not available such as an enzyme. ↓ When light intensity increases, the rate of photosynthesis also increases until another factor is limited. If a plant receives too much light from the sun, leaf cells can be damaged.
11. Starch accumulation as the result of photosynthesis	29. Give examples of plant products that came from the transformation of sugar such as starch, protein, lipid etc.	Plants transform sugar to starch, protein, lipid etc. via chemical reactions. Some reactions include mineral from soil such as producing protein, chlorophyll, vitamin etc. ↓

TABLE 8 (continued)

Contents	Learning objectives	Concept flow
12. The important of photosynthesis for other living things and environment	30. Describe how photosynthesis is important for other living things and environment	Animals depend on plants for food as well as oxygen. Only green plants can change light energy from sun into chemical energy stored in food. Thus, only green plants can make energy- containing food that all living things need. ↓ Photosynthesis increase oxygen in atmosphere in which living things can use for respiration. ↓ Photosynthesis decreases carbon dioxide in atmosphere which is one of the green house gases causing global warming.
13. The structure of flower	31. Identify main parts of flower and the flower's reproductive organs including stamen and carpel.	In flowering plants, the structure specific to reproduction is the flower. Flower's main parts are sepals, petals, stamens and carpels. ↓ The flower's reproductive organs are the stamen which is the male organ and carpel which is the female organ. ↓ At the tip of each stamen is the anther, a sac in which pollen grains develop. The tip of the carpel, the stigma, is the receiving surface for pollen grains brought from other flowers by wind or animals. The base of carpel is the ovary producing ovules ↓

TABLE 8 (continued)

Contents	Learning objectives	Concept flow
14. Sexual reproduction and asexual reproduction	32.Describe the process of plant sexual reproduction including pollination and fertilization. 33.Describe how plants can reproduced without sexual reproduction. 34.Describe the method of plant tissue culture.	Sexual reproduction begins with pollination, the delivery of pollen to the stigma of a carpel by animals or wind. After pollination, the pollen grain germinates on the stigma. The pollen tube grows downward into the ovary and the sperm fertilizes the egg forming a seed. The ovary develops into a fruit. ↓ Asexual reproduction is the creation of offspring derived from a single parent without fertilization. Asexual reproduction in plants often involves fragmentation, the separation of the parts into whole plants. ↓ Plant tissue culture is biotechnology for vegetative reproduction. Small parts from single plants are cultured in a chemical medium. Using this method, a single plant can be cloned into thousands of copies that will continue to grow when transferred to soil.
15.Plant responses	35. Describe how plants response to light, gravity and touch. 36. Apply the concepts on plant responses to explain the scientific evidence from experiments	The growth of a shoot toward light is called phototropism. Phototropism is an adaptive response directing growing seedling and the shoots of mature plants toward the sunlight they need for photosynthesis ↓ A plant's growth response to gravity, gravitropism, make the roots grow downward into the soil, no matter how the seed lands or is planted in the soil ↓

TABLE 8 (continued)

Contents	Learning objectives	Concept flow
		Growth movement in response to touch is called thigmotropism. Most climbing plants have tendrils that respond by coiling and grasping when they touch rigid objects. Thigmotropism enables these plants to use other objects for support while growing towards sunlight.

3.1.3 Selecting analogies used in the learning units and designing instructional materials

The purpose of using analogies in this study was to make scientific concepts in the submicro level intelligible and plausible. Therefore, the objectives of this phase were to identify which concepts are in the submicro level and to select analogies that are appropriate for presenting those concepts. Then, the instructional materials were designed including a teaching guide, a learning guide, instructional media, and assessment tools.

Step 1: The Identification of submicro concepts

In this step, the scientific concepts in the submicro level were identified using the theoretical framework of the multilevel thought originated by Alex Johnstone (1993: 118). This theory indicates that scientific concepts have the level of abstractness which includes macro, submicro, and symbolic level (Figure 2). Scientific conception in macro level can be observed usually in classroom laboratory while the concepts in the submicro level cannot be directly observed such as cell process and the explanation of molecular phenomena in term of the movement of molecules. The symbolic level considers the way to represent chemical substances by formulae and their change by equations. The difficulty of learning biological concepts depends on how well students make connection between different levels of thought.

Many research suggested that students usually have difficult time relating the concepts in macro level with the explanation in the submicro level. From this

theoretical framework, the expected science concepts are categorized into groups based on their level of abstractness as shown in Table 9.

TABLE 9 THE LEVEL OF SCIENTIFIC CONCEPTS

The level of concepts	Contents
Macro	Plant cell -The structure of plant cells and animal cells
	Plant transportation - The structure and function of roots, stem and leaf - Transportation through xylem
	Photosynthesis - The scientific idea about food - Starch accumulation as the result of photosynthesis - The important of photosynthesis for other living things and the environment
	Plant reproduction - The structure of flower - Sexual reproduction and asexual reproduction
	Plant responses -Plant response to light, gravity, and touch
Submicro	Plant cell -The function of certain cell organelles
	Plant transportation -The movement of particles in the process of diffusion -The movement of water molecules in the process of osmosis
	Photosynthesis - Photosynthesis process - The effect of certain factors on the rate of photosynthesis
Symbolic	Photosynthesis - Chemical formula for the photosynthesis process

Step 2: The selection of appropriate analogies for presenting concepts in sub-micro level.

According to the previous step, the scientific concepts considering at the sub-micro level are abstract and cannot be observed such as the movement of particles

indiffusion and osmosis process, the functions of certain cell organelles, and the process of photosynthesis. Various modes of analogy presentations were selected considering the appropriate formats for the target concepts. All analogies in this study are enrich analogies which has an explicit explanation as to how the analogs are liked the targets in order to help students understand the abstract scientific concepts in the context of familiar ideas. After the analogies were selected, they had to be verified by the experts who are scientists and science educators in order that the analogies were qualified as the appropriate ones to use in a classroom. The summary of selected analogies and the scientific concepts are presented in Table 10. The result of analogies verification was presented later in chapter 4.

Step 3: Designing instructional materials

After the analogies were verified by the experts, they were used in the process of designing instructional materials including the teaching guide and the learning guide. Laboratory and learning activities were organized based on the learning cycle instructional sequences, and the analogies used in the term introduction phase of the learning cycle where the scientific concepts were introduced to the students.

3.1.4 Evaluating instructional materials

The purpose of this phase was to evaluate the instructional materials in terms of the pedagogical features. In other words, the instructional materials are verified on the basis of their appropriateness and the consistency with the learning objectives, the model of the student's learning, and the instructional model. In this phase, the teaching guide and the learning guide were examined by the experts including science educators and scientists. The instructional materials were revised as suggested by the experts.

TABLE 10 MODE OF REPRESENTATIONS OF ANALOGIES

analogs	targets	analogies	mode of analogy presentations				
			text	pictorial	animated	personal	model
1. Functions of the structures of a house	1. Functions of certain organelles						
- Concrete fence	-Cell wall	- Concrete fence of the house is liked cell wall in that it protects the house liked cell wall protects the cell.	√	√			
-House wall	-Cell membrane	- House wall covers area inside the house liked cell membrane covers area inside the cell. House wall has doors which allow people get inside or outside liked the cell membrane has channels.	√	√			
- Area inside the house	- Cytoplasm	- The area inside the house is liked cytoplasm in that it is the place where family activities happen liked there are cell activities happen in cytoplasm. The area inside the house also composes of many rooms which have different functions liked there are many kinds of organelles which have different functions in the cytoplasm.	√	√			

TABLE 10 (continued)

analogs	targets	analogies	mode of analogy presentations				
			text	pictorial	animated	personal	model
- House owner room	- Nucleus	-House owner room is the place the owner lives, and the owner is the one who control all activities in a house liked the nucleus in that it contains genetic materials that control all activities in cells.	√	√			
- Kitchen	- Chloroplast	-Kitchen is the place for cooking food like the chloroplast is the place for cooking food for plants in the process of photosynthesis	√	√			
-Store room	-Central vacuole	-Store room is the place for storing materials including food, instruments etc. liked the central vacuole stores food, water, organic matter and minerals.	√	√			
2. Cooking food	2.Photosynthesis	-Cooking need raw materials and energy source to produce food like photosynthesis that needs raw materials and an energy source to produce food for plants.	√	√			

TABLE 10 (continued)

analogs	targets	analogies	mode of analogy presentations				
			text	pictorial	animated	personal	model
-Ingredients	-Carbon dioxide and water	- Raw materials of cooking are ingredients while raw materials of photosynthesis are carbon dioxide and water.	√	√			
-Heat	-Light energy	- Energy source of cooking is heat while energy source of photosynthesis is light energy.	√	√			
- Food	- Sugar and oxygen	- The product of cooking is food while the products of photosynthesis are sugar and oxygen.	√	√			
-Increasing an ingredient	-Increasing an amount of carbon dioxide	- When one of the ingredients in cooking is increased the amount of food produced is also increased until another factor is not enough like photosynthesis when carbon dioxide increases, the rate of photosynthesis also increase until another factor is not enough.	√	√			

TABLE10 (continued)

analogs	targets	analogies	mode of analogy presentations				
			text	pictorial	animated	personal	model
-Increasing heat	-Increasing light intensity	- The food will be made quickly if we increase heat energy. However, if heat energy increases dramatically, the pot will be burned. This is like photosynthesis when light intensity increases, the rate of photosynthesis also increases. However, if a plant receives too much light from the sun, leaf cells can be damaged.	√	√			
3. The movement of blindfolds people in a room	3. The movement of particles in diffusion process	- Blindfolds people in a room move randomly from the area where there are more people to the area where there are fewer people like the movement of particles which is random movement from the higher concentration area to the lower concentration area.	√		√	√	

TABLE 10 (continued)

analogs	targets	analogies	mode of analogy presentations				
			text	pictorial	animated	personal	model
4. The movement of foam particles inside the diffusion model	4. The movement of gas molecules during diffusion process		√				√
-The movement of foam particle in a glass box.	-The movement of gas molecules in a container.	Foam particles in the diffusion model move randomly around the glass box. There are the collisions between foam particles and other particles, and the collisions between foam particles and the box wall. This is like the movement of gas molecules which are random around the space. There are the collisions between gas molecules and other molecules, and the collisions between gas molecules and the wall of container.	√				√

TABLE 10 (continued)

analogs	targets	analogies	mode of analogy presentations				
			text	pictorial	animated	personal	model
-The movement of foam particles from the area where there are more particles to the area where are fewer particles.	-The movement of gas molecules during diffusion process.	The result of the random movement causes foam particles move from the area where there are more particles to the area where are fewer particles. This is liked the movement of gas molecules during diffusion process which are randomly spread from the area where there are more molecules to the area where are fewer molecules.	√				√
-The movement of foam particles during the time when the average number of particle between two area are about the same	-The movement of gas molecules during the equilibrium of diffusion process.	Foam particles still move around between two areas during the time when the average number of particle between two areas are about the same. This is like gas molecules movement during the equilibrium of diffusion process. Gas molecules still move around between two areas when the concentration of gas molecules between two areas is equal.	√				√

TABLE 10 (continued)

analogs	targets	analogies	mode of analogy presentations				
			text	pictorial	animated	personal	model
5. How to make the ratio of beads equal between two side of osmosis model	-Osmosis process						
-The ratio of beads	- Concentration of solution	The different ratio of big beads between two sides of the model is like the different concentration of solute in solution while The different ratio of small beads between two sides of the model is like the different concentration of water in solution.	√				√
- Plastic plate with many holes	-Semi-permeable membrane	Plastic plate with many holes is liked semi-permeable membrane because it allows only small beads to pass through like Semi-permeable membrane allows only water molecules to pass through.	√				√

TABLE 10 (continued)

analogs	targets	analogies	mode of analogy presentations				
			text	pictorial	animated	personal	model
-The movement of small beads through plastic plate to make the ratio of beads equal between two side of osmosis model.	-The movement of water molecule through semi-permeable until the concentration of solution between two areas are the same.	To make the ratio of beads equal between two sides of osmosis model, the small beads have to be moved through the plastic plate from where there is higher ratio of small beads to where there is lower ratio of small beads. This is like osmosis in that the water molecules move through semi-permeable from where there is more concentration of water to where there is a less concentration of water.	√				√

3.1.5 Developing materials for collecting data

The research instruments were developed and piloted in this phase including the achievement test, the conceptual status test and the student's satisfaction questionnaire.

3.1.5.1 The achievement Test

The achievement test was developed to assess whether the students achieved the expected goals of the learning units. Therefore, the learning objectives from phase one were used as the objectives to design this test. The following steps describe the process of constructing the test.

Step 1: Constructing the table of specification which included the content knowledge and the cognitive skills based on the learning objectives.

Step 2: Constructing the multiple choice test following the table of specification. In order to verify the appropriateness of this test, all of the research advisors examined the test for the consistency between the tests and the learning objectives, and for the correction of the answers.

Step 3: Examining the validity. In this study, the method used for gathering content-related evidence of validity was the Item Objective Congruence (IOC). Each of experts evaluated all of items and assigns a +1 if there was a strong match between the item and an objective, a 0 if the expert was uncertain, and a -1 if the item did not match the objective. The results of this rating were used to calculate the index value (Osterlind. 1998: 263). After all items had been examined by three experts, 52 items that gained the index value more than 0.5 were selected to be used for the next steps.

Step 4: Testing the quality of the test items. One hundred fifty one middle school students who had studied plant science from Ratwinit Matthayom School took the test. The students' scores from this examination were analyzed to gain item difficulty index (*p-value*) and item discrimination (r) for each item (Osterlind. 1998: 266). After the test had been tried out, 40 items were selected. The p value ranked from 0.24 to 0.78, and the r value ranked from 0.20 to 0.65. More details about item difficulty index and item discrimination were presented in appendix B.

Step 5: Examining the reliability of test scores. The test scores from the selected test items were examine the reliability using Cronbach's coefficient alpha (α) (Gall; Borg; & Gall. 1996: 257). The reliability of test scores was 0.76.

3.1.5.2 The conceptual status test

The conceptual status test consisted of four items in written open-ended format which allowed the students express their own ideas in writing essays. The questions were constructed according to the main concepts presented by analogies including plant cell structures and functions, photosynthesis, diffusion and osmosis in plant transportation. This test was the tool for evaluating student's conceptual status considering plant science which includes the intelligibility, plausibility, and fruitfulness of the scientific conceptions. The processes of test constructing were as follows:

Step 1: Reviewing related literature concerning the status of conceptions to construct the operational definitions which consisted of the observable response, actions, tasks, or behaviors as evidence of a construct. Then, the indicators were determined for evaluating the students' status of conceptions as seen in the Table 11.

Step 2: Determining tasks that can stimulate or reflect expected indicators. Test items and scoring rubrics were developed. Rubric was adopted to be scoring scale in order to determine whether or not the scientific conception was intelligible, plausible or fruitful to the students. The test items were examined by the research advisors to verify the appropriateness of the test in terms of the consistency between test items and the scoring rubrics.

Step 3: Examining content validity of the test. The status of the conception essay test was examined by the experts in terms of the Item Objective Congruence (IOC) as the same method as constructing the achievement test. After all items had been examined by three experts, 3 items gained the index value more than 0.5 while one item gain IOC index = 0.33. Therefore, this item was revised considering the expert's comment.

Step 4: Testing the quality of the test items. The test was tried out with 47 middle school students who had participated in field trial study from Rattanakosinsomposh Ladgrabang School. The students' scores from this examination were analyzed to gain item difficulty index (*p-value*) and item discrimination (r) for each item (Osterlind. 1998: 266). After the test had been tried out, item difficulty index ranked from 0.29 to 0.71, and item discrimination ranked from 0.29 to 0.75. More details about item difficulty index and item discrimination were presented in appendix B.

Step 5: Examining the reliability of test scores. Forty seven middle school students who had participated in field trial study from Rattanakosinsomposh Ladgrabang School took the test, and the students' scores from this examination were analyzed using Cronbach's coefficient alpha (α) (Gall; Borg; & Gall. 1996: 257). The reliability of test scores was 0.79.

TABLE 11 THE OPERATIONAL DEFINITIONS AND INDICATORS FOR DETERMINING CONCEPTUAL STATUS

The status of conception	**Operational definitions**	**Indicators**
Intelligibility	The scientific conception is intelligible to a student when he or she knows what the conception means and can represents this conception in different way.	-Use a diagram or picture to represent the conception. - Use an analogy or metaphor to represent the conception. - Use a real world example to represent the conception. - Use linguistic or symbolic representation to represent the conception
Plausibility	The scientific conception is plausible to a student when he or she believes that it is true and really happens in nature.	- give the reason that indicates the consistency between scientific conceptions and past experience. - give the reason that indicates the consistency between scientific conceptions and other conceptions - give the reason that indicates the consistency between scientific conceptions and laboratory data - give the reason that includes the causal explanation
Fruitfulness	The scientific conception is fruitful to a student when it achieves something of value for him/her.	- express the applicability of the conception - give the statement that includes something the conception might do in the future - give the statement that includes two competing conceptions explicitly compared

3.1.5.3 The student's satisfaction questionnaire

The student's satisfaction questionnaire was used in this study to measure how well the learning activities, instructional media and assessment are favorable to the students. The questionnaire composted of three aspects of satisfaction including learning activities, instructional media and assessments. There are 34 statements in the questionnaire which include 22 statements representing learning activity, 6 statements representing instructional media, and 5 statements representing assessment. The following process describes the development of this questionnaire.

Step 1: Reviewing related literature concerning the student's satisfaction toward instruction to specify the features of instruction.

Step 2: Writing the statements that match the features of instruction. Then, a rating scale questionnaire was constructed. It consisted of five levels of agreement with the statements. The scores given to each level were as follow;

- Strongly satisfy the score = 5
- Satisfy the score = 4
- Uncertain the score = 3
- Dissatisfy the score = 2
- Strongly dissatisfy the score = 1

The mean score of student's satisfaction was evaluated comparing the criteria score (Tanaprayothsak. 2005: 58). The five category scores were as follows:

- The mean score 4.51 – 5.00 interpreted as the highest level of satisfaction.
- The mean score 3.51 – 4.50 interpreted as a high level of satisfaction.
- The mean score 2.51 – 3.50 interpreted as a medium level of satisfaction.
- The mean score 1.51 – 2.50 interpreted as a low level of satisfaction
- The mean score 1.00 – 1.50 interpreted as the lowest level of satisfaction

Step 3: Examining the content validity of student's satisfaction questionnaire. The questionnaire was examined for the validity by the experts in term of the Item Objective Congruent (IOC) as the same method as constructing the achievement test. After consulting with the experts who are specialized in educational measurement and evaluation, the statements regarding the assessment aspects of the instruction were revised to be more accurate.

Step 4: Examining the reliability of test scores. The questionnaire was tried out with 47 middle school students who had participated in field trial study from Rattanakosinsomposh Ladgrabang School, and the students' scores from this examination were analyzed using Cronbach's coefficient alpha (α) (Gall; Borg; & Gall. 1996: 257). The reliability of test scores was .92.

3.1.6 Prepare the participating teachers

The purpose of this phase was to provide the participating teachers an overview of the instructional materials and supporting educational theory. An informal meeting was organized in order to demonstrate how the instructional material are used in the teaching sequences.

3.1.7 Conducting field trial study

In this step, the learning units were used in one classroom of lower secondary school students from Rattanakosinsomposh Ladgrabang School, and student's achievement scores and the student's conceptual status scores were collected as post-test data. In addition, after learning with the learning unit, the student's satisfaction questionnaire was used to survey the satisfaction towards the instruction. The results of the study in this step were used to improve quality of the learning unit and to set the cutting score for evaluating the learning units in the last phase.

3.2 Confirmatory stage

3.2.1 Conducting main study

The instructional unit was implemented in one classroom of lower secondary school students from Suratpittaya School. Data collection included pre-test and post-test of student's achievement scores and the student's conceptual status scores. The student's satisfaction towards the instruction was collected after the implementation. After two weeks of the main study, the students took the achievement test again as learning retention test. Classroom observations and teacher interviews were documented by the researcher in order to gather qualitative data. All of these results were analyzed to test the research hypotheses. The procedure and research tools in this step are summarized and presented in Figure 13.

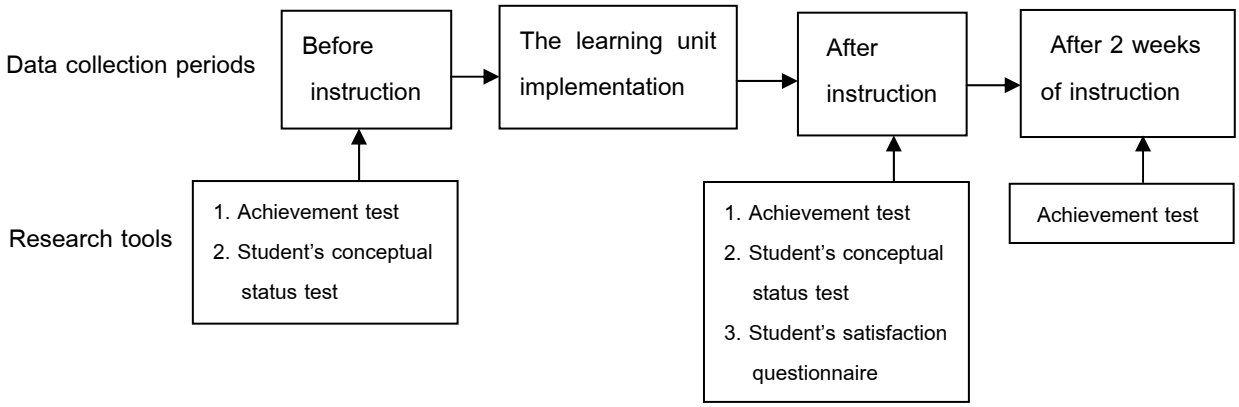


FIGURE 13 RESEARCH TOOLS USED IN EACH PERIOD OF STUDY

3.2.2 Analyzing data and evaluating the learning units

The objective of this phase was to test the research hypotheses. To achieve this purpose, all of research data was analyzed. These data included pre-test and post-test scores from the achievement test and the student's conceptual status test, the student's satisfaction scores, and the student's score from the knowledge retention test. The data from the above instruments were analyzed using the following methods.

Step1: Determining the cutting score based on Berk (see chapter 2)

Step2: Analyzing students' achievement scores. Descriptive statistics used in this study were mean and standard derivations. To determine the significant difference between students' achievement scores before and after the instructional unit implementation the statistics used was the t-test for paired samples. To determine the significant difference between students' achievement scores after the instructional unit implementation and the cutting score of the student's achievement, the statistics used was the *t*-test for one sample statistics scores.

Step3: Analyzing students' conceptual status scores. Descriptive statistics used were mean and standard derivation. To determine the significant difference between students' conceptual status scores before and after the learning units implementation, the statistics used was the *t*-test for paired samples. To determine the significant difference between students' conceptual status scores after the learning unit implementation and the cutting score of the students' conceptual status scores, the statistics used was the *t*-test for one sample statistics scores.

Step4: Analyzing students' satisfaction scores. Descriptive statistics used were mean and standard derivations. To determine the significant difference between students' satisfaction scores after the learning unit implementation and the criteria score setting, the statistics used in this study was the *t*-test for one sample statistics scores.

Step5: Determining the significant correlation between students' achievement scores after two weeks of the learning units implementation (retention scores) and the conceptual status scores. The statistics used in this study is the Pearson product moment correlation.

4. Roles of individuals

People who involve in this study were as follows:

4.1 The researcher

The researcher developed the learning units on plant biology based on the integration of the analogy technique and the learning cycle. The learning units included lesson plans, student's guidebook, instructional media and assessment tools. In field trial study, the researcher and the participating teacher collaborated on classroom teaching to adjust the learning activities that should be appropriate for the students. In main study, the researcher observed classroom activities to collect qualitative data for the final evaluation of the learning units.

4.2 The secondary school science teachers

Two secondary school science teachers collaborated with the researcher for this study. One teacher participated in the field trial study and the other in the main study. They used the learning units to teach plant biology in their classes, and give feedback to the researcher to improve the learning units.

4.3 The secondary school science students

The students from three schools participated in this study. Four classrooms were involved during the development of materials for collecting data. Student's achievement test was tried out with three classrooms of students from Ratwinit Matthayom School. The student conceptual status test and student's satisfaction questionnaire were tried out with one classroom of students from Rattanakosinsomposh Ladgrabang School which was also involved in the field trial study. One classroom of students from Suratpittaya School participated in the main study. The results of the students' learning outcomes in the main study were analyzed to test the research hypotheses.

5. Statistics and Data Analysis

The statistics used in this study were as follows:

5.1 Statistics for judging the quality of test items

Item Difficulty and Discrimination index for item on the achievement tests were calculated using these formulas (Kerlinger; & Lee. 2000: 660-661):

$$\text{Item Difficulty Index} = \frac{\textit{number of people answering item correctly}}{\textit{number of people answering taking test}}$$

$$\text{Discrimination index for item} = \frac{P_T - P_B}{\text{\# of people in Top group}}$$

where P_T is the number of people in the top group that got the item correct

P_B is the number of people in the bottom group that got the item correct

5.2 Method for evaluating validity and reliability

5.2.1 Validity of test items

The Item Objective Congruence (IOC) was used in this study to determine the validity of test items in all research tools. This method originally developed by Rovinelli and Hambleton to analyze and interpret item evaluation data from the experts. The formula for this method is as follows (Taweerat. 1997: 117):

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

where IOC is the index value

$\sum R$ is the summation of experts' opinion marks

N is the number of experts

5.2.2 Reliability of test scores

Cronbach's coefficient alpha was used to estimate reliability of scores for the achievement test, the conceptual status test and the student' satisfaction questionaire. The formula for this method is as follows (Kerlinger; & Lee. 2000: 656):

$$\alpha = \frac{k}{k-1}\left\{1 - \frac{\sum V_i}{V_t}\right\}$$

where α is reliability of the test scores

k is the number of items on the test

V_t is the variance of the total scores

V_i is the variance of item

5.3 Inferential statistics

5.3.1 *t*-test for one sample

One sample t-test statistic was used to compare the student's mean score and the criterion score whether or not there was a significant difference between them. In other word, this method examined whether the student's mean score was significantly higher than the criterion score. The mean scores from the students' achievement test and the students' conceptual status test were compared with the cutting score of each test. The mean score from the student's satisfaction questionnaire was compared with the setting criterion score. The formula of one sample t-test statistics is as follows (Aron; & Aron. 2003: 307):

$$t = \frac{M - \mu}{S_M}$$

where t is t score

M is mean score of sample

μ is mean score of population

S_M is the standard deviation of mean

5.3.2 *t*-test for paired sample

One sample *t*-test statistic was used to compare the student's mean score before and after the instruction to see whether there was a significant difference between them. In other words, this method examined whether the student's mean score after the instruction was significantly different from the score before the instruction. The formula of *t*-test for paired sample looks similar to the formula of *t* test for one sample but certain symbols have different meaning as follows:

$$t = \frac{M - \mu}{S_M}$$

where t is *t* score

M is mean difference score

μ is mean score of population and this score is assumed to be 0

S_M is the standard deviation of mean

5.3.3 The Pearson product moment correlation

Correlation Coefficient using in this study was the Pearson product moment correlation. This statistics method was used for examining the relationship between student's achievement score after two weeks of the instruction and student's conceptual status scores. The formula of the Pearson product moment correlation is as follows (Chatterji. 2003: 331):

$$r = \frac{\Sigma XY - \frac{(\Sigma X)(\Sigma Y)}{N}}{\sqrt{\left[\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{N}\right]\left[\Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{N}\right]}}$$

where r is the product moment correlation

X and Y are variables to be examined relationship

N is the number of individuals measured

CHAPTER 4
RESULTS OF THE STUDY

This chapter presents the results of the study which focused on developing and implementing plant biology learning units incorporated with the analogy technique for lower secondary school students. The research methodology consisted of two main stages including preparatory and confirmatory stages. In this chapter, data gathered from the preparatory stage are presented including the outcomes of developing the learning units, evaluating instructional materials, and conducting field trial study. This chapter also presents the results from the confirmatory stage study which includes the results of the student's achievement, conceptual status, learning retention, satisfaction toward the instruction, and results of classroom observations and the teacher's perspective on using analogies in the science classroom.

SECTION I THE PREPARATORY STAGE

The analogy technique is the teaching method that uses analogies as the tools for rendering scientific concepts more intelligible and plausible, specifically making abstract concepts more intelligible for the students. Various modes of analogy presentations were selected considering the appropriateness for the target concepts. All analogies in this study were enrich analogies which had an explicit explanation of how the analogs were liked the targets in order to help students understand the abstract scientific concepts in the context of familiar ideas. After the analogies had been selected, they were used in the process of developing the learning units. This session presents the outcome of developing the learning units, evaluating instructional materials, developing materials for collecting data, and conducting field trial study respectively.

1. The results of developing the learning units

1.1 The results of analogy verification.

The scientific concepts in sub-micro level are abstract and cannot be observed; examples are the movement of particles in diffusion and osmosis process, the functions of certain cell organelles, and the process of photosynthesis. There were five analogies selected to teach these concepts. The analogies included comparing the cell with house, comparing photosynthesis with cooking food, gas diffusion model, and an osmosis model. All of these were described in detail earlier in chapter 3 (p.70-77). After the analogies had been selected, they were verified by three experts who are scientists and science educators in order that the analogies were qualified as suitable ones to use in a classroom. Index of Congruence (IOC) was used to determine whether the analogies were suitable for teaching scientific concepts. The results are presented in Table 12.

TABLE 12 THE ANALOGY VERIFICATION BY THE EXPERTS

analogs	targets	analogies	IOC
1.a house	the function of each componentin a plant cell	The function of each component in the house is like the function of each a component in a plant cell.	1
2. cooking	photosynthesis	Cooking needs raw materials and energy to produce food. Photosynthesis also needs raw materials and energy to produce food for plants.	1
3. blindfolded children in the room	the movement of particles in the diffusion process	Random movement of children in the room is like random movement of particles in the diffusion process.	1
4. gas diffusion model	the movement of gas molecules in the diffusion process	The movement of foam particles in the model is like the movement of gas molecules in the diffusion process.	1
5. osmosis model	the movement of water molecules in the osmosis process	The movement of beads in the model is like the movement of water molecules in the osmosis process.	1

The Index of Congruence (IOC) indicated that all of selected analogies were suitable for using in the process of developing the learning units. In addition, there was a suggestion from one of the experts about the possibility to use student generated analogies for their own learning. This suggestion was taken into consideration for designing the learning activities.

1.2 The result of developing the learning activities incorporated with analogy technique

Laboratory and learning activities were organized based on the learning cycle instructional sequences, and the selected analogies were used in the term introduction phase of the learning cycle where the scientific concepts are introduced to the students. After the learning activities had been designed, the teaching guide was developed including the lesson plans, instructional media, assessment tools, and the teaching guide for using analogies in the learning cycle model. The brief content and learning activities are presented in Table 13.

TABLE 13 THE CONTENT AND LEARNING ACTIVITIES

content	learning activities incorporated with analogy technique		
	Exploration	Term Introduction	Concept Application
cell	-Students explore various cell micrographs. - Students use microscopes to explore plant cell and animal cell structure	-A teacher introduces the house analogy to explain functions of each component in plant cell. -Students make their own analogy.	-Students use their conceptions about the difference between plant cells and animal cells to identify the unknown cells.
plant structure and transportation in plant	-Students use microscopes to explore structure of roots, stems and leave and identify vascular tissue.	-A teacher introduces blindfolded children in the room analogy to explain random movement of particles	-Students use their conceptions about diffusion to explain how transpiration occurs in plant.

TABLE 13 (continued)

content	the learning cycle incorporated with analogy technique		
	Exploration	Term Introduction	Concept Application
	-A teacher demonstrates the diffusion and osmosis phenomena.	-A teacher introduces gas diffusion analogical model to explain gas diffusion. -A teacher introduces osmosis analogical model to explain osmosis process.	- Students use their conceptions about osmosis to explain plasmolysis process.
photosynthesis	-Students explore starch accumulation in different parts of plants, and differently manipulated environments.	-A teacher introduces The cooking analogy to explain the photosynthesis process.	-Students design an experiment to study some factors that affect the rate of photosynthesis.
plant reproduction	-Students explore the important parts of a flower. -Students explore plant tissue culture procedure.	-A teacher manages classroom discussion about sexual and asexual reproduction in plants.	-Students analyze academic articles about how people use the ideas about plant reproduction to improve agriculture.
plant response	-Students explore plant responses to light, gravity and touch.	-A teacher manages classroom discussion about plant responses.	-Students use their ideas to solve the problem concerning plant response.

1.3 The results of developing the teaching guide

The teaching guide is the collection of instructional materials which provide the guidelines for instruction through the learning units. It was composed of three main parts including 1) the curriculum alignment, 2) the guideline for using analogies in classrooms, 3) the lesson plans.

The curriculum alignment included pages presenting the alignment among the learning objectives, the indicators, and the learning content according to the Basic Education National Curriculum B.E. 2551. There were also pages presenting the alignment of the learning objectives, concept flow, the learning activities and assessments. This information can be useful for the teachers to apply the learning units with the school based curriculum which is also based on the Basic Education National Curriculum of 2008.

The guideline for using the analogy technique provided not only the details of all analogies used in this study but also the educational theories and references on teaching with analogies and the learning cycle.

The lesson plans consisted of the learning objectives, main concepts, student's prior knowledge, classroom management and the instructional process which is divided into the teacher's roles and the student's roles in each sequence of instruction.

1.4 The results of developing the learning guide

The learning guide is the instructional material that is intended to help students achieve the expected learning objectives. This guidebook consisted of the lab manual, student's texts, worksheets and assessment. The lab manual included hands-on activities, especially for students to explore scientific evidence in the exploration phase of the learning cycle. The student's texts included the content of each unit and text-based analogy providing the comparison between the analogs and the target concepts to be explained. Worksheets and assessment provided the opportunity for the students to check their understanding and for the teacher to assess the student's learning.

2. The results of evaluating the instructional materials

In this step, two experts who are science educators and one being a scientist examined the instructional materials in terms of their consistency and appropriateness. The results are presented as follows:

2.1 The appropriateness of the teaching guide

The evaluation included seven aspects of each learning unit as follows: the learning objectives, the learning activities, the sequence of activities, time allocation, the appropriateness of content for student's age, the appropriateness of content for knowledge acquisition and the student's assessment. Moreover, the appropriateness of the overall curriculum had also been examined by the experts. The results are presented in Table 14, and more details for this evaluation are presented in Appendix B.

From the results, most aspects of each unit were qualified at the high level of appropriateness. Thirteen aspects were qualified at the highest level of appropriateness including; the learning objectives of unit 2 (plant structure and transportation in plants, unit 4 (plant reproduction) and unit 5 (plant response) ; the learning activities of unit 4 ; the sequence of activities of unit 2 and unit 3 (photosynthesis) ; the appropriateness of contents for student's age of unit 4 and unit 5; the appropriateness of content for knowledge acquisition of unit 1 (cells), unit 2, and unit 5; and the assessment of unit 2. The examination of the overall curriculum also suggested that the teacher's guide was appropriate for the teacher to implement in science classroom.

TABLE 14 EVALUATION OF TEACHING GUIDE APPROPRIATENESS

list of evaluation	level of appropriateness				
	unit1	unit2	unit3	unit4	unit5
1. the learning objectives	4.67	5.00	4.33	5.00	5.00
2. the learning activities	4.33	4.33	4.33	4.67	4.33
3. the sequence of activities	4.33	4.67	4.67	4.33	4.33
4. time allocation	4.00	4.33	4.33	4.33	4.33
5. the appropriateness of content for the student's age	4.33	4.33	4.33	4.67	4.67
6. the appropriateness of content for knowledge acquisition	4.67	4.67	4.33	4.33	4.67
7. student's assessment	4.33	4.67	4.33	4.33	4.33

2.2 The consistency of the teaching guide

The consistency of the teaching guide refers to how well the elements of learning units are consistent with each other. The experts considered the consistency of learning objectives, content, instructional model, learning activities, and assessment. Results of this examination were reported in terms of the IOC indexes which were between 0.67-1.00. These results, presented in Appendix B, indicated that all elements in the learning units were consistent with one another.

2.3 The appropriateness of the learning guide

The evaluation included three aspects of each learning unit as follows: guidelines for learning activities, worksheets, and student's texts. Moreover, the overall student's guide appropriateness had also been examined by the experts. The results are presented in Table 15, and more details for this evaluation are presented in Appendix B.

The results indicated that most aspects of each unit were qualified at the high level of appropriateness. Moreover, all aspects of the student's guide of unit 2 were qualified as the highest level of appropriate. The examination of the overall curriculum also suggested that the student's guide was appropriate for the students to use in the science classroom.

TABLE 15 EVALUATION OF LEARNING GUIDE APPROPRIATENESS

list of evaluation	level of appropriateness				
	unit1	unit2	unit3	unit4	unit5
1. guidelines for learning activities	4.67	4.67	4.33	4.33	4.33
2. worksheets	4.67	4.67	4.33	4.33	4.33
3. student's texts	4.33	4.67	4.33	4.33	4.33

2.4 Opinions of the experts on the instructional materials

The experts not only evaluated the teacher's guide and student's guide quantitatively, but also gave useful suggestions for improving the instructional materials. The experts' opinion can be summarized in three aspects which are outlined below.

2.4.1 Learning guides especially the students' text and worksheets should be accessible to students. The language use and the arrangement of text should be designed in the proper manner according to the student's age. There were some words in the student's guide that might lead to misunderstanding. Therefore, some of the student's text and worksheets were revised according to the expert's comments.

2.4.2 Some classroom activities could be changed to be used as outside classroom activities, for example: students should complete the learning activity in unit 5 at home and bring the results to discuss with other students in class. Moreover, some laboratories should be changed to be demonstration activities by the teachers so that the time allocation would be appropriate such as the plant tissue cross section activity.

2.4.3 The student exercise at the end of units should be added so that students are able to review the main concepts they have learnt. The answer sheets should be also added to the teacher's guide so that the teacher is able to examine student's answers and gives feedback to the students if necessary.

All comments and suggestions from the experts were taken into consideration while the learning units were being revised.

In conclusion, the learning units were developed and examined according for their appropriateness and consistency, and were revised based on the expert's suggestions. All of these research materials were ready to be implemented in the next phase of study, conducting the field trial study. The results of this implementation are presented in the next section.

3. The results of conducting the field trial study

The revised learning units were implemented in one classroom from Rattanakosinsomposh Ladgrabang School. Forty-seven lower-secondary school students participated in this phase of study. The participating teacher collaborated with the researcher managing learning activities as co-teaching. Two weeks before the implementation of the learning units, the participating teacher had studied the teacher's guide including the lesson plans and laboratory worksheets. In addition, an informal meeting was organized in order that the researcher had the opportunity to demonstrate how analogies were introduced to the students. Results of the study in this step were used to improve the quality of the learning units in terms of time allocation and the appropriateness of instructional sequence, and to set the cutting score for evaluating the learning units in the confirmatory stage.

The learning units were implemented for six weeks. After the instruction, the student's achievement scores and conceptual status scores were collected as the learning outcomes of the instruction. These research data were used for setting the cutting score. The student's satisfaction towards the instruction was collected using the questionnaire. Table 16 presents mean score, maximum score, minimum score and standard deviation of student's achievement and conceptual status scores after the instruction.

TABLE 16 THE STUDENT'S SCORES AFTER THE INSTRUCTION

student's scores after the instruction	results			
	$\overline{X}$	max	min	S.D
1. student's learning achievement	20.31	32	9	5.34
2. student's conceptual status	20.04	32	13	4.22

Table 16 shows the mean and standard deviation of students score from the achievement test which are 20.31 and 5.34 respectively. For the conceptual status test, the mean and standard deviations are 20.04 and 4.22 respectively. In addition, Table 16 also shows maximum and minimum scores for each test.

The result of student's satisfaction toward the instruction was analyzed in three aspects including learning activities, instructional media and assessment. Table 17 shows the result which indicates that all aspects was favorable to the students at a high level of satisfaction. Moreover, the overall of the instruction was favorable to the students at a high level as well.

TABLE 17 THE STUDENT'S SATISFACTION TOWARD THE INSTRUCTION IN FIELD TRIAL STUDY

aspect of instruction	level of satisfaction		
	$\overline{X}$	S.D	interpretation
1. learning activities	3.86	0.42	high
2. instructional media	4.14	0.27	high
3. assessment	3.77	0.5	high
4. overall	3.89	0.41	high

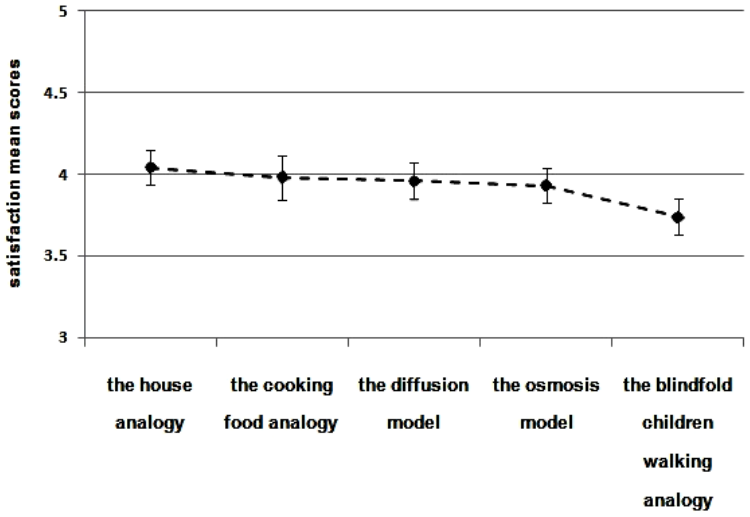
In addition, the mean score of the student response was evaluated comparing with the criteria score. According to chapter 3, the score 3.51 – 4.50 is interpreted as a high level of satisfaction. The *t*-test for one sample statistics was used in order to test whether the mean score was higher than the criterion score which was 3.51. The result is presented in Table 18. More details regarding the result of student's satisfaction toward the instruction are presented in Appendix C.

TABLE 18 THE COMPARISON OF THE STUDENT' S SATISFACTION SCORE IN THE FIELD TRIAL STUDY WITH THE CRITERION SCORE

statistic test	N	criterion score	$\overline{X}$	S.D	t
1. learning activities	45	3.51	3.86	0.42	5.531*
2. instructional media	45	3.51	4.14	0.27	15.506*
3. assessment	45	3.51	3.77	0.50	3.097*
4. overall	45	3.51	3.89	0.41	6.377*

$t_{(0.05;\ df\ 44)} = 2.015,\ \ p<0.05$

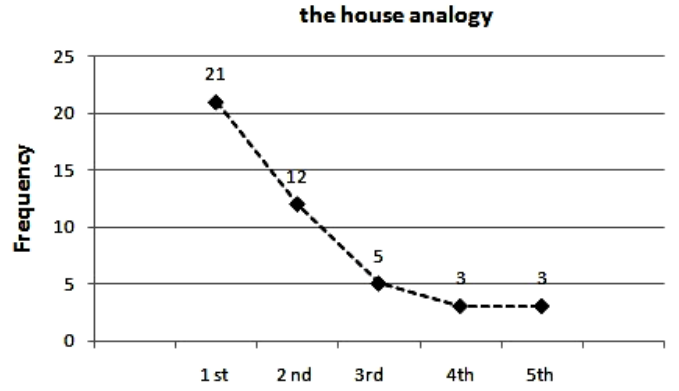
From Table 18, the result indicated that the scores of the student's satisfaction toward all aspects of the instruction including the learning activities, the instructional media, and the assessment were significantly higher than the criterion score which is 3.51 at the 0.05 level of significance. The overall of the instruction score were also significantly higher than the criterion score at the 0.05 level of significance. This result means that after implementing the learning units in the field trial study, the student's satisfaction toward the instruction was at high level. Parts of the statements in the questionnaire also asked the students how well the analogies were favorable to the students. The results indicated that all analogies were satisfactory at a high level as presented in Figure 14.



analogies	$\overline{X}$	SE
the house analogy	4.04	0.11
the cooking food analogy	3.98	0.13
the diffusion model	3.96	0.11
the osmosis model	3.93	0.10
the blindfold children walking analogy	3.74	0.11

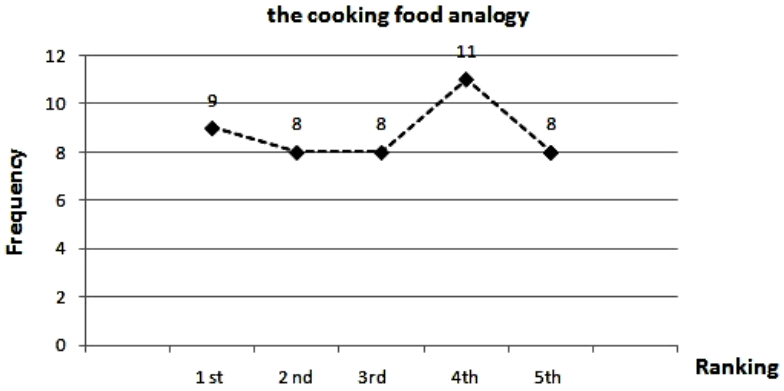
FIGURE 14 LEVEL OF SATISFACTION OF ANALOGIES USED IN THE FIELD TRIAL STUDY

Form the result presented in Figure 14, all analogies gain a satisfaction mean score above 3.51 which indicated a high level of satisfaction. To receive more information about student's satisfaction toward the analogies, the students were asked to rank the analogies by placing the analogies in order according to their favor. They assigned 1 for the most favorite analogy, 2 for the next, and so forth. The analogy that was assigned as the fifth ranked analogy was the least favorable to them. The results were analyzed in terms of the frequency of the student's responses and are presented graphically in Figure 15-16.



ranking	frequency of student's ranking		
	the house analogy	the cooking food analogy	the diffusion model
1 et	21	9	5
2 nd	12	8	5
3rd	5	8	10
4th	3	11	15
5th	3	8	9

*** 1st ranking refers to the most favorable analogy for the students**



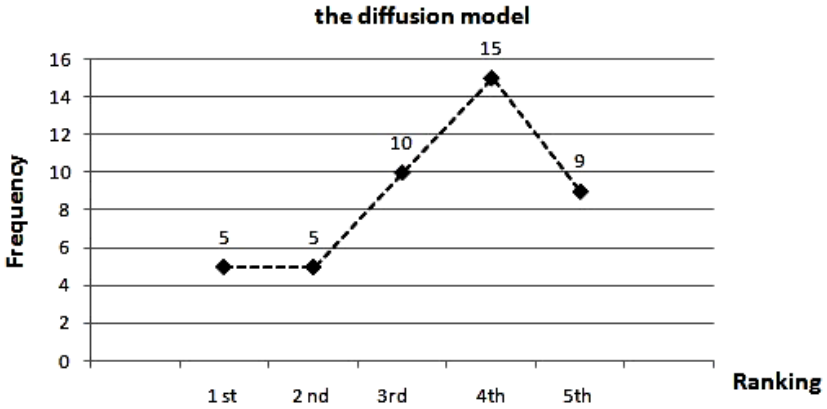
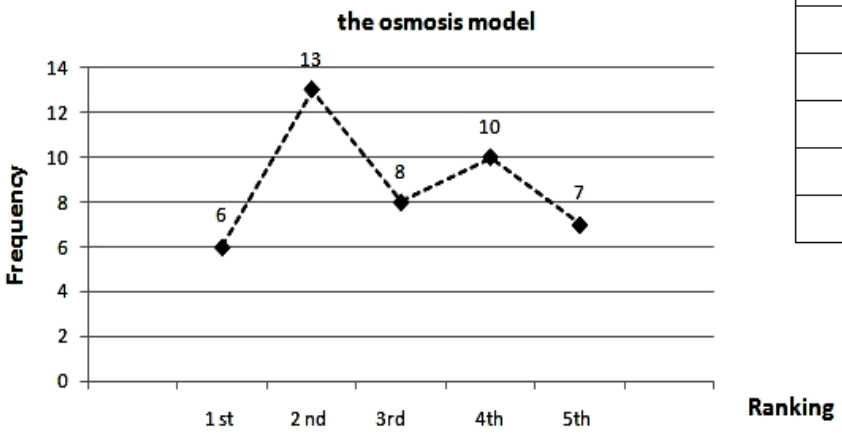


FIGURE 15 GRAPHS OF FAVORITE RANKING FOR THE HOUSE ANALOGY, THE COOKING FOOD ANALOGY, AND THE DIFFUSION MODEL ACCORDING TO THE FIELD TRIAL STUDY



ranking	frequency of student's ranking	
	the osmosis model	the blindfold children walking analogy
1 at	6	3
2 nd	13	6
3rd	8	13
4th	10	5
5th	7	17

*** 1st ranking refers to the most favorable analogy for the students**

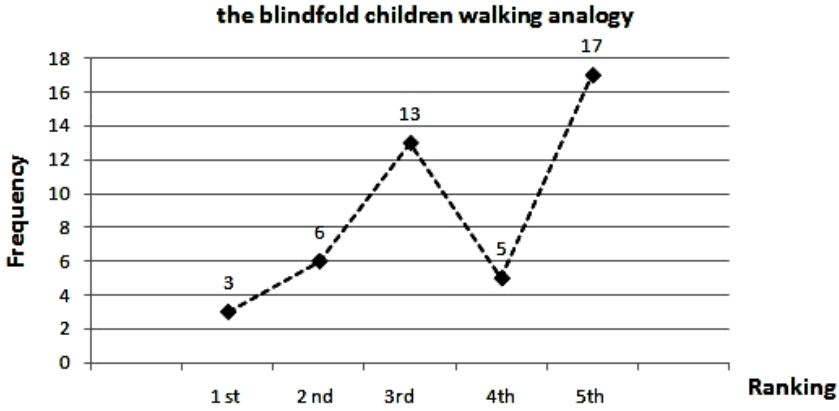


FIGURE 16 GRAPHS OF FAVORITE RANKING FOR THE OSMOSIS MODEL AND THE BLINDFOLDED CHILDREN WALKING ANALOGY ACCORDING TO THE FIELD TRIAL STUDY

For the house analogy which is a comparison between cell functions and a house, most students ranked it as the first-ranked analogy which was the most favorable (Figure 15). The reasons why the house analogy was favorable to the students was that the students easily connected the relationships between the analog and the target as the student's responses: "This [analogy] is compared the concept with what we are familiar." or " The analogy makes me study science more easily and understandable". In contrast, the students who assigned it as the fifth-ranked analogy gave the reason that they were not confident that they understand and can remember the analogy as the student's responses: "I do not understand completely" or "I do not remember the content much".

The cooking food analogy compared photosynthesis with cooking food. The ranking of cooking food analogy was various (Figure 15). Eleven students assigned it as the forth-ranked analogy while nine students assigned it as the first-ranked analogy. The students who ranked the cooking food analogy as the most favorable gave the reason that it was easy to understand and fun. Cooking food was also familiar to the students as the student's responses were: "it [analogy] is something we are familiar and it is easy to understand" or "it is easy to understand: it looks fun and is not confusing". Some students also ranked this analogy as the least favorite one. The reason was that they did not understand the relationship between the analog and the target as the student's response: "I did not understand how photosynthesis is liked cooking food"

Most students assigned the diffusion model as the forth-ranked analogy even some students ranked it as the most favorable analogy (Figure 15). The students who liked this model the most gave the reason that it helped them visualize gas diffusion as their responses: " I can see how gas diffuses by seeing the model". However, some students ranked this model as the least favorable as their responses were: "It was difficult to understand and I had no idea which direction the foam particles were moving"

For the osmosis model, most of the students assigned it as the second-ranked analogy (Figure 16). The ones who rated it as the most favorable analogy gave the reason that it was easy to understand and they were actively involved in the learning activity as their responses were: "it is easy to understand: I did it myself" or "this analogy is easy to learn and understand". On the other hand, the students who ranked this model as thier least favorable analogy gave the reason that they were confused with the model and the model was difficult as their responses were: "I didn't quite understand the model" or "I saw the presentation and I was confused"

The blindfolded children walking analogy compared the random moving of particles with the random moving of blindfolded children. Most of the students ranked this analogy as their least favorite one (Figure 16). The reason was that it was difficult to understand as the student's responses were: "I didn't understand. It is difficult for me" or "I didn't understand some parts of this analogy". However, some students ranked this analogy as the most favorable one and gave the reason that they were able to understand how particles move as their responses were: "I learn how particles move spread out" or "it is easy to understand and is fun".

In summary, the students tended to be satisfied the analogies that were easy to understand or the analog was familiar to them, and they were not be satisfied the analogy that was difficult to understand. In other words, the students liked the analogy when they were able to connect the relationships between the analogs and the concepts; otherwise, the analogy was difficult for them.

The result of the preparatory stage provided the students' achievement and conceptual status scores used to set the cutting score for testing the research hypotheses in the confirmatory stage. Moreover, the data of student's satisfaction toward the instruction was collected and analyzed. In addition, after finishing each lesson, in field trial study, the participating teacher and the researcher had a discussion considering how the learning units could be improved. The results leaded to the revision of the learning units which is presented in the next section.

5. The revision of the learning units after the field trial study

The results shown below are details of the learning unit revisions including the revision of learning and teaching guide.

The revision of learning guide

1. It was found that the students had difficulties reading the student's text on the diffusion and osmosis content. Therefore, the text was changed to be more accessible for the students. Moreover, the content on the particulate nature of matter had been added to provide background knowledge for the students to understand the idea of diffusion and osmosis process.

2. The learning objectives had been included on the front page of each learning unit. It provided information for students to know what they need to accomplish in order to complete the learning units. It was an expectation that the students would be directed to complete all tasks purposefully.

3. The chapter review questions were added at the end of each learning unit. It provided an opportunity for students to review the content as to whether they understood all of the content presented in the student text.

The revision of the teaching guide

1. The answers for all worksheets and chapter review questions had been included in the teacher's guides. The teacher needed to be informed about the guidelines for grading the worksheets, and the answers for the chapter review questions.

2. Some analogy activities had been revised to be more suitable for the student's conceptual development. The osmosis model had been changed to be more accessible for the students. Previously, the student had to calculate the ratio of the beads in the osmosis model to understand the idea of concentration of a solution. It caused a problem because some students had difficulties using mathematics. Therefore, the learning activity was changed. Instead of calculating the ratio, the students just had to observe the change of the amount of beads. The gas diffusion model was changed considering the way of presenting the analogy as well. Besides using foam particles only in the gas state, they also represented the particles in solid and liquid states as well. Therefore, the students could connect the ideas of gas diffusion and the particulate nature of matter in all three states. The example of teaching guide and learning guide after the revisions are shown in Appendix E.

In conclusion, the results of conducting the field trial study lead to the revision of the learning units based on classroom practice. This revision included both the teaching guide and the learning guide. The activities in the teaching guide were adjusted to be more suitable for classroom practice. The student's texts in the learning guide were revised to be more accessible for the students. The student's practices after lesson were also added in learning guide, and the answer keys were included in the teaching guide. After field trial study and the revision of the learning units, the confirmatory study was conducted. The learning unit was implemented with another classroom of seventh grade students at a different school. The results from the confirmatory study are presented in the next section.

SECTION II THE CONFIRMATORY STAGE

The purpose of conducting the confirmatory stage was to implement the learning units which had been revised from the preparatory stage and to collect data for evaluating the learning units. The learning unit was implemented by another participating teacher within a classroom of 48 seventh grade students at Suratphitaya School during the second semester in the 2009 academic year. The results of student's learning outcome including

the student's achievement, student's conceptual status, student's learning retention and student's satisfaction toward the instruction data were collected to test research hypotheses.

The learning units were introduced to the participating teacher four weeks before the instruction. Eight informal meetings were organized to provide the participating teachers an overview of the instructional materials and supporting educational theory. Moreover, the participating teacher also shared her background on using analogies in the science classroom. The teacher-generated analogies and using analogies as the pedagogical skill is discuss later in chapter 5. During this phase, the teacher also studied the lesson plans and all learning activities. Some activities were adjusted to be appropriate for the time allocation in this school. For example, the photosynthesis experiment in unit 3 was changed to be demonstration activity. For the analogies activities, all analogies were introduced to the students in the same way as the field trial study except the animation-based analogy because of the technical difficulty.

Data collection included pre-test and post-test of student's achievement scores and student's conceptual status scores. The student's satisfaction toward the instruction was collected after the implementation. After two weeks of the main study, the students took the achievement test again as a knowledge retention test.

For testing the research hypotheses, students' achievement scores and students' conceptual status scores were compared with the cutting score for each test. The cutting score was used as the standard point for criterion-evaluation. The hypotheses suggested that student's mean score was significantly higher than the cutting score at the 0.05 level of significance. Furthermore, other hypotheses in this study suggested that there was positive correlation between the conceptual status scores and the retention test scores at the 0.05 level of significance, and students' satisfaction towards the instruction was at high level at the 0.05 level of significance. The results of testing these hypotheses are presented in the following section.

1. The result of student's achievement

The results of student's achievement is presented in three parts: 1) the gathered data of the students' achievement provides the descriptive statistics of student's achievement scores, and the inferential statistics comparing the pre-test and post-test scores: 2) achievement cutting score provides the results of setting the cutting score for the achievement test: 3) testing the first hypothesis provides the results of the inferential

statistics comparing the student's achievement score and the criterion score as the testing of the research hypothesis.

1.1 The gathered data of the students' achievement

Using the achievement test, the data of student's achievement scores were gathered at the beginning and at the end of the learning unit implementation. Table 19 presents the comparison of the student achievement scores before and after using the learning units. More details of the students' achievement score in the main study group are presented in Appendix C.

TABLE 19 THE COMPARISON OF THE STUDENT ACHIEVEMENT SCORE BEFORE AND AFTER USING THE LEARNING UNITS ACCORDING TO THE MAIN STUDY

score	N	$\overline{X}$	S.D	t
student achievement pre-test score	48	17.29	3.98	16.57*
student achievement post-test score	48	28.85	5.02	

$t_{(0.05;\ df\ 47)} = 2.012,\ p<0.05$

The results from Table 19 indicated that the students' achievement mean score after the instruction using the learning unit was higher than before at the 0.05 level of significance. This means the students who learned through the learning unit had significantly improved their achievement on the content knowledge.

1.2 Achievement cutting score

As mentioned in chapter 2, the students who had studied with the learning units in the field trial study were defined as the instructed group, while the students who had not studied with the learning units yet in the main study were defined as the uninstructed group. After constructing the distribution graphs for the content, the instructed and uninstructed group score distributions are the primary determinants of the tests whether or not they can be classified students as true masters and true non-masters of an objective. The result (see Appendix D) showed that the distribution did not completely overlap. This means the achievement test could classify the students. Then, the range of scores around

the point at which the distributions intersected was calculated to obtain the optimal cutting score. The result of the calculation is presented in Table 20.

TABLE 20 THE RESULT OF CALCULATING THE CUTTING SCORE FOR THE ACHIVEMENT TEST

content	total score	cutting score	probability of correct decisions	probability of incorrect decisions	validity coefficient
cell	5	3.3	0.60	0.40	0.24
plant transportation	10	6.2	0.76	0.24	0.56
photosynthesis	10	5	0.53	0.46	0.09
plant reproduction and response	7	2.6	0.56	0.43	0.17
experimental skill	8	2.1	0.46	0.53	-0.07
all content	40	24.1	0.63	0.38	0.35

The cutting scores for the content of cell, plant transportation, photosynthesis, plant reproduction and experimental skill were 3.3, 6.2, 5, 2.6, 4.1 respectively. For the whole test, the cutting score for the achievement test score is 24.1. Those scores obtained highest probability of correct decisions and lowest probability of incorrect decisions, and would be used as the criteria for testing the first hypothesis. It should be noted that the probability of correct decisions for the experimental skill was lower than the probability of incorrect decisions. This was because the students who first were assigned to be in the non-master group had experimental skill scores more than the students who first were assigned to be in the master group. The discussion for this result is presented later in chapter 5.

1.3 Testing the first hypothesis

The first hypothesis stated that student's achievement mean score after the instruction was higher than the cutting score of the achievement test. To test this hypothesis, a one sample t-test statistic was used to compare the student's mean score and the cutting score to see whether there was a significant difference between them. In

other words, this method examined whether the student's mean score was significantly higher than the cutting scores. Table 21 presents the result of this statistical calculation.

TABLE 21 THE COMPARISON OF THE ACHIEVEMENT MEAN SCORE WITH THE CUTTING SCORE FOR THE ACHIVEMENT TEST

content	N	cutting score	$\overline{X}$	S.D	t
cell	48	3.3	3.77	1.05	3.087*
plant transportation	48	6.2	7.15	1.83	3.574*
photosynthesis	48	5.0	7.73	1.73	10.898*
plant reproduction and response	48	2.6	5.31	1.22	15.365*
all content	48	24.1	28.85	5.02	6.557*

$$t_{(0.05;\ df\ 47)} = 2.012,\ \ p<0.05$$

The result showed that all parts of the achievement mean scores were significantly higher than the cutting scores (criterion scores) at the 0.05 level of significance. Moreover the student's achievement mean score for all content had passed the setting criterion which was 24.1. These results supported the first hypothesis.

In conclusion, the result of the student' achievement indicated that after learning through the learning units, the students had significantly improved their achievement on the content knowledge, and the achievement mean score was significantly higher than the criterion score.

2. The result of student's conceptual status

The result of the student's conceptual status is presented in four parts: 1) the gathered data of the students' conceptual status provides the descriptive statistics of the student's conceptual status scores, and the inferential statistics comparing the pre-test and post-test scores, 2) cutting score of the conceptual status provides the result of setting the cutting score for the conceptual status test, 3) testing the second hypothesis provides the result of the inferential statistics comparing the student's conceptual status score and the criterion score for the testing research hypothesis, and 4) types of conceptual change

occurring after the learning unit implementation provides the interpretation of the conceptual status scores in terms of conceptual change that occurred in class.

2.1 The gathered data of the students' conceptual status

The student's conceptual status was determined by using the conceptual status test before and after the learning unit implementation. Table 22 presents the comparison of student's conceptual status before and after using the learning units. More details of the student's conceptual status score in the main study group are presented in Appendix C.

TABLE 22 THE COMPARISON OF THE STUDENT'S CONCEPTUAL STATUS SCORE BEFORE AND AFTER USING THE LEARNING UNITS IN THE MAIN STUDY

score	N	$\overline{X}$	S.D	t
student's conceptual status pre-test score	47	17.02	2.22	11.49*
student's conceptual status post-test score	47	23.45	3.758	

$t_{(0.05;\ df\ 46)} = 2.013,\ p<0.05$

The results from Table 22 indicate that the students' conceptual status mean score after the instruction using the learning unit was higher than before at the 0.05 level of significance. This means that the students who learned through the learning unit had significantly improved the level of their conceptual status.

2.2 Conceptual status cutting score

The process of setting the conceptual status cutting score was the same as for the achievement score. According to the review literature in chapter 2 (p.17-p.18), the students conceptual status will be raised if they are able to find the new conception intelligible, plausible, and fruitful, in other words, all of these conditions have been met. Therefore, the cutting scores for each condition were established to test whether the student's conceptual status was raised to be intelligible, plausible, and fruitful. The results of determining the cutting score are presented in Table 23, and more details of the distribution graphs are presented in Appendix D.

TABLE 23 THE RESULT OF CALCULATING THE CUTTING SCORE FOR THE CONDITION REQUIRED FOR RAISING CONCEPTUAL STATUS

condition of conceptual status	cutting score	probability of correct decisions	probability of incorrect decisions	validity coefficient
intelligible	8.5	0.65	0.35	0.38
plausible	6.1	0.69	0.31	0.45
Fruitful	5.8	0.67	0.33	0.32
overall	20.4	0.72	0.28	0.50

The result of calculating the cutting score indicated that the criterion scores for intelligible, plausible and fruitful condition were 8.5, 6.1 and 5.8 respectively. In addition, the cutting score for the whole test is 21. These scores obtained highest probabilities of correct decisions and lowest probabilities of incorrect decisions, and would be used as the criteria for testing the second hypothesis.

2.3 Testing the second hypothesis

The second hypothesis stated that student's conceptual status mean score after the instruction was higher than the cutting scores of conceptual status test. To test this hypothesis, one sample t-test statistic was also used to compare the student's mean scores from each of the parts of the test and the cutting scores to examine whether the student's mean score was significantly higher than the cutting scores. Table 24 presents the result of this statistical calculation.

TABLE 24 THE COMPARISON OF THE CONCEPTUAL STATUS MEAN SCORES WITH THE CUTTING SCORES FOR THE CONCEPTUAL STATUS TEST

statistic test	N	cutting score	$\bar{X}$	S.D	t
intelligible	47	8.5	9.43	1.75	3.618*
plausible	47	6.1	7.11	1.31	5.283*
fruitful	47	5.8	6.91	1.29	5.960*
overall	47	20.4	23.45	3.76	5.558*

$t_{(0.05;\ df\ 46)} = 2.013,\ p<0.05$

The results from Table 23 showed that after the instruction, the student's score for intelligible condition, plausible condition, and fruitful condition was significantly higher than the cutting score (the criterion score) at the 0.05 level of significance. Moreover, student's conceptual status mean score was significantly higher than the cutting score at the 0.05 level of significance. The student's conceptual status mean score had passed the setting criterion. This result supported the second hypothesis.

2.4 Types of conceptual change occurring after the learning unit implementation

According to chapter 2, determining the status of a student's conception can help one determine which kind of conceptual change has happened in classroom. The first kind of conceptual change happens when the students change their ideas from alternative conceptions to the scientific one. This kind of change is called conceptual exchange. On the other hand, conceptual capture happens when the students already hold the scientific conception and it changes to be more intelligible, plausible and fruitful. Analyzing the result from the conceptual status test could reveal these types of conceptual change. In the test, students read an argument presenting the scientific conception and the alternative conception. If the scientific conception is intelligible and plausible at a high level to the students, their responses will support the scientific conception. However, if the students held the alternative conceptions, their response will support the alternative conception; therefore, the scientific conception is assumed to gain low level of intelligibility and plausibility to the students. In this study, four patterns were revealed after the analysis of

the conceptual status. First, the student's response had changed from the alternative conception to the scientific one, conceptual exchange. Second, the student's response was already classified as the scientific one in the pre-test and the level of intelligibility, plausibility, or fruitfulness was raised after the instruction, conceptual capture. Third, the student's response had changed from the scientific conception to an alternative one. Forth, there was no change in the student's response. The result of this analysis is presented in Figure 17.

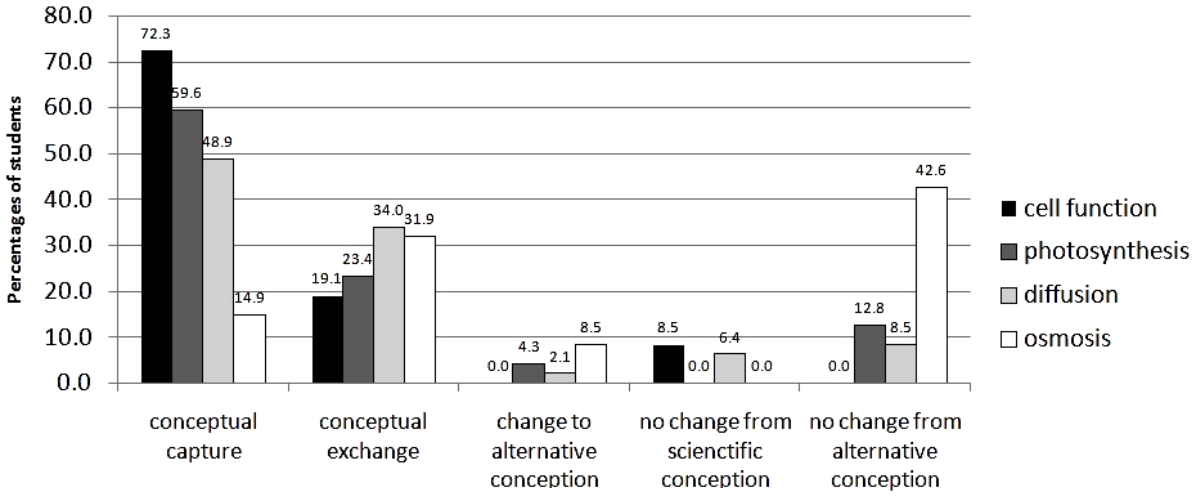


FIGURE 17 TYPE OF CONCEPTUAL CHANGE OCCURRING AFTER THE INSTRUCTION

According to figure 17, 72.3 percents of the students experienced conceptual capture after they learned cell function with an analogy; 19.1 percent changed their conceptions as a conceptual exchange. There was no student who changed their conceptions an alternative one. For the concept of photosynthesis, 59.6 percent of students experienced conceptual capture; 23.4 percent revealed conceptual exchange; 4.3 percent changed their conceptions from the scientific one to an alternative conception; 12.8 percent had no change. For the concept of diffusion, 48.9 percent of student experienced conceptual capture; 34 percent revealed conceptual exchange; 2.1 percents changed their conceptions from the scientific one to be the alternative conception; 8.5 percent had no change. Finally, it was found that students had difficulty learning osmosis. 14.9 percents of student experienced conceptual capture; 31.9 percent revealed conceptual exchange; 8.5 percent changed their conceptions to an alternative one and 42.6 percent had no change.

In conclusion, the result of student' conceptual status indicated that after learning through the learning units, the students had significantly improved their conceptual status, and the conceptual status mean score was significantly higher than the criterion score. In addition, conceptual capture mostly happened in the student learning except for learning osmosis in which conceptual exchange was the major type of conceptual change, and most students did not change their status of conception even after learning osmosis.

3. The results of student's learning retention

The result of the student's learning retention is presented in two parts: 1) the gathered data of the students' learning retention provides the descriptive statistics of student's learning retention scores, and the inferential statistics comparing the post-test score of achievement test and the learning retention scores, and 2) testing the third hypothesis provides the result of the inferential statistics presenting the correlation between the learning retention score and student's conceptual status score.

3.1 The gathered data of the students' learning retention

Students' learning retention in this study was examined by the achievement test after studying with the learning units for two weeks. Table 25 presents the comparison between the students' learning retention score and the post-test score from the achievement test. More details of the student's learning retention score in the main study group are presented in Appendix C.

TABLE 25 THE COMPARISON OF THE STUDENTS' LEARNING RETENTION SCORE AND THE POST-TEST SCORE FROM THE ACHIEVEMENT TEST

scores	N	$\overline{X}$	S.D	t
students' achievement post-test score	48	28.85	5.02	1.849
students' learning retention score	48	29.85	5.56	

$t_{(0.05;\ df\ 47)} = 2.012$

The results from Table 25 revealed that the students' learning retention score was not different from the students' achievement post-test score at the 0.05 level of significance.

This finding indicated that after learning through the learning unit for two weeks the students still retained their knowledge on plant science.

3.2 Testing the third hypothesis

The third hypothesis stated that there was positive correlation between the conceptual status scores and the retention test scores. To test this hypothesis, the Pearson product moment correlation was used to examine relationship between the student's achievement score after two weeks of the instruction and the student's conceptual status scores.

TABLE 26 THE CORRELATION BETWEEN THE CONCEPTUAL STATUS SCORE AND THE RETENTION TEST SCORE

scores	mean	S.D.	N	Pearson correlation
retention test score	29.98	5.550	47	0.41*
conceptual status score	23.45	3.758	47	

* $p<0.05$

The result indicated that the Pearson product moment correlation is 0.41 and the correlation was significant at the 0.05 level (Table 26). This result supported the third hypothesis.

In conclusion, the result of students' learning retention indicated that after learning through the learning units, the students still retained their knowledge on plant science, and there was positive correlation between retention test score and conceptual status score.

4. The result of student's satisfaction toward the instruction

The result of student's satisfaction toward the instruction is presented in three parts: 1) the gathered data of the students' satisfaction toward the instruction provides the descriptive statistics of student's satisfaction toward the instruction score, 2) testing the third hypothesis provides the result of the inferential statistics comparing the student's satisfaction toward the instruction score with the criterion score, and 3) the opinions of the

students on using analogies provides data from students' ratings the most favorite analogy and the least favorite analogy for them.

4.1 The gathered data of the students' satisfaction toward the instruction

The students' satisfaction toward the instruction is composed of three aspects including learning activities, instructional media and assessment used in the learning units. The student's satisfaction questionnaire was used to determine how well each aspect of the instruction is favorable to the students. The results are presented in Table 27.

TABLE 27 THE STUDENT'S SATISFACTION TOWARD THE INSTRUCTION IN THE MAIN STUDY

aspect of instruction	level of satisfaction		
	$\overline{X}$	S.D	interpretation
1. learning activities	4.13	0.39	high
2. instructional media	4.10	0.39	high
2. assessment	4.10	0.47	high
4. overall	4.11	0.36	high

The result indicates that all aspects were favorable to the students at a high level of satisfaction. Moreover, the overall satisfaction of the instruction was favorable to the students at a high level as well.

4.2 Testing the forth hypothesis

The forth hypothesis stated that students' satisfaction towards the instruction was at a high level at 0.05 level of significance. In order to test this hypothesis, the mean score of the student response was evaluated comparing with the criteria score under the normal curve. According to chapter 3, the score 3.51 – 4.50 is interpreted as a high level of satisfaction. To test whether the mean score was higher than the criterion score which was 3.51, a *t*-test for one sample statistics scores was used. The result is presented in Table 28. More details regarding the result of student's satisfaction toward the instruction are presented in Appendix B.

TABLE 28 THE COMPARISON OF THE STUDENT' S SATISFACTION SCORE IN THE MAIN STUDY WITH THE CRITERION SCORE

statistic test	N	criterion score	$\overline{X}$	S.D	t
1. learning activities	48	3.51	4.13	0.39	11.096*
2. instructional media	48	3.51	4.10	0.39	10.272*
3. assessment	48	3.51	4.10	0.47	8.597*
4. overall	48	3.51	4.11	0.36	11.82*

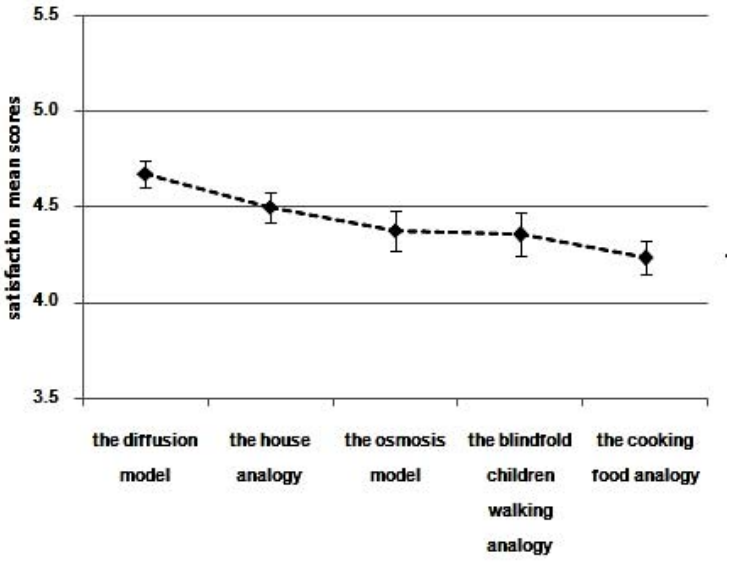
$t_{(0.05;\ df\ 47)} = 2.012,\ p<0.05$

From Table 28, the results indicated that student's satisfaction toward the learning activities score was significantly higher than criterion score at the 0.05 level of significance; the student's satisfaction toward the instructional media score was significantly higher than criterion score at the 0.05 level of significance; the student's satisfaction toward the assessment score was significantly higher than criterion score at the 0.05 level of significance; and the overall satisfaction of the instruction score was significantly higher than criterion score at the 0.05 level of significance.

These results suggested that the student's satisfaction toward the instruction after learning through the learning units was at a high level at the 0.05 level of significance; therefore, this supported the forth hypothesis.

4.3 The opinions of students on using analogies

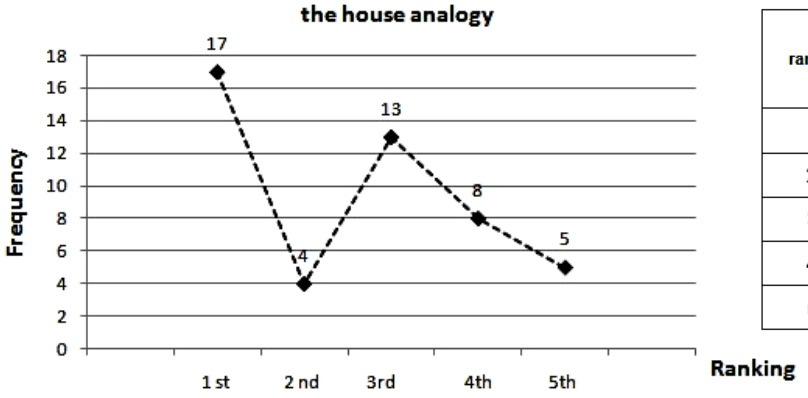
Parts of the statements in the questionnaire also asked students how well the analogies were favorable to the students. The results indicated that all analogies were satisfied at a high level as presented in Figure 18.



analogies	$\overline{X}$	SE
the diffusion model	4.67	0.07
the house analogy	4.50	0.08
the osmosis model	4.38	0.11
the blindfold children walking analogy	4.35	0.11
the cooking food analogy	4.23	0.09

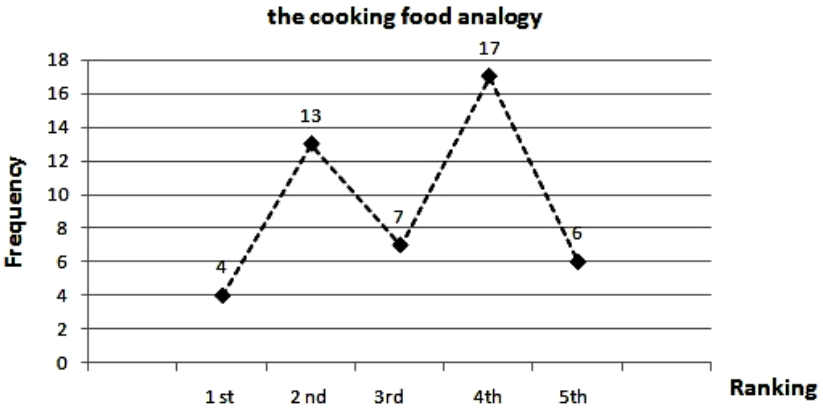
FIGURE 18 LEVEL OF SATISFACTION OF ANALOGIES USED ACCORDING TO THE MAIN STUDY

Form the results presented in Figure 18, all analogies gained a satisfaction mean score above 3.51 which indicated a high level of satisfaction. To receive more information about student's satisfaction toward the analogies, the students were asked to rank the analogies by placing analogies in order according to their favorability. They assigned 1 for the most favorite analogy, 2 for the next, and so forth. The analogy that was assigned as the fifth ranked analogy was the least favorable to them. The result was analyzed in terms of the frequency of the student's responses and presented graphically in Figure 19-20.



ranking	frequency of student's ranking		
	the house analogy	the cooking food analogy	the diffusion model
1st	17	4	21
2nd	4	13	6
3rd	13	7	15
4th	8	17	5
5th	5	6	0

*** 1st ranking refers to the most favorable analogy for the students**



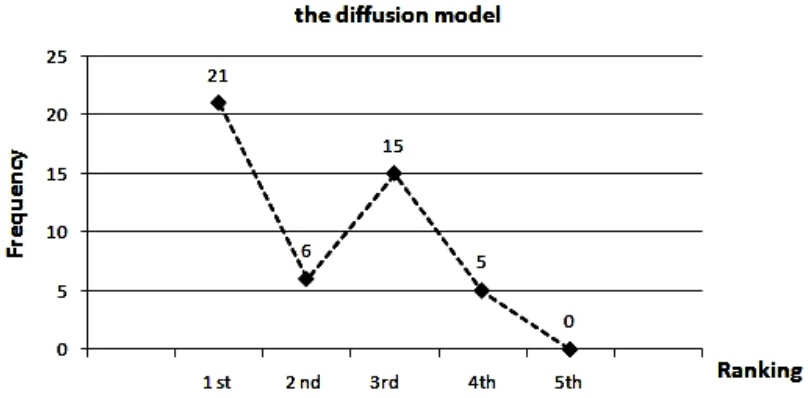
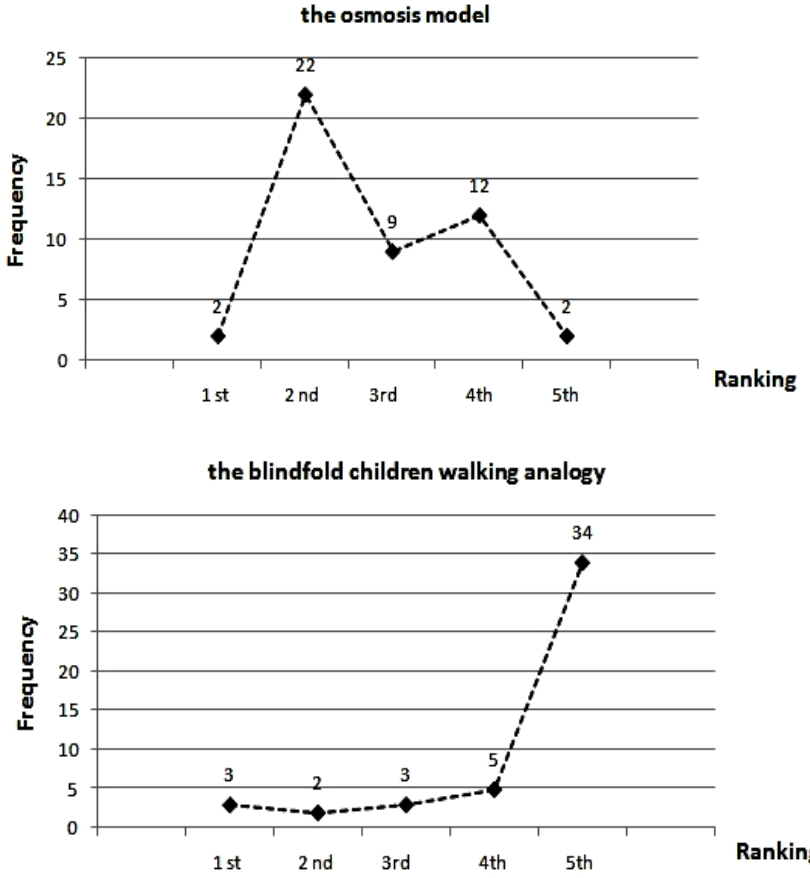


FIGURE 19 GRAPHS OF FAVORITE RANKING FOR THE HOUSE ANALOGY, THE COOKING FOOD ANALOGY, AND THE DIFFUSION MODEL ACCORDING TO THE MAIN STUDY



ranking	frequency of student's ranking	
	the osmosis model	the blindfold children walking analogy
1st	2	3
2nd	22	2
3rd	9	3
4th	12	5
5th	2	34

*** 1st ranking refers to the most favorable analogy for the students**

FIGURE 20 GRAPHS OF FAVORITE RANKING FOR THE OSMOSIS MODEL AND BLINDFOLDED CHILDREN WALKING ANALOGY ACCORDING TO THE MAIN STUDY

For the house analogy which is the comparison between cell functions and a house, most students assigned it as the first-ranked analogy which was the most favorite (Figure 19). The reason why the house analogy was favorable to the students was that the students easily connected the relationships between the analog and the target. Moreover, they used this analogy as a memory aid as seen in the student's responses: "It is easiest to understand and remember" : "this analogy has a picture, so it is easy to compare": "This analogy help me to remember the concept and help me for the examination". In contrast, the students who ranked it as the least favorite one gave the reason that the concept is difficult to understand or there would be another analogy that was better than a house to compare with the cell.

The cooking food analogy compared photosynthesis with cooking food. The most ranking of cooking food analogy was as the forth-ranked (Figure 19). The students who ranked the cooking food analogy as the most favorable gave the reason that this analogy compared what they was familiar to the scientific concept as the student's response were: "it [analogy] is what we are familiar with and we see it in everyday life" or "it is easy to remember". Some students also ranked this analogy as their least favorite. They gave the reason that the analogy was not interesting or there were not many pictures in this analogy.

Most students ranked the diffusion model as their most favorite analogy and no students ranked it as the least favorable (Figure 19). The students who were attracted to this analogy gave the reason that it was easy to understand, the analogical model was interesting, and they like to learn from real objects and demonstration activities as the student's responses were: " I understand more about this concept", "This tool [analogical model] was very interesting" or " We can see the real objects ; see how foam particles can diffuse".

For the osmosis model, most of the students assigned it as the second-ranked analogy (Figure 20). The ones who ranked it as their most favorite analogy gave the reason that it was easy to understand and they were actively involved in the learning activity as their responses show: "it is easy to understand. This model helped me see how osmosis occurs" or I had a chance to do it myself". On the other hand, the students who ranked this model as their least favorite analogy by giving it a value "5" gave the reason that they did not understand the model.

The blindfolded children walking analogy compared the random moving of particles with the random moving of blindfolded children. Most of the students ranked this analogy as the least favorite (Figure 20). The reason was that it is difficult to understand and they didn't really get involve in the activity as the student's responses included: "I was confused with the analogy." or "we didn't try to act liked the analogy by walking around our room". However, some students ranked this analogy as their most favorite and gave the reason that they were able to understand how particles move as their responses was: "I can compare [analogy] with the movement of particles.

In summary, the results of student's satisfaction toward the analogies used in the main study indicated that the students tended to be satisfied the analogy that was easy to understand or the analog was familiar to them, and they were not satisfied the analogy that was difficult. In other words, the students liked the analogy that they were able to connect

the relationship between analogs and concepts; otherwise, the analogy was difficult for them.

5. The result of the classroom observation and teacher interview

5.1 Classroom environment and learning activities

Most of learning activities in this study required the students working in groups and presenting their ideas in a classroom discussion. The teacher usually encouraged the students to participate in class with a competition activity. For example, the students had group discussion in order to answer the questions provided and competed with other groups to be the first group who had the correct answer. The students were also interested in the demonstrations. They paid attention to what the teacher was doing in front of the class.

The analogy activities consists of six steps to introduce the analogy to the students including (1) introducing the target concept, (2) recalling the analog concept by presenting the analogy to students, (3) identifying similar features of the concepts between target and analog (4) mapping similar features (5) identifying dissimilar features of the concepts between target and analog (6) drawing conclusions about concepts. It was noticed that the teacher tended to focus mostly on the step three and step four. The teacher spent so much time comparing the similarity of the analogy and the target concept while, sometimes, the dissimilar features between them was not mentioned.

Analogies used in this study were presented in several formats including analogy in text, pictorial analogy, analogy-based animation, personal analogy, and the analogical model. It was noticed that the students were more likely motivated with the analogical models than the other formats. They came to the front of the classroom to observe the gas diffusion model, asked questions, discussed with each other, and paid attention to the teacher's explanations.

5.2 Teacher perspectives on using analogies in science classroom

As mentioned earlier, the learning units were introduced to the participating teacher four weeks before the instruction. Eight informal meetings were organized to provide the participating teacher an overview of the instructional materials and supporting educational theory. Moreover, the participating teacher also shared her background on using analogies in the science classroom. In this conversation, the teacher showed a

positive attitude toward using an analogy to explain scientific ideas. The teacher had used analogies several times in teaching science. The analogies were used to explain not only the biological concepts but also the physical concepts. The teacher used the idea of the structure of ocean and island to compare with the cell. This analogy focused on the similarity of structure more than the one of function. For the physical concepts, the teacher gave the example of using an analogy in that potential energy and kinetic energy were compared with the status of person because there are the homonym words in Thai language considering “potential” and “kinetic”. The teacher also used the analogy as the assessment tool to examine students’ understanding. In the quiz question, the students were asked to compare the similarity between cell structures and the ocean. The teacher said that analogy is a tool for providing accessible explanations for the students, especially when the scientific concept is very difficult and far from the student’s experience.

5.3 Teacher opinions on the learning materials from the learning units

After the classroom periods, the researcher had a discussion with the teacher about the learning materials and activities that had just been used in the classroom. For the learning materials, the teacher liked the student’s workbook and the student’s texts and preferred to use them for the next semester because these materials contained a rich collection of pictures representing plant structures. Moreover, there were several student lab reports and students’ practices ready for use. For the learning activities, it appeared that the teacher tended to prefer the learning activities with which the teacher was familiar, such as using microscopes to explore cell structures and testing starch in leaves.

6. Summary of the research results

In this study, the learning units incorporated with the analogy technique were developed and implemented in classrooms of secondary students. Student’s learning outcomes were collected using research instruments for the purpose of testing the research hypotheses. Findings are summarized as follow:

1. After the instruction, the student’s achievement mean score was significantly higher than the cutting score at the 0.05 level of significance.

2. After the instruction, student’s conceptual status mean score was significantly higher than the cutting score at the 0.05 level of significance.

3. After the instruction, the student's conceptual status mean score for intelligible condition was significantly higher than the cutting score at the 0.05 level of significance; the student's conceptual status mean score for plausible condition was significantly higher than the cutting score at the 0.05 level of significance; and the student's conceptual status mean score for a fruitful condition was significantly higher than the cutting score at the 0.05 level of significance.

4. Conceptual capture mostly happened in student learning except for learning osmosis in which conceptual exchange was the major type of conceptual change that occurred.

5. After the instruction, there was positive correlation between the conceptual status scores and the retention test scores. The Pearson product moment correlation was 0.41 and the correlation was significant at the 0.05 level of significance.

6. After the instruction, student's satisfaction toward the learning activities score was significantly higher than criterion score which is 3.51 at the 0.05 level of significance; the student's satisfaction toward the instructional media score was significantly higher than criterion score at the 0.05 level of significance; the student's satisfaction toward the assessment score was significantly higher than criterion score at the 0.05 level of significance; and the overall satisfaction of the instruction score was significantly higher than criterion score at the 0.05 level of significance. Moreover, it was found that how well the analogies were favored by the students depended on whether the students could connect the relationships between the analog and the target concepts. In other words, it depended on student's analogical reasoning.

In conclusion, the research findings showed that the student's learning outcomes including the student's achievement, conceptual status and their satisfaction toward the learning units were improved and reached the expected criteria. In addition, there was a correlation between the student's conceptual status and the student's retention. Moreover, it was found that conceptual capture was the major type of conceptual change happening in classroom. Discussion for these finding which is based on learning theories and previous research are presented in the next chapter.

CHAPTER 5

CONCLUSIONS, DISCUSSIONS AND RECOMMENDATIONS

This study intended to develop learning units on plant biology incorporated with analogy technique for lower secondary school students. The analogy technique was integrated in the learning cycle instructional sequence. The learning cycle provided the inquiry teaching context where students investigate phenomena in scientific experiments, and the analogy technique provided the accessible explanation for the scientific ideas which were abstract to the students. The students who participated in this instruction were expected to be improved their learning outcomes which were examined by using the achievement test, conceptual status test, and retention test. The student's satisfaction toward the instruction is also measured by the student's satisfaction questionnaire.

1. Objectives of the study

The objectives of this research study were:

1. To develop learning units on plant biology incorporated with an analogy technique for lower secondary school students.

2. To evaluate students' learning outcomes after the implementation of the learning units by analyzing:

2.1 students' learning achievement

2.2 students' conceptual status

2.3 students' learning retention

2.4 students' satisfaction towards the instruction

2. Research hypotheses

In this study, the learning units were developed and implemented with the lower secondary school students. After the instruction, the student's learning outcomes were collected, and the hypotheses of this study were:

1. Student's achievement mean score was higher than the cutting score of achievement test.

2. Student's conceptual status mean score was higher than the cutting score of conceptual status test.

3. There was positive correlation between the conceptual status scores and the retention test scores.

4. Students' satisfaction towards the learning units was at a high level.

3. Participants

The participants in each phase of study were as follows:

3.1 Participants involved in preparatory stage of study

3.1.1 The participants during the development of material for collecting data:

The participants during the development of materials for collecting data were 151 of lower secondary school students (grade7) from Ratwinit Matthayom School, and 48 of lower secondary school students (grade 7) from Rattanakosinsomposh Ladgrabang School.

3.1.2 The participants during field trial study:

The participants during field trial study were one science teacher and 48 of lower secondary school students (grade 7) from Rattanakosinsomposh Ladgrabang School.

3.2 Participants involved in confirmatory stage of study

The participants during main study were one science teacher and 48 of lower secondary school students (grade 7) from Suratpittaya School.

4. Research materials

Materials of this study were classified into two main parts described as follows:

4.1 Learning units

The learning unit materials which were developed based on the theoretical framework in this study included a teaching guide and a learning guide. The teaching guide is composed of 1) the curriculum alignment, 2) the guidelines for using analogies in classrooms, 3) the lesson plans. The learning activities in the lesson plans were developed based on the integration of the learning cycle model and the analogy technique. The learning guide is composed of a lab manual, students' texts, worksheets and assessments. The instructional media included the analogical models, and PowerPoint presentations.

4.2 Research instruments for data collection

4.2.1 The achievement test on plant biology

4.2.2 The conceptual status test on plant biology

4.2.3 The students' satisfaction questionnaire

5. Research methodology

The research methodology in this study consisted of two main stages including the preparatory and the confirmatory stage. The process of developing and implementing the learning units were proceeded as follows:

5.1 The preparatory stage

The purpose of this stage of study was to prepare the research materials which include developing learning units and developing the materials for the data collection. The learning units were also trialed in this stage to improve their quality before implementing in the main study.

5.1.1 Developing the learning units

The first phase began with the analysis of the learning standards in Thailand's Basic Education Curriculum B.E. 2551, and then the learning objectives of the learning units were established. The concept flow was constructed to represent the expected processes of learning the scientific concepts. This concept flow was also used to design the learning activities and instructional media. After the concept flow had been determined, analogies were selected to use for designing learning activities. They had to be verified by the experts who are scientists and science educators in order that the analogies were qualified as the appropriate ones to use in a classroom. According to the learning objectives and analogies derived from previous steps, the teaching guide and the learning guide were developed.

Before implementing the learning units, the instructional materials needed to be verified on the basis of their appropriateness and the consistency with the learning objectives, the model of student's learning, and the instructional model. In this process, the teaching guide and the learning guide were examined by the experts.

5.1.2 Developing materials for data collection

5.1.2.1 The achievement test

The achievement test was developed to assess whether the students achieve the expected goals of the learning units. The multiple choice test was constructed following to the table of specification. The method used for gathering content-related evidence of validity was based on the expert's justification. To examine the reliability of test results, the gain item difficulty index (*p-value*), and item discrimination (r) for each item, the test was tried out with 151 lower secondary school students who had studied plant science from Ratwinit Matthayom School.

5.1.2.2 The conceptual status test

The conceptual status test consists of four items in written open-ended format which allowed the students to express their own ideas in writing the essays. The development of test items began with constructing the operational definitions and the indicators, then tasks that could stimulate or reflect expected indicators were constructed. Test items and scoring rubrics were developed. Rubric was adopted to be scoring scale in order to determine whether or not the scientific conception was intelligible, plausible or fruitful to the students. The method used for gathering content-related evidence of validity was based on the expert's justification. To examine the reliability of test results, the gain item difficulty index (*p-value*), and item discrimination (r) for each item, the test was tried out with 47 middle school students who had studied plant science from Rattanakosinsomposh Ladgrabang School, and the students' scores from this examination were analyzed using Cronbach's coefficient alpha (α) to obtain the reliability of the test scores.

5.1.2.3 The student's satisfaction questionnaire

The student's satisfaction questionnaire was used in this study to measure how well the learning activities, instructional media and assessment were favored by the students. Related literature concerning the student's satisfaction toward instruction was reviewed, and the learning units were analyzed to specify the features of the instruction. Then, the statements that match to the features of instruction were written and a rating scale questionnaire was constructed. The questionnaire was examined for the validity by the experts. To examine the reliability of test scores, 47 middle school students who have study plant science from Rattana-kosinsomposh Ladgrabang School tried out the test,

and the students' scores from this examination were analyzed using Cronbach's coefficient alpha (α) to obtain the reliability of survey results.

5.1.3 Conducting field trial study

The purpose of this step was to gain information for improving the quality of the learning units in terms of time allocation and the appropriateness of the instructional sequence, and to set the cutting score for testing the research hypotheses in the confirmatory stage.

The learning units were implemented in one classroom from Rattana-kosinsomposh Ladgrabang School. Fourty-eight lower secondary school students participated in this phase of study. The participating teacher collaborated with the researcher managing the learning activities with co-teaching. Two weeks before the implementation of the learning units, the participating teacher had studied the teaching guide. In addition, an informal meeting was organized in order that the researcher had the opportunity to demonstrate how analogies were introduced to the students.

The learning units were implemented for six weeks. After the instruction, the student's achievement scores and student's conceptual status scores are collected as the learning outcomes of the instruction. These research data also were used for setting the cutting score. The student's satisfaction toward the instruction was collected using the questionnaire.

After finishing each lesson in field trial study, the participating teacher and the researcher had a discussion considering how the learning units could be improved. The results lead to the revision of the learning units based on the teacher's suggestions and classroom observations.

5.2 The confirmatory stage

The purpose of this stage of study were to 1) implement the revised learning units in another classroom to gather data from the student's learning outcomes, classroom observations, and the teacher interview, and 2) analyze data to test the research hypotheses.

5.2.1 Conducting main study

The learning units were implemented in a classroom of Forty-eight seventh grade students at Suratphitaya School during the second semester in 2009 academic year. Data collection included pre-test and post-test of the student's achievement scores and the student's conceptual status scores. The student's satisfaction toward the instruction was collected after the implementation. After two weeks of the main study, the students took the achievement test again as the learning retention test. Classroom observation was documented by the researcher in order to gather qualitative data for the discussion of the results. All of these results were analyzed to evaluate the learning units in the next phase.

5.2.2 Analyzing data to test research hypotheses

The objective of this phase was to analyze data for testing the research hypotheses. The hypotheses suggested that student's mean score from the achievement test and the conceptual status test was significantly higher than the cutting score at the 0.05 level of significance; there was positive correlation between the conceptual status scores and the retention test scores at the 0.05 level of significance; and students' satisfaction towards the instruction was at high level at the 0.05 level of significance. Statistical analysis for testing research hypotheses are as follow:

5.2.2.1 Determination of cutting score

The process of establishing the cutting score follows Berk (1976: 4). The students who had studied through the learning units in the field trial study were defined as the instructed group, while the students who had not yet studied with the learning units in the main study were defined as the uninstructed group. The instructed group scores (posttest scores from the field trial study) and the uninstructed scores (pretest scores from the man study) were used to plot frequency curves to find a optimal cutting scores, then, the range of scores around the point at which the distributions intersected was calculated to obtain the cutting score.

5.2.2.2 Descriptive statistics

Descriptive statistics used in this study were mean and standard deviationfor achievement scores, conceptual status scores, retention scores, and student's satisfaction toward the instruction scores.

5.2.2.3 Inferential statistics

In this study, a *t*-test for one sample at the 0.05 level of significance was used to compare post-test mean scores of the learning achievement, the conceptual status and the student's satisfaction toward the instruction with the criterion scores. A *t*-test for paired samples at the 0.05 level of significance was used to compare pre-test and post-test mean scores of the learning achievement and the conceptual status. This statistic test was also used to compare post-test mean scores of the learning achievement and learning retention. Pearson correlation at the 0.05 level of significance was used to determine the direction and degree of correlation between the conceptual status and the learning retention scores.

6. Conclusion of research results

In this study, data gathered from the preparatory stage included the outcomes of developing the learning units, evaluating instructional materials, and conducting a field trial study. The results of the confirmatory stage study included the results of the student's achievement, student's conceptual status, student's learning retention, student's satisfaction toward the instruction, and results of classroom observations and the teacher's perspective on using analogies in the science classroom.

6.1 The results of preparatory stage

The study in preparatory stage aimed to develop and try out the learning units. The results of this stage, therefore, included the results of analogy verification, the instructional material evaluation, the evaluation of materials for collecting data, the field trial study, and the revision of the learning units.

6.1.1 The result of analogy verification

There were five analogies selected to teach the scientific concepts which were considered as the abstract ideas. Three experts verified those analogies as to whether they were suitable to use in classrooms. The Index of Congruence (IOC) indicated that all of selected analogies were suitable for using in the process of developing the learning units. In addition, there was a suggestion from one of the experts about the possibility of using the student's generated analogies for their own learning.

6.1.2 The results of evaluating the instructional materials

The instructional materials to be evaluated were the teaching and learning guides. They were examined by the experts in terms of their consistency and appropriateness.

For the teaching guide, the experts considered the consistency of the learning objectives, content, the instructional model, the learning activities, and the assessments. Results of this examination were reported in terms of the IOC indexes which were between 0.67-1.00. All elements in the learning units, thus, were consistent with one another. The experts also verified the appropriateness of the teaching guide. The result indicated that most aspects of each unit and overall curriculum were qualified at the high level of appropriateness.

For the learning guide, the experts considered the appropriateness of the learning guide. The results indicated that most aspects of each unit and overall guidebook were qualified at the high level of appropriateness.

6.1.3 The results of evaluating the materials for collecting data

6.1.3.1 Achievement test

After the achievement test had been examined by three experts, 52 items were selected to be tried out with 151 lower secondary school students. Then, 40 items were selected. The p value ranked from 0.24 to 0.78, and the r value ranked from 0.20 to 0.65. The reliability of the test scores which was analyzed by using Cronbach's Alpha was 0.76.

6.1.3.2 Conceptual status test

The experts examined the test items; as a result, one item was revised considering the expert's comments. The test was tried out with 47 middle school students who had participated in the field trial study. After the test had been tried out, the reliability of the test scores which was analyzed by using Cronbach's Alpha was 0.79. In addition, item difficulty index ranked from 0.29 to 0.71, and item discrimination ranked from 0.29 to 0.75.

6.1.3.3 Student's satisfaction toward the instruction

The experts examined the test items; consequently, the statements regarding the assessment aspects of the instruction were revised to be more accurate after consulting with the experts. To examine the reliability of the questionnaire, it

was tried out with 45 middle school students who participated in the field trial study. The reliability of test scores which was analyzed by using Cronbach's Alpha was 0.92.

6.1.4 The results of field trial study

6.1.4.1 Student's learning outcomes

The students' mean score from the achievement test was 20.31. For the conceptual status test, the mean score was 20.04. The result of student's satisfaction toward the instruction was analyzed in three aspects including learning activities, instructional media and assessment. The results indicated that all aspects were favorable to the students at a high level of satisfaction. Moreover, the overall the instruction was favorable to the students at a high level as well.

The result also indicated that comparing a house with cell functions was the most favorite analogy for the students because it was accessible and familiar to the students. The blindfolded children analogy was the least favorite analogy because for the students, it was difficult to understand.

6.1.4.2 The revision of the learning units after field trial study

For the learning guide, it was found that the students had difficulty reading the student text regarding diffusion and osmosis content. Therefore, the text had to be changed to be more accessible to the students. Moreover, the learning objectives had been included at the front page of each learning unit, and chapter review questions had been added at the end of each learning unit. For the teaching guide, the answers for all worksheets and chapter review questions had been included in the guidebook, and some analogy activities had been revised to be suitable for the student's conceptual development.

6.2 The results of confirmatory stage

The study in confirmatory stage aimed to implement the learning units in another classroom to gather data regarding the student's learning outcomes, and to test the research hypotheses. The student's learning outcome included achievement, conceptual status, learning retention, and satisfaction toward the instruction.

6.2.1 The result of student’s achievement

The students' achievement mean score after the instruction using the learning unit was higher than before the instruction at the 0.05 level of significance. This means the students who learned through the learning unit had significantly improved their achievement on the content knowledge. Importantly, all parts of the achievement mean score including the total score were significantly higher than the cutting scores at the 0.05 level of significance. These results supported the first hypothesis.

6.2.2 The result of student’s conceptual status

The students' conceptual status mean score after the instruction using the learning unit was higher than before at the 0.05 level of significance. This means that the students who learned through the learning unit had significantly improved the level of their conceptual status. The student’s score for intelligible condition, plausible condition, and fruitful condition was significantly higher than the cutting score at the 0.05 level of significance. Moreover, student’s conceptual status mean score was significantly higher than the cutting score at the 0.05 level of significance as well. This result supported the second hypothesis. In addition, it was found that conceptual capture mostly happened in students’ learning except for learning osmosis in which conceptual exchange was the major type of conceptual change.

6.2.3 The result of student’s learning retention

The result indicated the students’ learning retention score was not different from the students’ achievement post-test score at the 0.05 level of significance. This finding supported that after learning through the learning unit for two weeks the students still retained their knowledge on plant science. In addition, the Pearson product moment correlation was used to examine the relationship between the student’s learning retention score and student’s conceptual status scores. The result indicated that the Pearson product moment correlation is 0.41 and the correlation was significant at the 0.05 level. This result indicated the moderate correlation between the variables, and also supported the third hypothesis.

6.2.4 The result of student's satisfaction toward the instruction

The result of student's satisfaction toward the instruction was analyzed in three aspects including the learning activities, instructional media and assessment. The result indicated that all aspects including overall satisfaction of the instruction were favorable to the students at a high level of satisfaction at the 0.05 level of significance; therefore, this supported the forth hypothesis.

The result also indicated that the gas diffusion analogical model was the most favorite analogy of the students because it was accessible and the model was interesting for the students. The blindfolded children analogy was their least favorite analogy because, for the students, it was difficult to understand.

6.2.5 The result of classroom observations

Most of the learning activities in this study required the students working in groups and presenting their ideas in classroom discussions. The teacher usually encouraged the students to participate in class with the competition activity. In the analogy activities, the teacher spent so much time comparing the similarity of the analogy and the target concept while, sometimes, the dissimilar features between those was not mentioned. In addition, it was noticed that the students were likely to be more motivated with the analogical models than the other formats.

6.2.6 The result of teacher interview on analogy technique

The teacher showed a positive attitude toward using the analogy to explain scientific ideas. Before participating in this study, the teacher had used analogies several times in teaching science. The analogies had been used to explain not only the biological concepts but also the physical concepts. The teacher agreed that the analogy was a tool for providing accessible explanations to the students, especially when the scientific concept is very difficult and far from the student's experience.

6.2.7 The result of teacher interview on the learning materials

For the learning materials, the teacher liked the student's workbook and the student's texts and preferred to use them for the next semester because these materials contained a rich collection of learning activities and pictures presenting plant structures. Moreover, there were several students' lab reports and students' practices that

are ready to use. For the learning activities, it appeared that the teacher tended to prefer the learning activities with which the teacher was familiar.

7. Discussion

In this study, plant biology learning units incorporated with the analogy technique were developed and implemented with lower secondary students. Based on previous studies on teaching with analogies, it was expected that the students who studied through the learning units would be able to improve their learning achievement, conceptual status, and learning retention. The instruction, moreover, should be favored by the students. From these expectations, the research hypotheses were determined and tested. The research findings showed that after learning through the learning units, the students' scores from the achievement test, the conceptual status test, and the students' satisfaction questionnaire were significantly higher than the criterion scores. In addition, there was no significant difference between achievement scores and retention scores which means the students retained their knowledge even after the instruction for two weeks. There was also the moderate correlation between the conceptual status score and learning retention score. These results supported the research hypotheses. The purpose of the following section is to discuss the results described above.

7.1 Discussion about the result of students' achievement

The research findings showed that the student's post-test mean score was significantly higher than the pre-test mean score. Moreover, the student's post-test mean score was significantly higher than the cutting score in all content including cell structure and function, plant transportation, photosynthesis, plant reproduction, and plant response. It should be noted that only science experimental skills part of the test that could not be gained the cutting score because the students who first were assigned to be in non-master group had experimental skill scores more than the students who first were assigned to be in master group.

The reasons that might account for the improvement of student's achievement score emerged from two features of the learning units: the analogy technique and the learning cycle instructional sequence.

7.1.1 The effect of teaching science with an analogy on student's learning

The improvement of the students' learning achievement can be the result of the analogy technique used in the learning units. In this study, analogies mapped key features from analogs (the familiar concepts) to the target concept (scientific concepts), for example: cooking needs raw materials and energy to produce food (the familiar concepts); photosynthesis also needs raw materials and energy to produce food for plants (scientific concepts). Students are familiar with cooking food in which they need to use energy to make food form raw material. This idea can be transferred to understand photosynthesis where plants also need energy to transform the reactants to the products. One of the reasons why analogies enhanced the student's learning lied in the nature of meaningful learning. Meaningfulness can occur when the students succeed in finding or creating connections between new information and pre-existing knowledge. One way by which these connections are made is through the use of analogies (Pittman, 1999: 1). Glynn and Takahashi (1998: 1129) also claimed that analogies can assist students to build meaningful relations between existing knowledge and the new knowledge to be learned.

Another advantage of using an analogy is that it provides visualization of abstract concepts. Many of the concepts of science are at the micro level. Students cannot use their ideas in long-term memory to make sense of the new scientific concepts at this level. Johnstone (1993:121) suggested that the best strategy to understand this kind of concept is an analogy which has to be carefully thought. Analogical models were used in this study to achieve this purpose. The diffusion model, for example, presented foam particles moving randomly around the glass box. There are collisions between the foam particles and other particles, and the collisions between foam particles and the box wall. This is liked the movement of gas molecules which are random around the space. There are collisions between gas molecules and other molecules, and the collisions between gas molecules and the wall of container. Moreover, the result of the random movement causes foam particles move from the area where there are more particles to the area where are fewer particles. This is like the movement of gas molecules during the diffusion process which are randomly spread from the area where there are more molecules to the area where fewer molecules are. This analogy provided visualization of how gas particles are diffused from one area to another which was the concept in micro level. Also, the physical objects used in this model helped students to construct their mental model regarding the property of gas. Duit (1991:666) also described the benefit of using analogies in science

instruction in that analogies are powerful tools to facilitate the learners' knowledge construction because analogies may provide visualization of the abstract ideas.

Several research studies in the past have been reported the effect of using analogies in science classrooms. Glynn and Takahashi (1998: 1129) conducted an experimental study considering the effect of an analogy-enhanced text on student's learning. The result indicated that sixth graders who studied the analogy text considered the scientific concept to be more understandable than students who studied a control text. Bean;& et al. (1990: 223) also found that students who received instructional combining a pictorial analogy comparing the cell to a factory and an analogical learning guide expressed the comprehension of cell structures and function concepts performed significantly better than students who used only the learning guide. Rule and Furletti (2004:155) compared the use of form and function analogy object boxes to a more traditional lecture and worksheet instruction during a 10th-grade unit on human body systems. This study showed that the use of form and function analogy object boxes significantly improved student performance in learning how human body systems work.

7.1.2 The effect of the learning cycle on student's learning

Part of the explanation that accounted for the improvement of student's learning achievement is the effective use of the learning cycle which structured the learning activities. In this study, the exploration phase of the learning cycle provides the opportunity for students to test their ideas with new experience on plant biology. This phase also leads to the identification of a pattern of the phenomena. The second phase, term introduction, starts with the introduction of new terms which are used to refer to the pattern discovered during exploration. In this study the scientific conceptions in micro level including cell structure and functions, photosynthesis, diffusion and osmosis were be introduced by using the analogy technique. In the last phase, concept application, students apply the new term or thinking pattern to address new problems in the related context.

Lawson (2001: 165) has mentioned the learning cycle as "The approach [learning cycle] has proven effective at helping students construct concepts and conceptual systems as well as develop more effective reasoning patterns." The results from subsequent studies tended to agree with that claim. Dogru-Atay and Tekkaya (2008 :259) investigated the comparative effect of the learning cycle and expository instruction on 8th-grade students' achievement in genetics. The result revealed that learning cycle instruction caused a better acquisition of concepts related to genetics than an expository instruction.

Musheno and Lawson (1999: 23) studied the effect of science texts that were organized based on the learning cycle. The result showed that students who read the learning cycle passage earned higher scores on concept comprehension questions than those who read the traditional passage, at all reasoning levels.

7.1.3 Discussion regarding the problems occurred in the implementation study

There was a consideration on the problem occurred in the learning unit implementation that may affect the result of the student's achievement score especially on science experimental skill. From the result of setting the cutting score, only the science experimental skills part of the test could not gain the cutting score because the students who first were assigned to be in the non-master group had experimental skill scores higher than the students who were first assigned to be in the master group. This result could be interpreted in two ways: the group of students in main study had learned scientific experimental skill substantially before the learning unit implementation, and the implementation in field trial study did not provide enough experiences for students to improve their experimental skills.

Data from classroom observation in main study suggested that the students were familiar with the scientific experiment terms such as, control variable, hypothesis, and testing hypothesis whereas there was not clear evidence that those terms were familiar to the students in field trial study. In addition, the participating teacher in main study appeared to pay attention to teaching scientific skills before the laboratory activity. In the classroom, the teacher asked the students "Do you remember how to formulate hypothesis?" or "the control variable is light, isn't it". This indicated the fact that the students had learnt how to conduct the scientific experiment before the learning unit implementation. Another reason that may contribute to the result of experimental skill was that some laboratory activities had to be changed to demonstration activities. Because of the fact that the students in field trial study had many school activities during the time of learning unit implementation, there was not enough time to conduct every laboratory activity; consequently, the students did not have enough experience to improve their skills. This situation happen to the students in main study as well, but the fact that the teacher focused on teaching science skill resulted in the improvement of student's scientific experimental skills.

In conclusion, the learning units incorporated with the analogy technique could enhance student's achievement to be higher than before the instruction, and higher than the criterion score in all content. The success of learning unit implementation resulted

from learning activities which were organized according to the learning cycle incorporated with the analogy technique. Analogies provided meaningful learning which occurred when the students succeed in finding or creating connections between new information and pre-existing knowledge. Also, they provided visualization of the abstract concepts of scientific concepts at micro level.

7.2 Discussion about the result of students' conceptual status

The research findings indicated that the students had significantly improved their conceptual status after the instruction incorporated with the analogy technique. Moreover, the student's scores for intelligible condition, plausible condition, and fruitful condition were significantly higher than the cutting scores. This result supported previous studies on the role of an analogy in promoting conceptual change which is described as follows:

7.2.1 The role of analogy in promoting conceptual change

In this study, several analogies provided the accessible explanation for some biological ideas such as the function of organelles in cells and how those organelles work together. The house analogy transferred what students know about the functions of rooms or parts of their houses to understand the function of organelles in cell. For example, the kitchen is the place for cooking food is like the chloroplast is the place for cooking food for plants in the process of photosynthesis, or the house owner room is the place the owner lives, and the owner is the one who control all activities in a house like nucleus in that it contains genetic materials that controls all activities in a cell. This analogy provided students the understandable explanation which was in familiar terms. This situation raised the status of the scientific concept because it made the scientific concept more intelligible for the students.

The conceptual change model in science education stated that accommodation of the new conception occurs if the learner is dissatisfied with his or her prior conception and the new conception is intelligible, plausible, and or fruitful. The new conception is intelligible, if its meaning is understood by the student; plausible means that in addition to the student knowing what the conception means, he or she finds the conception believable; the conception is fruitful if it helps the learner solve other problems or suggests new research directions. The extent to which the conception meets these three conditions is

termed the status of a learner's conception (Treagust. 2006: 26). Venville and Treagust (1996: 302) proposed that "the analogy acts as a *sense maker* providing an initial, intelligible idea of the new concept for the learner." In their article, they gave the example of an analogy which helped students to understand the importance of classification of living things. With analogical reasoning, the students transferred what they have already known about supermarket to understand the process of organism classification. In another research study, Harrison and Treagust (1993: 1291) conducted a case study on analogy teaching and they examined student's conceptual understanding on light refraction after the instruction by interviewing the students. The excerpt from student's interview indicated that the analogy make them understand light refraction. The analogy made the scientific concept more intelligible to the students.

7.2.2 Types of conceptual change occurred in class after learning withanalogies

There are two types of conceptual change. The first type has been called weak knowledge restructuring, assimilation, or conceptual capture. The second type has been called strong/radical knowledge restructuring, accommodation, or conceptual exchange (Treagust. 2006: 26). The first kind of conceptual change happens when the students change their ideas from alternative conceptions to be the scientific one. This kind of change is called conceptual exchange. On the other hand, conceptual capture happens when the students already hold the scientific conception and it changes to be more intelligible, plausible and fruitful. In this study, conceptual capture mostly happened in student learning except for learning of osmosis in which conceptual exchange was the major type of conceptual change. This result indicated that the analogy contributed to student's knowledge restructuring in both weak and strong ways.

This result is consistent with the review study conducted by Dagher (1994) which concluded that the contribution of analogies to conceptual change was more level of conceptual capture. The study by Lemberger (1995) also revealed the same conclusion. He studied the relationship between a model-building in problem-solving classroom and conceptual change learning. The method for determining status was non-technical classroom discourse in which the researcher conducted discourse analysis to interpret students' statements. This research found that student statements reflected explicit changes in the status of their conceptions of several important genetic concepts, and this kind of change was called conceptual expansion or conceptual capture.

7.2.3 Discussion regarding the problems occurred in the implementation study

As mentioned before, conceptual exchange mostly occurred in learning osmosis because the students had changed their conceptions from the alternative conceptions to the scientific one. Nevertheless, it should be noted that many students had not changed their alternative conceptions, and some students even changed their conceptions from the correct understanding to the alternative conceptions. The explanations that may account for these results included the limitation of time, student's analogical reasoning, and the misinterpretation of analogies that came from the limitations of the model.

In main study, the osmosis analogical model was presented to the students in a limit of time. The students who were able to understand the model could develop the concept of osmosis correctly, and might have changed their conception to be the scientific one. Unfortunately, the students who had not yet understood that relationship were not able to understand the osmosis concept; as a result, their conceptions had not changed. When students learn with analogies, there should be enough time for them to connect the relationship between the scientific idea (a target) and the example to be compared (an analog). From the results of students ranking their favorite analogy (presented more detail later in the satisfaction toward the instruction session), they understood the scientific conception when they were able to understand the similarity between the target and the analog. Therefore, the students must have enough time to make that connection.

The results also indicated that in an equal amount of time, some students could understand the analogy, but the others could not. That means that the student's analogical reasoning should be taken into consideration in this discussion. Duit (1991: 654-655) reviewed empirical studies on analogical reasoning that have been carried out both in psychology and science education. The conclusion was that analogical reasoning can facilitate learning and problem solving. However, the attempt to use an analogy in a learning situation may not work if students lack of the ability to see the similarity between the analog and target concept. In other words, the analogy did not work if analogical reasoning did not happen. In this study, the students did not have the opportunity to practice their analogical reasoning before the lesson began. Although the comparison between the analog and the target had been made explicitly in the classroom, but there was not enough information about student's ability to think analogically. Therefore, it was possible that student's understanding on the relationship drawn from the analog to the

target depended on their analogical reasoning skill. Further research should be conducted concerning this issue. In addition to the student's ability to understand the analogy, the limitation of analogy itself can cause the negative result.

Although the osmosis model could be an effective learning tool for students to understand scientific concepts, there was concern about the limitation of the model regarding the unshared attributes. Specifically, water particles move freely along side of the others while the beads representing water particles in this model cannot move without assistance by shaking the model. This analogy could cause the students misinterpretations that the water particles cannot move as well, or some students might be confused because the "static" beads did not like the "dynamic" water. Harrison and Treagust (2006: 20) suggested that all analogies break down somewhere and result in alternative conceptions when the students interpret analogies on their own. In dynamic classroom setting, many interruptions could occur all the time; consequently, the unshared attributes of the analogy might not be stated clearly. Alternative conceptions could arise from this misinterpretation. In this study, it was found that some students changed their conceptions from the correct understanding to the alternative conceptions. Even though there was not any clear evidence suggesting that those alternative conceptions came from the misinterpretation of the analogy, but we should be aware of this possibility every time analogies are used in teaching science.

Research, in the past, suggested the instructional models to be used for teaching science with analogies. Venvile (2008: 25) proposed a model for presenting science analogies called the Focus, Action, and Reflection (FAR) guide. The purpose of this model is to help teachers maximize the benefits and minimize the problems when analogies are used in classrooms. For the meaning of Focus, teachers should consider the scientific concept as to whether or not it is difficult for the students and whether or not they have alternative conceptions regarding to this concept. Teachers also must consider whether the students are familiar with the example or analog to be compared. In the Action phase of analogical teaching, the teacher gives attention to the similarities and dissimilarities of the analog and the target. To achieve this purpose, similarities are explicitly drawn between the features of the analog and target. Various methods can be used to help the students understand the attributes that the target concept and the analog have in common, such as classroom discussion, argumentation, or negotiation. In addition to the mapping of shared attributes, the ways that the analog and target are unlike are also identified. The limitations of the analogy must be stated in a classroom explicitly so that students do not extend the

analogy beyond its usefulness. Following the presentation of the analogy, the Reflection phase takes place in order that the teacher could reflect the clarity and usefulness of the analog as well as the conclusions drawn from it. The usefulness of this model is to assure that the students understand the scientific concepts, and do not develop alternative conceptions from the analogy.

In conclusion, an analogy technique had contribution to the conceptual change learning in several ways. The analogy could make the scientific concepts intelligible to the students. This was the initial condition that the conceptual status could be raised. The result from conceptual status analysis in this study suggested that conceptual capture mostly happened in student learning because the status of scientific concepts had been raised. The analogical model also provided visualization for the abstract concepts, and made them more intelligible and plausible. However, there was the limitation of the analogy when there was not enough time for students to develop the analogical relation between the analog and the target. Also, the misinterpretation of the analogy that comes from the limitation of the analogy can cause negative results on student learning.

7.3 Discussion about the result of the students' learning retention

The research finding considering students' learning retention showed that there is no evidence that students' learning retention score was significantly different to the students' achievement. This finding indicated that after learning through the learning unit for 2 weeks the students still retained their knowledge on plant science. It should be noted that, according to school schedule, the time when the students took the retention test was closed to the final examination. Therefore, it was possible that the retention test scores were the result from not only the instruction incorporated with analogies but also the student's preparation for the final examination.

Although it was not able to make a clear conclusion about the analogy resulted in the learning retention from this study, the previous study elsewhere supported the effect of analogies on knowledge retention. Glynn and Takahashi (1995: 1129) studied the role of elaborate analogy in students' learning and retention cell biology. The elaborate analogy had both graphic and text components that integrated and mapped key features from an analog (a factory) to the target concept (an animal cell). The results of the experiment showed that eighth graders who studied an analogy-enhanced text had greater two-week recall of cell part functions than students who studied a control text. In Addition, sixth

graders who studied an analogy-enhance text considered the target concept to be more understandable than students who studied a control text. Glynn and Takahashi (1995: 1129) concluded that the analogy mapped a familiar, concrete schema onto that of the target concept, making the target concept more understandable and memorable.

These research findings can be explained according to the theories of remembering and forgetting which includes the components of memory and separate-store model. Andrade and May (2004: 59) defined memory as the process by which we acquire, record or encode information, store information in an accessible format, and retrieve that information later. Houston (1991: 254) described more details about each processes that encoding refers to the process by which the nervous system develops a representation of an external stimulus while storage refers to the persistence of encoded materials overtime, and finally, retrieval refers to the utilization of this stored information. It is possible that the analogies help students to construct internal representation through analogical thinking. Once the internal representation was constructed meaningfully, it can be easily retrieved later even after the instruction for two weeks.

The Pearson product moment correlation was used to examine relationship between student's achievement score after two weeks of the instruction and student's conceptual status scores. The result indicated that the Pearson product moment correlation is 0.41 and the correlation was significant at the 0.05 level. This result displayed the important feature of learning for conceptual change. The students who gained a high level of conceptual status tended to retain their knowledge even after the instruction. It is also possible to infer that the concept that gains high status is information in a meaning-based format; therefore, it is connected to the knowledge structure in long-term memory.

In conclusion, the learning retention was the result from both the analogies and also the student's preparation for the final examination. The analogies help students to construct meaningful representations through analogical thinking; therefore, they can be retrieved even after the instruction for two weeks. The learning retention was also correlated with the status of conceptions. This result suggested that the high status concepts were memorable for the students.

7.4 Discussion about the student's satisfaction toward the instruction

Data collected from the student's satisfaction toward the instruction questionnaire revealed how well all elements in the learning units were favorable to the students. The questionnaire was also included favorite ranking for the analogies used in this study. The result indicated that all aspects including overall satisfaction of the instruction were favorable to the students at a high level of satisfaction.

Several reasons may account for the positive satisfaction of the students after learning through the learning units. For the learning activities, they were organized according to the learning cycle instructional model incorporated with an analogy technique. The students tended to like learning with hand-on activities which were included in the learning units. From classroom observation data, the students were engaged in the learning activities that included laboratories or demonstrations. The level of satisfaction toward the analogy activities was also at a high level for every analogy used in this study. One possible explanation is that analogies provided a learning context for students to understand the new concepts in everyday terms (Taylor; & Coll. 2008: 32). This context made learning science more accessible to the students. Scientific concepts, in certain levels, are abstract and far from the student's experiences. For example, the students could observe cell structure via a light microscope; however, it might be difficult for the students to understand how organelles work together to maintain cell process. Comparing a cell with a house provided the students an accessible explanation with a familiar context; consequently, they might feel more comfortable and be satisfied to study the scientific ideas. The evidence for this claim was the student's response that their most favorite analogy in field trial study was the comparison between a house and a cell because it was familiar to the students and it made the scientific concept more accessible. The student's response in main study also revealed the advantage of the analogical model in term of its visualization aspect.

It should be noted that the least favorite analogy for the students was the blindfolded children walking analogy. Most of the students gave the reason that this analogy was difficult and they did not have an opportunity to act like the analogy. The blindfolded children walking analogy was a personal analogy that used a people activity to compare with the abstract process of particle movement, and it was presented in animation and pictorial formats. From several students' suggestions in the satisfaction questionnaire, it can be inferred that this analogy should be a role play activity as they responsed: "I didn't like it

because we didn't act liked the analogy by walking around our room". This result revealed the disadvantage of using an analogy when the students are not involved in the analogy activity, and they cannot make the analogical relationship between the analog concept and the target concept.

Interestingly, the osmosis model gained high level of satisfaction for the students, but the status analysis indicated the students' difficulty to understand this concept. The reason that might explain this result is that some students were interested in this model but they did not understand the analogy completely. Therefore, if using this model there needs to be more awareness from the teacher to assure that the students develop a correct understanding for the scientific concept.

In conclusion, all aspects of the instruction including the analogies were favorable to the students at a high level of satisfaction because analogies made learning science more accessible to the students. Moreover, the students tend to be attracted to the analogy that provides the physical reality such as the diffusion model.

7.5 Discussion about the teacher's perspective on teaching science with analogy

The teacher showed a positive attitude toward using analogies to explain scientific ideas. The teacher had used analogies several times in teaching science. The analogies were used to explain not only the biological concepts but also the physical concepts. The teacher used the idea of the structure of the ocean and island to compare with the cell. This analogy focused on the similarity of structure more than the one of function. This similarity is what Curtis and Reigeluth (1984: 103) called structural relationship, one kind of the analogical relationship. In their article, analogical relationships were categorized into three groups which were structural relationship (the target concept and the analog have the same physical appearance), functional relationship (the target concept and the analog share similar function), and structural-functional relationship (the analogy combines both structural and functional relationship). Curtis and Reigeluth (1984: 104) argued that analogies that provide structural-functional relationship are the most effective because there are few limitations or dissimilar features between the analog and the target.

The teacher also used analogy as the assessment tool to examine student's understanding. In the quiz question, the students were asked to compare the similarity between cell structure and the ocean. This finding reflects the teacher believes that the students can express their understanding on the scientific content through analogical reasoning. In addition, using analogy as the assessment can diagnose student's misunderstanding about the target concept. Pittman (1999: 18-19) also agreed with this point in that student's misunderstandings which were related to alternative conceptions could be elicited by student-generated analogies; therefore this kind of analogy can be the tool for the science educator to indentify and address student's alternative conceptions.

In conclusion, research findings has shown that the learning units incorporated with analogy techniques were able to significantly improve the student's learning outcomes including learning achievement, conceptual status and learning retention. Moreover, the student's satisfaction toward the instruction in the learning units was at a high level. Several reasons were proposed to explain these findings, especially the effects of analogy teaching on student's learning science. The limitation of using analogies was also described, and the systematic approach for planning the analogy technique was suggested. The following section describes the recommendations derived from research findings and discussion.

8. Recommendations

From the research findings, the learning units incorporated with the analogy technique were able to enhance students' learning which included improving the student's learning achievement, raising the student's conceptual status, and retaining knowledge. Furthermore, the level of satisfaction toward the instruction was high. To utilize these findings, several recommendations were proposed including the recommendation for classroom practice, school administration, and further studies.

8.1 Recommendations for classroom practice.

Recommendations for classroom practice concern about how teachers might use analogies to be part of their instruction. The suggestions are as follow:

8.1.1 Using analogies to explain abstract concepts

The results of this study provided the evidence that analogies could help students to understand abstract concepts such as cell functions, photosynthesis, diffusion

and osmosis. To understand these concepts, the students need to construct mental model or internal representation in their mind because these concepts cannot be seen. The teacher can use analogies to provide concrete examples (analog) connecting what the students are familiar with to the unfamiliar concepts (target). In this study, for example, cooking food was used as the analog comparing it with photosynthesis. Students are familiar with cooking food in which they need to use energy to make food from raw materials. This idea can be transferred to understand photosynthesis that also needs energy to transform the reactants into the products.

There is probably a concern when the analogies should be incorporated into the instruction. The research findings suggested that the analogies should be used to explain scientific ideas after the exploration process. After the students have explored scientific evidence through the laboratory or demonstrations, they need to find out the explanations behind that evidence. Even though the lab phenomena is familiar to the students, its explanation might be difficult; for example, observing starch accumulation in a leaf is an easy task but explaining why some parts of the leaf do not have starch is much more difficult. Analogies can provide an accessible explanation for the students; therefore, they can connect the evidence to the scientific explanation. Several analogies are available in this study that the teacher can use directly or apply to specific contexts.

Finally, the teacher should be aware of the disadvantages of using an analogy in a classroom. The research findings suggested that an analogy might not help students understand the target concept, if they are not involve in the activity, and can not make sense of the analogical relationships between the analog and the target.

8.1.2 Using analogies as a tool for accessing student understanding

Some parts of learning activities in the learning units encouraged the students to generate their own analogies in order to explain scientific concepts they had learnt. It was found that this activity could provide the opportunities for the students to reflect on their understanding; therefore, it can be a tool for accessing student understanding. After learning scientific ideas, the teacher might have the students develop their own analogies. The student can work individually or co-operate with the others in a group, and they should have opportunities to discuss how the analog is liked or not liked the target.

8.2 Recommendations for professional development program

The findings of this study can be useful for professional development programs for both pre-service and in-service teachers. The systematic model for using analogies in science classrooms such as TWA model used in this study or FAR guide (Venvile, 2008: 25) can be integrated in the program to inform pre-service teacher how analogies can be used effectively in classrooms. Research finding also indicated that the experienced teacher had used analogies regularly in teaching science. Professional development programs for in-service teachers might be useful if they have opportunities to share the ideas for the successful analogies used in their class.

8.3 Recommendation for the school administration

For the school administration that might intend to implement the learning units incorporated with analogy techniques, it was important to prepare the teachers to incorporate analogy technique into their instruction. The instructional materials and guidelines for using them need to be prepared in order that the teachers can use them effectively in class. These materials include analogies in the student's text, pictorial analogies, and analogical models. Workshop might be organized to demonstrate how those materials should be used in classrooms and to share the ideas of using analogies in the science classroom with the teacher. The research findings showed that teachers used analogies several times in their class; therefore, they can share those analogies with each other to improve the way analogies are used in science classrooms.

8.4 Recommendation for curriculum developers

For curriculum developers, some issues might be taken into the consideration when the curriculum is developed and implemented in classrooms. In this study, the learning units were developed by the researcher and the experts in science education, and then the final drafts were implemented in classrooms. There were some difficulties for the participating teachers to adjust their teaching to follow the learning units. Teacher's prior knowledge on both content knowledge and pedagogical knowledge was influential on how the learning units were implemented in classrooms. The learning activities that were not familiar to the teachers tended to be ignored or were adjusted based on the teacher experiences. To develop effective curriculum, therefore, the curriculum developers should invite teachers to participate in the process of curriculum alignment and materials selection.

Loucks-Horsley, Love, Stiles, Mundry; & Hewson (2003) suggested that curriculum alignment and instructional materials selection is a collaborative activity, and teachers are essential participants in that process including the implementation of those materials.

8.5 Recommendations for further studies

To study the contribution of analogies to learning science in the future, some recommendations have been propose according to the findings of this study. These include the extension to different content, the effect of the analogy teaching on levels of conceptual change comparing with another approach, the student-generated analogies as the assessment tool, and the effect of analogical reasoning on student's learning from analogies. The details of these recommendations are as follow:

- The results of this study suggested that incorporating analogy techniques into the curriculum can enhance students' learning on plant science. There are other abstract ideas related to biology content such as genetics, human physiology, or ecology, and these concepts can be taught using analogies. For the curriculum developer, the research methodology of this study can be applied to develop learning units on different contents.

- The level of conceptual change after learning with analogy had been reported from the conceptual status test as first time in this study; however, it is still unknown for other instructional approaches. The further study should examine the change of student's conceptual status after learning with another approach. The study can be conducted in terms of a comparison study between analogy technique and another instructional approaches.

- Student-generated analogies had been incorporated into the learning units in this study as the learning activities, and there were no standard criteria to evaluate those analogies. The further research can fill this gap by taking major consideration of the analogies as the assessment tool. The standard criteria should be developed to evaluate level of students' understanding of scientific concepts.

- The student's analogical reasoning should be studied in dept to explore its effect on the student's learning from analogies. The students who have higher analogical reasoning might gain the advantages of learning from analogies more than ones who have lower analogical reasoning. To conduct study in this topic, the analogical reasoning test should be used to determine students' analogical reasoning before the instruction.

BIBLIOGRAPHY

BIBLIOGRAPHY

Abraham, Michael R.; & Renner, John W. (1986, January). The Sequence of Learning Cycle Activities in High School Chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*. 23(2): 121-43.

Aleixandre, Maria Pilar Jimenez ; et al. (1996). The Nature of Knowledge in Biology and Its Implications for Teaching and Learning. In *Knowledge Acquisition, Organization and Use in Biology*. Fisher, Kathleen M.; & Kibby, Michael R.,editors. pp. 1-24. Germany: Springer-Verlay Berlin Heidelberg.

Anderson, John. (1995). Learning and Memory: An Integrated Approach. Singapore: John Wiley & Sons.

Andrade, Jackie.; & May, John. (2004). *Instant Notes: Cognitive Psychology*. New York: Garland Science/BIOS Scientific Publishers.

Aron, Arthur ; & Aron, Elaine N. (2003). Statistics for Psychology. 3rd ed. New Jersey: Pearson Education.

Balci,Sibel; Cakiroglu, Jale; & Tekkaya, Ceren. (2006, May). Engagement, exploration, explanation, extension, and evaluation (5E) learning cycle and conceptual change text as learning tools. Biochemistry and Molecular Biology Education 34 (3): 199 - 203

Barman, Charles R.; et. Al. (2006, February). Students' Ideas About Plants & Plant Growth. *The American Biology Teacher*. 68(2): 73-79.

Bean, Thomas W.; et. al. (1990, March/April). Learning Concepts from Biology Text Through Pictorial Analogies and an Analogical Study Guide. *The Journal of Educational Research*. 83(4): 233-237.

Berk, A. R. (1976, Winter). Determination of optional cutting scores in criterion-referenced measurement. Journal of Experimental Education. 45(2): 4-9.

Betrancourt, Mireille.; & Chassot, Alain. (2008). Making Sense of Animation: How do Children Explore Multimedia Instruction? In *Learning with Animation: Research Implications for Design*. Lowe, Richard; & Schnotz, Wolfgang. editors. pp.30-48. New York: Cambridge University Press.

Bransford, John D.; Brown, Ann L.; & Cocking, Rodney R. (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School* (Expanded ed.). Washington, DC: National Academy Press.

Bransford, John D.; & Donovan, M. Susanne. (2005). *How Student Learn: Science in Classroom*. Washington, DC: National Academy Press.

Chatterji, Madhabi. (2003). Designing and Using Tools for Educational Assessment. Boston: Pearson Education.

Coll, Richard K. (2005, Februry). The Role of Models/and Analogies in Science Education: Implications from Research. *International Journal of Science Education*. 27(2): 183-198.

Curtis Ruth V.; & Reigeluth, Charles M. (1984, January). The Use of Analogies in Written Text. *Instructional Science*. 13(2): 99-117.

Dagher, Zoubeida R. (1994, November). Does the Use of Analogies Contribute to Conceptual Change? *Science Education*. 78(6): 601-614.

_____. (1998). The Case for Analogies in Teaching Science for Understanding. In *Teaching Science for Understanding*. Mintzes, Joel J.; Wandersee, James H.; & Novak, Joseph D, editors. pp. 195-211. California: Academic Press.

Dogru-Atay, Pinar; & Tekkaya, Ceren. (2008, Spring). Promoting Students' Learning in Genetics With the Learning Cycle. *The Journal of Experimental Education*. 76(3): 259–280

Driver, Rosalind. (1994). *Making Sense of Secondary Science: Research into Children's ideas.* London; New York: Routledge.

Duit, Reinders. (1991, January). On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*. 75(6): 649-672.

Duit, Reinders.; & Treagust, David F. (2003, January). Conceptual Change: A Powerful Framework for Improving Science Teaching and Learning. *International Journal of Science Education*. 25(6): 671-688.

Fortman, John J. (1993, August). Pictorial Analogies VII: Quantum Numbers and Orbitals. *Journal of Chemical Education*. 70(8): 649-650.

Gall, Meredith D.; Borg, Walter R.; & Gall, Joyce P. (1996). Educational Research: An Introduction. New York: Longman.

Glynn, Shawn.; Duit, Reinders.; & Thiele, Rodney B. (1995). Teaching Science with Analogies: A Strategy for Constructing Knowledge. In *Learning science in schools: Research reforming practice*. Glynn, Shawn.; & Duit, Reinders, editors. pp. 247–243. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Glynn, Shawn M.; & Takahashi, Tomone. (1998). Learning from Analogy-Enhanced Science Text. *Journal of Research in Science Teaching*. 35(10): 1129-1149.

Harrison, Allan G. (2008). Teaching With Analogies: Friends of Foes? In *Using Analogies in Middle and Secondary Science Classrooms*. Harrison, Allan G.; & Coll, Richard K., editors. pp. 6-21. California: Corwin Press.

Harrison, Allan G.;& De Jong, Onno. (2005, December). Exploring the Use of Multiple Analogical Models When Teaching and Learning Chemical Equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching.* 42(10): 1135-1159.

Harrison, Allan G.; & Treagust, David F. (1993, December). Teaching with Analogies: A Case Study in Grade-10 Optics. *Journal of Research in Science Teaching*. 30(10): 1291-1307.

----------. (2001, January). Conceptual change using multiple interpretive perspectives: Two case studies in secondary school chemistry. *Instructional Science* 29: 45–85

----------. (2006). Teaching and Learning with Analogy. In *Metaphor and Analogy in Science Education*. Aubusson, Peter J.; Harrison, Allan G.; & Ritchie,Stephen M. Netherlands: Springer.

Haslam, Filocha.; & Treagust, David F. (1987, Fall). Diagnosing Secondary Students' Misconceptions of Photosynthesis and Respiration in Plants Using a Two-Tier Multiple- Choice Instrument. *Journal of Biological Education*. 21(3): 203-211.

Hennessey, Mary Gertrude. (1991). *Analysis of conceptual change and status change in sixth - graders' concepts of force and motion*. Dissertation, Ph.D. Wisconsin: The University of Wisconsin – Madison. Photocopied.

Hewson, P.W., Beeth, M.E.,& Thorley, N.R. (1998). Teaching for Conceptual Change. In *International Handbook of Science Education.* Tobin, Kenneth George.; & Fraser, Barry J., editors. pp. 199-218. Dordrecht, Netherlands: Kluwer.

Hewson , P.W., & Hewson, M.G.A.B. (1992). The status of Students' conceptions. In *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. Duit, Reinders.; Goldberg Fred M.; Niedderer, Hans, editors. pp. 59–73. Kiel, Germany: Institute for Science Education.

Hewson, P.W., & Thorley, N.R. (1989, January). The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*. 11(5): 541-53.

Houston, John P. (1991). *Fundamentals of Learning and Memory.* 4th ed. New York: Harcourt Brace Jovanovich.

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: Mahasarakham University. Photocopied.

Johnstone, A.H. (1993). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. In *Teaching Learning and Assessment in Science Education.* Edwards, Dee; Scanlon, Eileen; & West, Dick. editors. pp. 113-123. London: The Open University.

Kerlinger, N.F.; & Lee, B.T. (2000). Foundations of Behavioral Research. 4th ed. Florida: Harcourt.

Lai, Shu-Ling. (1998, January). The Effects of Visual Display on Analogies Using Computer Based Learning. *International Journal of Instructional Media.* 25(2): 151-160.

Laney, James D. (1989, March/April). Experience-and Concept-Label-Type Effects on First-Graders' Learning: Retention of Economic Concepts. *Journal of Educational Research*. 82(4): 231-236.

Lawson, Anton E. (2002). *Science Teaching and Development of Thinking*. California: Thomson Learning.

Lemberger, John S. (1995). The Relationship Between a Model-Building Problem-Solving Classroom and Conceptual Change Learning. Dissertation, Ph.D. Wisconsin: The University of Wisconsin – Madison. Photocopied.

Loucks-Horsley, Susan.; Love, Nancy.; Stiles, Katherine E.; Mundry, Susan.; & Hewson, Peter W. (2003). *Designing Professional Development for Teachers of Science and Mathematics*. California: Corwin Press, Inc.

Marmaroti, Panagiota.;& Galanopoulou, Dia. (2006, March). Pupils' understanding of Photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects. *International Journal of Science Education*. 28(4): 383-403.

Mayer, Richard E. (2008). Research-Based Principles for Learning with Animation. In *Learning with Animation: Research Implications for Design*. Lowe, Richard; & Schnotz, Wolfgang, editors, pp.30-48. New York: Cambridge University Press.

Mehrens, William A.; & Lehmann, Irvin J. (1984). Measurement and Evaluation in Educational and Psychology. 3 rd edition. Japan: Holt, Rinehart and Winston.

Michaels, Sarah.; Shouse, Andrew W.; & Schweingryber, Heidi A. (2008). *Ready,Set,Science!: Putting Research to Work in K-8 Science Classrooms*. Washington, D.C.: The national Academics Press.

Milheim, William D. (1993). How to Use Animation in Computer Assisted Learning. British Journal of Educational Technology. 24(3): 171-173.

Musheno, Birgit V.; & Lawson, Anton E. (1999, January). Effects of learning cycle and traditional text on comprehension of science concepts by students at differing reasoning levels. Journal of Research in Science Teaching. 36(1): 23-37

Osterlind, Steven J. (1998). Constructing Test Items: Multiple-Choice, Constructed-Response, Performance, and Other Formats. 2nd edition. Boston: Kluwer Academic Press.

Ozden, Muhammet; & Gultekin, Mehmet. (2008). The Effects of Brain-Based Learning on Academic Achievement and Retention of Knowledge in Science Course. *Electronic Journal of Science Education.* 12(1) :1-17. Retrieved from http://ejse.southwestern.edu

Payne, David A. (1974). *The Assessment of Learning: Cognitive and Affective.* Canada: D.C. Heath and Company.

Pintrich, Paul., & et. al. (1993, January). Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*. 63(2): 167-199.

Popham, James W. (1993). Educational Evaluation. 3rd ed. Boston: Allyn and Bacon

Posner, George., & et. al. (1982, April). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*. 66(2): 211-227.

Renner, John. W.; Abraham, Michael R.; & Birnie, Howard H. (1988, January). The Necessity of Each Phase of the Learning Cycle in Teaching High School Physics. *Journal of Research in Science Teaching*. 25(1): 39-58.

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: Mahasarakham University. Photocopied.

Rule, Audrey C.; & Furletti, Charles. (2004, April). Using Form and Function Analogy Object Boxes to Teach Human Body Systems. *School Science and Mathematics*. 104(4):155-169

Sax, Gilbert. (1974). The Use of Standardized Tests in Evaluation. In *Evaluation in Education : Current Application.* Popham, W. James. editor. pp. 243-308. California: McCutchan.

Schollum, Brendan; & Osborne, Roger. (1985). Relating the New to the Familiar. In *Learning in science: The Implications of Children's Science*. Freyberg, Peter; & Osborne, Roger. editors. New Hampshire: Heinemann.

Scott, Phil.; Asoko, Hlary.; & Leach, John. (2007). Student conceptions and conceptual learning in science. In *Handbook of Research on Science Education*. Abell,Sandra K.; & Lederman, Norman G., editors. pp. 31-56. Mahwah, New York: Lawrence Erlbaum Associates.

Smaldino, Sharon E., & et. al. (2005). Instructional Technology and Media for Learning. 8th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Stavy, Ruth.; Eisen, Yehudit.; & Yaakobi, Duba. (1987, January). How students aged 13-15 understand photosynthesis. *International Journal of Science Education.* 9(1): 105-115.

Sunal, D. W., & Sunal, C. S. (2003). *Teaching elementary and middle school science.* Columbus, OH: Merrill Prentice Hall.

Tanaprayothsak, Wanida. (2005). The Development of High School Science Curriculum on Natural Resources and Environmental Pollution Related to Real-Life Issues Based on Inquiry Cycle Approach. Dissertation. Ed.D. Bangkok: Srinakharinwirot University. Photocopied.

Taweerat, P. (1997). *The Methodology of behavioral and social research*. 7th ed. Bangkok: Srinakarinwirot University.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (n.d.). National Science Curriculum Standards: The Basic Education Curriculum B.E.2544. Retrieved from kroo.ipst.ac.th/ipst/eng/curriculum/ScienceCurriculum.pdf

Thorley, Noel Richard. (1990). The Role of the Conceptual Change Model in the Interpretation of Classroom Interactions. Dissertation, Ph.D. Wisconsin: The University of Wisconsin – Madison. Photocopied.

Treagust, David F. (1993, December). The Evolution of An Approach for Using Analogies in Teaching and Learning Science. *Research in Science Education*. 23(1) : 293-301.

Treagust, David F. (2006). Conceptual Change as a Viable Approach to Understanding Student Learning in Science. In *Teaching and Learning Science: A Handbook*. Tobin, Kenneth G. editor. Westport: Praeger Publishers.

Tsai, Chin-Chung. (1999, March). Overcoming Junior High School Students' Misconceptions About Microscopic Views of Phase Change: A Study of an Analogy Activity. *Journal of Science Education and Technology*. 8(1): 83-91.

Tsui, Chi-Yan., & Treagust, David F. (2007, February). Understanding Genetics: Analysis of Secondary Students' Conceptual Status. *Journal of Research in Science Teaching*. 44(2). 205-235.

Tyson, Louise.; et. Al. (1997, January). A Multidimensional Framework for Interpreting Conceptual Change Events in the Classroom. *Science Education*. 81(4): 387-404.

Venville, Grady. J. (2008). The Focus-Action-Reflection (FAR) Guide-Science Teaching Analogies. In *Using Analogies in Middle and Secondary Science Classrooms*. Harrison, Allan G.; & Coll, Richard K., editors. pp. 22-31. California: Corwin Press.

Venville, Grady. J.; & Treagust, David. (1996, July). The role of analogies in promoting conceptual change in biology. *Instructional Science*. 24(4): 295-320.

Wandersee, James. H.; Mintzes, Joel.J.;& Novak, Joseph.D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In *Handbook of research on science teaching and learning*. Gabel,Dorothy. editor. pp. 177–210. New York: Macmillan.

Westbrook, Susan L.; & Marek, Edmund A. (1991, October). A Cross-Age Study of Student Understanding of the Concept of Diffusion. *Journal of Research in Science Teaching*. 28(8): 649-660.

APPENDIX

APPENDIX A

The Lists of Participants

The list of experts who evaluated the analogies for using in classroom

1. Dr. La-aw Ampornpan
   Biology Department, Srinakharinwirot University
2. Assist. Prof. Dr. Sompop Intasuwan
   Biology Department Thaksin University
3. Assoc. Prof. Dr. Therachai Puranajoti

The list of experts who evaluated the learning unit documents

1. Dr. La-aw Ampornpan
   Biology Department, Srinakharinwirot University
2. Assist. Prof. Dr. Sompop Intasuwan
   Biology Department Thaksin University
3. Mr. Pongsatorn Chalermterm
   Rattanakosinsomposh Ladgrabang School

The list of experts who evaluated the research materials for collecting data

1. Dr. La-aw Ampornpan
   Biology Department, Srinakharinwirot University
2. Assoc. Prof. Dr. Supachitra Chadchawan
   Botany Department, Chulalongkorn University
3. Dr. Wanida Tanaprayothsak
   The Institute for The Promotion of Teaching Science and Technology
4. Miss Yuwarin Thanakanya
   Educational and Psychological Test Bureau, Srinakharinwirot University
5. Dr. Suwaporn Semheng
   Faculty of Education, Srinakharinwirot University

The list of teachers and schools participating in the research study

1. Participants during the development of material for collecting data
   Miss Laddawan Pichlerdcharn
   Rachawinit Mattayom School
2. Participants during field trial study
   Mrs. Chanakarn Sripontan
   Rattanakosinsomposh Ladgrabang School.
3. Participants during main study
   Mrs. Arpa Samuang
   Suratpittaya School

APPENDIX B

The Results of Research Material Evaluation

TABLE 29 EVALUATION OF THE TEACHING GUIDE APPROPRIATENESS

list of evaluation	$\overline{X}$	S.D	level of appropriateness
unit 1 : cell			
1. The learning objectives are appropriate to student's age.	4.67	0.58	high
2. The learning activities are appropriate to the development of student's behavior.	4.33	0.58	high
3. The sequence of activities is appropriate.	4.33	0.58	high
4. Time allocation is appropriate.	4.00	0	high
5. The content is appropriate to student's age.	4.33	0.58	high
6. The content covers the knowledge that students should acquire.	4.67	0.58	high
7. The student's assessment is appropriate.	4.33	0.58	high
unit 2 : plant structure and transportation in plant			
1. The learning objectives are appropriate to student's age.	5.00	0	high
2. The learning activities are appropriate to the development of student's behavior.	4.33	0.58	high
3. The sequence of activities is appropriate.	4.67	0.58	high
4. Time allocation is appropriate.	4.33	0.58	high
5. The content is appropriate to student's age.	4.33	0.58	high
6. The content covers the knowledge that students should acquire.	4.67	0.58	high
7. The student's assessment is appropriate.	4.67	0.58	high
unit 3 : Photosynthesis			
1. The learning objectives are appropriate to student's age.	4.33	0.58	high
2. The learning activities are appropriate to the development of student's behavior.	4.33	0.58	high
3. The sequence of activities is appropriate.	4.67	0.58	high
4. Time allocation is appropriate.	4.33	0.58	high
5. The content is appropriate to student's age.	4.33	0.58	high
6. The content covers the knowledge that students should acquire.	4.33	0.58	high
7. The student's assessment is appropriate.	4.33	0.58	high

TABLE 29 (Continued)

list of evaluation	$\overline{X}$	S.D	level of appropriateness
unit 4 : plant reproduction 1.The learning objectives are appropriate to student's age.	5.00	0	highest
2. The learning activities are appropriate to the development of student's behavior.	4.67	0.58	high
3. The sequence of activities is appropriate.	4.33	0.58	high
4. Time allocation is appropriate.	4.33	0.58	high
5. The content is appropriate to student's age.	4.67	0.58	high
6. The content covers the knowledge that students should acquire.	4.33	0.58	high
7. The student's assessment is appropriate.	4.33	0.58	high
unit 5 : plant response 1.The learning objectives are appropriate to student's age.	5.00	0	highest
2. The learning activities are appropriate to the development of student's behavior.	4.33	0.58	high
3. The sequence of activities is appropriate.	4.33	0.58	high
4. Time allocation is appropriate.	4.33	0.58	high
5. The content is appropriate to student's age.	4.67	0.58	high
6. The content covers the knowledge that student should acquire.	4.67	0.58	high
7. The student's assessment is appropriate.	4.33	0.58	high

TABLE 30 OVERALL EVALUATION OF THE TEACHING GUIDE APPROPRIATENESS

list of evaluation	$\overline{X}$	S.D	level of appropriateness
1. The background of learning units development is appropriate to the current need.	4.33	0.58	high
2. The guideline for using the learning units is appropriate for classroom practice.	4.33	0.58	High
3. The table presenting the alignment of the learning unit is appropriate for the teacher.	4.00	0	high
4.The edition of teacher's guide is appropriate for practice.	3.67	0.58	high
5.The overall of teacher's guide is appropriate.	4.00	0	high

TABLE 31 EVALUATION OF THE TEACHING GUIDE CONSISTENCY

list of evaluation	IOC		interpretation
	$\overline{X}$	S.D	
unit 1 : cell			
1. The learning objectives and the indicators from Basic Education Curriculum of 2008	1.00	0	consistent
2. The content and the learning objectives	1.00	0	consistent
3. The learning activities and the learning objectives	1.00	0	consistent
4. The learning activities and the instructional model	1.00	0	consistent
5. Student's work sheets as the assessment tool and the learning objectives	1.00	0	consistent
unit 2 : plant structure and transportation in plant			
1. The learning objectives and the indicators from Basic Education Curriculum of 2008	1.00	0	consistent
2. The content and the learning objectives	1.00	0	consistent
3. The learning activities and the learning objectives	1.00	0	consistent
4. The learning activities and the instructional model	1.00	0	consistent
5. Student's work sheets as the assessment tool and the learning objectives	1.00	0	consistent
unit 3 : photosynthesis			
1. The learning objectives and the indicators from Basic Education Curriculum of 2008	1.00	0	consistent
2. The content and the learning objectives	1.00	0	consistent
3. The learning activities and the learning objectives	1.00	0	consistent
4. The learning activities and the instructional model	1.00	0	consistent
5. Student's work sheets as the assessment tool and the learning objectives	1.00	0	consistent

TABLE 31 (Continue)

list of evaluation	IOC		interpretation
	$\overline{X}$	S.D	
unit 4 : plant reproduction			
1. The learning objectives and the indicators from Basic Education Curriculum of 2008	1.00	0	consistent
2. The content and the learning objectives	1.00	0	consistent
3. The learning activities and the learning objectives	1.00	0	consistent
4. The learning activities and the instructional model	0.67	0.58	consistent
5. Student's work sheets as the assessment tool and the learning objectives	1.00	0	consistent
unit 5 : plant response			
1. The learning objectives and the indicators from Basic Education Curriculum of 2008	1.00	0	consistent
2. The content and the learning objectives	1.00	0	consistent
3. The learning activities and the learning objectives	1.00	0	consistent
4. The learning activities and the instructional model	0.67	0.58	consistent
5. Student's work sheets as the assessment tool and the learning objectives	1.00	0	consistent

TABLE 32 EVALUATION OF THE LEARNIN GUIDE APPROPRIATENESS

list of evaluation	$\overline{X}$	S.D	level of appropriateness
unit 1 : cell			
1. The guidelines for learning activities are appropriate for students to follow the learning activities.	4.67	0.58	high
2. Student's worksheets are appropriate for students to follow the learning activities.	4.67	0.58	high
3. Student's texts are appropriate to explain scientific concepts.	4.33	0.58	high
unit 2 : plant structure and transportation in plant			
1. The guidelines for learning activities are appropriate for students to follow the learning activities.	4.67	0.58	high
2. Student's worksheets are appropriate for students to follow the learning activities.	4.67	0.58	high
3. Student's texts are appropriate to explain scientific concepts.	4.67	0.58	high
unit 3 : photosynthesis			
1. The guidelines for learning activities are appropriate for students to follow the learning activities.	4.33	0.58	high
2. Student's worksheets are appropriate for students to follow the learning activities.	4.33	0.58	high
3. Student's texts are appropriate to explain scientific concepts.	4.33	0.58	high
unit 4 : plant reproduction			
1. The guidelines for learning activities are appropriate for students to follow the learning activity.	4.33	0.58	high
2. Student's worksheets are appropriate for students to follow the learning activities.	4.33	0.58	high
3. Student's texts are appropriate to explain scientific concepts.	4.33	0.58	high

TABLE 32 (Continued)

list of evaluation	N = 3		level of appropriateness
	$\overline{X}$	S.D	
unit 5 : plant response			
1. The guidelines for learning activities are appropriate for students to follow the learning activities.	4.33	0.58	high
2. Student's worksheets are appropriate for students to follow the learning activities.	4.33	0.58	high
3. Student's texts are appropriate to explain scientific concepts.	4.33	0.58	high

TABLE 33 OVERALL EVALUATION OF THE STUDENT'S GUIDE APPROPRIATENESS

list of evaluation	$\overline{X}$	S.D	level of appropriateness
1. Student's guide is appropriate to support the lesson plans.	4.67	0.58	high
2. The sequence of learning activities is appropriate.	4.33	0.58	high
3.The edition of student's guide is appropriate for student's age.	4.00	0	high
4.The overall of student's guide is appropriate to use in classroom.	4.67	0.58	high

TABLE 34 THE RESULTS OF ASSESSING AND EVALUATING THE ITEM OBJECTIVE CONGRUENCE (IOC), ITEM DIFFICULTY (p) AND ITEM DISCRIMINATION (r) OF THE ACHIEVEMENT TEST

Item	IOC	P	r
1	1.00	0.69	0.43
2	1.00	0.65	0.35
3	0.67	0.43	0.50
4	0.67	0.58	0.45
5	1.00	0.66	0.58
6	1.00	0.26	0.33
7	0.67	0.54	0.43
8	1.00	0.54	0.33
9	1.00	0.40	0.30
10	1.00	0.33	0.40
11	0.67	0.60	0.60
12	0.67	0.75	0.35
13	0.67	0.50	0.30
14	1.00	0.68	0.50
15	1.00	0.70	0.45
16	1.00	0.33	0.40
17	0.67	0.71	0.43
18	1.00	0.59	0.53
19	1.00	0.59	0.38
20	0.67	0.74	0.53

item	IOC	P	r
21	1.00	0.63	0.25
22	1.00	0.40	0.30
23	1.00	0.55	0.65
24	1.00	0.66	0.53
25	1.00	0.66	0.58
26	1.00	0.80	0.20
27	1.00	0.53	0.40
28	1.00	0.34	0.33
29	0.67	0.63	0.40
30	1.00	0.69	0.53
31	1.00	0.78	0.25
32	1.00	0.31	0.23
33	1.00	0.51	0.48
34	1.00	0.51	0.38
35	1.00	0.60	0.40
36	1.00	0.45	0.25
37	1.00	0.43	0.30
38	1.00	0.46	0.38
39	1.00	0.54	0.28
40	1.00	0.24	0.33

Reliability of the conceptual status test, Cronbach's Alpha, is 0.76

TABLE 35 THE RESULTS OF ASSESSING AND EVALUATING THE ITEM OBJECTIVE CONGRUENCE (IOC), ITEM DIFFICULTY (p) AND ITEM DISCRIMINATION (r) OF THE CONCEPTUAL STATUS TEST

ITEM	IOC	P	r
1.1	1.00	0.40	0.46
1.2	0.67	0.31	0.38
1.3	1.00	0.29	0.33
2.1	1.00	0.65	0.46
2.2	0.67	0.71	0.58
2.3	0.67	0.27	0.29
3.1	0.33	0.38	0.67
3.2	0.33	0.46	0.75
3.3	0.67	0.46	0.75
4.1	1.00	0.52	0.63
4.2	0.67	0.33	0.50
4.3	1.00	0.54	0.75

Reliability of the conceptual status test, Cronbach's Alpha, is 0.79

TABLE 36 THE RESULTS OF EVALUATING THE SATISFACTION QUESTIONAIRE

statements	IOC	interpretation
1. using microscope to study cells	1	appropriate
2. observing cell shapes and functions from diagram	1	appropriate
3. analogy comparing cell functions with a house	1	appropriate
4. predicting cell type from cell structure	1	appropriate
5. creating your own analogy to compare cell functions with what you are familiar	1	appropriate
6. using microscope to study plant structure	1	appropriate
7. observing water transportation in plant from the demonstration	1	appropriate
8. analogy comparing osmosis process with the movement of beads inside the osmosis model	1	appropriate
9. analogy comparing diffusion process with the movement of foam particles inside the diffusion model	1	appropriate
10.analogy comparing diffusion process with the movement of blindfold children in a room	1	appropriate
11. using conceptions on diffusion and osmosis to explain phenomena	1	appropriate
12. designing experiment to study plant transpiration	1	appropriate
13. observing starch accumulation in plant	1	appropriate
14. analogy comparing photosynthesis with cooking	1	appropriate
15. creating your own analogy to compare photosynthesis with what you are familiar	1	appropriate
16. participating in classroom discussion about the usefulness of sugar produced from photosynthesis	1	appropriate
17. building photosynthesis paper-clip model	1	appropriate
18. explaining ecological problem affected by deforestation	1	appropriate
19. observing parts of flower	1	appropriate

TABLE 36 (Continued)

statements	IOC	interpretation
20. participating in classroom discussion about plant reproduction	1	appropriate
21. participating in classroom discussion about the advantages of plant tissue culture.	1	appropriate
22. participating in classroom discussion about the result of plant response experiment.	1	appropriate
20. participating in classroom discussion about plant reproduction	1	appropriate
21. participating in classroom discussion about the advantages of plant tissue culture.	1	appropriate
22. participating in classroom discussion about the result of plant response experiment.	1	appropriate
23. student's texts	1	appropriate
24. diagram presenting analogy	1	appropriate
25. pictures and diagrams presenting scientific experiment	1	appropriate
26. tools and materials provided for experiments	1	appropriate
27. student's worksheets	1	appropriate
28. animation	1	appropriate
29. examination before the instruction	1	appropriate
30. exercises after each learning unit	1	appropriate
31. quizzes after the instruction	1	appropriate
32. evaluation on student's works	1	appropriate
33. evaluation on student's presentation	1	appropriate
34. examination after the instruction	1	appropriate

Reliability of the satisfaction questionaire, Cronbach's Alpha, is 0.92

APPENDIX C

The Results of Using the Learning Units

TABLE 37 THE LEARNING ACHIEVEMENT SCORES FROM THE FIELD TRIAL STUDY

No.	score	No.	score
1	17	26	26
2	17	27	14
3	16	28	16
4	12	29	20
5	10	30	29
6	17	31	16
7	17	32	26
8	32	33	27
9	16	34	23
10	18	35	19
11	19	36	
12	9	37	16
13	15	38	27
14	25	39	19
15	18	40	23
16	16	41	18
17	21	42	18
18	25	43	18
19	27	44	20
20	19	45	19
21	26	46	28
22		47	21
23	20	48	29
24	18	49	31
25	24	50	18

TABLE 38 THE CONCEPTUAL STATUS SCORES FROM THE FIELD TRIAL STUDY

No.	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3
1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	3	1	2
4	1	1	1	3	1	2	2	1	1	3	1	1
5	1	1	1	2	2	2	1	1	1	3	2	1
6	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	3	2	1	3	2	2	2	2	2
8	1	1	1	3	2	2	1	1	1	3	1	2
9	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2
11	1	1	1	2	1	1	2	2	1	3	2	1
12	2	3	3	2	2	3	2	2	2	3	2	2
13	2	1	1	3	2	2	1	1	1	2	1	1
14	3	2	2	2	2	1	3	2	2	2	3	2
15	1	1	1	2	2	1	3	2	2	1	1	1
16	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
17	3	3	2	3	2	1	1	1	1	3	2	1
18	3	2	2	2	2	1	1	1	1	3	2	2
19												
20	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1
21	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2
22												
23	1	1	1	2	2	1	1	1	1	3	2	1
24	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1
25	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
26	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2
27	1	1	1	3	1	2	1	1	1	1	1	1
28	3	2	2	3	2	1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	2	2	2	1	1	1	3	2	2
30	3	3	3	3	2	3	3	2	2	3	3	2
31	1	1	1	2	1	3	3	2	2	1	1	1

TABLE 38 (Continued)

No.	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3
32	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
33	1	1	1	2	1	1	3	2	2	3	3	2
34	1	1	1	3	2	2	3	2	2	3	1	2
35	2	2	2	2	2	1	2	2	1	3	2	1
36												
37	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	3	2
38	3	1	2	3	1	2	1	1	1	3	2	1
39	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
40	3	2	2	3	2	1	3	2	2	3	3	2
41	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2
42	2	2	2	3	2	2	1	1	1	3	2	2
43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
44	2	2	1	2	2	2	1	1	1	3	2	2
45	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
46	3	2	2	3	2	2	3	2	2	2	1	2
47	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
48	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
49	1	1	1	3	2	2	2	2	2	3	3	2
50	1	1	1	3	2	2	1	1	1	2	2	2

TABLE 39 THE STUDENT'S SATISFACTION TOWARD THE INSTRUCTION IN THE FIELD TRIAL STUDY

statements	level of satisfaction		
	$\overline{X}$	S.D	interpretation
learning activities			
1. using microscope to study cells	4.31	0.67	high
2. observing cell shapes and functions from diagram	4.04	0.64	high
3. analogy comparing cell functions with a house	4.04	0.71	high
4. predicting cell type from cell structure	3.60	0.69	high
5. creating your own analogy to compare cell functions with what you are familiar	3.82	0.78	high
6. using microscope to study plant structure	4.33	0.85	high
7. observing water transportation in plant from the demonstration	4.04	0.71	high
8. analogy comparing osmosis process with the movement of beads inside the osmosis model	3.93	0.69	high
9. analogy comparing diffusion process with the movement of foam particles inside the diffusion model	3.96	0.74	high
10.analogy comparing diffusion process with the movement of blindfold children in a room	3.73	0.75	high
11. using conceptions on diffusion and osmosis to explain phenomena	3.56	0.77	high
12. designing experiment to study plant transpiration	3.69	0.92	high
13. observing starch accumulation in plant	3.64	0.87	high
14. analogy comparing photosynthesis with cooking	3.98	0.90	high
15. creating your own analogy to compare photosynthesis with what you are familiar	3.73	0.86	high
16. participating in classroom discussion about the usefulness of sugar produced from photosynthesis	3.80	0.87	high
17. building photosynthesis paper-clip model	3.70	0.94	high
18. explaining ecological problem affected by deforestation	3.84	0.90	high
19. observing parts of flower	3.93	0.82	high

TABLE 39 (Continued)

statements	level of satisfaction		
	$\overline{X}$	S.D	interpretation
20. participating in classroom discussion about plant reproduction	3.68	0.77	high
21. participating in classroom discussion about the advantages of plant tissue culture.	3.64	0.93	high
22. participating in classroom discussion about the result of plant response experiment.	3.80	0.97	high
learning materials			
23. student's texts	4.04	0.52	high
24. diagram presenting analogy	4.18	0.75	high
25. pictures and diagrams presenting scientific experiment	4.13	0.81	high
26. tools and materials provided for experiments	4.24	0.77	high
27. student's worksheets	3.75	0.81	high
28. animation	4.45	0.59	high
assessment			
29. examination before the instruction	3.51	0.79	high
30. exercises after each learning unit	3.89	0.78	high
31. quizzes after the instruction	3.67	0.71	high
32. evaluation on student's works	3.87	0.79	high
33. evaluation on student's presentation	3.91	0.85	high
34. examination after the instruction	3.93	0.96	high

TABLE 40 THE LEARNING ACHIEVEMENT SCORES FROM THE MAIN STUDY

No.	pre-test	post-test	retention test	No.	pre-test	post-test	retention test
1	15	32	31	25	15	24	21
2	26	32	36	26	17	21	23
3	23	33	37	27	20	38	40
4	12	36	32	28	22	36	36
5	11	34	36	29	22	30	32
6	15	23	25	30	13	33	31
7	16	34	38	31	23	30	38
8	9	24	25	32	15	20	15
9	24	32	39	33	15	27	30
10	13	21	26	34	21	32	29
11	14	24	21	35	23	36	30
12	17	32	28	36	20	33	32
13	23	32	34	37	14	24	27
14	19	32	37	38	19	26	36
15	19	28	30	39	16	22	26
16	19	24	23	40	18	32	29
17	16	25	19	41	18	24	28
18	12	23	31	42	16	33	31
19	13	23	24	43	20	24	24
20	13	28	28	44	22	34	32
21	16	25	27	45	11	25	30
22	17	31	32	46	12	24	30
23	20	35	34	47	19	35	33
24	20	25	24	48	17	34	33

TABLE 41 THE CONCEPTUAL STATUS SCORES FROM THE MAIN STUDY (PRE-TEST)

No.	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3
1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	2	2	2	1	1	1	3	1	1
4	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1
5	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	2	2
6	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1
7	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
8	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1
9	3	3	3	1	1	1	1	1	1	2	2	1
10	1	1	1	3	2	1	1	1	1	2	2	1
11	1	1	1	2	1	1	2	1	1	3	2	1
12	3	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
13	1	1	1	2	2	2	2	1	1	3	1	1
14	3	2	1	2	1	2	1	1	1	3	2	1
15	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
16	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1
18	2	1	2	2	1	1	1	1	1	3	1	1
19	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2
20	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1
21	2	2	2	2	1	2	1	1	1	3	1	1
22	2	2	2	1	1	1	1	1	1	3	2	1
23	3	2	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	2	1
26	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
28	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	2	2	2	3	1	2	1	1	1
30	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1

TABLE 41 (Continued)

No.	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3
31	3	2	1	3	3	2	1	1	1	2	1	1
32	2	1	2	1	1	1	1	1	1	3	1	1
33	3	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2
34	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
35	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
36	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1
37	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
38	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1
39	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2
40	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
41	1	1	1	2	1	2	1	1	1	3	1	1
42	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1
43	2	2	2	3	1	2	1	1	1	2	1	1
44	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
45	2	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1
46	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1
47	2	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1
48	3	2	2	1	1	1	1	1	1	3	2	1

TABLE 42 THE CONCEPTUAL STATUS SCORES FROM THE MAIN STUDY (POST-TEST)

No.	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3
1	3	2	2	3	1	1	3	2	2	3	2	2
2	1	1	1	2	2	2	3	2	2	3	2	2
3	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2
4	3	2	2	3	2	2	1	1	1	3	3	2
5	2	2	2	2	2	2	1	1	1	3	2	2
6	1	1	1	2	2	2	2	1	1	3	1	1
7	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3
8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2
9	3	2	2	3	3	2	1	1	1	2	2	2
10	1	1	1	3	2	2	1	1	1	3	3	2
11	3	2	3	3	2	2	2	2	2	3	2	2
12	3	2	1	2	2	2	1	1	1	3	2	3
13	1	1	1	3	1	2	1	1	1	2	2	2
14	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2
15	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
16	3	2	2	3	2	1	1	1	1	2	2	1
17	3	3	2	3	3	2	1	1	1	3	2	1
18	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1
20	3	1	2	3	2	2	1	1	1	3	1	1
21	3	2	2	3	1	2	3	2	2	3	3	2
22	3	2	3	2	2	1	1	1	1	3	2	2
23	3	2	1	3	2	2	3	2	2	3	2	2
24	3	2	2	3	2	2	2	2	2	1	1	1
25	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2
26	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
27	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2
28	3	3	2	2	2	2	1	1	1	3	2	2
29	3	3	2	3	2	2	1	1	1	3	2	2
30	3	2	3	3	2	3	1	1	1	3	2	3

TABLE 42 (Continued)

No.	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3
31	3	3	2	2	2	2	1	1	1	3	2	2
32	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1
33	3	2	1	3	1	2	1	1	1	2	1	1
34	3	2	2	3	2	2	3	1	2	3	2	2
35	3	2	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2
36	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2
37	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
38	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	1
39	1	1	1	3	2	2	1	1	1	2	3	2
40	3	2	2	3	2	2	1	1	1	3	2	2
41	1	1	1	2	2	1	2	2	2	3	2	2
42	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2
43	3	2	2	2	2	1	1	1	1	3	2	2
44	3	2	3	3	2	2	1	1	1	2	2	2
45	1	1	1	2	2	2	1	1	1	3	2	2
46	1	1	1	3	2	1	1	1	1	3	2	2
47	3	2	2	3	2	2	1	1	1	3	1	2
48	3	2	1	3	2	1	1	1	1	3	2	2

TABLE 43 THE STUDENT'S SATISFACTION TOWARD THE INSTRUCTION IN THE MAIN STUDY

statements	level of satisfaction		
	$\overline{X}$	S.D	interpretation
learning activities			
1. using microscope to study cells	4.50	0.51	high
2. observing cell shapes and functions from diagram	4.27	0.57	high
3. analogy comparing cell functions with a house	4.50	0.55	high
4. predicting cell type from cell structure	3.83	0.60	high
5. creating your own analogy to compare cell functions with what you are familiar	3.77	0.88	high
6. using microscope to study plant structure	3.98	0.85	high
7. observing water transportation in plant from the demonstration	3.94	0.81	high
8. analogy comparing osmosis process with the movement of beads inside the osmosis model	4.38	0.73	high
9. analogy comparing diffusion process with the movement of foam particles inside the diffusion model	4.67	0.47	highest
10.analogy comparing diffusion process with the movement of blindfold children in a room	4.35	0.79	high
11. using conceptions on diffusion and osmosis to explain Phenomena	4.29	0.74	high
12. designing experiment to study plant transpiration	3.96	0.87	high
13. observing starch accumulation in plant	4.04	0.65	high
14. analogy comparing photosynthesis with cooking	4.23	0.60	high
15. creating your own analogy to compare photosynthesis with what you are familiar	4.02	0.76	high
16. participating in classroom discussion about the usefulness of sugar produced from photosynthesis	4.15	0.58	high
17. building photosynthesis paper-clip model	3.92	0.79	high
18. explaining ecological problem affected by Deforestation	3.98	0.82	high

TABLE 43 (Continued)

statements	level of satisfaction		
	$\overline{X}$	S.D	interpretation
19. observing parts of flower	4.00	0.77	high
20. participating in classroom discussion about plant reproduction	3.90	0.78	high
21. participating in classroom discussion about the advantages of plant tissue culture.	4.00	0.97	high
22. participating in classroom discussion about the result of plant response experiment.	4.17	0.78	high
learning materials			
23. student's texts	4.42	0.61	high
24. diagram presenting analogy	4.40	0.57	high
25. pictures and diagrams presenting scientific experiment	4.13	0.64	high
26. tools and materials provided for experiments	4.21	0.68	high
27. student's worksheets	4.04	0.62	high
28. animation	3.38	1.14	medium
Assessment			
29. examination before the instruction	3.98	0.60	high
30. exercises after each learning unit	4.31	0.62	high
31. quizzes after the instruction	4.23	0.75	high
32. evaluation on student's works	4.21	0.68	high
33. evaluation on student's presentation	3.67	0.81	high
34. examination after the instruction	4.15	0.77	high

APPENDIX D

The Distribution Graph for Setting The Cutting Score

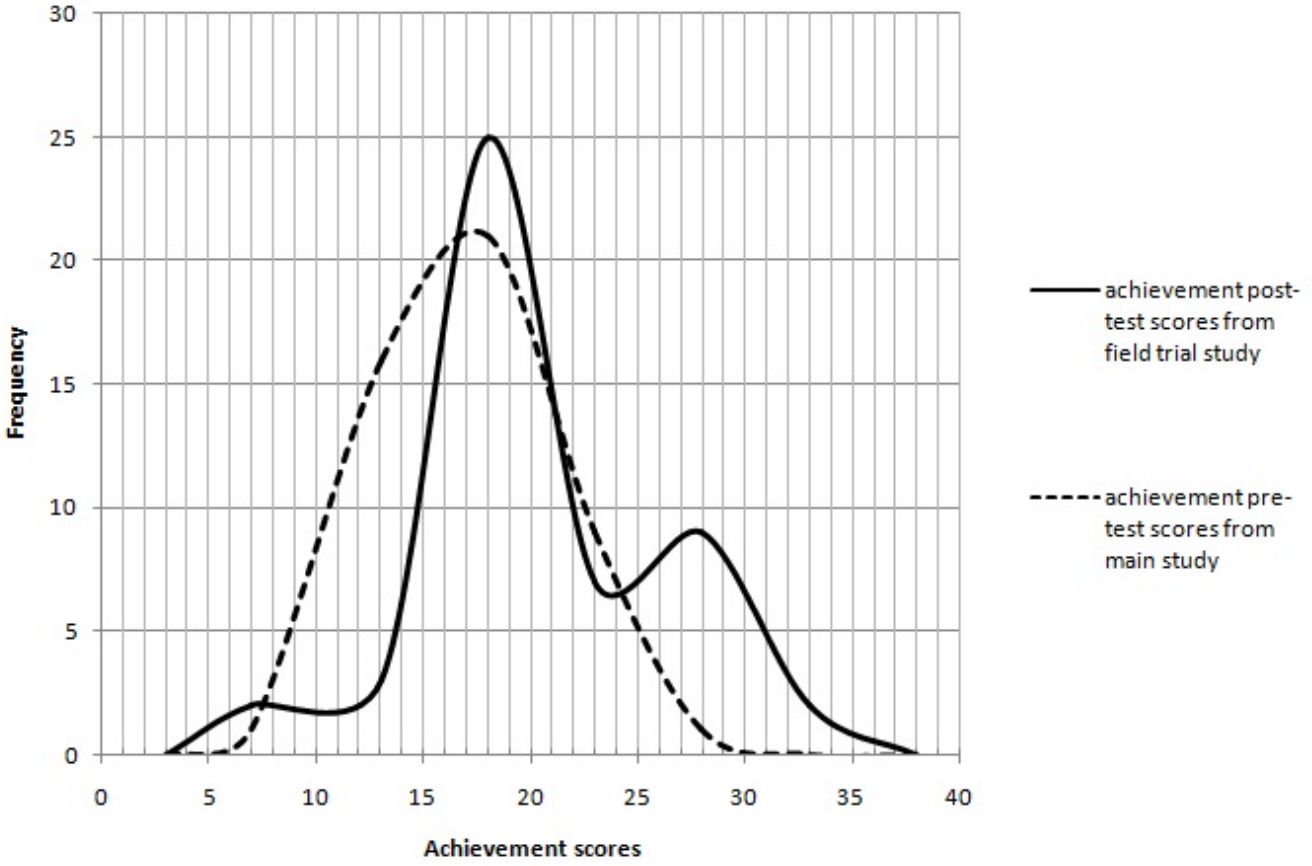


FIGURE 21 THE FREQUENCY CURVES OF THE ACHIEVEMENT SCORE

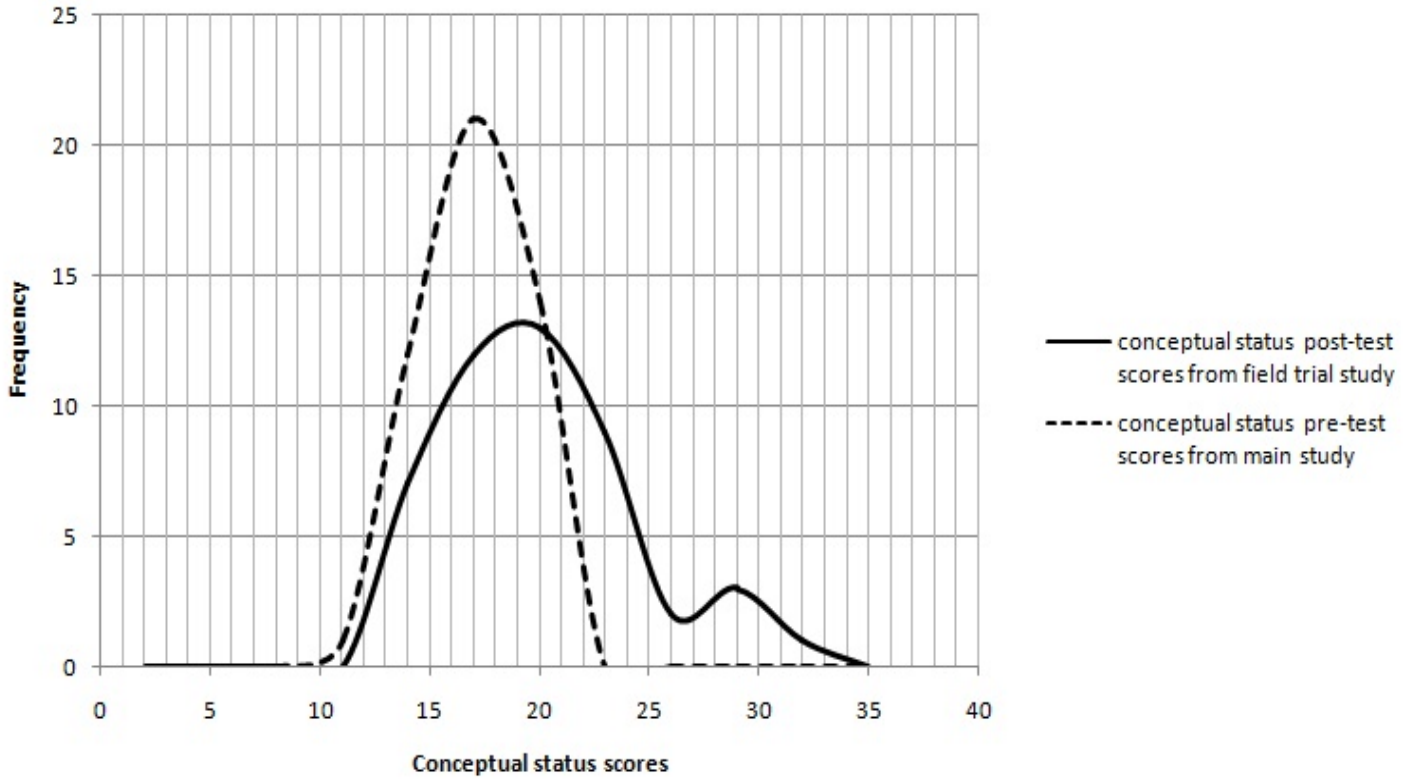


FIGURE 22 THE FREQUENCY CURVES OF THE CONCEPTUAL STATUS SCORE

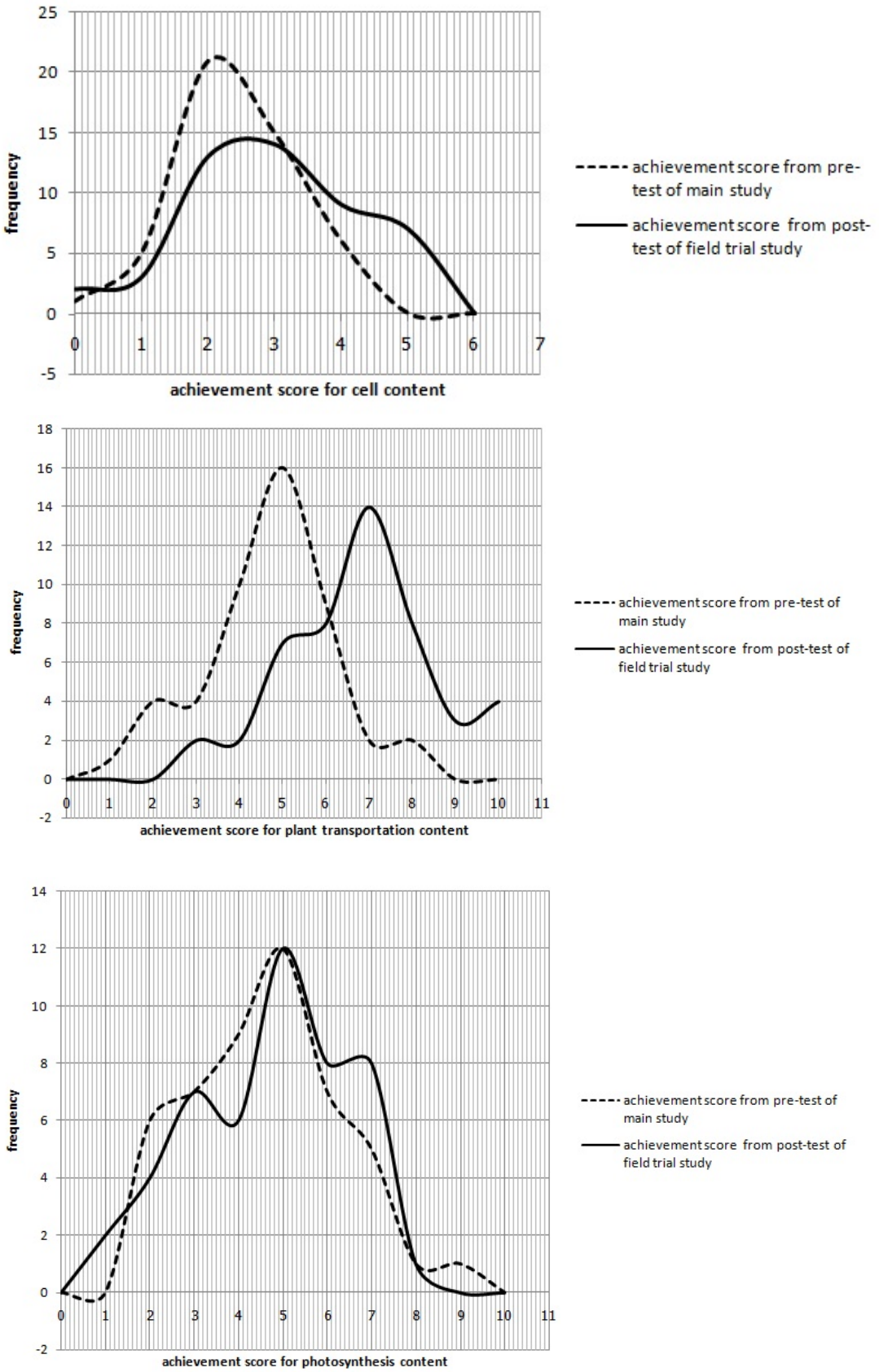


FIGURE 23.A THE FREQUENCY CURVES OF THE ACHIEVEMENT SCORE SEPERATED ACCORDING TO THE CONTENT (CELL,PLANT TRANSPORTATION, AND PHOTOSYNTHESIS)

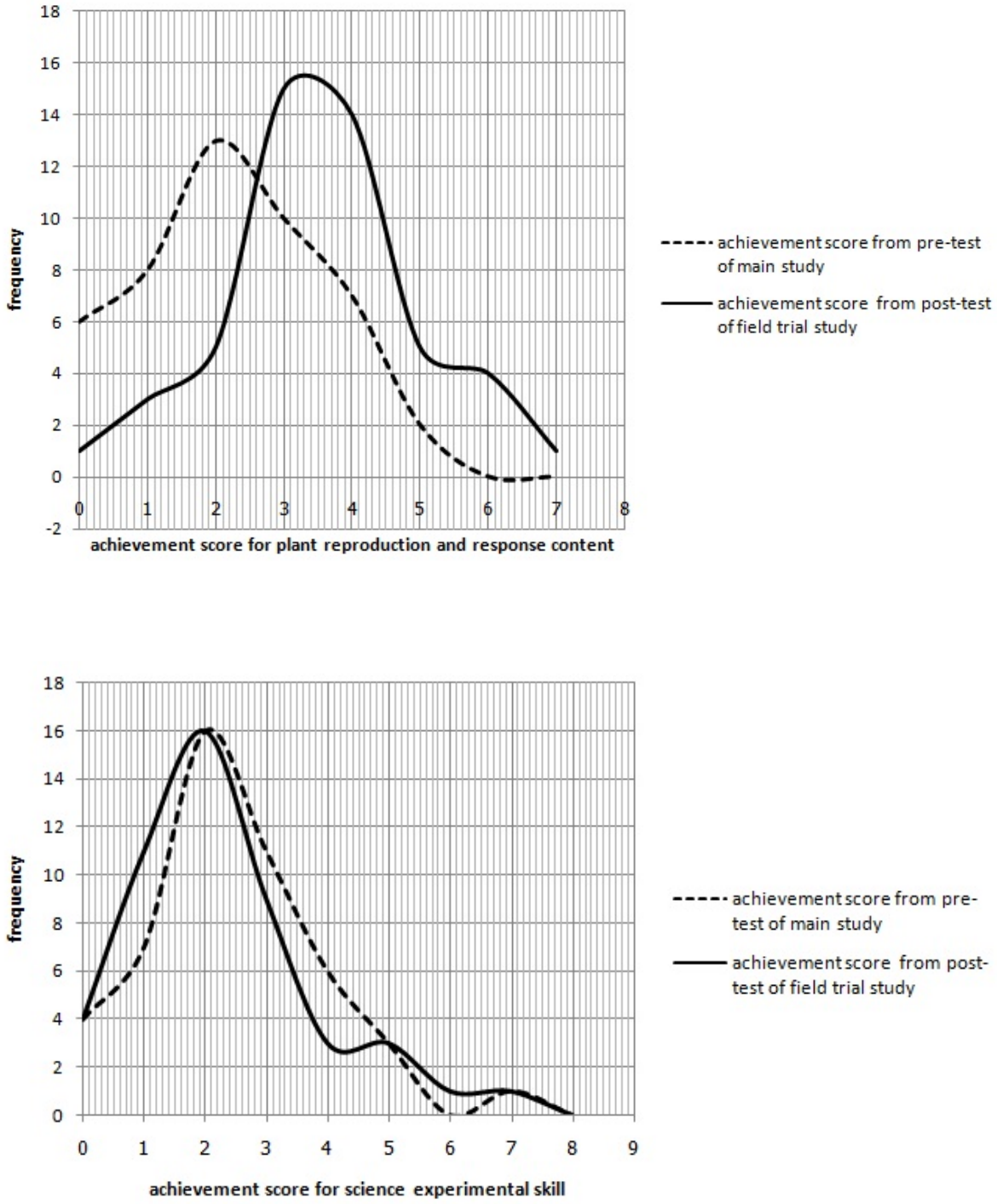


FIGURE 23.B THE FREQUENCY CURVES OF THE ACHIEVEMENT SCORE SEPERATED ACCORDING TO THE CONTENT (PLANT REPRODUCTION AND RESPONSE AND EXPERIMENTAL SKILL)

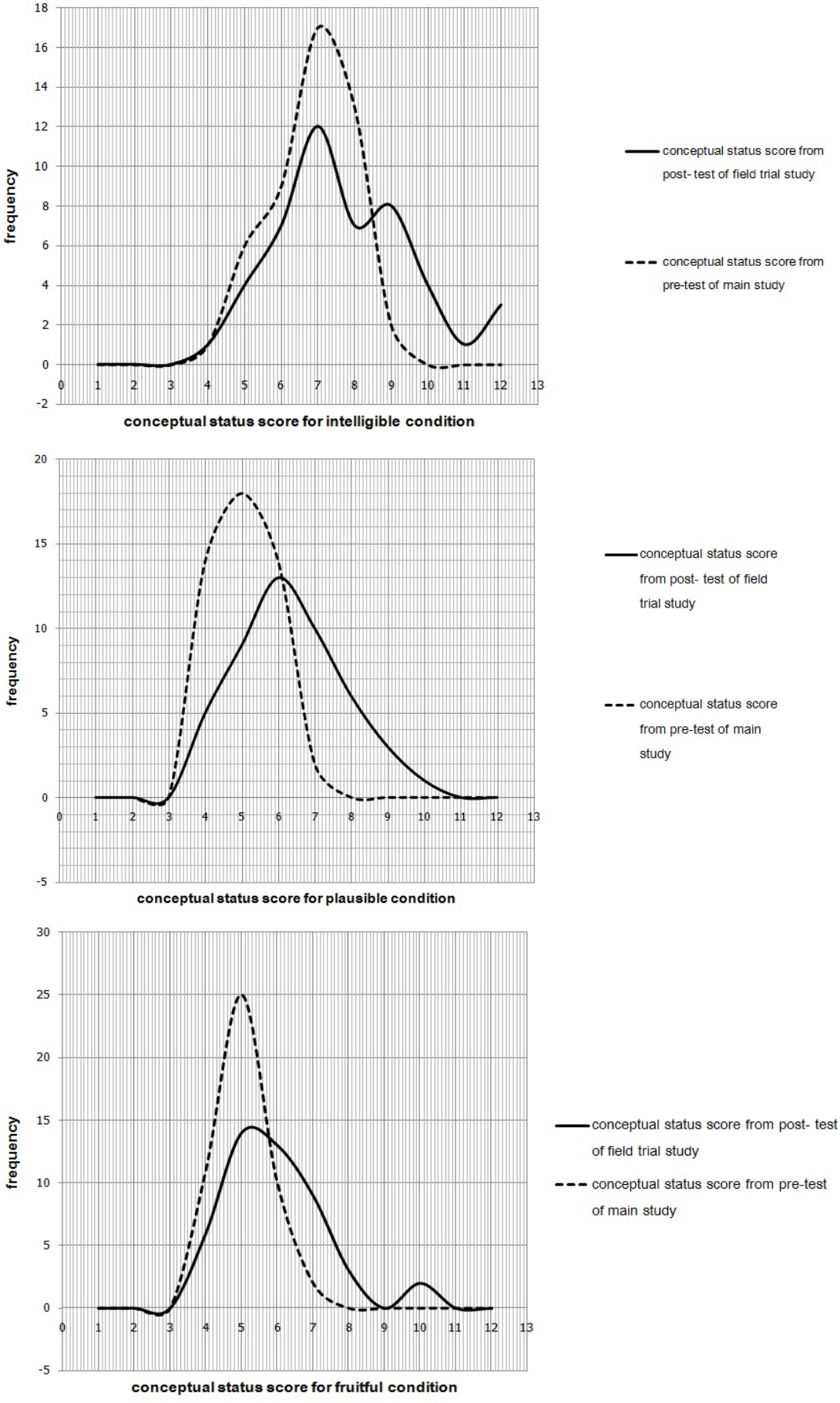


FIGURE 24 THE FREQUENCY CURVES OF THE CONCEPTUAL STATUS SCORE SEPERATED INTO 3 CONDITIONS: INTELLIGIBLE, PLAUSIBLE, AND FRUITFUL

APPENDIX E

The Analogies Used in This Study

การใช้อุปมาอุปไมยในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

การใช้อุปมาอุปไมยในบริบทของวิทยาศาสตร์ คือ การเปรียบเทียบลักษณะที่เหมือนกันของแนวคิดที่ต่างกันสองแนวคิดเพื่อจุดประสงค์ในการอธิบายและทำนาย (Venvile; & Treagust. 1997: 282) ในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์การใช้อุปมาอุปไมยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นนามธรรมได้ง่ายขึ้นจากการเชื่อมโยงลักษณะที่เหมือนกันระหว่างตัวอย่างที่สามารถสังเกตได้กับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยผ่านการให้เหตุผลเชิงอุปมาอุปไมย

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ที่ใช้ในการศึกษา มีดังต่อไปนี้

1. หน้าที่ขององค์ประกอบภายในเซลล์
2. การสังเคราะห์ด้วยแสง
3. การออสโมซิส
4. การแพร่ของแก๊ส

1. หน้าที่ขององค์ประกอบภายในเซลล์

1.1 ขอบเขตของการอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานระดับมัธยมศึกษาตอนต้น กำหนดให้นักเรียนควรเรียนรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบสำคัญภายในเซลล์ ที่เกี่ยวกับ ผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ นิวเคลียส ไซโตพลาสซึม แวคิวโอล คลอโรพลาสต์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สามารถสังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ทั้งนี้นักเรียนควรระบุองค์ประกอบที่แตกต่างกันของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ได้

1.2 สภาพการเรียนรู้ของนักเรียน

ในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ นักเรียนสามารถสังเกตโครงสร้างของเซลล์ได้หลายวิธี เช่น สังเกตผ่านกล้องจุลทรรศน์ ศึกษาแบบจำลอง หรือ ศึกษาแผนภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์ แต่เนื่องจากทั้งแบบจำลองและแผนภาพ ไม่สามารถอธิบายกระบวนการทำงานของแต่ละองค์ประกอบของเซลล์ได้ นักเรียนจึงมักประสบปัญหาในการทำความเข้าใจหน้าที่ขององค์ประกอบภายในเซลล์ซึ่งมีความ สัมพันธ์กัน (Venville. 2008: 84)

1.3 การเรียนรู้ของนักเรียนจากการอุปมาอุปไมย

การใช้อุปมาอุปไมยในการเรียนการสอนหน้าที่ขององค์ประกอบภายในเซลล์มีหลายวิธี เช่น การเปรียบเทียบหน้าที่ขององค์ประกอบภายในเซลล์กับหน้าที่ของบุคคลและเครื่องจักรในโรงงาน หน้าที่ของส่วนต่างๆของเมือง หรือ หน้าที่ของส่วนต่างๆในบ้าน ในที่นี้จะเปรียบเทียบหน้าที่ขององค์ประกอบภายในเซลล์กับหน้าที่ของส่วนประกอบในบ้าน ซึ่งเป็นตัวอย่างที่นักเรียนมีความคุ้นเคยมากที่สุด เช่น เปรียบเทียบคลอโรพลาสต์ซึ่งมีหน้าที่สร้างอาหารให้กับเซลล์พืช กับห้องครัวซึ่งเป็นสถานที่ประกอบอาหารของบ้าน เปรียบเทียบแวคิวโอลซึ่งมีหน้าที่ในการเก็บกักสารต่างๆ กับห้องเก็บของซึ่งเป็นสถานที่เก็บสิ่งของต่างๆ

ตาราง 1 แสดงรายละเอียดของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ขององค์ประกอบสำคัญภายในเซลล์ ตัวอย่างที่ใช้ในการเปรียบเทียบซึ่งเป็นโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนประกอบในบ้าน และคำอธิบายเชิงอุปมาอุปไมยที่เปรียบเทียบเฉพาะหน้าที่ขององค์ประกอบของเซลล์กับส่วนประกอบของบ้านไม่ได้เปรียบเทียบลักษณะโครงสร้าง

ตาราง 1 เปรียบเทียบหน้าที่ขององค์ประกอบภายในเซลล์ กับ หน้าที่ของส่วนประกอบของบ้าน

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	สิ่งที่นำมาเปรียบเทียบ	คำอธิบายเชิงอุปมาอุปไมย
1. ขนาดและรูปร่างของเซลล์ เซลล์ของสิ่งมีชีวิตมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับหน้าที่ของเซลล์นั้นๆ เช่น เซลล์ไข่นกกระจอกเทศ มีขนาดใหญ่ เนื่องจาก ต้องเก็บสะสมสารอาหารสำหรับการพัฒนาตัวอ่อน, เซลล์ประสาทมีความยาวมาก เพื่อที่จะสามารถถ่ายทอดกระแสประสาทจากส่วนที่อยู่ไกลกันในร่างกายของสัตว์ เซลล์เม็ดเลือดแดงมีขนาดเล็กมาก ทำหน้าที่ลำเลียงออกซิเจน ผ่านไปตามเส้นเลือดซึ่งมีขนาดเล็ก	**1. ขนาดและรูปร่างของบ้าน** บ้านมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไป ขนาดและรูปร่างของบ้านจะให้ประโยชน์ใช้สอยที่แตกต่างกัน เช่น บ้านที่มีลักษณะเป็นอาคารพาณิชย์สามารถใช้ประโยชน์ ในการค้าขาย	1. ขนาดและรูปร่างของเซลล์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับหน้าที่ของเซลล์นั้นๆ เช่นเดียวกับขนาดและรูปร่างของบ้านซึ่งทำให้บ้านแต่ละแบบมีประโยชน์ใช้สอยแตกต่างกัน

ตาราง1(ต่อ)

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	สิ่งที่นำมาเปรียบเทียบ	คำอธิบายเชิงอุปมาอุปไมย
2. หน้าที่ขององค์ประกอบภายในเซลล์ โครงสร้างของเซลล์สิ่งมีชีวิตมีส่วนประกอบพื้นฐานคล้ายคลึงกัน ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นนักเรียนจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับ โครงสร้างและหน้าที่ของ ผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ นิวเคลียส ไซโทพลาสซึม แวคิวโอล และ คลอโรพลาสต์ 2.1 ผนังเซลล์ (cell wall) **โครงสร้าง** เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเยื่อหุ้มเซลล์อีกชั้นหนึ่ง ประกอบด้วยเซลลูโลส **หน้าที่** ทำหน้าที่ช่วยปกป้องเซลล์และ ทำให้เซลล์พืชมีรูปร่างแน่นอน สามารถคงรูปร่างอยู่ได้ 2.2 เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) **โครงสร้าง** เป็นเยื่อเลือกผ่านประกอบด้วย ฟอสโฟลิปิด และโปรตีน **หน้าที่** เซลล์ทุกเซลล์ต้องมีเยื่อหุ้มเซลล์ ทำหน้าที่ห่อหุ้มส่วนต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์ และควบคุมการลำเลียงของสารเข้าและออกจากเซลล์ 2.3 ไซโทพลาสซึม (cytoplasm) **โครงสร้าง** มีลักษณะเป็นของกึ่งเหลว **หน้าที่** เป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์ และเป็นที่อยู่ของออร์แกเนลล์ (organelle) ซึ่งเป็นส่วนประกอบเล็กๆหลายชนิดกระจายอยู่ทั่วไป ส่วนประกอบเหล่านี้ทำ	**2. หน้าที่ของส่วนประกอบของบ้าน** บ้านแต่ละหลังจะมีส่วนประกอบคล้ายคลึงกัน คือ รั้วบ้าน ผนังบ้าน บริเวณภายในบ้าน ห้องเก็บของ ห้องครัว และมีเจ้าของบ้านซึ่งทำหน้าที่ดูแลควบคุมกิจกรรมภายในบ้าน 2.1 กำแพงบ้าน **โครงสร้าง** เป็นส่วนที่อยู่นอกสุด สร้างจากคอนกรีต หรือ อิฐ **หน้าที่** ทำหน้าที่ทำให้บ้านมีอาณาเขตที่แน่นอนและป้องกันไม่ให้คนบุกรุกโดยไม่ได้รับอนุญาต 2.2 ผนังบ้าน **โครงสร้าง** มีโครงสร้างแข็ง ทึบ ทำด้วยอิฐและคอนกรีต **หน้าที่**บ้านทุกบ้านต้องมีผนัง ผนังบ้านทำหน้าที่ห่อหุ้ม หรือปกปิดส่วนประกอบภายในบ้าน มีประตูเป็นช่องทางเข้าออกตัวบ้าน 2.3 บริเวณภายในบ้านทั้งหมด **โครงสร้าง** เป็นพื้นที่ภายในบ้าน **หน้าที่** เป็นบริเวณที่เกิดกิจกรรมภายในบ้าน และประกอบด้วยห้องต่างๆ ซึ่งมีประโยชน์ใช้สอยแตกต่างกัน เช่น ห้องครัวใช้ทำอาหาร, ห้องเก็บของใช้เก็บวัสดุ เครื่องใช้ต่างๆ รวมถึง ของเหลือใช้จากกิจกรรม	2. หน้าที่ของโครงสร้างพื้นฐานภายในเซลล์สามารถเปรียบเทียบได้กับหน้าที่ของบุคคลและสถานที่ภายในบ้าน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ 2.1 อธิบายหน้าที่ของผนังเซลล์โดยใช้ลักษณะที่เหมือนกันของหน้าที่ของกำแพงบ้านกับผนังเซลล์ กล่าวคือคือ ผนังเซลล์ทำหน้าที่กำหนดรูปร่างของเซลล์ และ ปกป้องเซลล์ เช่นเดียวกับ กำแพงบ้าน ที่ทำหน้าที่กำหนดอาณาเขตของบ้าน และป้องกันผู้บุกรุก 2.2 เยื่อหุ้มเซลล์เป็นส่วนที่ห่อหุ้มส่วนประกอบภายในเซลล์ เช่นเดียวกับผนังบ้านที่ห่อหุ้มบริเวณภายในบ้าน เยื่อหุ้มเซลล์มีช่องทางในการลำเลียงสารระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ เช่นเดียวกับ ผนังบ้านที่มีประตู เป็นช่องทางในการลำเลียงสิ่งต่างๆ ระหว่างภายในบ้านและภายนอกบ้าน 2.3 ไซโทพลาสซึมเป็นส่วนของเซลล์ทั้งหมดที่อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเซลล์ มีออแกเนลล์ซึ่งเป็นส่วนประกอบเล็กๆหลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกันไป ถ้าเปรียบเทียบเซลล์เหมือนกับบ้าน ไซโทพลาสซึมจึงเปรียบเสมือน บริเวณภายในบ้านซึ่งประกอบด้วยห้องต่างๆ ที่มีประโยชน์ใช้สอยแตกต่างกัน

ตาราง1(ต่อ)

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	สิ่งที่นำมาเปรียบเทียบ	คำอธิบายเชิงอุปมาอุปไมย
หน้าที่สำคัญหลายอย่างในกระบวนการดำรงชีวิตของเซลล์ ในไซโทพลาสซึม ยังมีสารจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของเซลล์ เช่น น้ำตาล โปรตีน รวมทั้งมีของเสียต่างๆจากกิจกรรมของเซลล์ด้วย 2.4 นิวเคลียส (nucleus) ภายในนิวเคลียสมีสารที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม และกำหนด การทำงานหรือกิจกรรมต่างๆของเซลล์ เช่น การสังเคราะห์เอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์	2.4 ห้องของเจ้าของบ้าน ภายในห้องของเจ้าของบ้านมีเจ้าของบ้านซึ่งทำหน้าที่ควบคุม ดูแลกิจกรรมทุกอย่างในบ้าน เช่น การจัดระเบียบบ้าน การซื้ออาหาร และของใช้เข้าบ้าน การซ่อมแซมบ้าน	2.4 เปรียบหน้าที่ของนิวเคลียสกับห้องของเจ้าของบ้านโดยภายใน นิวเคลียสมีสารที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม และกำหนด การทำงานหรือกิจกรรมต่างๆของเซลล์ เช่นเดียวกับภายในห้องของเจ้าของบ้านมีเจ้าของบ้านซึ่งทำหน้าที่ควบคุมดูแลกิจกรรมทุกอย่างในบ้าน
3. ความแตกต่างระหว่างโครงสร้างของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ เซลล์พืชมีโครงสร้างแตกต่างจากเซลล์สัตว์คือ - เซลล์พืชมีผนังเซลล์ เป็นโครงสร้างภายนอกสุดถัดจากเยื่อหุ้มเซลล์ เซลล์สัตว์ไม่มีผนังเซลล์ - เซลล์พืชที่อยู่ในส่วนของพืชที่มีสีเขียว เช่น ใบ ลำต้นอ่อน มีคลอโรพลาสต์ ทำหน้าที่ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงสร้างอาหารแก่พืช เซลล์สัตว์ไม่มีคลอโรพลาสต์ จึงไม่สามารถสร้างอาหารได้เอง - เซลล์พืชมีแวคิวโอลขนาดใหญ่อยู่กลางเซลล์ทำหน้าที่เก็บสะสมสารเคมีต่างๆ ในขณะที่เซลล์สัตว์ไม่พบแวคิวโอลขนาดใหญ่	**3. ความแตกต่างระหว่างบ้านที่มีกำแพง ห้องครัว และห้องเก็บของกับบ้านที่ไม่มีส่วนประกอบดังกล่าว** บ้านบางหลังไม่มีโครงสร้างต่อไปนี้ -ไม่มีกำแพงบ้านจึงไม่มีโครงสร้างสำหรับทำให้บ้านมีอาณาเขตที่แน่นอนและป้องกันไม่ให้คนบุกรุกโดย -ไม่มีห้องครัว จึงไม่สามารถประกอบอาหารได้ภายในบ้านต้องซื้ออาหารมาจากข้างนอก - ไม่มีห้องเก็บของขนาดใหญ่ แต่อาจมีกล่อง หรือภาชนะเก็บของชั่วคราว	3.ความแตกต่างระหว่างบ้านที่มีกำแพง ห้องครัว และห้องเก็บของกับบ้านที่ไม่มีส่วนประกอบดังกล่าว สามารถนำมาใช้ในการอธิบายความแตกต่างระหว่างโครงสร้างของเซลล์พืชกับเซลล์สัตว์ได้ โดยเน้นให้นักเรียนทราบถึงโครงสร้างที่พบเฉพาะในเซลล์พืช ไม่พบในเซลล์สัตว์ เช่น ผนังเซลล์ คลอโรพลาสต์ และ เซนทรัลแวคิวโอล เซลล์พืชเปรียบเหมือนบ้านที่มีกำแพงบ้าน ห้องครัว และห้องเก็บของขนาดใหญ่ ในขณะที่เซลล์สัตว์เปรียบเหมือนบ้านที่ไม่มี กำแพงบ้าน ห้องครัว และห้องเก็บของขนาดใหญ่

1.4 ข้อจำกัดของการอุปมาอุปไมย

การอุปมาอุปไมยเซลล์กับบ้านมีจุดประสงค์เพื่อการอธิบาย“หน้าที่” ของแต่ละองค์ประกอบของเซลล์ในระดับพื้นฐาน และมิได้มีจุดมุ่งหมายในการเปรียบเทียบในด้าน “โครงสร้าง” เช่น โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์มีความยืดหยุ่น มีรูพรุน แต่ผนังของบ้านเป็นของแข็งและทึบ นอกจากนั้นการเปรียบเทียบนิวเคลียสกับห้องของเจ้าของบ้านมีจุดมุ่งหมายให้นักเรียนเข้าใจหน้าที่ของนิวเคลียสที่มีสารพันธุกรรมควบคุมกิจกรรมต่าง ๆภายในเซลล์เช่นเดียวกับห้องที่มีเจ้าของบ้านซึ่งเป็นผู้ควบคุมกิจกรรมของบ้าน อย่างไรก็ตามเจ้าของบ้านมีชีวิตจึงสามารถออกจากบ้านได้บางเวลา ในขณะที่นิวเคลียสอยู่ภายในเซลล์ตลอดเวลา การเรียนการสอนจึงต้องมีการอภิปรายข้อจำกัดนี้ของการใช้อุปมาอุปไมย

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ เรื่อง หน้าที่ขององค์ประกอบภายในเซลล์ โดยใช้การอุปมาอุปไมยแล้ว นักเรียนควรสามารถ

1. อธิบายหน้าที่ขององค์ประกอบสำคัญของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ได้
2. ระบุความแตกต่างขององค์ประกอบของเซลล์พืช และเซลล์สัตว์ได้
3. มีความคงทนในการเรียนรู้โดยสามารถอธิบายหน้าที่ขององค์ประกอบภายในเซลล์ และระบุความแตกต่างของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ หลังจากผ่านการเรียนรู้ 2 สัปดาห์

2. การสังเคราะห์ด้วยแสง

2.1 ขอบเขตของการอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

หลักสูตรระดับมัธยมศึกษาตอนต้น เนื้อหาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง ให้ความสำคัญกับการระบุปัจจัยที่จำเป็นสำหรับกระบวนการ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ คลอโรพลาสต์ คลอโรฟิลล์ รวมไปถึงความสำคัญของแต่ละองค์ประกอบ ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และ การวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การเรียนรู้ในระดับนี้ไม่มีรายละเอียดของกระบวนการซึ่งมีการแบ่งชนิดของปฏิกิริยาเป็นสองชนิด คือ ปฏิกริยาที่ต้องใช้แสงที่มีกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนและสลายโมเลกุลของน้ำ และปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นการใช้อุปมาอุปไมยในการเรียนการสอนนี้จึงไม่ได้มีการเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาดังกล่าว

2.2 สภาพการเรียนรู้ของนักเรียน

ในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ นักเรียนสามารถทำการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยของแสงที่มีผลต่อการสะสมแป้งในใบพืชหรือสังเกตอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจากการทดลองการวัดอัตราการปล่อยออกซิเจนเมื่อเกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำ อย่างไรก็ตาม การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์พืชจึงมีลักษณะเป็นนามธรรมและมีความซับซ้อน เนื่องจากมีองค์ประกอบหลายอย่างที่เกี่ยวข้องทั้งสารเคมีและโครงสร้างภายในเซลล์ จึงเป็นการยากสำหรับนักเรียนในการเชื่อมโยงคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในระดับโมเลกุลกับผลการทดลองที่สามารถสังเกตได้ จากรายงานการวิจัยพบว่า นักเรียนไม่สามารถสร้างแนวคิดที่ถูกต้องเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงและพลังงานที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนั้นพบว่า นักเรียนมีความสับสนเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของพืชซึ่งต่างมีกระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างพืชกับสิ่งแวดล้อม (Marmaroti;& Galanopoulou. 2006: 383)

2.3 การเรียนรู้ของนักเรียนจากการอุปมาอุปไมย

การอธิบายแนวคิดเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง สามารถใช้การเปรียบเทียบกับการประกอบอาหารในห้องครัว เนื่องจากนักเรียนมีแนวคิดเกี่ยวกับการประกอบอาหารจากประสบการณ์เดิมโดยอาจได้รับประสบการณ์ตรงหรือจากสื่อต่างๆ แนวคิดดังกล่าวสามารถนำมาใช้ทำความเข้าใจการสังเคราะห์ด้วยแสง ตาราง 2 แสดงรายละเอียดของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงและการอุปมาอุปไมย ที่ใช้ในการเปรียบเทียบกระบวนการนั้น

ตาราง 2 เปรียบเทียบการสังเคราะห์ด้วยแสงกับการประกอบอาหารในครัว

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	ตัวอย่างที่นำมาเปรียบเทียบ	คำอธิบายเชิงอุปมาอุปไมย
1. การสังเคราะห์ด้วยแสง *วัตถุดิบ* คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ *แหล่งของพลังงาน* แสง *ผลผลิต* น้ำตาล แก๊สออกซิเจน	**1. การประกอบอาหาร** *วัตถุดิบ* เนื้อดิบ ผัก เครื่องปรุง *แหล่งของพลังงาน* ความร้อนจากเชื้อเพลิง *ผลผลิต* อาหาร	การสังเคราะห์ด้วยแสงมีลักษณะบางประการที่เหมือนกับการประกอบอาหาร กล่าวคือ เป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงานในการสร้างผลผลิต จากวัตถุดิบ ในการประกอบอาหารมีวัตถุดิบคือ เนื้อดิบ ผัก เครื่องปรุง และใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารในขณะที่การสังเคราะห์ด้วยแสงมีวัตถุดิบคือ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และใช้พลังงานแสงในกระบวนการได้ผลผลิตเป็น น้ำตาลและแก๊สออกซิเจน
2. ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง		
วัตถุดิบ ถ้าวัตถุดิบคือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งแล้วคงที่	*วัตถุดิบ* ถ้าวัตถุดิบ คือ เนื้อสัตว์เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ปริมาณการประกอบอาหารในช่วงเวลาหนึ่งมากขึ้นจนถึงระดับหนึ่งแล้วคงที่แม้ว่าจะมีการเพิ่มวัตถุดิบ แต่ปริมาณการประกอบอาหารจะไม่เพิ่มขึ้นอีก เนื่องจากปัจจัยอื่นไม่เพียงพอ	หากมีการเพิ่มปริมาณวัตถุดิบในการประกอบอาหารมากขึ้นจะทำให้ปริมาณการประกอบอาหารในช่วงเวลาหนึ่งมากขึ้น จนถึงระดับหนึ่งแล้วคงที่เนื่องจากปัจจัยอื่นมีไม่เพียงพอเช่นเดียวกับเมื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งแล้วคงที่ เนื่องจากปัจจัยอื่นเช่น ปริมาณเอนไซม์ไม่เพียงพอ
แหล่งของพลังงาน อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงขึ้นเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่งที่จุดอิ่มตัวของแสง จากนั้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะคงที่ และถ้าความเข้มแสงมากเกินไปจะทำลายเนื้อเยื่อของพืช	*แหล่งของพลังงาน* การประกอบอาหารอาจทำให้อาหารสุกได้เร็วขึ้น เมื่อเพิ่มความร้อน แต่ถ้าเพิ่มความร้อนมากไปจะทำให้อาหารไหม้ หรือภาชนะประกอบอาหารเสียหาย	หากมีการเพิ่มความร้อนในการประกอบอาหาร อาจทำให้อาหารสุกได้เร็วขึ้น แต่ถ้าเพิ่มความร้อนมากไปจะทำให้อาหารไหม้ หรือภาชนะประกอบอาหารเสียหาย เช่นเดียวกับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงขึ้นเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้น จากนั้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะคงที่ และถ้าความเข้มแสงมากเกินไปจะทำลายเนื้อเยื่อของพืช

2.4 ข้อจำกัดของอุปมาอุปไมย

การอุปมาอุปไมยการสังเคราะห์ด้วยแสงเหมือนการประกอบอาหารในห้องครัว มีจุดมุ่งหมายให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง พลังงานที่ใช้ในกระบวนการและผลผลิตที่ได้ แต่ไม่ได้ครอบคลุมถึง รายละเอียดของปฏิกิริยา และความแตกต่างของพืชแต่ละชนิด

2.5 ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้การอุปมาอุปไมย นักเรียนควรสามารถ

1. บอกความหมายของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
2. อธิบายความสำคัญของปัจจัยบางประการที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง และผลที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสง
3. มีความคงทนในการเรียนรู้ โดยสามารถอธิบายความสำคัญของปัจจัยบางประการที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง หลังจากการเรียนรู้ 2 สัปดาห์

3. การออสโมซิส

3.1 ขอบเขตของการอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

หลักการสำคัญของการออสโมซิสที่นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ควรทำความเข้าใจ คือ การออสโมซิสจะเกิดขึ้นเมื่อสารละลายสองบริเวณที่มีความเข้มข้นไม่เท่ากันถูกกั้นด้วยเยื่อเลือกผ่าน (เป็นเยื่อที่ยอมให้อนุภาคของตัวทำละลายแพร่ผ่าน แต่ไม่ยอมให้ อนุภาคของตัวถูกละลายแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านนั้น) ตัวทำละลายจะแพร่ผ่านเยื่อจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของตัวทำละลายมากกว่า (สารละลายเจือจาง) ไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของตัวทำละลายน้อยกว่า (สารละลายเข้มข้น) จนทำให้สารละลายสองบริเวณมีความเข้มข้นเท่ากัน สารละลายในสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่มี น้ำเป็นตัวทำละลาย ดังนั้นการออสโมซิสคือการที่โมเลกุลของน้ำแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านจากสารละลายเจือจางไปยังสารละลายเข้มข้น จนทำให้ที่จุดสมดุล ความเข้มข้นของสารละลายสองบริเวณเท่ากัน การทำความเข้าใจกระบวนการออสโมซิสในระดับนี้เพียงพอที่จะใช้อธิบายผลการทดลองทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ เช่น การใส่เซลล์พืช หรือ เซลล์สัตว์ ลงไปในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกันส่งผลให้รูปร่างของเซลล์เปลี่ยนไป เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายภายใน และภายนอกเซลล์ไม่เท่ากัน

3.2 สภาพการเรียนรู้ของนักเรียน

การออสโมซิส เป็นกระบวนการที่มีบทบาทในการลำเลียงน้ำของพืช นักเรียนสามารถสังเกตผลของกระบวนการออสโมซิส จากการใช้กล้องจุลทรรศน์สังเกตลักษณะของเซลล์พืชที่อยู่ในสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นต่างกัน หากสารละลายภายนอกมีความเข้มข้นมากกว่าสารละลายภายในเซลล์ น้ำภายในเซลล์จะแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เซลล์เหี่ยว ในทางกลับกัน ถ้าสารละลายภายนอกมีความเข้มข้นน้อยกว่าสารละลายภายในเซลล์ น้ำจะออสโมซิสเข้าสู่เซลล์ทำให้เซลล์เต่ง

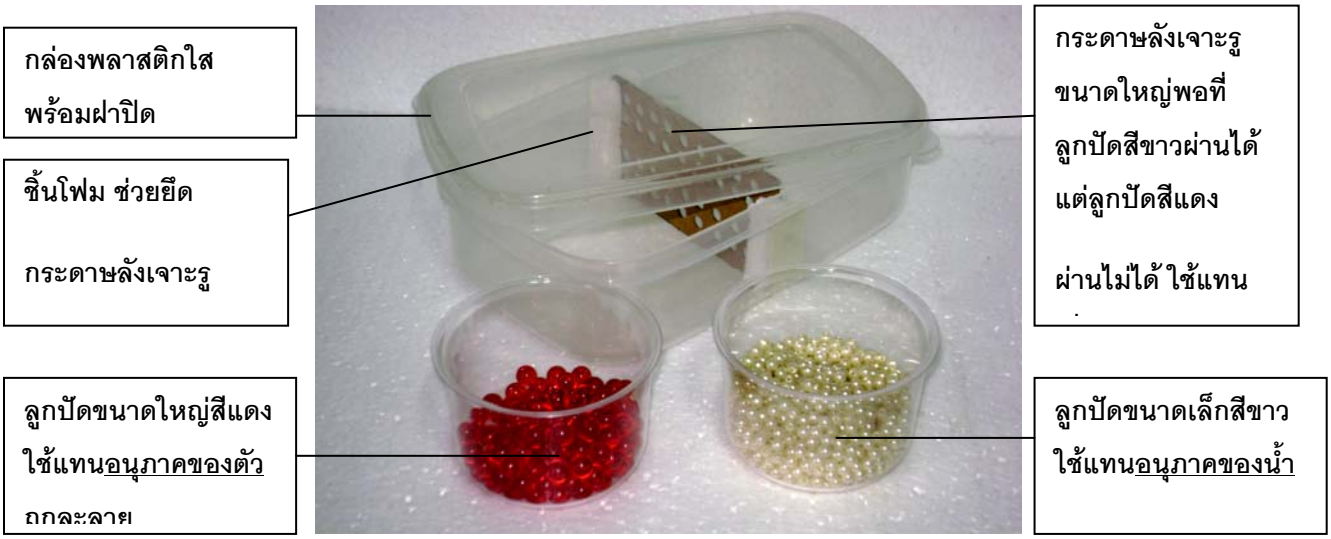
การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำจากสารละลายเกลือที่เจือจางกว่า ไปสู่เซลล์ซึ่งมีสารละลายที่เข้มข้นกว่าผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นแนวคิดที่เป็นนามธรรม จากรายงานการวิจัยพบว่า นักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกระบวนการออสโมซิส (Meir; et al. 2005: 237)

3.3 การเรียนรู้จากการอุปมาอุปไมย

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นอยู่ในระดับอนุภาค มีลักษณะเป็นนามธรรม ยากแก่การทำความเข้าใจ โดยนักเรียนต้องทำความเข้าใจแนวคิดเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารละลาย และแนวคิดเกี่ยวกับเยื่อเลือกผ่านที่ยอมให้โมเลกุลของน้ำผ่านได้เท่านั้น การใช้อุปมาอุปไมยในแบบจำลองการออสโมซิส เป็นการอธิบายกระบวนการออสโมซิสในบริบทที่นักเรียนคุ้นเคย โดยใช้ลูกปัดซึ่งเป็นวัตถุที่เป็นรูปธรรมแทนโมเลกุลของน้ำ และเห็นการเคลื่อนที่ของลูกปัดขนาดเล็กผ่านรูซึ่งมีขนาดพอดีกับลูกปัดขนาดเล็กเท่านั้น เทียบกับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1 สร้างเครื่องมือ

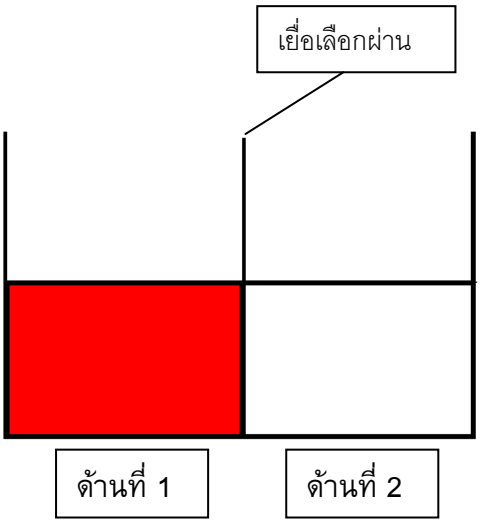
สร้างแบบจำลองโดยใช้กล่องพลาสติกใส โฟม กระดาษลัง ประกอบเข้ากันตามภาพ



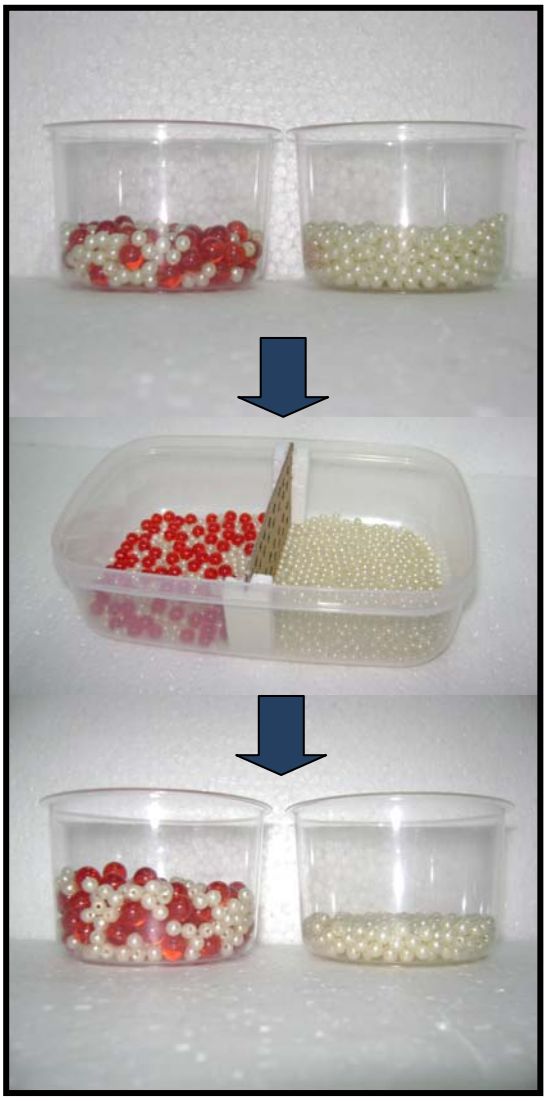
2 ขั้นตอนการสาธิต

2.1 ครูอธิบายนักเรียนว่า การออสโมซิสคือ การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่านจากบริเวณที่มีปริมาณน้ำมาก ไปยังบริเวณที่มีปริมาณน้ำน้อย จากนั้นให้นักเรียนดูภาชนะใส่ของเหลว 2 ชนิด ปริมาตรเท่ากัน ภาชนะใบที่ 1 ใส่น้ำผสมสี ภาชนะใบที่ 2 ใส่น้ำเพียงอย่างเดียว ถามนักเรียนว่า ภาชนะใบไหน มีปริมาณน้ำมากกว่า

2.2 นักเรียนอาจตอบว่าภาชนะทั้งสองมีปริมาณน้ำเท่ากัน ให้ครูอธิบายต่อว่า ภาชนะใบที่ 1 มีน้ำและสี ภาชนะที่ 2 มีน้ำเพียงอย่างเดียวที่ปริมาตรเท่ากัน ภาชนะใบที่ 2 ย่อมมีน้ำมากกว่า จากนั้นครูให้นักเรียนดูภาชนะใส่ลูกปัด และอธิบายว่า “ถ้าเปรียบเทียบอนุภาคของน้ำกับลูกปัดขนาดเล็กสีขาว และเปรียบเทียบอนุภาคของสีกับลูกปัดขนาดใหญ่สีแดง ภาชนะใบที่ 1 มีลูกปัดสีแดงและลูกปัดสีขาว ภาชนะใบที่ 2 มีลูกปัดสีขาวเพียงอย่างเดียว ดังนั้น ภาชนะใบที่ 2 ย่อมมีจำนวนของลูกปัดสีขาวมากกว่า ภาชนะใบที่ 1” ตามภาพ



2.3 ครูวาดรูปภาชนะมีเยื่อเลือกผ่านกั้นตรงกลาง แบ่งภาชนะเป็น 2 ด้าน เยื่อเลือกผ่านในที่นี้ ยอมให้อนุภาคของน้ำผ่านได้เท่านั้น แต่อนุภาคของสีผ่านไม่ได้ ถามนักเรียนว่า “ถ้าใส่น้ำผสมสีในภาชนะด้านที่ 1 และใส่น้ำบริสุทธิ์ในภาชนะด้านที่ 2 ให้เวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ระดับของเหลวในภาชนะด้านที่ 1 จะสูงขึ้น ต่ำลง หรือเท่าเดิม”



2.4 ครูอธิบายว่า ตามหลักการออสโมซิส น้ำจะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน จากบริเวณที่มีน้ำมาก (สารละลายเจื่อจาง)ไปยังบริเวณที่มีน้ำน้อย (สารละลายเข้มข้น) ภาชนะด้านที่ 2 มีน้ำมากกว่าภาชนะด้านที่ 1 ดังนั้น น้ำจะเคลื่อนที่จากภาชนะด้านที่ 2 สู่ภาชนะด้านที่ 1 ส่งผลให้ ระดับของเหลวในภาชนะด้านที่ 1 สูงขึ้น กระบวนการดังกล่าวสามารถเปรียบเทียบให้เห็นได้โดยดังนี้

2.5 นำลูกปัดในข้อ 2.2 มาใส่ในกล่องพลาสติกที่กั้นกลางด้วยกระดาษลังเจาะรู จากนั้นให้นักเรียนคนหนึ่งเขย่ากล่องไปมา ให้ลูกปัดเคลื่อนที่ไปมาในกล่องประมาณ 30 วินาที

2.6 เทลูกปัดลงในภาชนะเดิมอีกครั้งและให้นักเรียนสังเกตปริมาณของลูกปัดในภาชนะด้านที่ 1 เปรียบเทียบกับด้านที่ 2 นักเรียนจะสังเกตเห็นว่า ปริมาณลูกปัดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากลูกปัดจากภาชนะด้านที่2 เคลื่อนที่ผ่านกระดาษลังเจาะรู มาสู่ภาชนะด้านที่ 1 ในขณะที่ลูกปัดสีแดงไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากภาชนะด้านที่ 1 ได้

3. สรุปการเรียนรู้จากอุปมาอุปไมย

ครูให้นักเรียนช่วยกันสรุปแนวคิดจากการสาธิต โดยเน้นแนวคิดเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารละลาย ที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำในสารละลายนั้น และการเคลื่อนที่ของลูกปัดขนาดเล็กผ่านแนวกั้นที่ยอมให้ลูกปัดขนาดเล็กผ่าน เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่านจากบริเวณที่มีน้ำมากไปยังบริเวณที่มีน้ำน้อย การเปรียบเทียบเชิงอุปมาอุปไมยระหว่างการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในกระบวนการออสโมซิส กับการจัดสัดส่วนลูกปัด แสดงในตารางที่ 5

ตาราง 3 การเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในกระบวนการออสโมซิสกับการเคลื่อนที่ของลูกปัด

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	สิ่งที่นำมาเปรียบเทียบ	คำอธิบายเชิงอุปมาอุปไมย
1. ความเข้มข้นของสารละลาย น้ำบริสุทธ์ มีปริมาณน้ำมากกว่าสารละลายที่ปริมาตรเท่ากัน และสารละลายเจือจาง จะมีปริมาณน้ำมากกว่า สารละลายเข้มข้น 	**1. จำนวนของลูกปัด** ในภาชนะใบที่ 1 มีลูกปัดขนาดเล็กน้อยกว่าภาชนะใบที่ 2 	“ภาชนะใบที่ 1 มีน้ำและสี ภาชนะที่ 2 มีน้ำเพียงอย่างเดียวที่ปริมาตรเท่ากัน ภาชนะใบที่ 2 ย่อมมีน้ำมากกว่า ถ้าเปรียบเทียบอนุภาคของน้ำกับลูกปัดขนาดเล็กสีขาว และเปรียบเทียบอนุภาคของสีกับลูกปัดขนาดใหญ่สีแดง ภาชนะใบที่ 1 มีลูกปัดสีแดงและลูกปัดสีขาว ภาชนะใบที่ 2 มีลูกปัดสีขาวเพียงอย่างเดียว ดังนั้นภาชนะใบที่ 2 ย่อมมีจำนวนของลูกปัดสีขาวมากกว่าภาชนะใบที่ 1”
2.ลักษณะของเยื่อเลือกผ่าน เยื่อเลือกผ่านยอมให้โมเลกุลของน้ำผ่านได้ แต่อนุภาคของตัวถูกละลายผ่านไม่ได้	**2. ลักษณะของกระดาษแข็งเจาะรู** รูบนกระดาษมีขนาดใหญ่พอสำหรับลูกปัดขนาดเล็กเท่านั้น ลูกปัดขนาดใหญ่ผ่านไม่ได้	“กระดาษที่มีรูขนาดใหญ่พอสำหรับการผ่านเข้าออกของลูกปัดขนาดเล็กเท่านั้น เปรียบเหมือนกับ เยื่อเลือกผ่านที่ยอมให้โมเลกุลของน้ำผ่านเท่านั้น”
3.การออสโมซิส การออสโมซิสคือ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำ ผ่านเยื่อเลือกผ่านระหว่างสารละลาย 2 บริเวณที่มีปริมาณน้ำไม่เท่ากัน อนุภาคของน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณสารละลายมีปริมาณของน้ำมากกว่าไปสู่บริเวณที่สารละลายมีความปริมาณของน้ำน้อยกว่า	**3. การเคลื่อนที่ของลูกปัดขนาดเล็กผ่านกระดาษเจาะรู** การเคลื่อนที่ของลูกปัดขนาดเล็กผ่านกระดาษเจาะรู จากบริเวณที่มีลูกปัดขนาดเล็กมาก ไปสู่บริเวณที่มีลูกปัดขนาดเล็กน้อยกว่า	ในการออสโมซิส น้ำจะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน จากบริเวณที่มีน้ำมาก(สารละลายเจื่อจาง)ไปยังบริเวณที่มีน้ำน้อย เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของลูกปัดขนาดเล็กผ่านกระดาษเจาะรู จากบริเวณที่มีลูกปัดขนาดเล็กมาก ไปสู่บริเวณที่มีลูกปัดขนาดเล็กน้อยกว่า

3.4 ข้อจำกัดของอุปมาอุปไมย

อุปมาอุปไมยนี้มีจุดประสงค์ให้นักเรียนทำความเข้าใจแนวคิดเกี่ยวกับสัดส่วนและการเคลื่อนที่ของอนุภาคผ่านเยื่อเลือกผ่านแต่มีข้อจำกัดในการอธิบายธรรมชาติของการเคลื่อนที่ของอนุภาคซึ่งเป็นอย่างสุ่ม และที่จุดสมดุลของการออสโมซิสการเคลื่อนที่ของอนุภาคยังคงมีอยู่แต่โดยอัตราเฉลี่ยเท่ากันทุกบริเวณ ดังนั้นครูควรเน้นให้นักเรียนตระหนักถึงข้อจำกัดของอุปมาอุปไมยนี้ และทบทวนแนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่ของอนุภาคในกระบวนการแพร่ที่ได้เรียนรู้มาแล้ว

3.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ เรื่อง การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในกระบวนการออสโมซิส โดยใช้การอุปมาอุปไมย นักเรียนควรสามารถ

1. บอกความหมายของการออสโมซิสได้
2. อธิบายความแตกต่างระหว่างสารละลายเข้มข้น และสารละลายเจือจางได้
3. ใช้ความรู้เกี่ยวกับการออสโมซิสอธิบายสาเหตุของการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่เซลล์พืช
4. มีความคงทนในการเรียนรู้ โดยสามารถอธิบาย ความแตกต่างระหว่างสารละลายเข้มข้นและสารละลายเจือจางและอธิบายสาเหตุของการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่เซลล์พืชได้หลังจากการเรียนรู้ 2 สัปดาห์

4. การแพร่ของแก๊ส

4.1 ขอบเขตของการอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

ในเนื้อหาชีววิทยาเกี่ยวกับพืช หลักการแพร่ของแก๊สเกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการลำเลียงคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ใบพืชผ่านทางปากใบ และลำเลียงแก๊สออกซิเจนออกจากใบพืชในระหว่างที่มีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงกล่าวคือการสังเคราะห์ด้วยแสงทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ บริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์ในใบน้อยกว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ทำให้ คาร์บอนไดออกไซด์แพร่จากบรรยากาศเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์และเข้าสู่เซลล์พืช ในขณะเดียวกันเกิดการสะสมของแก๊สออกซิเจนซึ่งเป็นผลผลิตหนึ่งของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง บริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนในช่องว่างนั้นมีมากกว่าในบรรยากาศ แก๊ส ออกซิเจนจึงแพร่จากช่องว่างในใบสู่บรรยากาศ

กระบวนการแพร่ของแก๊ส ยังใช้อธิบายการคายน้ำของพืช กล่าวคือ เมื่อน้ำมีการระเหยจากเซลล์พืชเข้าสู่ช่องว่างในใบ ถ้าในช่องว่างของใบมีความเข้มข้นของไอน้ำมากกว่าในบรรยากาศ ไอน้ำจะแพร่ออกจากใบสู่บรรยากาศ การสูญเสียน้ำของเซลล์ทำให้มีการออสโมซิสของน้ำจากเซลล์ข้างเคียงต่อเนื่องกันจนถึงเซลล์ลำเลียงน้ำ กระบวนการดังกล่าวก่อให้เกิดแรงดึงน้ำในเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำของพืชจากรากขึ้นมาสู่ใบ (Tan; & Kai. 2004: 65)

4.2 สภาพการเรียนรู้ของนักเรียน

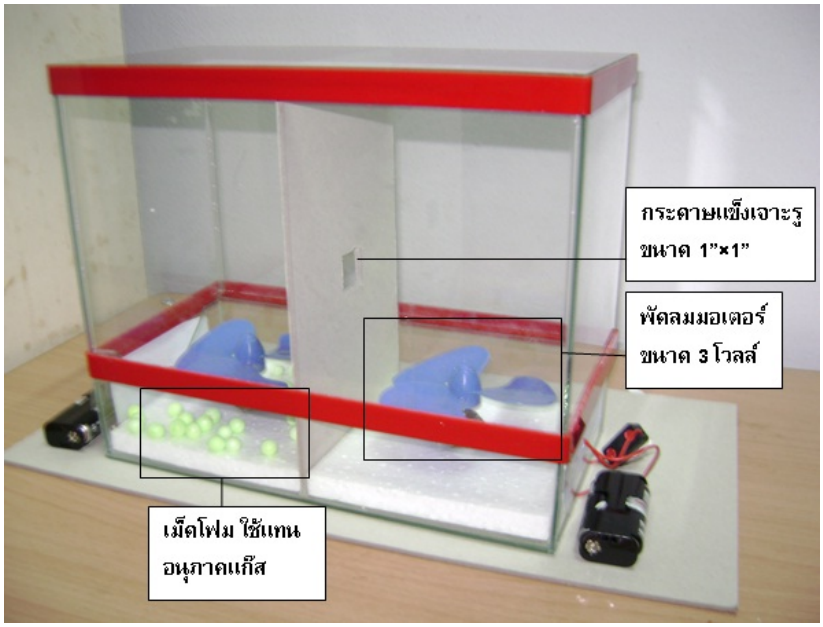
ในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ นักเรียนอาจสังเกตกระบวนการแพร่ได้จากการฉีดน้ำหอมที่มุมห้อง แต่ไม่สามารถมองเห็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊ส และจากรายงานวิจัยพบว่า นักเรียนมักมีความเข้าใจผิดเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของอนุภาค โดยนักเรียนเชื่อว่าการเคลื่อนที่ของอนุภาคไม่ได้เป็นไปอย่างสุ่ม และที่จุดสมดุลอนุภาคหยุดการเคลื่อนที่ (Meir; et al. 2005: 237)

4.3 การเรียนรู้จากการอุปมาอุปไมย

การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊สในกระบวนการแพร่ สามารถอธิบายโดยใช้การอุปมาอุปไมยผ่านแบบจำลองการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊ส การใช้แบบจำลองเป็นวิธีหนึ่งในการอธิบายความสัมพันธ์เชิงอุปมาอุปไมยระหว่างแนวคิดทางวิทยาศาสตร์กับแบบจำลองเพื่อทำให้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์เชิงนามธรรมมีความเป็นรูปธรรมมากขึ้น โดยในแบบจำลองจะมีลักษณะบางประการที่เหมือนกับลักษณะแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนสามารถใช้เหตุผลเชิงอุปมาอุปไมยในการเปรียบเทียบลักษณะที่สังเกตได้ในแบบจำลองกับลักษณะที่สังเกตไม่ได้ของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพื่อทำความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์นั้น Duit (1991: 651) เสนอว่า “แบบจำลองเป็นสิ่งแสดงการอุปมาอุปไมย และความสัมพันธ์เชิงอุปมาอุปไมยทำให้แบบจำลองเป็นแบบจำลอง” รายละเอียดของแบบจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคแก๊ส มีดังนี้

1) โครงสร้างของแบบจำลอง

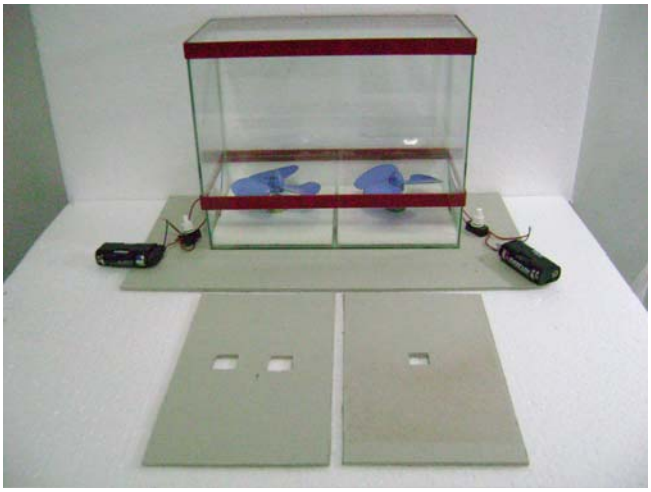
โครงสร้างของแบบจำลองประกอบด้วยตู้กระจกขนาด 5” × 10” ติดตั้งพัดลมมอเตอร์ขนาด 3 โวลล์ 2ตัว มีแผ่นกระดาษแข็งเจาะรูขนาด 1”×1”กั้นกลางระหว่างพัดลมสองตัวและใช้เม็ดโฟมแทนอนุภาคแก๊ส ตามภาพ



2.วิธีใช้แบบจำลอง

1. ใช้อธิบายอนุภาคของสสารในสถานะแก๊ส ซึ่งมีระยะห่างกัน และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ชนกับผนังของภาชนะ และชนกับอนุภาคด้วยกัน

2. ใช้อธิบายการแพร่ของอนุภาคของสสารในสถานะแก๊ส ซึ่งมีการเคลื่อนที่กระจายจากบริเวณที่มีความเข้มข้นมากไปน้อย



3. ใช้อธิบายผลของจำนวนของปากใบกับอัตราการสูญเสียน้ำโดยใช้แผ่นกั้นแบบจำลองสองแบบ ที่มีจำนวนรูบนแผ่นกั้นไม่เท่ากัน ให้นักเรียนนับเม็ดโฟมที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านแผ่นกั้นในเวลา 1 นาที

4. ใช้อธิบายผลของความกว้างของปากใบกับอัตราการสูญเสียน้ำ โดยใช้แผ่นกั้นแบบจำลองสองแบบที่มีขนาดของรูบนแผ่นกั้นไม่เท่ากัน ให้นักเรียนนับเม็ดโฟมที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านแผ่นกั้นในเวลา 1 นาที

5. การแลกเปลี่ยนแก๊สของพืชในเวลากลางวัน

ใช้เม็ดโฟม 2 สี แทนแก๊ส 2 ชนิด สีแดงแทนแก๊สออกซิเจน สีเขียวแทนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในเวลากลางวันพืชสังเคราะห์ด้วยแสงได้ผลผลิตเป็น แก๊สออกซิเจนทำให้ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนในช่องว่างของใบมีมากกว่าในบรรยากาศ ดังนั้นใส่เม็ดโฟมสีแดงลงไปในกล่องส่วนที่หนึ่ง 20 เม็ด ส่วนที่สอง 3 เม็ด การสังเคราะห์ด้วยแสงใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างของใบน้อยกว่าในบรรยากาศ ดังนั้น ใส่เม็ดโฟมสีเขียวในกล่องส่วนที่หนึ่ง

6. การแลกเปลี่ยนแก๊สของพืชในเวลากลางคืน

ในเวลากลางคืนพืชไม่มีการสังเคราะห์ด้วยแสง การใช้แก๊สออกซิเจนในการหายใจ ทำให้ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนในช่องว่างของใบ มีน้อยกว่าในบรรยากาศ ดังนั้นใส่เม็ดโฟมสีแดงลงไปในกล่องส่วนที่หนึ่ง 3 เม็ด ส่วนที่สอง 20 เม็ด การหายใจได้ผลผลิตเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างของใบมากกว่าในบรรยากาศ ดังนั้นนั้นใส่เม็ดโฟมสีเขียวในกล่องส่วนที่หนึ่ง จำนวน 20 เม็ด กล่องส่วนที่สอง 3 เม็ด

ตาราง 4 การเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊สในกระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊สของพืชกับการเคลื่อนที่ของเม็ดโฟมในแบบจำลองการแพร่ของแก๊ส

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**สิ่งที่นำมาเปรียบเทียบ**	**คำอธิบายเชิงอุปมาอุปไมย**
1. แก๊สประกอบด้วยโมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่าพื้นที่ว่างระหว่างโมเลกุล 2.โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่อย่างสุ่มที่ความเร็วต่างกัน และ ในทุกทิศทางที่เป็นไปได้ มีการชนกันระหว่างโมเลกุลของแก๊สด้วยกัน และระหว่างโมเลกุลของแก๊สกับผนัง	1. เมื่อปล่อยให้เม็ดโฟมกระจายทั่วทั้งตู้กระจก เม็ดโฟมมีขนาดเล็กกว่าที่ว่างระหว่างเม็ดโฟม 2. เม็ดโฟมเคลื่อนที่อย่างสุ่มที่ความเร็วต่างกันในทิศทางที่เป็นไปได้ในตู้กระจก มีการชนกันระหว่างเม็ดโฟมด้วยกัน และเม็ดโฟมกับผนัง	เมื่อเปิดพัดลมทั้งสองตัวของแบบจำลอง เม็ดโฟมจะเคลื่อนที่อย่างสุ่มกระจายทั่วทั้งตู้กระจก มีการชนกันระหว่างเม็ดโฟมด้วยกัน และเม็ดโฟมกับผนัง เช่นเดียวกับ ลักษณะการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊สซึ่งเคลื่อนที่อย่างสุ่ม ในทุกทิศทางที่เป็นไปได้ มีการชนกันระหว่างโมเลกุลของแก๊สด้วยกัน และระหว่างโมเลกุลของแก๊สกับผนัง

ตาราง 4 (ต่อ)

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	สิ่งที่นำมาเปรียบเทียบ	คำอธิบายเชิงอุปมาอุปไมย
3. ผลของการเคลื่อนที่ในทุกทิศทางที่เป็นไปได้ ทำให้โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่กระจายจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของแก๊สมากกว่าไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของแก๊สน้อยกว่า	3. ผลของการเคลื่อนที่ในทุกทิศทางที่เป็นไปได้ทำให้เม็ดโฟมเคลื่อนที่กระจายจากบริเวณที่มีจำนวนเม็ดโฟมมากกว่าไปสู่บริเวณที่มีเม็ดโฟมน้อยกว่า	ผลของการเคลื่อนที่ในทุกทิศทางที่เป็นไปได้ทำให้เม็ดโฟมเคลื่อนที่กระจายจากบริเวณที่มีจำนวนเม็ดโฟมมากกว่าไปสู่บริเวณที่มีเม็ดโฟมน้อยกว่า เช่นเดียวกับกระบวนการแพร่ของโมเลกุลแก๊สซึ่งเคลื่อนที่กระจายจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของแก๊สมากกว่าไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของแก๊สน้อยกว่า ในเวลากลางวัน พืชสังเคราะห์ด้วยแสงได้ผลผลิตเป็น แก๊สออกซิเจนทำให้ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนในช่องว่างของใบมีมากกว่าใบบรรยากาศ แก๊สออกซิเจนจึงแพร่ออกจากใบพืช ในเวลากลางคืนพืชไม่มีการสังเคราะห์ด้วยแสง การใช้แก๊สออกซิเจนในการหายใจ ทำให้ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนในช่องว่างของใบ มีน้อยกว่าในบรรยากาศ แก๊สออกซิเจนจึงแพร่จากบรรยากาศเข้าสู่ใบพืช ยิ่งช่องทางระหว่างกล่องทั้งสองส่วนมีมาก หรือมีขนาดกว้างความเร็วในการกระจายของเม็ดโฟมยิ่งมากขึ้น เช่นเดียวกับพืชที่มีจำนวนปากใบมากหรือเปิดปากใบกว้าง ย่อมมีอัตราการสูญเสียน้ำที่เกิดจากการคายน้ำมาก
4. จำนวนปากใบของพืชส่งผลต่ออัตราการคายน้ำ กล่าวคือ อัตราการคายน้ำจะมีสูงถ้าพืชมีปากใบมาก	4. จำนวนช่องระหว่างตู้กระจกสองตู้ส่งผลต่ออัตราเร็วในการกระจายตัวของเม็ดโฟม กล่าวคือ เม็ดโฟมจะกระจายกล่องส่วนที่ 1 มายังกล่องส่วนที่สองได้เร็วขึ้นถ้า แผ่นกั้นมีจำนวนช่องมาก	
5. ความกว้างของปากใบของพืชส่งผลต่ออัตราการคายน้ำ กล่าวคือ อัตราการคายน้ำจะมีสูงถ้าพืชเปิดปากใบมาก	5. ความกว้างของช่องระหว่างตู้กระจกสองตู้ส่งผลต่ออัตราเร็วในการกระจายตัวของเม็ดโฟม กล่าวคือ เม็ดโฟมจะกระจายจากกล่องส่วนที่ 1 มายังกล่องส่วนที่สองได้เร็วขึ้นถ้า แผ่นกั้นมีความกว้างของช่องมาก	

4.4 ข้อจำกัดของอุปมาอุปไมย

จุดประสงค์ของการใช้อุปมาอุปไมยนี้คือการให้นักเรียนเห็นการเคลื่อนที่แบบสุ่มที่ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายจากบริเวณที่มีความเข้มข้นมากกว่าไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าโดยใช้ลักษณะการเคลื่อนที่ของเม็ดโฟมในแบบจำลอง ข้อจำกัดของการอุปมาอุปไมยนี้คือ การอธิบายไม่ครอบคลุมถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและพลังงานจลน์ของโมเลกุลของแก๊สรวมไปถึงคุณสมบัติต่าง ๆของแก๊ส เช่น ความดันของแก๊ส ปริมาตรของแก๊ส ฯลฯ

4.5 ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ เรื่อง การเคลื่อนที่ของอนุภาคแก๊ส ในขณะเกิดกระบวนการแพร่ โดยใช้การอุปมาอุปไมย นักเรียนควรสามารถ

1. อธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาคแก๊ส ในขณะเกิดกระบวนการแพร่
2. ใช้ความรู้เกี่ยวกับการแพร่ของแก๊สในการ อธิบายกระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างพืชกับบรรยากาศ และกระบวนการคายน้ำ
3. มีความคงทนในการเรียนรู้ โดยสามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาคแก๊สในขณะเกิดกระบวนการแพร่ และสามารถอธิบายกระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างพืชกับบรรยากาศ และกระบวนการคายน้ำ หลังจากการเรียนรู้ 2 สัปดาห์

5. การเคลื่อนที่ของอนุภาคในการกระบวนการแพร่(เพิ่มเติม)

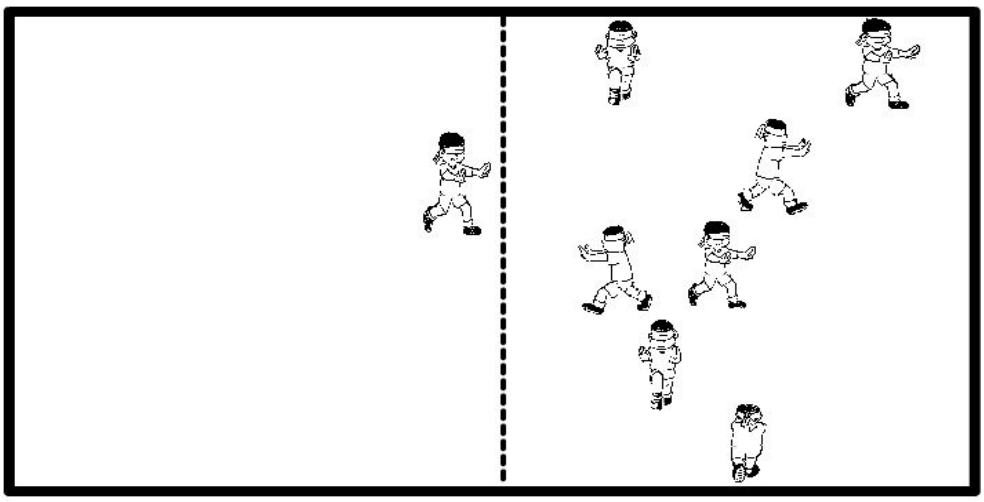
5.1 การเรียนรู้จากการอุปมาอุปไมย

การอธิบายแนวคิดเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของอนุภาคในขณะกระบวนการแพร่ สามารถใช้การยกตัวอย่างสถานการณ์ให้เด็กกลุ่มหนึ่งซึ่งมีผ้าปิดตากำลังเดินอยู่ในห้องซึ่งมีเส้นขีดแบ่งอาณาเขตของห้องเป็นสองบริเวณ เนื่องจากเด็กที่กำลังเดินมองไม่เห็นและกำหนดให้ไม่สามารถส่งเสียง เด็กจึงเคลื่อนที่อย่างสุ่มในทุกทิศทางที่เป็นไปได้ เมื่อปล่อยเวลาไประยะหนึ่งจะพบว่าเด็กเคลื่อนที่กระจายอยู่ทั้งสองบริเวณในอัตราส่วนเท่าๆกัน และยังคงเคลื่อนที่อยู่ การใช้อุปมาอุปไมยดังกล่าว เพื่อให้นักเรียนทำความเข้าใจการเคลื่อนที่ของอนุภาคในกระบวนการแพร่ โดยเปรียบเทียบกับการเคลื่อนที่ของเด็กที่มองไม่เห็นและไม่สามารถส่งเสียงบอกคนอื่นได้

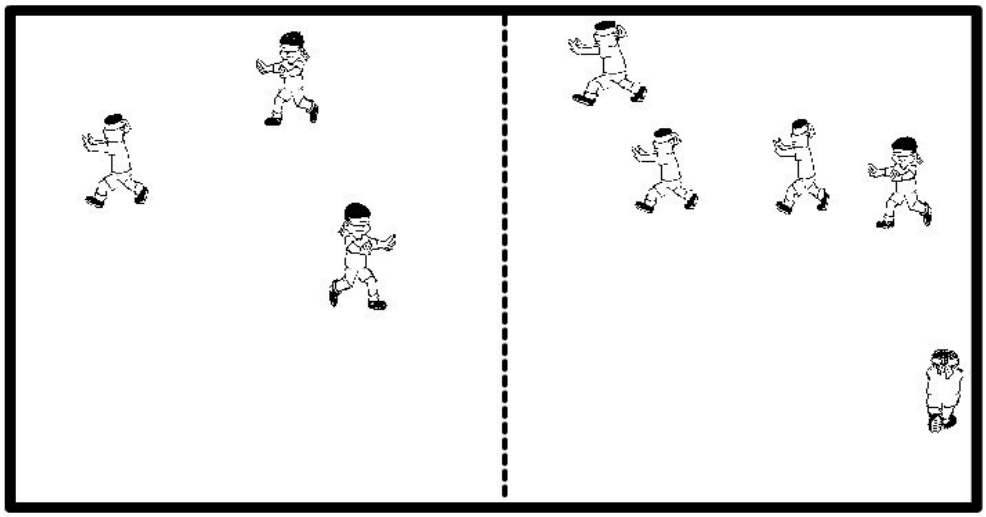
ตาราง 5 การเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของอนุภาคในกระบวนการแพร่กับการเคลื่อนที่ของเด็กที่ถูกปิดตาในห้อง

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	สิ่งที่นำมาเปรียบเทียบ	คำอธิบายเชิงอุปมาอุปไมย
1. อนุภาคของสารมีการเคลื่อนที่อย่างสุ่ม 2. การแพร่ คือ การเคลื่อนที่ของอนุภาคของสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารมากกว่าไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของสารน้อยกว่า 3. ในสภาวะสมดุล ความเข้มข้นของสารเท่ากัน ทุกบริเวณ และอนุภาคของสารยังคงเคลื่อนที่	1. คนที่ถูกปิดตามีการเคลื่อนที่อย่างสุ่มไม่มีทิศทางที่แน่นอน 2. คนที่ถูกปิดตามีการเคลื่อนที่โดยเฉลี่ยจากบริเวณที่มีคนหนาแน่นมากกว่าไปสู่บริเวณที่มีคนหนาแน่นน้อยกว่า 3. ณ เวลาหนึ่ง คนจะเดินกระจายไปทั่วบริเวณห้องทั้งสองห้อง และคนยังคงเคลื่อนที่	คนที่ถูกปิดตาจะเดินอย่างไม่มีทิศทางที่แน่นอน จะเปลี่ยนทิศทางการเดินเมื่อชนกับคนอื่นหรือชนกับผนัง ผลของการเคลื่อนที่ในลักษณะดังกล่าวจะทำให้โดยรวม คนจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความหนาแน่นมากกว่ากระจายไปสู่บริเวณที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า เช่นเดียวกับ การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่เป็นอย่างสุ่ม และจะเปลี่ยนทิศทางเมื่อชนกับอนุภาคอื่นหรือผนัง ผลของการเคลื่อนที่ดังกล่าวจะทำให้อนุภาคมีการเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของอนุภาคมาก ไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของอนุภาคน้อย

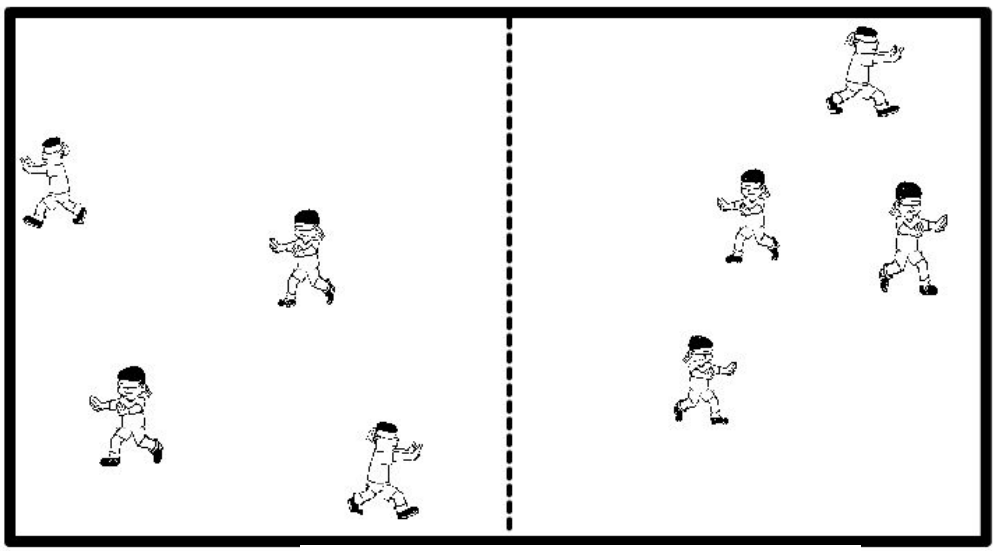
ภาพแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของเด็กในห้อง



การเดินของเด็กขณะเริ่มต้น



การเดินของเด็กเมื่อเวลาผ่านไป 2 นาที



การเดินของเด็กเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที

5.2 ข้อจำกัดของอุปมาอุปไมย

ขอบเขตของการใช้อุปมาอุปไมยการเคลื่อนที่ของคนถูกปิดตา คือ การอธิบายแนวคิดเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของอนุภาคโดยเน้นว่าอนุภาคเคลื่อนที่อย่างสุ่ม และโดยเฉลี่ยเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความหนาแน่นมากกว่า ไปสู่บริเวณที่หนาแน่นน้อยกว่า จนความหนาแน่นของสองบริเวณเท่ากัน แต่อนุภาคยังคงมีการเคลื่อนที่ ข้อจำกัดของอุปมาอุปไมย คือ อนุภาคเป็นสิ่งไม่มีชีวิต ในขณะที่คนเป็นสิ่งมีชีวิต

5.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ เรื่อง การเคลื่อนที่ของอนุภาคในขณะเกิดกระบวนการแพร่ โดยใช้การอุปมาอุปไมยแล้ว นักเรียนควรสามารถ

1. บอกความหมายของกระบวนการแพร่
2. อธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาค ในขณะเกิดกระบวนการแพร่
3. มีความคงทนในการเรียนรู้ โดยสามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาค ในขณะเกิดกระบวนการแพร่ หลังจากการเรียนรู้ 2 สัปดาห์

APPENDIX F

The Samples of Teaching Guide

ที่มาและความสำคัญ

ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่ประสบความสำเร็จ นักเรียนต้องมีเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ และสามารถใช้ความรู้วิทยาศาสตร์ในการอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ในชีวิตประจำวันได้ นอกจากนั้น นักเรียนต้องสามารถเชื่อมโยงแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้ในการวิพากษ์วิจารณ์ ตัดสินใจ และดำรงอยู่ในสังคมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างเป็นสุข ดั่งวิสัยทัศน์ของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่กล่าวว่า

> การเรียนรู้วิทยาศาสตร์พื้นฐาน เป็นการเรียนรู้เพื่อความเข้าใจ ซาบซึ้งและเห็นความสำคัญของธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะส่งผลให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงองค์ความรู้หลายๆ ด้าน เป็นความรู้แบบองค์รวม อันจะนำไปสู่การสร้างสรรค์สิ่งต่างๆ และพัฒนาคุณภาพชีวิต มีความสามารถในการจัดการ และร่วมกันดูแลรักษาโลกธรรมชาติอย่างยั่งยืน (สสวท. 2549: 3)

วิสัยทัศน์ของการการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ดังกล่าวไม่อาจประสบความสำเร็จได้ ถ้าในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ นักเรียนไม่เกิดการเรียนรู้ หรือเกิดความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน ปัญหาหนึ่งในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ คือ นักเรียนมักประสบปัญหาเกี่ยวกับการทำความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ที่เป็นนามธรรม เช่น เซลล์ ปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ การลำเลียงสารผ่านเซลล์ และการสังเคราะห์ด้วยแสง จากหลักฐานการวิจัยที่ผ่านมา พบว่า นักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเรื่อง การลำเลียงสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (ถวัลย์. 2544: 115) การสังเคราะห์ด้วยแสง และมีความเข้าใจที่ไม่สมบูรณ์ในเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างพืชและสัตว์ (อุมาพร. 2545: 81)

การวิจัยในครั้งนี้จึงเกิดขึ้นเพื่อ พัฒนาการเรียนการสอนชีววิทยาเกี่ยวกับพืช ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ซึ่งเนื้อหาประกอบด้วยแนวคิดที่เป็นนามธรรม เช่น หน้าที่ของโครงสร้างภายในเซลล์พืช การลำเลียงสารผ่านเซลล์ การแลกเปลี่ยนแก๊สของพืช และการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการสอนแบบ อุปมาอุปไมย ในการอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้การเปรียบเทียบกับวัตถุ หรือ เหตุการณ์ในชีวิตประจำวัน หรือการใช้แบบจำลองที่สามารถจับต้องได้ เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถทำความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้ง่ายขึ้น และส่งเสริมความคงทนของการเรียนรู้ นอกจากผู้วิจัย ได้พัฒนาและเลือกใช้กิจกรรมการเรียนรู้ ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ (The Learning Cycle) เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนได้สำรวจตรวจสอบหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ และพยายามอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติโดยอาศัยความรู้เดิม เรียนรู้คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เปรียบเทียบแนวคิดของตนเองกับเพื่อนร่วมชั้น และนำเสนอแนวคิดของตนเอง
และของกลุ่ม

ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง
ตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

สาระที่ 1 สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต
มาตรฐาน ว 1.1 เข้าใจหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ความสัมพันธ์ของโครงสร้าง และหน้าที่ของระบบต่างๆของสิ่งมีชีวิตที่ทำงานสัมพันธ์กัน มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในการดำรงชีวิตของตนเองและดูแลสิ่งมีชีวิต

ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้แกนกลาง
1. สังเกตและอธิบายรูปร่าง ลักษณะของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวและเซลล์ของสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์	- เซลล์ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว และเซลล์ของสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ เช่น เซลล์พืช และเซลล์สัตว์มีรูปร่าง ลักษณะแตกต่างกัน
2.สังเกตและเปรียบเทียบส่วนประกอบสำคัญของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์	- นิวเคลียส ไซโทพลาซึม และเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์ที่เหมือนกันของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ - ผนังเซลล์และคลอโรพลาสต์ เป็นส่วนประกอบ ที่พบได้ในเซลล์พืช
3. ทดลองและอธิบายหน้าที่ของส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์	- นิวเคลียส ไซโทพลาซึม เยื่อหุ้มเซลล์ แวคิวโอล เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์สัตว์ มีหน้าที่แตกต่างกัน - นิวเคลียส ไซโทพลาซึม เยื่อหุ้มเซลล์ แวคิวโอล ผนังเซลล์ และคลอโรพลาสต์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์พืช มีหน้าที่แตกต่างกัน
4. ทดลองและอธิบายกระบวนการเคลื่อนที่ของสารผ่านเซลล์โดยการแพร่และออสโมซิส	- การแพร่เป็นการเคลื่อนที่ของสาร จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ - ออสโมซิสเป็น การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเข้าและออกจากเซลล์ จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายต่ำไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายสูง โดยผ่านเยื่อเลือกผ่าน

ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้แกนกลาง
5. ทดลองหาปัจจัยบางประการที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช และอธิบายว่าแสง คลอโรฟิลล์ แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ เป็นปัจจัยที่จำเป็นต้องใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง	- แสง คลอโรฟิลล์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
6. ทดลองและอธิบายผลที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช	- น้ำตาล แก๊สออกซิเจนและน้ำ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
7. อธิบายความสำคัญของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม	- กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตและต่อสิ่งแวดล้อมในด้านอาหาร การหมุนเวียนของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
8. ทดลองและอธิบายกลุ่มเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับการลำเลียงน้ำของพืช	- เนื้อเยื่อลำเลียงน้ำเป็นกลุ่มเซลล์เฉพาะเรียงต่อเนื่องกันตั้งแต่ราก ลำต้น จนถึงใบ ทำหน้าที่ในการลำเลียงน้ำและธาตุอาหาร
9. สังเกตและอธิบายโครงสร้างที่เกี่ยวกับระบบลำเลียงน้ำและอาหารของพืช	- เนื้อเยื่อลำเลียงน้ำและเนื้อเยื่อลำเลียงอาหารเป็นกลุ่มเซลล์ที่อยู่คู่ขนานกันเป็นท่อลำเลียง จากราก ลำต้นถึงใบ ซึ่งการจัดเรียงตัวของท่อลำเลียงในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและพืชใบเลี้ยงคู่จะแตกต่างกัน -เนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ ทำหน้าที่ในการลำเลียงน้ำและธาตุอาหารจากรากสู่ใบ ส่วนเนื้อเยื่อลำเลียงอาหารทำหน้าที่ลำเลียงอาหารจากใบสู่ส่วนต่างๆ ของพืช - การคายน้ำมีส่วนช่วยในการลำเลียงน้ำของพืช

ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้แกนกลาง
10. ทดลองและอธิบายโครงสร้างของดอกที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ของพืช	- เกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียเป็นโครงสร้างที่ใช้ในการสืบพันธุ์ของพืชดอก
11. อธิบายกระบวนการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของพืชดอกและการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของพืช โดยใช้ส่วนต่าง ๆ ของพืชเพื่อช่วยในการขยายพันธุ์	- กระบวนการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของพืชดอกเป็นการปฏิสนธิระหว่างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเซลล์ไข่ในออวุล - การแตกหน่อ การเกิดไหล เป็นการสืบพันธุ์ของพืชแบบไม่อาศัยเพศ โดยไม่มีการปฏิสนธิ - ราก ลำต้น ใบ และกิ่งของพืชสามารถนำไปใช้ขยายพันธุ์พืชได้
12. ทดลองและอธิบายการตอบสนองของพืชต่อแสง น้ำ และการสัมผัส	- พืชตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอก โดยสังเกตได้จากการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบของพืช ที่มีต่อแสง น้ำ และการสัมผัส
13. อธิบายหลักการและผลของการใช้เทคโนโลยี ชีวภาพในการขยายพันธุ์ ปรับปรุงพันธุ์ เพิ่มผลผลิตของพืชและนำความรู้ไปใช้ประโยชน์	- เทคโนโลยีชีวภาพ เป็นการใช้เทคโนโลยีเพื่อทำให้สิ่งมีชีวิตหรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต มีสมบัติตามต้องการ - การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช พันธุวิศวกรรม เป็นเทคโนโลยีชีวภาพที่ใช้ในการขยายพันธุ์ ปรับปรุงพันธุ์ และเพิ่มผลผลิตของพืช

\

แนวทางการจัดกิจกรรมตามแนวทาง
รูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้ร่วมกับการใช้ อุปมาอุปไมย

วัฏจักรการเรียนรู้

วัฏจักรการเรียนรู้ เป็นรูปแบบการจัดการเรียนการสอนที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบหลักสูตร และพัฒนาวิธีการสอนวิทยาศาสตร์ในชั้นเรียน รูปแบบการจัดการเรียนการสอนนี้พัฒนามาจากทฤษฎีการพัฒนาทางสติปัญญาของ เปียเจท์ ซึ่งกล่าวว่าผู้เรียนใช้วิธีการ ซึมซับ (assimilation) และปรับเปลี่ยน (accommodation) แนวคิด ในการเรียนรู้ความรู้ใหม่จากการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ใหม่ กับความรู้และทักษะที่มีอยู่เดิม (Abraham; & Renner. 1986:121) กิจกรรมการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้ของ เปียเจท์ จะให้โอกาสนักเรียนได้สำรวจตรวจสอบวัตถุ เหตุการณ์ หรือ สื่อการเรียนรู้ เพื่อซึมซับ (assimilate) ข้อมูลใหม่ และปรับเปลี่ยน (accommodate) ความรู้เดิมจากการพัฒนาแนวคิดและคำอธิบายในการทำความเข้าใจหลักฐานหรือข้อมูลที่มีอยู่ (Renner; Abraham; & Birnie.1988: 40)

จุดมุ่งหมายของ การจัดการเรียนการสอนตามแนวทางวัฏจักรการเรียนรู้ คือ การช่วยให้นักเรียนสร้างความรู้ใหม่ จากการปฏิสัมพันธ์กับปรากฏการณ์ธรรมชาติและสังคม วิธีการสอนนี้ช่วยให้นักเรียนใช้ความรู้เดิมในการเรียนรู้ความรู้ใหม่ พัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง และตระหนักถึงการให้เหตุผลของตนเอง ในการเรียนการสอน นักเรียนมีโอกาสต่อไปนี้ (Sunal; &Sunal. 2003:43)

1. ตระหนักในความรู้เดิมของตนเอง
2. เปรียบเทียบความรู้ใหม่ กับความรู้เดิม
3. เชื่อมโยงแนวคิดทางวิทยาศาสตร์กับสิ่งที่เคยรู้มาก่อน
4. สร้างความรู้วิทยาศาสตร์ของตนเอง
5. นำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในสถานการณ์ใหม่

ขั้นตอนการจัดกิจกรรมในรูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้

วิธีการจัดการเรียนการสอนแบบวัฏจักรการเรียนรู้ มี 3 ขั้น คือ 1) การรวบรวมข้อมูล (exploration) 2) การเรียนรู้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์(conceptual invention) และ 3) การขยายแนวคิด (discovery) วิธีการสอนนี้พัฒนาขึ้นโดย Robert Karplus และทีมวิจัยในโครงการ Science Curriculum Improvement Study ต่อมาการใช้คำเรียกชื่อขั้นตอนการสอนทั้งสามมีการเปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้ครูผู้สอนเข้าใจความหมายของแต่ละขั้นตอนดีขึ้น โดยขั้นตอนของการสอนมีรายละเอียดดังนี้

1. การสำรวจหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ (exploration)

นักเรียนสำรวจหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ จากวัตถุหรือ สถานการณ์ที่นักเรียนอาจไม่เคยพบมาก่อน นักเรียนจะมีโอกาสได้ใช้ความรู้เดิมในการอธิบาย หรือทำความเข้าใจสถานการณ์ที่ครูกำหนดให้ มีการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนร่วมชั้น การนำเสนอแนวคิดของตน การใช้

เหตุผลในการวิเคราะห์แนวคิดที่หลากหลาย กิจกรรมในขั้นตอนการสำรวจหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ควรทำให้นักเรียนได้เห็น รูปแบบ หรือความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ

2. การอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (term introduction)

เป็นขั้นตอนที่ครูมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการแนะนำแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติในขั้นตอนที่ 1 ครูอาจใช้สื่อการสอนช่วยในการอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เช่น ใบความรู้ ภาพเคลื่อนไหว ขั้นตอนนี้ควรมีความเชื่อมโยงกับขั้นตอนการสำรวจหลักฐานทางวิทยาศาสตร์

3. การประยุกต์ใช้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (concept application)

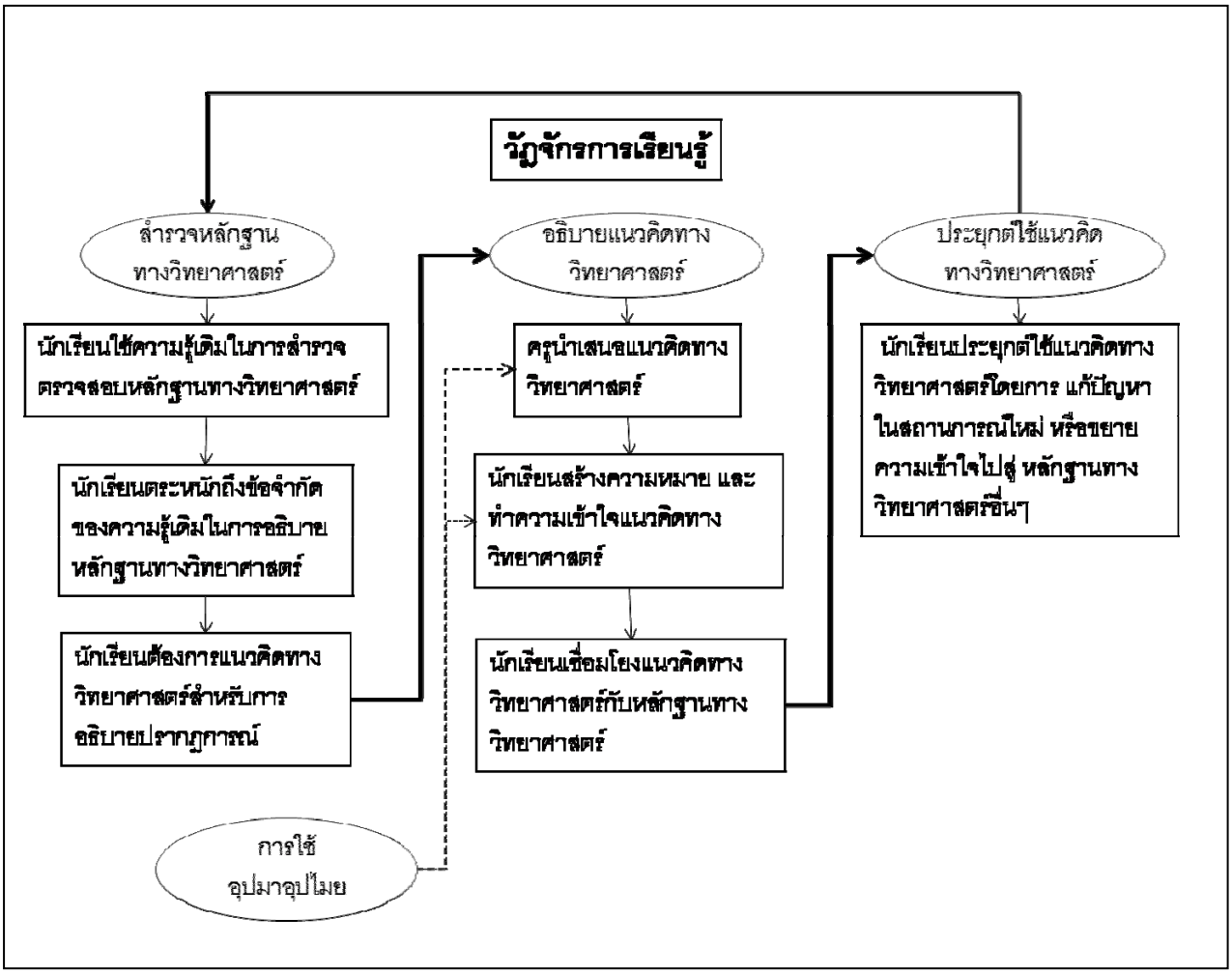
ในขั้นตอนสุดท้ายของวัฏจักรการเรียนรู้ นักเรียนจะได้ประยุกต์ใช้แนวคิดที่ได้เรียนรู้ในสถานการณ์ใหม่ หรือการแก้ปัญหาในบริบทที่แตกต่างจากเดิม เพื่อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้แนวคิดอย่างสมบูรณ์ สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ในสถานการณ์ต่างๆได้

ตารางสรุปบทบาทครูและนักเรียนในขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้

	บทบาทนักเรียน	บทบาทครู
1. การสำรวจหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ (exploration)	ใช้ความรู้และทักษะที่มีอยู่เดิมในการสำรวจตรวจสอบหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ และพยายามให้คำอธิบาย หรือ คำทำนายที่เป็นไปได้สำหรับ วัตถุ หรือ เหตุการณ์ที่กำหนดให้	- เตรียมหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เช่น ข้อมูล วัตถุ หรือ สถานการณ์ ที่น่าสนใจและสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่กำลังจะสอน - เป็นผู้นำการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดระหว่างนักเรียนกับครู และนักเรียนด้วยกัน
2. การอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (term introduction)	ทำความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ในขั้นตอนที่ 1 เปรียบเทียบ และเชื่อมโยงแนวคิดใหม่ กับความรู้เดิม	-เตรียมวิธีการ และ สื่อการสอนที่สามารถช่วยในการอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่ให้นักเรียนสำรวจตรวจสอบในขั้นตอนที่ 1 -ตรวจสอบว่านักเรียนเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์อย่างถูกต้อง
3. การนำแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ (concept application)	ใช้ความรู้ใหม่ที่ได้เรียนรู้ ในการแก้ปัญหา, ออกแบบการทดลอง, หรือ ทำความเข้าใจสถานการณ์ใหม่ที่กำหนดให้	-จัดสถานการณ์ หรือ แบบฝึกหัดให้นักเรียนใช้ความรู้ที่ได้เรียนในการแก้ปัญหา หรือ ทำความเข้าใจปรากฏการณ์ธรรมชาติในบริบทที่ต่างไป

การใช้อุปมาอุปไมยร่วมกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้วัฏจักรการเรียนรู้

เนื่องจากการใช้อุปมาอุปไมยมีวัตถุประสงค์อธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นนามธรรมให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ง่ายขึ้น ได้ง่ายขึ้นจากการเชื่อมโยงลักษณะที่เหมือนกันระหว่างตัวอย่างที่สามารถสังเกตได้กับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้จึงใช้อุปมาอุปไมยในขั้นตอนการสอนที่ 2 ของรูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้ “การอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์” (term introduction) หลังจากที่นักเรียนได้ทำการสำรวจตรวจสอบหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ และปรากฏการณ์ธรรมชาติ แผนภาพด้านล่าง แสดงการการใช้อุปมาอุปไมยร่วมกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้วัฏจักรการเรียนรู้



ตัวอย่าง ตารางแสดงความสอดคล้องขององค์ประกอบในหน่วยการเรียนรู้

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	ลำดับแนวความคิดต่อเนื่อง	กิจกรรมการเรียนรู้	สื่อการจัดการเรียนรู้	ตัวชี้วัดตามหลักสูตร 2551	การวัดประเมินผล
เซลล์พืช 1. อธิบายความสำคัญของการพัฒนากล้องจุลทรรศน์ในการศึกษาเซลล์ 2. อธิบายขั้นตอนการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง 3. อธิบายความหลากหลายของรูปร่างและขนาดของเซลล์ โดยพิจารณาถึงหน้าที่ของเซลล์แต่ละชนิด	เซลล์เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิต เซลล์โดยทั่วไปมีขนาดเล็กมาก มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ↓ กล้องจุลทรรศน์เป็นอุปกรณ์สำคัญในการศึกษาโครงสร้างของเซลล์ การพัฒนากล้องจุลทรรศน์ ทำให้เกิดการพัฒนาความรู้อย่างรวดเร็วเกี่ยวกับโครงสร้าง และหน้าที่ของเซลล์ ↓ ในการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ให้ใช้เลนส์ใกล้วัตถุที่มีกำลังขยายต่ำสุดก่อนเสมอ จากนั้นจึงหมุนปุ่มปรับภาพหยาบ และ ปุ่มปรับภาพละเอียด จนสามารถเห็นภาพที่ชัดเจน ↓ เซลล์ของสิ่งมีชีวิตมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับหน้าที่ของเซลล์นั้นๆ	<u>กิจกรรมที่ 1.1 : “โลกที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า”</u> -นักเรียนสำรวจตรวจสอบภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ เพื่อศึกษารูปร่างลักษณะ และหน้าที่ของเซลล์ -นักเรียนเรียนรู้เกี่ยวกับประวัติการใช้กล้องจุลทรรศน์ในการค้นพบเซลล์คุมของพืชและเซลล์ประสาทของมนุษย์ - นักเรียนเชื่อมโยงความรู้เกี่ยวกับความหลากหลาย ของรูปร่างและขนาดของเซลล์ กับโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ที่ได้เห็นในภาพถ่าย -นักเรียนเตรียมความพร้อมในการใช้กล้องจุลทรรศน์ในคาบถัดไป	1.ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แสดงเซลล์ชนิดต่างๆ 2. ใบความรู้ที่ 1 ประวัติการค้นพบเซลล์ และการพัฒนากล้องจุลทรรศน์ 3. ใบความรู้ที่ 2 การใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	-สังเกตและอธิบายรูปร่างลักษณะของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวและเซลล์ของสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์	- ตรวจคำตอบในแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.1 และแบบฝึกหัดที่1

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	ลำดับแนวความคิดต่อเนื่อง	กิจกรรมการเรียนรู้	สื่อการจัดการเรียนรู้	ตัวชี้วัดตามหลักสูตร 2551	การวัดประเมินผล
4. ระบุชื่อโครงสร้างของเซลล์ 5. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง โครงสร้างของเซลล์พืช และเซลล์สัตว์ 6. นำความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของเซลล์ไปใช้ในการระบุชนิดของเซลล์ที่ไม่ทราบชื่อได้ 7.อธิบายหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์ต่อไปนี้คือ เยื่อหุ้มเซลล์ ไซโตพลาสซึม นิวเคลียส ผนังเซลล์ คลอโรพลาสต์ และแวคิวโอล	โครงสร้างของเซลล์ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ เยื่อหุ้มเซลล์ ไซโตพลาสซึม และ นิวเคลียส เยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่ห่อหุ้มส่วนต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์ และควบคุมการลำเลียงของสารเข้าและออกจากเซลล์ ↓ ไซโทพลาสซึมมีลักษณะเป็นของกึ่งเหลวอยู่ระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์กับนิวเคลียส เป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์ และเป็นที่อยู่ของมีออร์แกเนลล์ (organelle) ซึ่งเป็นส่วนประกอบเล็กๆหลายชนิดกระจายอยู่ทั่วไป นิวเคลียสมีสารที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม และกำหนด การทำงานหรือกิจกรรมต่างๆของเซลล์ เช่น การสังเคราะห์เอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์	<u>กิจกรรมที่ 1.2: เซลล์ลึกลับ</u> -นักเรียนสำรวจตรวจสอบโครงสร้าง ของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ ผ่านกล้องจุลทรรศน์ -นักเรียนค้นพบความแตกต่างของโครงสร้างเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ -นักเรียนระบุชนิดของเซลล์ไม่ทราบชื่อได้ <u>กิจกรรมที่ 1.3: “ส่วนประกอบภายในเซลล์เปรียบเหมือนส่วนประกอบของบ้าน”</u> -นักเรียนทำความเข้าใจหน้าที่ของส่วนประกอบภายในเซลล์ โดยเปรียบเทียบกับหน้าที่ของส่วนประกอบของบ้าน เช่น แวคิวโอล มีหน้าที่เหมือนห้องเก็บของของบ้าน คลอโรพลาสต์มีหน้าที่เหมือนห้องครัว ผนังเซลล์เหมือนรั้วบ้าน	1. กล้องจุลทรรศน์ 2. สไลด์แก้ว และกระจกปิดสไลด์ 3. ไม้จิ้มฟัน 4. ใบมีดโกน 5. พู่กัน เบอร์ 0 1. ใบความรู้ที่ 3 อุปมาอุปไมยเปรียบ เทียบหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์กับหน้าที่ของส่วนประกอบในบ้าน	-สังเกตและอธิบายรูปร่างลักษณะของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวและเซลล์ของสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ -สังเกตและเปรียบเทียบส่วนประกอบสำคัญของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ -ทดลองและอธิบายหน้าที่ของส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์	- ตรวจคำตอบในแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.2 และแบบฝึกหัดที่1 - ตรวจคำตอบในแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.2 และแบบฝึกหัดที่1 - ตรวจคำตอบในแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.3 และแบบฝึกหัดที่1

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	ลำดับแนวความคิดต่อเนื่อง	กิจกรรมการเรียนรู้	สื่อการจัดการเรียนรู้	ตัวชี้วัดตามหลักสูตร 2551	การวัดประเมินผล
8. อธิบายสาเหตุที่เซลล์สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสง สร้างอาหารได้	เซลล์พืชมีโครงสร้างแตกต่างจากเซลล์สัตว์คือ เซลล์พืชมีผนังเซลล์ คลอโรพลาสต์ และเซนทรัล แวคิวโอลซึ่งไม่พบในเซลล์สัตว์ ↓ ผนังเซลล์ เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเยื่อหุ้มเซลล์อีกชั้นหนึ่ง ประกอบด้วยเซลลูโลส ทำหน้าที่ช่วยปกป้องเซลล์และ ทำให้เซลล์พืชมีรูปร่างแน่นอน สามารถคงรูปร่างอยู่ได้ ↓ คลอโรพลาสต์ ทำหน้าที่ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงสร้างอาหารแก่พืช เซลล์สัตว์ไม่มีคลอโรพลาสต์ จึงไม่สามารถสร้างอาหารได้เอง ↓	-นักเรียนสร้างอุปมาอุปไมย เปรียบเทียบหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์ กับสิ่งที่ตนเองคุ้นเคย เช่น โรงเรียน เมือง โรงงาน	3. กระดาษวาดเขียนแผ่นใหญ่ 4. ปากกาเคมี		

ตัวอย่าง แผนการสอน

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1

เรื่อง เซลล์พืช **เวลา 3 คาบ**

จุดมุ่งหมายของหน่วยการเรียนรู้

หลังจากการเรียนรู้ในหน่วยการเรียนรู้นี้ นักเรียนสามารถ

1. อธิบายความสำคัญของการพัฒนากล้องจุลทรรศน์ในการศึกษาเซลล์
2. อธิบายขั้นตอนการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง
3. อธิบายความหลากหลายของรูปร่างและขนาดของเซลล์ โดยพิจารณาถึงหน้าที่ของเซลล์แต่ละชนิด
4. ระบุชื่อโครงสร้างของเซลล์
5. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง โครงสร้างของเซลล์พืช และเซลล์สัตว์
6. นำความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของเซลล์ไปใช้ในการระบุชนิดของเซลล์ที่ไม่ทราบชื่อได้
7. อธิบายหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์ ต่อไปนี้คือ เยื่อหุ้มเซลล์ ไซโตพลาสซึม นิวเคลียส ผนังเซลล์ คลอโรพลาสต์ และ แวคิวโอล
8. อธิบายสาเหตุที่เซลล์สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงสร้างอาหารได้

เนื้อหา กิจกรรม และเวลาที่ใช้

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1

เรื่อง “ความสำคัญของการพัฒนากล้องจุลทรรศน์ และความหลากหลายของเซลล์” 50 นาที

-กิจกรรมที่ 1.1 เรื่อง “โลกที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า”

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2

เรื่อง “โครงสร้างของเซลล์ และความแตกต่างของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์” 100 นาที

- กิจกรรมที่ 1.2 เรื่อง “เซลล์ลึกลับ”
- กิจกรรมที่ 1.3 เรื่อง “ส่วนประกอบภายในเซลล์เปรียบเหมือนส่วนประกอบของบ้าน”
- กิจกรรมที่ 1.4 เรื่อง “ลองคิดดูดีดี เซลล์เปรียบเหมือนอะไร”

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1

เรื่อง "ความสำคัญของการพัฒนากล้องจุลทรรศน์ และความหลากหลายของเซลล์"

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เซลล์พืช **เวลา 50 นาที**

แนวความคิดหลัก

1. กล้องจุลทรรศน์เป็นอุปกรณ์สำคัญในการศึกษาโครงสร้างของเซลล์ การพัฒนากล้องจุลทรรศน์ ทำให้เกิดการพัฒนาความรู้อย่างรวดเร็วเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โครงสร้างที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า

2. กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในชั้นเรียนคือกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง การใช้กล้องจุลทรรศน์นี้ให้ใช้เลนส์ใกล้วัตถุที่มีกำลังขยายต่ำสุดก่อนเสมอ จากนั้นจึงหมุนปุ่มปรับภาพหยาบ และ ปุ่มปรับภาพละเอียด จนสามารถเห็นภาพที่ชัดเจน

3. เซลล์ของสิ่งมีชีวิตมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับหน้าที่ของเซลล์นั้นๆ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายความสำคัญของการพัฒนากล้องจุลทรรศน์ในการศึกษาเซลล์
2. อธิบายขั้นตอนการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง
3. อธิบายความหลากหลายของรูปร่างและขนาดของเซลล์ โดยพิจารณาถึงหน้าที่ของเซลล์แต่ละชนิด

ความรู้และประสบการณ์เดิม

นักเรียนอาจมีแนวคิดเดิมเกี่ยวกับเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยคิดว่าสิ่งมีชีวิตมีเซลล์อยู่ในร่างกายเพียงชนิดเดียว และขนาดของเซลล์เป็นสิ่งบ่งบอกขนาดของสิ่งมีชีวิตนั้น เช่น เซลล์ของปลาวาฬต้องมีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ของแมลงปอ หลักฐานทางวิทยาศาสตร์แสดงให้เห็นว่า สิ่งมีชีวิตที่มีหลายเซลล์ประกอบด้วยเซลล์หลายชนิดซึ่งมีความเหมาะสมกับหน้าที่ของเซลล์ชนิดนั้นๆ และ ขนาดของเซลล์ไม่ได้เป็นสิ่งกำหนดขนาดของสิ่งมีชีวิต เมื่อเซลล์มีการเจริญเติบโตโดยการขยายขนาดจนถึงระดับหนึ่งจะแบ่งตัวเพื่อให้มีสัดส่วนของพื้นที่ผิวเซลล์เพียงพอในการแลกเปลี่ยนสารกับสิ่งแวดล้อม(Boo: 2005)

การจัดชั้นเรียน

นักเรียนทำงานเป็นกลุ่มๆละ 5 คน โดยจัดที่นั่งเข้าหากันให้นักเรียนภายในกลุ่มสามารถอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดได้สะดวก

กระบวนการจัดการเรียนรู้

1.การสำรวจและศึกษาหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการศึกษาเซลล์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ *กิจกรรมที่ 1.1 เรื่อง โลกที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า*(10 นาที)

บทบาทนักเรียน	บทบาทครู
1. นักเรียนแต่ละกลุ่มได้รับการ์ด 5 ใบ ซึ่งแสดงภาพถ่ายเซลล์ต่าง ๆจากกล้องจุลทรรศน์ พร้อมข้อความบรรยายหน้าที่ของเซลล์นั้น ๆ 2. นักเรียนในกลุ่มผลัดกันอ่านรายละเอียดหน้าที่ของเซลล์แต่ละชนิด และเลือกเซลล์ 1 ชนิด เพื่อบันทึกลักษณะและหน้าที่ลงในแบบบันทึกกิจกรรม	1. ครูเตรียมการ์ดแสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ และแจกให้นักเรียนแต่ละกลุ่ม พร้อมด้วยแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.1 2. ครูบอกให้นักเรียนอ่านรายละเอียดหน้าที่ของเซลล์แต่ละชนิด พร้อมทั้งบันทึกลงในแบบบันทึกกิจกรรม

2. การอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับความสำคัญของกล้องจุลทรรศน์ และความหลากหลายของเซลล์ และการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (30 นาที)

บทบาทนักเรียน	บทบาทครู
1. ร่วมกันอภิปราย และตอบคำถามครู ในประเด็นต่อไปนี้ - เซลล์ที่เห็นในแต่ละภาพคือเซลล์อะไร มีความสำคัญอย่างไร - รูปร่างลักษณะของเซลล์แต่ละชนิด เหมาะสมกับหน้าที่ของแต่ละเซลล์หรือไม่	1. ครูนำอภิปรายในห้องเรียน ว่าเซลล์ที่เห็นในแต่ละภาพคือเซลล์อะไร มีความสำคัญอย่างไร และรูปร่างลักษณะของเซลล์แต่ละชนิด เหมาะสมกับหน้าที่ของแต่ละเซลล์หรือไม่ เขียนข้อสรุปบนกระดาน ดังนี้ 1.เซลล์แต่ละชนิดมีรูปร่างลักษณะแตกต่างกัน 2.รูปร่างลักษณะของเซลล์มีความเหมาะสมกับหน้าที่เซลล์นั้น ๆ

บทบาทนักเรียน	บทบาทครู
2. นักเรียนอ่านใบความรู้ที่ 1 เกี่ยวกับประวัติการค้นพบเซลล์ รวมไปถึงการค้นพบโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์คุม และเซลล์ประสาท ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้กล้องจุลทรรศน์ และอภิปรายกันในกลุ่มเกี่ยวกับความสำคัญของกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการศึกษาเซลล์ โดยนักเรียนควรสรุปได้ว่า กล้องจุลทรรศน์ช่วยทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถสังเกตโครงสร้างของเซลล์ที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า และสามารถตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับหน้าที่ของเซลล์จากลักษณะโครงสร้างของเซลล์นั้น 3. ตัวแทนกลุ่มที่ครูสุ่มขึ้นมานำเสนอแนวคิดของกลุ่มเกี่ยวกับทฤษฎีเซลล์ และความสำคัญของกล้องจุลทรรศน์	2. แจกใบความรู้ที่ 1 ให้นักเรียนอ่าน และกำหนดประเด็นในการนำเสนอและอภิปรายหลังการอ่าน ดังนี้ -ทฤษฎีเซลล์ กล่าวว่าอย่างไร - กล้องจุลทรรศน์มีความสำคัญอย่างไรในการศึกษาเซลล์ 3. ครูสุ่มให้นักเรียนบางกลุ่มนำเสนอแนวคิด พร้อมทั้งเปิดโอกาสให้นักเรียนซักถามข้อสงสัย จากการอ่านใบความรู้ 4. ครูสาธิตวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยเน้นขั้นตอนการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และ ข้อควรระวังในการใช้กล้องจุลทรรศน์

3. การนำความรู้ที่ได้มาตอบคำถามในใบกิจกรรม และการสรุปบทเรียน

บทบาทนักเรียน	บทบาทครู
นักเรียนใช้ความรู้ที่ได้เรียนเกี่ยวกับประวัติการค้นพบเซลล์ และความสำคัญของกล้องจุลทรรศน์ในการตอบคำถามที่เหลือในแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.1	ร่วมกันสรุปบทเรียนกับนักเรียน เกี่ยวกับประวัติการค้นพบเซลล์ และความสำคัญของกล้องจุลทรรศน์ และให้แบบฝึกหัดให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเป็นการบ้าน

สื่อการเรียนรู้

1. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แสดงเซลล์ชนิดต่างๆ
2. ใบความรู้ที่ 1 ประวัติการค้นพบเซลล์ และการพัฒนากล้องจุลทรรศน์
4. ใบความรู้ที่ 2 การใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง
5. แบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.1

การวัดและประเมินผล

ประเมินผลตามจุดประสงค์การเรียนรู้ จากแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.1

แหล่งการเรียนรู้

สามารถค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับภาพถ่ายของโครงสร้างเซลล์ที่หายาก และมีความชัดเจนสูง จากหนังสือ “อาณาจักรล่องหน” รอฮีม ปรามาท แปล จากเรื่อง Invisible Worlds: Exploring the Unseen ของ Piers Bizony สำนักพิมพ์ มติชน กรุงเทพ : 2548

เอกสารอ้างอิง

Boo Hong Kwen. 2005. Teachers’ Misconceptions of Biological Science: Concepts as Revealed in Science Examination Papers. Paper presented at AARE 2005 International Education Research Conference.

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2
เรื่อง “โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์”

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เซลล์พืช **เวลา 100 นาที**

แนวความคิดหลัก

โครงสร้างของเซลล์ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ เยื่อหุ้มเซลล์ ไซโตพลาสซึม และ นิวเคลียส เยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่ห่อหุ้มส่วนต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์ และควบคุมการลำเลียงของสารเข้าและออกจากเซลล์ ไซโทพลาสซึมมีลักษณะเป็นของกึ่งเหลวอยู่ระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์กับนิวเคลียส เป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์ และเป็นที่อยู่ของมีออร์แกเนลล์ (organelle) ซึ่งเป็นส่วนประกอบเล็กๆหลายชนิดกระจายอยู่ทั่วไป นิวเคลียสมีสารที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม และกำหนดการทำงานหรือกิจกรรมต่างๆของเซลล์ เช่น การสังเคราะห์เอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์

เซลล์พืชมีโครงสร้างแตกต่างจากเซลล์สัตว์คือ เซลล์พืชมีผนังเซลล์ คลอโรพลาสต์ และเซนทรัลแวคิวโอลซึ่งไม่พบในเซลล์สัตว์ ผนังเซลล์เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเยื่อหุ้มเซลล์อีกชั้นหนึ่ง ประกอบด้วยเซลลูโลส ทำหน้าที่ช่วยปกป้องเซลล์และ ทำให้เซลล์พืชมีรูปร่างแน่นอน สามารถคงรูปร่างอยู่ได้ คลอโรพลาสต์ทำหน้าที่ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงสร้างอาหารแก่พืช เซลล์สัตว์ไม่มีคลอโรพลาสต์ จึงไม่สามารถสร้างอาหารได้เอง เซนทรัลแวคิวโอล เป็นแวคิวโอลขนาดใหญ่ของเซลล์พืช ทำหน้าที่สะสมสารต่างๆ เช่น น้ำ สารอินทรีย์ อาหาร ในเซลล์สัตว์ไม่พบเซนทรัลแวคิวโอล แต่อาจพบแวคิวโอลขนาดเล็กหลายอัน ทำหน้าที่กักเก็บสาร แวคิวโอล ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวบางชนิดทำหน้าที่ควบคุมสมดุลของน้ำภายในเซลล์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ระบุชื่อโครงสร้างของเซลล์
2. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง โครงสร้างของเซลล์พืช และเซลล์สัตว์
3. นำความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของเซลล์ไปใช้ในการระบุชนิดของเซลล์ที่ไม่ทราบชื่อได้
4. อธิบายหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์ ต่อไปนี้คือ เยื่อหุ้มเซลล์ ไซโตพลาสซึม นิวเคลียส ผนังเซลล์ คลอโรพลาสต์ และ แวคิวโอล
5. อธิบายสาเหตุที่เซลล์สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงสร้างอาหารได้

การจัดชั้นเรียน

นักเรียนทำงานเป็นกลุ่มๆละ 5 คน โดยจัดที่นั่งเข้าหากันให้นักเรียนภายในกลุ่มสามารถอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดได้สะดวก

กระบวนการจัดการเรียนรู้

1.การสำรวจและศึกษาหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับโครงสร้างของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์

กิจกรรมที่ 1.2 เซลล์ลึกลับ(40นาที)

บทบาทนักเรียน	บทบาทครู
1. นักเรียนศึกษาเซลล์สาหร่ายหางกระรอก และเซลล์เยื่อบุข้างแก้ม ผ่านทางกล้องจุลทรรศน์ ตามใบงาน และเขียนบรรยายลักษณะที่พบทั้งในเซลล์สาหร่ายหางกระรอกและเซลล์เยื่อบุข้างแก้ม และลักษณะที่พบในเซลล์สาหร่ายหางกระรอกแต่ไม่พบในเซลล์เยื่อบุข้างแก้ม	1. เตรียมกล้องจุลทรรศน์พร้อมทั้งอุปกรณ์การทำสไลด์ ให้เพียงพอกับนักเรียนทุกกลุ่ม 2. สาธิตวิธีการเตรียมสไลด์เซลล์สาหร่ายหางกระรอก และเวลล์เยื่อบุข้างแก้ม 3. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเตรียมสไลด์เซลล์สาหร่ายหางกระรอกและเซลล์เยื่อบุข้างแก้ม อย่างละ 1 สไลด์ 4. ให้นักเรียนผลัดกันสังเกตลักษณะของเซลล์ผ่านกล้องจุลทรรศน์ บันทึกลักษณะของเซลล์และระบุความแตกต่างระหว่างเซลล์พืชกับเซลล์สัตว์ ลงบนแบบบันทึกกิจกรรม

2. การอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์พืช และเซลล์สัตว์

กิจกรรมที่ 1.3 ส่วนประกอบภายในเซลล์เปรียบเหมือนส่วนประกอบของบ้าน (30 นาที)

บทบาทนักเรียน	บทบาทครู
1. ขั้นชี้นำแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนสังเกตแผนภาพโครงสร้างของเซลล์พืชเปรียบเทียบกับเซลล์สัตว์ รวมทั้งชื่อของแต่ละโครงสร้าง พร้อมทั้งถามข้อสงสัยจากกิจกรรมการศึกษาโครงสร้างของเซลล์ *2. ขั้นแนะนำตัวอย่างที่ใช้เปรียบเทียบเชิงอุปมาอุปไมย* นักเรียนรับรู้ว่าหลังจากที่ได้สำรวจโครงสร้างของเซลล์มาแล้ว ต่อไปกำลังจะได้เรียนรู้หน้าที่ของส่วนประกอบต่าง ๆของเซลล์เหล่านั้น โดยการเปรียบเทียบกับส่วนประกอบของบ้านซึ่งเป็นสิ่งที่นักเรียนมีความคุ้นเคย	*1. ขั้นชี้นำแนวคิดทางวิทยาศาสตร์* ครูนำเสนอแผนภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์พืชเปรียบเทียบกับเซลล์สัตว์ พร้อมทั้งระบุชื่อของแต่ละโครงสร้างที่นักเรียนได้เห็นผ่านกล้องจุลทรรศน์จากกิจกรรมที่ผ่านมา เช่น ผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ นิวเคลียส เซนทรัลแวคิวโอล และคลอโรพลาสต์ *2. ขั้นแนะนำตัวอย่างที่ใช้เปรียบเทียบเชิงอุปมาอุปไมย* ครูบอกนักเรียนว่าหลังจากที่นักเรียนได้รู้จักโครงสร้างภายในของเซลล์แล้ว ต่อไปนักเรียนจะได้เรียนรู้หน้าที่ของแต่ละโครงสร้างภายในเซลล์ซึ่งทำงานร่วมกัน เพื่อการดำรงชีวิตของเซลล์ โดย

2. การอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (ต่อ)

บทบาทนักเรียน	บทบาทครู
3. ขั้น ระบุลักษณะสำคัญของตัวอย่างที่ใช้เปรียบเทียบเชิงอุปมาอุปไมย ให้นักเรียนใช้ความรู้และประสบการณ์เดิมในการเขียนบรรยายหน้าที่ ของส่วนประกอบภายในบ้านต่อไปนี้ กำแพงบ้าน, ผนังบ้านและประตู หน้าต่าง, ห้องครัว, ห้องเก็บของ, บริเวณบ้าน, ห้องของเจ้าของบ้าน *4. ขั้นเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างตัวอย่างกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์* นักเรียนอ่านใบความรู้ที่ 3 “อุปมาอุปไมยเปรียบเทียบหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์กับหน้าที่ของส่วนประกอบในบ้าน” ซึ่งจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับชื่อโครงสร้างของเซลล์และหน้าที่ของโครงสร้างนั้นเปรียบเทียบกับหน้าที่ของส่วนประกอบในบ้าน ให้นักเรียนเปรียบเทียบความเหมือนของหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์กับหน้าที่ส่วนประกอบในบ้านที่นักเรียนได้บรรยายมาก่อนหน้านี้ *5. ขั้นเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตัวอย่างกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์* นักเรียนจะพบว่าลักษณะบางอย่างที่นักเรียนบรรยายเกี่ยวกับหน้าที่ของส่วนประกอบของบ้านมีความไม่เหมือนกับหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์ที่นำมาเปรียบเทียบ ให้นักเรียนเขียนลักษณะเหล่านั้นลงในแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.3	เราสามารถเปรียบเทียบหน้าที่ของส่วนประกอบภายในเซลล์กับสิ่งที่เราคุ้นเคยในชีวิตประจำวัน คือ ส่วนประกอบใน “บ้าน” *3. ขั้น ระบุลักษณะสำคัญของตัวอย่างที่ใช้เปรียบเทียบเชิงอุปมาอุปไมย* ครูให้นักเรียนเขียนหน้าที่ของส่วนประกอบของบ้านต่อไปนี้ลงในแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.3 : กำแพงบ้าน, ผนังบ้านและประตู หน้าต่าง, ห้องครัว, ห้องเก็บของ, บริเวณบ้าน, ห้องของเจ้าของบ้าน *4. ขั้นเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างตัวอย่างกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์* ครูแจกใบความรู้ที่ 3“อุปมาอุปไมยเปรียบเทียบหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์กับหน้าที่ของส่วนประกอบในบ้าน” ให้นักเรียนอ่านหน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบของเซลล์ เปรียบเทียบความเหมือนกับลักษณะหน้าที่ส่วนประกอบของบ้านที่นักเรียนได้ทำมาแล้วก่อนหน้านี้ *5. ขั้นเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตัวอย่างกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์* ในแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.3 ที่นักเรียนบรรยายหน้าที่ของส่วนประกอบของบ้านย่อมมีบางลักษณะที่แตกต่างกับหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์ หรือนักเรียนบางคนอาจบรรยายโครงสร้างของบ้านแทนที่จะระบุหน้าที่ ให้นักเรียนระบุความแตกต่างนั้น ระหว่างหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์กับหน้าที่ของส่วนประกอบของบ้าน และบันทึกเพิ่มเติมลงในแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.3

บทบาทนักเรียน	บทบาทครู
6. ขั้นสรุปแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนแลกเปลี่ยนความคิดกับเพื่อนภายในกลุ่ม และให้สรุปเป็นความคิดของกลุ่ม เตรียมนำเสนอ การเปรียบเทียบโดยการอุปมาอุปไมย และสรุปหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์ คือผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ ไซโทพลาซึม นิวเคลียส คลอโรพลาสต์ และ เซนทรัลแวคิวโอล	*6. ขั้นสรุปแนวคิดทางวิทยาศาสตร์* ครูให้ตัวแทนของแต่ละกลุ่มนำเสนอความเข้าใจอุปมาอุปไมยและ แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยเน้นสิ่งที่เหมือนกัน และสิ่งที่ไม่เมือนกัน สุดท้ายให้นักเรียนสรุปหน้าที่ของส่วนประกอบภายในเซลล์ดังนี้ ผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ ไซโทพลาซึม นิวเคลียส คลอโรพลาสต์ และ เซนทรัลแวคิวโอล

3. การนำความรู้ที่ได้มาสร้างอุปมาอุปไมยของตนเอง และการสรุปบทเรียน(30 นาที)

บทบาทนักเรียน	บทบาทครู
1. นักเรียนเลือกตัวอย่างที่จะใช้ในการอุปมาอุปไมยเปรียบเทียบกับหน้าที่ของส่วนประกอบภายในเซลล์ โดยนักเรียนอาจเลือกโรงเรียน หมู่บ้าน เมือง หรือโรงงาน จากนั้นให้นักเรียนที่เลือกตัวอย่างเดียวกันมาอยู่กลุ่มเดียวกัน	1. ครูกำหนดตัวอย่างที่จะใช้อุปมาอุปไมยกับเซลล์ให้นักเรียนเลือก ดังนี้ โรงเรียน หมู่บ้าน เมือง โรงงาน ให้นักเรียนเลือกอย่างใดอย่างหนึ่งที่นักเรียนมีความคุ้นเคยเพื่อที่จะนำมาสร้างอุปมาอุปไมยของตนเอง
2. นักเรียนภายในกลุ่มช่วยกันเขียนลักษณะที่เหมือนกัน และแตกต่างกันของตัวอย่างที่ใช้อุปมาอุปไมยกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ จากนั้นให้วาดรูป ตัวอย่างที่ใช้ เช่น ส่วนประกอบของโรงเรียน หรือ หมู่บ้าน เปรียบเทียบกับส่วนประกอบของเซลล์ นำเสนอกับเพื่อนร่วมชั้น	2. แจกกระดาษชาร์ทแผ่นใหญ่ให้นักเรียนกลุ่มละหนึ่งแผ่นพร้อมด้วยปากกาเคมีสีต่างๆ ให้นักเรียนวาดรูปแสดงตัวอย่างที่นักเรียนเลือก เช่น ส่วนประกอบของโรงเรียน หรือ หมู่บ้าน เปรียบเทียบกับส่วนประกอบของเซลล์ นำเสนอกับเพื่อนร่วมชั้น 3. ครูนำการอภิปรายเพื่อสรุป โครงสร้างและหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์ และความแตกต่างระหว่างเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ โดยอาจมีการสุ่มถามคำถามนักเรียน เพื่อประเมินความเข้าใจของนักเรียน

อุปกรณ์และสื่อการเรียนรู้

1. กล้องจุลทรรศน์
2. สไลด์แก้ว และกระจกปิดสไลด์
3. ไม้จิ้มฟัน
4. ใบมีดโกน
5. พู่กัน เบอร์ 0
6. ใบความรู้ที่ 3
7. กระดาษวาดเขียนแผ่นใหญ่
8. ปากกาเคมี

การวัดและประเมินผล

ประเมินผลตามจุดประสงค์การเรียนรู้ จากแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1. 2 และ 1.3

แหล่งการเรียนรู้

กิจกรรมที่ 1.2 ดัดแปลงมาจาก กิจกรรมชื่อ Mystery Cell : Distinguishing Plant Cells and Animal Cells จากหนังสือ Biology Exploring Life: Laboratory Manual Teacher's Edition. ครูสามารถค้นหารูปภาพเซลล์พืชและเซลล์สัตว์เพิ่มเติมได้จาก เวปไซต์ google image หรือหนังสือ Botany และ Zoology.

เอกสารอ้างอิง

Miller, Stephen A.;& Harley, John P. (2002). *Zoology*. Boston : McGraw-Hill Higher Education.

Moore, Randy; Clark, W. Dennis; & Stern, Kingsley R. (1995). Botany. Illinois: Wm.C. Brown Publishers.

Raven, Peter H.; Evert, Ray F.; & Eichhorn, Susan E. (1999). Biology of Plants. 6 ed. New York: W.H. Freeman and Company.

Sweeney, Diane ;& Williamson, Brad. (2006). Biology Exploring Life: Laboratory Manual Teacher's Edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

APPENDIX G

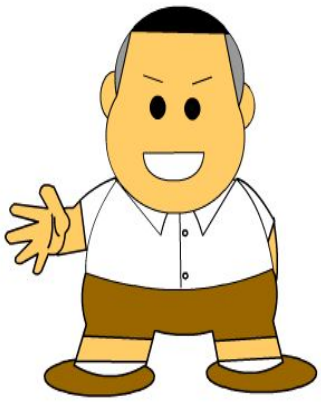
The Samples of Learning Guide

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1

เซลล์พืช

เมื่อจบบทเรียนในหน่วยการเรียนรู้นี้นักเรียนควรจะสามารถ

1. อธิบายความสำคัญของการพัฒนากล้องจุลทรรศน์ในการศึกษาเซลล์
2. อธิบายขั้นตอนการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง
3. อธิบายความหลากหลายของรูปร่างและขนาดของเซลล์ โดยพิจารณาถึงหน้าที่ของเซลล์แต่ละชนิด
4. ระบุชื่อโครงสร้างของเซลล์
5. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง โครงสร้างของเซลล์พืช และเซลล์สัตว์
6. นำความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของเซลล์ไปใช้ในการระบุชนิดของเซลล์ที่ไม่ทราบชื่อได้
7. อธิบายหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์ ต่อไปนี้คือ เยื่อหุ้มเซลล์ ไซโตพลาสซึม นิวเคลียส ผนังเซลล์ คลอโรพลาสต์ และ แวคิวโอล
8. อธิบายสาเหตุที่เซลล์สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงสร้างอาหารได้



กิจกรรมที่ 1.2

Mystery Cell

เซลล์ลึกลับ : โครงสร้างของเซลล์ และความแตกต่างระหว่างเซลล์พืช และเซลล์สัตว์

คำถามในการศึกษา

เซลล์มีโครงสร้างอย่างไร และ เซลล์พืชและเซลล์สัตว์มีโครงสร้างแตกต่างกันอย่างไร

บทนำ

ในการศึกษานี้ นักเรียนจะใช้กล้องจุลทรรศน์ในการศึกษาเซลล์สาหร่ายหางกระรอก และเซลล์เยื่อบุข้างแก้ม ซึ่งเป็นตัวแทนของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ ตามลำดับ นักเรียนจะได้วาดรูปเซลล์ที่นักเรียนสังเกตผ่านกล้องจุลทรรศน์ บรรยายลักษณะของเซลล์ที่นักเรียนสังเกตเห็น และสรุปเป็น ข้อค้นพบถึงโครงสร้างของเซลล์และความแตกต่างระหว่างเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ นักเรียนจะได้นำเสนอข้อค้นพบนั้นกับเพื่อนร่วมชั้น และในท้ายชั่วโมงนักเรียนจะได้ภาพถ่าย “เซลล์ปริศนา” ที่นักเรียนจะต้องระบุว่าเป็นเซลล์พืชหรือเซลล์สัตว์

จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. เพื่อให้นักเรียนศึกษาโครงสร้างของเซลล์ผ่านกล้องจุลทรรศน์
2. เพื่อให้นักเรียนเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง โครงสร้างของเซลล์พืช และเซลล์สัตว์
3. เพื่อให้นักเรียนนำความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของเซลล์ไปใช้ในการระบุชนิดของเซลล์ที่ไม่ทราบชื่อ

วัสดุอุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์
2. สไลด์ และกระจกปิดสไลด์กลุ่มละ 2 ชุด
3. หลอดหยด กลุ่มละ 1 อัน
4. ไม้จิ้มฟันกลุ่มละ 1 อัน
5. สาหร่ายหางกระรอก

สารเคมี

1. เมทิลีนบลู
2. น้ำเกลือ 0.85 %

ขั้นตอนการทำกิจกรรม

1. เตรียมสไลด์เซลล์สาหร่ายหางกระรอก โดยใช้ปากคีบเด็ดไบของสาหร่ายหางกระรอกบริเวณใกล้ส่วนยอด 1 ใบ วางบนหยดน้ำบนสไลด์ และปิดด้วยกระจกปิดสไลด์

2. เตรียมสไลด์เซลล์เยื่อบุข้างแก้ม โดยใช้ไม้จิ้มฟันขูดเบาๆที่ด้านในของกระพุ้งแก้มแล้วนำไปแตะลงบนน้ำเกลือ 0.85% บนสไลด์จากนั้นหยดเมทิลีนบลู 1 หยด แล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์

3. ตั้งสมมติฐาน เกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างโครงสร้างเซลล์พืช และเซลล์สัตว์ โดยระบุว่าโครงสร้างใดที่พบเฉพาะในเซลล์พืช แต่ไม่พบในเซลล์สัตว์และเขียนลงในแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.2

4. ศึกษาเซลล์สาหร่ายหางกระรอก และเซลล์เยื่อบุข้างแก้ม ด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยให้หมุนเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยายต่ำสุดมาอยู่ในตำแหน่งตรงกับลำกล้องก่อนเสมอ จากนั้นวางสไลด์ลงบนแท่นวางวัตถุ เปิดไฟและปรับแสงให้พอดี และหมุนปุ่มปรับภาพหยาบจนกระทั่งมองเห็นเซลล์ หมุนปรับภาพละเอียดเพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เมื่อเพิ่มกำลังขยาย โดยหมุนเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยายสูงขึ้นมาแทนที่ จะทำให้ภาพเบลอ ให้หมุนปุ่มปรับภาพละเอียดช้าๆจนกระทั่งเห็นภาพชัดขึ้น

5. วาดรูปเซลล์ที่สังเกตเห็น และบรรยายลักษณะของเซลล์อย่างละเอียดลงในแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.2

6. สรุปลักษณะสำคัญของเซลล์ และระบุความแตกต่างระหว่างเซลล์พืชและเซลล์สัตว์

7. ขอสไลด์เซลล์ปริศนาจากครู มาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์และอาศัยข้อค้นพบที่ได้ ใช้ในการระบุชนิดของเซลล์ปริศนา ว่าเป็นเซลล์ของพืชหรือสัตว์

แบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.2

การศึกษาโครงสร้างของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์

1. จุดประสงค์ของการศึกษา

1.1 เพื่อให้นักเรียนศึกษาโครงสร้างของเซลล์ผ่านกล้องจุลทรรศน์

1.2 เพื่อให้นักเรียนเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง โครงสร้างของเซลล์พืช และเซลล์สัตว์

1.3 เพื่อให้นักเรียนนำความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของเซลล์ไปใช้ในการระบุชนิดของเซลล์ที่ไม่ทราบชื่อ

2. ตารางผลการศึกษา

ภาพวาดเซลล์	บรรยายลักษณะที่สังเกตเห็น
1. เซลล์สาหร่ายหางกระรอก	
2. เซลล์เยื่อบุข้างแก้ม	

ตารางผลการศึกษา(ต่อ)

ภาพวาดเซลล์	บรรยายลักษณะที่สังเกตเห็น
3. เซลล์ปริศนา	

3. สรุปผลการศึกษา

โครงสร้างที่พบเฉพาะในเซลล์พืช แต่ไม่พบในเซลล์สัตว์ มีดังต่อไปนี้

……

……

……

……

เซลล์ปริศนาที่นักเรียนได้รับคือเซลล์พืช หรือเซลล์สัตว์ ……

หลักฐานที่ทำให้นักเรียนสรุปเช่นนั้นคืออะไร.....

.....

กิจกรรมที่ 1.3

ANALOGY :COMPARING A CELL WITH A HOUSE

ส่วนประกอบภายในเซลล์เปรียบเหมือนส่วนประกอบของบ้าน

บทนำ

ในการเรียนวิทยาศาสตร์ การใช้อุปมาอุปไมยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นนามธรรมได้ง่ายขึ้นจากการเชื่อมโยงลักษณะที่เหมือนกันระหว่างตัวอย่างที่สามารถสังเกตได้กับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยผ่านการให้เหตุผลเชิงอุปมาอุปไมย

การใช้อุปมาอุปไมยในการเรียนการสอนเรื่องหน้าที่ขององค์ประกอบภายในเซลล์มีหลายวิธี เช่น การเปรียบเทียบหน้าที่ขององค์ประกอบภายในเซลล์กับหน้าที่ของบุคคลและเครื่องจักรในโรงงาน หน้าที่ของส่วนต่างๆของเมือง หรือ หน้าที่ของส่วนต่างๆในบ้าน ในกิจกรรมนี้จะเปรียบเทียบหน้าที่ขององค์ประกอบภายในเซลล์กับหน้าที่ของส่วนประกอบในบ้าน ซึ่งเป็นตัวอย่างที่นักเรียนมีความคุ้นเคยมากที่สุด เช่น เปรียบเทียบคลอโรพลาสต์ซึ่งมีหน้าที่สร้างอาหารให้กับเซลล์พืช กับห้องครัว ซึ่งเป็นสถานที่ประกอบอาหารของบ้าน เปรียบเทียบแวคิวโอลซึ่งมีหน้าที่ในการเก็บกักสารต่างๆ กับ ห้องเก็บของซึ่งเป็นสถาน ที่เก็บสิ่งของต่างๆ

จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. เพื่อให้นักเรียนสามารถอธิบายหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์ต่อไปนี้คือ เยื่อหุ้มเซลล์ ไซโตพลาสซึม นิวเคลียส ผนังเซลล์ คลอโรพลาสต์ และ แวคิวโอล
2. เพื่อให้นักเรียนสามารถอธิบายสาเหตุที่เซลล์สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงสร้างอาหารได้

วัสดุอุปกรณ์

1. ใบความรู้ที่ 3 อุปมาอุปไมยเปรียบ เทียบ หน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์กับหน้าที่ของส่วนประกอบในบ้าน
2. แบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.3
3. กระดาษวาดเขียนแผ่นใหญ่
4. ปากกาเคมี

กิจกรรมที่ 1.3

ขั้นตอนการทำกิจกรรม

1. นักเรียนสังเกตแผนภาพโครงสร้างของเซลล์พืชเปรียบเทียบกับเซลล์สัตว์ รวมทั้งชื่อของแต่ละโครงสร้างพร้อมทั้งถามข้อสงสัยจากกิจกรรมการศึกษาโครงสร้างของเซลล์

2. นักเรียนอ่านใบความรู้ที่ 3 “อุปมาอุปไมยเปรียบเทียบหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์กับหน้าที่ของส่วนประกอบในบ้าน” ซึ่งจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับชื่อโครงสร้างของเซลล์และหน้าที่ของโครงสร้างนั้น เปรียบเทียบกับหน้าที่ของส่วนประกอบในบ้าน ให้นักเรียนเปรียบเทียบความเหมือนของหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์กับหน้าที่ส่วนประกอบในบ้านที่นักเรียนได้บรรยายมาก่อนหน้านี้

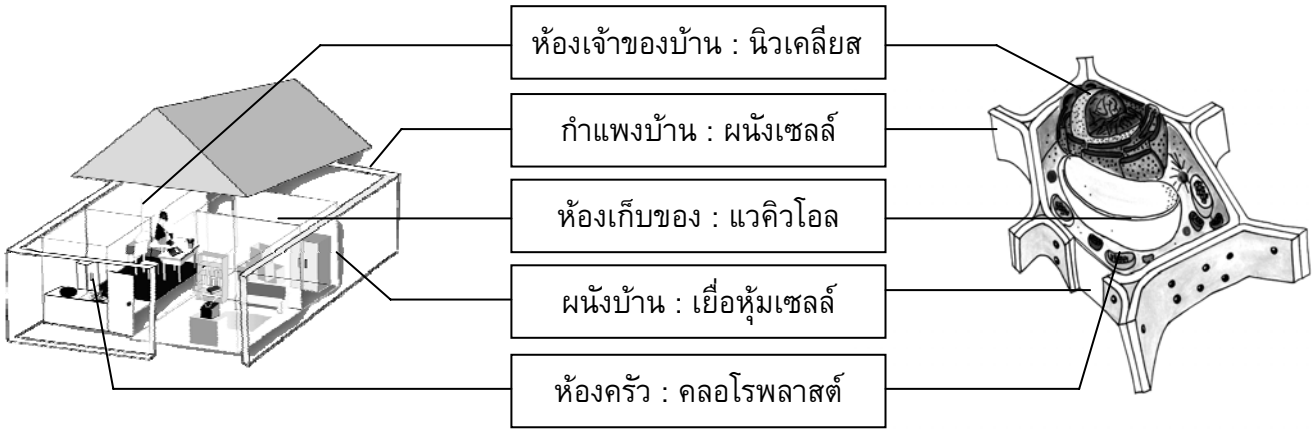
3. นักเรียนจะพบว่าลักษณะบางอย่างที่นักเรียนบรรยายเกี่ยวกับหน้าที่ของส่วนประกอบของบ้านมีความไม่เหมือนกับหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์ที่นำมาเปรียบเทียบ ให้นักเรียนเขียนลักษณะเหล่านั้นลงในแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.3

4. นักเรียนแลกเปลี่ยนความคิดกับเพื่อนภายในกลุ่ม และให้สรุปเป็นความคิดของกลุ่ม เตรียมนำเสนอการเปรียบเทียบโดยการอุปมาอุปไมย และสรุปหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์ คือผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ ไซโทพลาซึม นิวเคลียส คลอโรพลาสต์ และ เซนทรัลแวคิวโอล

6. นักเรียนภายในกลุ่มช่วยกันเขียนลักษณะที่เหมือนกัน และแตกต่างกันของตัวอย่างที่ใช้อุปมาอุปไมยกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ จากนั้นให้วาดรูป ตัวอย่างที่ใช้ เช่น ส่วนประกอบของโรงเรียน หรือหมู่บ้านเปรียบเทียบกับส่วนประกอบของเซลล์ นำเสนอกับเพื่อนร่วมชั้น

ใบความรู้ที่ 3

อุปมาอุปไมยเปรียบเทียบหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์ กับ หน้าที่ของส่วนประกอบในบ้าน

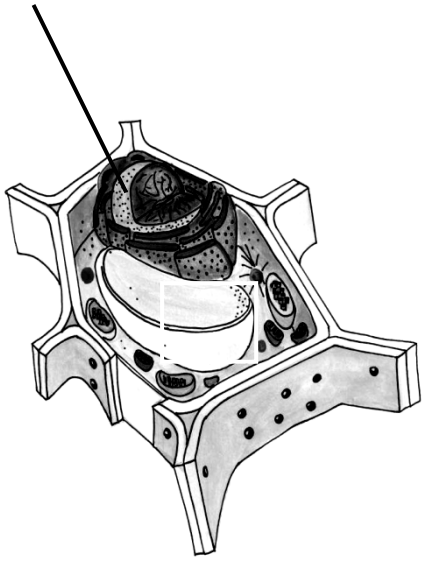


เซลล์ของสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่มีส่วนประกอบสำคัญที่เหมือนกัน 3 ส่วน ได้แก่

1. นิวเคลียส (nucleus) รูปร่างค่อนข้างกลม ในนิวเคลียสมีสารที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม นิวเคลียสทำหน้าที่ควบคุมการทำงานหรือกิจกรรมต่าง ๆของเซลล์

หากจะเปรียบเทียบหน้าที่ของนิวเคลียสกับหน้าที่ของส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งในบ้าน *นักเรียนจะเปรียบเทียบนิวเคลียสกับอะไร...*

ถ้าเปรียบเทียบเซลล์ กับบ้าน เราสามารถเปรียบหน้าที่ของนิวเคลียสกับ <u>ห้องของเจ้าของบ้าน</u> โดยภายในนิวเคลียสมีสารที่<u>ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม และกำหนดการทำงานหรือกิจกรรมต่าง ๆของเซลล์</u> เช่นเดียวกับภายในห้องของเจ้าของบ้านมีเจ้าของบ้านซึ่งทำหน้าที่<u>ควบคุมดูแลกิจกรรมทุกอย่างในบ้าน</u>



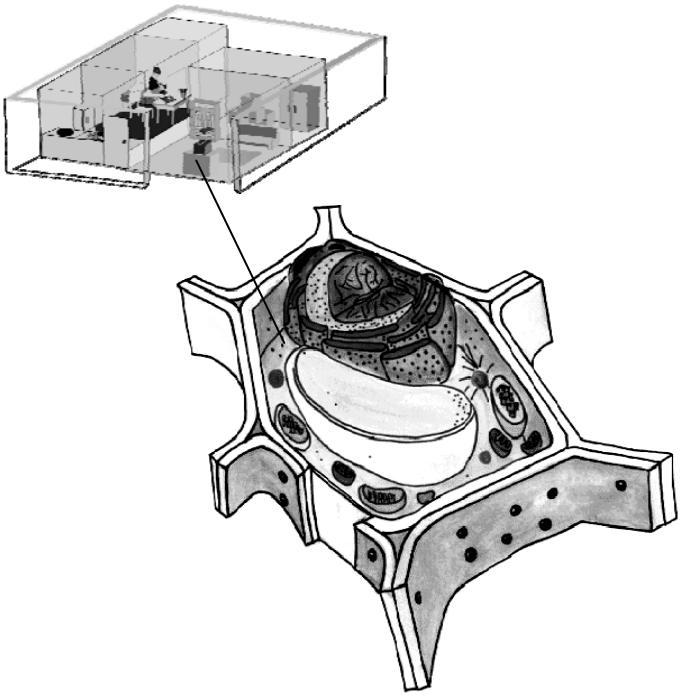
2). ไซโทพลาสซึม

มีลักษณะเป็นของกึ่งเหลว เป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์ และเป็นที่อยู่ของออร์แกเนลล์ (organelle) ซึ่งเป็นส่วนประกอบเล็กๆหลายชนิดกระจายอยู่ทั่วไป ส่วนประกอบเหล่านี้ทำหน้าที่สำคัญหลายอย่างในกระบวนการดำรงชีวิตของเซลล์ ในไซโทพลาสซึม ยังมีสารจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของเซลล์ เช่น น้ำตาล โปรตีน รวมทั้งของเสียต่างๆจากกิจกรรมของเซลล์ด้วย

หากจะเปรียบเทียบหน้าที่ของไซโทพลาสซึม กับหน้าที่ของส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งในบ้าน *นักเรียนจะเปรียบเทียบไซโทพลาสซึมกับอะไร...*

ไซโทพลาสซึมเป็นส่วนของเซลล์ทั้งหมดที่อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเซลล์ มีออแกเนลล์ซึ่งเป็นส่วนประกอบเล็กๆหลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกันไป ถ้าเปรียบเทียบเซลล์เหมือนกับบ้าน ไซโทพลาสซึมจึงเปรียบเสมือนบริเวณภายในบ้านซึ่ง ประกอบด้วยห้องต่างๆ ที่มีประโยชน์ใช้สอยแตกต่างกัน

บ้านที่มีประตู เป็นช่องทางในการลำเลียงสิ่งต่างๆ ระหว่างภายในบ้านและภายนอกบ้าน



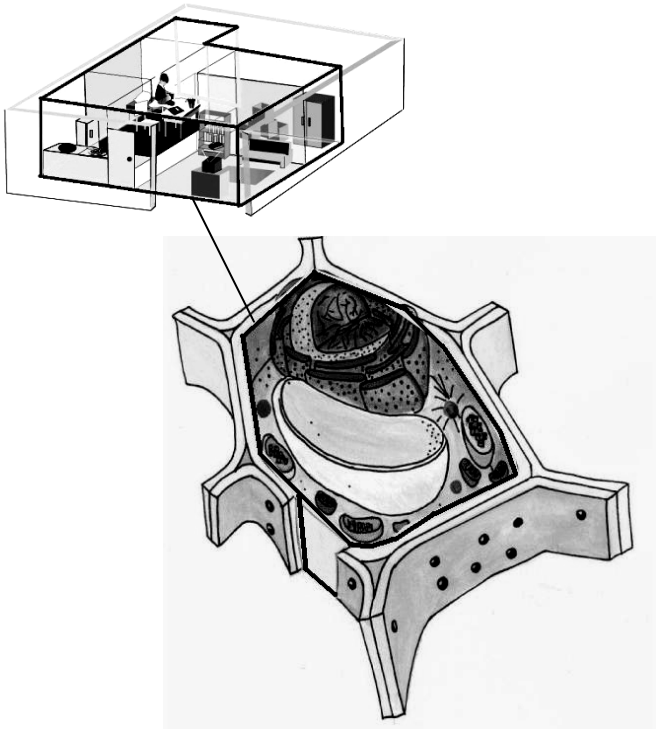
---

3) เยื่อหุ้มเซลล์

เยื่อหุ้มเซลล์มีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน ประกอบด้วย ฟอสโฟลิปิด และโปรตีน เซลล์ทุกเซลล์ต้องมีเยื่อหุ้มเซลล์ ทำหน้าที่ห่อหุ้มส่วนต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์ และควบคุมการลำเลียงของสารเข้าและออกจากเซลล์

หากจะเปรียบเทียบหน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์ กับหน้าที่ของส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งในบ้าน *นักเรียนจะเปรียบเทียบเยื่อหุ้มเซลล์กับอะไร...*

เยื่อหุ้มเซลล์เป็นส่วนที่ห่อหุ้มส่วนประกอบภายในเซลล์ เช่นเดียวกับผนังบ้านที่ห่อหุ้มบริเวณภายในบ้าน เยื่อหุ้มเซลล์มีช่องทางในการลำเลียงสารระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ เช่นเดียวกับ ผนัง



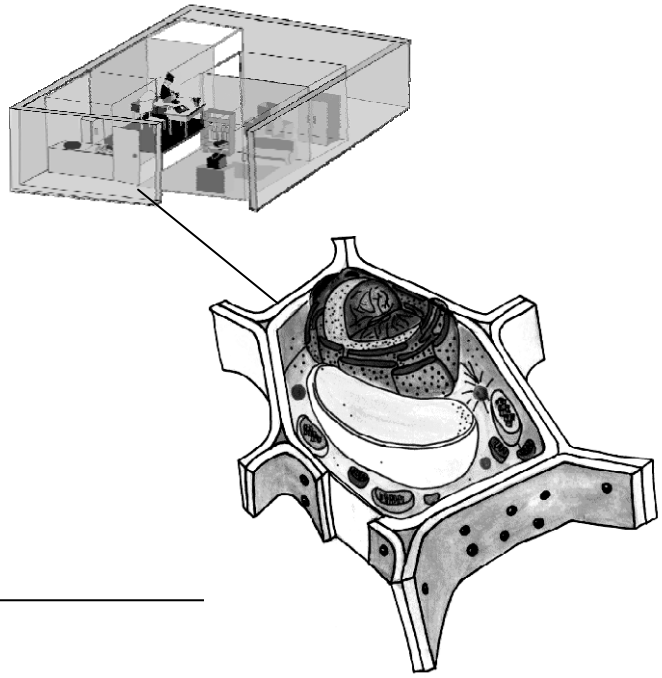
คลอโรพลาสต์ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง ผลิตอาหารให้แก่พืช จึงเปรียบได้กับห้องครัวของบ้าน ซึ่งเป็นสถานที่ประกอบอาหาร

โครงสร้างที่พบเฉพาะในเซลล์พืช ไม่พบในเซลล์สัตว์ มีดังนี้

1). ผนังเซลล์

เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเยื่อหุ้มเซลล์อีกชั้นหนึ่ง ประกอบด้วยเซลลูโลสทำหน้าที่ช่วยปกป้องเซลล์และทำให้เซลล์พืชมีรูปร่างแน่นอน ป้องกันไม่ให้เซลล์แตกถ้าได้รับน้ำมากเกินไป ทำให้สามารถคงรูปร่างอยู่ได้

หากจะเปรียบเทียบหน้าที่ของผนังเซลล์กับหน้าที่ของส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งในบ้าน *นักเรียนจะเปรียบเทียบผนังเซลล์กับอะไร...*



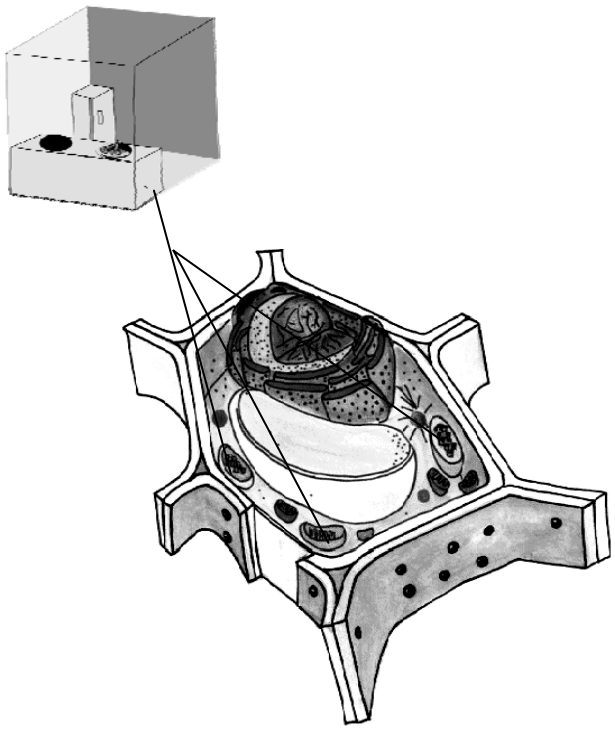
ผนังเซลล์ทำหน้าที่กำหนดรูปร่างของเซลล์ และปกป้องเซลล์ เช่นเดียวกับ กำแพงบ้าน ที่ทำหน้าที่กำหนดอาณาเขตของบ้าน และป้องกันผู้บุกรุก

---

2). คลอโรพลาสต์

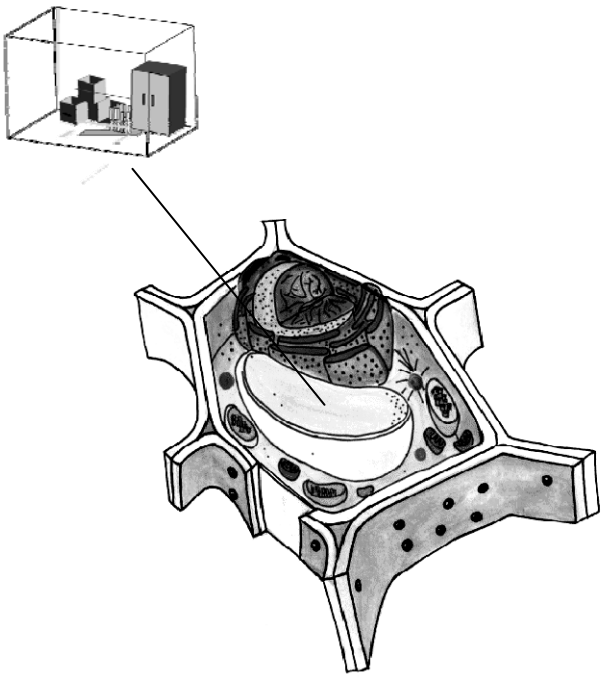
เซลล์พืชที่อยู่ในส่วนของพืชที่มีสีเขียว เช่น ใบ ลำต้นอ่อน มีคลอโรพลาสต์มีลักษณะเป็นเม็ดสีเขียว ทำหน้าที่ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงสร้างอาหารแก่พืช เซลล์สัตว์ไม่มีคลอโรพลาสต์ จึงไม่สามารถสร้างอาหารได้เอง

หากจะเปรียบเทียบหน้าที่ของคลอโรพลาสต์กับหน้าที่ของส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งในบ้าน *นักเรียนจะเปรียบเทียบคลอโรพลาสต์กับอะไร...*



3) เซนทรัลแวคิวโอล

เซลล์พืชมีแวคิวโอลขนาดใหญ่อยู่กลางเซลล์ เรียกว่า เซนทรัลแวคิวโอล ทำหน้าที่เก็บสะสมสารเคมีต่างๆ ในขณะที่เซลล์สัตว์อาจพบแวคิวโอลขนาดเล็กแต่ ไม่พบแวคิวโอลขนาดใหญ่



หากจะเปรียบเทียบหน้าที่ของเซนทรัลแวคิวโอลกับหน้าที่ของส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งในบ้าน *นักเรียนจะเปรียบเทียบเซนทรัลแวคิวโอลกับอะไร...*

เซนทรัลแวคิวโอลทำหน้าที่กักเก็บสารเคมีต่างๆ เช่น น้ำตาล สารอินทรีย์ เกลือแร่ หรือ ของเสียจากเซลล์ เปรียบเทียบได้กับห้องเก็บของในบ้านที่ใช้เป็นสถานที่สำหรับเก็บอาหาร ของใช้ต่างๆ หรือของที่ไม่ใช้แล้ว

แบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.3

ให้นักเรียนบรรยายลักษณะที่เหมือนกัน และไม่เหมือนกัน ระหว่างหน้าที่ของส่วนประกอบของบ้าน และหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์ดังต่อไปนี้

สิ่งที่นำมาเปรียบเทียบ	**ความเหมือน**	**ความแตกต่าง**
1. ผนังเซลล์กับกำแพงบ้าน	....	....
2. เยื่อหุ้มเซลล์กับผนังบ้าน	....	....
3. ไซโทพลาสซึมกับบริเวณบ้าน	....	....
4. นิวเคลียส กับห้องของเจ้าของบ้าน	....	....
5. คลอโรพลาสต์กับห้องครัว	....	....
6. เซนทรัลแวคิวโอลกับ ห้องเก็บของ	....	....

APPENDIX H

The Samples of Research Instruments for Collecting Data

ข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

วิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง ชีววิทยาเกี่ยวกับพืช

คำอธิบาย แบบทดสอบนี้เป็นแบบเลือกตอบ แต่ละข้อมี 4 ตัวเลือก ทั้งหมด 40 ข้อ 7 หน้า ซึ่งจะวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง ชีววิทยาเกี่ยวกับพืช

คำสั่ง ให้นักเรียนอ่านคำถามแต่ละข้อให้ละเอียดรอบคอบและตอบคำถามลงในกระดาษคำตอบ

- - - - - - - - - - - - - - - เวลา 50 นาที - - - - - - - - - - - - - - -

ตัวอย่างการตอบ

ข้อสอบทั้งหมดเป็นแบบปรนัยเลือกตอบที่มี 4 ตัวเลือก คือ ก. ข. ค. และ ง. ให้นักเรียนพิจารณาคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงคำตอบเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบ

ตัวอย่าง

ข้อ	ก	ข	ค	ง
0		X		

ถ้าต้องการแก้ไขให้ขีดเครื่องหมาย = ทับคำตอบเดิมดังตัวอย่าง

ข้อ	ก	ข	ค	ง
0		~~X~~		X

---------- ห้ามขีดเขียนข้อความใด ๆ ลงในกระดาษคำถาม ----------

1. นักเรียนคนหนึ่งเตรียมสไลด์ของละอองเรณูจากดอกไม้ ในการสังเกตครั้งแรกด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้เลนส์ใกล้วัตถุที่มีกำลังขยาย 4 เท่า เขาเห็นละอองเรณูขนาดเล็ก 100 อัน ครั้งที่ 2 ใช้เลนส์ใกล้วัตถุที่มีกำลังขยาย 10 เท่า เขาจะเห็นละอองเรณูที่มีลักษณะอย่างไร

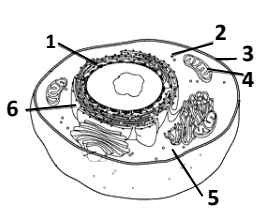
ก. ละอองเรณูขนาดเล็กลงและจำนวนน้อยลง
ข. ละอองเรณูขนาดเล็กลงและจำนวนมากขึ้น
ค ละอองเรณูขนาดใหญ่ขึ้นและจำนวนน้อยลง
ง. ละอองเรณูขนาดใหญ่ขึ้นและจำนวนมากขึ้น

2. พิจารณาข้อความต่อไปนี้ และเลือกข้อความที่สรุปความได้ถูกต้องที่สุด

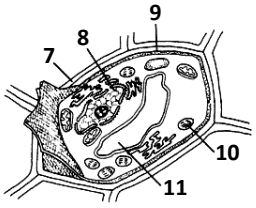
- เซลล์ที่ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำของพืช มีรูปร่างยาว ปลายเปิดทั้ง2ข้างและมีลักษณะเป็นท่อทำให้สามารถลำเลียงน้ำได้ดี
- เซลล์คุมมีลักษณะคล้ายเม็ดถั่ว เมื่อมีการขยายตัวจะทำให้ปากใบเปิด ทำให้เกิดการคายน้ำ

ก. เซลล์ที่ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและ เซลล์คุมมีรูปร่างต่างกัน เนื่องจากอยู่คนละบริเวณ
ข. เซลล์ที่ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและ เซลล์คุมมีรูปร่างเหมือนกัน เนื่องจากทำหน้าที่คล้ายกัน
ค. เซลล์ที่ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและ เซลล์คุมมีรูปร่างต่างกัน เพื่อให้เหมาะสมกับหน้าที่ของเซลล์
ง. เซลล์ที่ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและ เซลล์คุมมีรูปร่างเหมือนกัน เนื่องจากทำหน้าที่ร่วมกัน

จงพิจารณาแผนภาพแสดงเซลล์สัตว์ และเซลล์พืชต่อไปนี้ และตอบคำถามข้อ 3-5



เซลล์สัตว์



เซลล์พืช

3.โครงสร้าง หมายเลข 3 5 7 มีชื่อว่าอะไร ตามลำดับ

ก. เยื่อหุ้มเซลล์ ไรโบโซม และ ผนังเซลล์
ข. เยื่อหุ้มเซลล์ ไซโทพลาสซึม และผนังเซลล์
ค. ผนังเซลล์ ไซโทพลาสซึม และ เยื่อหุ้มเซลล์
ง. ผนังเซลล์ แวคิวโอล เยื่อหุ้มเซลล์

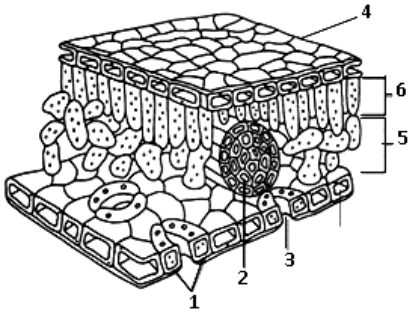
4.โครงสร้างใดช่วยป้องกันไม่ให้เซลล์พืชแตกเมื่อมีน้ำเข้าสู่เซลล์ในปริมาณมาก

ก. 7 ข. 8 ค. 9 ง. 10

5. เซลล์สัตว์สังเคราะห์ด้วยแสงไม่ได้ เนื่องจาก<u>ขาด</u>โครงสร้างใด

ก. โครงสร้างหมายเลข 11 ชื่อว่า แวคิวโอล
ข. โครงสร้างหมายเลข 11 ชื่อว่า คลอโรพลาสต์
ค. โครงสร้างหมายเลข 10 ชื่อว่า แวคิวโอล
ง. โครงสร้างหมายเลข 10 ชื่อว่า คลอโรพลาสต์

จงพิจารณาแผนภาพแสดงโครงสร้างภายในของใบและตอบคำถามข้อ 6-7



6. หมายเลขใดคือ ปากใบของพืช

ก. 1 ข. 2 ค. 3 ง. 4

7. หมายเลข 2 ประกอบด้วยเนื้อเยื่ออะไร

ก. เนื้อเยื่อลำเลียงน้ำและอาหาร
ข. เนื้อเยื่อสังเคราะห์ด้วยแสง
ค. เนื้อเยื่อผิว
ง. เนื้อเยื่อเจริญ

แบบวัดสถานะของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

วิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง ชีววิทยาเกี่ยวกับพืช

ชื่อ.....เลขที่.....ห้อง.....
โรงเรียน.....

คำอธิบาย แบบทดสอบนี้เป็นแบบเขียนบรรยาย **ทั้งหมด 4 ข้อ 4 หน้า** ซึ่งจะวัดระดับความเข้าใจและการยอมรับคุณค่าของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนจะได้อ่านบทความหรือรายงานการทดลองทางวิทยาศาสตร์ และ ข้อคิดเห็นของ นาย ก. และ นาย ข. จากนั้นให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นของนักเรียนเอง โดยนักเรียนอาจเห็นด้วยกับ นาย ก. หรือ นาย ข. หรือไม่เห็นด้วยกับใครเลย ก็ได้ <u>*คะแนนจะขึ้นอยู่กับการนำเสนอแนวคิดของตนเอง และการให้เหตุผลสนับสนุนแนวคิดของตนเอง</u>

คำสั่ง ให้นักเรียนอ่านคำถามแต่ละข้อให้ละเอียดรอบคอบและเขียนคำตอบลงในช่องว่างที่กำหนดให้

- - - - - - - - - - - - - - เวลา 60 นาที - - - - - - - - - - - - - -

คำถามข้อที่ 1

คำชี้แจง ให้นักเรียนอ่านการแสดงความคิดเห็น ของนาย ก. และนาย ข.ต่อไปนี้ จากนั้นให้นักเรียนวิเคราะห์แนวคิดของตนเองและตอบคำถามที่กำหนดให้

พืชบางชนิดมีลำต้นใต้ดินทำหน้าที่สะสมอาหาร เช่น เผือก ในหัวเผือกประกอบด้วยสารอาหารที่ให้พลังงาน คือ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นที่น่าสนใจว่า พืชที่มีลำต้นใต้ดินได้รับคาร์โบไฮเดรต และสะสมสารอาหารนั้นไว้ในลำต้นใต้ดินได้อย่างไร นาย ก. และ นาย ข. มีแนวคิดที่แตกต่างกัน ดังนี้

นาย ก. กล่าวว่า " พืชได้รับคาร์โบไฮเดรตจากการแปรสภาพแร่ธาตุและน้ำที่พืชดูดซับมาจากดิน โดยเกิดกระบวนการดังกล่าวที่ใบ คาร์โบไฮเดรต ที่เกิดขึ้นถูกส่งลำเลียงมาเก็บไว้ที่ลำต้นใต้ดินเพื่อสะสมไว้ใช้ยามจำเป็น" เนื่องจากนาย ก. สังเกตเห็นว่าพืชที่ได้รับแร่ธาตุและน้ำเพียงพอจะเจริญสมบูรณ์ดี

นาย ข. กล่าวว่า "พืชได้รับคาร์โบไฮเดรตจากการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยพลังงานแสง คาร์โบไฮเดรตที่เกิดขึ้นถูกส่งลำเลียงมาเก็บไว้ที่ลำต้นใต้ดินเพื่อสะสมไว้ใช้ยามจำเป็น" เนื่องจากนาย ข. สังเกตเห็นว่าพืชที่ไม่ได้รับแสงไม่เจริญเติบโต และตายในที่สุด

1.1 พืชได้รับคาร์โบไฮเดรตมาจากไหน และสะสมไว้ที่ลำต้นใต้ดินได้อย่างไร จงอธิบายให้ชัดเจนที่สุด (สามารถวาดภาพประกอบคำอธิบาย ลงในช่องว่างที่กำหนดให้)

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

ภาพประกอบ

1.2 นักเรียนเชื่อว่าคำตอบของตนเองในข้อ 1.1 เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติหรือไม่ เพราะเหตุใด

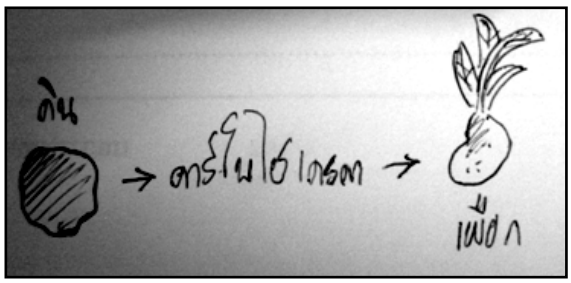
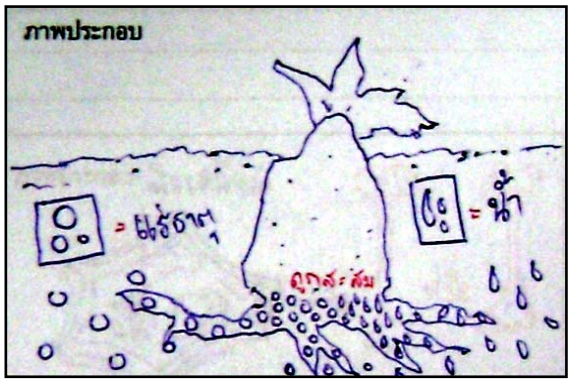
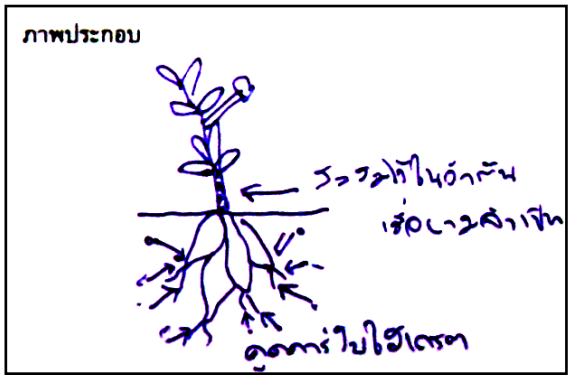
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

1.3 <u>ความรู้ของนักเรียน</u>เกี่ยวกับการได้รับคาร์โบไฮเดรตของพืช มีประโยชน์ในการนำไปใช้หรือไม่ จงอธิบายและยกตัวอย่างประกอบ

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

ข้อ 1.1 ระดับความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

ระดับ	คะแนน	คำอธิบาย
สูง	3	หมายถึง คำตอบสนับสนุนแนวคิดของนาย ข. และสามารถแสดงว่าตนเองเข้าใจแนวคิดนั้น โดยใช้วิธีการต่อไปนี้ 1. การบรรยายแนวคิดด้วยคำพูดของตนเอง เช่น “พืชสังเคราะห์ด้วยแสง และได้ผลผลิตเป็นน้ำตาลและออกซิเจน ซึ่งน้ำตาลเป็นคาร์โบไฮเดรต พืชจึงลำเลียงคาร์โบไฮเดรตไปเก็บไว้ที่ลำต้นใต้ดินไว้ใช้ยามจำเป็น” “พืชได้รับคาร์โบไฮเดรตจากการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ทำให้พืชมีคาร์โบไฮเดรตไว้ใช้เลี้ยงส่วนต่างๆ และมีการเจริญเติบโต” “พืชได้รับคาร์โบไฮเดรตจากการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำเป็นวัตถุดิบ ได้ผลผลิตคือ น้ำตาลและออกซิเจน พอเสร็จกระบวนการใบจะส่งคาร์โบไฮเดรตมาตามท่อลำเลียงอาหาร ไปสะสมที่ลำต้นใต้ดิน” 2. ยกตัวอย่างประกอบ หรือ ใช้อุปมาอุปไมย เช่น “พืชได้รับคาร์โบไฮเดรตจากการสังเคราะห์ด้วยแสงและสะสมไว้ที่แวคิวโอลซึ่งเปรียบเสมือนห้องเก็บของ เก็บสะสมคาร์โบไฮเดรต” 3. วาดรูปประกอบที่สนับสนุนแนวคิดของนาย ข.
ปานกลาง	2	หมายถึง คำตอบสนับสนุนแนวคิดของนาย ข. โดยไม่ได้อธิบายเพิ่มเติม เช่น “พืชได้รับคาร์โบไฮเดรตจากการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยพลังงานแสง คาร์โบไฮเดรตที่เกิดขึ้นถูกส่งลำเลียงมาเก็บไว้ที่ลำต้นใต้ดินเพื่อสะสมไว้ใช้ยามจำเป็น”
ต่ำ*	1	หมายถึงคำตอบอย่างใดอย่างหนึ่ง ต่อไปนี้ - คำตอบสนับสนุนแนวคิดของ นาย ก. เช่น “พืชได้รับคาร์โบไฮเดรตจากการแปรสภาพแร่ธาตุและน้ำที่พืชดูดซับมาจากดิน” “การที่ลำต้นใต้ดินดูดซึมน้ำ และแร่ธาตุ จึงทำให้น้ำและแร่ธาตุเปลี่ยนสภาพเป็น แป้ง หรือน้ำตาล และออกซิเจน” -คำตอบแสดงแนวคิดที่คลาดเคลื่อน เช่น “การที่พืชได้รับคาร์โบไฮเดรตได้ต้องนำออกซิเจนและน้ำมาสังเคราะห์ด้วยแสง จึงได้คาร์โบไฮเดรต” “พืชใช้รากหาอาหารโดยจะหาแร่ธาตุและน้ำในดินให้ได้มากที่สุดและทำการสังเคราะห์ด้วยแสงกลายเป็นคาร์โบไฮเดรตมาเก็บสะสมใต้ดิน” “พืชได้รับคาร์โบไฮเดรตมาจากการได้รับปุ๋ย หรือสังเคราะห์แสงเอง “พืชได้รับคาร์โบไฮเดรตจากแร่ธาตุใต้ดินและแสงแดดจากดวงอาทิตย์”

ระดับ	คะแนน	คำอธิบาย
		- วาดรูปที่แสดงออกถึงการสนับสนุนแนวคิดของ นาย ก. เช่น    - คำตอบไม่เกี่ยวข้องกับคำถาม - ไม่ตอบ

ข้อ1.2 ระดับความน่าเชื่อถือแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

ระดับ	คะแนน	คำอธิบาย
สูง	3	หมายถึง คำตอบแสดงว่าแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของตนเองมีความน่าเชื่อถือ โดย 1) กล่าวถึงการทดลอง หรือ แสดงหลักฐานผลการทดลอง เช่น “เกิดขึ้นจริง เพราะเคยทำการทดลองแล้ว” “เนื่องจากในการทดลอง เห็นว่าพืชที่ไม่ได้รับแสงจะไม่สามารถสร้างคาร์โบไฮเดรตได้” “เกิดขึ้นจริง เพราะเคยทดลองปลูกพืชไว้ในที่มืด เมื่อพืชไม่ได้รับแสงก็จะไม่ได้สร้างอาหาร พืชจึงตาย” 2) หลักการที่มีความเป็นเหตุเป็นผล เช่น “วัตถุดิบในการสร้างคาร์โบไฮเดรตของพืชคือคาร์บอนไดออกไซด์ แร่ธาตุไม่ได้เป็นวัตถุดิบในการสร้างคาร์โบไฮเดรต” 3) ใช้เหตุผลเชิงอุปมาอุปไมย เช่น “การสร้างคาร์โบไฮเดรตของพืช เหมือนกับการประกอบอาหารซึ่งมีวัตถุดิบ โดยวัตถุดิบของการสังเคราะห์ด้วยแสงคือ คาร์โบไฮเดรตและน้ำ ไม่ใช่ แร่ธาตุและน้ำ”
ปานกลาง	2	หมายถึง คำตอบแสดงว่าแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของตนเองมีความน่าเชื่อถือ โดย 1) แสดงหลักฐานจากประสบการณ์ -เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจริง เพราะ พืชที่ไม่ได้รับแสงจะไม่เจริญเติบโต และตาย หรือ 2) แสดงให้เห็นว่าแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ขัดแย้งกับความรู้เดิม เช่น -เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจริง เพราะ พืชสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงและทำให้เกิดคาร์โบไฮเดรต -เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจริง เพราะ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานแสงมีอยู่ในธรรมชาติ -เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจริง เพราะ พืชต้องการ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์และ แสงแดด -เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจริง เพราะ พืชเมื่อได้รับแสง ก็จะสังเคราะห์ด้วยแสง -เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจริง เพราะ เคยเรียนมาตอนประถม ครูสอนว่าพืชสังเคราะห์ด้วยแสงโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำเป็นวัตถุดิบ เมื่อมันสังเคราะห์แสงเสร็จแล้วจะกลายเป็นน้ำตาลสะสมไว้ -เชื่อ เพราะเห็นว่าเหตุผลของนาย ก. น่าเชื่อถือกว่าของนาย ข.
ต่ำ*	1	หมายถึงคำตอบอย่างใดอย่างหนึ่ง ต่อไปนี้ -ตอบว่าแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของตนเองยังมีความไม่แน่นอน เช่น “กระบวนการที่เกิดขึ้นอาจไม่ใช่กระบวนการของพืช และอาจจะไม่แน่นอนในกระบวนการจริง” “ไม่แน่นอน เพราะ ยังไม่เคยได้รับการพิสูจน์ หรือทดลอง -คำตอบไม่เกี่ยวข้องกับคำถาม -ไม่ตอบ

ข้อ 1.3 ระดับคุณค่าของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

ระดับ	คะแนน	คำอธิบาย
สูง	3	หมายถึง คำตอบแสดงว่าแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มีคุณค่าต่อตนเอง โดยแสดงเหตุผลแสดงคุณค่าของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ต่อไปนี้ 2 ข้อขึ้นไป 1. แสดงเหตุผลให้เห็นว่าแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จะมีประโยชน์แก่ตนเอง เช่น "มีประโยชน์ในการปลูกพืช เราควรปลูกพืชไว้ในที่มีแสง" "อาจจะนำไปใช้ในการประกอบอาชีพ เช่นเป็นเกษตรกร หรือ เป็นครู" "มีประโยชน์ในการเรียนต่อไปในอนาคต" "มีประโยชน์ คือ เราได้รู้ว่าพืชที่มีลำต้นใต้ดินนั้นรับคาร์โบไฮเดรตและเก็บสะสมไว้ได้อย่างไร" 2. แสดงเหตุผลให้เห็นว่าแนวคิดทางวิทยาศาสตร์สามารถนำไปใช้อธิบายเหตุการณ์อื่นๆได้ "ทำให้รู้ว่าเพราะเหตุใดต้นไม้จึงตายเมื่อไม่ได้รับแสง"
ปานกลาง	2	หมายถึง คำตอบแสดงว่าแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มีคุณค่าต่อตนเอง โดยแสดงเหตุผลแสดงคุณค่าของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ 1 ใน 3 ข้อ
ต่ำ*	1	หมายถึงคำตอบอย่างใดอย่างหนึ่ง ต่อไปนี้ -คำตอบไม่เกี่ยวข้องกับคำถาม ระบุความสำคัญของคาร์โบไฮเดรต แต่ไม่ได้ระบุการนำความรู้ไปใช้ เช่น "มีประโยชน์ เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตเป็นอาหารหลัก 5 หมู่" "มีประโยชน์ เนื่องจากช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ" -ไม่ตอบ

หมายเหตุ

*ในการประเมินนี้ ไม่มีการให้คะแนน 0 นักเรียนที่ตอบคำถามไม่ถูกต้อง หรือไม่ตอบคำถาม จะได้คะแนนเท่ากับ 1 แปลผลว่านักเรียนมีสถานะของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ในระดับต่ำ

*ถ้านักเรียนได้คะแนนเท่ากับ 1 ในข้อ 2.1 ไม่ต้องตรวจต่อไปและให้คะแนนเท่ากับ 1 ในข้อ 1.2 และ 1.3

แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

ที่มีต่อการเรียนการสอนที่สอดแทรกการอุปมาอุปไมย เรื่อง ชีววิทยาเกี่ยวกับพืช

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดระดับความพึงพอใจ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่มีต่อการเรียนการสอน ที่สอดแทรกการอุปมาอุปไมย เรื่อง ชีววิทยาเกี่ยวกับพืช จำแนกเป็น 3 ด้าน คือ กิจกรรมการเรียนรู้ สื่อการเรียนการสอน และ การวัดและประเมินผลการเรียนรู้

2. แบบสอบถามนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 ความพึงพอใจที่มีต่อการเรียนการสอนที่สอดแทรกการอุปมาอุปไมย เรื่อง ชีววิทยาเกี่ยวกับพืช มีลักษณะเป็นแบบสำรวจรายการ (check list)

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นเพิ่มเติมของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อการใช้อุปมาอุปไมยในการเรียนการสอน เรื่อง ชีววิทยาเกี่ยวกับพืช มีลักษณะเป็นแบบสอบถามปลายเปิด (open ended)

ข้อมูลจากการตอบแบบสอบถามฉบับนี้ ถือเป็นความลับ และไม่มีผลกระทบต่อเกรดของนักเรียน การนำเสนอข้อมูลจะนำเสนอในภาพรวมเพื่อผลประโยชน์ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น จึงขอความกรุณาตอบแบบสอบถามทุกข้อตามความเป็นจริง

ตอนที่ 1 ให้นักเรียนอ่านและพิจารณาข้อความในช่องซ้ายมือทีละข้อความแล้วทำเครื่องหมาย√ ลงในช่องที่ตรงหรือสอดคล้องกับระดับความพึงพอใจของนักเรียนมากที่สุด โดยที่

- ความพึงพอใจ หมายถึง ความรู้สึกชอบใจ ถูกใจ หรือ ตรงใจ
- ความหมายของระดับความพึงพอใจ

มากที่สุด หมายถึง นักเรียนมีความพึงพอใจมากที่สุด ต่อการเรียนการสอนตามข้อความที่กำหนดให้
มาก หมายถึง นักเรียนมีความพึงพอใจมาก ต่อการเรียนการสอนตามข้อความที่กำหนดให้
ปานกลาง หมายถึง นักเรียนมีความพึงพอใจปานกลาง ต่อการเรียนการสอนตามข้อความที่กำหนดให้
น้อย หมายถึง นักเรียนมีความพึงพอใจน้อย ต่อการเรียนการสอนตามข้อความที่กำหนดให้
น้อยที่สุด หมายถึง นักเรียนมีความพึงพอใจน้อยที่สุด ต่อการเรียนการสอนตามข้อความที่กำหนดให้

ตัวอย่าง

ข้อความ	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
นักเรียนมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนการสอนต่อไปนี้ในระดับใด					
การอภิปรายในชั้นเรียน		√			
นักเรียนมีความพึงพอใจต่อสื่อการเรียนการสอนต่อไปนี้ในระดับใด					
แบบเรียน	√				
นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ ต่อไปนี้ในระดับใด					
การสอบ				√	

จากตัวอย่าง แสดงว่า นักเรียนมีความรู้สึกชอบใจ ถูกใจ หรือตรงใจมาก ต่อการอภิปรายในชั้นเรียน
นักเรียนมีความรู้สึกชอบใจ ถูกใจ หรือตรงใจมากที่สุด ต่อแบบเรียน
นักเรียนมีความรู้สึกชอบใจ ถูกใจ หรือตรงใจน้อย ต่อการสอบ

ข้อความ	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
นักเรียนมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนการสอนต่อไปนี้ในระดับใด					
1. การใช้กล้องจุลทรรศน์ศึกษาโครงสร้างเซลล์					
2. การสังเกตรูปร่างและหน้าที่ของเซลล์ชนิดต่าง ๆจากแผนภาพ					
3. การอุปมาอุปไมยเปรียบเทียบหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์ กับห้องภายในบ้าน					
4. การทำนายชนิดของเซลล์จากการสังเกตโครงสร้างเซลล์					
5. การสร้างอุปมาอุปไมยด้วยตนเอง ในการเปรียบเทียบหน้าที่ ของส่วนประกอบของเซลล์กับสิ่งที่ตนเองคุ้นเคย					
6. การใช้กล้องจุลทรรศน์ศึกษาโครงสร้างภายในของราก ลำต้น ใบ					
7. การสาธิต กระบวนการลำเลียงน้ำของพืชจากรากสู่ใบ					
8. การอุปมาอุปไมยเปรียบเทียบการออสโมซิส กับการเคลื่อนที่ของลูกปัดในกล่องพลาสติกที่กั้นด้วยแผ่นกระดาษเจาะรู					
9. การอุปมาอุปไมยเปรียบเทียบการแพร่ของแก๊ส กับการเคลื่อนที่ของเม็ดโฟม ในตู้กระจก					
.....					

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นเพิ่มเติมของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อการใช้อุปมาอุปไมยในการเรียนการสอน

คำชี้แจง : โปรดเขียนหมายเลขแสดงอันดับ **1- 5** ลงในช่องว่างหน้าข้อความแสดงการเปรียบเทียบโดยใช้อุปมาอุปไมย โดยเขียนหมายเลข 1 แทนอุปมาอุปไมยที่นักเรียน**<u>ชอบมากที่สุด</u>** เรียงลำดับไปถึงหมายเลข 5 ซึ่งนักเรียน**<u>ชอบน้อยที่สุด</u>**

☐ 1. การอุปมาอุปไมยเปรียบเทียบหน้าที่ของส่วนประกอบของเซลล์กับห้องภายในบ้าน

☐ 2. การอุปมาอุปไมยเปรียบเทียบการแพร่ของแก๊ส กับการเคลื่อนที่ของเม็ดโฟมในตู้กระจก

☐ 3. การอุปมาอุปไมยเปรียบเทียบการออสโมซิส กับการเคลื่อนที่ของลูกปัดในกล่องพลาสติก ที่กั้นด้วยแผ่นกระดาษเจาะรู

☐ 4. การอุปมาอุปไมยเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของอนุภาคในกระบวนการแพร่ กับการเดินกระจายไปทั่วห้องของเด็ก

☐ 5. การอุปมาอุปไมย เปรียบเทียบการสังเคราะห์ด้วยแสงกับการประกอบอาหาร

อุปมาอุปไมยที่นักเรียนชอบมากที่สุดคือ.....

เพราะ.....

.....

.....

อุปมาอุปไมยที่นักเรียนชอบน้อยที่สุด คือ .....

เพราะ.....

.....

.....

APPENDIX I

Pictures from the Learning Unit Implementation

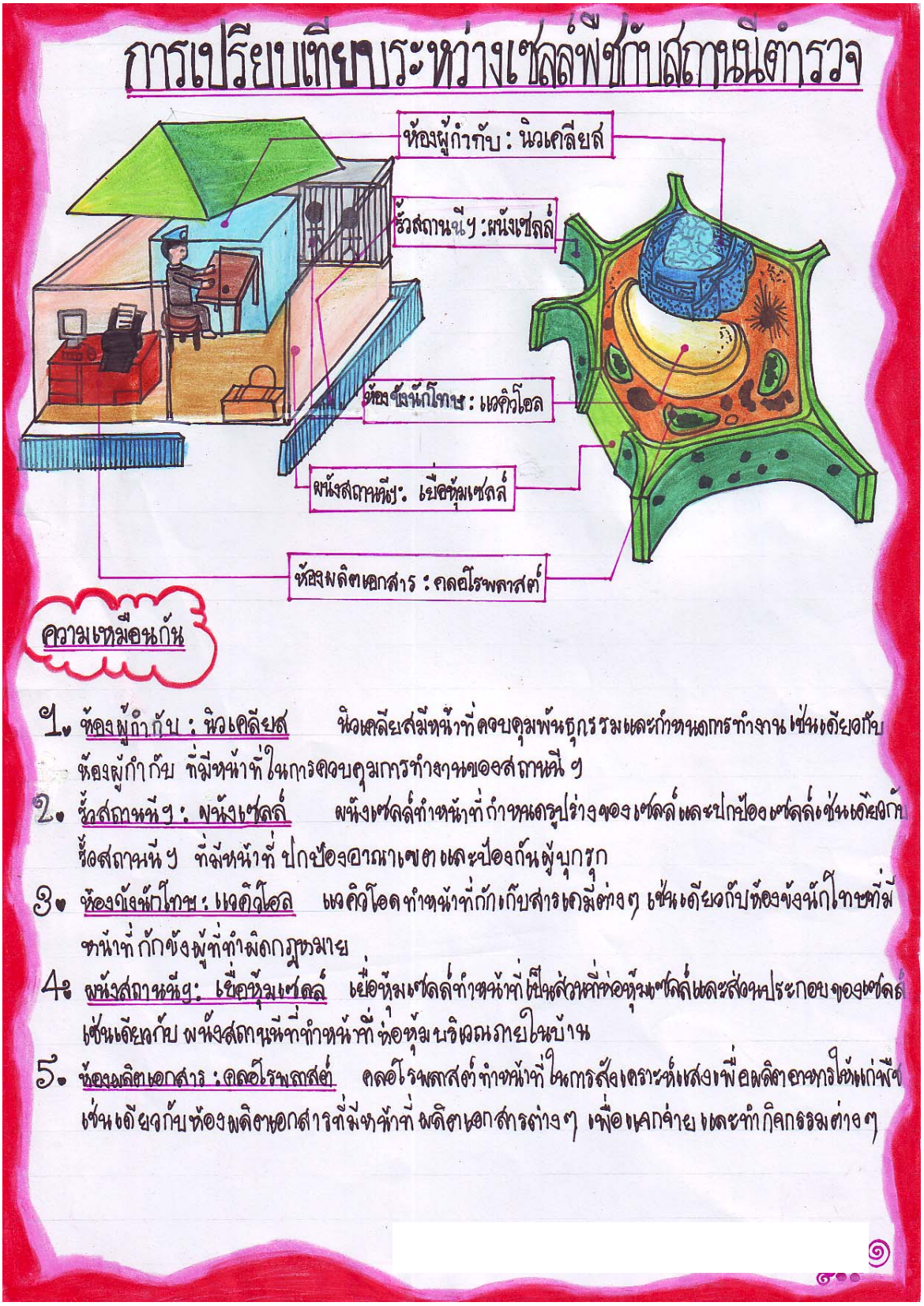
การทำกิจกรรมกลุ่ม

การแข่งขันกันตอบคำถาม

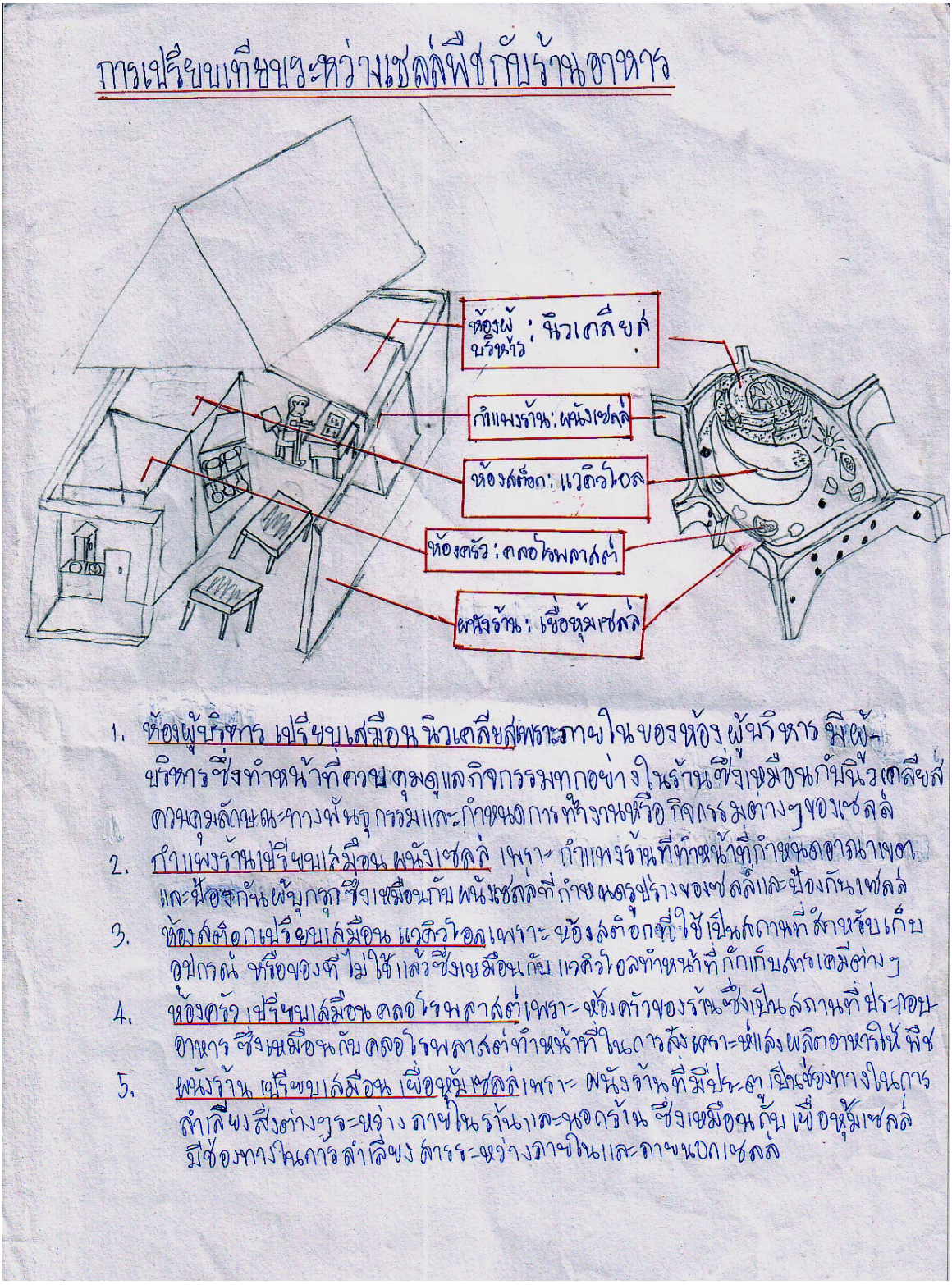
การสาธิตการทดลองหน้าชั้นเรียน

การนำเสนอผลงานของนักเรียน

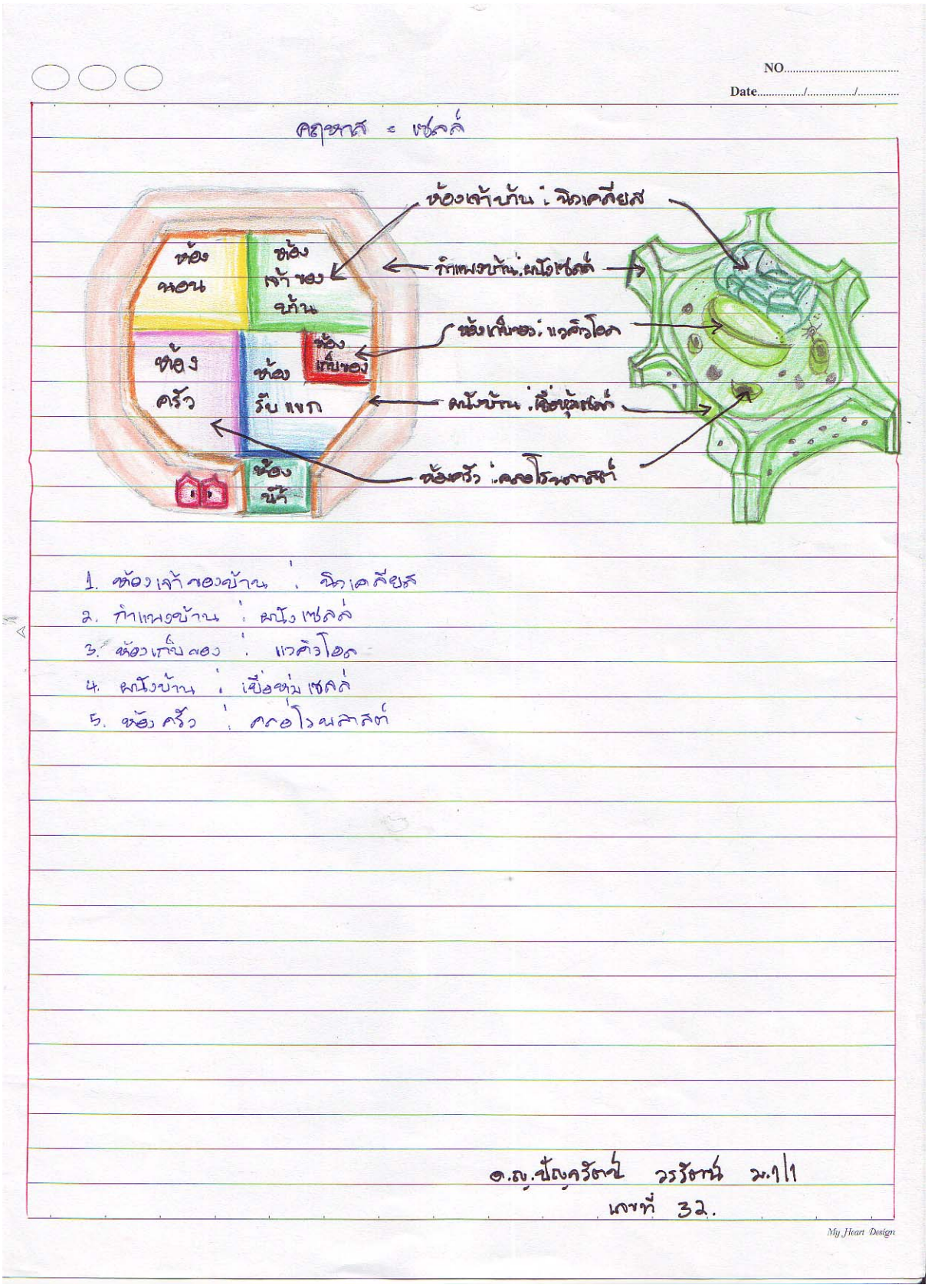
การมีส่วนร่วมของนักเรียนในกิจกรรมการเรียนรู้



ตัวอย่างผลงานอุปมาอุปไมยของนักเรียนที่มีการอธิบาย ความเหมือนระหว่างตัวอย่างที่นำมาเปรียบเทียบกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์



ตัวอย่างผลงานอุปมาอุปไมยของนักเรียนที่มีการอธิบาย ความเหมือนระหว่างตัวอย่างที่นำมาเปรียบเทียบกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์



ตัวอย่างผลงานอุปมาอุปไมยของนักเรียนที่<u>ไม่มี</u>การอธิบายความเหมือนระหว่างตัวอย่างที่นำมาเปรียบเทียบกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

VITAE

VITAE

Name Mr. Sittichai Wichaidit

Date of Birth October 5th, 1982

Place of Birth Muang District, Suratthani Province

Address 249/164 Donnok Rd. Muang District, Suratthani 84000 Thailand

Tel. [66](77) 219-211, [66](84) 100-6408

E-mail: sittichai_swu@hotmail.com

Educational Background

2003	B.Sc. (Biology), Thaksin University, Songkhla
2004	Cert. (Teaching Profession), Thaksin University, Songkhla
2010	Ed.D. (Science Education), Srinakharinwirot University, Bangkok