

THE DEVELOPMENT OF AN EPISTEMIC PLATFORM FOR NANOSCIENCE AND
NANOTECHNOLOGY WITH A COMPUTER GAME FOR LEVEL 4 STUDENTS



Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Doctor of Education Degree in Science Education
at Srinakharinwirot University
March 2011

THE DEVELOPMENT OF AN EPISTEMIC PLATFORM FOR NANOSCIENCE AND
NANOTECHNOLOGY WITH A COMPUTER GAME FOR LEVEL 4 STUDENTS



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

March 2011

Copyright 2011 Srinakharinwirot University

THE DEVELOPMENT OF AN EPISTEMIC PLATFORM FOR NANOSCIENCE AND
NANOTECHNOLOGY WITH A COMPUTER GAME FOR LEVEL 4 STUDENTS



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

March 2011

Skonchai Chanunan. (2011). *The Development of an Epistemic Platform for Nanoscience and Nanotechnology with a Computer Game for Level 4 Students*. Dissertation, Ed.D. (Science Education. Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Acting Sub Lt. Dr. Manat Boonprakob, Assoc. Prof. Dr. Pinit Ratananukul, Assist. Prof. Dr. Sirinoot Teanrungrroj.

The purposes of the research study were to develop and investigate the epistemic platform for science learning with a computer game in learning fundamental nanoscience and nanotechnology for level 4 students (Matayomsuksa 4-6). The epistemic platform was developed and set as the curriculum unit that was divided into three learning units covered the contents of fundamental nanoscience and nanotechnology, basic concepts of nanomaterials, and nanosafety, set for 12 periods. The curriculum unit was intended to enhance students' science learning achievement, strategic problem solving ability, and attitude towards science.

The integrated science learning units were developed using a framework of computer games and their related technologies to engage students in the simulated world where they could learn and play to acquire knowledge and skills. In addition, the technique of strategic problem solving in science learning was incorporated into the curriculum unit to develop students' thinking ability. To facilitate the learning activities, the Learn to Play-Play to Learn learning approach was also developed and used for the activities. The three learning units were conducted in three rounds: first trial study with nine students, second trial study with 33 students and implementation study with 32 students respectively, conducted with 12th graders (M6 students) during the first and second semesters of the 2010 academic year at the Demonstration School of Naresuan University. Before the first trial study, the initial study with six non-subject students was conducted to examine the design and usability of the epistemic platform. The second trial study was mainly conducted to check the research instruments and tools before being used in the implementation study. Lastly, the implementation study was conducted to test the research hypotheses.

As the study involved an innovative development for science teaching and learning, design-based research was employed as a large framework of the research method.

As thus, both quantitative and qualitative data collecting tools were employed.

The research tools consisted of science learning achievement test with reliability of 0.76, strategic problem solving ability test with reliability of 0.60, attitude towards science measure with reliability of 0.89, the questionnaire of students' opinion towards the curriculum unit, a question set for focus group discussion and individual interview, a teacher opinion towards the curriculum unit interview form, and a classroom observation form.

As a result, it was found that the students had improvement in science learning achievement, strategic problem solving ability in science learning and attitude towards science confirmed by statistically significant change at 0.05 level. In addition, the students had highly positive towards the curriculum unit of the epistemic platform confirmed by being statistically higher than the criteria of 3.51. Moreover, the participating teacher had positive opinion towards the curriculum unit of the epistemic platform confirmed by logically inductive qualitative data. In summary, as an innovative model for science learning, the epistemic platform for science learning with a computer game in learning fundamental nanoscience and nanotechnology have positive effects on the students and the teacher as users.

การพัฒนาการจัดกระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี
ด้วยเกมคอมพิวเตอร์สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษาคุณวุฒิบัณฑิต
สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา
มีนาคม 2554

สกนธ์ชัย ชะนูนันท์. (2554). *การพัฒนาการจัดกระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีด้วยเกมคอมพิวเตอร์ สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4*. ปรินซ์นิพนธ์ กศ.ด. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ ฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรรมการควบคุม: ว่าที่ร้อยตรี ดร. มนัส บุญประกอบ, รองศาสตราจารย์ ดร. พินิติ รตะนานุกูล, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัช เทียนรุ่งโรจน์

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาและศึกษาการจัดกระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ใช้เกมคอมพิวเตอร์ร่วม สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ในการเรียนรู้เกี่ยวกับความรู้เบื้องต้นของวิทยาศาสตร์นาโนหรือนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี การจัดกระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์นี้ถูกพัฒนาขึ้นมาในรูปแบบของหน่วยหลักสูตรซึ่งแบ่งได้เป็น 3 หน่วยการเรียนรู้โดยเนื้อหาที่ใช้ครอบคลุมความรู้พื้นฐานของวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวัสดุนาโนและความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยี ซึ่งใช้เวลารวมทั้งหมด 12 ชั่วโมง หน่วยหลักสูตรที่พัฒนาขึ้นนี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานสำคัญของวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี ความสามารถด้านการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อวิชาวิทยาศาสตร์

หน่วยหลักสูตรบูรณาการนี้ใช้รูปแบบและเทคโนโลยีของเกมคอมพิวเตอร์ในการพัฒนาเพื่อสร้างประสบการณ์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่จำลองสถานการณ์ในโลกความเป็นจริงมาไว้ในชั้นเรียนเพื่อให้ผู้เรียนได้มีโอกาสเล่นและเรียนรู้ไปพร้อมๆกัน นอกจากนี้ผู้วิจัยได้บูรณาการเทคนิคการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เข้าเป็นส่วนหนึ่งในหน่วยหลักสูตร เพื่อพัฒนาความสามารถด้านการคิดของผู้เรียน และในการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ผู้วิจัยได้พัฒนารูปแบบการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ใช้เกมคอมพิวเตอร์ร่วมที่เรียกว่า the Learn to Play-Play to Learn learning approach มีชื่อย่อว่า LPPL หน่วยการเรียนรู้ทั้ง 3 หน่วยนั้นได้ทำศึกษา 3 รอบดังนี้ รอบทดลองที่ 1 ทำการทดลองกับนักเรียน 9 คน ส่วนในรอบทดลองครั้งที่ 2 ทำการทดลองกับนักเรียนทั้งห้องเรียน จำนวน 33 คน และ รอบที่ 3 ทำการทดสอบจริงกับนักเรียน จำนวน 32 คน ซึ่งเป็นนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ภาคเรียนที่ 1 และ 2

ปีการศึกษา 2553 อย่างไรก็ตามก่อนจะทำการทดลองในรอบที่ 1 ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการใช้รูปแบบการเรียนรู้นี้ โดยพัฒนาโปรแกรมต้นแบบขึ้นมาและทดลองใช้กับนักเรียนที่มีลักษณะคล้ายกลุ่มตัวอย่างจำนวน 6 คน และในรอบการทดลองครั้งที่หนึ่งได้ทดลองใช้ชุดกิจกรรมของหน่วยการเรียนรู้ทั้ง 3 หน่วยกับนักเรียน 9 คนเพื่อตรวจสอบรายละเอียดของหน่วยหลักสูตร ส่วนการทดลองครั้งที่ 2 นั้นใช้เพื่อการทดสอบและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือเป็นหลักเพื่อ

เตรียมใช้ในรอบการทดสอบจริง ส่วนการทดลองจริงใช้ในการตรวจสอบสมมติฐานของการวิจัยในครั้งนี้

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยที่เรียกว่าการวิจัยที่ใช้การออกแบบเป็นฐาน หรือ Design-based Research ซึ่งใช้เครื่องมือวิจัยที่หลากหลายทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ เครื่องมือวิจัยที่ใช้มีดังต่อไปนี้ 1) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่มีค่าความเชื่อมั่น 0.76 2) แบบทดสอบวัดความสามารถด้านการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่มีค่าความเชื่อมั่น 0.60 3) แบบวัดเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ที่มีค่าความเชื่อมั่น 0.89 4) แบบสอบถามความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อหน่วยหลักสูตร 5) ชุดคำถามสำหรับการอภิปรายกลุ่มย่อยและการสัมภาษณ์บุคคล 6) แบบสัมภาษณ์ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อหน่วยหลักสูตร และ 7) แบบสังเกตชั้นเรียน

ผลการศึกษาพบว่า นักเรียนสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้ ยืนยันได้จากคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนซึ่งมีค่าสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ นักเรียนยังสามารถพัฒนาความสามารถด้านการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ยืนยันได้จาก คะแนนความสามารถด้านการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์หลังเรียนมีค่าสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 รวมทั้งเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังเรียนก็มีค่าสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สำหรับความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อหน่วยหลักสูตรก็มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้คือ 3.51 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อหน่วยหลักสูตรก็มีผลเชิงบวกยืนยันจากข้อมูลเชิงคุณภาพที่วิเคราะห์โดยการอนุมานเชิงตรรกะ

The dissertation titled
“The Development of an Epistemic Platform for Nanoscience and Nanotechnology
With a Computer Game for Level 4 Students”

by
Skonchai Chanunan

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 Graduate School
(Assoc. Prof. Dr. Somchai Santiwatanakul)

March 2011

Dissertation Committee

Oral Defense Committee

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

..... Chair
(Assoc. Prof. Dr.Nuanjid Chaowakerathipong)

..... Co-advisor
(Assoc. Prof. Dr. Piniti Ratananukul)

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

..... Co-advisor
(Assist. Prof. Dr. Sirinoot Teanrungrroj)

..... Committee
(Assoc. Prof. Dr. Piniti Ratananukul)

.....Committee
(Assist. Prof. Dr. Sirinoot Teanrungrroj)

..... Committee
(Assoc. Prof. Dr. Nason Phonphok)

This study was financially supported by
The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST)



Acknowledgements

My sincerest gratitude and thankfulness go to all the people who have inspired supported me in my study, encouraged me in my difficulties, and helped me along the way to complete my doctoral study. I would especially like to thank the chair of my committee, Acting Sub Lt. Dr. Manat Boonprakob who devoted his time and effort to give me clear and insightful guidance that was the most important element for me in writing this dissertation.

I would also like to thank Assoc. Prof. Dr. Piniti Ratananukul, and Assist. Prof. Dr. Sirinoot Teanrungrroj for being my committee members and for their valuable insights for this dissertation. I could not finish this dissertation without them. In addition, I also want to thank Assoc. Prof. Dr. Prayong Pongthongchareon, a former director of Science Education Center, all professors and staffs at the SWU Science Education Center for their recommendations and encouragement during the study.

For building the research ideas, I would like to thank Prof. Dr. John L. Rudolph and Prof. Dr. Peter W. Hewson who gave me support and guidance for my work while spending time as a visiting scholar at School of Education, University of Wisconsin-Madison. I would like to extend my gratefulness to Assist. Prof. Dr. Kurt Squire, and Prof. Dr. James Paul Gee who allowed me to sit in their classes to share the ideas for developing my dissertation work.

For validating the contents of fundamental nanoscience and nanotechnology, I would like to thank Dr. Nattapan Suppaka and all staffs at NANOTEC of Thailand. I would also like to thank my colleague and good friends, Dr. Sommai Papatitangkho, Assist. Prof. Dr. Direk Theeraphuthon, and Miss Chirapha Yodprachon for being my experts in helping checking all my research instruments and tools, Miss Phansiri MoonSri, the participating teacher at the Demonstration School of Naresuan University, who helped me to conduct the research study.

Lastly, I would like to thank my parents, Mr. Sanguanchai and Mrs. Amphon Chanunan, my brother and sister who provided me the emotional support for my doctoral studies. Also, I would like to thank all the support from friends and my boss at Naresuan University for giving me chances to complete the doctoral study.

Skonchai Chanunan

TABLE OF CONTENTS

Chapter	Page
1 INTRODUCTION.....	1
Background.....	1
Purpose of the Study.....	9
Scope of the Study.....	10
Significance of the Study.....	10
Limitations of the Study.....	10
Research Questions and Hypotheses.....	15
2 REVIEW OF THE LITERATURE.....	18
SECTION 1 Practices in Science Teaching and Learning.....	18
SECTION 2 The Potential Roles of Educational Technology in Science Education.....	20
SECTION 3 Digital Game Technologies and Their Implications for Science Teaching and Learning.....	24
A Digital Game and Its Associated Technologies.....	25
Simulation and Digital in Games and Educational and Training Purpose.....	27
Current Research on Gaming in Education.....	34
SECTION 4 Active Learning Approach to Science Learning and Assessment in Digital Game-Based Learning.....	49
Current Perspectives of Science Pedagogy.....	50
An Active Learning Approach to Science Learning in Digital Game-based Learning.....	56
Science Assessment in the Context of Game-Based Learning.....	67

TABLE OF CONTENTS (Continued)

Chapter	Page
2 (continued)	
SECTION 5 Nanoscience and Nanotechnolgy Education	
in Secondary Science.....	69
3 METHODS.....	77
An Overview of the Research.....	77
Population and Samples.....	78
Research Instruments and Tools.....	79
Research Procedure.....	91
Data Collection.....	98
Data Analysis.....	99
4 RESULTS OF THE STUDY.....	104
PHASE I the Development of the Curriculum Unit of	
the Epistemic Platform.....	104
Results from the Curriculum Unit Evaluation	
by the Experts.....	107
Results from the First Trial Study.....	111
Results from the Second Trial Study.....	114
PHASE II the Implementation of the Curriculum Unit of	
the Epistemic Platform.....	119
Student's Science Learning Achievement.....	120
Students' Strategic Problem Solving Ability.....	121
Students' Attitude towards Science.....	122
Students' Opinion towards the Curriculum Unit.....	123

TABLE OF CONTENTS (Continued)

Chapter	Page
4 (continued)	
The Results of Qualitative Data from Focus Group Discussion and Individual Interview.....	125
Teacher's Opinion towards the Curriculum Unit.....	127
The Results from Classroom Observation.....	128
The Statistical Testing of the Hypotheses.....	129
5 CONCLUSIONS, DISCUSSIONS AND RECOMMENDATIONS.....	133
The Conclusion of the Research Study.....	133
Discussions.....	143
Recommendations.....	150
BIBLIOGRAPHY.....	154
APPENDIX.....	169
VAITAE.....	292

LIST OF TABLES

Table	Page
1 ANALYSIS GAMEPLAY ELEMENTS AND GAME DESIGN DEVICES.....	47
2 NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY AND THE NATIONAL SCIENCE CURRICULUM STANDARDS.....	73
3 LEARNING UNITS OF THE CURRICULUM UNIT.....	97
4 CONTENTS AND GAME ACTIVITIES OF THE CURRICULUM UNIT.....	107
5 THE CURRICULUM UNIT CONSISTENCY EVALUATION.....	108
6 CURRICULUM UNIT QUALITIES EVALUATION.....	109
7 THE COMPARISON OF SCIENCE LEARNING ACHIEVEMENT MEAN SCORE BETWEEN BEFORE AND AFTER INTERVENTION OF THE FIRST TRIAL STUDY.....	113
8 THE COMPARISON OF SCIENCE LEARNING ACHIEVEMENT MEAN SCORE BETWEEN BEFORE AND AFTER INTERVENTION OF THE SECOND TRIAL STUDY.....	115
9 THE COMPARISON OF STRATEGIC PROBLEM SOLVING ABILITY MEAN SCORE BETWEEN BEFORE AND AFTER INTERVENTION OF THE SECOND TRIAL STUDY.....	117
10 THE COMPARISON OF ATTITUDE TOWARDS SCIENCE MEAN SCORE BETWEEN BEFORE AND AFTER INTERVENTION OF THE SECOND TRIAL STUDY.....	118
11 THE OVERALL RATING LEVEL OF STUDENTS' OPINION TOWARDS THE CURRICULUM UNIT FROM THE SECOND TRIAL STUDY	118
12 THE COMPARISON OF SCIENCE LEARNING ACHIEVEMENT MEAN SCORE BETWEEN BEFORE AND AFTER INTERVENTION OF THE IMPLEMENTATION STUDY.....	121

LIST OF TABLES (continued)

Table	Page
13 THE COMPARISON OF STRATEGIC PROBLEM SOLVING ABILITY MEAN SCORE BETWEEN BEFORE AND AFTER INTERVENTION OF THE IMPLEMENTATION STUDY.....	122
14 THE COMPARISON OF ATTITUDE TOWARDS SCIENCE MEAN SCORE BETWEEN BEFORE AND AFTER INTERVENTION OF THE IMPLEMENTATION STUDY.....	122
15 THE OVERALL RATING LEVEL OF STUDENTS' OPINION TOWARDS THE CURRICULUM UNIT FROM THE IMPLEMENTATION STUDY.....	123
16 THE RESULTS OF CHECKING OF THE SCIENCE LEARNING ACHIEVEMENT TEST'S THE ITEM OBJECTIVE CONGRUENCE (IOC), ITEM DIFFICULTY (p) AND ITEM DISCRIMINATION (r).....	237
17 THE RESULTS OF CHECKING OF THE STRATEGIC PROBLEM SOLVING ABILITY TEST'S THE ITEM OBJECTIVE CONGRUENCE (IOC), ITEM DIFFICULTY (p) AND ITEM DISCRIMINATION (r).....	238
18 THE CURRICULUM UNIT CONSISTENCY EVALUATION(in the Appendix).....	240
19 THE CURRICULUM UNIT QUALITIES EVALUATION (in the Appendix).....	241
20 THE RESULTS OF SCIENCE LEARNING ACHIEVEMENT FROM THE FIRST TRIAL STUDY.....	245
21 THE RESULTS OF SCIENCE LEARNING ACHIEVEMENT FROM THE SECOND TRIAL STUDY.....	246
22 THE RESULTS OF STRATEGIC PROBLEM SOLVING ABILITY FROM THE SECOND TRIAL STUDY.....	247
23 STUDENTS' ATTITUDE TOWARDS SCIENCE PRE SCORE FROM THE SECOND TRIAL STUDY.....	248

LIST OF TABLES (continued)

Table	Page
24 STUDENTS' ATTITUDE TOWARDS SCIENCE POST SCORE FROM THE SECOND TRIAL STUDY.....	250
25 STUDENTS' OPINION TOWARDS THE CURRICULUM UNIT FROM THE SECOND TRIAL STUDY.....	252
26 26THE RESULTS OF SCIENCE LEARNING ACHIEVEMENT FROM THE IMPLEMENTATION STUDY.....	254
27 THE RESULTS OF STRATEGIC PROBLEM SOLVING ABILITY FROM THE IMPLEMENTATION STUDY.....	255
28 STUDENTS' ATTITUDE TOWARDS SCIENCE PRE SCORE FROM THE IMPLEMENTATION STUDY.....	256
29 STUDENTS' ATTITUDE TOWARDS SCIENCE POST SCORE FROM THE IMPLEMENTATION STUDY.....	258
30 STUDENTS' OPINION TOWARDS THE CURRICULUM UNIT FROM THE IMPLEMENTATION STUDY.....	260

LIST OF FIGURES

Figure	Page
1 The conceptual framework of the Study.....	17
2 A model of cyclic process of science learning with use of ICT.....	22
3 Core elements of an Academic Play Space.....	48
4 Problem Solving.....	54
5 Process of Strategic Thinking.....	55
6 Community of Practice.....	61
7 Visual Depiction of an Activity System.....	62
8 The Learn to Play and Play to Learn Learning Approach (LPPL).....	65
9 Details of the process of the LPPL.....	67
10 Concept map of the content of nanoscience and nanotechnology used for this study.....	74
11 The Structure of the Research Study.....	76
12 Design-based Research.....	92
13 Procedures of the Research Study.....	93

CHAPTER 1

INTRODUCTION

Background

Among the sequences of global, large-scale changes that have taken place during the globalization process in the past decade is the fierce competition in various aspects including the free market trade with the super-power countries at the forefront. Within this context, Thailand is forced to adjust itself to increase development of quality products with least adverse affects on the environment to achieve sustainable development. However, this sort of development is viable only when the country stands on a strong and solid base of science and technology. In the development of science and technology, both the creation of the body of knowledge with benefits and that contributes to the increase of competitiveness and the development of the quality of life must be taken into account. Here it means that knowledge of science and technology must be utilized in a way that it poses limited impacts on natural resources or the environment. Nanotechnology, for instance, is a powerful and potentially very dangerous and also beneficial technology that is now advancing rapidly and will revolutionize our way of life. As with any new technology, we are faced with unknowns, all of which raise questions concerning occupational safety, health and our environment. As such, it is important for everyone to get educated sufficiently to understand what nanotechnology is and how it works and impacts on our daily lives and society and for someone who want to study for his or her future career.

Against the background of the significance of science and technology as mentioned above, it is alarming to realize that Thailand has not attached importance to the status and the development of its science and technology. To be able to achieve this goal, people must be sufficiently scientifically literate to be able to select and use appropriate science knowledge and technologies in a way that they are agreeable and in harmony with the nature. In so doing, one of the key approaches that many countries including Thailand have been trying to do is educational reform, especially the reform of science education.

Science education reform is the key movement in strengthening fundamentals of development of science and technology. In science education reform, science teaching

and learning in classrooms is regarded being at the heart of the science educational reform. Students with knowledge of science concepts and higher-ordered thinking skills are needed for the reform goals. As such, teaching and learning activities, assessment, teachers and students roles must be changed. One of the key successful ways is an integration of educational technology into teaching, such as the Internet, simulation and the emerging technology of computer games. Computer game is one of the most cutting edge technologies that have received attention from educators (Gilbert. 2004: 9). To prepare population for the new era of rapid growth of science and technology, a powerful educational technology, such as simulation and computer games, is one of the latest ideas that can lead us to the intended goals of educational reforms which will result in advancement and strength of science and technology.

The Thai Educational Reform according to The Thai National Education Act of B.E. 2542 (A.D. 1999) and Basic Education Curriculum of B.E. 2544 (A.D. 2001)

Prior to the introduction of the Thai National Education Act of 1999, a number of governmental offices were involved in designing and developing the entire curriculum in Thailand along with the Department of Curriculum and Instruction Development (DCID). The Department of Curriculum and Instruction Development, which is under the Ministry of Education, is responsible for developing the curriculum at all levels lower than the tertiary education level as well as improving the curriculum implementation process for effectiveness. The 1999 National Education Act specifies that the Commission for Basic Education shall determine the core curriculum for basic education that aims to preserve Thai identity. Its goals are good citizenship, desirable ways of life, and livelihood as well as for further education, while basic education institutes shall prepare details of the curriculum in parts dealing with community problems, local wisdom, and desirable characteristics for being good members of one's family, one's community, society, and the nation. In the establishment of the above-mentioned commission, the Department of Curriculum and Instruction Development drafted the Basic Education Core Curriculum in line with the 1997 Constitution of the Kingdom of Thailand, the 1999 National Education Act, national policies, and socioeconomic and political conditions.

From the commission mentioned above, the Thai education system was reformed according to the Thai National Education Act (TNEA) of 1999 (ONEC. 1999), now the Thai National Education Act of 2002. As a result of the TNEA, the Basic Education Commission of Thailand prescribed a core curriculum known as the Basic Education Curriculum (BEC) of 2001 to be guidelines for schools. Thus, schools or educational institutes shall apply the core curriculum in preparing institute curricula relevant to particular local conditions. The development and reform of school curriculum is an on-going process in Thailand. In the early of the reform, a large number of schools (2,007 schools) began using the 2001 BEC in the 2002 academic year, starting at the 1st, 4th, 7th, and 10th grade levels. The substance for the basic curriculum as prescribed in the BEC consists of: 1) a body of knowledge, skills or learning processes, 2) values or virtues, 3) morality and right behavior. This curriculum includes eight strands which are as follows: 1) Thai language, 2) mathematics, 3) science, 4) social studies, religion and culture, 5) health and physical education, 6) art, 7) career and technology, and, 8) foreign languages (MOE. 2002: 5).

In developing institute curricula, teachers need to consider the aims of the educational reform. The aims of Thai educational reform are to improve Thai education through 1) making curriculum more flexible to address specific circumstances at local levels, 2) implementing a curriculum more diversified in terms of contents and programs to meet the needs of individual, and 3) a more decentralized educational system in terms of administration and management to allow schools, parents, local community members, and various sectors and stakeholders to participate in curriculum development (Miralao; & Gregorio. 2000: 41).

In the case of science, the Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST), a national institute, is assigned with the duties and responsibilities of designing and developing curriculum, instructional materials and teaching-learning activities (Pisarn Soydhurum. 2001: 7). Before the 2001 BEC, in 1990 the IPST prescribed revisions to curriculum for the 1978 lower secondary school science curriculum (Downer; & Rana. 1999: 168) and the 1990 lower secondary school science curriculum was used until the launch of the 2001 BEC.

The Current Status of Science Teaching and Learning

According to the 1990 curriculum, there are some problems regarding the curriculum and its implementation. The main problem in science education is quality of science learning and teaching. Students' achievements in science do not yet reach the standards, such as science at the upper secondary education level. This is because of that the principle, theories and contents of science curricula lack coherence and are irrelevant to real life experiences (Chinnapat Bhumirat. 2001: 2). Moreover, science instruction in Thailand emphasized on lecture methods to ensure that all contents needed in preparing for university entrance examination were covered (Chinapat Bhumirat. 2001: 5; Kiat Ampra; & Chajane Thaithae. 1999: 130). Consequently, students lacked opportunities to practice skills, both in scientific and thinking processes, which are essential for science learning. Another problem is that students are usually evaluated based upon what they have memorized, rather than their scientific process skills (Sor Wasna Pravalpruk. 1999: 73). In addition, assessment tools related to development of attitudes towards science are virtually nonexistent. Chinnapat Bhumirat pointed out that the main objectives of science education are limited to memorizing subject matter rather than developing student creativity and other desirable attributes and values (Chinnapat Bhumirat. 2001: 5). As such, this seems to be that science teaching and learning activities are not sufficiently motive and engaging to students to learn science in the way as prescribed by the Basic Education Curriculum of A.D. 2001, the 2001 BEC.

As science is the principal subject group in the 2001 BEC, curriculum, instruction and assessment all have to be considered in laying the foundation for science education of the learners at all levels so that continuity and connectivity are maintained from grade 1 to grade 12. Therefore, it is essential to set up a core curriculum running from simple to more complex contents for different grades, wherein students will experience the two inseparable components, knowledge and process. They will undertake activities that help develop reasoning, critical and creative thinking, analytical ability and skills in research and creating knowledge through investigation, systematic problem solving and decision making based on diverse data and verifiable evidences and skills in utilizing technology in data acquisition

and management. The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST) has the mandate from the Ministry of Education to implement the subject matters of science mathematics and technology. It sets the standards for learning at the basic level, the standards for learning at different levels and provides core subject matters for basic education. For the science strand, they consist of concept maps, contents for levels and grades, expected learning outcomes and contents of each grade, and for successive periods from grade 1 to grade 12. The IPST also provides learning units, descriptions of the basic science courses and lesson plans. All these comprise the core of the 2001 BEC as stipulated in the National Education Act of B.E. 2542 section 27 paragraph 1. (NEA.1999).

From the notions mentioned above, teachers are free in selecting teaching-learning methods that are in line with the guidelines of the 2001 BEC. One of the latest ideas is an integration of information and communication technology (ICT) into teaching.

Curriculum Development in the ICT Age and New Learning Technology

Since the traditional approach is not fitting properly for science education, it is worth seeking the newer and more innovative ways of teaching and learning in science in order to accomplish the goals. As information and communication technology (ICT) is dominating our society, it is also playing a key role that has a profound impact on science education. Educational technology has been widely used in science classroom to help teachers and students accomplish their goals in particular purposes.

As we are now in the age of fast moving technology, our everyday lives have been impacted by various kinds of technology. Educational technology is one of the big movements within a decade. In the trends of science curriculum development, educational technology is now playing a key role in helping and facilitating science teaching and learning. In 1997, a nationwide survey of teachers and superintendents in USA commissioned by Jostens Learning Corporation indicated that the computer revolution has had a tremendous impact in the classroom (Jostens Learning Corporation. 1997). Surprisingly, however, the emphasis was on student access to information outside the classroom and improved student motivation, not on specific academic achievement. (Jostens Learning Corporation. 1997). A variety of other surveys (Bosch. 1993; Niess. 1991;

Trotter. 1997), while reporting strong computer usage by teachers, actually indicated a lack of integrated use with the curriculum. In addition, in many instances, it has been a case of fitting the curriculum to the computer rather than the computer to the curriculum.

For the optimum results of educational reform and in consistency with the 2001 BEC, developing science curriculum in Thailand should be based on the Thai National Science Curriculum Standards and the guidelines developed by the IPST that encourage teachers to embrace educational technology for improving science teaching and learning. In so doing, teachers and curriculum developers may need to look at the potential role of educational technology. As we are now in the ICT age, there are many learning resources and materials surrounding us. Educational technology are now playing a very important role in facilitating classrooms in several ways such as computer with internet access for learners in searching information or for teachers in finding teaching and learning materials. Besides the Internet, one of the latest technologies for education is video and computer game. The idea of using this cutting edge technology in education shows some promises in accomplishing educational reform.

A computer game and its association is the latest technology that has received attention from educators. (Gilbert. 2004: 9). Many learning scientists are also now increasingly turning to computer and video games as tools for learning (Squire K. 2003: Abstract). Shaffer and his colleagues argue that for a particular view of games—and of learning—as activities that are most powerful when they are personally meaningful, experiential, social, and epistemological all at the same time (Shaffer; et al. 2004: Abstract ; Gee 2003; 2005). In using computer and video games for learning, Shaffer and his colleagues also suggest that video games are good for learning because they present players with simulated worlds: worlds which, if well constructed, are not just about facts or isolated skills, but embody particular social practices (Shaffer; et al. 2004). Video games thus make it possible for players to participate in valued communities of practice, developing the ways of thinking that organize those practices. Gee (2005: Abstract) points out that games are good for learning because, among other reasons, they have the following features: 1) they can create an embodied empathy for a complex system 2) they are action-and-goal-directed preparations for, and simulations of, embodied experience,

3) they involve distributed intelligence via the creation of smart tools, 4) they create opportunities for cross-functional affiliation, 5) they allow meaning to be situated, 6) they can be open-ended, allowing for goals and projects that meld the personal and the social.

As such, it is worth noting that the idea of using educationally potential forms of computer games to design science learning activities used in classroom is a powerful strategy to motivate and engage students into encouraging learning environments, especially in science teaching and learning which is emphasizing on the process of learning, and also especially in the fast growing age of science and technology. It is the focus of this study in investigating the use of a computer game in science teaching and learning.

In comparison with genetic engineering, nanotechnology looks like being the other big growth area this century. Nanotechnology is the meeting ground of engineering, biology, physics, medicine, and chemistry. For high school science, nanotechnology is an exciting scientific area that can stimulate interest in science and engineering while teaching basic principles of physics, biology and chemistry that fit into the goals for students in the national science curriculum standards. Therefore, it is useful and helpful for young generations such as high school students to understand the basic science concepts of nanotechnology to live their lives happily without fear and for some who want to continue their study in nanotechnology. Learning basic science concepts of nanoscience and nanotechnology by investigating properties of nanomaterial through computer game based science learning is the center of this study.

In summary, according to the Basic Education Curriculum of B.E.2544 (A.D. 2001) and the National Education Act of B.E.2542 (A.D. 1999), now the Amendment of the National Education Act of B.E. 2545 (A.D. 2002), science education management should be in such a way that student will learn science and technology concepts and how they apply to real life situations. Students should also be stimulated thinking processes and promoted management, coping with situations and applying knowledge to obviate and solve problems (ONEC. 1999). According to the circumstance mentioned previously and the intention of the 2001 BEC and the 1999 NEA, now the Amendment of 2002 NEA, the researcher developed an epistemic platform for science learning experiences with digital game

technologies. This strategy of science learning and teaching employed educationally potential elements and devices of current forms of digital game technologies by incorporating them into the design of the epistemic platform. The content used is the basic concepts of nanoscience and nanotechnology, using nanomaterial in particular. The epistemic platform is considered as a game-like science learning. It was developed and set as a science curriculum unit to enhance Level 4 (upper secondary or Matayomsuksa 4-6) students' conceptual understandings of the key basic concepts of nanoscience and nanotechnology, nanomaterial in particular. In addition, the epistemic platform was also expected to develop students' science problem solving processes and thinking skills, strategic thinking in the process of problem solving in particular. The strategic thinking in problem solving was derived into strategic problem solving ability for this study in particular. In order to facilitate science learning through the activities of the epistemic platform, the researcher also developed an active learning approach called "Learn to Play and Play to Learn learning approach (LPPL) which is grounded in current influential learning theories and lessons from research on cognition and learning. As studying on developing innovation for teaching and learning, the researcher employed multiple methods, both qualitative and quantitative, as a part of a larger design-based research project (Brown.1992; Collin. 1992) to examine the effects of the epistemic platform on level 4 students. The data were obtained from the students' science learning achievement based on pre- and post-test scores, the students' strategic problem solving ability pre-and post test scores, the students' attitude towards science pre- and post-measure scores, the students' opinion towards the curriculum unit in term of the data from the questionnaire, focus group discussion and selected individual interview using the question set. In addition, data from interview with the participating teacher was also obtained.

Purposes of the Study

The main idea of this study was to find out whether the potential elements of digital game technologies and gameplay could be incorporated into existing science curriculum and help students learn effectively. Therefore, the purpose of the study was to develop and examine the epistemic platform for science learning with a computer game on the content of fundamental nanoscience and nanotechnology. In developing the epistemic platform, the researcher employed educationally potential elements and devices of the current forms of digital games and their associated technologies by incorporating them into the instructional design for the study. This resulted in a game-like learning environment that consisted of a computer game and the Learn to Play and Play to Learn Approach. To examine the effects of the epistemic platform, the researcher collected various kinds of data such as

- 1) students' science learning achievement focusing on conceptual understandings,
- 2) strategic thinking in problem solving ability in term of “strategic problem solving ability” in science learning and
- 3) attitude toward science.

In addition, the researcher also examined the teacher's and the students' opinion toward the epistemic platform for nanoscience and nanotechnology with a computer game.

As a result, the purposes of this study are summarized as follows:

- 1) To develop the epistemic platform for science learning with a computer game on the content of nanoscience and nanotechnology, using nanomaterial in particular, facilitated by Learn to Play and Play to Learn Approach for level 4 (High School or Upper Secondary) students, in the previous Thai educational system called Mathayomsuksa 4-6,
- 2) To examine the effect of the epistemic platform on students' science learning achievement, strategic problem solving ability, and attitude towards science, and
- 3) To find out whether this kind of learning can be fit into the existing science curriculum.

Scope of the Study

The focus of this study was placed on developing a novel strategy for science teaching and learning called an epistemic platform for science learning with a computer game to enhance level 4 students' science learning achievement by incorporating the educationally potential elements and devices of game technologies and gameplay into the design of the epistemic platform. The epistemic platform were developed and set as the curriculum unit, divided into three learning units, using the content of fundamental nanoscience and nanotechnology, nanomaterial in particular. The selected concepts of nanoscience and nanotechnology are in line with national science curriculum standards. As this research involved an innovative development for teaching and learning, the researchers employed design-based research (Brown. 1992; Collins. 1992; Barab & Squire. 2004) as a large framework for the study.

Significance of the Study

This study obtained additional useful information concerning strategy using and incorporating digital game technologies into science teaching and learning. The result of this study increased understanding on the use of game technologies in education in general and science education in particular. Besides that, this was very useful for participants in developing their own learning process. In this study, the effective epistemic platform for science learning with a computer game on the concepts of nanoscience and nanotechnology using the concepts of nanomaterial in particular also were obtained.

This epistemic platform was expected to be adapted and adopted to other science classes.

Limitations of the Study

This study was limited by the characteristics of the population. The students' computer skills and availability of computer with the Internet access are the main limitation of the study. The study site is the school equipped with microcomputers with the Internet connection.

Population

The populations of this study were the students studying in science program in level 4 (Matayomsueksa 4-6), and already completed two semesters of biology, physics, and chemistry, at the demonstration school of Naresuan University (Mathayom) at Phitsanulok, Thailand. The school site is equipped with microcomputers with the Internet connection.

Samples

The samples of this study were the 32 students who were studying in science program in level 4, and already completed two semesters of biology, physics, and chemistry, at the demonstration school of Naresuan University (Mathayom) at Phitsanulok, Thailand.

Variables of the Study

This research was intended to study the main independent variables:

The epistemic platform for nanoscience and nanotechnology with a computer game, which developed as the curriculum unit

And the dependent variables were as the followings:

1. Students' science learning achievement,
2. Students' strategic problem solving ability,
3. Students' attitude towards science,
4. Students' opinion toward the curriculum unit of the epistemic platform,
and
5. Teachers' opinion toward the curriculum unit of the epistemic platform.

Definition of the Terms

The terms used in this study were defined as follows:

1. **The epistemic platform for nanoscience and nanotechnology with a computer game** is a teaching and learning strategy that employs educationally potential aspects of gameplay and devices of digital game and its associated technologies to develop immersive science learning experiences for level 4 students on the concepts of fundamental nanoscience and nanotechnology, using the concepts of nanomaterial in particular. The epistemic platform consists of a computer game program and its related materials

developed by the researcher and the Lear to Play and Play to Learn learning approach (LPPL) also developed by the researcher for running the learning process.

These components are developed and set as the curriculum unit that is divided into three learning units.

2. Educationally potential aspects/components of gameplay activities mean the aspects or elements of gameplay occurring in and around gameplay activities. The aspects or elements are considered as potential for science learning such as collaborative playing, apprenticeship, critical reflecting on gameplay, researching information for gameplay, strategic thinking and problem solving in gameplay, etc. These aspects/components of gameplay activities are incorporated into the design and development of the LPPL learning approach and computer game program for the study.

3. Devices of digital game and its associated technologies mean the strategies or patterns of game design that game designers use in developing computer/video games such as story design, narrative, and interactive design, guiding and feedback system design, sound and graphic design, multi-representation system design, etc. The devices are used in designing and developing the computer game program for the study.

4. A game-like learning is a kind of learning that is set for learners by using frames and strategies of games as framework. This is considered as learning environment that looks similar to game. This is considered as one kind of game based learning.

5. A Game-based Learning is a kind of learning that incorporates a set of game elements into its instructional design to make learning look more like game, or use games as a part of instructional units.

6. Digital game technologies are technologies that are used to develop digital game for playing in the current platforms such as PC, Play Station 2 and 3, XBOX 360, etc. The digital game technologies are referred to those of game creation software, such as Flash, DarkBasic, 3D MAX studio, etc. The term also associates with the technologies of the Internet involved with gameplay such as websites, Webblog, etc.

7. The curriculum unit is the set of three science learning units of the epistemic platform for science learning with a computer game in the study, detailed in chapter 2 and 3.

8. The computer game entitled “Nano X Project” is the computer game program developed by using Adobe Flash software program. This computer game is considered as game-like science learning. In this kind of learning, scenarios are set as a research competition to win the contract from government. Students as players play a role as a leading scientist who lead and manage his/her team to conduct a project research on developing military superclothes using nanotechnology for protecting soldiers in the future war. At the interface, students interact with programmed agents and perform various kinds of tasks and deal with many problems in his/ her project management. This brings about situated learning in immersive science learning environment. The computer game was developed by the researcher.

9. **Learn to Play and Play to Learn learning Approach (LPPL)** is an active learning approach developed for using in this game-like science learning activities of the epistemic platform that allow students to construct their own understandings through performing tasks /solving problems. The approach consists of two main inter-switchable phases including learn to play phase and play to learn phase (detailed in chapter 2).

10. **Attitude towards science** refers to the feelings that student has about science based on their beliefs about science through science learning activities. The attitude towards science in this study was assessed by an attitude towards science measure.

11. **Strategic problem solving ability** refers to students' ability to determine optimum or the best way to accomplish the intended goal or to solve the problems under any problematic and uncertain circumstance. In problem solving process, students use knowledge, skills, and prior experiences to analyze, synthesize, and evaluate situation to find out the best way to accomplish the intended goal or to solve the problem effectively. The steps of strategic thinking in problem solving process are shown as follows:

1. Analyzing/evaluating the problematic situation,
2. Searching the strategy and alternative strategies,
3. Testing/Evaluating the strategy,
4. Planning for the strategies or solutions,
5. Doing the solutions,

6. Evaluating the solutions, and
7. Analyzing/evaluating strength and weakness of the solutions.

This process is revised and set into the four step process for the study:

1. Analyzing/evaluating the problematic situation and identify the problem or intended goal.
2. Searching and developing the solution and at least one possible alternative solution,
3. Analyzing, assessing, and making a decision based on specific reason to choose the best solution,
4. Evaluating the selected solution.

Strategic problem solving ability was assessed by strategic problem solving situation test.

12. Students' science learning achievement refers to students' performances of science learning achievement test, particularly conceptual understandings on fundamental nanoscience and nanotechnology, reflected from knowledge, comprehension, application, and analysis. Students' science learning achievements were assessed by science learning achievement test. The science learning achievements was developed by the researcher.

13. Students' opinion toward the curriculum unit of the epistemic platform refers to students' feelings, affected by performing activities of the epistemic platform. The student opinions toward the epistemic platform were assessed by a questionnaire, individual interview and focus group discussion. All of the documents for assessing students' opinion toward the epistemic platform were developed by the researcher.

14. Teachers' opinion toward the curriculum unit of the epistemic platform refers to teacher's feelings regarding the epistemic platform. These feelings are affected while considering documents and instructing the curriculum units of the epistemic platform. Teacher's opinion towards the epistemic platform was assessed by using the interview form developed by the researcher.

Research Questions and Hypotheses

The main research question of this study is shown as follows:

What were advantages of the use of the epistemic platform for science learning with a computer game for level 4 (Matayousuksa 4-6) students in learning fundamental nanoscience and nanotechnology concepts?

The main research question was diversified into the two sub-questions presented below:

- What are effects of the epistemic platform on students' science learning achievement, strategic problem solving ability, and attitude towards science?
- Is there any advantage in the use of the epistemic platform in the view of students and teacher?

The hypotheses of this study were obtained as the followings:

1. The students' science learning achievement in the study positively change after performing the science learning activities of the epistemic platform for science learning with a computer game on nanoscience and nanotechnology, in the case of nanomaterial, in term of change in post-pretest scores at the 0.05 level of significance.
2. Students who perform the activities of the epistemic platform have strategic problem solving ability improvement in term of change in post-pre test scores at the 0.05 at level.
3. Students' attitude toward science after the intervention of the curriculum unit of the epistemic platform is significantly higher than that of the before at 0.05 level.
4. The students' opinion score toward the curriculum unit of the epistemic platform after using the curriculum unit was significantly higher than the criteria of 3.51 at the 0.05 level.
5. Teacher who implements the epistemic platform has highly positive opinions towards the curriculum unit of the epistemic platform.

The Conceptual Framework of the Study in Developing the Epistemic Platform for Nanoscience and Nanotechnology with a Computer Game.

The developing ideas for the study were based on the guidelines from the National Science Curriculum Standards resulted from the Thai National Education Act of A.D. 1999, the Amendment of the Thai National Education of A.D. 2002 and the Basic Education Curriculum of A.D. 2001. In addition, the educationally potential elements and devices of digital game technologies and gameplay activities were combined with the lessons from research on cognition and gaming in education to develop the epistemic platform for science learning with a computer game using the content of fundamental nanoscience and nanotechnology, by using nanomaterial in particular. To facilitate this kind of learning, an active learning approach called Learn to Play and Play to Learn approach (LPPL) was developed by the researcher. The LPPL is grounded in four currently influential learning theories: constructivism, situated learning, activity, and scaffolding theories. As a result, the epistemic platform for science learning with a computer game in learning fundamental nanoscience and nanotechnology, using nanomaterial in particular, consists of two main parts which are: 1) a computer game program and associated materials, and 2) Learn to Play and Play to Learn learning approach to be used in science teaching and learning activities of the epistemic platform. The developing ideas resulted in the conceptual framework of the study shown as follows:

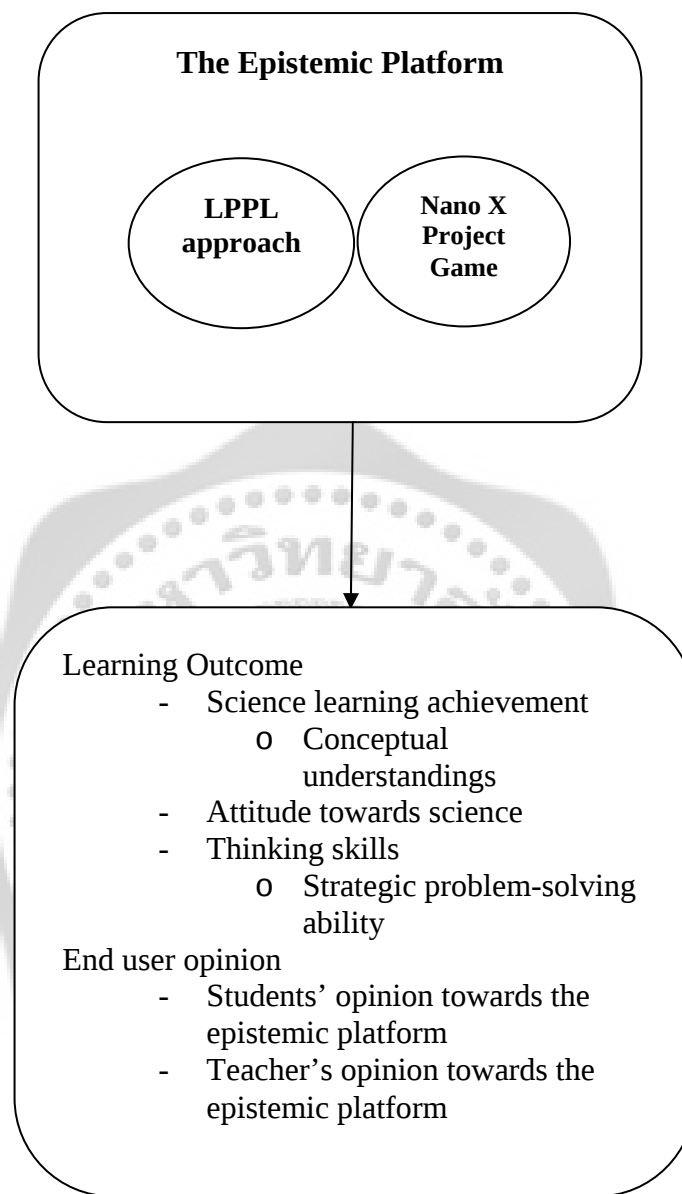


FIGURE 1 the Conceptual Framework of the Study

CHAPTER 2

REVIEW OF THE LITERATURE

This chapter is dedicated to review the literature that is relevant to the purposes of research and the circumstances in which they are explored. It aims to identify the various exemplary perspectives of science education and digital game technologies that can be used to explain: 1) practices in science teaching and learning, 2) the potential roles of educational technology in science education, 3) digital game technologies and their implication for science teaching and learning, 4) active learning approach to science learning and assessment in digital game-based learning, and 5) nanoscience and nanotechnology education in secondary science.

This literature review frames the context for this study and shows how this study grounded in related theories. In addition, this also shows how the research questions posed were built upon the past research.

SECTION 1: Practices in Science Teaching and Learning

Central to science education is the notion of its purposes. There are four arguments its purposes for science education (Layton. 1973; Millar. 1996; Milner. 1986; Thomas; & Durant. 1987). These are called the utilitarian argument, the economic argument, the democratic argument and the cultural argument. One out of the four is the economic argument which is accepted that science education is an important contributor to establishing economic development (Drori. 2000: 28). From this perspective, school science provides a pre-professional training and acts essentially as a sieve for selecting the chosen few who will enter academic science, or follow courses of vocational training. Coles's analysis (1998) of scientists and their work, their job specifications and other research summarizes the important components of scientific knowledge and skills needed for employment as: general skills knowledge of explanatory concepts, specific skills, application of explanatory concepts, concepts of evidence, manipulation of equipment, habits of mind, e.g. analytical thinking, and, knowledge of the context of scientific work. Coles' findings suggest that the skills developed by opportunities to conduct investigative

practical work, such as that mentioned in national science curriculum– the ability to interpret, present and evaluate evidence, the ability to manipulate equipment, and an awareness of the scientific approach to problems – are outcomes which are to be valued as much as any factual knowledge of science. These skills can be developed through the iterative cyclic process namely called “scientific inquiry”.

In science classroom practices, science learning involves problem-solving activities, or called scientific inquiry process, which require students to: 1) engage in asking question, 2) make prediction, 3) build hypotheses, 4) make observation and measurement, 5) manipulate variables to inform those hypotheses, 6) evaluate and interpret the results they have gained from those measurements and observation, and 7) feed those observation back into their original hypotheses to refine and modify their ideas. As such, this scientific inquiry is considered as sitting in the heart of science teaching and learning.

Currently, science curriculum at all level is still driven by the agenda of the professional scientific community with a well-established pedagogy which is primarily based upon transmission of predefined, value-free content knowledge. (Osborne J.; & Hennessy S. 2003: Online). Thus, active roles in this kind of learning setting are placed on teachers who function as a giving machine while students play a role as a receiving one. However, the demands for change embodied in new curricula such as 21st Century Science require teachers to adapt and adopt a different set of pedagogic practices. Its goal of fostering ‘scientific literacy’ involves developing a knowledge not only of the broad explanatory themes of science but also of some of the discourse and practices of scientists, including the processes of theory construction, decision making and communication, and the social factors that influence scientists’ work, albeit highly simplified. This implies that students have to play active roles in knowledge acquisition. Unfortunately, there are still some problems in affording to do so. School shortage of resources, such as laboratory instruments, is one of the main problems across the globe including Thailand (TIMSS. 1999). Moreover, many teachers are struggling with implementing bunches of science content in limited science class time. These result in some shortages in science education. One of the key forces for pedagogic change in science education is the new mode of inquiry afforded by computer-

based tools and resources, now known collectively as Information and Communication Technologies (ICT).

SECTION 2: The Potential Roles of Educational Technology in Science Education

The advent of this educational technology, and its more widespread access in schools, potentially has an important part to play in re-shaping the curriculum and pedagogy of science. These technologies offer potential enhancement to each stage of the essentially iterative scientific inquiry learning model. ICT-based interventions can either be used to enhance the practical investigation or as a virtual alternative to real practical work where a simulation supports exploration of the investigative model through a computerized representation of the phenomena under study.

To integrate ICT into science classroom and utilize its benefit, we have to carefully define what it is and how it functions in particular. UNESCO (2003: Online) has given the definition of ICT, which stands for Information and Communications Technology - or Technologies, that ICT is the term used to describe the tools and processes to access, retrieve, store, organize, manipulate, produce, present and exchange information by electronic and automated means. In the broader view of ICT, the term is defined as an umbrella term that includes any communication device or application, encompassing: radio, television, cellular phones, computer and network hardware and software, satellite systems and so on, as well as the various services and applications associated with them, such as videoconferencing and distance learning. From this view, it seems that our daily lives have been involving any kind of ICT, even in classroom as learning facilitators.

ICT is often spoken of in a particular context, such as ICT in education, health care, or libraries. In this context, ICT is referred to as various forms of technology and their associated applications in education, namely educational technology, in science education in particular. In the practices of science classroom, ICT offer many crucial roles in facilitating science learning and teaching. As a communication tool, for example, ICT offers easy access to a vast array of the Internet resources and other new tools and resources that facilitate and extend opportunities for empirical inquiry both inside and outside the classroom. Access to secondary resources and data, however, places greater emphasis on

the need to provide a science education which gives pre-eminence, as its ultimate goal, to developing the higher order cognitive skills of evaluation and interpretation of evidence requiring critical assessment of the validity of theories and explanations. Such an education would seek to support and develop students' scientific reasoning, critical reflection and analytic skills.

Osborne J. and Henessy S. (2003: Online) reviewed the impact of ICT use on science curriculum, pedagogy and learning. They focused on the role of ICT in transforming science teaching and learning, particularly that envisioned by the current trend in science education that seeks to develop scientific literacy. As scientific inquiry is being regarded as central to science teaching and learning, various forms of ICT used to facilitate learning are placed to each particular stage. In their review, Osborne and Henessy summarize the various forms of ICT use in scientific inquiry that are shown as follows:

1. Tools for data capture, processing and interpretation (e.g. data logging systems, data analysis software, databases and spreadsheets (e.g. 'Excel'), calculators, graphing tools, modelling environments)
2. Multimedia software (for simulation of processes and carrying out virtual experiments, - CD-Roms, DVDs (e.g. 'Science Investigations 1', 'Chemistry Set', 'Multimedia Library for Science',))
3. Information systems (CD-Roms (e.g. Encarta), internet, intranet Publishing and presentation tools (e.g. Word, PowerPoint) Digital recording equipment – still and video cameras)
4. Computer projection technology (interactive whiteboards, data projector + screen, external monitor or TV)

Drawing on some prominent examples of recent research, they examine the forms of ICT which can potentially enhance both the practical and theoretical aspects of science teaching and learning, and explore the uses of ICT in the school science. They conclude that the potential contribution of technology use to science teaching and learning is:

- expediting and enhancing work production; offering release from laborious manual processes and more time for thinking, discussion and interpretation,
- increasing currency and scope of relevant phenomena by linking school

science to contemporary science and providing access to experiences not otherwise feasible,

- supporting exploration and experimentation by providing immediate, visual feedback,
- focusing attention on over-arching issues, increasing salience of underlying abstract concepts,
- fostering self-regulated and collaborative learning,
- improving motivation and engagement.

Accordingly, McFarlane (2000: 221) proposes a model of cyclic process of science that can be used to structure experience of science at school level with some examples of current use of ICT. The model is based on the premise that the approach to science is essentially investigative, with students learning about both scientific theory and process simultaneously. The model is shown as follows:

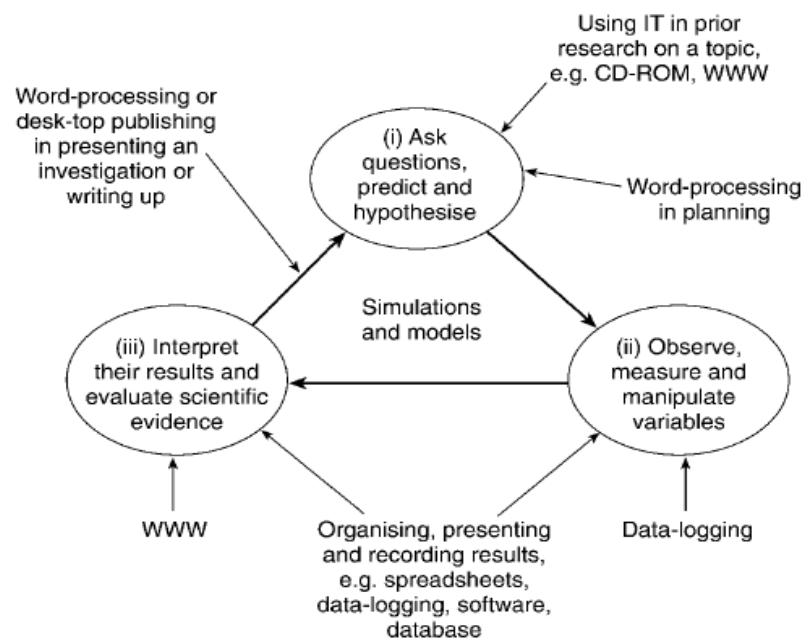


FIGURE 2 A model of cyclic process of science with use of ICT

Source: McFarlane A. E. (2000). *The Impact of IT*. p. 221.

Given various forms of ICT use, ICT offers the opportunity to greatly enhance the quality of presentation, incorporating the use of movement, light, sound and color rather than static text and images, which is attractive and more authentic. Above all, using ICT

can increase students' persistence and participation through enhancing the appeal of laboratory activity, not only in terms of novelty and variety, but by providing immediate, accurate results and reducing the laboriousness of work. Students are also observed to be more motivated to participate in science activity and discussion when using tools such as interactive whiteboards, modelling and simulations which permit active engagement and offer students a degree of control over their own learning.

One out of the latest form of ICT use in science classrooms is simulation. Using ICT simulations in the school laboratory are well documented (see Scaife & Wellington. 1993; Baggott. 1998). As a result of early work which demonstrated that students were able to engage in investigations that were not only impossible to replicate in a school laboratory, but also above the mathematical abilities of the learners, (Papert. 1980; Kurland; & Pea. 1983; Cox. 1984; CERL. 1987), a substantial number of simulation and modelling programmes have been developed and evaluated. To distinguish the two, there is a basic difference between these. Bliss; et al. (1992:Abstract) distinguished simulations as the exploration of existing models, and modelling as the expression of learners' ideas but constructing their own models. Mellar; et al. (1994:Abstract) demonstrated that students were able to investigate much more complex models if they were provided in simulations than if they had to build their own. Margaret Cox (2000: Abstract) has reviewed research carried out over the past two decades on the educational use of ICT-based simulations and modelling, and concluded that the main contribution made to student understanding of science was through the acquisition of investigative skills and improved understanding of some scientific concepts and processes. Using ICT in science, students develop novel strategies for problem solving by building models and creating new rules, (Boohan. 1994: Abstract). They are able to complete tasks of greater cognitive complexity, than they would be able to without the scaffolding effect of the software (Wideman; & Owston. 1988). Students are able to test their own hypotheses by making informed predictions (Linn; & Songer. 1993). They develop higher-order thinking skills (Cathcart. 1990), and are able to engage in complex causal reasoning (Mellar. 1994). They have been shown to use more exploratory language to arrive at choices through discussion (Wild & Braid. 1996).

The simulation and modelling activities allow for both expressive and exploratory learning activities (Mellar; & Bliss. 1994). Exploratory learning activities involve the learner in exploring ideas about a topic presented by someone else (a teacher or expert), where these ideas may often be quite different from the learner's. Expressive learning activities involve learners in expressing their own ideas. Drawing from those research findings mentioned above, using simulation in science teaching and learning shows positive impact on student learning in science.

However, much educational simulation tends to be organized in the way that mirror traditional forms of instruction which sometimes is not relevant to real world experiences important for students in their future living. What science teachers or educators have to achieve is to design effective instruction that provides students with the kind of social and material experiences necessary to make sense of that content, and to make it meaningful and useful for them in science learning activities.

SECTION 3: Digital Game Technologies and Their Implications for Science Teaching and Learning

A new mode of ICT use in learning, commonly called digital game-based learning, is emerging as alternative vision for digital age of learning. It is believed that computer/video game pedagogies bear considerable potential for science education in particular and the larger field of education more generally. It is also believed that digital game technology can provide students with the real world experiences in authentic situations where they are motivated and engaged to learn in meaningful learning environment. In digital game based learning, learners, or namely players, are required to play an active role to complete various kinds of puzzle and task to accomplish the goal of that game and their own goal of gameplay. Given puzzles and tasks in gameplay, particularly in project creation or management games, players are required to use higher order thinking skills (Bell; Davis; & Linn. 1996; Schlechy. 1990) and develop various strategies to reach the goal. In this section, current digital game technologies and their impact on culture are addressed and previous research on the use of digital game technologies in education, especially in science education, is discussed as well as how this study is formed on previous research.

3.1 A Digital Game and Its Associated Technologies

When looking at digital game in social and cultural aspects, it is clear that digital games have been growing as a part of our culture; the global market is worth billions of dollars, related activities range from published magazines to spontaneous internet communities, and the impact of games play on young people has attracted significant interest from the popular media. Three quarters of children play regularly – is this harmful or beneficial, are they learning as they play, and if so what? These questions are worth studying. In this research study, the researcher tries to investigate the potential aspects of digital game-like learning environment designed by combining strategies used by commercial games and current lessons from research on gaming and learning.

What do we mean by the word “game”? For some, games are activities to be undertaken for pleasure and are explicitly designed to not to be real. According to Salen and Zimmerman (2004: 80), “a game is a system in which players engage in artificial conflict, defined by rules, that results in a quantifiable outcome.” By this definition, there are four main features that constitute a game: system, rules, artificial conflict, and quantifiable outcome. Gee (2004: 2) suggests that a game is a complex system which is an emergent property of the rules that the designer has built into the game and the interactions of the players with this rule system. In this study, the researchers try to define the word “game” by looking at the current form of popular games, namely digital games, played by several thousands people across the world. There is a wide variety of definitions of digital games across the range of academic, the Internet, and media writing. The terminology also varies between authors and over time, and is often interchangeable. For example, the phrases *video game* and *computer game* are often used interchangeably. Typically, there is a screen (television, monitor, LCD display) through which the game is viewed. Input devices vary depending on the game and hardware, but usually involve a controller, joystick, keyboard or keypad.

According to John Kirriemuir (2002) Such a game is:

- playable using a television set. The game software is accessed via a games console, to which input devices such as joysticks or controllers are attached; or

- playable using a television set, with the game being accessible or downloadable through a satellite or digital subscription-based system; or
- playable on a PC or Macintosh; or
- housed inside a cabinet with a built-in screen and input device such as a joystick. These are typically found in arcades; or
- found on small, portable games machines, of which the most well-known is the Game Boy; or
- increasingly found in consumer electronic devices, such as mobile phones and handheld PCs.

Essentially, most video games can be viewed as simulations of some forms. Realism-based simulations include contemporary car racing games, business simulations, sports, combat and civilization development games. More abstract simulations involve adventure, fantasy, and space battle games, although realistic graphics and physics-based effects are used in many of these games. Other simulations include puzzle games such as Tetris, and conversions of traditional games such as Scrabble, Monopoly and crosswords.

Drawing from the perspectives mentioned above, for the purposes of this study, the researchers define a digital game as one that:

- provides some visual digital information or substance to one or more players
- takes some input from the players
- processes the input according to a set of programmed game rules
- alters the digital information provided to the players.

Accordingly, the researchers here also define digital games as programs that operate on the following platforms:

- hardware, known as video game consoles (e.g., the Sony Playstation series, Microsoft Xbox and Nintendo GameCube), which are operated through a television,
- personal computers,
- mobile devices, e.g., phones and dedicated gaming machines such as the Nintendo GameBoy Advance.

The definition of the current popular form of game, namely digital game, given here is to be used as the term for this study in particular. The term is primarily intended to mean to computer games.

3.2 Simulation and Digital Games in Educational and Training Purpose

Digital games are not restricted to the entertainment sector. The business sector has long used games and simulations to train staff in developing fiscal, economic and trading skills. The military sector uses simulation-based games (due partially to advances in graphical and A.I. realism) in combat training, while the health/medical sectors are increasingly using similar realism techniques and technologies to those used in games. Aircraft pilots, and "drivers" of other vehicles, often use simulations in the early stages of training and equipment familiarization.

Digital games and its association are the latest technology that has received attention from educators (Gilbert. 2004: 9). Accordingly, many learning scientists are also now increasingly turning to computer and video games as tools for learning (Squire K. 2003: Online).

In order to answer the question "Why Games ?", Shaffer and his colleagues argue that for a particular view of games—and of learning—as activities that are most powerful when they are personally meaningful, experiential, social, and epistemological all at the same time (Shaffer; et al. 2004: abstract; Gee. 2003; 2005). They further point out that video games are good for learning because they present players with simulated worlds: worlds which, if well constructed, are not just about facts or isolated skills, but embody particular social practices (Shaffer; et al, 2004: abstract). In the view of social activities, video games thus make it possible for players to participate in valued communities of practice and as a result develop the ways of thinking that organize those practices. In addition, Gee (2005) argues that games are good for learning because, they have the following features: 1) they can create an embodied empathy for a complex system, 2) they are action-and-goal-directed preparations for, and simulations of embodied experience, 3) they involve distributed intelligence via the creation of smart tools, 4) they create opportunities for cross-

functional affiliation, 5) they allow meaning to be situated, 6) they can be open-ended, allowing for goals and projects that meld the personal and the social.

Gee's (2003) discussion in his book "What Video Games Have to Teach Us About Learning and Literacy", using such exemplary popular games as *Deus EX*, *Tomb Raider*, *Half-life*, etc., suggests the following 36 learning principles in good video games:

1. .Active, Critical Learning Principle

All aspects of the learning environment (including the ways in which the semiotic domain is designed and presented) are set up to encourage active and critical, not passive, learning.

2. Design Principle

Learning about and coming to appreciate design and design principles is core to the learning experience.

3. Semiotic principle

Learning about and coming to appreciate interrelations within and across multiple sign systems (images, words, actions, symbols, artifacts, etc.) as a complex system is core to the learning experience.

4. Semiotic Domains Principle

Learning involves mastering, at some level, semiotic domain, and being able to participate, at some level, in the affinity group or groups connected to them.

5. Meta-level Thinking about Semiotic Domain Principle

Learning involves active and critical thinking about the relationships of the semiotic domain being learned to other semiotic domains.

6. "Psychosocial Moratorium" Principle

Learners can take risks in a space where real-world consequences are lowered.

7. Committed Learning Principle

Learners Participate in an extended engagement (lots of effort and practice) as extensions of their real-world identities in relation to a virtual identity to which they feel some commitment and a virtual world that they find compelling.

8. Identity Principle

Learning involves taking on and playing with identities in such a way that the learner has real choices (developing the virtual identity) and ample opportunity to mediate on the relationship between new identities and old ones. There is a tripartite play of identities as learners relate, and reflect on, their multiple real-world identities, a virtual identity, and a projective identity.

9. Self-Knowledge Principle

The virtual world is constructed in such a way that learners learn not only about the domain, but about themselves and their current and potential capacities.

10. Amplification of Input Principle

For a little input, learners get a lot of output.

11. Achievement Principle

For learners of all levels of skill there are intrinsic rewards from the beginning, customized to each learner's level, effort, and growing mastery and signaling the learner's ongoing achievements.

12. Practice Principle

Learners get lots and lots of practice in a context where the practice is not boring (i.e., in a virtual world that is compelling to learners on their own terms and where the learner experience ongoing success). They spend lots of time on task.

13. Ongoing Learning Principle

The distinction between learner and master is vague, since learners, thanks to the operation of the "regime of the competence" principle listed next, must, at higher and higher levels, undo their routinized mastery to adapt to new or changed conditions. There are cycles of new learning, automatization, undoing automatization, and new reorganized automatization.

14. "Regime of Competence" Principle

The learners get ample opportunity to operate within, but at the outer edge of, his or her resources, so that at those points things are felt as challenging but not "undoable."

15. Probing Principle

Learning is a cycle of probing the world (doing something); reflecting in and on this action and, on this basis, forming a hypothesis; reprobing the world to test this hypothesis; and then accepting or rethinking the hypothesis.

16. Multiple Routes Principle

There are multiple ways to make progress or move ahead. This allows learners to make choice, rely on their own strengths and styles of learning and problem solving, while also exploring alternative styles.

17. Situated Meaning Principle

The meanings of signs (words, actions, objects, artifacts, symbols, texts, etc., are situated in embodied experience. Meanings are not general or decontextualized. Whatever generality meanings come to have is discovered bottom up via embodied experiences.

18. Text Principle

Texts are not understood purely verbally (i.e., only in terms of the definitions of the worlds in the text and their text-internal relationships to each other) but are understood in terms of embodied experiences. Learners move back and forth between texts and embodied experiences. More purely verbal understanding (reading texts apart from embodied action) comes only when learners have had enough embodied experience in the domain and ample experiences with similar texts.

19. Intertextual Principle

The Learner understands texts as family (genre) of related texts and understands any one such text in relation to others in family, but not only after having achieved embodied understandings of some texts. Understandings a group of texts as family (genre) of the texts is a large part of what helps the learners make sense of such texts.

20. Multimodal Principle

Meaning and knowledge are built up through various modalities (images, texts, symbols, interaction, abstract design, sound, etc.) not just words.

21. "Material intelligence" Principle

Thinking, problem solving, and knowledge are "stored" in material objects and the environment. This frees learners to engage their minds with other things while combining the results of their own thinking with knowledge stored in the material objects and the environment to achieve yet more powerful effects.

22. Intuitive Knowledge Principle

Intuitive or tacit knowledge built up in repeated practice and experience, often in association with an affinity group, counts a great deal and is honored. Not just verbal and conscious knowledge is rewarded.

23. Subset Principle

Learning even at its start takes place in a (simplified) subset of the real domain.

24. Incremental Principle

Learning situations are ordered in the early stages so that earlier cases lead to generalizations that are fruitful for the later cases. When learners face more complex cases later, the learning space (the number and type of guesses the learner can make) is constrained by the sorts of fruitful patterns or generalizations the learner has found earlier.

25. Concentrated Sample Principle

The learner sees, especially early on, many more instances of fundamental signs and actions than would be the case in a less controlled sample. Fundamental signs and actions are concentrated in the early stages so that learners get to practice them and learn them well.

26. Bottom-up Basic Skill Principle

Basic skills are not learned in isolation or out of context; rather, what counts as a basic skill is discovered bottom up by engaging in more and more of the game/domain or game/domains like it. Basic skills are genre elements of a given type of game/domain.

27. Explicit information On-Demand and Just-in-Time Principle

The learner is given explicit information both on-demand and just in time, when the learners needs it or just at the point where the information can best be understood and used in practice.

28. Discovery Principle

Overt telling is kept to a well-thought-out minimum, allowing ample opportunity for the learner to experiment and make discoveries.

29. Transfer Principle

Learners are given ample opportunity to practice, and support for, transferring what they have learned earlier to later problems, including problems that require adapting and transforming that earlier learning.

30. Cultural Models about the World Principle

Learning is set up in such a way that learners come to think consciously and reflectively about some of their cultural models regarding the world, without denigration of their identities, abilities, or social affiliations, and juxtapose them to new models that may conflict with or otherwise relate to them in various ways.

31. Cultural Models about Learning Principle

Learning is set up in such a way that learners come to think consciously and reflectively about their cultural models of learning and themselves as learners, without denigration of their identities, abilities, or social affiliations, and juxtapose them to new models of learning and themselves as learners.

32. Cultural Models about Semiotic Domain Principle

Learning is set up in such a way that learners come to think consciously and reflectively about their cultural models about a particular semiotic domain they are learning without denigration of their identities, abilities, or social affiliations, and juxtapose them to new models about this domain.

33. Distributed Principle

Meaning/knowledge is distributed across the learner, objects, tools, symbols, technologies, and the environment.

34. Dispersed Principle

Meaning/Knowledge is dispersed in the sense that the learner shares it with others outside the domain/game, some of whom the learner may rarely or never see face-to-face.

35. Affinity Group Principle

Learners constitute “affinity group,” that is, a group that is bonded primarily through shared endeavors, goals, and practices and not shared race, gender, nation, ethnicity, or culture.

36. Insider Principle

The learner is and “insider,” “teacher,” and “producer” (not just a “consumer”) able to customize the learning experience and domain/game from the beginning and throughout the experience.

The 36 learning principles in good video games mentioned above are reflected from social context and gameplay of the current forms of digital game technologies which are highly advanced in graphic and interactive design. As games differ depending on the game genre, these learning principles may vary and be employed for particular kind of learning setting. Gameplay offers player opportunities to deal with various kinds of problem and situation. Depending on the genre and individual game, players may be required to analyze, synthesize, and use critical thinking skills in order to play and execute moves. According to the McFarlane et al. (2002) TEEM report, teachers and parents recognized that games play can support valuable skill development such as: 1) strategic thinking, 2) planning, 3) communication, 4) application of numbers, 5) negotiating skills, 6) group decision-making, and, 7) data-handling. Significantly, the experience of game play seems to be affecting learners' expectations of learning activities. Preferred tasks are fast, active and exploratory, with information supplied in multiple forms in parallel. Traditional school-based learning may not meet these demands. Thus, it is worth investigating game components that can be incorporated into existing science curriculum.

In learning perspective, when looking at particular elements of game for learning, we found that the most interesting games are those in which what unifies the different aspects is some overriding narrative through which the various components, rules, and interactions take on meaning. Salen and Zimmerman (2004: 35) suggest that meaningful play occurs when the relationships between actions and outcomes in a game are both discernable and integrated into the larger context of the game. Gee (2003) suggested that the real power of digital games is bound up in their potential to establish the third identity

through which one can develop embodies empathy for the complex system. A well-designed game immerse players in a rich network of interactions and unfolding storylines through which she solves problems and reflects on the workings of design of the game world, as well as the design of both real and imagined social relationships and identities in the game and non-game world. As thus, in the view of learning experience, science teachers may see that helping students develop a personal empathy for the entirety of complex system is one of the educational potentials of games that hold much promise for science education.

3.3 Current Research on Gaming in Education

Over the past few years, several research projects, organizations centers, grants, books, and studies have emerged exploring new visions for game-based technologies in learning (Game-To-Teach Team. 2003). Educational research on academic learning through computer games has uncovered a few successful implementations which employ commercial games in classroom (e.g., Squire. 2004: on *Civilizations*) and some interesting examples of games explicitly designed to support learning (e.g., Jenkins; Squire; & Tan. 2004, on *Supercharged*), and has discussed contexts that situate game play as part of a larger educational agenda, such as the Fifth Dimension project (e.g., Nicopoloulou; & Cole. 1993). However, many games and their forms of use have relatively little impact on school curriculum, especially when contrasted with the prevalence of commercial videogames outside the school setting (Gee. 2003; Squire. 2005). The reason why is that most commercial videogames are produced for entertainment purpose only and many of them lack of integrating learning principles and theories into its design. In this study, the researcher tries to review and discuss the use of game in education in general and in science education in particular. Some research findings show positive results of using game in learning. Cordova and Lepper (1996: Abstract) found that students learning with instructional games in mathematics classrooms outperformed students in more traditional settings and that context, challenge, control, and curiosity increased motivation. McFarlane, Sparrowhawk, and Heald (2002: Abstract), as part of a teacher evaluation research experiment found that computer games provided a forum in which learning arises as a result

of tasks stimulated by the content of the games, knowledge is developed through the content of the game, and skills are developed as a result of playing the game. Moreover, survey studies suggest that game experiences are changing a generation's attitude toward work and learning (Beck, J.; & Wade. 2004: Abstract). To get more sense of the notion that game is a powerful tool for learning, this part is dedicated to review the current direction of research on gaming in education which consists of three main areas: 1) research on the use of commercial games in education, 2) research on the design and development of educational games, and 3) research on the use of compelling elements of game for designing effective learning.

Research into the use of commercial computer games in education is relatively novel, but growing rapidly. In the recent years, there have been a number of studies of the use of commercial computer games in schools, intended to explore whether these games can have any role in supporting current educational objectives. Squire K. (2003), for example, investigated the use of a commercial historical computer strategy game *Civilization III* in formal learning environments of social study course. He implemented three naturalistic case studies in which *Civilization III* was used as the basis for a unit on world history in urban learning environments. He examined how the game engaged players, the social interactions that occur, how understandings emerge, and what role game play serves in mediating students' understandings. The results of the study show that in all three cases, engagement was a complex process of appropriation and resistance, whereby the purposes of game play was negotiated among students' identities, classroom goals, and the affordances of *Civilization III*. *Civilization III* engaged each student in unique ways, and this engagement affected the kinds of questions students asked of their games, the kinds of conceptual understandings that arose through gameplay, and the interpretations they made about history. History and geography became tools for game play and successful students developed conceptual understandings across world history, geography, and politics. These cases suggest the potential for using simulation games in world history education, but also the significant, unsolved challenges in integrating such a complex game within classroom settings. In the views of science education, this study suggests implication for the use of digital games in science classroom. However digital games for science learning are very

few in number with respect to the prevalence of commercial games. In addition, many of those are lacks of integrating learning principles into their design. As thus, there are a few of initiative groups developing games for education. Specifically, the next discussion focuses on developing games for science education.

Dede and Kettlehut, for example, (2003) have been developing and researching River City, which uses a Multiuser Virtual Environment Experiential Simulator (MUVEES) to introduce an engaging multi-user virtual environment that teaches science concepts in a way that draws on curiosity and play (<http://www.virtual.gmu.edu/muvees>). Similarly, Quest Atlantis (QA) is a learning and teaching project that uses a 3D multi-user environment to immerse children, ages 9-12, in educational tasks (<http://questatlantis.org>). This project is built on strategies from online role-playing games, QA combines strategies used in the commercial gaming environment with lessons from educational research on learning and motivation (Barab; et al. 2003). The series of research investigating the effects of these kinds of learning environment are still being undertaken. Some released show positive results of engagement and meaningful learning. By taking a closer look at this project study, it is found that this project integrates principles underlying the development of entertaining games (play, challenge, curiosity, and control) into the design of a learning environment, a practice frequently absent from textbooks and school-based activities. The project also entails a rich meta-game context through which children perceive their participation as meaningful and engaging.

Another example of research on gaming in science education is the work by Kurt Squire and his colleagues (Squire; Barnett; Grant; & Higginbotham. 2004; see also Jenkins; Squire; & Tan. in press; Squire. 2003) who have worked on a computer game called "*Supercharged!*" to help students learn physics. *Supercharged!* is an electromagnetism simulation game developed in consultation with MIT physicist John Belcher by the Games-to-Teach project at MIT (run by Henry Jenkins, see www.educationarcade.org). In this gameplay context, players use the game to explore electromagnetic mazes, placing charged particles and controlling a ship which navigates by altering its charge. The game play consists of two phases: planning and playing. Each time players encounter a new level, they are given a limited set of charges that they can place throughout the

environment, enabling them to shape the trajectory of their ship. The goal of the game is to help learners build stronger *intuitions* for electromagnetic concepts based on perceptual and embodied experiences in a virtual world where these concepts are instantiated in a fairly concrete way. Squire, Barnett, Grant, and Higginbotham (2004) report some results that are part of a larger design experiment examining the pedagogical potential of *Supercharged* in three urban middle school science classrooms with a good deal of cultural diversity. The results show that the experimental group outperformed the control group on conceptual exam questions. Post-interviews revealed that both experimental and control students had improved their understanding of basic electrostatics. However, there were some qualitative differences between the two groups. The most striking differences were in students' descriptions of electric fields and the influence of distance on the forces that charges experience. In the report, they concluded that these initial findings suggest that the primary affordances of games as instructional tools may be their power for eliciting students' alternative misconceptions and then providing a context for thinking through problems. An adept game players appropriate game representations as tools for thinking, which were later taken up in solving other physics problems (p. 510).

These exemplary findings show positive result of developing educational games. However, in the context of gameplay, it is vital that social interaction happening around gameplay need to be taken into consideration for creating an effective learning environment. From the findings of research into the use of *Supercharged* game in classroom implementation, it is very important for the use of game in education to have a well-integrated combination of embodied immersion in rich experience (the game wherein the learner virtually enters an electromagnetic field) and scaffolding and guidance, both through the design of the game itself as a learning resource and through teachers making the game part of a larger coherent learning activity system. Therefore, learning process in gameplay context is not for games in and of themselves, but as part and parcel of a well-designed learning activity system. As such, how to establish a platform for academic play space that engages science learning is focus of our work. In the study, the focus was being tried to balance the space between play and academics, creating epistemic platform for science learning experience with game technologies. To achieve this goal, investigation into the

design and strategies used in the development of the current forms of digital games and their associated technologies is needed in order to set up the framework for the design of the epistemic platform of the study. Thus, the next few paragraphs are dedicated to review literature and research regarding compelling elements of game design that can be incorporated into the design of science learning environment.

To go in depth into game and understand more about what constitutes gameplay context, game anatomy and categorization are discussed. For game anatomy, Avedon and Sutton-Smith (1981), in their article "The Structural Elements of Games", suggest the following elements of game: 1) purpose of the game, 2) procedure for action, 3) rules governing action, 4) number of required participants, 5) roles of participants, 6) results or pay-off, 7) abilities and skills required for action, 8) interaction patterns, 9) physical setting and environmental requirements, and, 10) required equipment. Accordingly, Owen's discussion of an anatomy of games (2004) suggests that game generally consists of: 1) game aims which compose of fantasies and narrative, objectives, and pieces, 2) location, 3) obstacles, hazards and attrition, 4) language, 5) making progress and surprise and 6) putting it all together. In this study, the researchers try to analyze the specific game components that can be used for designing a new academic play space for secondary science students.

Although the primary purpose of games is entertainment, the underlying design employs a variety of strategies and techniques intended to engage players in "gameplay." Strategies of design that lead to engagement may differ depending on the game genre, but may include role playing, narrative arcs, challenges, and interactive choices within the game, as well as interaction with other players. In this study, the researcher considers not only the power of engagement of games, but also other educationally potential elements that can be used to construct an epistemic platform for science learning. Prensky's (2001) arguments about the value of integrating games in learning, coupled with those of Rieber (1996), indicated that embedded in the design of popular games are methods and strategies worth investigating. Much of research focuses on how educational games may enhance existing curriculum and materials (see Frye; & Frager. 1996; Miller; Dhaika; & Groppe. 1996; Miller- Lachmann; Jones, Stone-Farina; DeLaoch; & Kloten. 1995; Pahl. 1991;

Teague; & Teague. 1995). Despite the lack of significant research into design aspects of games, studies by such diverse researchers as Bruckman (1993; 1997), Turkle (1995), Rieber (1996), Prensky (2001), Malone (1981a, 1981b), Bowman (1982) and Provenzo (1991) indicated that many of the strategies, tactics, and methods employed in popular gaming environments may also provide compelling strategies for the design of educational media and interactive learning environments.

Both Bowman's (1982) and Provenzo's (1991) research investigated the design of popular games and how game design might inform instructional design. Bowman's study described the motivational support found in the then popular video game, Pac-Man and the implications of extending those motivational supports into classroom learning. According to Bowman, extrinsic supports in the form of visual and aural feedback and accomplishments (i.e., the devouring of dots and attaining medals of achievement) do not adequately explain the appeal of the game. Bowman applied Csikszentmihalyi and Lawson's (1980) "flow state interaction" to explain the gameplay experience. The condition of flow or flow activities involves "deep concentration, high and balanced challenges and skills, and a sense of control and satisfaction" (Csikszentmihalyi. 1990: 83). Bowman argued that the popularity of Pac-Man could be attributed to inducing a flow state during gameplay because the game offers clear goals and immediate unambiguous feedback. Bowman asserted that this underlying design of motivational support in Pac-Man could be adapted for classroom instruction by supplying learners with a clear task, identification of roles and responsibilities, learners' choice, and a balance of learner skills with progressive challenges. Provenzo's (1991) research into various design aspects of video and computer games revealed that some of the appeal of games may be attributed to the fact that most are goal oriented with relatively few negative consequences for risks taken. As with Bowman, Provenzo also proposed that the underlying design of popular games might be adapted for educational use, and like Bowman, Provenzo also looked to motivation in the design of games to explain the appeal. Provenzo relied on Malone's (1981a, 1981b) study of intrinsic motivation to explain the appeal of Super Mario Bros.²TM. Malone's research identified the elements of challenge, fantasy, and curiosity present in successful games that could be incorporated into educational environments. Provenzo (1991) further elaborated on these elements by

deconstructing Super Mario Bros. 2TM and comparing the game to the elements identified by Malone's study of preferences of popular computer games (1981a, 1981b). Bowman's (1982), Provenzo's (1991), and Malone's (1981a; 1981b) studies reveal commonalities of game design that include clear goals and tasks, reinforcing feedback, and increasing challenge. Each study also reveals aspects of design that are contextual among individual games, such as fantasy and curiosity. However, the games Bowman and Malone reviewed are nearly two decades old. Games have grown increasingly sophisticated in design. The simple one-screen mazes of Pac-Man have evolved into three-dimensional online multiplayer gaming environments with a full cast of both human and nonhuman players. Whereas research into intrinsic motivation might explain the appeal of such games as Pac-Man, Super Mario Bros., and even current gaming genres such as action adventure and role-playing games, these studies may not suffice to explain the popularity of games such as *Myst*TM, *Riven*TM, and even *SimCity*TM. The arguments both Bowman (1982) and Provenzo (1991) presented for recasting game design elements into classroom instruction are revealing for the then current level of game design; however, game design has evolved, and now incorporates narrative, role playing, multiplayer, representations of three dimensional spaces, and interactive elements beyond the limits of games represented in the previous studies. Games are becoming increasingly social environments, both in the design of massively multiple online games (MMOGs) and through Web-based gaming communities. Additionally, learning theories and paradigms have evolved. Thus, in developing the epistemic platform for science learning with a computer game in this study, compelling components of the design of current popular games were considered by looking at particular types of such games as simulation, strategy, role-playing games.

In order to better understand what aspects of what kind of games that can be used in designing learning environments to support science learning, teachers and educators should also know game categorization. As games have become more complex, in terms of graphics, complexity, interaction and narration, so a variety of genres have increasingly come to dominate the market. There is, however, no standard categorization of such games; different stakeholders in the games industry, e.g., game outlets, developers, academics, web review sites, use a taxonomy appropriate to their own audience.

Such categorizations are discussed in Orwant (2000), who also illustrates the system employed by Herz (1997) which closely resembles that used by many in the contemporary games industry. The Herz system presents these major categories:

1. Action games - these can be sub-categorized into shooting games, 'platform' games (so called because the players' characters move between onscreen platforms) and other types of games that are reaction-based,
2. Adventure games - in most adventure games, the player solves a number of logic puzzles (with no time constraints) in order to progress through some described virtual world,
3. Fighting games - these involve fighting computer-controlled characters, or those controlled by other players,
4. Puzzle games - such as Tetris,
5. Role-playing games - where the human players assume the characteristics of some person or creature type, e.g., elf or wizard,
6. Simulations - where the player has to succeed within some simplified recreation of a place or situation e.g., mayor of a city, controlling financial outlay and building works,
7. Sports games- such as football, basketball, etc.,
8. Strategy games - such as commanding armies within recreations of historical battles and wars.

For the purpose of improving education by employing the current form of game and its associated technologies, teachers and educators may consider every facet of game design and social activities occurring around gameplay. Structure and strategies of game design would be one of interesting point for teachers and educators to find compelling aspects that can be integrated into teaching and learning. These aspects or elements of games are useful for teachers, educators and instructional designers in using them as a framework for developing engaging learning environment. However different kinds of game have different kinds of elements that constitute gameplay and activities, teachers and educators must look at particular kinds of games and particular key features of those games. In the broad view, it is believed that the current form of game and its associated

technologies hold some educationally potential components that can be integrated into existing science curriculum. In the view of science educator, the researcher looks at particular elements of game in order to integrate them into science teaching and learning. By considering the main goal of science teaching and learning that focus on enhancing students' problem solving and thinking skills, the researcher found that the goal can be reached by teaching and learning strategies that incorporate the compelling elements of the three kinds of games: role-playing, simulation and strategy games. In this study, the researcher analyzed the compelling elements of the three games mentioned previously, and then set the framework to develop a novel epistemic platform for science learning with a computer game, developing a computer game and active learning approach.

Simulation, Role-Playing, and Strategy games as a Model of the Development of the Epistemic Platform for Science Learning of the Study

In this study, the researcher analyzed and then employed compelling components of the three games to design and develop the epistemic platform for science learning with a computer game. These three kinds of game are discussed separately. However, simulation and simulation game are more stressed than the other two games because they were the majority use in developing the epistemic platform.

Simulation and simulation game are slightly different in term of definition but they hold some common aspects. As this study involves computer based game technologies, this part is dedicated to review the only kinds of computer-based simulation.

The term "simulation" is defined in various perspectives from different disciplines. In general, a simulation is defined as an imitation of some real thing, state of affairs, or process. The act of simulating something generally entails representing certain key characteristics or behaviors of a selected physical or abstract system. Thus, a computer simulation is generally defined as program that contains a model of a system (natural or artificial; e.g., equipment) or a process, or as the technique of representing the real world by a computer program. A simulation should imitate the internal processes and not merely the results of the thing being simulated. Hausman (1992: online) noted that a computer simulation is any computer-implemented method for exploring the properties of

mathematical models where analytic methods are unavailable. From the definition of simulation, a simulation game, or sim game, (also known as a game of status or mixed game) is thus a game that contains a mixture of skill, chance, and strategy to simulate an aspect of reality, such as a stock exchange. In computer games, simulation games is a wide super-genre covering titles such as *MS Flight Simulator*, *SimCity*, *Civilization* and *The Sims*. Some simulation games are intended to simulate the real world; others are intended to simulate a fictional world; still others are designed to be able to do both.

In discussing types or genres of simulation, there are many different criteria that are used to categorize simulations. However, to accord to the study, the researcher only mentions the kind of computer-based simulations. Aldrich (2005: 4-5) proposes four traditional genres of computer-based simulations that are perceived across corporations and universities. The simulation genres are shown as follows:

1) Branching stories

In branching stories, students make multiple-choice decisions along an ongoing sequence of events around what to say to another person in a given situation. The decisions impact the evolution of the story, ultimately terminating in either successful or unsuccessful outcomes.

2) Interactive spreadsheets

Interactive Spreadsheets focus on abstract business school issue such as supply chain management, product life cycle, accounting, and general cross functional business acumen.

3) Game-based model

In game-based model, students engage familiar and entertaining games with important pieces of linear or task-based content replacing trivia or icons.

4) Virtual labs/Virtual Products

Virtual labs and virtual products focus on equipment, as straightforward as a camera, as complicated as human body, or as immersive as a smoking car pulling into dealership. With virtual products, students interact with visual, selectively accurate representations of actual product without the physical restrictions of the reality. The interface aligns with the real function of objects represented. Clicking the graphical on switch results

in the lights turning on. Virtual Labs forsake some of the fidelity of virtual products. They focus instead on the situation where product is being used.

According to To Jong and van Joolingen (1998: 180), computer simulations can be broadly divided into types: simulations containing “*conceptual models*.” and those based on “*operational models*”. Conceptual models hold principles, concepts, and facts related to the (class of) system(s) being simulated. Examples on conceptual models can be found in economics and in physics (e.g., electrical circuits). On the other hand, operational models include sequences of cognitive and non-cognitive operations (procedures) that can be applied to the (class of) simulated system(s). Operational models can, for instance, be found in radar control task and flight simulator.

For the purpose of this study the researcher used the aspects and forms of simulation, in developing the computer game that were used in the study. Conceptual model will be used for scientific conceptual understanding, e.g., chemical reaction model, and operational model were used for procedural knowledge of scientific process, e.g., scientists' work operation in labs (virtual Labs and virtual products).

The other two types of game are briefly given their definitions respectively. Role playing games are the game in which players control a character or team of characters that combat, or complete tasks and gain skills over time. They can have embedded puzzles (Quinn, Clark N. 2005: 42). Strategy games are games in which the story line requires prioritizing and allocating resources to gradually grow and conquer. The games are often set in historic lands or in space. They may require negotiation and navigation skills, as well as planning (Quinn, Clark N. 2005: 42).

It is believed that the three games mentioned above hold some educationally potential components that can be used or integrated in developing engaging and meaningful science learning. The discussions in the next few paragraphs focus on game elements that could be used in developing the epistemic platform for science learning in the study.

In analyzing potential elements of game by looking at particular aspects of game both game design devices and gameplay elements that can be used to support engaging learning, various research findings show promise for science education in particular and in

the large system of education in general. Jones et al. (1994) and Schlechty (1997) found that engaging and effective learning could be achieved by incorporating compelling elements of games into the design of learning experience for learners. The elements of engaging learning are as follows: 1) focused goals, 2) challenging tasks, 3) clear and compelling standards, 4) protection from adverse consequences for initial failures, 5) affirmation of performance, 6) affiliation with others, 7) novelty and variety, 8) choice, and 9) authenticity. The focus of this kind of learning is on completing challenging tasks that are typically complex and are sustained over a period of time. These tasks typically require students to stretch both cognitive and social skills. Within the context of completing the assigned task, students play the role of explorer as they both discover concepts and connections and interact with the material and resources. The focus of teaching in promoting engaged learning is on creating activities and environments that allow learners to become engaged in meaningful activities. Teachers act both as a facilitator in creating the tasks and environment, and as the guide and co-investigator to helping scaffold student learning (Hall, 1998; Jones; et al., 1994). The benefit of engaging learning is that this design promotes student collaboration and fosters students taking an active role in their learning. It is the interactions with other learners and the materials that allow students to analyze, synthesize, evaluate, and employ critical thinking skills as they make decisions and determine the course of their actions. The characteristics of engaging learning are not only desirable, but also a necessary component for education in today's world. It is important to continually seek methods, strategies and exemplars for designing these environments.

Bowman's (1982), Malone's (1981a; 1981b), and Provenzo's (1991) research revealed some key aspects of design that support motivation. All three noted the presence of a clear task or goal, progressive balance or hierarchy of skills and challenge, and immediate feedback. Provenzo also stated that there are relatively few negative consequences for risk taking, and Bowman noted the importance of choice. These elements are also the aspects of engaging learning. Although the notion of engaging learning is somewhat elusive in the literature of instructional design, its underlying concept is that learners can become meaningfully engaged in the learning environment by being provided with both authentic activities and opportunities for interacting with other learners

(Jones; Valdez; Norakowski; & Rasmussen. 1994; Kearsley; & Shneiderman. 1999; Scardamalia; Bereiter; McLean; Swallow; & Woodruff. 1989; Shneiderman. 1992). Learners play an active role in the creation and development of projects, which requires them to use higher order thinking skills (Bell; Davis; & Linn. 1996; Schlechty. 1990).

As discussed above, compelling elements of game are diverse as game categorization. Drawn on the notions of the research analyzing game elements mentioned previously, the researcher will employ the game elements to design and develop the epistemic platform for science learning with a computer game. Using those elements as a framework for analyzing the elements that constitute the three games: simulation, strategy and role-playing games. The compelling elements of these three games will be used in designing and developing both the computer game software and the approach to science learning activities. As a result, the educationally potential elements of the three kinds of game are obtained as the followings:

- Character and identity development,
- The trajectory of player positioning,
- Clear and focused goals,
- Challenging tasks/ well ordered problems,
- Learning through Doing,
- Strategic thinking and Problem-solving,
- On demand information and Immediate Feedback,
- Graphic and Sound,
- Narration and Interaction,
- Authenticity,
- Collaboration and competition,
- Back-story and Choices, and
- Critical reflection.

With the perspective of game designer and science educator looking at developing innovation for science teaching and learning, the compelling aspects of game obtained are considered and set into 2 groups: the educationally potential elements of gameplay activities and engaging devices of game design. The educationally potential elements of

gameplay activities were used for developing learning approach and science learning activities while the engaging devices of game design were used for designing and developing the computer game program. The game elements and devices proposed are shown in TABLE 1.

TABLE 1 ANALYSIS OF GAMEPLAY ELEMENTS AND GAME DESIGN DEVICES

Devices of game design for developing the computer game activities	Elements of gameplay for developing LPPL and learning
1. Story design -Back story & choices	1. Clear goal
2. Sound and graphic - 2D and 3D	2. Challenging tasks/welled ordered Problems
3. Narration and Interaction	3. Learning through doing
4. Guiding and feedback	4. Strategic thinking & problem solving
	5. Collaboration & competition
	6. Critical reflection
	7. Authenticity

In this study, the researcher has tried to balance academic content, game elements, framing narratives and legitimate participation to set up the academic play space (FIGURE 3) where learners as players feel free and enjoyable to undertake their task or problems in authentic, meaningful and engaging learning environments. As such, the researcher fused the ideas of educationally potential elements of gameplay and those of engaging learning to set up a novel epistemic platform for science learning experience.

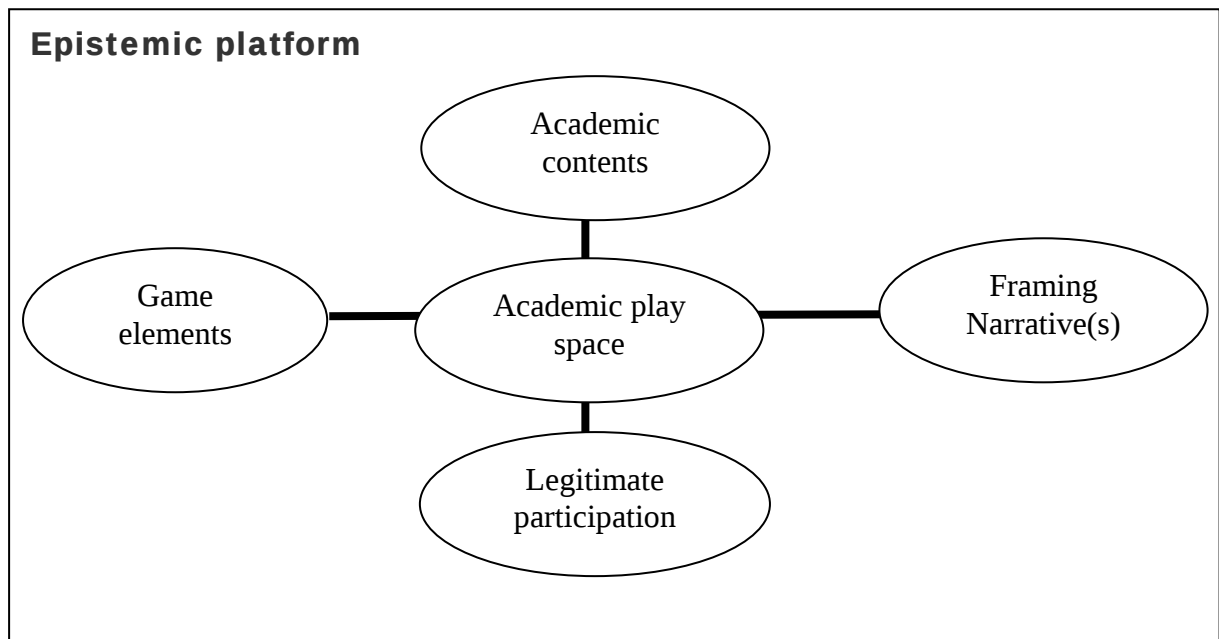


FIGURE 3 Core elements of an Academic Play Space

Source: Adapted from Barab, S. et al. 2006, *Academic Play Space*. P. 6.

In developing the epistemic platform for this study, the researcher used the framework of epistemic games developed by Shaffer (2005a). *Epistemic games* (Shaffer. 2005a) are games that simulate the learning practices, or *practicum*, of a particular profession. That is, instead of simulating the actual or “ordinary” work practices of a profession, an epistemic role-playing game lets players experience the process by which members of a profession are trained. Building on Schon’s (Schon. 1987) work, Shaffer have argued elsewhere that the participant structures of a professional practicum are designed to develop the unique *epistemic frame* (Shaffer. 2005b) of a profession: the values, identity, and epistemology of a practice that organize the knowledge and skills of the community. Through the practicum, novices come to see themselves as particular kinds of people, people who know particular kinds of things, who are able to perform particular kinds of activities, who judge the success and even importance of their activities based upon particular values. This work guides the creation of the epistemic platform for science

learning experiences using digital game technologies and also incorporating game elements into the design. Interacting with this kind of learning, students will think and work as real scientists in engaging and meaningful learning environment.

In game based learning, there are some suggestions on time invested in learning. In the early time of the studies of simulation game in learning, Richard L. Wing (1962: 161-162) who studied on using computer-based economics games for sixth graders reported that game-time was considerably smaller than classroom-time. The mean game-time invested per pupil is approximately only 15 hours, while classroom-time is 30 hours for a whole set of playing and learning activities. In another recent study, Lauber Erick (2005: 54), who studied on developing educational game entitled Rock and Roll High School that is used in classroom setting, suggested that as software designed for the classroom must be much more efficient in what it accomplishes, gameplay must either be integral to the mastery of the content or, gaming episodes must be very carefully constructed to limit playing time. Each episode of gameplay can be completed in one 50-minute session. The game content can be broken into 6 to 12 modules, making it useful for one or two semester sequence. In the educational system in Thailand, science class time in (upper secondary) level 4 is normally set to be one-three 50-minute periods each week in one semester depending on subject matter and learning credit. As a result, in this study, the researcher set time for completing the whole class gameplay and learning activities to be 12 periods of 50-minute long that were divided into three learning units. Each learning units has its own game episode.

SECTION 4: An active Learning Approach to Science Learning and Assessment in Digital Games-Based Learning

In this section, information regarding learning theories in which this study is rooted in and related research on active learning approach that counts for science learning and digital game-based learning is provided and discussed. It is our belief that in the context of game-based learning, learning involves both within and outside gameplay. Thus, developing the particular approach for this particular kind of learning is needed. For this purpose, digital game pedagogy, called the Learn to Play and Play to Learn

Approach, is developed. The approach is grounded in current learning theories. As discussed earlier in the previous section, learning through playing digital game based environment is considered to be consistent with constructivist theory of learning. Moreover, to get a whole and clear picture of learning through digital game-based learning in term of learning as activity, three more learning theories, which are situated learning, activity and scaffolding theories, are also discussed in order to set up the guidance for the development of epistemic platform for science learning with a computer game in this study. As such, the constructivism is discussed in the field of educational technology in general and in digital game base learning in particular and the discussion of the other three learning theories offer complementary views of this kind of learning.

4.1 Current Perspectives of Science Pedagogy

Since philosophy of science have changed from that science is a body of knowledge to that science is the way of knowing, science pedagogy has also changed. This changing and reformed pedagogy provide students with the opportunity to solve complex problems using the same methodologies and reasoning skills that scientist researchers use. Such pedagogy has an advantage in that it provides students with opportunities to develop the long-term strategies of inquiry that sustain and guide practicing scientists. The philosophical framework post-socratic pedagogy has become known, in short, as the 3P's of science education: that is, science and science learning involves problem posing, problem solving, and peer persuasion (Peterson; & Jungck. 1988). Hennessy (1993) describes classroom practices where students have opportunities for discovering, recognize that there may be multiple ways of solving a problem, and believe that they are able to invent ways to solve problems. In the class that Hennessy describes, students are explicitly taught heuristics and encouraged and expected to use meta-cognitive strategies to assess their knowledge and actions through a process of cognitive apprenticeship. During cognitive apprenticeship, the teachers with expertise in the field guides the young future scientist to gain an understanding of science knowledge by solving historically classic problems or types of problems in the discipline. Jungck and Calley's post-socratics, 3P's pedagogy is a type of cognitive apprenticeship that ensures that all

students have an opportunity to solve new, previously unsolved scientific problems by explicitly using software to facilitate this process. In successful post-Socratic 3P classes, the teacher acts as a senior co-collaborator in a research laboratory (the classroom) while the students function as the junior researchers, thus mirroring the culture of the actual larger science community.

Hennessy (1993: 2) also describes learning experiences in domain-specific areas that are authentic to practice in this area as situated cognition. Situated cognition recognizes the critical role of the social and physical circumstances where students do not merely mimic what expert does, but are cognitively guided to discover or invent the strategies and conceptual links that lead to expertise. Situated cognition is, "learning (as) a process of enculturation or individual participation in socially organized practices, through which specialized local knowledge rituals, practices, and vocabulary are developed" (Hennessy. 1993: 2). Situated cognition requires identification of students' prior knowledge and use of constructivist approaches to help students build and think critically about their knowledge and strategies for solving problems. Work in cognitive apprenticeship, or situated cognition, shows that learning is most successful when embedded in meaningful and authentic inquiry. In addition, small group collaborative work and classrooms that require students to articulate and defend their ideas result in higher achievement, more positive attitudes and better retention particularly in female and minority groups under-represented in the sciences (Beichner; et al. 1999).

Such theories in science education emphasize how construction of knowledge is a social process, whereby the learner internally, through correlation to personal observation, and externally, through discussion with others, negotiates the validity and importance of knowledge to be stored in short or long-term memory (Simon. 1981). If science (Korner-Cetina. 1983; Latour. 1987) and knowledge production (von Glaserfeld. 1989) are socially based activities, then teaching science in a way that de-emphasizes and neutralizes the importance of the social setting is literally robbing students of opportunities to construct deep and lasting knowledge of the biological and physical world through an educational process that also empower them with an understanding of the process of science as a powerful and useful epistemological tool. Science educators have argued that if students

construct knowledge in a social realm, then it is important to provide them with collaborative experiences that are carefully scrutinized in regards to their role and effect in the learning of science (Finklel. 1996). The constructivist views held by the educational community unites the knowledge gained by research in cognitive science with knowledge from educational psychology. Constructivism is a cornerstone for theories of learning, such as the conceptual change model (Posner; et al., 1982; Hewson. 1981), theories regarding the nature of science as a practice (Latour. 1987; 1993), and a philosophical framework for structuring science learning classrooms that model scientific communities (Peterson; & Jungck. 1988).

The theoretical framework adopted and adapted from work of cognitive scientists have been particularly influential in the problem-solving literature in science teaching and learning. A key difference between problem solving in knowledge-rich task domains and problem solving task in high school science, is that the answer to textbook problems is known in advance while in authentic, domain-specific problem-solving tasks, the problem solving is forward looking because it is an attempt to find an answer to a previously unsolved problem. Students view problem solving in such situation as part of their everyday working knowledge

Thus, problem solving in science learning should be arranged in ways that students are provided with opportunities to face new authentic problem-solving tasks that require them to use higher order cognitive skills. Problem solving is one of considered higher order thinking that involves various kinds of other thinking skills.

According to Tsaparis and Angelopoulos (2000: 131), problem solving is a method or process in which learners discover new knowledge and skills that they learned or engaged in a different context or a new situation by using a problem solving process. Gilhooly (1989) defined problem solving as a process of changing from one situation to another one that is targeted. The problem solving process is claimed to be one type of higher order thinking skills that involves learners in analyzing, synthesizing, and generalizing (Dundis. 2003). Sharan (Marlowne; & Page. 1998: 19; citing Sharan. 1985) suggested that students could learn best through problem solving activities, particularly in the investigation process in which they organize and assimilate the experience. Problem solving process is

considered to help students develop logical and higher-order thinking skills. Problem solving activities will stimulate students in active learning and solving various kinds of problem and also enhance creative and critical thinking skills and problem solving skills (Neo; & Neo. n. d.: 2; citing Tan. 2000). Moreover, the process of problem solving also requires collaborative work. There are supportive evidences from many research studies reporting that verbalization of thinking process during problem solving activities can facilitate in creating solution to problem and learning (Andre. 1986). Thus, problem solving is an appropriate strategy for science teaching and learning (Brophy. 1998).

Process of problem solving has been proposed by various groups of academic scholars. For instance, Dewey (1933) introduced a five-step inquiry model for problem solving which is known as the scientific method. The steps of the method is shown as follows:

1. Preparation: to define the problem,
2. Analysis: to formulate tentative hypothesis,
3. Production: to collect, evaluate, organize, and interpret data,
4. Verification: to reach conclusions, and
5. Reapplication: to test those conclusion.

Another scholar is Gipps (2001: 1-2) who suggests seven steps of problem solving in scientific inquiry method. The steps of the method is shown as follows:

1. Selecting a question to investigate,
2. Defining the problem,
3. Designing plan or experiment,
4. Trying out the plan or experiment,
5. Re-designing the plan or experiment,
6. Trying out the re-designed plan or experiment, and
7. Finally interpreting the result

For learning and teaching in Thailand, Tissanana Khaemane (2002: 310-311) proposes five steps of problem solving process shown as follows:

1. Observation: stating problem by searching information,
2. Analysis: analyzing cause and effect of the problem and ordering it,

3. Selection: selecting strategies or problem solving methods,
4. Exploration: exploring the proper solution to problem, and
5. Conclusion: concluding by analyzing the output of using the solution.

As mentioned previously, in doing problem solving activities, students are required to use various kinds of thinking process such as analytical thinking in analyzing what the cause of problem really is, or evaluative thinking in evaluating proper solution to solve the problem. Such thinking process requires complex and many steps of related thinking. Strategic thinking is considered to be directly related to problem solving process. Moreover, this kind of thinking also involves decision-making and planning

In science education, strategic thinking is hardly mentioned in literature.

The researcher thinks that this kind of thinking could facilitate students in their problem solving activities of learning in science. Kraengsak Charernwongsak (2003: 22) defines “strategic thinking” as ability to determine optimum or the best way to accomplish the intended goal under any problematic and uncertain circumstance. Strategic thinking is the thinking that fully consists of process of finding the best way to solve the problem and planning step by step to reach the intended goal. This kind of thinking sometime can be considered as the process of finding strategy to solve the problem by searching for many alternative ways before solving that problem in real situations (Demorest. 1986). The notion mentioned before can be pictured as follows:

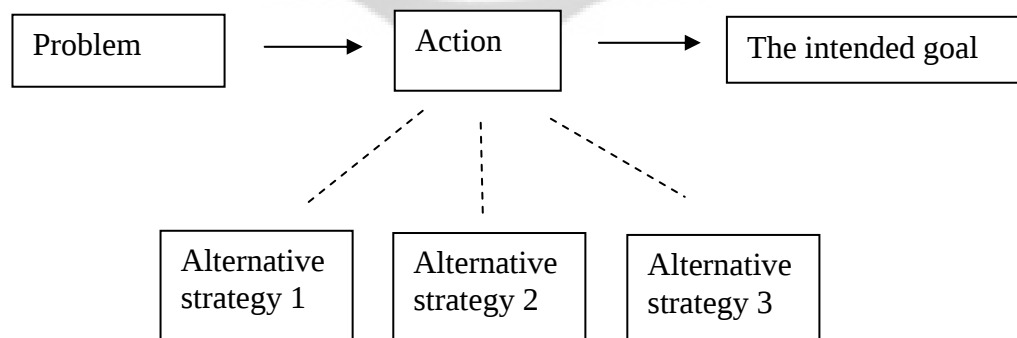


FIGURE 4 Problem Solving

Source: Adapted from Kraengsak Charernwongsak. 2003. p. 10.

According to Kraengsak Charernwongsak (2003: 15-18), strategic thinking is characterized as follows:

1. Strategic thinking is considered as a process,
2. Strategic thinking involves analyzing and evaluating,
3. Strategic thinking involves predicting,
4. Strategic thinking involves searching alternative ways and evaluating them before taking on action,
5. Strategic thinking involves step by step planning,
6. Strategic thinking is flexible in term of change in situation, and
7. Strategic thinking is focusing on the intended goal.

From the characteristics of strategic thinking mentioned above, the process of strategic thinking can be summarized in the Figure 5 below:

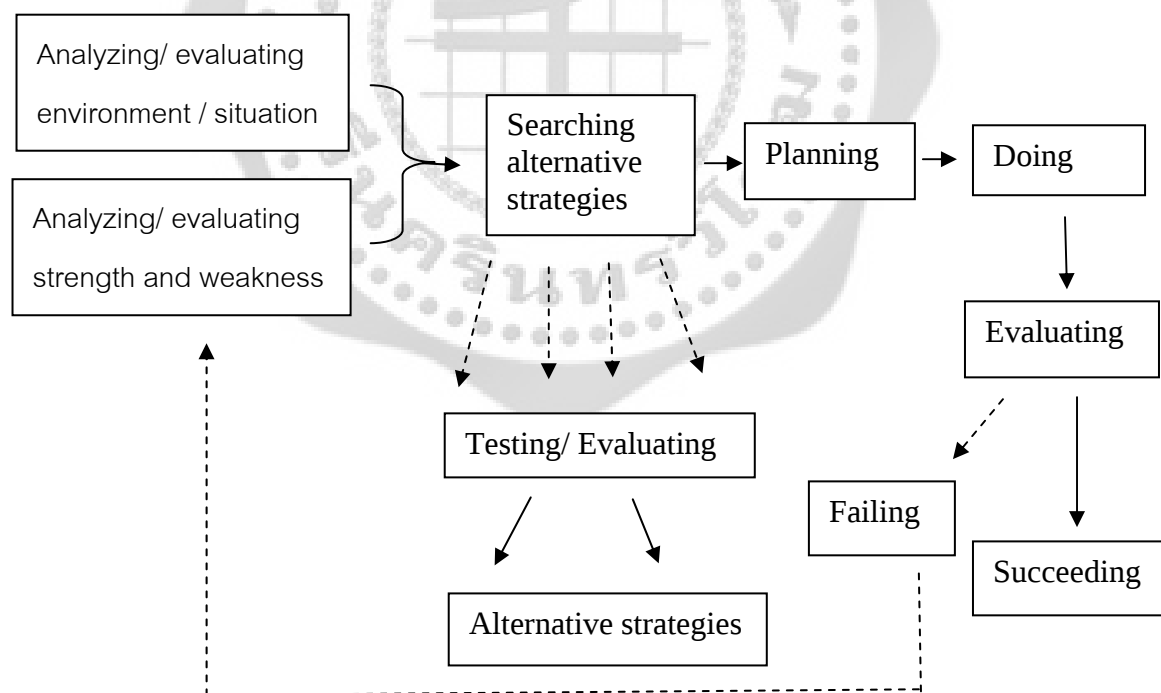


FIGURE 5 Process of Strategic Thinking

Source: Adapted from Kraengsak Charernwongsak. (2003: 23).

According to the FIGURE 5, the seven main steps of strategic thinking process are shown as follows:

1. Selecting the intended goal,
2. Analyzing and evaluating the situation,
3. Searching alternative strategies,
4. Planning strategy,
5. Planning the parallel strategy,
6. Testing in simulated situation
7. Taking action, and
8. Evaluating the whole process.

For science teaching and learning, it is believed that strategic thinking is a powerful tool in helping students in problem solving process of science learning, especially in a computer game-based science learning in this study.

4.2 An Active Learning Approach to Science Learning in Digital Game Based Learning

Given those perspectives of science pedagogy mentioned previously, it is believed that digital game based learning can fit well with this current form of science pedagogy. Besides that, this kind of learning needs a particular approach in order to reach an effectiveness of science learning. Therefore, the Learn to Play and Play to Learn (LPPL) Approach is developed. In developing the epistemic platform and designing science learning experiences with a computer game in this study, LPPL is grounded in four main influential learning theories which are as follows: constructivism, situated learning, activity, and scaffolding learning theories. These theories are discussed respectively.

Constructivism

Educational theories have always influenced work in educational technology, including digital game based learning. From the mid-sixties, the instructivist approach to designing learning situations was popular. However, constructivism has been the dominant paradigm in learning theories for the past 20 years (Kim Issroff & Eileen Scanlon. 2002: 8). Its focus on considering how knowledge is developed by learners

through experience has been a source of inspiration for educational technologists in the design of appropriate learning experiences. As one of the emerging fields of educational technologies, digital game based learning is set the constructivist view to be central to designing learning experience for learners. In digital game based-learning, it is his/her role in playing an active role to construct his/her own knowledge by getting help from teacher or guiding systems of game programming.

Constructivism is the influencing notion on learning. Its main idea is that learning is construction of knowledge. It emphasizes an explorative learning process through which learners relate new knowledge to their previous knowledge and beliefs, modifying their ingrained concepts and changing their own understanding. The next few paragraphs review the primary components of most constructivist learning philosophies that are used to be a guide in building a constructivist digital game-based science learning environment for this study.

The writings of Piaget are considered to be the foundation for constructivism (Phillips. 1995; Smith; & Ragan. 1999). Piaget's genetic theory based on principles of evolutionary biology was the basis for his theory of cognitive growth. For Piaget, it is in the nature of the organism (and the student) to be active (Fancher. 1990). Pedagogically, this view "focuses on the interactive, dialogic relationship between the learner and the learning environment, including the material presented by the teacher" (Doll. 1993: 81). Piagetian ideas are also credited with leading to the characterization of the child as a problem-solver, emphasizing learning as active invention (Bruner. 1986). Piaget also assumes that there will be a certain inertia in students that makes it likely that they will "continue in past patterns as long as possible" (Doll. 1993: 83). Thus, the environmental (i.e., learning environment) conditions must be such to invoke a "deeply felt" (Doll. 1993: 83) disequilibrium. For Piaget, the teacher's job was both to foster a deep sense of disequilibrium while at the same time constraining it to manageable levels so that the student does not get overwhelmed. Vygotsky, the 20th Century Russian educational theorist, provided a foundation for socio-cultural theories of learning that have become part of the constructivist tradition. Vygotsky considered that cognitive development was "inherently integrated with social and emotional development" (Forman; & McPhail. 1993: 215-216). Vygotsky's central theoretical concept

was the notion that socially shared activities are transformed into individual mental processes and cognitive development (John-Steiner; & Mahn. 1996; Vygotsky. 1978). This expands on Piaget's view of the importance of learning in interaction with the environment to stress the central role of the cultural context in which that learning takes place. Interpersonal social interaction of a learner with his or her peers and with the teacher is considered a key pedagogical strategy to facilitate learning.

Other constructivist strains have grown out of Vygotsky's ideas linked with anthropological and cognitive theories. Anthropological research in the early 1990s on problem solving within cultural groups outside of the institutions of school (e.g., Lave; & Wenger. 1991; Rogoff. 1990) led to the notion of situated learning where cultural and contextual clues supported the learner in the context of realistic activities. For instance, children in some cultures were shown to have facile computational skills for money changing in the context of selling in spite of their lack of knowledge of school-based arithmetic. Such contexts are considered more "authentic" because the nature of the task (e.g., exchanging money) grows out of some more basic need than simply a need to know arithmetic. The notion of situated learning will be discussed in details in the next part of this section.

From the respects mentioned above, it could be summarized that the main pedagogical components commonly associated with constructivism. First, a cognitively engaged learner who actively seeks to explore his or her environment for new information. Second, a constructivist pedagogy often includes a hands-on, dialogic interaction with the learning environment. So, for example, manipulating unit cubes in early mathematics would be considered critical to learning early math concepts. Or, for another example, actually designing software is preferred to simply being told how to design software. In this case, the "dialogic" nature of the task is the learner struggling with the constraints of the design environment. Third, a constructivist pedagogy often requires a learning context that creates a problem-solving situation that is authentic in nature. Another way of saying this is that the learner is placed into a context in which the environment itself provides a context in which the information to be learned or applied makes sense as a satisfaction of a reasonable learning goal. Such situations can be, for example, a design context where the

solutions are constrained by the materials, tools and processes available. Fourth, constructivist environments typically include a social component often interpreted as actual interaction with other learners and with mentors in the actual context of learning. While some have argued that a learner's interaction with cultural artifacts (e.g., a software program) can be counted as "social", it is safe to say that most constructivists consider human-to-human interaction primary. Over the last four decades educational learning theory has evolved from behaviorism through cognitive information processing to the current emphasis on constructivism. An example of a pedagogical strategy arising from a behaviorist tradition is including practice and repetition as a fundamental part of the learning process. Cognitive information processing theories hold that there are fundamental principles guiding how people learn and those principles can be derived from how they process information. For instance, a familiar information processing principle holds that people cannot handle more than seven plus or minus two items comfortably at any one time. Such a principle leads directly to an instructional design strategy that suggests presenting from five to nine items at any one time to the learner. Both the behaviorist and the information processing views typically consider that there are domains of knowledge and the teacher's (or instructional designer's) job is to transmit the facts and concepts of the domain to the learner through lectures, recitations, or planned instructional sequences. Further, instruction should provide for review and practice until the learner has mastered these facts and concepts.

Situated Learning Theory

One of the most significant trends of the past 10 years has been an appreciation of the role of context and social processes in learning. In the late 80's a seminal paper in educational research, Brown, Collins and Duguid (1989) outlined the assumptions of the situated learning approach. Even more recently, there has been increased attention paid to the role of social interaction in learning, largely based upon the work of Vygotsky, with an emphasis on the role of language and therefore dialogue. The implications of this shift have been well explored for educational technology in Jones and Mercer (1993). Littleton and Hakkinen (1999) in their review of current research on collaborative learning explain the extent to which the dialogic view of knowledge

construction has had an impact on research methodologies and data interpretation in this area. They conclude that studies influenced by Vygotskian theory have advanced our understanding of collaborative learning, but that to make progress, we need to integrate a fuller understanding of the cultural context of the learning situations.

Situated Learning was an important issue in American educational psychology during the late 80s and early 90s. Situated Learning attracted the attention of the academic world when Brown, Collins & Duguid (1989) worked on the discussion on situated cognition and situated learning. Brown, Collins, & Duguid (1989) and Lave & Wenger (1991) define situated learning theory as embedded within and inseparable from participating in a system of activity (Chaiklin; & Lave.1993; Lave.1988) deeply determined by a particular physical and cultural setting. The unit of analysis is neither the individual nor the setting, but instead the relationship between the two, as indicated by the student's level of participation in the setting (Barab; & Plucker.2002). As such, at this time knowledge was considered to be constructed and learning was better to occur in realistic situations.

The formation and meaning of knowledge is elucidated from the perspective of learning by doing and practical intelligence. According to Collins (1989), the view of situated learning provide teachers with the following benefits:

1. Learners learn to use the knowledge they gained in various situations.
2. Learning in various situations enhances the learners' creativity.
3. Learners learn how to use the knowledge they have gained.
4. Various situations generate knowledge with a range of applications.

Studies of apprenticeship in "communities of practice" (moving from newcomer to expert within a sociocultural structure of practices) which are a central construct for situated learning (McLellan. 1996; Kirshner & Whitson. 1997; Wenger. 1998; Wenger; McDermott; & Snyder. 2002). Brown, Collins and Duguid (1989), in their study, proffer the graduate student experience as an example of apprenticeship in a community of practice (FIGURE 6). As part of their academic program, graduate students evolve from pupils to researchers through a series of learning activities embedded within a specific community of practice. In essence, situated learning requires authentic contexts, activities, and assessments coupled with guidance based on expert modeling, situated mentoring, and

legitimate peripheral participation. For example, graduate students may work within the laboratories of expert researchers, who model the practice of scholarship. These students will interact with experts in research, as well as with other members of the research team who understand the complex processes of scholarship to varying degrees. While in these laboratory settings, students gradually move from novice researchers to more advanced roles, with the skills and expectations for them evolving (legitimate peripheral participation). In contrast to courses, students learn the knowledge and skills expected of them in their future research careers through modeling, mentoring, and legitimate peripheral participation. For secondary science education, the theory implies that science experiences for students should be arranged in such a way that students should be provided with various opportunities to work with experts and manipulate variables with the help from experts whom they work with. The experts mentioned here are expected to be teachers.

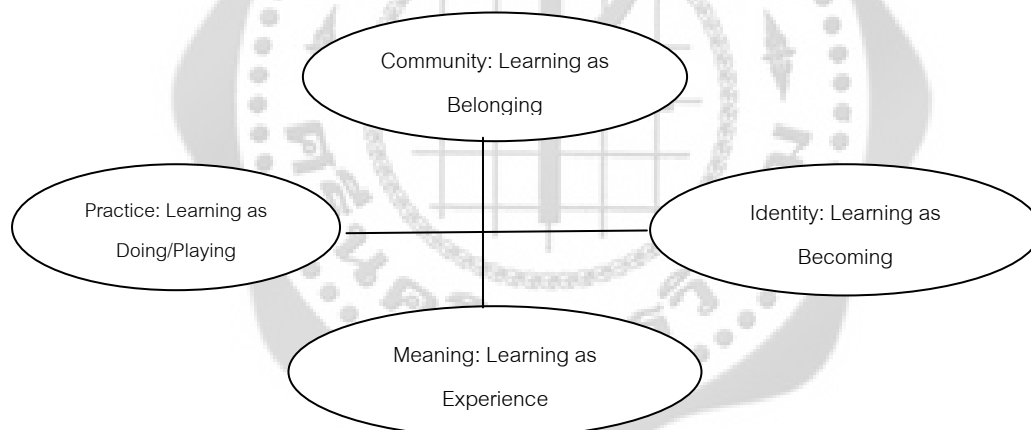


FIGURE 6 Community of Practice

Source: adapted from Wenger. 1998.

Activity Theory

Conceptualizing practice conceived broadly enough to capture the individual's goals and intentions, the tools, and resources employed in practice, and the social organization and institutions that mediate practice – all within empirically grounded cases, is challenging. Restated, how can one theoretical framework account for both the moment-to-moment interactions that constitute gameplay (including the player's goals and

intentions) while also accounting for the broader socio-cultural contexts that situate the activity?

Over the past decade, socio-cultural psychologists have been struggling with this issue, and proposed *Activity Theory* as one theoretical framework for understanding how human activity is mediated by both tools and cultural context (Engeström. 1987; 1993). For an Activity theorist, the minimal meaningful context is the dialectical relations between human agents (subjects) and that which they act upon (objects) as they are mediated by tools, language, and socio-cultural contexts (Engeström. 1987; 1993). A generic activity theory system is portrayed in FIGURE 7. *Subjects* are the actors who are selected as the point of view of the analysis. *Objects* are that "at which the activity is directed and which is molded or transformed into outcomes with the help of physical and symbolic, external and internal tools" (Engeström. 1993: 67). As such, objects can be physical objects, abstracted concepts, or even theoretical propositions. *Tools* are the concepts, physical tools, artifacts or resources that mediate a subject's interactions with an object. The *community* of a system refers to those with whom the subject also shares transformation of the object; the cultural-historical communities in which a subject's activity is situated. Communities mediate of activity through division of labor and shared norms and expectations.

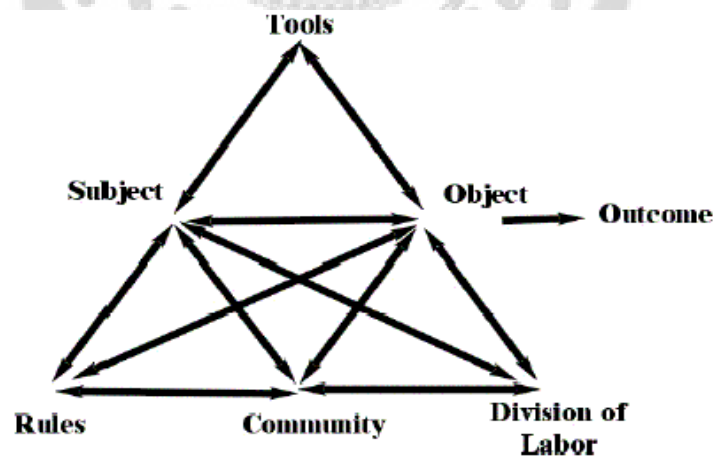


FIGURE 7 Visual Depiction of an Activity System

Source: Engeström, Y. (1993). Developmental Studies of Work as a Test Bench of Activity Theory: The Case of Primary Care Medical Practice. p. 66.

Understanding the basic components of an activity system can be a useful way of mapping and categorizing key components of experience. However, for Activity Theorists, it is not the presence of these components in isolation that make for meaningful analysis, but rather, the interactions within among these components. Engeström (1993) refers to such relations as primary and secondary contradictions. Primary contradictions are those that occur within a component of a system (e.g. *tools*), while secondary contradictions are those that occur between components of a system (e.g. *subjects* and *tools*). In a situation where *Civilization III* is used in formal learning environments, one might imagine tensions between winning *Civilization III* and learning social studies as the object of an activity system, depending on whether the student or the teacher is the subject of the activity system. Predicated on Hegelian / Marxist philosophy, activity theory suggests that the synthesis and resolution of such contradictions brings change and evolution to the system, and activity theorists argue that characterizing the tensions of an activity system can help participants understand and react to changes in the system.

Activity theory offers a theoretical framework with strong intuitive appeal for researchers in examining educational games and creating game-like or game-based learning. Growing out of Vgotsky's discussion of the mediating role of artifacts in cognition (1978), activity theory provides a theoretical language for looking at how an educational game or resource mediates players' understandings of other phenomena while acknowledging the social and cultural contexts in which game play is situated. Learning is conceptualized not as a function of the game itself - or even a simple coupling of the player and game; rather, learning is seen as transformations that occur through the dynamic relations between subjects, artifacts, and mediating social structures.

Drawn on the activity theory, creating a game-like science learning should be in such ways that learning activities provide learners with opportunities to interact with tools, manipulate change and communicate with others in community of learning. In fitting this digital game-based learning into the current form of science teaching and learning, the researcher assumes that there is particular approach to this kind of learning with digital game. As such, a Learn to Play and Play to Learn learning Approach (LPPL) is developed for this purpose. In this study, the LPPL is considered as an active learning approach to this

digital game-based science learning. In term of learning as active activity, LPPL is set to facilitate learning by embracing the view of activity theory. Using activity theory as a guide for setting the interaction in the social context in and out of gameplay, the researcher looks at game based learning as a whole picture of the two main phases: 1) gameplay activities and 2) social context around gameplay activities. Students will play active roles involved with both two phase of learning while teachers play roles as experts in gameplay and as facilitators in social context out of gameplay. In the views of teacher-student interaction happening in this game based learning activity, scaffolding theory is used to explain what kind of learning happens in this learning context.

Scaffolding theory

The term "scaffolding" was initially introduced by Vygotsky (1989) as tutoring or other assistance provided in a learning setting to assist students with attaining levels of understanding impossible for them to achieve without assistance (Brush; & Saye. 2001). Scaffolds are tools, strategies, and guides that support students in attaining a higher level of understanding (Hannafin; et al. 1999; Vygotsky. 1989). According to Vygotsky (1989), scaffolding is helping learners develop their own evolving knowledge through interactions with other people. Vygotsky (1989) viewed scaffolds as personal aid provided by a teacher or peer to help with the learning process. Vygotsky believed that learners construct their knowledge by interacting with other members of society and cannot be understood apart from the cultural settings. This theory suggested that teachers need to do more than just arrange the environment for students in order to discover on their own. This means that teachers should assist or guide students' learning rather than transmit knowledge to them. Assisted learning requires scaffolding, which is the support for learning and problem solving.

According to Vygotsky (1989), there is a zone between what learners can do by themselves and with assistance. The zone of proximal development (ZPD) is a phase at which a learner can master a task if given appropriate help or support (Woolfolk. 2001). As the definition by Wertsch and Resnick (1991), the zone of proximal development is an

area where the learner cannot solve problems alone, but can be successful under adult guidance. This is the area where instruction can succeed, because real learning is possible.

Recently, the concept of scaffolding has been broadened to include a multitude of different tools and resources that can be used by students to assist them with instructional activities (Brush, & Saye. 2001). According to Rosenshine and Meister (1992), assisted learning includes: (a) adapting materials or problems to students' current levels, (b) demonstrating skills or thought process, (c) walking students through the steps of a complex problem, (d) doing part of the problem, (e) giving detailed feedback and allowing revisions, and (f) asking questions that focus on students' attention.

Drawn on the four learning theories discussed above, an active learning approach to science learning with a computer game, called Learn to Play and Play to Learn learning approach (LPPL). LPPL is developed and shown in the following FIGURE 8.

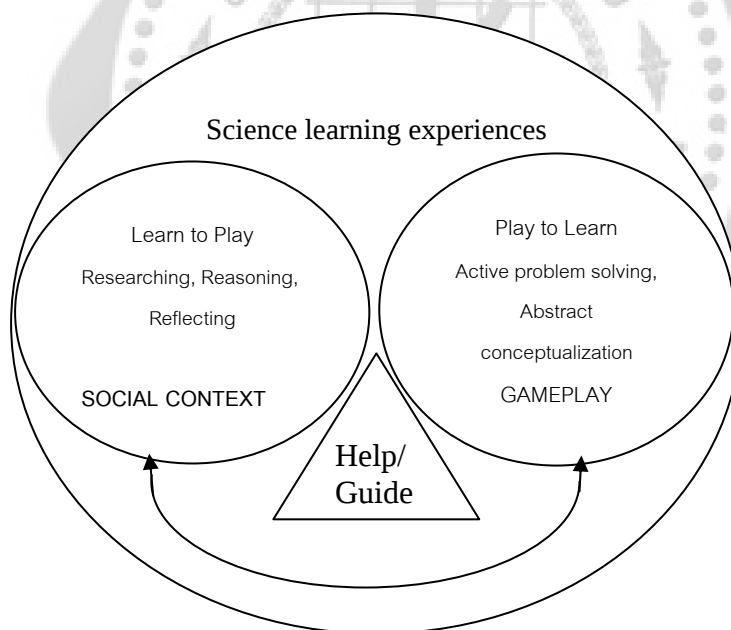


FIGURE 8 The Learn to Play and Play to Learn learning Approach (LPPL)

The Learn-to-Play and Play-to-Learn Learning Approach (LPPL) is an active learning approach developed for use in the game-like science learning environment that students will construct their own understandings through performing tasks /solving problems.

The approach consists of two main inter-switchable phases including learn to play phase and play to learn phase.

In the *Learn to Play* phases, this phase is considered as a social process that occurs outside the gameplay activities. This phase consists of three main steps: researching, reasoning, and reflecting. Before playing any kind of games, players need to know and understand whom they are, what they are going to do in gameplay, what knowledge and skills they have to acquire before entering gameplay. Thus, this phase is set for player orientation and preparation. In order to accomplish the task or solve the problem, students as players will be oriented before entering the gameplay phase. Students will plan and determine what knowledge and skills needed, such as setting up the goals, developing characters in gameplay, etc. After that, they will be seeking out information they needed by researching, reasoning, and reflecting both individually and collaboratively. In short, in this phase, students have to find the way to play the game, such as developing identity for gameplay or modeling gameplay activities by (1) researching information about knowledge and skills needed for the next phase of gameplay, (2) reasoning to understand the relationship among information for identifying possible solutions and eliminating the impossible solutions and (3) critically reflecting on what they know and how they know by discussing with peer along with facilitators (teachers).

In the next step, the *Play to Learn* phase, this phase involves active problem solving and abstract conceptualization. In this gameplay phase, students as players will encounter with various kind of situations that can be problems or tasks for them to accomplish. They will perform the tasks by connecting what they have learned from the learn to play phase to new knowledge in this phase. In addition, students will employ various kinds of strategies to accomplish the goals of gameplay. For this purpose, they may use inquiry method to solve some problem or accomplish the tasks. After they finish the first task, they begin working on the next related problems or tasks.

These two phases of the LPPL approach are inseparable in term of dynamic learning process. Each stage in both phases is switch to one another depending on student's/player's preferences and problem solving or tasks management. This can be shown as follows:

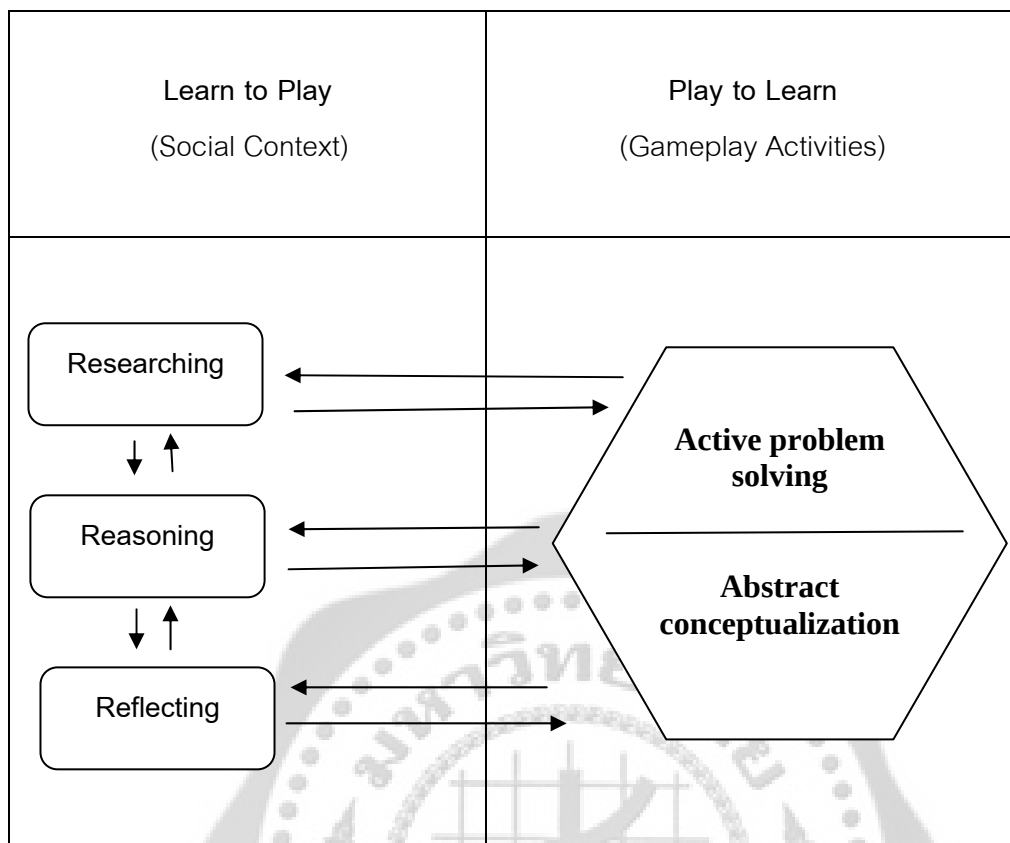


FIGURE 9 Details of the process of the LPPL

It is our belief that in this study, this learning approach will be fit very well with the game-like science learning. It is expected that this learning approach can help students learn effectively in this engaging and meaningful learning experience.

4.3 Science Assessment in the Context of Game-Based Learning

According to change in philosophy of science, resulting in change in the way of science teaching and learning, science assessment evolves consistently. As thus, authentic assessment is one of emerging methods that can fit very well with this kind of paradigm shift. In game-based learning environment, learning through context of gameplay activities is considered as authentic problem solving. Therefore, performance assessment should be in consistency with this kind of science learning.

Performance Assessment

Science reform efforts (American Association for the Advancement of Science (AAAS). 1993; National Research Council (NRC). 1996) have called for changes in practice of science learning and teaching in a way that students should be more involved in their own learning based on learning philosophy that student understanding is facilitated by active involvement. As such, change in science assessment is required. The science reforms have required that students must be assessed on their scientific reasoning and understanding rather than only their discrete scientific knowledge. Performance assessment is in the line with the kind of reform. This type of assessment may be problematic to define. Champagne and Kouba (2000: 226) address that the term “performance assessment “ is abundant in alternative definition. They also state that performance assessment involves data such as student writing being analyzed” not only on the scientific accuracy of writing but also on the quality of the reasoning “. According to Stenmark’s (1991: 13) definition of performance assessment,” this type of assessment involves presenting students with a task, project, or investigation, then observing, interviewing, and looking at their product to assess what they actually know”. Shavelson, Baxter and Pine (1992) propose that performance assessment is characterized by students performing concrete, meaningful tasks scored on the reasonableness of the procedure not simply on achieving the correct answer. Thus, this implies that using student performance to assess understanding of scientific process and concepts is the proper way of assessment that fits very well with the new mode of learning in constructivist learning such as game-based learning. Well-designed assessment tasks not only assess student understanding but also teach concepts and require them to explain and communicate their solution (Darling-Hammond; & Folk. 1997; Shepard. 2000).

According to Shepard; et al. (1998), performance assessment is advantageous because it provides the opportunity to examine the process as well as the product and represents a full range of learning outcomes by assessing student writing, products, and behavior. In addition, this type of assessment allows teachers to assess higher order thinking skills and deeper understandings. (Firestone; Mayrowets; & Fairman. 1998). Kelly and Kahle (1999: Abstract) found that science students who carried out performance assessment tests were better able to explain their reasoning and conceptions than students

who took traditional tests. This implies that working through performance assessment tasks can lead students to deeper understanding. Accordingly, performance assessment can also be used to assess students' strategic thinking reflected in problem solving process. As gameplay activities involve learning through doing, performance assessment is perfectly suited to the digital game-based science learning in this study. In the epistemic platform of the study, the tasks/problems of the gameplay activities are designed for learners as players to perform various kinds of task that required them to work collaboratively within their group and competitively between groups to reach their final work. As thus, incorporating performance assessment strategies into this kind of learning is seemed to be in line with the efforts of reforms of science education. Besides the performance assessment, the researchers will also examine students' attitude toward science learning.

SECTION 5: Nanoscience and Nanotechnology Education in Secondary Science

As a sequence of the fast growing studies of the cutting edge nanoscience and nanotechnology which have been impacting on our daily lives and a very little understanding of these core concepts public has, there are different ideas people have in whether or not we should develop these ideas. This can be very useful for better lives in the near future as well as very dangerous and risky for public health and our environment. This ambiguity can be blurred by developing our understanding of basic science concepts of nanoscience and nanotechnology. Thus, it is required that the educational community has to have a commensurate response in increasing students' understanding of core concepts in the field. Whereas numerous nano-scale science and engineering programs exist at the undergraduate and graduate levels, there is a strong need for nanoscience and nanotechnology education in earlier grades, both to increase students' scientific literacy and to prepare them for further study in the field.

Including nanoscience education in the high school curriculum would do more than bring nanoscience concepts "down" to the high school level. It would also introduce a much-needed interdisciplinary element into the disjoint high school curriculum, since nanoscience brings together concepts from physics, chemistry, and biology, as well as related areas such as materials science and engineering. It would provide a way to revisit the core

concepts from these domains and view them through a different lens. Nanoscience and nanotechnology education can support understanding of the interconnections between the traditional scientific domains, reflecting the unity in nature and providing compelling, real-world examples of science in action.

In designing learning experiences for students, it is not just to develop the content of the core concepts of nanoscience and nanotechnology but also to design learning activities that make them understand the core concepts easily in a meaningful learning environment. In so doing, it is, however, very hard to bring every real learning materials needed for introducing students to nanoscience and nanotechnology. For example, bringing Scanning tunneling microscope (STM) to class and buying real nanomaterials for learning activities in class is very expensive for school and teachers. But there is an alternative way for students to be exposed to the experience like that. It is a virtual and simulated world created by computer that can immerse students into learning environment where they can make meaning easily in a meaningful learning environment. Moreover, using computer, we can design learning setting to get students into interactive environment where they can do learning activities, complete the tasks which can lead them to successful learning. Computer offers various kinds of E-learning. One of the latest forms of E-learning is computer game which, if well- designed, provide students with good learning experience. Thus, putting students in learning environment that is very meaningful for them can lead them to successful learning. Using compelling features of computer games and lesson from research on science teaching and learning, the researcher will design science learning environment that motivate and engage students to learn nanoscience and nanotechnology in the way that students can control themselves in learning. In this study, the development of epistemic platform for science learning with a computer game can be thought as the frames that are similar to computer game-based learning environment. Students will learn in the real world problems and complete the tasks that can develop their understandings and thinking skills necessary for daily life activities.

In designing this kind of learning, it is necessary to start with analyzing the content and setting up the goals and learning objectives. In this research study, the researcher analyze the core concepts of nanomaterials and its applications that are currently used and

presented in market to design the epistemic platform, a game like learning. By looking in particular at the unique properties of 4 main kinds of nanomaterials including nano Ag, nano TiO_2 , nano ZnO_2 , and carbon nanotube, the researcher will design and develop the epistemic platform where students can develop science process, thinking skills and learn new science concepts of nanomaterial that are in line with the Thai national science curriculum standards.

In fitting nanoscience and nanotechnology into high school science, the thing that has to be taken into consideration is national science curriculum standards that are prescribed for teachers in implementing science teaching and learning at all levels. When analyzing basic science concepts of nanoscience and nanotechnology, by comparing the concepts of nanomaterial in particular to national science curriculum standards, it is found that there is the alignment between both of them. The basic science concepts of nanoscience and nanotechnology address the standards are shown below:

National science curriculum standards

Sub-strand 3 :Matters and Properties of Matters

Standard Sc 3.1 :The student should be able to understand properties of matters, relationship between properties and structures and forces among particles, have skills in investigative processes and possess a scientific mind, communicate acquired knowledge and make positive applications of knowledge.

Standard Sc 3.2 :The student should be able to understand the principles and nature of change of states of matters, formation of solution, chemical reaction, master investigative processes and possess a scientific mind, communicate knowledge acquired and apply it positively.

In analyzing the concepts of nanomaterial, the basic science concepts of nanoscience and nanotechnology are obtained and set as follows:

1) the idea of nano-scale is set in the unit 1 of the emergence and development of nanoscience and nanotechnology

2) physical, biological, and, chemical properties of nanomaterials,

3) synthesis of nanomaterials and other fabrication methods,

4) nanoproduct production and development, e.g., nanoclothings

Topic 2), 3) and 4) are set in the unit 2 of fabrication and application of nanomaterial,

5) nanoscience and nanotechnology ethics is set in the unit 3 of impact of The impact of nanomaterial use on human, society and environment.

When considering the national science curriculum standards and looking at the content of nanoscience and nanotechnology, the researcher found that basic science concepts of nanomaterials are in consistency with the national science curriculum standards in sub-strand 1) living things and living processes, sub-strand 2) life and environment, sub-strand 3) matters and properties of matters, sub-strand 4) force and motion, and sub-strand 8) nature of science and technology. This study focus on sub-strand 3) matters and properties of matters. The comparative table featuring the consistency of the scientific concepts of nanomaterials and the national science curriculum standards is shown as the following TABLE 2.

TABLE 2 NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY AND THE NATIONAL SCIENCE CURRICULUM STANDARDS

Nanoscience & nanotechnology	The Standards it can address
The idea of “Nano” – being small	Structure of Atoms, kind and number of elementary particle of atom
Physical, biological, and, chemical properties of nanomaterials,	Structure and properties of matter,
Synthesis of nanomaterials and nanofabrication (e.g., TiO_2)	Chemical Reactions
Nanomaterial and its application for nano product production process	Chemical Reactions
There is plenty of room at the bottom”. Richard P. Feynman’s talk,	Science as a human endeavor, Nature of scientific knowledge, Historical perspective
Nanotechnology and Science Ethics	Science and technology in local, national, and global challenges, Science as a human endeavor, Natural and human-induced hazards, Population Growth, Personal and Community Health and impact on environment

From the TABLE 2, the main concepts of nanomaterial are chosen for secondary science and shown as the followings:

1. the historical perspective – nature of science,
2. the ideas of nano scale- Structure of Atoms, kind and number of elementary

particle of atom,

3. the exemplary nanomaterials- nano Ag, TiO_2 , ZnO, C nanotube,
4. nanomaterials and nanofabrication- chemical and physical synthesis, chemical reaction,
5. nanomaterials and its properties- physical, biological and chemical properties,
6. nanomaterials and its application – chemical synthesis, chemical reaction,
7. the impact of using nanomaterials on human, society and environment.

The main concepts of nanomaterial used for the study can be described as a concepts mapping diagram shown below.

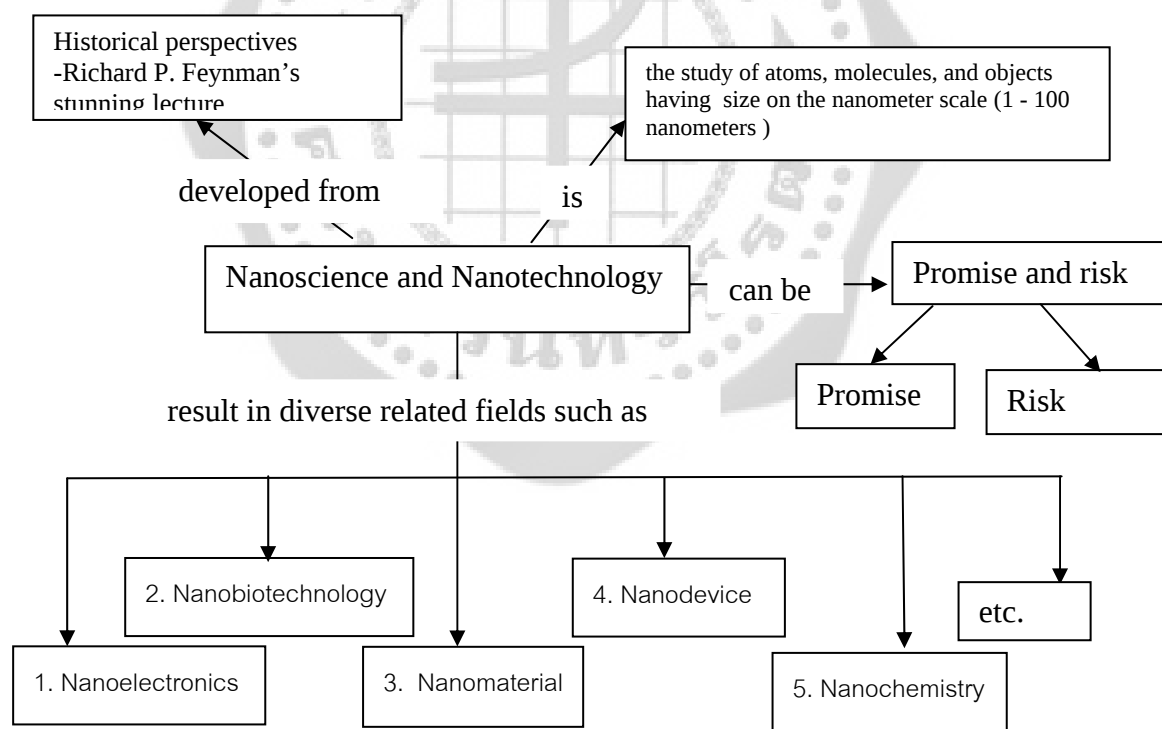


FIGURE 10a Concept Map of the Content of Nanoscience and Nanotechnology Used for the Study.

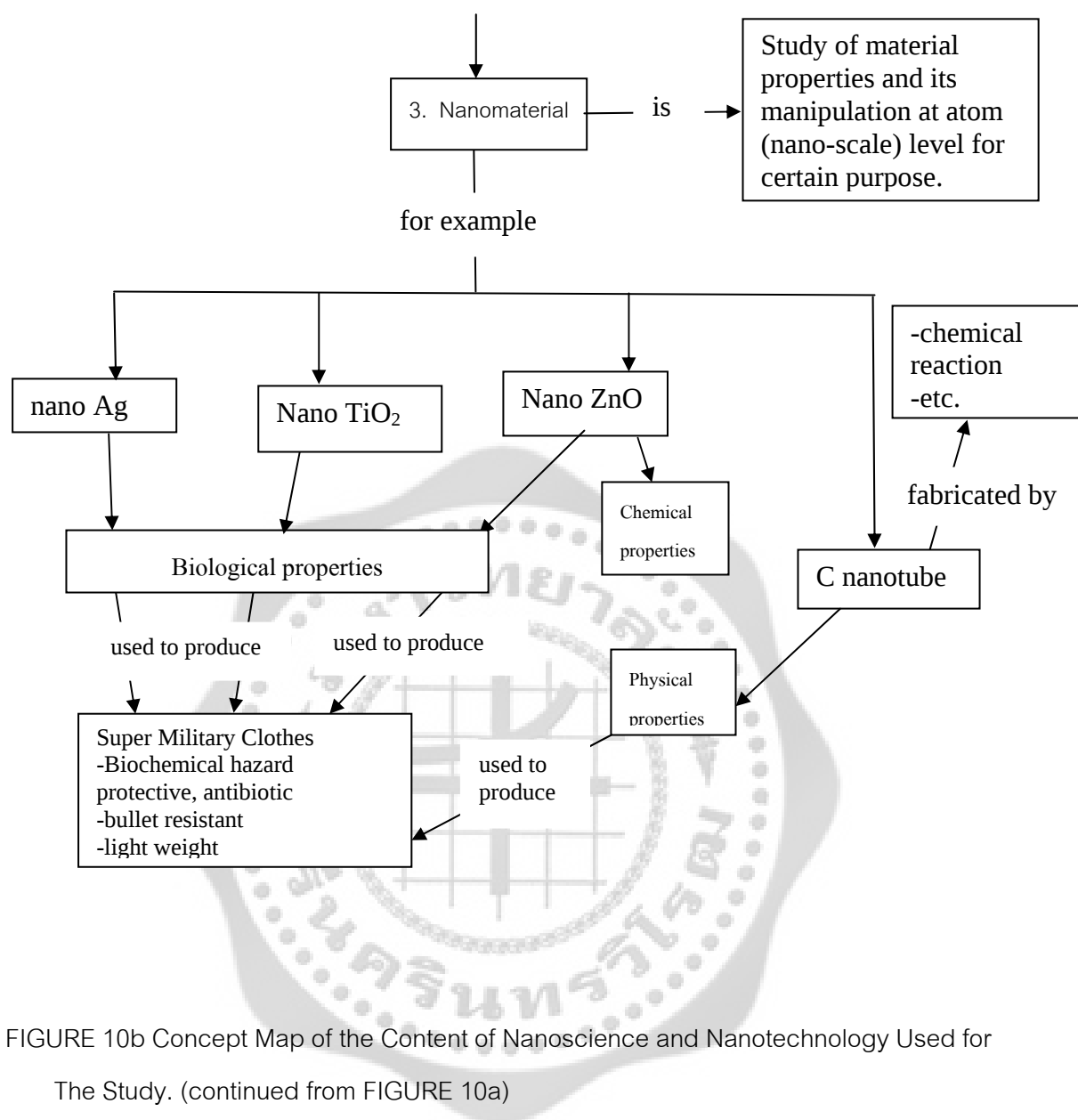


FIGURE 10b Concept Map of the Content of Nanoscience and Nanotechnology Used for The Study. (continued from FIGURE 10a)

CONCLUSION

The use of constructivist multimedia, such as digital game technologies, to coach or facilitate science learning and the provision of scaffolding to guide learners toward active participation and learning in the game like learning environment enable learners to integrate their knowledge and skills to perform various kinds of complex problem solving which resulting in successful learning. This research employs multiple methods as a part of the

larger design based research as suggested by Collins (1992), Brown (1992) and Laurel (2004). The work is divided into 2 main phases:

Phase I Development of an epistemic platform for nanoscience and nanotechnology with a computer game and,

Phase II Implementation of the epistemic platform.

The two main phases are divided into 5 stages: Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation. The first three stages are set into Phase I and the last two stages are set into phase II. The holistic view of the structure of research is shown as follows in the next page.

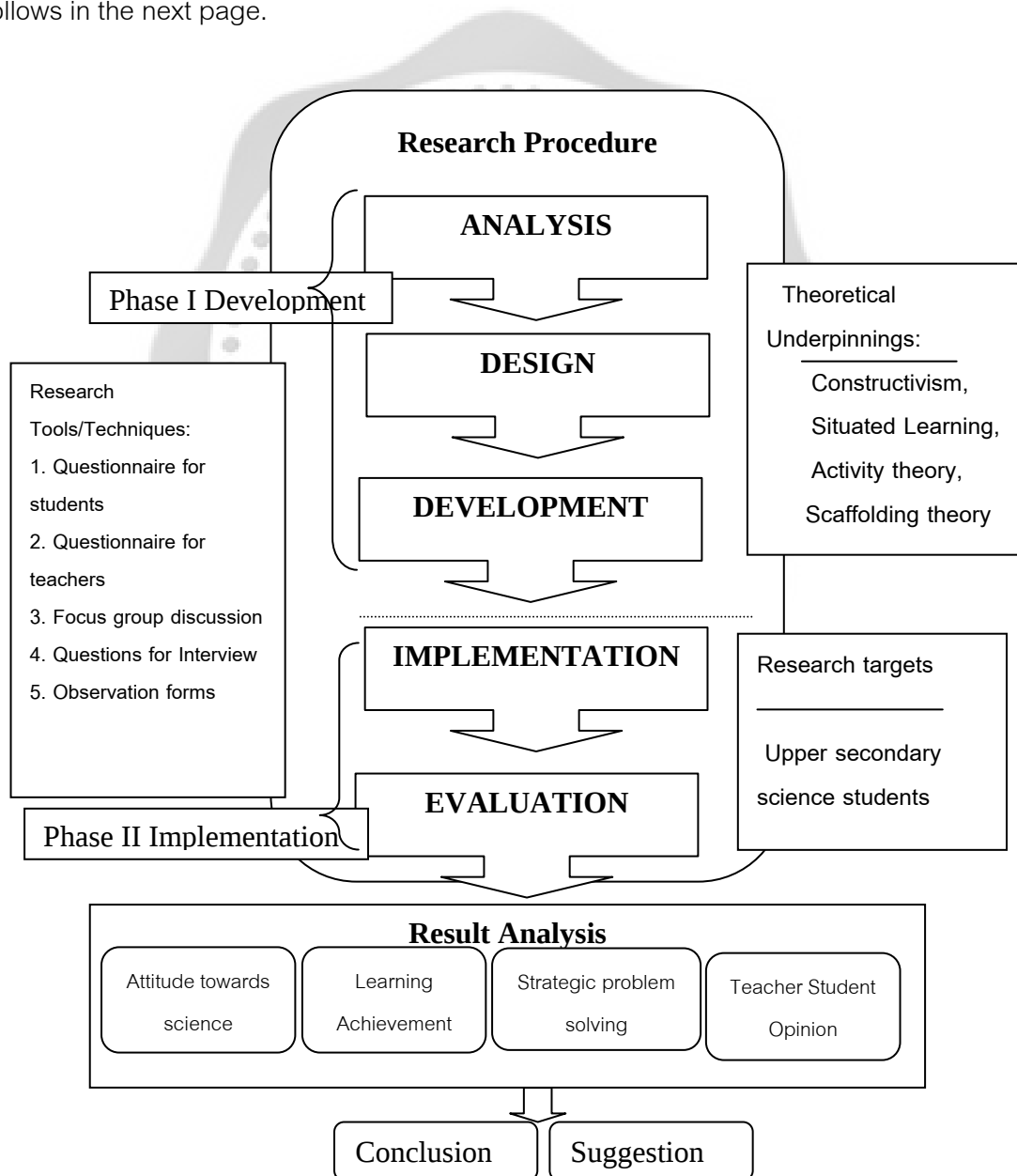


FIGURE 11 The Structure of Research Study

CHAPTER 3

METHODS

This chapter is dedicated to describe the research methods of the study by providing information regarding all instruments and tools that were used as well as research procedures. In addition, design based research as a framework for the study is described. The research methods of the study are described in an overview of the research and five parts as follows:

- An overview of the research
- Population and samples,
- Research instruments and tools,
- Research procedures,
- Data collection, and
- Data analysis.

1. An Overview of the Research

The intent of the study was to develop and investigate an epistemic platform for science learning with a computer game to motivate and engage students in learning basic concepts of nanoscience and nanotechnology, using the concepts of nanomaterial. In developing the epistemic platform, the researcher employed strategies used by commercial game and lessons from current learning theories, research on learning, and gaming in education. The epistemic platform was developed and set as the curriculum unit, consisting three learning units, for level 4 students.

As the study involved an innovative development for science teaching and learning, design-based research was employed as a large framework of the research method. The study used design-based research (Brown. 1992; & Collin. 1992) as a large framework of research methods, resulting in the use of both qualitative and quantitative data collection methods. Data collection consisted of science learning achievement pre-post testing, strategic problem solving ability pre-post testing, attitude towards science measure before and after the instruction, students' opinion towards the curriculum unit questionnaire after

the instruction, a question set for focus group discussion and individual interview after the instruction, classroom observation form during the instruction, and the teacher's opinion towards the curriculum unit interview form after the instruction. In addition, all document work from gameplay and learning activities were also taken into consideration. For data analysis, various kinds of statistics were used. Descriptive statistics such as mean and standard deviation was used to analyze correspondence of all components in the learning unit according to the experts' opinion. These were calculated by the SPSS program. The statistical technique of IOC (Index of Item-Objective Congruency) was used for checking content validity of the research instruments and tools. Cronbach's alpha was used to measure the internal consistency reliability of the attitude towards science measure.

The Kuder-Richardson 20 (KR-20) was used to calculate internal consistency reliability of the science learning achievement test and the strategic problem solving ability test.

The difficulty index and the discrimination index were used to determine item difficulty and item discrimination of the science learning achievement test and strategic problem solving ability test. Statistics of paired sample t-test and one-sample t-test analyses was used for testing hypotheses. In addition, other related descriptive statistics such as mean and standard deviation were used to analyze pre-and post-test scores of the students' science learning achievement test, the students' strategic problem solving ability test and the students' attitude towards science measure. SPSS software for window was used to analyze the obtained quantitative data.

2. Population and Samples

The population

The population of this study were the students studying in science program in level 4 (Matayomsuksa 4-6), and already completed two semesters of biology, physics, and chemistry, at the Demonstration School of Naresuan University (Mathayomsuksa) in Phitsanulok, Thailand. The school site is equipped with microcomputers with the Internet connection.

The samples

The samples of this study were the students who were studying in science program in level 4 (Matayomsuksa 4-6), and already completed two semesters of biology, physics, and chemistry, at the Demonstration School of Naresuan University in Phitsanulok, Thailand. The samples were the students who are interested in attending the curriculum unit of the epistemic platform. As thus, the samples of 32 students from grade 12th were obtained and set for the main implementation study students

However, as using design-based research as a framework for the study, other 42 participating students were also set for the research study. These were divided into two main groups. The first group of nine students was set for first trial study and the second group of 33 students was set for second trial study.

3. Research Instruments and Tools

As researching and developing an innovation for science teaching and learning by employing the so called design based research framework for the study, the researcher used various kind of research tools for collecting both qualitative and quantitative data. For the research instruments, the researcher has developed the curriculum unit consisting of three learning units. The curriculum unit of the epistemic platform of the fundamental nanoscience and nanotechnology and any related learning materials and documents were developed and considered as the research instruments of the study. The research instruments were used for science teaching and learning activities, while the research tools were used for data collection. The processes of developing the instruments and tools are detailed as follows:

3.1 Research instruments and their development process:

Research instruments that were used in this study are: 1) the computer game program and its related materials of the curriculum unit such as the lesson plans/ learning activity management plans, student activities' materials, 2) science learning achievement assessment test that are conceptual understanding test, 3) strategic problem-solving test,

and 4) attitude toward science measure, and the development processes of each instrument are detailed respectively.

3.1.1 The computer game program entitle” Nano X Project” and its related materials of the curriculum unit

Digital game technologies are now rapidly advanced in story, graphic and interactive design. Many popular commercial games use game engine, the core software component of a computer or video game or other interactive application with real-time graphics, in their development. These games using highly advanced game technologies require different group of people and a lot of money for their development. Because of the complexity of development process, developing one game may take at least two years and millions baht. In developing computer and video games, there is a number of game creation software. Among those are Panda3D, Python, DarkBasic and the Adobe Flash. In term of cost and ease in use, Adobe Flash is cheaper and easier. Thus, the researcher used Adobe Flash for developing the computer game program of the study. For this purpose, the researcher reviewed some information regarding the software program and the information is given as follows:

Adobe Flash CS3 (adobe.com), formerly *Macromedia Flash* and before that *FutureSplash*, or simply *Flash*, refers to both the Adobe Flash Player and to a multimedia authoring program used to create content for the Adobe Engagement Platform (such as web applications, games and movies). The Flash Player, developed and distributed by Adobe Systems (which bought Macromedia in 2005), is a client application available in most dominant web browsers. It features support for vector and raster graphics, a scripting language called *ActionScript* and bi-directional streaming of audio and video. Strictly speaking, Adobe Flash is an integrated development environment (IDE) while Flash Player is a virtual machine used to run, or parse, the Flash files, but in contemporary colloquial terms "Flash" can refer to the authoring environment, the player or the application files. Since its introduction in 1996, Flash technology has become a popular method for adding anima the core software component of a computer or video game or other interactive application with real-time graphics tion and interactivity to web pages; several software products, systems, and devices are able to create or display Flash. Flash is commonly used to create

animation, advertisements, various web-page components, to integrate video into web pages, and more recently, to develop rich Internet applications. The Flash files, traditionally called "Flash movies", have a .swf file extension and may be an object of a web page, strictly "played" in a standalone Flash Player, or incorporated into a Projector, a self-executing Flash movie. Initially focused on animation, early versions of Flash content offered few interactivity features and thus had very limited scripting capability. More recent versions include ActionScript, a scripting language which has syntax similar to JavaScript and so supporting JSON syntax (a variation on ECMA), but a much different programming framework and set of class libraries. ActionScript is used to create almost all of the interactivity (buttons, text entry fields, pick lists) seen in many Flash applications.

New versions of the Flash Player and authoring tool have strived to improve on scripting capabilities. Flash MX 2004 introduced ActionScript 2.0, a scripting programming language more suited to the development of Flash applications. As seen in the image to the right, it's often possible to save a lot of time by scripting something rather than animating it, which usually also retains a higher level of editability. Of late, the Flash libraries are being used with the XML capabilities of the browser to render rich content in the browser. Since Flash provides more comprehensive support for vector graphics than the browser and because it provides a scripting language geared towards interactive animations, it is being considered a viable addition to the capabilities of a browser. This technology, which is currently in its nascent stage, is known as Asynchronous Flash and XML, much like AJAX, but with possibly greater potential.

ActionScript is an ECMAScript-based programming language used for scripting Adobe Flash movies and applications. Since both ActionScript and JavaScript are based on the same ECMAScript syntax, fluency in one theoretically translates easily to the other. However, while JavaScript's DOM is browser window-, document- and form-centric, the ActionScript DOM is movie-centric, which may include animations, audio, text and event handling.

This game creation software program is considerably easier than any other game creation software in term of use but excellent in using for developing interactive media

for education. Therefore, the researcher used adobe flash CS3 as the main software in developing the computer game program for the study.

The process of designing and developing the computer game software is detailed step by step shown as follows:

1. The researcher studied and analyzed the national science curriculum standards to manage science content for level 4 students.
2. For constructing the learning content, the researcher studied and framed science content, here using fundamental nanoscience and nanotechnology, nanomaterial in particular, which consists of basic science concepts of chemistry, physics, and biology.
3. After framing science content of fundamental nanoscience and nanotechnology and learning objectives, the researcher consulted with and had the experts checked the content correction.
4. The researcher wrote the script of the computer game scenarios– writing about the details of content, words, sequence of scene, e.g, narrative or interactive parts, dialog, sound and graphic and any other effects. After that the researcher developed the story board – writing the structure of content and all gameplay events that show at the interface of the computer game and detailing the sequence of activity events of the gameplay. After all pre- production document were finished, the researcher had the dissertation committee checked the designed game scenarios and then improved,
5. When getting all information and the improved scripts and story board, the researcher consulted with and had the experts checked the content and the designed game interface.
6. The researcher and flash programmer team developed the computer game program using Adobe Flash CS3 software, then testing in small scale group of six non-sampled students to check design and usability of the developed program and then gathered feedback and result to re-design and develop the program.
7. When the computer game program were finished, the researcher developed all related learning materials and documents such as Teacher use book, lesson plans, students' documents and practices, etc. All the curriculum unit materials were proposed to

to the committee and then the researcher improved the curriculum unit materials under the feedback and recommendation from the committee.

8. The improved curriculum unit materials were proposed to and evaluated by the three experts. After getting all feedback and recommendations from the experts, the researcher re-developed and improved all the materials. The curriculum unit was used in the first trial study with a group of nine participating students to get initial data on design, usability and possibility of the curriculum unit.

9. All the materials of the curriculum unit were improved through considering data from the first trial stage. The researcher prepared and set all the improved materials for the second trial study for the checking all materials and then improved again before using in the implementation stage.

3.1.2 Science Learning Achievement Test

The science learning achievement test was mainly intended to examine the conceptual understandings, consisting of knowledge, comprehension, application of scientific concepts and process, and analysis. This test was set as the summative assessment. In addition, learning practices and exercises of the three learning units were also developed and set as the formative assessments which inspected students' performances during the instructional process.

The science learning achievement test consists of 40 multiple choices test items, each of which has four choices with only one correct answer. The procedures for constructing the learning achievement test are listed as follows.

1. All information regarding measurement and assessment of science were studied.
2. The researcher studied and analyzed the science content and learning objectives in order to develop conceptual understanding test,
3. The draft of the science learning achievement test was created and then proposed to the dissertation committee in order to get feedback for improving.
4. After improving the test documents, the researcher had the expert checked the test document to examine and verify content validity, questioning, choices,

correspondence between questions and measured behaviors, and wording by the three experts. Item Objective Congruence (IOC) was considered from a three-point rating scale assessment form consisting of 1 = corresponding, 0 = not sure and -1 = not corresponding. Items with the IOC index above 0.50 were selected and it was then revised again by applying comments and suggestions from the experts.

5. The science learning achievement test was used in the second trail with 33 participating students in 12th grade (Matayomsuksa 6) at the Demonstration School of Naresuan University to test difficulty (p) and item discrimination (r). The items with the p index between 0.20-0.80 and the r index above 0.20 were selected.

6. To determine internal consistency reliability of the science learning achievement test, the Kuder-Richardson 20 was used.

7. The science learning achievement test with reliability and validity was used in the implementation.

3.1.3 The Strategic Problem Solving Ability Test

The students' strategic problem solving ability in science learning was assessed by the strategic problem solving ability test developed by the researcher. The strategic problem solving ability test developed by adapting and modifying Sudarat's Problem Solving Test (2010) and also incorporating the ideas of Kraengsak Charernwongsak strategic thinking (2003: 15-18). The strategic problem solving ability is ability to determine optimum or the best way to accomplish the intended goal under any problematic and uncertain circumstance. The four steps of the strategic problem solving ability are: 1) Analyzing and identify the problem, 2) Searching solution and alternatives, 3) Analyzing, evaluating and making decision to choose the best solution, and 4) Checking and inspecting the results of the selected solution. For the test, problematic situation was given and the following four step questions were asked to students to assess their abilities in each step. Each of the four steps question consisting of four test items and there is only one correct answer. The strategic problem solving ability test consists of five main problematic situations. Each of situation questions consists of four choice items. In short, the test consists of 20 multiple choices. The test was used before and after implementing the three

learning units of the epistemic platform. The test development processes are detailed as follows.

1. The researcher studied and analyzed the science content of nanomaterial for developing the problematic situation to setting up questions of the strategic problem solving test.
2. The draft of strategic problem solving test was created and then proposed to the dissertation committee in order to get feedback for improving.
3. After improving the test documents, the researcher had the experts checked the test document to examine and verify content validity, questioning, choices, correspondence between questions and measured behaviors, and wording by the three experts. Item Objective Congruence (IOC) was considered from a three-point rating scale assessment form consisting of 1 = corresponding, 0 = not sure and -1 = not corresponding. Items with the IOC index above 0.50 were selected and it was then revised again by applying comments and suggestions from the experts.
4. The strategic problem solving test was used in the second trail with 33 participating students in 12th grade (Matayomsuksa 6) at the Demonstration School of Naresuan University to test difficulty (p) and item discrimination (r). The items with the p index between 0.20-0.80 and the r index above 0.20 were selected.
5. To determine internal consistency reliability of the strategic problem solving test, the Kuder-Richardson 20 was used.
6. The strategic problem solving test with reliability and validity was used in the implementation.

3.1.4 Attitude towards Science Measure

Students' attitude towards science was assessed using the attitude towards science measure which was implemented before and after using the curriculum unit. This measure was adapted from Natthapong Charoenpit (2542: 130) attitude towards science measure by using Likert framework. It aimed to examine 1) the students' cognitive and emotional feelings of the curriculum unit, 2) active participation in science learning activities, and 3) value of the curriculum unit. The attitude towards science measure

consists of 30 items which are five-point rating Likert Scale consisting of: 1= strongly disagree, 2 = disagree, 3 = neutral, 4 = agree and 5 = strongly agree.

The test development processes are detailed as follows:

1. The researcher studied the information regarding research tools and then developed the draft of the attitude towards science measure,
2. The draft measure was proposed to the dissertation committee in order to validate the draft. After that, the draft of attitude towards science measure was improved by applying comments and suggestions from dissertation committee.
3. The attitude towards science measure was used in the second trail with 33 participating students in 12th grade (Matayomsuksa 6) at the Demonstration School of Naresuan University to determine internal consistency reliability of the measure using Cronbach's alpha (α).
4. The attitude towards science measure with internal consistency reliability was used in the implementation.

3.2 Research Tools and Their Development Processes:

Research tools that were used in this study are: 1) the experts' curriculum unit evaluation form, 2) the participating teacher opinion towards the curriculum unit interview form, 3) the classroom observation form, 4) the questionnaire of students' opinion towards the curriculum unit, 5) the question set for focus group discussion and individual interview. The processes of the research tool development are detailed as the followings.

3.2.1 The experts' curriculum unit evaluation form

The curriculum unit evaluation form was developed for examining and verifying the curriculum unit on the basis of its content validity, appropriateness, and consistency of all components (e.g., background and rationale, goals of the learning unit, grade level, contents, learning activities, instructional materials, and assessment and evaluation). This form was used by the group of three experts consisting of a nanotechnology educator, a specialist from educational technology and an experienced chemistry teacher. The experts' evaluation form aimed to examine: the curriculum unit's validity, appropriateness and

qualities. The part one of the evaluation form is to examine the internal consistency of all the curriculum unit materials. In this part, a questionnaire consists of three-point rating scale consisting of 1 = corresponding, 0 = not sure and -1 = not corresponding. The part one questions end with a comment and suggestion section spaces from the experts. For the part two of the form, the questions were set to examine the curriculum unit's appropriateness and quality in the views of the experts. The part two questions are five-point rating Likert Scale measures consisting of: 1= strongly disagree, 2 = disagree, 3 = neutral, 4 = agree and 5 = strongly agree. The appropriateness and quality questions end with a comment and suggestion section. The developmental processes of the experts' curriculum unit evaluation form are detailed as the followings.

1. The researcher studied and determined elements for evaluating the curriculum unit and the related materials.
2. The evaluation form draft was developed according to the determined elements.
3. The evaluation form draft was proposed to the dissertation committee to validate elements in the draft.
4. After received the draft from the dissertation committee, the evaluation form was improved by applying comments and suggestions.
5. The curriculum unit evaluation form was used after the curriculum unit materials were completely developed.

3.2.2 The participating teacher's opinion towards the curriculum unit interview form

The participating teacher's opinion towards the curriculum unit was assessed by the teacher's opinion towards the curriculum unit interview form. The interview form consists of 10 open-ended questions. This form was used by the researcher to interview the participating teacher after implementation of the whole the curriculum unit to collect data about using the curriculum unit, problems and suggestions. The developmental processes of the form were detailed as follows:

1. The researcher studied and determined elements for interviewing the participating teacher's opinion towards the curriculum unit.
2. After that, the interview form draft was developed and then proposed to the dissertation committee to validate the elements of the interview form.
3. The researcher improved interview form draft applying comments and suggestions from the dissertation committee.
4. The improved interview form draft was proposed to the three experts and the improved the draft again by applying the experts' comments and suggestions.
5. This form was used by the researcher to interview the participating teacher after implementation of the whole the curriculum unit to collect data about using the curriculum unit, problems and suggestions.

3.2.3 Classroom Observation Form

In order to get in-depth data on how students learn in terms of all kinds of action and interaction occurring in the classroom, the classroom observation form was develop to find out the mechanisms and dynamics of the classroom activities. To find out how learning occurred in this kind of game like science learning, the classroom observation form was employed by the researcher to get qualitative data. The classroom observation form consists of six open-ended questions. The question focused on the computer game and student interactions, student and student interactions, student and teacher interaction, classroom learning activity mechanisms and dynamics, classroom atmosphere, and students' key actions during the learning activities. The form was used by the researcher during the implementation. The developmental processes of the form were detailed as follows:

1. The researcher studied and determined elements for classroom observation form.
2. After that, the classroom observation form draft was developed and then proposed to the dissertation committee to validate the elements of the form.
3. The researcher improved classroom observation form draft by applying comments and suggestions from the dissertation committee.

4. The classroom observation form draft was proposed to the three experts and then improved the draft again by applying the experts' comments and suggestions.

5. This form was used by the researcher during the implementation

3.2.4 The Questionnaire of Students' Opinion towards the Curriculum Unit

To examine the curriculum unit in term of the targeted users' perspective, questionnaire of students' opinion towards the curriculum unit was used to collect both quantitative and qualitative data. The questionnaire was intended to find out students' opinion towards the curriculum unit while they performed during the curriculum unit implementation such as curriculum content, computer game program, instructional activities, instructional materials, and overall of the curriculum unit. The questionnaire consists of 15 items which are five-point rating Likert Scale consisting of: 1= strongly disagree, 2 = disagree, 3 = neutral, 4 = agree and 5 = strongly agree.

The developmental processes of the questionnaire were detailed as follows:

1. The researcher studied and determined elements for the questionnaire.
2. After that, the questionnaire draft was developed and then proposed to the dissertation committee to validate the elements of the questionnaire.
3. The researcher improved the questionnaire draft by applying comments and suggestions from the dissertation committee.
4. The questionnaire draft was proposed to the three experts and then improved the draft again by applying the experts' comments and suggestions.
5. The questionnaire of students' opinion towards the curriculum unit was used in the second trail with 33 participating students in 12th grade (Matayomsuksa 6) at the Demonstration School of Naresuan University to check the ambiguity in the language of questionnaire's questions. The gathered data from second trail study were used to revise the questionnaire and also to improve the curriculum unit for using in the curriculum implementation study phase.
6. This questionnaire was used with all participating students after the implementation.

3.2.5 The Question Set for Focus Group Discussion and Individual Interview

The question set for focus group discussion and individual interviews was developed to collect qualitative data for getting in-depth understandings about students' learning process, active interaction, environment and learning activities that impact on students' science learning achievement. The question set was used in four rounds: In the first step of the study, the question set was used in the pre production while conducting with six non sampled students to check the design and usability of the first version of the computer game. This question set was also used in the first trial with nine students, the second trial study with 33 students and the implementation with 32 students. In each round of data collection using the question set, the obtained data were used to inform the curriculum unit improvement and development. The question set consists of seven open-ended questions. This question set was used by the researcher to run focus group discussion with three groups of four students and to interview with the three selected students according to their performance in science learning achievement test score.

The developmental processes of the form were detailed as follows:

1. The researcher studied and determined elements of the question set
2. After that, the question set draft was developed and then proposed to the dissertation committee to validate the elements of the question set.
3. The researcher revised the question set draft by applying comments and suggestions from the dissertation committee.
4. The revised question set draft was proposed to the three experts and then improved again by applying the experts' comments and suggestions.
5. This question set was used by the researcher to run the focus group discussion with three groups of four students and the three selected students in the second trial and implementation. It was also used in the pre production of the study and the first trial study.

To make the research study valid and reliable, the researcher proposed the committee to appoint the group of the experts for checking the quality and validity of the research instruments and tools. As the study involved developing a kind of educational technology for science teaching and learning, the experts were diverse in such discipline as

scientist, science teacher, computer scientist or programmer, faculty from university in department of curriculum and instruction and educational technology. The list of experts was detailed as follows:

1. An expert of nanoscience and nanotechnology content,
2. An expert of educational media design or educational technology,
3. An expert of science teaching, i.e., experienced science teacher with at least 5 year teaching experience

This group of the experts was set for considering and checking all research instruments and tools that were used in the study such as considering the content validity using IOC, the assessment form, science learning achievement test, strategic problem solving ability test, etc. In addition, the researcher also consulted with the three experts along the research study.

4. Research Procedures

Brief Description of Research Procedures

The epistemic platform for nanoscience and nanotechnology with a computer game was developed and considered as the curriculum unit for level 4 science students. The curriculum unit was divided into the three science learning units. The learning management strategy for using the curriculum unit in classroom instruction is the Learn to Play and Play to Learn learning approach (LPPL) developed by the researcher. As the main purpose of the study was to develop and investigate an innovation for science teaching and learning, the researcher employed design based research (Brown.1992; & Collin. 1992) as a large framework for the research study. Barab and Squire (2004) clarified that design based-research involves introducing innovations into the booming, buzzing confusion of real-world practice, not as that in laboratory context, and examining the impact of those designs on learning process. The DBR collective (2003) suggested that design based research approach is the continuous cycle consisting of design, enactment, analyses and redesign. This cycle is shown as follows:

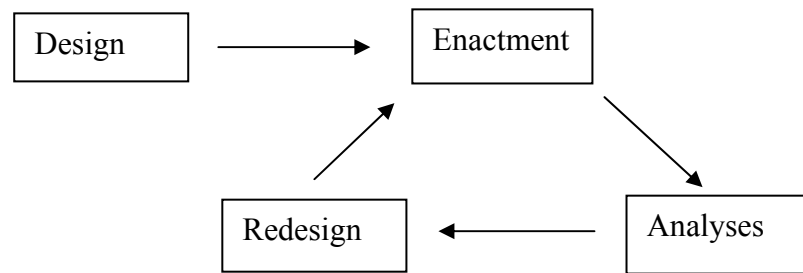


FIGURE 12 Design-based Research

Source: Adapted from DBR Collective. (2003) *Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry*.

As a result, the researcher used multiple methods, both qualitative and quantitative, as a part of a larger design-based research study. From the framework of design-based research mentioned previously, the research procedure was derived and set into the two main phases. Phase I: development of the epistemic platform for science learning with a computer game, the curriculum unit, and phase II: implementation of the epistemic platform. The whole research procedure is depicted as the following:



FIGURE 13 PROCEDURES OF THE RESEARCH STUDY

According to the structure of the research study mentioned previously, the research study consists of two main phases:

Phase I Development of the epistemic platform for science learning with a computer game, the curriculum unit,

Phase II Implementation of the epistemic platform.

In phase I, the innovative computer game program and its related materials were developed under consulting with game designers, gamers, science teachers, nanoscientists, nanotechnologists and specialists in the field of curriculum and instruction and educational technology. Throughout the implementation of phase II, the researcher documented the effects of the curriculum unit by evaluating impact of the epistemic platform on learning including students' science learning achievement, strategic thinking in problem solving in term of strategic problem solving ability, attitude toward science, and students' and teachers' opinions toward the epistemic platform.

Research Design

In this study, One Group Pretest-Posttest Design was used as the experimental design.

	Pretest	Treatment	Posttest
Experimental Group	OE1	X	OE2

Research Procedures

In this part, the two main phases of research procedures are detailed respectively. As depicted in the FIGURE 12, the two main phases are divided into 5 stages: Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation. The first three stages are set into Phase I and the last two stages are set into phase II. Each phase is described in step by step and shown as follows:

Phase I Development of the epistemic platform for science learning with a computer

In this phase, there are three stages in developing the epistemic platform and it related materials. These are stage1) Analysis, stage 2) design, and stage 3) development of the epistemic platform and each of them are detailed as follows:

Stage 1) In the analysis stage, the researcher started with brainstorming with the two participating experienced teachers. The researcher studied and framed science content, here using fundamental nanoscience and nanotechnology, including nanomaterial. The researcher also then studied and analyzed the national science curriculum standards to manage science content and learning objectives for level 4 students. In the next step, the researcher continued to study about designing and integrating computer and computer game technologies for learning science. In each of this step, the researcher documented and consulted with experts and specialist from different disciplines. In developing nanoscience and nanotechnology content, the researcher selected and analyzed the important concepts of nanomaterial and then had the experts in field of nanoscience or nanotechnology checked for the correction of the concepts. After that, science learning objectives of the curriculum unit were developed and divided into three different science learning units under consulting with experts in this field. The results of this stage were the main concepts of fundamental nanoscience and nanotechnology, including nanomaterial, and learning objectives.

Stage 2) In this step, the researcher worked closely with gamers and game designers in order to design a computer game and its related material for science learning activities of the epistemic platform. The process of game design and development consists of many steps: story design, graphic design, narrative design, and interactive design. In designing story, to engage students with compelling story, the researcher chose the scenarios of research competition of the project management in developing nano-superclothes for military purpose. From the game designer perspectives, learners are put into the state of a player to play a role as a research project team leader to develop the superclothes for protecting future soldiers by utilizing the unique properties of nanomaterial for this purpose. In the process, the researcher then developed the graphic, narrative and interactive system of game interface simultaneously. After that the researcher proposed the framework to dissertation chairman and committee to get feedback. The result of this stage was the plan of computer game development that are: script and story broad of the game scenarios and related learning materials.

Stage 3) After getting all kinds of information, the researcher created the game program by working with computer programmers. Using Adobe FlashTM CS3 software, the computer game program was obtained to engage students in simulated real world practice which is authentic and meaningful for them in science learning. Along with the computer game program, the researcher also developed related learning materials as well as research instruments and tools that are previously described in the section of research instruments and tools.

The back-story of game scenarios is described below.

The Description of Back-Story of the Game

The story design of the computer game used in this study was set as scientific research competition scenarios. The two research teams, one of those were leaded by students as players, role-play, and another team was computerized, were selected from the agents of the Ministry of Military to develop superclothes for soldiers' use in the future war using nanomaterials.

In the scenarios of computer game, players as a leading scientist are called to apply for joining the special research project call "the X Project" of military research center. Students as a player need to compete with others to be the leader of the team to study and use new material that can be used for military purpose. Players need to form their team by selecting computerized agents who could help and consult with throughout the game. In the project, students as a player needed to think carefully and planed everything about this to get their job done right on time. At the same time, the government also has another team do the same thing as a player team has. This means that the government assigns the same project to two development teams. Therefore, both teams have to compete with each other to win the contract from the government. For the project management of developing superclothes using nanomaterial for military purpose, players have to work smartly to compete with another team. As such, students as players need to think strategically and creatively for their final product to convince the government to select them as the winner.

Throughout the epistemic platform for science learning with a computer game, students encounter various kinds of problem which require them to use various kinds of

problem solving strategy, knowledge and thinking skills. As thus, they also simultaneously develop their conceptual and procedural knowledge through interaction with computer agents, their peers, and teachers who play a role as a facilitator both in gameplay and social context outside the gameplay.

The curriculum unit of the epistemic platform consists of three science learning units: 1) the fundamental concepts of nanoscience and nanotechnology, 2) the basic concepts of nanomaterial, 3) Nanosafety. The learning units of the curriculum unit are set and shown as the following TABLE 3.

TABLE 3 LEARNING UNITS OF THE CURRICULUM UNIT

Unit	Topic	Time (Period)	Game scenarios
1	The fundamental concepts of nanoscience and nanotechnology	4	Simulation, role-playing
2	The basic concepts of Nanomaterial	6	Strategy, role-playing and simulation
3	Nanosafety	2	Role-playing and simulation

In order to check the readiness before implementation, the research instruments and tools were tried out in two trial studies. Before that, the initial study was conduct with six non-subject students in the pre production phase to check the design and usability of the first version of computer game program and related learning materials. In addition, there were two more stages for the trial studies. The first trial study was set with nine students to check design, possibility and usability of the all three science learning unit. After that, the improved three science learning units and all related research instruments and tools were used in the second trial study with 33 students to check all readiness and qualities

before being used in the implementation. From the trial studies, feedback and data was obtained to improve and develop the curriculum unit and also to check the validities. These feedbacks and data informed about how to re-design and re-develop the curriculum unit of the epistemic platform. Before implementing the curriculum unit, the researcher had the experts evaluated the curriculum unit. After that all materials of the curriculum unit were improved before implementing in classroom setting.

Phase II Implementation

In the class implementation phase, a group of 32 students was set as the targeted group for the implementation study. The curriculum unit of the epistemic platform consists of three learning units and was set as 12 period long activities. The curriculum unit was implemented in classroom setting on every Monday and Tuesday of the period of November 8-9, 15-16, and 22-23, 2010. The learning activities were conducted two hours each day for three weeks, collectively 12 hours. In the implementation stage of the curriculum unit, before the curriculum unit implementation, the participating teacher did the workshop with the researcher to understand the learning activities and processes and how to run all materials and science learning activities. During the periods of implementation the researcher followed and evaluated the curriculum unit implementation using various kinds of research instruments and tools, detailed in the data collection section.

5. Data Collection

Quantitative data collection

Quantitative data collection methods are described as the followings:

1. Pre-testing students with the science learning achievement test, strategic problem-solving test and attitude towards science measure.

2. Implementing the curriculum unit,

During science learning activities, the classroom observation form was used. The document work and product of gameplay tasks on the computer game produced by students during learning activities were taken into consideration.

3. Post-testing students with the same research instruments and tools as the pre-testing ones.

4. Administering the questionnaire of students' opinion towards the curriculum unit to all participating students after the implementation.

Qualitative data collection

Qualitative data collection methods are described as follows:

1. The researcher had individual interview with the teacher who implemented the curriculum unit to examine the teacher's opinion towards the curriculum unit.
2. The classroom observation form was used by the researcher during the science learning activities of the curriculum unit
3. The researcher used the question set to have focus group discussion with the selected three groups of four participating students, 12 in total, after implementing the curriculum unit.
4. The researcher used the question set to interview with three selected participating students according to their performance on science learning achievement test.

6. Data Analysis

As the researcher used multiple methods, both qualitative and quantitative, as a part of a larger design-based research study, various kinds of data analysis methods were employed. For qualitative data, all data from classroom observation form, focus group discussion and individual interview with three selected students and the participating teacher were analyzed and interpreted logically in term of a descriptive report. While quantitative data were analyzed using statistics detailed as follows:

6.1 Basic Statistics

The basic statistics such as mean, standard deviation and percentage were used to analyze the score from the science learning achievement test, the strategic problem solving test, attitude towards science measure, and the questionnaire of the students' opinion toward the curriculum unit. These were calculated by the SPSS for Window program.

6.2 Statistics for Testing Materials

The statistics for testing materials that were used in the study are: 1) The Index of Item Objective Consistency (IOC), 2) Cronbach's Alpha (α), 3) The Kuder-Richardson 20 (KR-20), 4) The Difficulty Index, and 5) the Easiness Index and the Discrimination Index. Each statistic is detailed as follows:

6.2.1 The Index of Item Objective Congruence (IOC)

The Index of Item Objective Congruence was used to analyze correspondence of all components in the curriculum unit, and objective correspondence of the science learning achievement test and the strategic problem solving test. The Index of Item Objective Congruence was calculated from the following formula:

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

Where

- IOC is Index of Item Objective Congruence
- R is Rating scores
- N is Number of cases in the set of scores

6.2.2 Cronbach's Alpha (α)

Cronbach's alpha was used to measure the internal consistency reliability of the attitude towards science measure. Formula for calculating the Cronbach's alpha is as follows (Kerlinger; & Lee. 2000: 656).

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

Where

- α is The Cronbach's alpha
- k is The number of items on the test
- V_i is The variance of the each score
- V_t is The variance of the total scores

6.2.3 The Kuder-Richardson 20 (KR-20)

KR-20 was used to calculate internal consistency reliability of the science learning achievement test and the strategic problem solving ability test. Formula for calculating the KR-20 is as follows (Kerlinger; & Lee. 2000: 656).

$$r_{tt} = \frac{k}{k-1} \left(\frac{V_t - \sum p_i q_i}{V_t} \right)$$

Where r_{tt} is Reliability of the test
 k is The number of items on the test
 V_t is The variance of the total scores
 p_i is The proportion of test takers who answer item-i correctly
 q_i is The proportion of test takers who answer item-i incorrectly

6.2.4 The Difficulty Index (p)

In analyzing the test items difficulty (p) of the achievement test, the Difficulty Index was used. The Difficulty Index formula is shown (Taweerat. 1997: 129) as follows:

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

Where p means the item difficulty
 R means the number of students who answered the item correctly
 N means the total number of students who answered the item

6.2.5 The Discrimination Index (r)

In analyzing the test items of discrimination (r) of the science learning achievement and strategic problem solving ability tests, the discrimination index was used and computed by using the following formula ((Saiyod; & Saiyod. 2000: 199-201):

$$r = \frac{S_U - S_L}{N(X_{\max} - X_{\min})}$$

Where r is Discrimination index
 S_U is Sum of scores in the Top group
 S_L is Sum of scores in the Bottom group
 N is The number of students in the Top group or the Bottom group
 $X_{\max}$ is The student's highest score
 $X_{\min}$ is The student's lowest score

6.3 Statistics for Testing Hypotheses

There are two main kinds of statistics used for testing the hypotheses.

The statistics are 1) paired sample t –test and 2) one sample t-test detailed as the followings:

6.3.1 Paired sample t-test dependent statistic

The students' science learning achievement pre-post test scores, the students' strategic problems solving ability pre-post test scores and attitude towards science measure before and after intervention score were used in paired sample t-test dependent statistical analysis to find out the difference between before and after intervention of the curriculum unit. The formula of paired samples t-test dependent statistic (Taweerat, 1998: 176) was shown as follows:

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}}$$

Where t means t- Distributions
 D means post-pre test score difference
 $\sum D$ means sum of post-pre test score difference
 $\sum D^2$ means square of sum of post-pre test score difference
 n means number of students

6.3.2 One sample t-test statistic

The students' opinion towards the curriculum unit scores was used to examine the effect of curriculum unit in term of users' opinions. The scores were used in testing with the one sample t-test statistics. The formula of one sample t-test statistic (Ferguson. 1976: 152) was presented as follows:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{N}}}$$

t	means the t distribution
$\bar{x}$	means the sample mean
μ	means the determined criteria
S	means the standard error of mean
N	means the number of the students

6.3.3 The basic statistics of mean and standard deviation

The level of the students' attitude towards science and opinion towards the curriculum unit of the epistemic platform was evaluated by comparing mean score of the students' opinion towards science with the criteria of 3.51 categorized in five levels as follows.

The mean score 4.51 - 5.00 interpreted as the highest level

The mean score 3.51 - 4.50 interpreted as the high level

The mean score 2.51 - 3.50 interpreted as the medium level

The mean score 1.51 - 2.50 interpreted as the low level

The mean score 1.00 - 1.50 interpreted as the lowest level

CHAPTER 4

RESULTS OF THE STUDY

This chapter is dedicated to describe the results and findings from the study.

The data obtained from various phase of the study are presented, analyzed and discussed. As this research study was to develop the epistemic platform for science learning with a computer game on the content of fundamental nanoscience and nanotechnology and to examine the effect of the epistemic platform on level 4 students (Matayomsuksa 4-6), the chapter starts with the results and findings from phase I of the development of the epistemic platform and then follows by phase II of Implementation of the epistemic platform.

1. PHASE I the Development of the Curriculum Unit of the Epistemic Platform

In developing the curriculum units of the epistemic platform, there are three main steps consisting of 1) analysis, 2) design, and 3) development of the epistemic platform as described in the chapter 3. The products from this phase are three learning units on the contents of fundamental nanoscience and nanotechnology along with computer game software and other related teaching and learning materials.

In analysis step, the researcher studied and analyzed all related information and documents consisting of National Science Curriculum Standards of the BEC 2001, nanoscience and nanotechnology books and relevant websites to develop the contents of fundamental nanoscience and nanotechnology, learning objectives, and assessment methods. After that, the researcher studied and developed learning strategies, using computer game technologies, and learning approach that fits properly with this kind of science learning. Besides, the researcher also designed and embedded strategic problem solving activities within the learning units and planed to assess students' ability of strategic thinking in problem solving in term of strategic problem solving abilities.

As getting all information needed, the researcher designed and developed the computer game program called" Nano X Project". The computer game program was set and divided into three episodes consisting of: episode I used in the learning unit one on the content of fundamental nanoscience and nanotechnolgy, episode II used in the learning unit

two on the content of basic concepts of nanomaterials, and episode III used in the learning unit three on the content of nanosafety.

In fitting nanoscience and nanotechnology into high school science, the thing that has to be taken into consideration is national science curriculum standards that are prescribed for teachers in implementing science teaching and learning at all levels. When analyzing basic science concepts of nanoscience and nanotechnology, by comparing the concepts of nanomaterial in particular to national science curriculum standards, it is found that there is the alignment between both of them. The basic science concepts of nanoscience and nanotechnology address the standards are shown below:

National science curriculum standards

Sub-strand 3 :Matters and Properties of Matters

Standard Sc 3.1 :The student should be able to understand properties of matters, relationship between properties and structures and forces among particles, have skills in investigative processes and possess a scientific mind, communicate acquired knowledge and make positive applications of knowledge.

Standard Sc 3.2 :The student should be able to understand the principles and nature of change of states of matters, formation of solution, chemical reaction, master investigative processes and possess a scientific mind, communicate knowledge acquired and apply it positively.

In analyzing the contents and concepts of nanomaterial, the basic science concepts of nanoscience and nanotechnology are obtained and set as follows:

- 1) The idea of nano-scale and other fundamental nanoscience and nanotechnology concepts, set in the learning unit one of the emergence and development of nanoscience and nanotechnology
- 2) Physical, biological, and, chemical properties of nanomaterials,

3) Synthesis of nanomaterials and other fabrication methods,

4) Nanoproduct production and development, e.g., nanoclothings

Topic 2), 3) and 4) are set in the learning unit two of nanomaterial,

5) Nanosafety as nanoscience and nanotechnology ethics, set in the learning unit three of the impact of nanomaterial use on human, society and environment.

From the ideas mentioned previously, the fundamental concepts of nanomaterial were chosen for secondary science and shown as the followings:

1. the historical perspective – nature of science,
2. the ideas of nano scale- Structure of Atoms, kind and number of elementary particle of atom, size-dependent properties of nanomaterials
3. the exemplary nanomaterials- nano Ag, TiO_2 , ZnO, C nanotube,
4. nanomaterials and nanofabrication- chemical and physical synthesis, chemical reaction,
5. nanomaterials and its properties- physical, biological and chemical properties,
6. nanomaterials and its application – chemical synthesis, chemical reaction,
7. nanosafety, the impact of using nanomaterials on human, society and environment.

From the synthesized contents and concepts of fundamental nanoscience and nanotechnology, these can be assigned and set into three science learning units of the curriculum unit. The three science learning units of the curriculum unit are presented as the following table.

TABLE 4 CONTENTS AND GAME ACTIVITIES OF THE CURRICULUM UNIT

Learning Units	Computer game program	Learning activities
1. Fundamental concepts of nanoscience and nanotechnology	Nano X Project episode 1	In gameplay- getting task information, applying to the project writing the project plan/ proposal
2. Introductory nanomaterial	Nano X Project episode 2 using nanomaterials, strategic problem solving activities	Performing research topic1 and 2 in developing battlesuit
3. Nanosafety	Nano X Project episode 3	realizing the impact of Nanosafety, analyzing and constructing regulation plan

As a game-like science learning that uses computer game as the central part of the learning activities, the specific learning approach was developed and used for the science learning activities. The so called” Learn to Play-Play to Learn Approach, previously presented and detailed in chapter 2, was used in all the three learning units.

When the all research instruments and tools were finished, the researcher conducting the study using a large framework of design based research to collect various kinds of data to re-design and re-develop the curriculum unit of the epistemic platform. In this phase, the results and findings from the curriculum unit evaluation by the experts, the first trial study with nine students, and the second trial study with 33 students are analyzed presented and initially discussed.

1.1 The Results from the Curriculum Unit Evaluation by the Experts

The curriculum unit of the epistemic platform for science learning with a computer game was evaluated by the three experts to check its consistency and qualities. In term of

the curriculum unit consistency the data were calculated and are presented in the TABLE 5 as follows:

TABLE 5 THE CURRICULUM UNIT CONSISTENCY EVALUATION

The considered items	N=3		Interpretation
	IOC	S.D.	
1. The curriculum unit goals with the society need	1.00	0.00	consistent
2. The curriculum unit goals with the LPPL approach	1.00	0.00	consistent
3. The curriculum unit goals with learning outcomes	1.00	0.00	consistent
4. The curriculum unit goals with the contents	1.00	0.00	consistent
5. The curriculum unit goals with lesson plan	1.00	0.00	consistent
6. The curriculum unit goals with the assessment	1.00	0.00	consistent
7. The curriculum unit goals with the computer game	1.00	0.00	consistent
8. The contents with the learning activities	1.00	0.00	consistent
9. The curriculum unit with students' pre knowledge	0.67	0.58	consistent

From the above TABLE 5, the results of Index of Item Objective Consistency (IOC) showed mean scores between 0.67 -1.00, indicating that every component of curriculum unit evaluated by the three experts is consistent with one another. However, it was noticed that the evaluated item 9 was lower than the others. This could be the reason that this kind of content is very new and mostly found in the university levels and not found in the national science curriculum standards. As thus, the curriculum unit was designed and developed to suitable to high school students in term of the design of a game computer, science learning activities, and related learning materials.

In term of the qualities of the curriculum unit, the second part of the expert's evaluation form was set for rating scale of quality level for checking. The mean score, standard deviation and quality level of the curriculum are presented in the TABLE 6.

TABLE 6 CURRICULUM UNIT QUALITIES EVALUATION

The evaluated items	N=3		Quality Level
	Mean	S.D.	
1. Over all of the Curriculum unit			
1.1 The contents			
1.1.1 The content correctness	4.00	0.00	High
1.1.2 Language suitability and clarity	3.67	0.58	High
1.1.3 Learning objective consistency	4.00	4.00	High
1.1.4 Suitability of contents in each unit	4.00	0.00	High
1.1.5 Suitability of content ordering	3.67	0.58	High
1.1.6 Suitability to learner	3.67	0.58	High
1.1.7 Content structure clarity and pre-new knowledge relation	4.00	0.00	High
1.2 The Learn to Play-Play to Learn Approach			
1.2.1 Suitability to the contents and the computer game	4.00	0.00	High
1.2.2 Consistency with theoretical underpinnings	4.00	0.00	High
1.2.3 Suitability to Learner	4.00	0.00	High
1.2.4 Suitability to and consistency with learning objective	4.00	0.00	High
1.3 Integration of Strategic problem solving technique			
1.3.1 Suitability to contents and the learning approach	4.33	0.58	High
1.3.2 Supporting and developing student's problem solving and higher ordered thinking	3.67	0.58	
1.4 Science Learning Activities and Related Teaching-Learning Materials			
1.4.1 Suitability and consistency among learning activities and learning activity ordering	4.00	0.00	High
1.4.2 Suitability among Learning material and learner	4.00	0.00	High
1.4.3 ease in use of learning material	3.67	0.58	High
1.4.4 Teacher use guide's correctness	4.00	0.00	High
1.4.5 ease in use of teacher use guide	4.00	0.00	High
1.4.6 Lesson plan correctness and suitability	4.00	0.00	High

TABLE 6 (continued)

The evaluated items		N=3		Quality Level
Mean	S.D.			
1.4.7 Learning activity duration		4.00	0.00	High
2 The Computer Game entitled" Nano X Project				
2.1 Game Interface Design				
2.1.1 Suitability, ease in use,		4.00	0.00	High
2.1.2 Clarity and ease to read of color and alphabet		3.67	0.58	High
2.1.3 Meaningfulness and content consistency of static and motive graphics		4.00	0.00	High
2.1.4 Beauty of static and motive graphics		4.00	0.00	High
2.2 Game Representation				
2.2.1 Interesting content presentation		4.00	0.00	High
2.2.2 Flow and consistency of story driving		4.00	0.00	High
2.2.3 Learning motivation of Representation		4.33	0.58	High
2.2.4 Interest		4.33	0.58	High
2.2.5 Guiding information provided		4.33	0.58	High
2.3 Game Interactive Design				
2.3.1 Ease in use and Understandability		3.67	0.58	High
2.3.2 Suitability of Interactivity		4.00	0.00	High
2.3.3 Consistency of the contents and Interactivity		4.33	0.58	High
3. Science learning Assessment				
3.1 Test item clarity		4.00	0.00	High
3.2 Suitability of Amount of Items		4.00	0.00	High
3.3 Coverage of practice and test		4.00	0.00	High
3.4 Consistency to the contents		4.00	0.00	High
3.5 Suitability to learner		4.00	0.00	High

From the TABLE 6, the mean score of 3.67 to 4.33 indicates that the curriculum unit is suitable and has high quality. As the results, it is implied that the curriculum unit is appropriate in terms of content, the learning approach, Integration of strategic problem solving technique, teaching and learning activities, the game computer and related learning materials, and science learning assessment.

However, there are some notions on the computer game Nano X Project used for science learning activities. Its mean score was low compared to other components of the curriculum unit. This was taken to consideration of the game design and then re designed and developed. In addition, the mean score learning activity duration was also low. This was considered to be adjusted time duration to be longer. Overall, it was revealed that the qualities of the curriculum unit were well prepared and interesting.

As thus, the curriculum unit can be used for high school students.

In addition to quantitative data, the three experts' suggestions for improving the curriculum unit were presented and discussed. In term of the computer game design and learning activities were a little bit complicated to use. In addition, the document work should be modified to be suitable to high school student level. This should be improved and revised to make it more suitable. As the experts' comments and suggestions, the game computer was redesigned and redeveloped, along with the related learning materials. All the curriculum unit materials were to be used in the first trial study.

1.2 Results from the First Trial Study

Before conducting the first trial study, the researcher did develop the first version of the game computer Nano X Project and relating materials. The developed game computer and relating materials were used with six non subject students, but had the required characteristics for the research study. This initial study was to check the design and usability of the game computer and relating learning materials. In this study, the science learning achievement test draft was used to check students' increment of conceptual understandings of the fundamental nanosciene and nanotechnology. In addition, focus group discussion and interview with three selected students were used to reflect and get in-depth data to check the design and usability. From the study, it was found that the

epistemic platform for science learning with a computer game is positive in term of students' conceptual understanding increment and motivation. It is also found that the ability to engage in inquiry in an authentic setting was powerful for students. However, some modifications were needed on computer game design. The provided useful data from the initial study were used to re-design and develop the computer game and surrounded learning activities along with other learning materials. These were set and used in the first trial study.

In the first trial study, all the developed curriculum unit materials were used with nine participating high school students. The nine high school students from grade 12th (Matayomsuksa 6) in the first academic year of 2010 at the Demonstration of Naresuan University, Phitsanulok, were chosen by volunteering and screened by interviewing in term of characteristics of the sample. The curriculum unit was used in the periods of students' self study which was four hours each week: two hours on Tuesday and other two on Thursday. The nine students were randomly divided into three group of three and performed the learning activities in periods of time shown as follows: The learning unit 1 was set and run on June Tuesday 15th and Thursday 17th, 2010, the learning unit 2 was set and run on June Tuesday 22nd, Thursday 24th, and Tuesday 29th 2010 and the learning unit 3 was set and run on July 1st, 2010. In this study, the employed research tools were science learning achievement test, and the question set for focus group discussion and individual interview.

As data collection, science learning achievement tests were used to all students before and after intervention of the curriculum unit. For focus group discussion, six students were randomly chosen. Individual interview technique was used with three selected students according to their performance on the test: top, middle and lowest scorers. The data were presented and described respectively as follows:

Students Science Learning Achievement

The science learning achievement test scores were calculated and are presented in the TABLE 7.

TABLE 7 THE COMPARISON OF SCIENCE LEARNING ACHIEVEMENT MEAN SCORE
BETWEEN BEFORE AND AFTER INTERVENTION OF THE FIRST TRIAL STUDY

Score	N	df	M	S.D.	t.	α
Pre-Test	9	8	8.33	1.41	16.867	0.05
Post-Test	9	8	21.33	4.24		

$$T_{(0.05, df 8)} = 2.306 \quad df = N-1$$

The results from the TABLE 7 show that the mean score are significantly different at the 0.05 level. This indicated that students' learning achievement post-test scores are higher than the pre-test ones. As a result, it was confirmed that the curriculum unit effect on students learning is positive in term of conceptual understanding increment.

To get data for redesign and redevelop the curriculum unit, the researcher examined the participating students' opinion towards the curriculum unit using the question set for focus group discussion and individual interview. The data obtained from the focus group discussion and individual interview were inductively analyzed and presented as the followings.

There were some suggestions on the computer game program and it related learning materials from qualitative data of focus group discussion and individual interview. There were some modification needed to be fixed on the computer game interfaces and interaction design. For the computer game interface, there were incorrect words in the dialogue and the message boxes were too big and the sentences were too long. These suggestions and comments were taken to consideration to adjust and redesign and redevelop the computer game program according to the comments. For the computer game interaction, there was a need to place more guiding system for users to help them get along with the story line of the game. The document work papers in gameplay, such as game proposal form, were too long and the words were too complicated for students to

understand. These comments inform the researcher to modify the game proposal form and simplify the words and messages in the form.

As a result, the game computer was re-designed and developed in order to be used in the next round of the study. In addition, its related materials were also improved and ready to be used in the next round of the study.

1.3 Results from the Second Trial Study

In the second trial study, all the developed curriculum unit materials were used with 33 participating high school students to check their qualities before being used in the implementation study. The 33 high school students from grade 12th (Matayomsuksa 6) in the first academic year of 2010 at the Demonstration of Naresuan University, Phitsanulok, were set in the classroom setting. All were screened by interviewing in term of characteristics of the sample. The curriculum unit was used in the periods of students' self study which was four hours each week: two hours on Tuesday and other two on Thursday. The 33 students were randomly divided into groups of three and performed the learning activities in periods of time shown as follows: The learning unit 1 was set and run on August Tuesday 17th and Thursday 19th, 2010, the learning unit 2 was set and run on June Tuesday 24th, Thursday 26th, and September 8th 2010 and the learning unit 3 was set and run on September 9st, 2010. In this study, the employed research tools were science learning achievement test, the strategic problem solving ability test, the attitude towards science measure, the questionnaire of students' opinion towards the curriculum unit, the question set for focus group discussion and individual interview. These research tools were used to check their validity and quality before being used in the main study of implementation.

As data collection, science learning achievement tests and the strategic problem solving ability tests were used to all students before and after intervention of the curriculum unit. Moreover, the questionnaires of students' opinion towards the curriculum unit and the attitude towards science measure were also used to all students after the intervention. For focus group discussion, nine students were randomly chosen. Individual interview technique was used with three selected students according to their performance on the test,

top, middle and lowest scorers. The data were presented and described respectively as follows:

1.3.1 Science Learning Achievement

The students' learning achievement test was designed using 50 items of multiple-choice questions. This test was verified using the IOC between test items and learning objectives by the three experts to examine the consistency of items and learning objectives. After checking and revising some test items for wording according to their suggestions, the students' science learning achievement test was used before and after the intervention of the curriculum unit. The students' science learning achievement test scores after intervention of the curriculum unit were used for testing the items difficulty (p) and the items-discrimination index (r). To select the test items for the achievement test, the 40 test items were chosen by considering the p value and the r value for using in the curriculum unit implementation. The reliability of the selected science learning achievement test by KR-20 is 0.76.

The science learning achievement test scores in the second trial study were calculated and are presented in the TABLE 8.

TABLE 8 THE COMPARISON OF SCIENCE LEARNING ACHIEVEMENT MEAN SCORE BETWEEN BEFORE AND AFTER INTERVENTION OF THE SECOND TRIAL STUDY

Score	N	df	M	S.D.	t.	α
Pre-Test	33	32	9.45	2.68	9.834	0.05
Post-Test	33	32	22.24	4.24		

$$T_{(0.05, df\ 32)} = 2.0369 \quad df = N-1$$

The results from the TABLE 8 show that the mean score are significantly different at the 0.05 level. This indicated that students' learning achievement post-test scores are higher than the pre-test ones. As a result, it was confirmed that the curriculum unit effect on students learning is positive in term of conceptual understanding increment. This result similarly confirms the results from the first trial study.

1.3.2 The Strategic Problem Solving Ability Test

The strategic problem solving ability test is a multiple choice test with four alternatives. The test consists of five main items and each item consists of four sub-ordered question items, totally 20 items. For the test, the problematic situation and information is given and the following four step questions were asked to students to assess their abilities in each step. Each of the four steps question consisting of four test items and there is only one correct answer. The strategic problem solving test consists of five main problematic situations. This test was verified the IOC between test items and learning objectives by the three experts to examine the consistency of items and learning objectives. After checking and revising some test items for wording according to their suggestions, the students' strategic problem solving ability test was used before and after the intervention of the curriculum unit. The students' strategic problem solving ability test scores after intervention of the curriculum unit were used for testing the items difficulty (p) and the items-discrimination index (r). The researcher developed eight main items of the strategic problem solving ability test, totally 32 items. The researcher chose only five main items, totally 20, by considering the p and the r value. The selected test items were used in the implementation study. The reliability of the test by KR-20 is 0.60.

The strategic problem solving test scores in the second trial study were calculated and are presented in the TABLE 9.

TABLE 9 THE COMPARISON OF STRATEGIC PROBLEM SOLVING ABILITY MEAN SCORE BETWEEN BEFORE AND AFTER INTERVENTION OF THE SECOND TRIAL STUDY

Score	N	df	M	S.D.	t	α
Pre-Test	33	32	4.91	1.61	14.649	0.05
Post-Test	33	32	13.42	4.67		

$$T_{(0.05, df\ 32)} = 2.0369 \quad df = N-1$$

From the TABLE 9, the result shows that the students' strategic problem solving post test mean score is significantly higher than that of the pre test one at 0.05 level.

This means that the students learning through the curriculum unit have a significantly improvement in term of strategic problem solving ability in science learning. This result is to confirm the positive effect on the students' thinking ability of strategic problem solving.

1.3.3 The Students' Attitude towards Science

The Students' attitude towards science measure consists of 16 items. These items are five-point rating Likert Scale: 1= strongly disagree, 2 = disagree, 3 = neutral, 4 = agree and 5 = strongly agree. The measure also has the blank space for students writing their comments. The measure was used before and after the intervention of the curriculum unit. The measure's reliability is 0.89.

To examine the effect of the curriculum unit on the students' attitude towards science, the students' attitude towards science pre and post test mean scores were calculated and presented in TABLE 10.

TABLE 10 THE COMPARISON OF ATTITUDE TOWARDS SCIENCE MEAN SCORE
BETWEEN BEFORE AND AFTER INTERVENTION OF THE SECOND TRIAL STUDY

Score	N	df	M	S.D..	t	α
Pre-Test	33	32	3.37	0.31		
					4.461	0.05
Post-Test	33	32	4.24	0.25		

$$T_{(0.05, df 32)} = 2.0369 \quad df = N-1$$

As shown in the TABLE 10, the result shows that the students' attitude towards science post test mean score is significantly higher than that of the pre test one at 0.05 level. This means that the students learning though the curriculum unit have a significantly improvement in term of attitude towards science.

1.3.4 The Students' Opinion towards the Curriculum Unit

The questionnaire of the students' opinion towards the curriculum unit consists of 15 items. These items are five-point rating Likert Scale: 1= strongly disagree, 2 = disagree, 3 = neutral, 4 = agree and 5 = strongly agree. The questionnaire also has the blank space for students writing their comments at the end of the form. The questionnaire was used after the intervention of the curriculum unit.

TABLE 11 THE OVERALL RATING LEVEL OF STUDENTS' OPINION TOAWARDS THE
CURRICULUM UNIT FROM THE SECOND TRIAL STUDY

Score	N	criteria	Mean	S.D.	t	α
Overall of the Curriculum unit	33	3.51	4.12	0.68	11.08	0.05

The students' opinion toward the curriculum unit mean score is significantly higher than the criterion of 3.51 at the 0.05 level of significance. This indicates that the students have positive opinions towards the curriculum units.

1.3.5 Classroom Observation Form

The classroom observation form consists of 6 open-ended descriptive data items developed by the researcher. The form was ready to be used without any comment from the experts. The form was used during the learning activities in the implementation study.

1.3.6. Teacher's Opinion towards the Curriculum Unit Interview Form

The teacher's opinion towards the curriculum unit interview form consists of 10 open-ended questions developed by the researcher. The form was ready to be used without any comment from the experts. The form was used with the participating teacher after the intervention of the curriculum unit in the implementation study.

2. PHASE II the Implementation of the Curriculum Unit of the Epistemic Platform

From the initial, the first trial, and second trial studies, all the curriculum unit materials and research instrument and tools were verified and ready to be used in the implementation study. Before the implementation, the participating teacher named" miss Parnsiri Moonsri, personal information detailed in the Appendix, was in the mini training workshop with the researcher to study and practice with the curriculum unit materials. In the implementation study, all the developed curriculum unit materials were used with 32 participating high school students to examine the effect of the curriculum unit on the students' science learning achievement, strategic problem solving ability, attitude towards science, opinion towards the curriculum unit and the participating teacher's opinion towards the curriculum unit. The 32 high school students from grade 12th (Matayomsuksa 6) in the second academic year of 2010 at the Demonstration of Naresuan University, Phitsanulok, were set and run in the classroom setting. All were screened by interviewing in term of characteristics of the sample. The curriculum unit was used in the periods of students' self study which was four hours each week: two hours on Tuesday and other two on Thursday.

The 32 students were randomly divided into groups of three and performed the learning activities in periods of time shown as follows: The learning unit 1 was set and run on November Monday 8th and Tuesday 9th, 2010, the learning unit 2 was set and run on November Monday 22nd, Tuesday 23th, and Monday 29th 2010 and the learning unit 3 was set and run on November Tuesday 30th, 2010. However, as there were some technical problems with the participating students for entering the class on November Tuesday 30th, 2010, the backup periods on December Monday 13 and Tuesday 14, 2010 were re-set and re-run to accomplish the implementation. In this study, all the verified curriculum unit materials were used and the employed research tools were science learning achievement test, the strategic problem solving ability test, the attitude towards science measure, the questionnaire of students' opinion towards the curriculum unit, the question set for focus group discussion and individual interview with selected students, classroom observation from and the participating teacher' opinion towards the curriculum unit. The data, both quantitative and qualitative, from the implementation study were presented and described respectively,

2.1 Student's Science Learning Achievement

For examining the effect of the curriculum unit, the students' science learning achievement improvement was inspected by using pre-and post test scores from the science learning achievement tests employed before and after the intervention. The data were calculated and shown in the following table.

TABLE 12 THE COMPARISON OF SCIENCE LEARNING ACHIEVEMENT MEAN SCORE
BETWEEN BEFORE AND AFTER INTERVENTION OF THE IMPLEMENTATION STUDY

Score	N	df	M	S.D.	t.	α
Pre-Test	32	31	8.815	3.07	12.834	0.05
Post-Test	32	31	21.00	4.63		

$$T_{(0.05, df 31)} = 2.0345 \quad df = N-1$$

From the TABLE 12, the result shows that the students' science learning achievement post test mean score is significantly higher that of the pre test one at 0.05 level. This means that the students learning though the curriculum unit have a significantly improvement on science learning achievement.

2.2 Students' Strategic Problem Solving Ability

Besides the science learning achievement improvement in examining the effect of the curriculum unit, the students' strategic problem solving ability improvement was also inspected by using pre and post test scores from the strategic problem solving ability tests employed before and after the intervention. The data were calculated and shown in the following table.

TABLE 13 THE COMPARISON OF STRATEGIC PROBLEM SOLVING ABILITY MEAN SCORE
BETWEEN BEFORE AND AFTER INTERVENTION OF THE IMPLEMENTATION STUDY

Score	N	df	M	S.D.	t	α
Pre-Test	32	31	4.812	1.59	9.844	0.05
Post-Test	32	31	12.09	4.09		

$$T_{(0.05, df\ 31)} = 2.0345 \quad df = N-1$$

From the TABLE 13, the result shows that the students' strategic problem solving post test mean score is significantly higher than that of the pre test one at 0.05 level. This means that the students learning though the curriculum unit have a significantly improvement in term of strategic problem solving ability in science learning.

2.3 Students' Attitude towards Science

To examine the students' attitude towards science improvement, the attitude towards science mean score was used to inspect another aspect of the curriculum unit effect. The data were calculated and presented in the TABLE 14.

TABLE 14 THE COMPARISON OF ATTITUDE TOWARDS SCIENCE MEAN SCORE
BETWEEN BEFORE AND AFTER INTERVENTION OF THE IMPLEMENTATION STUDY

Score	N	df	M	S.D..	t	α
Pre-Test	32	31	3.23	0.40	4.246	0.05
Post-Test	32	31	4.01	0.56		

$$T_{(0.05, df 31)} = 2.0345 \quad df = N-1$$

As shown in the TABLE 14, the result shows that the students' attitude towards science post test mean score is significantly higher than that of the pre test one at 0.05 level. This means that the students learning through the curriculum unit have a significantly improvement in term of attitude towards science.

In addition to the quantitative data, the qualitative ones were also provided clearer view of the students. Most of the students expressed that they would like to learn more about cutting edge science like nanotechnology. They wanted to continue studying nanotechnology.

2.4 Students' Opinion towards the Curriculum Unit

As using design based research as a large framework of the research study, main data from the students' opinion towards the curriculum unit were vital to the study for redesigning and redeveloping the curriculum unit. In the implementation study, these data were used to confirm the effect of the curriculum unit. In addition, the data were also used to inform any further improvement for the future use by interested teachers and students. The data were calculated and presented as follows:

Overall, it could be concluded that the student's have positive opinion towards the curriculum unit. However, as to confirm the effect of the curriculum unit, the statistic of one sample t-test analysis was used. The data was calculated and presented in the TABLE15.

TABLE 15 THE OVERALL RATING LEVEL OF STUDENTS' OPINION TOAWARDS THE CURRICULUM UNIT FROM THE IMPLEMENTATION STUDY

Score	N	criteria	Mean	S.D.	t	α
Overall of the Curriculum unit	32	3.51	4.16	0.57	9.45.	0.05

From the TABLE 15 the mean score and the criteria were used for the calculation. It is shown that the students' opinion mean score toward the curriculum unit was significantly higher than the criterion of 3.51 at the 0.05 level.

Moreover, the qualitative data on the students' opinions expression at the end of questionnaire were used to assess their impression and suggestions. The data were analyzed using logical induction and presented in the way of descriptive report as follows.

1. The content of the curriculum unit are cutting-edge and very interesting for the students. It is exciting for the students to learn and experience the new content of nanoscience and nanotechnology. It was implied that the content of nanoscience and nanotechnology could interest the students.

2. As of the computer game used in the curriculum unit, the students expressed that it is such a new kind of science learning that they never saw before. The learning experiences the students had help them related the knowledge to the real world. As a result, it was implied that the computer game and its related materials are engaged and powerful for the students.

3. As of the computer game tasks given during the gamplay, the students showed their impression on the research team building task in the Nano X Project episode 1. They had opportunities to acquire new knowledge along the game interface interaction. As a result, this was implied that gameplay activities and game interaction were positive in term of student and the computer game interactions.

4. For the learning activities of the learning unit 2, the Nano X Project running, the strategic problem solving technique was incorporated. The students expressed that the strategic problem solving technique was interesting and could be used in other situation in their real life. However, in the practicing with the paper work, the students suggested that it was too hard for them to get the idea of the strategic problem solving technique to be used in the problematic situation. This implied that the incorporating strategic problem solving technique into science learning activities is interesting but it is needed to consider the content and context of problematic situations.

5. For the problems of the learning activities, the students suggested that the sequences of the gameplay tasks were confused to them. As thus, they need more

information from the game or the teacher to perform the task smoothly. It was implied that the learning activities should be modified and simplified for the students.

2.5 The Results of Qualitative Data from Focus Group Discussion and Individual Interview

In the implementation study, the question set was used for focus group discussion and individual interview. For the focus group discussion, the nine students were randomly chosen and divided into three groups of three. Each group was given the question and leaded by the researcher. For the individual interview, the three students were selected according to their performance on the science learning achievement test score. The qualitative data were used to confirm the effect of the curriculum unit on the students and also for redesigning and redeveloping the curriculum unit for the future development and application. The data were collected by note taking and audio recording and then analyzed by logical induction. From the eight questions in the question set used to ask the selected students to response, all data were logically summarized and described. As thus, the results are presented in the way of descriptive report as follows.

For the students' response to the question 1, it was inductively summarized that the students enjoyed the learning activities through various kinds of interaction such as interaction with their peers, interaction with the computer game, interaction with the teacher. They had learnt the way the scientists work and think in science process.

For the students' response to the question 2, it was inductively summarized that students preferred this kind of learning activities because they had chances to plan and freely look for pieces of information for their own learning. As compared to the traditional method, the learning activities of the curriculum unit were provided them of authentic learning experiences that can lead to the in depth understandings.

For the students' response to the question 3, it was inductively summarized that the students mostly preferred the interaction with the computer game to find the information needed for the assignment task in the gameplay. Some preferred working within the group during the gameplay on the game interface. This implied that student preferred working on the interaction with the game computer.

For the students' response to the question 4, it was inductively summarized that even though most of the students in the focus group discussion and individual interview preferred the interaction with the computer game, there were some parts of the game interface needed to be fixed and some guiding frame or hint boxes needed to be added to the game interface to guide the students in getting along with the gameplay. In addition, the messages were too long and needed to shorten and clearer.

For the students' response to the question 5, it was inductively summarized that the students had chances to learn real practical work of science research and developed thinking abilities in the ways science researchers use. They also learned and developed their own learning abilities.

For the students' response to the question 6, it was inductively summarized that nearly all students preferred this kind of learning experiences. They expressed positive feeling on the science learning activities compared to the traditional teaching method.

For the students' response to the question 7, there were comments on the activity duration. The students expressed that some part of the gameplay activities needed more time to complete and they need more time for learning the nanotechnology content embedded in the game.

As conclusion, the epistemic platform for science learning with a computer game is positive in term of the students' preference and learning ability development. However, the curriculum unit materials were still needed to be modified. This information was very useful for further development.

2.6 Teacher's Opinion towards the Curriculum Unit

In term of end user perspective, the data from the teacher using the curriculum materials was collected using the question set for examining the teacher opinion towards the curriculum unit. The teacher named "miss Pharnsiri Moonsri" was asked to join the curriculum unit implementation. She is a five year experienced chemistry teacher at the Demonstration School of Naresuan University. The data were collected by note taking and audio recording and then analyzed by logical induction. These data were personal opinion,

expressed after using the curriculum unit. The results are presented in the way of descriptive report as the whole view.

The teacher expressed that she preferred the curriculum unit in overall view. However, she also commented that the structure and sequences of the learning activities were a little bit confusing for teacher role and the actions needed to be taken during the gameplay, off screen, group, and class activities. Even though working closely with the researcher, she still suggested that teacher need more time to learn and should have chance to practicing in running the learning activities. For the Learn to Play-Play to Learn learning approach (LPPL) used in this game like learning, the teacher expressed that she was not familiar with the approach. As such, she took more time on her own to study more and consulted with the researcher. However, she expressed that the components and the structure of the LPPL approach was in consistency with the sequences of the computer game activities and she preferred the LPPL learning approach. As thus, the LPPL supports the learning activities with the computer game. In term of science learning assessment, she informed that she was familiar with the assessment instruments. Thus, there is no problem in using the test instruments. According to the science learning activities and the LPPL approach, she informed that she satisfied with the consistency of the two. In term of redesigning and redeveloping the curriculum unit, the teacher informed some disadvantages that needed to be improved, such as the computer game interaction and its scoring system.

In overall view, the teacher expressed her satisfaction with the curriculum unit at high level. However, to implement the curriculum unit with the confidence, she expressed that she need to run few more time.

2.7 The Results from Classroom Observation

To examine the mechanism and movement of the science learning with the computer game, various kinds of interactions and dynamics of learning activities were probed and inductively analyzed. The key interactions observed consisted of 1) student-game interaction, 2) student-student interaction, 3) teacher-student interaction, 4) the dynamics and flow of learning activities, 5) Classroom atmosphere, and the 6) students' key

actions during learning activities. The data from classroom observation were summarily presented as follows.

In term of the student-game interaction, the student spent more than twice in gameplay activities for trial in the first time and other time for accomplishing the game tasks and learning the contents on the game interface. The students re-entered to the game for many times to get the understandings of the game story and gameplay. Some groups of the students searching around on the computer game interface. During the learning activities, there were many questions posed during the interaction with the computer game. Some of the students tried to answer their peer by his/her own understandings. From this kind of asking and answering actions, students shared and exchanged their understandings of the task performing. As of teacher-student interaction, during the gamplay activities and off screen activities, students were provided with help and facilitation from the teacher as scaffolding technique in terms of guiding question, suggestion, supportive information and what if question. When the students got problems during the learning activities, they had to get to the teacher to ask for help then the teacher helped and facilitated with guiding questions and needed information for performing the game tasks and learning. For the dynamics and flow of learning activities, as using LPPL approach, the social activities off the screen, gameplay activities on and off the screen were switched back and forth according to students' abilities to accomplish the game tasks. In addition, helps from the teacher made the learning activities flow smoothly. However, some of the students took time too long to accomplish the tasks. The teacher needed to go and offer helps. For classroom atmosphere, the students seriously worked as a group of three. However some groups got stuck and confused with the game activities and the learning processes. They were offered helps from the teacher. It seemed that the activities got the students in the stage that they have to work by taking it too seriously. For the students' key actions during learning activities, there were various kinds of key actions. Those were described as the followings.

- 1) Many of the students' play and interact with the computer game by not considering the instruction and guidance,
- 2) all of them in ever group had discussions about how to perform the learning activities before and during the activities,
- 3) all the groups asked the teacher for helps and needed information,
- 4) some of the students re- entered the computer game

program to build up their understandings of gameplay and learning through this kind of science learning, and 5) during off screen activities, some of the students shared information between group. These kinds of key actions were considered as some mechanisms for student learning ability development. The data from classroom observation informed that this kind of science learning is a kind of an active learner approach. It is also in consistency with the idea of student-centered science learning.

2.8 The Statistical Testing of the Hypotheses

To confirm the effect of the curriculum unit, various kinds of data and statistic analyses were used to test the research hypotheses. Each research hypothesis are presented and described respectively as follows:

2.8.1 Comparison of the Science Learning Achievement Pre and Post Test Scores

In confirming the learning improvement effect of the curriculum unit on the students, the pre and post test scores were calculated using paired sample t-test analysis through the SPSS for window program at the 0.05 level of significance. The results are previously presented in TABLE 12.

The TABLE 12 shows mean and standard deviation of the students' science learning achievement pre-test scores of 8.81 and 3.07 respectively. For the post-test scores, the mean and standard deviation are of 21.00 and 4.63 1 respectively. In addition, the comparison of the pre-test and the post-test scores indicated that the students' science learning achievement post test mean score after the intervention of the curriculum unit was significantly higher than that of the before one at the 0.05 level.

As conclusion, the statistic result confirms that the students' science learning achievement in the study positively change after performing the science learning activities of the epistemic platform for science learning with a computer game on nanoscience and nanotechnology, in the case of nanomaterial, in term of change in post-pretest scores at the 0.05 level of significance. This result supports the research hypothesis 1.

2.8.2 Comparison of the Strategic Problem Solving Ability Pre and Post Test Scores

In confirming the learning improvement effect of the curriculum unit on the students, the strategic problem solving ability pre and post test scores were calculated using paired sample t-test analysis through the SPSS for window program at the 0.05 level of significance. The results are previously presented in TABLE 13.

The TABLE 13 shows mean and standard deviation of the students' strategic problem solving ability pre-test scores of 4.81 and 1.59 respectively. For the post-test scores, the mean and standard deviation are of 12.09 and 4.09 respectively. In addition, the comparison of the pre-test and the post-test scores indicated that the students' strategic problem solving ability post test mean score after the intervention of the curriculum unit was significantly higher than that of the before one at the 0.05 level.

As conclusion, the statistic result confirms that the students' strategic problem solving ability improvement in the study has been positively changed. This result supports the research hypothesis 2.

2.8.3 Comparison of the Attitude towards Science Pre and Post Test Scores

As stated in the hypothesis 3 that Students' attitude toward science after the intervention of the curriculum unit is significantly higher than that of the before at 0.05 level, the result from the TABLE 14 is shown that the calculated statistic value is in consistency with the hypothesis 3. From the TABLE 14 mentioned previously, it is confirmed that the students' attitude towards science mean score after the intervention of the curriculum unit is significantly higher than that of the before one. In conclusion, this statistical result supports the hypothesis 3.

2.8.4 The Result of the Students' Opinion towards the Curriculum unit

As stated in the hypothesis 4 that the students' opinion score towards the curriculum unit of the epistemic platform after using the curriculum unit was significantly higher at the 0.05 level. Accordingly, the result from TABLE 15 confirms that the students' opinion towards the curriculum unit mean score is significantly higher than the determined criteria of 3.51. In conclusion, this result supports the hypothesis 4.

2.8.5 The Result of the Teacher's Opinion towards the Curriculum Unit

As stated in the hypothesis that the teacher who implements the epistemic platform has highly positive opinions towards the epistemic platform, but there is no

statistical analysis to confirm the hypothesis. However, from the qualitative data inductively summarized in the previous session, it can be inferred that the teacher prefers the curriculum unit in term of an active learning tool for students in authentic learning experiences. As thus, the result from this session does not support the hypothesis but implies the positive opinion towards the curriculum unit of the participating teacher.

3. Summary of the Research Results

As using design based research as a large framework for the research study, various kinds of research instruments and tools were employed for collecting both qualitative and quantitative data. Accordingly, the data collected and analyzed were used to examine the effects of the epistemic platform of science learning with a computer in learning fundamental nanoscience and nanotechnology on the participating students in the study. The studied effects were as follows: the students' science learning achievement, strategic problem solving ability, attitude towards science, opinion towards the curriculum unit, and the teacher's opinion towards the curriculum unit. In addition, to get in depth understandings of the effects of the epistemic platform, qualitative data were collected and analyzed to get the whole views. The results and findings of the study are summarized as follows:

- 1) The students had improvement in science learning achievement confirmed by statistically significant change in the science learning achievement post-pre test scores at 0.05 level,
- 2) The students had improvement in strategic problem solving ability in science learning confirmed by statistically significant change in strategic problem solving ability post-pre test scores at 0.05 level,
- 3) The students had improvement in attitude towards science confirmed by statistically significant change in attitude towards science post-pre test scores at 0.05 level,
- 4) The students had highly positive towards the curriculum unit of the epistemic platform confirmed by being statistically higher than the criteria of 3.51 at 0.05 level, and
- 5) The teacher had positive towards the curriculum unit of the epistemic platform confirmed by logical inductive qualitative data.

In addition, the qualitative data shows the positive impact of the epistemic platform of nanoscience and nanotechnology with a computer game on high school students. This kind of learning experience supports science learning in both conceptual and procedural knowledge. However, there are still modifications needed to make the epistemic platform better for further study and future use and application in other science classes.



CHAPTER 5

CONCLUSIONS, DISCUSSIONS AND RECOMMENDATIONS

This last chapter presents the conclusions, discussions and recommendations of the study. The summaries as the whole view of the research study are briefly presented. In addition the results and findings were also discussed and explained in terms of theoretical explanations and related previous research. The chapter ends with the recommendations for policy making, applications and further research study.

1. The Conclusion of the Research Study

In comparison with genetic engineering, nanotechnology looks like being the other big growth area this century. Nanotechnology is the meeting ground of engineering, biology, physics, medicine, and chemistry. For high school science, nanotechnology is an exciting scientific area that can stimulate interest in science and engineering while teaching basic principles of physics, biology and chemistry that fit into the goals for students in the national science curriculum standards. Therefore, it is useful and helpful for young generations such as high school students to understand the basic science concepts of nanotechnology to live their lives happily without fear and for some who want to continue their study in nanotechnology. Learning basic science concepts of nanoscience and nanotechnology by investigating properties of nanomaterial through computer game based science learning is the center of this study.

The research study was to develop and examine the epistemic platform for science learning with a computer game on the content of fundamental nanoscience and nanotechnology. In developing the epistemic platform, the researcher employed educationally potential elements and devices of the current forms of digital games and their associated technologies by incorporating them into the instructional design for the study. This resulted in a game-like learning environment that consisted of a computer game and the Learn to Play and Play to Learn Approach. As a result, the curriculum unit was developed by employed the ideas mentioned previously. The curriculum unit of the

epistemic platform for science learning with a computer game in learning fundamental nanoscience and nanotechnology was developed and divided into the three science learning units. The three learning units were conducted with high school students, previously call Level 4 or Matayomsuksa 4-6 in Thailand educational system. The briefs of the whole research study are presented respectively as follows.

1.1 The Purpose of Research Study

The purposes of this study are summarized as follows:

- 1) To develop the epistemic platform for science learning with a computer game on the content of nanoscience and nanotechnology, using nanomaterial in particular, facilitated by Learn to Play and Play to Learn Approach for level 4 (Upper Secondary) students, in the previous Thai educational system called Mathayomsuksa 4-6,
- 2) To examine the effect of the epistemic platform on students' science learning achievement, strategic problem solving abilities, and attitude towards science, and
- 3) To find out whether this kind of learning can be fit into the existing science curriculum.

1.2 Research Questions and Hypotheses

The main research question of this study is shown as follows:

What are advantages of the use of the epistemic platform for science learning with a computer game for level 4 (Matayousuksa 4-6) science students in learning fundamental nanoscience and nanotechnology concepts?

The main research question is diversified into the three sub-questions presented below:

- What are effects of the epistemic platform on students' science learning achievement, strategic problem solving ability, and attitude towards science?
- Is there any advantage in the use of the epistemic platform in the view of students and teachers?

In order to be consistent to the research questions above, the hypotheses of this study are obtained as the followings:

1. The students' science learning achievement in the study positively change after performing the science learning activities of the epistemic platform for science learning with a computer game on nanoscience and nanotechnology, in the case of nanomaterial, in term of change in post-pretest scores at the 0.05 level of significance.

2. Students who perform the activities of the epistemic platform have strategic problem solving ability improvement in term of change in post-pre test scores at the 0.05 at level.

3. Students' attitude toward science after the intervention of the curriculum unit of the epistemic platform is significantly higher than that of the before at 0.05 level.

4. The students' opinion score toward the curriculum unit of the epistemic platform after using the curriculum unit was significantly higher at the 0.05 level.

5. Teacher who implements the epistemic platform has highly positive opinions towards the curriculum unit of the epistemic platform.

1.3 Population and Samples

The population

The population of this study was the students who studied in science program in level 4 (Matayomsuksa 4-6), and already completed two semesters of biology, physics, and chemistry, at the Demonstration school of Naresuan University (Mathayomsuksa) in Phitsanulok, Thailand. The school site is equipped with microcomputers or notebook computer with the Internet connection.

The samples

The samples of this study were the students who studied in science program in level 4 (Matayomsuksa 4-6), and already completed two semesters of biology, physics, and chemistry, at the Demonstration school of Naresuan University in Phitsanulok, Thailand. The samples were students who are interested in attending the curriculum unit of the epistemic platform. As thus, the samples of 32 students from grade 12th were obtained. The group of 32 students was set for the main implementation study.

1.4 Research Instruments and Tools

The research instruments used in the study are as follows:

- 1) The Curriculum unit of the epistemic platform
 - a. The Computer game “Nano X Project”
 - b. Teacher use set
 - c. Student use set
 - d. Related materials
- 2) The classroom observation form,
- 3) The science learning achievement test
- 4) The attitudes towards science measure
- 5) The strategic problem solving ability test
- 6) The experts' curriculum unit evaluation form
- 7) The question set for focus group discussion and individual interview.
- 8) The questionnaire of the students' opinion towards the curriculum unit
- 9) The participating teacher's opinion towards the curriculum unit interview form

1.5 Research Procedures

The epistemic platform for nanoscience and nanotechnology with a computer game was developed and considered as the curriculum unit for level 4 science students. The curriculum unit was developed and set as the three science learning units. The learning management strategy for using the curriculum unit in classroom instruction is the Learn to Play and Play to Learn learning approach (LPPL) developed by the researcher. As the main purpose of the study was to develop and investigate an innovation for science teaching and learning, the researcher employ design based research (Brown.1992; & Collin. 1992) as a large framework for the research study. Barab and Squire (2004) clarified that design based-research involves introducing innovations into the booming, buzzing confusion of real-world practice, not as that in laboratory context, and examining the impact of those designs on learning process.

As to develop an innovation for science teaching and learning, there were many steps to find out what happened when the epistemic platform for science learning with a computer game was used in the high school classroom. In this research study, the two main phases of the study are briefly described respectively as follows.

Phase 1 The development of the curriculum unit of the epistemic platform for science learning with a computer game

In this phase, the curriculum unit materials, especially the computer game, were designed and developed. Before developing the curriculum unit, the initial study was conducted. The very first version of the computer game was developed and tested for checking the design and usability with six non sample students. After getting data for redesigning and redeveloping the initial study, all the curriculum unit materials were developed accordingly and set for the first trial study. In the first trial study, nine students joined in running the curriculum unit. The learning unit 1 was set and run on June Tuesday 15th and Thursday 17th, 2010, the learning unit 2 was set and run on June Tuesday 22nd, Thursday 24th, and Tuesday 29th 2010 and the learning unit 3 was set and run on July 1st, 2010. Science learning achievement test was used before and after the intervention of the curriculum unit. In addition, the opinion towards the curriculum unit questionnaire was also employed along with focus group discussion and individual interview using the question set after the intervention. As thus, the data obtained from the first trial study were used to redesign and redevelop the curriculum unit materials and then got ready for the second trial study with the larger scale, with 33 students from the 12th grade in the first semester of 2010 academic year at the Demonstration School of Naresuan University in Phitsanulok, Thailand. The learning unit 1 was set and run on August Tuesday 17th and Thursday 19th, 2010, the learning unit 2 was set and run on June Tuesday 24th, Thursday 26th, and September 8th 2010 and the learning unit 3 was set and run on September 9st, 2010.

Before running the curriculum unit in the second trial study, all the curriculum unit materials along with other research instruments and tools were developed and handed in to the three experts the check their qualities and validities in terms of the experts' perspectives.

In the second trial study, all the curriculum unit materials and research tools were used for checking their qualities and validities, especially for the research tool such as the science learning achievement test, the strategic problem solving ability test, the attitude towards science measure, etc.

After the second trial study was done, all the data were taken to consideration and calculation in order to check the readiness of the curriculum unit for the implementation study. As thus, all the ready curriculum materials and research tools were used in implementation study.

Part II the implement of the curriculum unit

In the implementation study of the curriculum unit, the 32 students from the 12th grade in the second semester of 2010 academic year at the Demonstration School of Naresuan University in Phitsanulok, Thailand. The learning unit 1 was set and run on November Monday 8th and Tuesday 9th, 2010, the learning unit 2 was set and run on November Monday 22nd, Tuesday 23th, and Monday 29th 2010 and the learning unit 3 was set and run on November Tuesday 30th, 2010. The science learning achievement test, the strategic problem solving ability test and the attitude towards science measure were used before and after the intervention. The students' opinion towards the curriculum unit questionnaire was used after the intervention. To get in depth data, the question set for focus group discussion with three groups of three students, nine in total, randomly selected and individual interview with three students specifically selected according their performance in science learning achievement test score; high, middle, and low scorers. To find out more about advantages of the curriculum unit, classroom observation form was used to inspect the learning activity dynamics and flows. In term of the teacher's perspective on the curriculum unit, the teacher's opinion towards the curriculum unit interview form was used.

1.6 Results of the Study

1.6.1 Results from the Curriculum Unit Evaluation by the Experts

Consistency

The results of Index of Item Objective Consistency (IOC) showed mean scores between 0.67 -1.00, indicating that every component of curriculum unit evaluated by the

three experts is consistent with one another. However, it was noticed that the evaluated item 9 was lower than the others. This could be the reason that this kind of content is very new and mostly found in the university levels and not found in the national science curriculum standards. As thus, the curriculum unit was designed and developed to suitable to high school students in term of the design of a game computer, science learning activities, and related learning materials.

In term of the experts' perspectives on qualities of the curriculum unit, the mean score of 3.67 to 4.33 indicates that the curriculum unit is suitable and has high quality.

As the results, it is implied that the curriculum unit is appropriate in terms of content, the learning approach, Integration of strategic problem solving technique, teaching and learning activities, the game computer and related learning materials, and science learning assessment.

However, there are some notions on the computer game Nano X Project used for science learning activities. Its mean score was low compared to other components of the curriculum unit. This was taken to consideration of the game design and then re designed and developed. In addition, the mean score learning activity duration was also low. This was considered to be adjusted time duration to be longer. Overall, it was revealed that the qualities of the curriculum unit were well prepared and interesting.

As thus, the curriculum unit can be used for high school students.

In addition to quantitative data, the three experts' suggestions for improving the curriculum unit were presented and discussed. In term of the computer game design and learning activities were a little bit complicated to use. In addition, the document work should be modified to be suitable to high school student level. This should be improved and revised to make it more suitable. As the experts' comments and suggestions, the game computer was redesigned and redeveloped, along with the related learning materials.

1.6.2 Results from the First Trial Study

The results from the first trial study show that the mean score are significantly different at the 0.05 level. This indicated that students' learning achievement post-test scores are higher than the pre-test ones. As a result, it was confirmed that the curriculum

unit effect on students learning is positive in term of conceptual understanding increment. In addition, the mean scores of the students' opinion towards the curriculum unit from the first trial study are higher than the criteria (3.51). The statistic analysis confirms that the mean scores of the opinion towards to the curriculum unit in overall view are significantly different at 0.05 level. This implies that the participating students have positive opinion towards the curriculum unit at high level.

However there were some suggestions on the computer game program and it related learning materials from qualitative data of focus group discussion and individual interview. There were some modification needed to be fixed on the computer game interfaces and interaction design. For the computer game interface, there were incorrect words in the dialogue and the message boxes were too big and the sentences were too long. These suggestions and comments were taken to consideration to adjust and redesign and redevelop the computer game program according to the comments.

For the computer game interaction, there was a need to place more guiding system for users to help them get along with the story line of the game. The document work papers in gameplay, such as game proposal form, were too long and the words were too complicated for students to understand. These comments inform the researcher to modify the game proposal form and simplify the words and messages in the form.

As a result, the game computer was re-designed and developed in order to be used in the next round of the study. In addition, the related curriculum unit materials were also improved in line with the suggestion and opinions

1.6.3 Results from the Second Trial Study

Even though the second trial study was conducted mainly for checking the research tools' qualities and validities before using in the implementation study, the data were also collected to be used for redesigning and redeveloping the curriculum unit. As thus, the collected data were used for both checking the research tools and for informing the curriculum unit development. For the data used for the curriculum unit development, the brief information is described as follows.

The results from the second trial study show that the mean score are significantly different at the 0.05 level. This indicated that students' learning achievement

post-test scores are higher than the pre-test ones. As a result, it was confirmed that the curriculum unit effect on students learning is positive in term of conceptual understanding increment. This result similarly confirms the results from the first trial study. For the strategic problem solving ability, result shows that the students' strategic problem solving post test mean score is significantly higher than that of the pre test one at 0.05 level. This means that the students learning though the curriculum unit have a significant improvement in term of strategic problem solving ability in science learning. In addition, the result of the attitude towards science shows significant improvement confirmed by statically different post-pre mean scores. Accordingly, the students' opinion towards the curriculum unit is significantly higher. This is confirmed by that the students' opinion mean score toward the curriculum unit was significantly higher than the criterion at the 0.05 level.

1.6.4 Results from the Implementation Study

In the implementation study, the research tools with quality and validity were employed to examine the effect of the curriculum unit on the students. The results from various tools were briefly presented respectively as follows.

For the science learning achievement, the result shows that the students' science learning achievement post test mean score is significantly higher that of the pre test one at 0.05 level. This means that the students learning though the curriculum unit have a significantly improvement on science learning achievement. The result still confirms the positive impact of the curriculum unit on the students in term of science learning achievement. Accordingly, in the strategic problem solving ability, the result shows that the students' strategic problem solving post test mean score is significantly higher than that of the pre test one at 0.05 level. This means that the students learning though the curriculum unit have a significantly improvement in term of strategic problem solving ability in science learning.

For the attitude towards science, the result shows that the students' attitude towards science post test mean score is significantly higher than that of the pre test one at 0.05 level. This means that the students learning though the curriculum unit have a significantly improvement in term of attitude towards science. Accordingly, for the students' opinion towards the curriculum unit, the students' opinions toward the

curriculum unit means score are at high level. It means that the students have positive opinion towards the curriculum unit at high level.

Besides the quantitative data, qualitative data were collected and analyzed to inform the curriculum unit development. The qualitative data from various source were briefly described respectively as follows.

From focus group discussion and individual interview, the data informed the modifications of the computer game interface and interaction design to make it more suitable for the students. This is very useful information for redesigning and redeveloping the curriculum unit.

From the classroom observation, the data showed that classroom and student group work mechanism and flow of the science learning activities. The data were used to support the positive effect of the curriculum unit on the students' science learning.

In testing the research hypotheses, the results are listed as follows:

- 1) The students had improvement in science learning achievement confirmed by statistically significant change in the science learning achievement post-pre test scores at 0.05 level,
- 2) The students had improvement in strategic problem solving ability in science learning confirmed by statistically significant change in strategic problem solving ability post-pre test scores at 0.05 level,
- 3) The students had improvement in attitude towards science confirmed by statistically significant change in attitude towards science post-pre test scores at 0.05 level,
- 4) The students had highly positive towards the curriculum unit of the epistemic platform confirmed by being statistically higher than the criteria of 3.51, and
- 5) The teacher had positive towards the curriculum unit of the epistemic platform confirmed by logical inductive qualitative data.

2. Discussions

As the research study was to develop the epistemic platform for science learning with a computer game, the curriculum unit on fundamental nanoscience and nanotechnology was developed using the framework of game computer, related learning theories, and lessons learnt from the previous research. The three science learning units were used in the various study phase to find out the effect on the students science learning in terms of science learning achievement, strategic problem solving, students' opinion towards the curriculum unit and teacher's opinion towards the curriculum unit. The results from the study agreed with the research hypotheses and indicated that the epistemic platform was effective. To get in depth about the effect of the epistemic platform, the results and findings of the study are discussed and reflected in term of theoretical explanation and findings from the previous related research.

2.1 The Students' Science Learning Achievement

As stated that the students had significant improvement in term of science learning achievement affected by the curriculum unit, the result were confirmed by post and pre test mean score difference at 0.05 level of significance. This could be explained by the theoretical perspectives and previous research findings described as follows.

For high school science, nanotechnology is an exciting scientific area that can stimulate interest in science and engineering while teaching basic principles of physics, biology and chemistry that fit into the goals for students in the national science curriculum standards. Therefore, it is useful and helpful for young generations such as high school students to understand the basic science concepts of nanotechnology to live their lives happily without fear and for some who want to continue their study in nanotechnology.

In learning the new exciting contents of nanoscience and nanotechnology, high school student should be put in the experience that provide them with authentic learning experiences that can lead to deeper understandings, including both conceptual and procedural knowledge. Computer game technologies are considered multiple-representation systems and it is believed that using computer games as a framework to

develop an epistemic platform, a novel science learning experience, is promising for science education.

The curriculum unit of the epistemic platform for science learning with a computer game in learning fundamental nanoscience and nanotechnology was developed in order to provide high school students with authentic science learning experiences that lead them to the deeper understandings, both conceptual and procedural. This kind of science learning experiences of the curriculum unit has positive effect on students in many ways. This statement can be supported by Shaffer and his colleagues who argue that for a particular view of games—and of learning—as activities that are most powerful when they are personally meaningful, experiential, social, and epistemological all at the same time (Shaffer; et al. 2004: abstract; Gee. 2003; 2005). They further point out that video games are good for learning because they present players with simulated worlds: worlds which, if well constructed, are not just about facts or isolated skills, but embody particular social practices (Shaffer; et al, 2004: abstract). In the view of social activities, video games thus make it possible for players to participate in valued communities of practice and as a result develop the ways of thinking that organize those practices. In addition, Gee (2005) argues that games are good for learning because, they have the following features: 1) they can create an embodied empathy for a complex system, 2) they are action-and-goal-directed preparations for, and simulations of embodied experience, 3) they involve distributed intelligence via the creation of smart tools, 4) they create opportunities for cross-functional affiliation, 5) they allow meaning to be situated, 6) they can be open-ended, allowing for goals and projects that meld the personal and the social.

In addition to the explanations mentioned above, some research findings also have similarities in terms of positive effect on student learning achievement. Dede and Ketlehut, for example, (2003) have been developing and researching River City, which uses a Multiuser Virtual Environment Experiential Simulator (MUVEES) to introduce an engaging multi-user virtual environment that teaches science concepts in a way that draws on curiosity and play (<http://www.virtual.gmu.edu/muvees>). Similarly, Quest Atlantis (QA) is a learning and teaching project that uses a 3D multi-user environment to immerse children, ages 9-12, in educational tasks (<http://questatlantis.org>). This project is built on strategies

from online role-playing games, QA combines strategies used in the commercial gaming environment with lessons from educational research on learning and motivation (Barab; et al. 2003). The series of research investigating the effects of these kinds of learning environment are still being undertaken. Some released show positive results of engagement and meaningful learning. Squire and his colleagues (Squire; Barnett; Grant; & Higginbotham. 2004; see also Jenkins; Squire; & Tan. in press; Squire. 2003) who have worked on a computer game called "*Supercharged!*" to help students learn physics. *Supercharged!* is an electromagnetism simulation game developed in consultation with MIT physicist John Belcher by the Games-to-Teach project at MIT (run by Henry Jenkins, see www.educationarcade.org). In this gameplay context, players use the game to explore electromagnetic mazes, placing charged particles and controlling a ship which navigates by altering its charge. The game play consists of two phases: planning and playing. Each time players encounter a new level, they are given a limited set of charges that they can place throughout the environment, enabling them to shape the trajectory of their ship. The goal of the game is to help learners build stronger *intuitions* for electromagnetic concepts based on perceptual and embodied experiences in a virtual world where these concepts are instantiated in a fairly concrete way. The results show that the experimental group outperformed the control group on conceptual exam questions. Post-interviews revealed that both experimental and control students had improved their understanding of basic electrostatics. However, there were some qualitative differences between the two groups. As summary, the research findings of using game as science learning tools are in consistency in term of supporting science learning and have positive effects on students learning achievement.

As facilitated by the Learn to Play-Play to Learn (LPPL) learning approach, the curriculum unit of the epistemic platform for science learning with a computer game is theoretically rooted in the four main learning theories, namely, constructivism (John-Steiner; & Mahn. 1996; Vygotsky. 1978) , situated learning theory (Brown, Collins and Duguid. 1989), activity theory (Engeström. 1987; 1993) and scaffolding theory (Vygotsky, 1989). In the science learning activities of the epistemic platform, the students interacted with the computer game, their peers, and the teacher through facilitation of the LPPL approach.

In the part of Learn to Play, students researched, reasoned, and reflected what they had to be, do, and get before getting into the gameplay on the computer game interface. The teacher played a role as a facilitator to help students to get ready for playing. In term of theoretical perspective, this can be supportively stated by "scaffolding theory". As suggested by Vygotsky (1989) that tutoring or other assistance provided in a learning setting to assist students with attaining levels of understanding is impossible for them to achieve without assistance (Brush; & Saye. 2001). Scaffolds are tools, strategies, and guides that support students in attaining a higher level of understanding (Hannafin; et al. 1999; Vygotsky. 1989). According to Vygotsky (1989), scaffolding is helping learners develop their own evolving knowledge through interactions with other people. Vygotsky (1989) viewed scaffolds as personal aid provided by a teacher or peer to help with the learning process. Vygotsky believed that learners construct their knowledge by interacting with other members of society and cannot be understood apart from the cultural settings. The idea of scaffolding support the Learn to Play-Play to Learn approach in term of teacher's help and facilitation in learning activities on and off the screen of game computer.

After getting the role the students had to play, they had to go to the computer game to perform the assigned task of the game. This phase was considered as the Learn to Play part of the LPPL approach. While playing with the game computer interface, students had chance to learn fundamental nanoscience and nanotechnology contents through various kinds of the interaction. The information of nanoscience and nanotechnology were conveyed to students in various form, like graphics, vdo clips, animations, message boxes embedded in the computer game and the story of gameplay. As indicated that the participating students have significant improvement at 0.05 level in term of science learning achievement, from the variety of interactions through the epistemic platform, the students learn the contents effectively. This can be explained through the views of constructivism and situated learning theories. Using the view of constructivism, in the learning activities of the epistemic platform, students construct their own knowledge through the interaction with the information on the computer screen during the gameplay and also interaction with their peers and the teacher as a facilitator. As of using a computer game as learning tools, the science learning experiences framed the context and help the students in authentic situation

that lead to the deeper understandings of the concepts that have learnt. This is in accordance with the idea of situated learning which suggested in Brown, Collins & Duguid (1989) discussion. Brown, Collins, & Duguid (1989) and Lave & Wenger (1991) define situated learning theory as embedded within and inseparable from participating in a system of activity (Chaiklin;& Lave.1993; Lave.1988) deeply determined by a particular physical and cultural setting. The unit of analysis is neither the individual nor the setting, but instead the relationship between the two, as indicated by the student's level of participation in the setting (Barab;& Plucker.2002). As such, at this time knowledge was considered to be constructed and learning was better to occur in realistic situations. As a summary, the students gained their knowledge through the authentic science learning experiences of the epistemic platform which were considered very close to realistic situations. This is backed up by the situated learning perspectives.

As of the learning activities of the epistemic platform, the students worked as a group in various kinds of the game tasks to accomplish the goals. These actions the students took during gameplay on screen and social learning off screen activities helped them in constructing knowledge and developing their learning skills. As thus, the students gained their knowledge effectively. The learning occurred during the gameplay and social , off screen, activities could be explained through the activity theory (Engeström. 1987; 1993).

In conclusion, the epistemic platform for science learning with a computer game facilitated by the Learn to Play-Play to Learn (LPPL) learning approach have positive effect on the students' science learning achievement improvement, confirmed by the statistically significant difference at 0.05 level of post-pre test mean score from the science learning achievement test. The results were theoretical underpinned by the four learning theories that are used to back up the LPPL learning approach. .

2.2 The Students' Strategic Problem Solving ability

Problem solving is one of considered higher order thinking that involves various kinds of other thinking skills. As the problem solving in science learning should be arranged in ways that students are provided with opportunities to face new authentic problem-solving tasks that require them to use higher order cognitive skills, the epistemic platform for

science learning with a computer game offered the students opportunities for doing strategic problem solving in authentic science learning experiences enhanced through the context of computer game that provide them with a goal driven story and determines particular role. The strategic problem solving ability development technique was employed and integrated into the learning activities of the epistemic platform. The idea of strategic problem solving was drawn from problem solving in science learning and strategic thinking Kraengsak Charernwongsak (2003: 22) and Tissana Khaemane'e's problem solving framework (2002: 310-311). Once the strategic problem solving was synthesized, it was integrated into the epistemic platform for this research study in many forms. It was incorporated into the computer game and paper work in the science learning activities.

When implemented in classroom setting, the curriculum unit of the epistemic platform had shown the effect on student's science learning achievement. In addition, it also affected the students' strategic problem solving ability as confirmed by the statistically significant difference at 0.05 level of the strategic problem solving post-pre test mean scores. However during the learning activities the students posed the questions about their confusing about the game tasks and strategic problem solving tasks. This problem was fixed by the teacher's facilitation through guidance and suggestions.

According to the strategic problem solving, Piagetian ideas are credited with leading to the characterization of the child as a problem-solver, emphasizing learning as active invention (Bruner, 1986). Piaget also assumes that there will be a certain inertia in students that makes it likely that they will "continue in past patterns as long as possible" (Doll, 1993: 83). Thus, the environmental (i.e., learning environment) conditions must be such to invoke a "deeply felt" (Doll, 1993: 83) disequilibrium. As the context of running science research project called Nano X Project Game through the game like science learning environment, the technique and process of strategic problem solving was integrated into the learning activities to develop students' higher order thinking.

In conclusion, the strategic problem solving integrated in the epistemic platform in this research study shows positive effect on the students' strategic problem solving ability improvement. This is confirmed by the statistically significant difference at 0.05 level of the strategic problem solving post-pre test mean scores.

2.3 The Students' Attitude towards Science

As indicated that the students' attitude towards science have been improved and confirmed by the statistically significant difference at 0.05 level of the attitude towards science post-pre measure mean scores, the epistemic platform show some positive results for application and uses of the computer game framework for other science learning to enhance the attitude towards science. The attitude towards science improvement can be discussed and explained as the followings.

With the authentic science learning experiences through the game like learning environment of the epistemic platform, the students had chances to think, plan, play, learn, and interact in the simulated world enhanced by the computer game. During performing the science learning activities of the epistemic platform, the students run all activities by themselves in groups. They had opportunities to do many things they had never done in previous science courses. These were new situations for them; so they felt good in learning science. This is in accordance with Siriporn Manopichatewattana' s study (2004: Abstract) who claimed that students were happy and enjoyed learning science through active learning activities. Consequently, students had positive attitudes towards science subjects (Billings. 2001: online)

The science learning in authentic science learning experience through the epistemic platform with a computer game shows positive effect that the epistemic platform can help students to become active and eager to learn science because they feel that science is not abstract and far from their real life. (Keating. 1997: 25; Cessna & Cessna. 2001; 28: citing. Epp. 1995). The epistemic platform of science learning with a computer game is also considered as a kind of student centered. As the students had to learn and work as a group to accomplish the game tasks, they constructed their own knowledge along with attitude towards science. The result of the research study is similar to that of work by Ebrahim, McCormick and Meade (2004: Online). In their study, Ebrahim compared the effect of the student-centered approach to that of a traditional approach on the students' attitudes on learning science. It was found that students who were taught by the student-centered approach developed better positive attitude more through the traditional approach.

As summary, it is claimed that the epistemic platform for science learning with a computer game can stimulate science learning in many facets, especially for improving students' science learning achievement, strategic problem solving in science learning, and attitude towards science. As to examine the effect of the epistemic platform for science learning with a computer game in learning fundamental nanoscience and nanotechnology on the high school students, the results and findings have shown positive effects in term of science learning achievement, higher ordered thinking, and attitude towards science for science education in particular and for larger field of education in general. This can be inferred that it is successful in studying and finding the novel model for science teaching and learning with a computer game as a mediated learning tool.

3. Recommendations

The research study showed the successfulness of the epistemic platform for science learning with a computer game in learning fundamental nanoscience and nanotechnology in fostering and improving students' science learning achievement, strategic problem solving ability, and attitude towards science. As a result, the effective novel model for science learning with a computer game has been developed. This framework can be used and adapted to other science classes. The recommendations for the takeholders are provided and described respectively.

3.1 Recommendations for Policy Maker

The results and findings from the research study revealed that most students had enthusiastic in performing the science learning activities of the epistemic platform. In addition, the teacher perspectives on the use of the epistemic platform also support the positive effect of the effective novel model for science learning. As stated previously, the epistemic platform for science learning with a computer game in learning fundamental nanoscience and nanotechnology has significantly positive effects on student' science learning achievement, strategic problem solving ability, and attitude towards science, this could be taken into consideration of the research and development of game as learning tools. The policy maker could support by considering the research fund to develop innovation for education, science

education in particular. In term of nanotechnology education at high school level, the developed and simplified content of nanoscience and nanotechnology education can be critically incorporated into existing science curriculum.

3.2 Recommendations for Applications

In using the curriculum unit of the epistemic platform for science learning with a computer game in learning fundamental nanoscience and nanotechnology in high school classroom, teachers' preparedness is very vital. For interested teachers who want to use the curriculum unit of epistemic platform, as a novel model for science learning different from the traditional instruction, using the epistemic platform require a firm understandings and practicing of the epistemic platform. As thus, teachers have to understand their roles in learning management, the curriculum unit's components and the structure of the learning activities such as contents of fundamental nanopsiene and nanotechnology, the game computer Nano X Project, the LPPL learning approach, the related learning materials, the complexity of the content and the activities, etc. As a result, teachers need workshop and practicing to gain confidence before using it.

During the learning activities of the epistemic platform, teachers have many roles to play such as a role in gameplay to reflect and give feedback for students, or a role as a facilitator in both on screen gameplay and off screen learning activities to help students learn effectively. During the learning activities, teachers' helps and guidance as scaffolding technique need to be used properly. Teachers should not tell what it is but rather help and guide by asking guiding questions. When required, the key concepts explanation and clarification by teacher might be needed in order to affirm students' conceptual understandings of fundamental nanosciece and nanotechnology. For helping students with teacher' explanation, teachers should explain with interactive questions to help them make understating on one own. For learning activities duration, it should be flexible and adjustable dependent on student learning ability and level. Also, teacher roles and actions should be various in order to suit students need. For example, students with slow learning ability need more helps and guidance than fast learning students.

In conclusion, for using the curriculum unit effectively, teachers' preparedness and understandings are very important. As thus, teachers need to have workshop and practice for gaining confidence so they can use it confidently.

3.3 Recommendations for Further Study

Successfully, the research results and findings show that the epistemic platform for science learning with a computer game in learning fundamental nanoscience and nanotechnology have significantly positive impacts on the students' science learning achievement, strategic problem solving ability, and attitude towards science. In addition, it also positively impact on the student's and teacher's opinion. However the curriculum unit still needs to be developed in order to meet the user needs, namely students and teachers in any other case. As a novel science learning model, there are still spaces for researchers to find out more about the epistemic platform and the kind of game-like science learning environment. Further studies should be the conducted in every perspective of the use and develop kinds of game based science learning. Here are some of the research questions.

1. Is it possible to use the epistemic platform for science learning with computer in learning other science or other subject areas?
2. Is there any gender difference in implementation of the curriculum unit of the epistemic platform?
3. Does the epistemic platform have the impact on learning retention?
4. Is there difference between the epistemic platform and the traditional instruction?
5. Is it possible to use the framework of the epistemic platform to develop an effective non computer based game for students?
6. Is there any student's creativity affected by the epistemic platform?

As listed above, a kind of game based science learning need many research in this respectively new field to find out the positive effects on education, science education in particular. To develop innovation in science education, there are still more rooms for research to be done to elevated the next level of creative science education.

As a result, these findings from the research study on the epistemic platform for science learning with a computer game in learning fundamental nanoscience and

nanotechnology have paid contribution to the research field of game based learning, in science learning in particular. This can be used as a guide for any further research study.





BIBLIOGRAPHY

- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1993). *Benchmarks for Science Literacy: A Project 2061 Report*. New York: Oxford University Press.
- Aldrich Clark. (2005). *Learning by Doing: A Comprehensive Guide to Simulations, Computer Games, and Pedagogy in e-Learning and Other Educational Experiences*. New York: Wiley.
- Andre, Thomas. (1986). Problem Solving and Education. In *Development in Learning and Assessment*. Murphy, Patricia; & Moon, Bob (Eds.) London: Moon Hodder & Stoughton: pp. 60-74.
- Avedon, E.M.; & Sutton-Smith, B. (1981). *The Study of Games*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Baggott, L. M. (1998). Multimedia Simulation: A Threat or an Enhancement of Practical Work in Science Education in Wellington. In *Practical Work in School Science – Which way now?* Jerry (Ed). London: Routledge.
- Barab, S. A.; & Plucker, J. A. (2002). Smart People or Smart Contexts? Cognition, Ability, and Talent Development in an Age of Situated Approaches to Knowing and Learning. *Educational Psychologist*. 37(3): 165-182.
- Barab S. & Squire K. (2004). Design-Based Research: Putting a Stake in the Ground. *The Journal of the Learning Sciences*. 13(1): 1–14.
- Barab, S. A.; et al. (2002). Quest Atlantis: Creating a Community-Based, Online, Meta-Game for Learning. *Conference Proceedings of the International Conference of the Learning Sciences*. pp. 235-243.
- Barab Sasha; Warren Scott; & Adam Ingram-Goble. (2006). *Academic Play Spaces: Designing Games for Education*. Paper presented at the Annual Conference of the American Educational Research Association, San Francisco. Date: 3/14/06.
- Barab, S.; et al. (2005). Making Learning Fun: Quest Atlantis, A Game Without Guns. *Educational Technology Research and Development*. 53(1): 86-107.
- Barton, R. (2002). *Learning Science with the Aid of Computers*. Cambridge: Homerton.

- Beck, J.; & Wade. (2004). *Got Game: How the gamer generation is reshaping business forever*. Cambridge, MA: Harvard Business School Press.
- Beichner, R.; et al. (1999). Case study of the Physics Component of an Integrated Curriculum, Physics Education Research. *American Journal of Physics Supplement*. 67(7): S16-SS24.
- Bell, P.; Davis, E. A.; & Linn, M. C. (1996). The Knowledge Integration Environment: Theory and Design. In *Proceedings of the Computer Supported Collaborative Learning Conference* (CSCL '95: Bloomington, IN) pp. 14-21. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Assoc.
- Bliss, J.; et al. (1992). *Tools for Exploratory Learning Programme End of Award Report 2 Semi Quantitative Reasoning-Expressive*. London: University of London.
- Boohan, R. (1994). Interpreting the World with Numbers: An Introduction to Quantitative Modeling. Cited In Mellar, H.; et al. *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum*. London: The Falmer Press.
- Bosch, K. A. (1993). Is There a Computer Crisis in the Classroom? *Schools in the Middle*. 2(4): 7-9.
- Bowman, R. F. (1982). A "Pac-Man" Theory of Motivation: Tactile Implications for Classroom Instruction. *Educational Technology*. 22(9): 14-17.
- Brophy, Sean P. (1998). *Sequencing Problem Solving and Hands on Activities. Does It Matters*. The Design Based Research Collective. Retrieved September 26, 2003, from <http://www.designbasedresearch.org/reppubs/brophyquest.pdf>
- Brown, A. L. (1992). Design Experiments: Theoretical and Methodological Challenges in Creating Complex Interventions in Classroom Settings. *The Journal of The Learning Sciences*. 2(2): 141-178.
- Brown, J. S.; Collins, A.; & Duguid. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher*. 18(1). 32-42.
- Bruckman, A. (1993). Community Support for Constructivist Learning. *Computer Supported Cooperative Work*. 7: 47-86.

- Bruckman, A. (1997). *MOOSE Crossing: Construction, Community, and Learning in a Networked Virtual World for Kids*. Doctoral dissertation (Educational Technology). MA: MIT.
- Bruner, J. (1986). *Actual Minds, Possible Worlds*. Cambridge, MA : Harvard.
- Brush, T.; & Saye, J. (2001). The Use of Embedded Scaffolds with Hypermedia-Supported Student-Centered Learning. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*. 10(4): 333-356.
- Cathcart, W. G. (1990). Effects of Logo Instruction on Cognitive Style. *Journal of Educational Computing Research*. 6 (2): 231-242.
- Centre for Educational Research and Innovation (CERI). (1987). *Information Technologies and Basic Learning: Reading Writing, Science and Mathematics*. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development, France.
- Chaiklin, S.; & Lave, J. (1993). *Understanding Practice: Perspectives on Activity and Context*. New York: Cambridge University Press.
- Champagne, A.B.; & Kouba, V.L. (2000). Writing to Inquire: Written Products as Performance Measures. In *Assessing Science Understanding: A Human Constructivist View*. Mintzes J.J.; Wandersee J.H.; & Novak J.D. (Eds.). pp. 223-248. San Diego, CA: Academic Press.
- Chinnapat Bhumirat. (2001). *Policy Research for Science Education Reform in Thailand*. Bangkok: Office of the National Education Commission.
- Coles, M. (1998). *The Nature of Scientific Work: A Study of How Science Is Used in Work Settings and the Implications for Education and Training Programmes*. London: Institute of Education.
- Collins, A. (1988). *Cognitive Apprenticeship and Instructional technology*. (Technical Report No. 6899). MA Cambridge: BBN Labs Inc.
- Collins, A. (1989). *Cognition Apprenticeship and Instructional Technology*. Technical Report No. 474. Champaign, IL: Center for the Study of Reading, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Collins, A. (1991). *The Role of Computer Technology in Restructuring Schools*. Phi Delta Kappan. 73, 28-36.

- Collins, A. (1992). Toward a Design Science of Education. In *New direction educational technology*. Scanlon, E.; & O'Shea. T. (Eds.). pp. 15–22. New York: Springer-Verlag.
- Cordova, D. I.; & Lepper, M. R. (1996). Intrinsic motivation and the process of learning: Beneficial effects of contextualization, personalization, and choice. *Journal of Educational Psychology*, 88, 715-730.
- Cox, M. J. (1984). Evaluation and Dissemination of Science Software. *Journal of Science Education in Japan*. 8 (2): 147-56.
- Cox, M. J. (1997). *The Effects of Information Technology on Students' Motivation: Summary Report*. London: Kings College London/NCET
- Cox, M. J. (2000). Information and Communications Technologies: Their Role and Value for Science Education. In *Good Practice in Science Education: What Research Has to Say*. Monk, M.;& Osborne, J. (eds). Buckingham: Open University Press.
- Crook, C. (1991). Computers in the Zone of Proximal Development: Implications for Evaluation. *Computers and Education*. 17 (1): 81-91.
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. New York: Harper & Row.
- Darling-Hammond, L.; & Falk, B. (1997). *Using Standards and Assessment to Support Student Learning*. Phi Delta Kappan. 79: 190-199.
- De Jong;& van Joolingen. (1998, summer). Scientific Discovery Learning with a Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*. 68(2): 179-201.
- Deaney, R.; Ruthven, K.; & Hennessy, S. (n.d.). *Secondary School Students' Perspectives on Information and Communication Technology in Subject Learning and Teaching*. Research Papers in Education.
- Dede, C.; & Ketelhut, D. (2003, April). *Designing for Motivation and Usability in a Web-Based Multi-user Virtual Environment*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association. Chicago, IL.

- Demorest, M. E. (1986). Problem Solving: Stages, Strategies, and Stumbling Blocks. *Journal of Academic Rehabilitation Audiology*. 19: 13-26.
- Design-Based Research Collective. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*. 32(1) :5–8.
- Dewey, John. (1933). *How We Think*. Forward copyright 1998. USA: Houghton Mifflin.
- Doll, W. E. (1993). A Post-Modern Perspective on Curriculum. New York: Teachers College Press.
- Downer, R.G.H.; & Rana, K. (1999). Secondary Science Education in Thailand. In *Science and Environment Education Views from Developing Countries*. Ware, S. ed., pp. 163-177.
- Drori, Gili S. (2000). Science Education and Economic development: Trends, Relationship, and Research Agenda. *Studies in Science Education*. 35(1): 27-58
- Dundis, Stephen. (2003). *Problem Solving*. Human Resource Development, Northeastern Illinois University. Retrieved August 1, 2003, from <http://www.neiu.edu/~sdundis/hrd321/probsolv.doc.pdf>
- Engeström, Y. (1987). *Learning by Expanding*. Helsinki: Orienta-konsultit.
- Engeström, Y. (1993). Developmental Studies of Work as a Test Bench of Activity Theory: The Case of Primary Care Medical Practice. In *Understanding Practice: Perspectives on Activity and Context*. Chaiklin S. & Lave J. (Eds.). pp. 64-103. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Fancher, R. E. (1990). *Pioneers of Psychology*. 2nd ed. New York: W.W. Norton and Company.
- Finkel, E. A. (1996). Making Sense of Genetics: Students' Knowledge Use During Problem Solving in a High School Genetics Class. *Journal of Research in Science Teaching*. 33(4):345-368.
- Firestone, W.; Mayrowestz, D.; & Fairman, J. (1998). Performance-Based Assessment and Instructional Change: The Effects of Testing in Maine and Maryland. *Educational Evaluation and Policy Analysis*. 20(1): 95-113.

- Forman, E.; & McPhail, J. (1993). Vygotskian Perspectives on Children's Collaborative Problem-Solving Activities. In E. A. Forman, N. Minick, & C. Addison Stone (Eds.). *Contexts for Learning: Sociocultural Dynamics in Children's Development*. Oxford: Oxford University Press.
- Frost, R.; et al. (1994). *Enhancing Science with IT*. Coventry: National Council for Educational Technology.
- Frye, B.; & Frager, A. M. (1996). Civilization, Colonization, SimCity: Simulations for the Social Studies Classroom. *Learning and Leading with Technology*. 24 (2): 21-23, 32.
- Games-to-Teach Team. (2003). Design Principles of Next-Generation Digital Gaming for Education. *Educational Technology*, 43(5): 17-33.
- Gee, J.P. (2003). *What Video Games Have to Teach Us about Learning and Literacy*. New York: Palgrave/Macmillan.
- Gee, J.P. (2004). *Video Games: Embodies Empathy for Complex Systems*. The Paper presented at E3, Los Angeles, CA
- Gee, J.P. (2005). Video Games, Mind, and Learning. *The International Digital Media & Arts Association Journal*. 2(1): 37-42.
- Gee, J. P. (2005). *Why Video Games Are Good for Your Soul: Pleasure and Learning*. Melbourne: Common Ground.
- Gee, J. P. (2005). *Why Are Video Games Good For Learning?* Madison, WI: UW. Retrieved January 30, 2005 from <http://www.academiccolab.org/resources/documents/MacArthur.pdf>
- Gilbert, J. (2004). *The RoutledgeFalmer Reader in Science Education*. New York: Taylor & Francis group.
- Gilhooly, K. J. (1989). Human and Machine Problem Solving: Toward a Comparative Cognition Science. In *Human and Machine Problem Solving*. Gilhooly, K. J. (Ed.). New York: Plenum Press.

- Gipps, John. (2001). *Data Logging and Inquiry learning in Science*. In The Seventh World Conference on Computers in Education, July 29 – August 3, 2001. Copenhagen: Conference in Research and Practice in Information Technology. Retrieved June 7, 2003, from <http://crpit.com/conpapers/CRPITV8Gibbs.pdf>.
- Glenberg, A. M.; & David, A R. (1999). Indexical Understanding of Instruction. *Discourse Processes*. 28(1): 1-26.
- Hall, K. (1998). *TIENET: Technology in Education Network*. Retrieved March 13, 2004, from <http://www.hurcules.coe.ohio-state.edu>.
- Hannafin, M.; et al. (1999). Open Learning Environments: Foundation, Methods, and Models. In *Instructional-Design Theories and Models: A New Paradigm of Instructional theory, Vol.2* pp. 115-140. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hausman, D. (1992). The Inexact and Separate Science Economics. In *The World as a Process: Simulations in the Natural and Social Sciences*. Hartmann, Stephan (2005) Retrieved November 23, 2006, <http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00002412/>
- Hennessy, S. (1993). Situated Cognition and Cognitive Apprenticeship: Implications for Classroom Learning. *Studies in Science Education*. 22(1):1-41.
- Herz, J.C. (1997). *Joystick Nation*. Little, Brown & Company (p27)
- INSEAD. (2004). *Examples of Business Simulations and Games*. Retrieved October 15, 2004, from <http://www.insead.fr/facultyresearch/business.htm>
- Issroff, Scanlon. (2002). Educational Technology: The Influence of Theory. *Journal of Interactive Media in Education*. 2002 (6).
- Jenkins, H.; Squire, K.; & Tan, P. (in press). Don't Bring that Game to School: Designing Supercharged! to appear in Laurel, B. (Ed.) *Design Research*. Cambridge: MIT Press.
- John-Steiner, V.; & Mahn, H. (1996). Sociocultural Approaches to Learning and Development: A Vygotskian Framework. *Educational Psychologist*. 31(3/4) :191-206.

- Jones, A.; & Mercer, N. (1993). *Theories of Learning and Information Technology. In Language, Classrooms and Computers*. Scrimshaw, P. (Ed.). London and New York: Routledge.
- Jones, B.; et al. (1994). *Designing Learning and Technology for Educational Reform*. North Central Regional Educational Laboratory. Retrieved August 28, 2004 From <http://www.ncrtec.org/capacity/profile/profwww.htm>
- Jostens Learning Corporation. (1997, April 7). *Survey Analysis by Global Strategy Group*. San Diego: Jostens Learning Corporation.
- Kearsley, G.; & Shneiderman, B. (1999). Engagement Theory: A Framework for Technology-Based Teaching and Learning. *Educational Technology*. 38(5): 20-23.
- Kelly, M.K.; & Kahle, J.B. (1999). *Performance Assessment as A Tool to Enhance Teacher Understanding of Student Conceptions of Science*. Paper presented at Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Boston, MA.
- Kiat Ampra.; & Chadjane Thaithae. (1999, March 9 - 17). *Curriculum Planning, Development and Reform in Globalization and Living together: The Challenges for Educational Content in Asia*. New Delhi, India. pp.126-130.
- Kirriemuir, J. (2002). Education and Digital Learning Technologies: Relevance and Opportunities. In *D-Lib Magazine Video Gaming*. V. 8 (2): ISSN 1082-9873
- Kirshner, D.; & Whitson, J. A. (Eds.). (1997). *Situated Cognition: Social, Semiotic, and Psychological Perspectives*. Mahway, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Knorr-Cetina, K.D. (1983). *The Ethnographic Study of Scientific Work: Towards a Constructivist Interpretation of Science*. *Science Observed*. Beverly Hills, CA: Sage Publications.
- Kraengsak Charernwongsak. (2003). *Strategic Thinking* (การคิดเชิงกลยุทธ์). Bangkok: Success Media.
- Kurland, D. M.; & Pea, R. D. (1983). *Children's Mental Models of Recursive LOGO Programmes Proceedings of the Fifth Annual Cognitive Science Society*. Rochester, New York: Lawrence Erlbaum Associates.

- Lauber, Erick. (2005, November-December). The Design of 3-D, Fast-Action Digital Games for the Classroom. *Educational Technology*. 45(6): 52-55.
- Lave, J. (1988). *Cognition in Practice*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Lave, J.; & Wenger, E. (1991). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. New York: Cambridge University Press.
- Layton, D. (1973). *Science for the People: The Origins of the School Science Curriculum in England*. London: Allen and Unwin.
- Linn, M. C.; & Songer, N. B. (1993). Cognitive and Conceptual Change in Adolescence. In *Teaching Learning and Assessment in Science Education*. Edwards, D.; Scanlon, E. & West, D. (eds). Buckingham: Open University Press.
- Littleton, K.; & Hakkinen, P. (1999). Learning Together: Understanding the Processes of Computer-Based Collaborative Learning. In *Collaborative Learning: Cognitive and Computational Approaches*. Dillenbourg, P. (Ed). Amsterdam: Pergammon Press.
- Malone, T. W. (1981a). Toward a Theory of Intrinsically Motivating Instruction. *Cognitive Scienc*. 4: (333- 369).
- Malone, T. W. (1981b). What Makes Computer Games Fun? *BYTE*.
- Marlowne, B. A.; & Page M. L. (1998). *Creating and Sustaining the Constructivist Classroom*. USA: Corwin Press.
- McFarlane, A. E.; & Freidler, Y. (1998). Where You Want IT When You Want IT- the Role of Portable Computers in Science Education. In *International Handbook of Science Education*. Fraser, B.; & Tobin, K. (eds). Amsterdam: Kluwer (pp. 399 – 420).
- McFarlane A. E. (2000). The Impact of IT. In *Science 3-13*. Warwick P.; & Sparkes R. L. (eds). London: Falmer.
- McFarlane, A; Sparrowhawk, A.; & Heald, Y. (2002). *Report on the Educational Use of Games*. TEEM (Teachers Evaluating Educational Multimedia). Retrieved July 12, 2004, from <http://www.teem.org.uk/>
- McLellan, H. (1996). *Situated Learning Perspectives*. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.

- Mellar, H.; & Bliss, J. (1994). Introduction: Modeling and Education. In *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modeling in the Curriculum*. Mellar, H.; Bliss J; Boohan, R.; Osborn, J. & Tompsett, C. (eds). London: The Falmer Press.
- Mellar, H. (1994). Towards a Modeling Curriculum. In *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modeling in the Curriculum*. Mellar, H.; Bliss, J.; Boohan, R.; Osborn, J.; & Tompsett, C. (eds). London: The Falmer Press.
- Mellar, H.; et al. (1994). *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modeling in the Curriculum*. London: The Falmer Press.
- Millar, R. (1996). Towards a Science Curriculum for Public Understanding. *School Science Review*. 77(280): 7-18.
- Miller, L.; Dhaika, M.; & Groppe, L. (1996). Girls Preferences in Software Design: Insights from a Focus Group. *Technology and Electronic Journal the 21st Century*. Retrieved May 23, 2003, from MILLER IPCTV4N2 on LISTSERV@LISTSERVE.GEORGETOWN.EDU.
- Miller-Lachmann, L.; et al. (1995). Exploring America in Computer Simulation Games. *Multicultural Review*. 4(3). 44-46,48-52.
- Milner, B. (1986). Why Teach Science and Why to All? In *The ASE Science Teacher's Handbook*. Nicholl, B. (Ed). London: Hutchinson.
- National Research Council (NRC). (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academic Press.
- Neo, Ken T. K.; & Neo, Mai. (n. d.). Problem Solving on the Internet Using Web Based Authoring Tools: A Malaysian Experience. *E-Journal of Instructional Science and Technology*. Retrieved June 5, 2003, from <http://www.usqedu.au/electpub/e-jist/docs/Vol5%20No2/Neo%20-%20Final.pdf>
- Niess, N. L. (1991). Computer-Using Teachers in a New Decade. *Education and Computing*. 7, (3-4): 151-156.
- Office of The National Education Commission (ONEC): Thailand. (1999). *National Education Act of B.E. 2542 (1999)*. Bangkok: Seven Printing Group.
- Ornstein, A. C.; & Hunkins, F. P. (1998). *Curriculum-Foundations, Principles, and Issues*. 3rd ed.. Boston: Allyn and Bacon.

- Orwant, J. (2000). *EGGG: The Extensible Graphical Game Generator*. Boston, MA: MIT Ph.D. thesis. Chapter 2. Retrieved May 25, 2005, from <http://orwant.com/eggg.html>
- Osborne, J.; & Hennessy, S. (2003). *Report 6: Literature Review in Science Education and the Role of ICT: Promise, Problems and Future Directions*. Blistal: NESTA Futurelab Retrieved May 23, 2005, from http://www.nestafuturelab.org/download/pdfs/research/lit_reviews/Secondary_School_Review.pdf
- Owen, Martin. (2004). *An Anatomy of Games: A Discussion Paper*. Blistal: NESTA Futurelab. Retrieved May 23, 2005 from www.futurelab.org.uk
- Papert, S. A. (1980). *Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas*. New York: Basic Books.
- Peterson, N.; & Jungck, J.R. (1988, March/April). Problem-Posing, Problem Solving, and Peer Persuasion in Biology Education. *Academic Computing*. pp. 14-17 & 45-50.
- Phillips, D. C. (1995). The Good, the Bad, and the Ugly: The Many Faces of Constructivism. *Educational Researcher*. 24(7): 5-12.
- Pillay, H. (2002). *Teacher Development for Quality Learning: the Thailand Education Reform Project*. Retrieved: April 15, 2003, from <http://www.worldedreform.com/pub/fulltext4.pdf> .
- Prensky, M. (2001). *Digital Game-Based Learning*. New York: McGraw-Hill.
- Provenzo, E. F. (1991). *Video Kids: Making Sense of Nintendo*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Quinn, Clark N. 2005. *Engaging Learning: Designing E-Learning Simulation Games*. San Francisco, CA: Pfeiffer
- Rieber, L. P. (1996). Seriously Considering Play: Designing Interactive Learning Environments Based on the Blending of Microworlds, Simulations, and Games. *Educational Technology Research and Development*. 44(2): 43-58.
- Rogers, L. (2002). *Physics in New Fields and Modern Applications*. Groupe International de Recherch sur l'Enseignement de la Physique (GIREP), Lund.
- Rogoff, B. (1990). *Apprenticeship in Thinking: Cognitive Development in Social Context*. New York: Oxford University Press.

- Rosenshine, B.; & Meister, C. (1992). The Use of Scaffolds for Teaching Higher-Level Cognitive Strategies. *Educational Leadership*. 49: 26-33.
- Salen, K.; & Zimmerman, E. (2004). *Rules of Play*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Sawyer, Ben. (2002). The Next Ages of Game Development. *Avault*.
- Scaife, J.; & Wellington, J. (1993). *Information Technology in Science and Technology Education*. In Series: Developing Science and Technology Education. Buckingham: Open University Press.
- Scardamalia, M.; et al. (1989). Computer-Supported Intentional Learning Environments. *Journal of Educational Computing Research*. 5(1): 51-6.
- Schlechty, P. C. (1990). *Schools for the 21st Century: Leadership Imperatives for Educational Reform*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Schlechty, P. C. (1997). *Inventing Better Schools: An Action Plan for Educational Reform*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Schofield, J. W.; Eurich-Fulcer, R.; & Britt, C. L. (1993). Teachers, Computer-Tutors and Teaching: the Artificial Intelligent Tutor as an Agent for Change. *Journal of Educational technology*. 31(3): 579-607.
- Schon, D. A. (1987). *Educating the Reflective Practitioner: Toward a New Design for Teaching and Learning in the Professions*. San Francisco: Jossey-Bass
- SCIENCE CONSORTIUM. (2001). Retrieved April 28, 2003, from <http://www.scienceconsortium.co.uk>
- Shaffer, D. W. (2005a). Epistemic Games. *Innovate*, 1(6). Reprinted in *Computer Education*.
- Shaffer, D. W. (2005b). *Epistemography and the Participant Structures of a Professional Practicum: A Story behind the Story of Journalism* 828. (WCER Working Paper). Madison: University of Wisconsin-Madison, Wisconsin Center for Education Research.
- Shaffer, D. W.; et al. (2004). *Video Games and the Future of Learning*. Retrieved December 12, 2004, from <http://www.academiccolab.org/resources/gappspaper1.pdf>

- Shavelson, R.J.; Baxter, G.P.; & Pine, J. (1992). Performance Assessment; Political Rhetoric and Measurement Reality. *Educational Researcher*. 22-27.
- Shepard, L. (2000). The Role of Assessment in Learning Culture. *Educational Researcher*. 29 (7): 4-14.
- Shepard, L.; et al. (1996). Effects of Introducing Classroom Performance Assessment on Student Learning. *Educational Measurement : Issue and Practices*, 15(1): 7-18.
- Simon, H. A. (1981). *The Sciences of the Artificial*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Smith, P.; & Ragan, T. (1999). *Instructional Design*. 2nd Ed. Upper Saddle River, NJ: Merrill.
- Sor Wasna Pravalpruk. (1999). Learning and Assessment in the Science Classroom In Thailand. *Assessment in Education: Principles, Policy and Practice*. 6(1): 75-82.
- Squire, K. (2003). Video Games in Education. *International Journal of Intelligent Games & Simulation*. 2(1). Retrieved November 1, 2003, from <http://www.scit.wlv.ac.uk/~cm1822/ijkurt.pdf>.
- Squire, K.; et al. (2004). Electromagnetism Supercharged! Learning Physics with Digital Simulation Games. In *Proceedings of the Sixth International Conference of the Learning Sciences*. Kafai, Y. B.; Sandoval, W. A.; Enyedy, N.; Nixon, A. S.; & Herrera, F., (Eds.), pp. 513-520. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Stenmark, J. (1991). *Mathematics Assessment: Myths, Models, Good Questions, and Practical Suggestions*. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- Teague, M.; & Teague, G. (1995). Planning with Computers: A Social Studies Simulation. *Learning and Leading with Technology*. 23(1): 20-22
- Thomas, G; & Durant, J. (1987). Why should We Promote the Public Understanding of Science? In *Scientific Literacy Papers*. Shortland, M. (Ed). Oxford: Oxford Department of External Studies.
- Tissana Khaemane. (2002). *Science of Teaching (ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ)*. Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- Trotter, A. (1997). Taking Technology's Measure. In *Technology Counts: Schools and Reform in the Information Age*. *Education Week*. 17(11): 6-11.

- Tsaparlis, Georgios; & Angelopoulos, Vasileios. (2000). A Model of Problem Solving: Its Operation, Validity and Usefulness in the Case of Organic Synthesis Problem. *Science Education*. 84: 131-153.
- Turkle, S. (1995). *Life on the Screen: Identity in the Age of the Internet*. New York: Simon & Schuster.
- UNESCO. (2003). *Projects in ICT*. [Homepage of UNESCO]. Retrieved November, 2, 2003, from http://www.unesco.org/bangkok/education/ict/unesco_projects/JFIT/proposedind.htm.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press
- Vygotsky, L. S. (1989). Concrete Human Psychology. *Soviet Psychology*. 27(2): 53-77.
- Watson, D. M. (1993). The Impact Report – An Evaluation of the Impact of Information Technology on Children's Achievements in Primary and Secondary Schools. London: King's College.
- Wenger, E. (1998). *Communities of Practice*. New York: Cambridge University Press.
- Wenger, E.; McDermott, R.; & Snyder, W. (2002). *Cultivating Communities of Practice*. Cambridge, MA: Harvard Business School Press.
- Wertsch, J. V.; & Resnick, L. B. (1991). A Sociocultural Approach to Socially Shared Cognition. In *Perspectives on Socially Shared Cognition*. pp. 85-100. Washington: American Psychological Association
- Wideman, H. H.; & Owston, R. D. (1988). Student Development of an Expert System: A Case-Study. *Journal of Computer Based Instruction*. 15 (3): 88-94.
- Wild, M.; & Braid, P. (1996). Children's Talk in Co-operative Groups. *Journal of Computer Assisted Learning*. 12 (4): 216-231.
- Wing, Richard L.. (1968). Two Computer-Based Economics Games for Sixth Graders. In *Simulation Games in Learning*. Boocock, Sarane S.; & Schild, E. O. (Eds). pp. 161-162. Beverly Hill, CA: Sage Publication, Inc.
- Woolfolk, A. E. (2001). *Educational Psychology*. 8th ed. Needham Heights, MA: Allyn and Bacon.





APPENDIX A

The Lists of Participants

A List of the three experts checking the quality of research tools and evaluating the curriculum unit materials

1. Dr. Sommai Papatitangkho as an expert in field of chemistry and nanotechnology education

A Head of Department of Chemistry, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University

A Certificated Trainer of the TTN project, the National Nanotechnology Center (NANOTEC) NSTDA

2. Assist. Prof. Dr. Direk Theeraphuthon as an expert in education technology field

A researcher and lecturer at Faculty of Education, Naresuan University

3. Miss Chirapha Yodprachon as an expert in high school science and chemistry teaching

An experienced Science and Chemistry Teacher at Princess Chulabhorn's College Phitsanulok

The participating teacher in the implementation study

Miss Phansiri Moonsri as the participating teacher

An experienced science and chemistry teacher in the Demonstration School of Naresuan University, Phitsanulok



APPENDIX B

Research Instruments and Tools

Classroom Observation Form

แบบสังเกตชั้นเรียน

คำชี้แจง แบบสังเกตชั้นเรียนฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการรวบรวมข้อมูลจากการสังเกตในห้องเรียนและ
ระบอบกลไกการเรียนรู้ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนกับสื่อ นักเรียนกับนักเรียน นักเรียนกับครูผู้สอน
ปฏิกิริยาของนักเรียนที่เกิดขึ้นระหว่างกิจกรรมการเรียนรู้ โดยผู้วิจัยเป็นผู้เก็บรวบรวมข้อมูล ดังประเด็น
สำคัญดังนี้

1. รูปแบบของปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างนักเรียนกับสื่อเกมคอมพิวเตอร์

.....

.....

.....

.....

.....

2. รูปแบบของปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างนักเรียนกับนักเรียน

.....

.....

.....

.....

3. รูปแบบของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างนักเรียนกับครูผู้สอน

.....

.....

4. กลไก/พลวัต ความต่อเนื่อง ความสั่นไหวของการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้

5. บรรยากาศของห้องเรียน

6. กริยาและการกระทำของนักเรียนที่สำคัญที่เกิดขึ้นในห้องเรียน

ลงชื่อผู้เก็บรวบรวมข้อมูล.....

วันที่.....

Question set for focus group discussion and individual interview

ชุดคำถามสำหรับการอภิปรายกลุ่มย่อยเฉพาะเจาะจง และสัมภาษณ์รายบุคคล

1. นักเรียนมีความคิดเห็นอย่างไรต่อกิจกรรมการเรียนรู้ในหน่วยหลักสูตรนี้?
2. นักเรียนคิดว่ารูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ใช้เกมคอมพิวเตอร์ร่วมกันช่วยให้เรียนรู้ได้ดีกว่าวิธีดั้งเดิมหรือไม่ อย่างไร?
3. กิจกรรมการเรียนรู้ส่วนไหนที่นักเรียนชอบมากที่สุดเพราะเหตุใด
4. กิจกรรมการเรียนรู้ส่วนไหนที่นักเรียนไม่ชอบที่สุด และต้องการให้ปรับปรุง เปลี่ยนแปลงเพราะเหตุใด
5. นักเรียนได้เรียนรู้อะไรบ้างในกิจกรรมการเรียนรู้ของหน่วยหลักสูตรที่ไม่ได้จากการเรียนการสอนแบบวิธีดั้งเดิม
6. นักเรียนคิดว่า นักเรียนชอบและต้องการที่จะเรียนรู้ด้วยรูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ใช้เกมคอมพิวเตอร์ร่วมกันหรือไม่ อย่างไร
7. นักเรียนมีความคิดเห็นอะไรเพิ่มเติมหรือไม่ โปรดจงอธิบาย

แบบทดสอบวัดความสามารถด้านการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

หน่วยหลักสูตรการเรียนรู้เทคโนโลยีเบื้องต้น

คำชี้แจง 1. แบบทดสอบวัดความสามารถด้านการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ฉบับนี้มีทั้งหมด 5 ข้อหลักข้อละ 4 ข้อรวม 20 ข้อ 20 คะแนน แต่ละข้อย่อยเป็นข้อสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือก

2. ข้อสอบหลักในแต่ละข้อจะเป็นสถานการณ์และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจะมีคำถามย่อย 4 คำถาม เพื่อให้นักเรียน วิเคราะห์ ประเมิน ตัดสินใจ ตามกรอบแนวคิดการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นวิเคราะห์และระบุปัญหาหรือเป้าหมาย
 2. ขั้นสร้างหรือหาวิธีการแก้ปัญหาหรือวิธีการไปสู่เป้าหมาย
 3. ขั้นการวิเคราะห์ ประเมิน เปรียบเทียบและระบุตัดสินใจเลือกวิธีการที่ดีที่สุด
 4. ขั้นการตรวจสอบผลลัพธ์ของวิธีการที่เลือก
3. ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงหนึ่งข้อ ลงในกระดาษคำตอบ
4. เวลาในการทำแบบทดสอบทั้งหมดคือ 40 นาที

ข้อที่ 1 สถานการณ์ การพัฒนาเทคนิคใหม่เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของเสื้อผ้าด้วยการเติมอนุภาคนาโนจะช่วยให้เสื้อผ้ามีคุณสมบัติพิเศษเพิ่มขึ้นเช่นการเติมอนุภาคโลหะเงินนาโนลงในเส้นใยของเสื้อผ้าจะช่วยให้เสื้อผ้ามีคุณสมบัติการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆ อย่างไรก็ตามเทคนิคหรือวิธีการเติมอนุภาคที่เหมาะสมจะทำให้อนุภาคนาโนสามารถแสดงคุณสมบัติ และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด วิธีการที่นิยมกันได้แก่ วิธีที่หนึ่งคือ การเคลือบอนุภาคนาโนบนเส้นใย ส่วนวิธีที่สอง คือการเติมอนุภาคลงในเส้นใยตั้งแต่กระบวนการขึ้นรูปเส้นใย วิธีการเคลือบอนุภาคโลหะเงิน จะเป็นการเคลือบอนุภาคนาโนลงบนพื้นผิวของเส้นใยซึ่งไม่มีผลต่อคุณสมบัติของเส้นใย ส่วนวิธีการเติมอนุภาคนาโนลงในเส้นใยเป็นวิธีที่เติมอนุภาคโลหะเงินนาโนลงไปโดยตรงในขั้นตอนการผลิตขึ้นรูปเส้นใย ซึ่งทำให้อนุภาคนาโนจะกระจายตัวอยู่ในเนื้อของเส้นใย

1.1 ปัญหาหรือเป้าหมายคืออะไร

- ก. พัฒนาเทคนิคการเติมอนุภาค
- ข. การพัฒนาคุณสมบัติของเสื้อผ้า
- ค. ความต้องการพัฒนาเทคนิคใหม่ๆ
- ง. การพัฒนาคุณภาพเส้นใยของเสื้อผ้า

1.2 วิธีการและทางเลือกที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหาหรือเป้าหมายคืออะไร

- ก. วิธีการขึ้นรูปเส้นใยของเสื้อผ้า
- ข. วิธีการสังเคราะห์อนุภาคโลหะเงินนาโน
- ค. วิธีการเติมอนุภาคลงในเส้นใยของเสื้อผ้า
- ง. วิธีการทดสอบคุณสมบัติอนุภาคโลหะเงินนาโน

1.3 ผลการ วิเคราะห์ ประเมินเปรียบเทียบ และตัดสินใจเลือกวิธีการที่นำไปสู่การแก้ปัญหาหรือเป้าหมายที่ดีที่สุด คืออะไร

- ก. วิธีการเติมอนุภาคลงในเส้นใยโดยตรง เพราะใช้อนุภาคโลหะเงินนาโนในปริมาณมาก

ข. วิธีการเคลื่อนอนุภาคบนพื้นผิวเส้นใย เพราะอนุภาคโลหะเงินที่ยึดติดอยู่บนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ มีการยึดติดอย่างเหนียวแน่น และอยู่ได้นาน หลายเดือน

ค. วิธีการเติมอนุภาคลงในเส้นใยโดยตรง เพราะอนุภาคโลหะเงินนาโนจะเกาะติดอยู่ในเนื้อเส้นใย

ง. วิธีการเคลื่อนอนุภาคบนพื้นผิวเส้นใย เพราะมีความปลอดภัย ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ แต่ต่อต้านและทำลายเชื้อแบคทีเรียและเชื้อต่างๆ ได้ดี

1.4 การตรวจสอบวิธีการที่เลือกและผลการตรวจสอบที่คาดว่าจะได้รับ คืออะไร

ก. นำไปทดสอบคุณสมบัติการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์เพื่อเปรียบเทียบ และทดสอบความคงทน ผลที่ได้คือผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อที่ต้องการ และมีความคงทนของคุณสมบัติการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ที่ดีกว่า

ข. นำผลิตภัณฑ์ไปตรวจวิเคราะห์ขนาดและโครงสร้างของอนุภาคนาโนใส่ลงไปในผลิตภัณฑ์ และทดสอบความคงทน ผลที่ได้คือ ผลิตภัณฑ์มีอนุภาคโลหะเงินนาโนที่อยู่ในผลิตภัณฑ์มีขนาดที่ต้องการ และมีความคงทนของคุณสมบัติที่ดีกว่า

ค. นำผลิตภัณฑ์ไปตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐาน ผลที่ได้คือ ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพมาตรฐานตามที่หน่วยงานควบคุมมาตรฐานกำหนด

ง. นำผลิตภัณฑ์ไปตรวจวิเคราะห์ขนาดและโครงสร้างของอนุภาคนาโนใส่ลงไปในผลิตภัณฑ์ รวมทั้งตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐาน ผลที่ได้คือ ผลิตภัณฑ์มีอนุภาคโลหะเงินนาโนที่อยู่ในผลิตภัณฑ์มีขนาดที่ต้องการ และผลิตภัณฑ์มีคุณภาพมาตรฐานตามที่หน่วยงานควบคุมมาตรฐานกำหนด

ข้อที่ 2 สถานการณ์ ผลผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์ประเภทครีมและโลชั่นกันแดดที่ผ่านมายังมีคุณสมบัติที่ไม่สามารถปกป้องผิวจากแสงรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์ในทุกช่วงคลื่นต่างๆ ได้ทั้งหมด ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติด้วยอนุภาคนาโนที่มีความสามารถในการปกป้องผิวจากแสงแดดทุกช่วงความยาวคลื่น โดยไม่ทำให้ผิวขาวออก แต่จะโปร่งใสและยังสามารถสะท้อน ดูดกลืนคลื่นแสงที่จะทำอันตรายกับผิวได้ดีกว่า อนุภาคนาโนที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้พัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติของครีมและโลชั่นกันแดดที่สำคัญ ได้แก่ นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และนาโนซิงค์ออกไซด์

นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ เป็นสารที่มีขนาดในระดับนาโนเมตรที่มีคุณสมบัติเป็นตัวต่อต้านจุลชีพ (Antimicrobial agent) โดยใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (photocatalytics) อีกทั้งยังมีความสามารถในการเป็นสารที่สะท้อน ดูดกลืน และหักเหคลื่นแสงแดดที่จะทำอันตรายต่อผิวของมนุษย์

นาโนซิงค์ออกไซด์ เป็นสารที่มีขนาดในระดับนาโนเมตร มีคุณสมบัติที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติด้านการต่อต้านเชื้อจุลชีพ อีกทั้งยังมีความสามารถในการดูดกลืนและสะท้อนคลื่นแสงแดด สามารถดูดกลืนรังสี UVB และ UVA ในช่วงสเปกตรัมที่กว้างที่สุด จึงถูกใช้ในครีมและโลชั่นกันแดด และได้รับการรับรองความปลอดภัยจากกองการอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกา (FDA) มีคุณสมบัติพิเศษก็คือมีความเสถียรต่อแสงด้วย

ถ้าท่านต้องการดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาหรือเพื่อ ไปสู่เป้าหมายจากสถานการณ์ข้างต้น ท่านจะมีดำเนินการอย่างไรตามกรอบแนวคิดของรูปแบบการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์

2.1 ปัญหาหรือเป้าหมายคืออะไร

ก. ครีมและโลชั่นกันแดดขาดการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์

ข. ครีมและโลชั่นกันแดดมีคุณสมบัติที่ไม่สามารถปกป้องผิวได้ดีพอ

ค. นาโนไททาเนียมไดออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์ขาดคุณสมบัติ

ง. นาโนไททาเนียมไดออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์ไม่สามารถปกป้องผิวได้

2.2 วิธีการและทางเลือกที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหาหรือเป้าหมายคืออะไร

- ก. การเลือกประเภทของวัสดุนาโน
- ข. การเลือกใช้ครีมและโลชั่นกันแดด
- ค. การใช้วัสดุนาโนที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม
- ง. การใช้ไททาเนียมไดออกไซด์และครีมและโลชั่นกันแดด

2.3 ผลการ วิเคราะห์ ประเมินเปรียบเทียบ และตัดสินใจเลือกวิธีการที่นำไปสู่การแก้ปัญหาหรือเป้าหมายที่ดีที่สุด คืออะไร

- ก. การเลือกใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ เพราะมีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร
- ข. การเลือกใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ เพราะมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง
- ค. การเลือกใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ เพราะสามารถดูดกลืนรังสีทุกช่วงคลื่น มีความปลอดภัยและเสถียรต่อแสง
- ง. การเลือกใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ เพราะสามารถดูดกลืน สะท้อนและหักเหรังสีทุกช่วงคลื่น

2.4 การตรวจสอบวิธีการที่เลือกและผลการตรวจสอบที่คาดว่าจะได้รับ คืออะไร

- ก. นำผลิตภัณฑ์ไปทดสอบคุณสมบัติการปกป้องแสงแดด ผลที่ได้คือผลิตภัณฑ์สามารถปกป้องรังสีได้ทุกช่วงคลื่น
- ข. นำอนุภาคนาโนไปทดสอบคุณสมบัติเป็นตัวต่อต้านจุลชีพ ผลที่ได้คือ ผลิตภัณฑ์สามารถทำลายเชื้อจุลชีพได้ร้อยละ 99
- ค. นำผลิตภัณฑ์ไปตรวจวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบของอนุภาคนาโน ผลที่ได้คือ ผลิตภัณฑ์มีอนุภาคนาโนที่มีขนาดและองค์ประกอบตามที่ต้องการ

ง. นำอนุภาคนาโนไปทดสอบคุณสมบัติการปกป้องแสงแดด ผลที่ได้คือผลิตภัณฑ์สามารถปกป้องรังสีได้ทุกช่วงคลื่น

ข้อที่ 3 สถานการณ์ นาโนซิงค์ออกไซด์ nano ZnO เป็นวัสดุนาโน ประเภทผงผลึกระดับนาโนเมตรที่ได้รับความนิยมอย่างมากจากนักวิจัย อันเนื่องมาจากมีคุณสมบัติที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น คุณสมบัติด้านการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คุณสมบัติด้านการนำไฟฟ้า และคุณสมบัติด้านแสง อย่างไรก็ตาม วิธีการสังเคราะห์สร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ในปัจจุบันยังมีความซับซ้อนยุ่งยาก และใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่มีราคาแพง ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาเทคนิควิธีการสังเคราะห์ที่มีความเหมาะสมให้ดียิ่งขึ้น ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคการสังเคราะห์มากมายที่สะดวกง่าย ซึ่งได้แก่ 1. วิธีการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิค การแยกสลายด้วยความร้อน (Thermal decomposition) และใช้เชื้อพืช *Broussonetia papyrifera* (L.) Vent เป็นตัวกระจาย วิธีการนี้จะใช้ ซิงค์อะซิเตท ($(\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$) เป็นสารตั้งต้นสำหรับการให้ Zn และใช้เชื้อของพืช *Broussonetia papyrifera* (L.) Vent เป็นตัวที่ทำให้อนุภาคกระจายตัว ไม่รวมตัวเป็นก้อนอนุภาคใหญ่ โดยจะผสมสารตั้งต้นกับเชื้อพืชดังกล่าวที่ใช้เป็นตัวทำให้กระจาย dispersant แล้วนำไปให้คลื่นความถี่เหนือเสียงหรือที่เรียกกระบวนการนี้ว่า ultrasonication โดยที่คลื่นเหนือเสียงนี้จะก่อให้เกิดความเค้นและความดันในสารละลายที่ทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กและเมื่อฟองอากาศเหล่านี้แตกตัวก็จะปล่อยพลังงานออกมาพลังงานที่วุ่นนี้จะทำให้สารตั้งต้นเกิดการแยกตัวให้อิออนของ Zn^{2+} แล้วไปรวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็น ZnO ณ จุดนี้ อนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์จะเกิดก่อตัวและไปเกาะที่เชื้อพืชทำให้เกิดการรักษาขนาดไม่ให้เกิดการรวมตัวกันเป็น

อนุภาคที่ใหญ่ขึ้น จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะถูกนำไปทำให้แห้งและเผา (calcination) และผลิตสุดท้ายก็จะเป็นอนุภาคผงนาโนซิงค์ออกไซด์ ส่วนวิธีที่ 2 ก็คือ การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิคการตกตะกอนแบบง่าย สารตั้งต้นที่ใช้คือ ซิงค์อะซิเตต ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) โดยทำปฏิกิริยากับ เบส NH_4OH โดยควบคุมการทำปฏิกิริยาของสารทั้งสองโดยการกำหนดอัตราการหยดของ NH_4OH การทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้นทั้งสองชนิดจะให้ผลิตภัณฑ์เป็นตะกอนสีขาวของซิงค์ออกไซด์ จากนั้นนำตะกอนไปกรองแยก นำไปล้าง และอบให้แห้ง แล้วบด ก่อนที่จะนำไปเผา และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จะเป็นอนุภาคผงนาโนซิงค์ออกไซด์

ถ้าท่านต้องการดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาหรือเพื่อไปสู่เป้าหมายจากสถานการณ์ข้างต้น ท่านจะมีดำเนินการอย่างไรตามกรอบแนวคิดของรูปแบบการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์

3.1 ปัญหาหรือเป้าหมายของสถานการณ์นี้คืออะไร

- ก. นาโนซิงค์ออกไซด์มีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสม
- ข. โครงสร้างของนาโนซิงค์ออกไซด์มีความยุ่งยากซับซ้อน
- ค. วิธีการสังเคราะห์สร้างนาโนซิงค์ออกไซด์มีความซับซ้อนยุ่งยาก
- ง. วิธีการตรวจสอบคุณสมบัตินาโนซิงค์ออกไซด์มีความซับซ้อนยุ่งยาก

3.2 แนวทางหรือวิธีการที่นำไปสู่เป้าหมายหรือการแก้ปัญหาคืออะไร

- ก. เลือกขนาดของนาโนซิงค์ออกไซด์
- ข. เลือกวิธีการสังเคราะห์ที่เหมาะสม
- ค. เลือกวิธีการตรวจสอบคุณสมบัติที่เหมาะสม

ง. เลือกนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม

3.3 ผลการวิเคราะห์ ประเมิน และตัดสินใจเลือกวิธีที่ดีที่สุด คืออะไร

- ก. การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิคการตกตะกอนแบบง่าย เพราะมีความสะดวกขั้นตอนสั้น
- ข. การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิค การแยกสลายด้วยความร้อน เพราะสะดวกใช้เครื่องมือไม่ยุ่งยาก
- ค. การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิคการตกตะกอนแบบง่าย เพราะอนุภาครักษายขนาดไม่ให้เกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น
- ง. การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิค การแยกสลายด้วยความร้อน เพราะอนุภาครักษายขนาดไม่ให้เกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น

3.4 วิธีการตรวจสอบวิธีที่เลือก และผลการตรวจสอบที่คาดว่าจะได้รับ คืออะไร

- ก. ตรวจวิเคราะห์ด้วย กล้อง AFM ผลที่ได้คือภาพโครงสร้างระดับนาโน
- ข. ตรวจสอบวิเคราะห์ขนาดด้วยเครื่อง nano sizer ผลที่ได้คือทราบขนาดของอนุภาค
- ค. ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี ด้วย เครื่องมือ XRD ผลที่ได้คือทราบธาตุองค์ประกอบที่สนใจ
- ง. ตรวจสอบวิเคราะห์ขนาดด้วยเครื่อง nano sizer และวิเคราะห์เปรียบเทียบขั้นตอนและความยากง่าย ผลที่ได้คือทราบขนาดของอนุภาค และทราบวิธีที่ง่ายและประหยัดที่สุด

ข้อที่ 4 สถานการณ์ นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ nano TiO_2 เป็นอนุภาคนาโนของสารประกอบออกไซด์ของโลหะไททาเนียม นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างรูปร่างเป็นแบบรูไทล์และอะนาเทส ได้รับความสนใจจากนักวิจัยอย่างมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้ที่มากมายและหลากหลาย โดยเฉพาะคุณสมบัติเชิงแสงและไฟฟ้ามีความโดดเด่นมาก เช่น ใช้เป็นตัวเซนเซอร์ในการตรวจจับ และการเร่งปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (electrocatalysis) ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (Photocatalysis) นอกจากนี้ยังใช้มากในด้านเมดิซีน เนื่องจากความขาวสว่าง ซึ่งใช้ในรูปแบบของผง เช่น ใช้ในการเคลือบกระจก เพื่อให้กระจกดูสว่างขาว นาโนไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างอนาเทส จะมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (photocatalyst) มีการประยุกต์ใช้ในการเป็นสารเคลือบวัสดุต่างๆ ที่ต้องการให้มีคุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง และคุณสมบัติในการต่อต้านการติดเชื้อ ในขณะที่นาโนไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างรูไทล์ จะมีคุณสมบัติด้านแสง ที่โดดเด่น โดยเฉพาะมีค่าดัชนีหักเหแสงสูง (High Refractive Index, $n = 2.4$)

การพัฒนาปรับปรุงสินค้าจำพวกครีมและโลชั่นกันแดดให้มีคุณสมบัติที่โดดเด่นเหนือกว่าสินค้าประเภทเดียวกันของบริษัทอื่นๆ การใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับความสนใจเป็นพิเศษ อย่างไรก็ตามการที่จะได้มาซึ่งนาโนไททาเนียมที่มีขนาด รูปร่าง และคุณสมบัติที่ต้องการนั้น จะต้องมีการเลือกใช้วิธีการสังเคราะห์ที่มีเทคนิคและการควบคุมขนาดให้เหมาะสม วิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากที่สุด ได้แก่ วิธีการ โซล-เจล และ วิธีการไฮโดรเทอร์มอล เนื่องจากเป็นวิธีการสังเคราะห์ที่ให้สารปริมาณมากและควบคุมปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้

วิธีการ โซล-เจล ใช้สังเคราะห์โดยใช้ไททาเนียมเตตระไฮโดรออกไซด์ (TTiP , $\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4$) เติมนลงในเอทานอล และกรดไนตริก ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมไดเอทานอลามีน ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นนำไปเผาควบคุมอุณหภูมิ ไว้ที่ 600 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมินี้ นาโนไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างผลึกแบบอนาเทสจะเปลี่ยนเป็นโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์

วิธีการไฮโดรเทอร์มอล หรือวิธีการสังเคราะห์ที่อาศัยการเกิดปฏิกิริยาที่ความดันและอุณหภูมิสูง ขั้นตอนการสังเคราะห์จะใช้ $\text{H}_2\text{TiO}_4\text{O}_9$ เพาที่อุณหภูมิ ที่ 500 ถึง 800 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างแบบอนาเทสเป็นหลัก

จากข้อมูลและสถานการณ์ ถ้าท่านต้องการดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหหรือเพื่อไปสู่เป้าหมาย ท่านจะมีดำเนินการอย่างไรตามกรอบแนวคิดของรูปแบบการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์

4.1 ปัญหาหรือเป้าหมายคืออะไร

- ก. การประยุกต์ใช้สมบัติด้านการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคด้วยแสง
- ข. การเลือกและพัฒนาคุณสมบัติอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์
- ค. การสังเคราะห์นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ให้มีขนาดและรูปร่างที่ต้องการ
- ง. การพัฒนาสินค้าผลิตภัณฑ์ ด้วยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ให้มีขนาด รูปร่าง และคุณสมบัติที่ต้องการ

4.2 วิธีการและทางเลือกที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหาหรือเป้าหมายคืออะไร

- ก. การเลือกใช้โครงสร้างผลึกนาโนนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีคุณสมบัติเชิงแสงที่โดดเด่น
- ข. การเลือกวิธีการสังเคราะห์นาโนไททาเนียมไดออกไซด์เพื่อให้ได้ขนาดและรูปร่างที่มีคุณสมบัติที่สอดคล้องของความต้องการของผลิตภัณฑ์
- ค. การเลือกใช้อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดและรูปร่างที่มีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับความต้องการของผลิตภัณฑ์
- ง. การเลือกใช้อนุภาคนาโนนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีคุณสมบัติเชิงแสงและไฟฟ้าที่มีความสอดคล้องกับความต้องการของผลิตภัณฑ์

4.3 ผลการ วิเคราะห์ ประเมินเปรียบเทียบ และตัดสินใจเลือกวิธีการที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหาหรือเป้าหมายที่ดีที่สุด คืออะไร

ก. การเลือกใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างแบบรูไทล์ เพราะมีคุณสมบัติเชิงแสงที่ต้องการ

ข. การเลือกใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างแบบอนาเทส เพราะมีคุณสมบัติเชิงแสงที่ต้องการ

ค. การเลือกวิธีการสังเคราะห์แบบโซล-เจล เพราะเป็นวิธีสังเคราะห์ที่ให้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างรูไทล์ที่มีคุณสมบัติเชิงแสงที่ต้องการ

ง. การเลือกวิธีการสังเคราะห์แบบไฮโรเทอร์มอล เพราะเป็นวิธีสังเคราะห์ที่ให้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างรูไทล์ที่มีคุณสมบัติเชิงแสงที่ต้องการ

4.4 การตรวจสอบวิธีการที่เลือกและผลการตรวจสอบที่คาดว่าจะได้รับ คืออะไร

ก. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติ ผลที่ได้คือ ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติที่ต้องการ

ข. นำอนุภาคที่ได้ไปตรวจสอบโครงสร้าง ขนาด รูปร่าง ผลที่ได้คือ ได้ อนุภาคนาโนที่มีขนาด รูปร่าง ที่ต้องการ

ค. นำอนุภาคที่ได้ไปตรวจสอบโครงสร้าง ขนาด รูปร่างและทดสอบคุณสมบัติ ผลที่ได้คือ ได้ อนุภาคนาโนที่มีขนาด รูปร่างและคุณสมบัติที่ต้องการ

ง. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปตรวจสอบโครงสร้าง ขนาด รูปร่างและทดสอบคุณสมบัติ ผลที่ได้คือ ได้ อนุภาคนาโนที่มีขนาด รูปร่างที่ต้องการ

ข้อที่ 5 สถานการณ์ ผนังบ้าน เมื่อเวลาผ่านไป จะมีราและความสกปรกอันเนื่องมาจากเชื้อแบคทีเรีย เชื้อราและจุลินทรีย์หลากหลายชนิด ทำให้เกิดเป็นแหล่งเชื้อโรค ท่านในฐานะและบทบาทนักวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์จำพวกสีทาบ้าน ท่านมีความคิดในการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติสีทาบ้านให้สามารถปกป้องต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยการใช้อนุภาคนาโน ซึ่งท่านได้ทำการสืบค้นและพบว่า อนุภาคนาโนที่มีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของสี ได้แก่ นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และอนุภาคโลหะเงินนาโน หรือนาโนซิลเวอร์ โดยที่อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างอนาเทส จะมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดำเนินการด้วยแสง (photocatalyst) มีการประยุกต์ใช้ในการเป็นสารเคลือบวัสดุต่างๆที่ต้องการให้มีคุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง และคุณสมบัติในการต่อต้านการติดเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนนาโนซิลเวอร์นั้น จะมีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์โดยความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้หลายประเภทรวมทั้งพวกเชื้อรา fungi นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า ไอออนของโลหะเงิน มีความสามารถกำจัดเชื้อได้แม้ใช้ในปริมาณน้อยมากๆ ในระดับ 0.001 ppm

จากข้อมูลและสถานการณ์ ถ้าท่านต้องการดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาหรือเพื่อไปสู่เป้าหมาย ท่านจะมีดำเนินการอย่างไรตามกรอบแนวคิดของรูปแบบการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์

5.1 ปัญหาหรือเป้าหมายคืออะไร

- ก. สีทาบ้านขาดการพัฒนาปรับปรุง
- ข. ผนังบ้านไม่มีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์
- ค. ผนังบ้านขาดการดูแลเอาใจใส่ และทำความสะอาด
- ง. ปรับปรุงคุณสมบัติของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

5.2 วิธีการและทางเลือกที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหาหรือเป้าหมายคืออะไร

- ก. การปรับปรุงคุณสมบัติของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์
- ข. การเลือกใช้สีทาบ้านที่มีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์
- ค. การเลือกใช้อนุภาคนาโนในการปรับปรุงคุณสมบัติสีทาบ้าน

ง. การปรับปรุงคุณสมบัติของสีทาบ้านด้วยอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์

5.3 ผลการ วิเคราะห์ ประเมินเปรียบเทียบ และตัดสินใจเลือกวิธีการที่นำไปสู่การแก้ปัญหาหรือ เป้าหมายที่ดีที่สุด คืออะไร

- ก. การปรับเปลี่ยนสีทาผนังบ้านด้วยการใช้สีทาบ้านที่มีอนุภาคนาโน เพราะมี คุณสมบัติในการต่อต้านการติดเชื้อจุลชีพ
- ข. การปรับเปลี่ยนสีทาผนังบ้านด้วยการใช้สีทาบ้านที่มีอนุภาคนาโน เพราะมี คุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง และมีคุณสมบัติในการต่อต้านการติดเชื้อจุลชีพ
- ค. การเลือกใช้อ่อนภาคนาโนซิลเวอร์ในการปรับปรุงคุณสมบัติสีทาบ้าน เพราะ มี คุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง และคุณสมบัติในการต่อต้านการติดเชื้อจุลชีพ
- ง. การเลือกใช้อ่อนภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในการปรับปรุงคุณสมบัติสีทาบ้าน เพราะมีคุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง และคุณสมบัติในการต่อต้านการติดเชื้อจุลชีพ

5.4 การตรวจสอบวิธีการที่เลือกและผลการตรวจสอบที่คาดว่าจะได้รับ คืออะไร

- ก. ทดสอบคุณสมบัติการต่อต้านเชื้อจุลชีพของสีทาบ้าน ผลที่ได้คือ สีทาบ้านมี คุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อจุลชีพที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าสีชนิดอื่น
- ข. ทดสอบผนังบ้านด้านการปกป้องแสงแดดและต่อต้านเชื้อจุลชีพ ผลที่ได้คือผนังบ้านสามารถปกป้องแสงแดดแต่ไม่สามารถต่อต้านเชื้อจุลชีพได้
- ค. ทดสอบคุณสมบัติการต่อต้านเชื้อจุลชีพของผนังบ้าน ผลที่ได้คือ ผนังบ้านสามารถต่อต้านเชื้อจุลชีพได้

ง. ทดสอบผนังบ้านด้านการทำความสะอาดตัวเอง ผลที่ได้คือผนังบ้านสามารถทำความสะอาดตัวเองได้มีประสิทธิภาพสูงกว่า



**The Science Learning Achievement Test of the Curriculum Unit
on Fundamental Nanoscience and Nanotechnology for High School Students**

The test is mainly aimed to examine students' conceptual understandings of fundamental nanoscience and nanotechnology concepts covering fundamental concepts of nanoscience, nanotechnology, introductory nanomaterial, and nanosafety, safety of nanomaterial in particular. The test was set by following Bloom's Taxonomy of learning domains (1956), using the first four orders of the cognitive domain:

1. **Knowledge:** Recall data or information,
2. **Comprehension:** Understand the meaning, translation, interpolation, and interpretation of instructions and problems. State a problem in one's own words.
3. **Application:** Use a concept in a new situation or unprompted use of an abstraction. Applies what was learned in the classroom into novel situations in the work place.
4. **Analysis:** Separates material or concepts into component parts so that its organizational structure may be understood. Distinguishes between facts and inferences.

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

หน่วยหลักสูตรการเรียนรู้นาโนเทคโนโลยีเบื้องต้น

- คำชี้แจง** 1. แบบทดสอบฉบับนี้มีทั้งหมด 40 ข้อ 40 คะแนน เป็นข้อสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือก
ทดสอบความรู้ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และการวิเคราะห์ เกี่ยวกับเนื้อหาวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีเบื้องต้น
2. ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว ลงในกระดาษคำตอบ
3. ใช้เวลา 50 นาทีในการทำแบบทดสอบ

1. คำว่า” นาโน” ในทางวิทยาศาสตร์หมายถึงอะไร
 - ก. คนแคระ
 - ข. ขนาดเล็กมาก
 - ค. ขนาด หนึ่งในส่วนในหนึ่งพันล้านส่วน
 - ง. ขนาดหนึ่งในส่วนในหนึ่งล้านล้านส่วน
2. สิ่งใดต่อไปนี้มีขนาดใหญ่เป็นอันดับสอง เมื่อเทียบกันทั้งหมด
 - ก. ขนาดเกลียวของ ดีเอ็นเอ
 - ข. เส้นผ่านศูนย์กลางท่อนาโนคาร์บอน
 - ค. เส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุลบัคกี้บอล
 - ง. เส้นผ่านศูนย์กลางของอะตอมไฮโดรเจน
3. ข้อใดต่อไปนี้นำแสดงการเปรียบเทียบขนาดได้ถูกต้อง
 - ก. แบคทีเรีย อีโคไล มีขนาด เล็กกว่า เส้นผ่านศูนย์กลางท่อนาโนหนึ่งพันเท่า
 - ข. เกลียวดีเอ็นเอมีขนาดความกว้างมากกว่าขนาดของลูกบักกี้บอล
 - ค. เซลล์เม็ดเลือดแดงมีขนาดใหญ่กว่าลูกบักกี้บอลหนึ่งพันล้านเท่า
 - ง. เส้นผ่านศูนย์กลางท่อนาโนคาร์บอนมีขนาดใหญ่กว่าความสูงของไวกิ้ง
4. ขนาดเล็กระดับ”นาโนเมตร”มีความสำคัญอย่างไรต่อวัสดุที่มีขนาดดังกล่าว
 - ก. จุดหลอมเหลวของวัสดุสูงขึ้น
 - ข. วัสดุมีการนำไฟฟ้าได้น้อยลง
 - ค. คุณสมบัติของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลง
 - ง. คุณสมบัติที่แสดงออกของวัสดุที่คงที่

5. วิทยาศาสตร์นาโน หรือ นาโนศาสตร์ (nanoscience) มีความหมายว่าอย่างไร
 - ก. การศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ในระดับนาโนเมตร
 - ข. การศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีการจัดการระดับนาโนเมตร
 - ค. การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีระดับนาโนเมตรเพื่อการประยุกต์ใช้
 - ง. การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อศึกษาปรากฏการณ์ระดับนาโน

6. ข้อใด อธิบายความหมายของ นาโนเทคโนโลยี ได้ดีที่สุด
 - ก. เทคโนโลยีการประยุกต์ใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษ
 - ข. ศาสตร์และเทคโนโลยีที่ว่าด้วยการควบคุมขนาดวัสดุให้มีระดับนาโนเมตร
 - ค. เทคโนโลยีเกี่ยวกับการสร้างจัดการ ประยุกต์ใช้วัสดุคุณสมบัติพิเศษที่มีขนาดนาโนเมตร
 - ง. เทคโนโลยีเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้วัสดุหรือระบบที่มีขนาดระดับนาโนเมตร

7. ลักษณะใดของ วิทยาศาสตร์นาโน (นาโนศาสตร์) และนาโนเทคโนโลยีที่สำคัญที่สุด
 - ก. การจัดการสังเคราะห์สร้างโครงสร้างให้มีขนาด 1-100 นาโนเมตร
 - ข. การควบคุมให้มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรซึ่งทำให้มีคุณสมบัติพิเศษ
 - ค. การออกแบบและประยุกต์ใช้คุณสมบัติของวัสดุที่พิเศษขึ้นเนื่องจากรูปร่างที่เปลี่ยนไป
 - ง. การจัดการสร้างโครงสร้างขนาดนาโนเมตรและควบคุมให้มีขนาดที่ต้องการเหมาะกับการประยุกต์ใช้

8. วิทยาศาสตร์นาโน หรือนาโนศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยีมีความสัมพันธ์กันอย่างไร
 - ก. ทั้งนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี ทำหน้าที่ศึกษาองค์ความรู้พื้นฐานร่วมกัน
 - ข. นาโนเทคโนโลยีมีหน้าที่ศึกษาองค์ความรู้พื้นฐาน ส่วนนาโนศาสตร์จะนำเอาองค์ความรู้พื้นฐานที่ได้ไปประยุกต์พัฒนาต่อยอด
 - ค. นาโนศาสตร์มีหน้าที่ศึกษาเพื่อสร้างองค์ความรู้พื้นฐาน ส่วนนาโนเทคโนโลยีจะนำเอาองค์ความรู้พื้นฐานไปประยุกต์ใช้และพัฒนาต่อยอด
 - ง. ทั้งนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี ทำหน้าที่ในการประยุกต์ใช้องค์ความรู้พื้นฐานในการพัฒนาต่อยอด

9. ข้อใด **ไม่ใช่** หลักการหรือทฤษฎีพื้นฐานที่สำคัญต่อการทำความเข้าใจเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์นาโนหรือนาโนศาสตร์ และ นาโนเทคโนโลยี

- ก. การเคลื่อนที่แบบไม่มีทิศทาง
- ข. อิทธิพลของปรากฏการณ์ควอนตัมที่ลดลง
- ค. อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่เพิ่มขึ้น
- ง. อิทธิพลของแรงทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่แสดงออก

10. คุณสมบัติที่ขึ้นกับขนาด หรือ Size-dependent properties หมายถึงอะไร

- ก. การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของสสารเมื่อมีขนาดเล็กลงในระดับนาโนเมตร
- ข. การเปลี่ยนแปลงขนาดที่มีผลต่อคุณสมบัติของสสารเมื่อขนาดเล็กกว่าระดับนาโนเมตร
- ค. การเพิ่มขึ้นของคุณสมบัติด้านต่างๆของสสารเมื่อมีขนาดเล็กลงในระดับนาโนเมตร
- ง. การลดลงของคุณสมบัติบางด้านของสสารเมื่อมีขนาดเล็กลงในระดับนาโนเมตร

11. ข้อใดคือตัวอย่างที่ถูกต้องของ การเกิดขึ้นของคุณสมบัติที่ขึ้นกับขนาด size-dependent properties

- ก. สารละลายทองคำมีสีจางลงเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลงในระดับนาโนเมตร
- ข. การเกิดปฏิกิริยาที่เร็วขึ้นเมื่ออนุภาคมีพื้นที่ผิวเปลี่ยนแปลงในระดับนาโนเมตร
- ค. การเกิดปฏิกิริยาที่เร็วขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลงในระดับนาโนเมตร
- ง. สารละลายทองคำมีสีเข้มขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลงในระดับนาโนเมตร

12. ข้อใดสามารถใช้อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงเคมีด้านการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนได้ถูกต้อง

- ก. อนุภาคนาโนมีการเคลื่อนที่แบบไม่มีทิศทาง
- ข. อนุภาคนาโนมีการแสดงออกของปรากฏการณ์ควอนตัม
- ค. อนุภาคนาโนมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง
- ง. อนุภาคนาโนมีการแสดงออกของแรงทางแม่เหล็กไฟฟ้า

13. คำอธิบายในข้อใดมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงแสงของทองคำที่เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีแดง เมื่อมีขนาดเล็กลงประมาณ 12 นาโนเมตร

- ก. อนุภาคทองคำนาโนมีพื้นผิวมากกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ทำให้ดูดกลืนพลังงานแสงได้ดีกว่า
- ข. อนุภาคทองคำนาโนมีพื้นผิวน้อยกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าทำให้ดูดกลืนพลังงานแสงอื่นและสะท้อนสีแดงได้ดีกว่า
- ค. อนุภาคทองคำนาโนมีการจัดโครงสร้างต่างกันและระดับพลังงานต่างจากอนุภาคขนาดใหญ่ ทำให้มีการดูดกลืน และสะท้อนพลังงานในระดับที่ต่างกัน
- ง. อนุภาคทองคำนาโนมีการจัดโครงสร้างเหมือนกันแต่ระดับพลังงานที่ต่างกันจากอนุภาคขนาดใหญ่ทำให้มีการดูดกลืนและสะท้อนพลังงานในระดับสูงกว่า

14. กล้องจุลทรรศน์หัวส่องกราดแบบที่ใช้การทะลุช่องของอิเล็กตรอน หรือ Scanning Tunneling Microscope: STM มีส่วนประกอบหลักอะไรเป็นสำคัญและมีหลักการทำงานอย่างไร

- ก. วัสดุปลายแหลมระดับนาโนที่นำไฟฟ้า ที่ปล่อยกระแสอิเล็กตรอนไปยังพื้นผิวสัมผัสของวัสดุตัวอย่างที่ตรวจสอบ และสร้างภาพโดยการเลื่อนผ่านไบนพื้นผิวที่ตรวจสอบ
- ข. วัสดุคานปลายแหลม แคนทิลเวอร์ สร้างภาพโดยการเลื่อนผ่านบนพื้นผิวที่ตรวจสอบและลำแสงเลเซอร์ที่ปลายแหลมจะสะท้อนตามการโค้งงอของพื้นผิวที่ตรวจสอบ
- ค. วัสดุโลหะปลายแหลมระดับนาโน สร้างภาพโดยใช้การยิงกระแสอิเล็กตรอนผ่านไปยังพื้นผิวของวัสดุตัวอย่างที่ตรวจสอบ อิเล็กตรอนที่สะท้อนออกมาจะมาตกที่ฉากรับภาพ
- ง. วัสดุคานปลายแหลม แคนทิลเวอร์ ที่ผ่านกระแสอิเล็กตรอนไบนพื้นผิวสัมผัสของวัสดุตัวอย่างที่ตรวจสอบ อิเล็กตรอนที่ผ่านออกมาจะเบี่ยงเบนแสงเลเซอร์ที่ฉากรับภาพ

15. เมื่อต้องการตรวจวิเคราะห์และเคลื่อนย้าย โครงสร้างระดับนาโนของ ท่อนาโนคาร์บอน ดีเอ็นเอ นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และเอ็นไซม์ จะต้องใช้เครื่องมือใดถึงจะเหมาะสมที่สุด

- ก. กล้องจุลทรรศน์หัวส่องกราดแบบที่ใช้การทะลุช่องของอิเล็กตรอน (Scanning Tunneling Microscope: STM)
- ข. กล้องจุลทรรศน์หัวส่องกราดแบบใช้แรงอะตอม (Atomic Force Microscope: AFM)
- ค. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope: TEM)
- ง. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

16. กล้อง STM และ AFM มีความแตกต่างกันอย่างไร

- ก. กล้อง STM ใช้ตรวจตัวอย่างที่สามารถนำไฟฟ้าได้เท่านั้น ส่วนกล้อง AFM สามารถตรวจตัวอย่างได้ทุกชนิดทั้งที่นำและไม่นำไฟฟ้า
- ข. กล้อง AFM ใช้ตรวจตัวอย่างที่สามารถนำไฟฟ้าได้เท่านั้น ส่วนกล้อง STM สามารถตรวจตัวอย่างได้ทุกชนิดทั้งที่นำและไม่นำไฟฟ้า
- ค. กล้อง AFM ใช้หลักการไหลของกระแสอิเล็กตรอนและควบคุมความต่างศักย์ ส่วนกล้อง STM ใช้หลักการของแรงผลักกันระหว่างอะตอม
- ง. กล้อง STM ใช้หลักการไหลของกระแสอิเล็กตรอนและควบคุมความต่างศักย์ ส่วนกล้อง AFM ใช้หลักการของแรงผลักกันและสะท้อนของอิเล็กตรอน

17. วิธีสังเคราะห์นาโน (Nanofabrication) ในข้อใดต่อไปนี้ มีหลักการที่สอดคล้องกับการสังเคราะห์โครงสร้างนาโน แบบล่างขึ้นบน(Bottom-Up Approach)

- ก. วิธีการโซล-เจล
- ข. การสังเคราะห์พอลิเมอร์
- ค. การควบแน่นจากสถานะก๊าซ
- ง. การสังเคราะห์แบบไอทางเคมี

18. ข้อใดไม่ถูกต้องเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์นาโน (Nanofabrication)

- ก. กระบวนการสังเคราะห์แบบใหญ่ไปเล็ก หรือ Top-Down คือ การสร้างโครงสร้างนาโนจากโครงสร้างขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงในระดับนาโน
- ข. กระบวนการสังเคราะห์แบบเล็กไปใหญ่ หรือ Bottom-Up คือ การสร้างโครงสร้างนาโนจากการนำอะตอมหรือโมเลกุลมาจัดเรียงให้มีขนาดนาโน
- ค. กระบวนการสังเคราะห์แบบใหญ่ไปเล็ก หรือ Top-Down คือ การสร้างโครงสร้างนาโนจากการสังเคราะห์โมเลกุลหรืออนุภาคนาโนขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง
- ง. กระบวนการสังเคราะห์แบบเล็กไปใหญ่ หรือ Bottom-Up คือ การสร้างโครงสร้างนาโนจากการสังเคราะห์โมเลกุลหรืออนุภาคนาโนขนาดเล็กให้มีขนาดใหญ่ขึ้นมาในระดับนาโน

19. วิธีการสังเคราะห์แบบไอทางเคมี(Chemical Vapor Deposition) มีหลักการและขั้นตอนการสร้างโครงสร้างระดับนาโนอย่างไร

- ก. สารตั้งต้นจะถูกแยกสลายกลายเป็นอนุภาคนาขนาดเล็กด้วยความร้อน และอนุภาคกลับมา รวมกันที่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ
- ข. การทำให้สารตั้งต้นบริสุทธิ์ระเหยกลายเป็นไอจากการให้ความร้อนและทำให้ไอเกิด ความแน่นที่บริเวณอุณหภูมิต่ำให้เป็นหยดน้ำ
- ค. การทำให้สารตั้งต้นรวมตัวกับน้ำ ได้สารละลาย จากนั้นให้ทำให้เกิดการควบแน่น กลายเป็นเจลของแข็ง และเผาควบคุมนุณหภูมิ
- ง. การประกอบตัวกันของโมโนเมอร์(กลุ่มโมเลกุลขนาดเล็ก) เข้าด้วยกันทีละโมเลกุล โดย การสร้างพันธะยึดเหนี่ยวในแบบซ้ำกัน

20. เหตุการณ์ทางประวัติศาสตร์ใดของนาโนเทคโนโลยี ที่มีความสำคัญที่สุดที่ก่อให้เกิดการ เปลี่ยนแปลง และความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว

- ก. การแสดงปาฐกถาเรื่อง ข้างล่างยังมีที่ว่างอีกเยอะ ของ ศ. ดร. ริชาร์ด เฟย์แมน
- ข. การประดิษฐ์คิดค้นกล้อง STM
- ค. การค้นพบโมเลกุลบัคกิ้งบอล
- ง. การค้นพบท่อนาโนคาร์บอน

21. ใครคือบุคคลที่ได้ว่าเป็น บิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี และเพราะสาเหตุใด

- ก. ศาสตราจารย์ โนริโอะ ทานิกุชิ เพราะเป็นคนแรกที่เริ่มใช้คำว่า นาโนเทคโนโลยี “Nanotechnology”
- ข. ศาสตราจารย์ ริชาร์ด เฟย์แมน เพราะเป็นคนแรกที่กระตุ้นให้เกิดการศึกษาวิจัยด้านนาโน เทคโนโลยี ด้วยปาฐกถา หัวข้อ “ข้างล่างยังมีที่ว่างอีกเยอะ”
- ค. ริชาร์ด สมอลลี เพราะได้ค้นพบโครงสร้างตาข่ายทรงกลมของ อะตอมคาร์บอน 60 ตัว เรียกว่า บัคกิ้งบอล
- ง. ไฮน์ริช โรห์เรอร์ เพราะได้ประดิษฐ์ Scanning Tunnel Microscope (STM) ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่สามารถมองเห็นอะตอมได้

22. นาโนในธรรมชาติ ในข้อใดอธิบายหลักการของนาโนศาสตร์ได้ไม่ถูกต้อง

- ก. ไบโบบีโอมิมิซิสที่เลียนแบบอย่างสุดขีด เนื่องจากพื้นผิวไบโบบีโอมิมิซิสมีขนาดเล็กในระดับนาโน
- ข. ปีกของผีเสื้อเปลี่ยนสีได้เนื่องจากปีกผีเสื้อมีโครงสร้างที่สะท้อนและหักเหแสงระดับนาโนเมตร
- ค. ดินดักแด้สามารถยึดติดฝาผนังได้เนื่องจากที่ฝ่าเท้ามีเส้นใยขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร ทำให้เกิดแรงยึดติดขนาดเล็กจำนวนมากมหาศาล
- ง. เปลือกหอยเป่าหื้อมีโครงสร้างตาข่ายของคาร์บอนระดับนาโนจึงมีความแข็งแรง แดกยาก

23. จงพิจารณาข้อความข้างล่างต่อไปนี้

- a. สาขาวิจัยด้านหนึ่งที่สำคัญของนาโนเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุขนาดเล็กระดับนาโนเมตร
- b. วัสดุใดๆที่มีขนาดเล็ก ประมาณ 1-100 นาโนเมตร ที่มีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่กว่า
- c. วัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษแตกต่างจากวัสดุแบบดั้งเดิม อันเนื่องมาจากขนาด รูปร่างของวัสดุมีความแตกต่างจากวัสดุแบบดั้งเดิม

วัสดุนาโนหมายถึงข้อใด

- ก. ข้อ a เท่านั้นที่ถูกต้อง
- ข. ข้อ b เท่านั้นที่ถูกต้อง
- ค. ข้อ c เท่านั้นที่ถูกต้อง
- ง. มีข้อถูกมากกว่า 1 ข้อ

24. ข้อใดไม่จัดว่าเป็นว่าเป็นวัสดุประเภทวัสดุนาโน

- ก. หมุดควอนตัม
- ข. นาโนคอมพอสิต
- ค. อนุภาคโลหะเงินนาโน
- ง. ไททาเนียมไดออกไซด์

25. นาโนซิงค์ออกไซด์ และนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ จัดเป็นวัสดุนาโนประเภทใด

- ก. ท่อนาโน (Nanotubes)
- ข. ฟิล์มบางนาโน (Nanofilms)
- ค. สารเคลือบนาโน (Nanocoating)
- ง. ตัวเร่งปฏิกิริยานาโน (Nanocatalysts)

26. ปัจจัยใดที่ไม่มีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุนาโน

- ก. รูปร่างและรูปทรง
- ข. ขนาดที่เล็กในระดับนาโนเมตร
- ค. ระดับพลังงานธาตุองค์ประกอบ
- ง. อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่เพิ่มขึ้น

27. ปัจจัยใดต่อไปนี้ไม่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงเคมีของอนุภาคนาโน

- a. พื้นที่ผิวสัมผัสที่เพิ่มขึ้น
- b. อะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่พื้นผิวมีพลังงานสูง
- c. อะตอมภายในโมเลกุลในการสร้างพันธะเชื่อมโยงทั่วอนุภาค
- ก. ข้อ a เท่านั้น ถูกต้อง
- ข. ข้อ a และ b ถูกต้อง
- ค. ข้อ b และ c ถูกต้อง
- ง. ข้อ a b และ c ถูกต้อง

28. เหตุการณ์ในข้อใดไม่มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมและคุณสมบัติของวัสดุนาโน

- ก. จิงโจ้น้ำเดินบนผิวน้ำ
- ข. การคายน้ำจากปากใบ
- ค. การถ่ายโอนอิเล็กตรอน
- ง. การเคลื่อนที่แบบบราวเนียน

29. ข้อใดไม่ใช่คุณสมบัติที่พิเศษขึ้นของวัสดุนาโน

- ก. มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น
- ข. ทำให้ลดพลังงานก่อนกำนัต์
- ค. สามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น
- ง. สามารถสะท้อนแสงได้มากขึ้น

30. ข้อใดกล่าวถึงคุณสมบัติที่พิเศษขึ้นของวัสดุนาโนได้ถูกต้อง

- ก. โลหะเงินนาโนสามารถฆ่าทำลายเชื้อแบคทีเรียได้เทียบเท่ากับการใช้นุภาคโลหะเงินขนาดธรรมดาถึงแม้จะใช้ปริมาณน้อยกว่ามาก
- ข. ท่อนาโนคาร์บอนสามารถสะท้อนแสงได้ดีกว่า แผ่นกราฟไฟต์คาร์บอนที่มีขนาดใหญ่กว่า
- ค. นาโนซิงค์ออกไซด์สามารถดูดกลืนและหักแสง ยูวีได้มากกว่าอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่กว่า
- ง. นาโนไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างอนาเทสมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีกว่านาโนไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างอื่นๆ

31. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับ นาโนซิงค์ออกไซด์

- ก. นำไปประยุกต์ใช้เป็นสารยับยั้งแบคทีเรีย
- ข. มีคุณสมบัติที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยด้วยแสง
- ค. มีประสิทธิภาพในการต่อต้านแบคทีเรียสูงมาก โดยไม่จำเป็นต้องใช้แสง UV
- ง. เป็นสารประเภทตัวนำ จึงนิยมนำไปประยุกต์ใช้ด้านอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์

32. ข้อใดคือความโดดเด่นของอนุภาคโลหะเงินนาโนที่เหมาะสมที่สุดกับการนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์

- ก. ไม่มีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุ/ผลิตภัณฑ์
- ข. มีคุณสมบัติต่อต้านเชื้อได้หลายประเภท รวมทั้งพวกที่มีการสร้าง biofilm
- ค. มีความปลอดภัย ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ แต่ต่อต้านและทำลายเชื้อแบคทีเรียและเชื้อต่างๆ ได้ดี
- ง. ยึดติดอยู่บนพื้นผิวของวัสดุ/ผลิตภัณฑ์ มีการยึดติดอย่างเหนียวแน่น และอยู่ได้นาน หลายเดือน

33. ข้อใดคือสาเหตุที่ทำให้ ท่อนาโนคาร์บอนมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีมาก

- a. คาร์บอนที่อยู่ในโครงสร้างมีการจัดเรียงอะตอมแบบ SP^2
- b. พันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนมีความยาวสั้นกว่าในโครงสร้างเพชร
- c. พันธะระหว่างระนาบสามารถเลื่อนไหลได้
- d. คาร์บอนเชื่อมพันธะกับคาร์บอนอื่นอีก 4 ตัว
- ก. ข้อ a และ b ถูก
- ข. ข้อ c และ d ถูก
- ค. ข้อ a และ c ถูก
- ง. ข้อ a และ d ถูก

34. ข้อใดอธิบายกลไกการทำลายเชื้อแบคทีเรียของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ได้ถูกต้อง

- ก. $(\text{Nano TiO}_2) + uv \longrightarrow (\text{Nano TiO}_2)^+ + e^- + \text{O}_2$ หรือ $\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{OH}^-$ หรือ $\text{O}_2^- +$
เชื้อแบคทีเรีย $\longrightarrow$ สารปลอดภัย + น้ำ
- ข. $(\text{Nano TiO}_2) + uv \longrightarrow (\text{Nano TiO}_2)^- + \text{H}^+ + \text{O}_2$ หรือ $\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{OH}_3^+$ หรือ $\text{O}_2^+ +$
เชื้อแบคทีเรีย $\longrightarrow$ สารปลอดภัย + น้ำ
- ค. $(\text{Nano TiO}_2) + \text{ตัวเร่ง} \longrightarrow (\text{Nano TiO}_2)^+ + e^- + \text{O}_2$ หรือ $\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{OH}^-$ หรือ O_2^-
+ เชื้อแบคทีเรีย $\longrightarrow$ สารปลอดภัย + น้ำ
- ง. $(\text{Nano TiO}_2) + \text{ตัวเร่ง} \longrightarrow (\text{Nano TiO}_2)^- + \text{H}^+ + \text{O}_2$ หรือ $\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{OH}_3^+$ หรือ O_2^+
+ เชื้อแบคทีเรีย $\longrightarrow$ สารปลอดภัย + น้ำ

35. ข้อใดไม่ใช่ข้อแตกต่างที่ทำให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนมีความพิเศษเหนือกว่าอนุภาคซิลเวอร์ทั่วไปที่มีขนาด
ใหญ่กว่า
- อนุภาคซิลเวอร์นาโนมีแรงยึดติดที่แข็งแรงกว่า
 - อนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถเกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วกว่า
 - อนุภาคซิลเวอร์นาโนมีอะตอมที่พื้นผิวอนุภาคมีความไม่เสถียรมากกว่า
 - อนุภาคซิลเวอร์นาโนมีอัตราส่วนระหว่างปริมาตรต่ออะตอมพื้นผิวมีค่าสูงกว่า
36. ข้อใดไม่ใช่สาเหตุที่ทำให้วัสดุนาโนอาจมีอันตรายต่อสุขภาพและผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อม
- มีคุณสมบัติในการทำลายเชื้อแบคทีเรียสูง
 - มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อมวลสูงมาก
 - มีรูปร่างที่ทำให้มีคุณสมบัติเชิงแสงที่แตกต่าง
 - มีขนาดเล็กที่สามารถแพร่กระจายและแทรกซึมได้ง่าย
37. เหตุการณ์ใดต่อไปนี้มีผลต่อการกระตุ้นก่อให้เกิดการตื่นตัวด้านความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยี
- การค้นพบคุณสมบัติของอนุภาคนาโนที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อจุลชีพ
 - การตรวจพบวัสดุนาโนในผลิตภัณฑ์ที่กล่าวอ้างการใช้นาโนเทคโนโลยี
 - การตรวจพบอนุภาคนาโนของโลหะหนักในไตของทหารสหรัฐอเมริกา
 - การตรวจพบสารก่อมะเร็งในผลิตภัณฑ์ที่มีกล่าวอ้างใช้นาโนเทคโนโลยี
38. บุคคลกลุ่มใดต่อไปนี้ได้รับผลกระทบด้านสุขภาพจากนาโนเทคโนโลยีน้อยที่สุด
- นักทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์นาโน
 - ผู้บริโภคที่ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มาจากนาโนเทคโนโลยี
 - นักวิจัยที่ทำงานคลุกคลีกับวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการ
 - ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบวัสดุนาโนด้วยคอมพิวเตอร์

39. ข้อใดเป็นการจัดการด้านความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยีที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุด
- ก. กำหนดมาตรการการคัดเลือกวัสดุนาโนที่มีคุณสมบัติดีที่สุด
 - ข. กำหนดให้มีการศึกษาและทดสอบความเป็นพิษก่อนนำไปใช้จริง
 - ค. กำหนดให้มีการควบคุมมาตรฐานการผลิตและปริมาณในการนำมาใช้
 - ง. กำหนดข้อตกลงให้มีการศึกษาความคิดเห็นของประชาชนทั่วไปก่อนอนุญาต
40. ข้อใดคือผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดจากอนุภาคโลหะเงินนาโน
- ก. เร่งการสลายตัวของซากอินทรีย์สาร
 - ข. สัมผัส ทำลายและก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้
 - ค. ทำลายแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนและย่อยสลายสารอินทรีย์
 - ง. ยับยั้งการเจริญเติบโตของ E.coli ได้ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ



แบบประเมินคุณภาพหน่วยหลักสูตรการเรียนรู้เทคโนโลยีเบื้องต้นโดยผู้เชี่ยวชาญ

คำชี้แจง แบบประเมินนี้เป็นเครื่องมือวิจัยสำหรับผู้เชี่ยวชาญ ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพหน่วยหลักสูตรการเรียนรู้เทคโนโลยีเบื้องต้นที่ใช้รูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ใช้เกมคอมพิวเตอร์ร่วม มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบของหน่วยหลักสูตร และการประเมินระดับคุณภาพแบบประมาณค่า ระดับ 1 ถึง 5 ตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ แบบประเมินหน่วยหลักสูตรนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้คือ ส่วนที่หนึ่ง แบบประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบต่างๆของหน่วยหลักสูตร ส่วนที่สอง แบบวัดระดับความคิดเห็นแบบประมาณค่า ระดับ 1 ถึง 5 และส่วนที่สามเป็นพื้นที่ว่างให้แสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะตามประเด็นที่ได้ระบุ โดยข้อมูลที่ได้จากแบบประเมินนี้ จะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อใช้ในการปรับปรุง และพัฒนาหน่วยหลักสูตรให้ดีขึ้น

ส่วนที่หนึ่ง การประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบต่างๆของหน่วยหลักสูตร

รายการประเมิน	ความคิดเห็น			ข้อเสนอแนะ
	-1	0	+1	
1. เป้าหมายหน่วยหลักสูตรสอดคล้องกับความต้องการของสังคม				
2. เป้าหมายของหน่วยหลักสูตรมีความสอดคล้องกับรูปแบบการเรียนรู้LPPL				
3. เป้าหมายของหน่วยหลักสูตรมีความสอดคล้องกับผลการเรียนรู้				
4. เป้าหมายของหน่วยหลักสูตรมีความสอดคล้องกับเนื้อหา				
5. เป้าหมายของหน่วยหลักสูตรมีความสอดคล้องกับแผนการจัดการเรียนรู้				
6. เป้าหมายของหน่วยหลักสูตรมีความสอดคล้องกับสื่อเกมคอมพิวเตอร์				
7. เป้าหมายของหน่วยหลักสูตรมีความสอดคล้องกับการวัดและประเมินผล				
8. เนื้อหามีความสอดคล้องกับกิจกรรมการเรียนรู้				
9. หน่วยหลักสูตรมีความสอดคล้องกับความรู้ก่อนเรียน				

ส่วนที่สอง ส่วนประเมินคุณภาพแบบประมาณค่า โดยมีระดับการประเมินดังนี้

5 หมายถึง มากที่สุด

4 หมายถึง มาก

3 หมายถึง ปานกลาง

2 หมายถึง น้อย

1 หมายถึง น้อยที่สุด

รายการ	ระดับความคิดเห็น				
	1	2	3	4	5
1. การประเมินภาพรวมหน่วยของหลักสูตร					
1.1 ด้านเนื้อหา					
1.1.1 เนื้อหามีความถูกต้อง					
1.1.2 ใช้ภาษาได้ถูกต้อง เหมาะสมกับวัยของ นักเรียน สื่อ ความหมายได้ชัดเจน					
1.1.3 มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์					
1.1.4 การจัดลำดับเนื้อหามีความเหมาะสม					
1.1.5 รายละเอียดของเนื้อหาเหมาะกับผู้เรียน					
1.1.6 โครงสร้างเนื้อหาชัดเจน มีความกว้าง ลึก และ เชื่อมโยงกับความรู้เดิมและความรู้ใหม่					
1.2 รูปแบบการเรียนรู้ LPPL approach					
1.2.1 มีความเหมาะสมกับเนื้อหาและสื่อเกม คอมพิวเตอร์ที่ใช้					
1.2.2 มีความสอดคล้องกับแนวคิดทฤษฎีการเรียนรู้ที่ ใช้สนับสนุน					
1.2.3 มีความเหมาะสมกับนักเรียน					
1.2.4 มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับจุดประสงค์ การเรียนรู้					

(ต่อ)

รายการ	ระดับความคิดเห็น				
	1	2	3	4	5
1.3 เทคนิคการเรียนรู้การแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์					
1.3.1 มีความเหมาะสมกับเนื้อหาและรูปแบบการเรียนรู้ที่ใช้					
1.3.2 ส่งเสริมและพัฒนาความสามารถด้านการแก้ปัญหาและการคิดขั้นสูงของผู้เรียน					
1.4 กิจกรรมการเรียนรู้ และวัสดุและอุปกรณ์การเรียนรู้ที่เกี่ยวข้อง					
1.4.1 มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์					
1.4.2 โครงสร้างและลำดับกิจกรรมมีความสอดคล้องและเหมาะสม					
1.4.3 วัสดุและอุปกรณ์การเรียนรู้มีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน					
1.4.4 วัสดุและอุปกรณ์การเรียนง่ายต่อการนำไปใช้					
1.4.5 คู่มือการใช้งานของครูมีความถูกต้องเหมาะสม					
1.4.6 คู่มือครูการใช้งานของครูสะดวก ง่ายต่อการนำไปใช้					
1.4.7 แผนการจัดการเรียนรู้มีความถูกต้องเหมาะสม					
1.4.8 ระยะเวลาที่ใช้มีความเหมาะสม					
2. สื่อเกมคอมพิวเตอร์					
2.1 ด้านการออกแบบหน้าจอ					
2.1.1 หน้าจอมีความเหมาะสม สวยงาม ง่ายต่อการดู					
2.1.2 ลักษณะของสี ตัวอักษร ชัดเจนสวยงาม อ่านง่าย เหมาะสมกับระดับนักเรียน					
2.1.3 ภาพกราฟิกและภาพเคลื่อนไหว สื่อความหมายสอดคล้องกับเนื้อหา					

2.1.4 ภาพกราฟิกและภาพเคลื่อนไหว มีความสวยงาม					
--	--	--	--	--	--

(ต่อ)

รายการ	ระดับความคิดเห็น				
	1	2	3	4	5
2.2 ด้านรูปแบบการนำเสนอ					
2.2.1 ได้รับความสนใจ					
2.2.2 นำเสนอเนื้อหาได้น่าสนใจ					
2.2.3 การดำเนินเรื่องมีความสอดคล้องกลมกลืน					
2.2.4 รูปแบบการนำเสนอก่อให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้					
2.2.5 มีข้อมูลพื้นฐานจำเป็นต่อการเรียนรู้					
2.3 ด้านการออกแบบปฏิสัมพันธ์					
2.3.1 มีความสะดวกในการใช้ง่ายต่อความเข้าใจและปฏิบัติ					
2.3.2 มีการตอบโต้ที่เหมาะสม					
2.3.3 มีรูปแบบปฏิสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับเนื้อหา					
2.3.4 ระยะเวลาที่ใช้มีความเหมาะสม					
3 การวัดและประเมินผล					
3.1 มีความชัดเจนของข้อคำถามและมีความเป็นปรนัย					
3.2 มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้					
3.3 ความเหมาะสมของจำนวนข้อ					
3.4 แบบฝึกหัดและแบบทดสอบ มีความครอบคลุม					
3.5 แบบฝึกหัดและแบบทดสอบ สอดคล้องกับเนื้อหาของบทเรียน					
3.6 เหมาะสมกับระดับของนักเรียน					

ส่วนที่สาม ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. การประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบต่างๆของหน่วยหลักสูตร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. การประเมินภาพรวมของหน่วยหลักสูตร

a. ด้านเนื้อหา

.....

.....

.....

.....

.....

b. รูปแบบการเรียนรู้ *LPPL approach*

.....

c. เทคนิคการเรียนรู้การแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

d. กิจกรรมการเรียนรู้ และวัสดุและอุปกรณ์การเรียนรู้ที่เกี่ยวข้อง

3. สื่อเกมคอมพิวเตอร์

a. ด้านการออกแบบหน้าจอ

.....

.....

.....

๖. ด้านรูปแบบการนำเสนอ

.....

.....

.....

.....

.....

๗. ด้านการออกแบบปฏิสัมพันธ์

.....

.....

.....

.....

.....

๘. การวัดและประเมินผล

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



ลงชื่อผู้เชี่ยวชาญ.....

วันที่ประเมิน.....

แบบวัดเจตคติต่อวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง แบบวัดเจตคติต่อวิทยาศาสตร์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดระดับความรู้สึกของนักเรียนที่มีต่อวิทยาศาสตร์ โดยแบบวัดนี้แบ่งออกเป็นสองส่วน ดังนี้ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนแบบวัดความรู้สึกประมาณค่า ระดับ 1 ถึง 5 และส่วนที่สองเป็นพื้นที่ว่างให้นักเรียนเขียนบรรยายความรู้สึกและความคิดเห็นเพิ่มเติม

ส่วนที่หนึ่ง ให้นักเรียนอ่านข้อความต่อไปนี้ แล้วเขียนเครื่องหมาย / ลงในช่องที่ตรงกับระดับความรู้สึกและความคิดเห็นของนักเรียนมากที่สุด และครบถ้วน โดยมีระดับการประเมินดังนี้

5 หมายถึง เห็นด้วยอย่างยิ่ง

4 หมายถึง เห็นด้วย

3 หมายถึง เฉยๆ

2 หมายถึง ไม่เห็นด้วย

1 หมายถึง ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ข้อ	รายการ	ระดับความรู้สึก				
		1	2	3	4	5
1	วิทยาศาสตร์มีความน่าสนใจ					
2	นักเรียนชอบการเรียนรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์					
3	การเรียนรู้วิทยาศาสตร์มีความตื่นเต้นกระตุ้นความสนใจ					
4	นักเรียนสนุกกับกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์					
5	กิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์กระตุ้นความสนใจ					
6	นักเรียนได้มีส่วนร่วมเชิงรุกในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์					
7	นักเรียนชอบกระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์					
8	วิทยาศาสตร์มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวันและและในอนาคต					
9	การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุดทำให้นักเรียนสนใจการเรียนรู้วิทยาศาสตร์					
10	นักเรียนชอบพัฒนาการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของตนเอง					
11	การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ช่วยให้ผู้เรียนสามารถแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ดี					
12	การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ช่วยให้ผู้เรียนพัฒนาความสามารถด้านการเรียนและทักษะการคิด					

ข้อ	รายการ	ระดับความรู้				
		1	2	3	4	5
13	นักเรียนชอบกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ลงมือปฏิบัติ					
14	นักเรียนชอบการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์					
15	นักเรียนจะติดตามศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์					
16	นักเรียนให้ความสนใจแก่อาชีพนักวิทยาศาสตร์					

ส่วนที่สอง

ความคิดเห็นอื่นๆ เพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ชื่อ-นามสกุล.....

ชั้น.....เลขที่.....

The Question Set Interview Form for Examining the Participating Teacher's Opinion towards
the Curriculum Unit

แบบชุดคำถามสำหรับสัมภาษณ์ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อหน่วยหลักสูตรการเรียนรู้ฐานเทคโนโลยี
เบื้องต้นสำหรับผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

1. ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรต่อ รูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ใช้เกมคอมพิวเตอร์ร่วมโดยมีรูปแบบการเรียนรู้ LPPL เป็นเครื่องมือขับเคลื่อนกิจกรรมการเรียนรู้

2. ท่านคิดว่าท่านมีปัญหอะไรบ้างในการใช้หน่วยหลักสูตรนี้ และท่านดำเนินการแก้ปัญหอย่างไร

[illegible]

.....

.....

3. ท่านคิดว่าท่านมีปัญหอะไรบ้างในการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ และท่านดำเนินการแก้ปัญหาอย่างไร

.....

.....

.....

.....

4. ท่านคิดว่าท่านมีปัญหอะไรบ้างในการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียน และท่านดำเนินการแก้ปัญหาอย่างไร

.....

.....

.....

.....

5. ท่านมีความรู้สึกรับและพึงพอใจหน่วยหลักสูตรนี้แค่ไหน อย่างไร

.....

.....

.....

.....

6. ท่านมีความรู้สึกรับและพึงพอใจรูปแบบการเรียนรู้ LPPL แค่นี้ อย่างไร

.....

.....

.....

.....

7. ท่านมีความรู้สึกรับและพึงพอใจกิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้สื่อเกมคอมพิวเตอร์ร่วมและรูปแบบการเรียนรู้ LPPL แค่นี้ อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

8. องค์ประกอบของหน่วยของหลักสูตรมีส่วนไหนบ้างที่ต้องได้รับการปรับปรุงสำหรับการนำไปใช้ที่ดีขึ้น

.....

.....

.....

.....

9. องค์ประกอบของหน่วยของหลักสูตรมีส่วนไหนบ้างที่ท่านชอบมากที่สุดเพราะเหตุใด

.....

.....

.....

.....

.....

10. ท่านมีความมั่นใจมากน้อยแค่ไหนในการใช้หน่วยหลักสูตรนี้

.....

.....

.....

.....

ผู้ให้สัมภาษณ์

วันที่.....

แบบสอบถามความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อหน่วยหลักสูตรการเรียนรู้นาโนเทคโนโลยีเบื้องต้น

คำชี้แจง แบบสอบถามความคิดเห็นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดระดับความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อการใช้นาโนเทคโนโลยีเบื้องต้น แบบสอบถามนี้ประกอบไปด้วย ส่วนที่หนึ่ง แบบวัดระดับความคิดเห็นแบบประมาณค่า ระดับ 1 ถึง 5 และส่วนที่สองเป็นพื้นที่ว่างให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะได้อย่างอิสระ

ส่วนที่หนึ่ง นักเรียนอ่านข้อความต่อไปนี้ แล้วเขียนเครื่องหมาย / ลงในช่องที่ตรงกับระดับความรู้สึก และความคิดเห็นของนักเรียนมากที่สุด และครบถ้วนโดยมีระดับการประเมินดังนี้

5 หมายถึง เห็นด้วยอย่างยิ่ง

4 หมายถึง เห็นด้วย

3 หมายถึง เฉยๆ

2 หมายถึง ไม่เห็นด้วย

1 หมายถึง ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ข้อ	รายการ	ระดับความคิดเห็น				
		1	2	3	4	5
1	วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีกระตุ้นความสนใจในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียน					
2	เนื้อหาวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีมีความน่าสนใจ					
3	กิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของหน่วยหลักสูตรมีความหลากหลายและช่วยให้นักเรียนเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ					
4	สื่อเกมคอมพิวเตอร์ นาเอกซ์โปรเจกมีความน่าสนใจ และช่วยให้นักเรียนเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ					
5	กิจกรรมการเรียนรู้และเนื้อหา มีความสอดคล้อง					
6	นักเรียนมีโอกาสในการเรียนรู้ด้วยการใช้สื่อและวัสดุการเรียนรู้ที่หลากหลาย					

ข้อ	รายการ	ระดับความคิดเห็น				
		1	2	3	4	5
7	นักเรียนมีโอกาสนในการพัฒนาการเรียนรู้ของตนเองและ ความคิดขั้นสูง รวมทั้ง ความสามารถในการแก้ปัญหา					
8	นักเรียนได้รับประสบการณ์การเรียนรู้ที่ใกล้เคียงกับ เหตุการณ์จริง					
9	นักเรียนมีส่วนร่วมเชิงรุกอย่างแข็งขันในการเรียนรู้					
10	นักเรียนสามารถประยุกต์เชื่อมโยงความรู้ที่ได้กับเหตุการณ์ ในชีวิตจริง					
11	กิจกรรมและกระบวนการเรียนรู้ได้ให้โอกาสนักเรียนในการ พัฒนาทักษะการสืบเสาะและบทบาทของผู้เรียนที่ลงมือ กระทำเชิงรุก					
12	รูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์นี้ช่วยให้ผู้เรียนพัฒนา ความสามารถในการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์					
13	กิจกรรมการเรียนรู้การแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์ในการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์นี้สามารถนำไปปรับประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำ ของนักเรียนได้					
14	นักเรียนมีเจตคติเชิงบวกต่อรูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ ใช้สื่อเกมคอมพิวเตอร์ร่วม					
15	นักเรียนจะติดตามข้อมูลข่าวสารและเรียนรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับ วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี					

ส่วนที่สอง ให้นักเรียนเขียนบรรยายแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

ความคิดเห็นอื่นๆ เพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ชื่อ-นามสกุล.....

ชั้น.....เลขที่.....





APPENDIX C

The Results of Research Tools' Quality Checking

Table 16 The results of checking of the science learning achievement test's the item objective

congruence (IOC), item difficulty index (p) and item discrimination index (r)

Test item	IOC	P	r	Select	Test item	IOC	P	r	Select
1	1	0.60	0.24	√	21	1	0.46	0.27	√
2	1	0.60	0.45	√	22	0.67	0.22	0.20	√
3	1	0.55	0.25	√	23	1	0.25	0.05	√
4	1	0.37	0.27	√	24	1	0.55	0.59	√
5	0.67	0.53	0.41	√	25	1	0.52	0.57	√
6	1	0.68	0.34	√	26	1	0.45	0.26	√
7	1	0.43	0.23	√	27	0.67	0.48	0.23	√
8	1	0.60	0.55	√	28	1	0.67	0.59	√
9	1	0.46	0.41	√	29	1	0.56	0.57	√
10	1	0.59	0.37	√	30	1	0.68	0.48	√
11	1	0.54	0.21	√	31	1	0.62	0.50	√
12	0.67	0.80	0.36	√	32	1	0.51	0.55	√
13	1	0.35	0.39	√	33	1	0.59	0.75	√
14	1	0.39	0.32	√	34	1	0.64	0.50	√
15	1	0.55	0.45	√	35	1	0.44	0.32	√
16	1	0.48	0.27	√	36	1	0.57	0.41	√
17	1	0.53	0.68	√	37	1	0.46	0.36	√
18	1	0.51	0.41	√	38	1	0.40	0.61	√
19	0.67	0.53	0.59	√	39	1	0.57	0.38	√
20	1	0.51	0.23	√	40	1	0.45	0.43	√

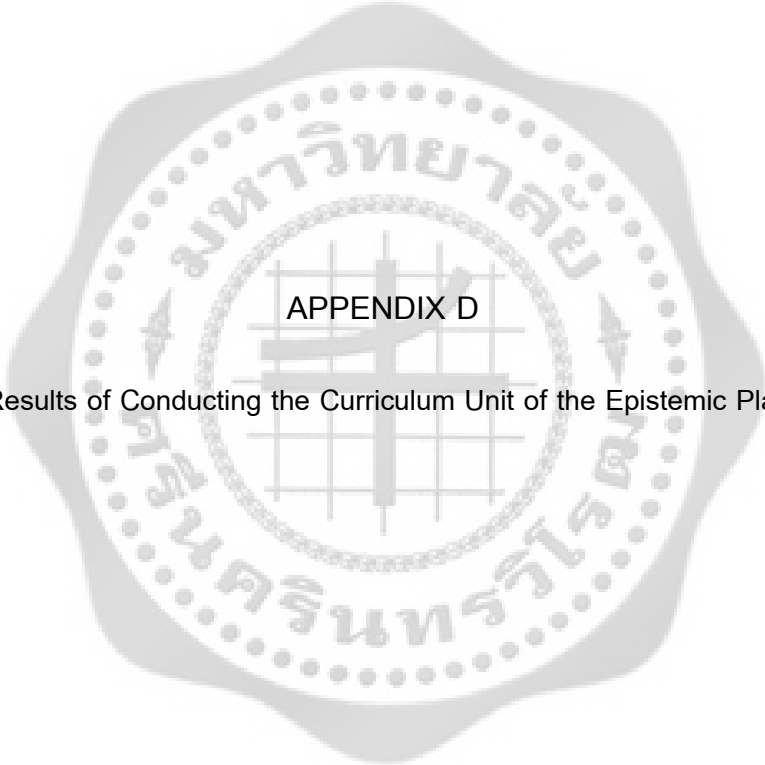
Reliability of the science learning achievement test is 0.76

Table 17 The results of checking of the strategic problem solving ability test's the item objective

congruence (IOC), item difficulty index (p) and item discrimination index (r)

Test item	IOC	P	r	Select
1.1	1	0.43	0.27	√
1.2	1	0.60	0.45	√
1.3	0.67	0.46	0.25	√
1.4	1	0.37	0.27	√
2.1	0.67	0.63	0.41	√
2.2	1	0.68	0.34	√
2.3	0.67	0.43	0.23	√
2.4	1	0.60	0.55	√
3.1	1	0.46	0.41	√
3.2	1	0.59	0.37	√
3.3	0.67	0.54	0.21	√
3.4	0.67	0.80	0.36	√
4.1	1	0.35	0.39	√
4.2	1	0.39	0.32	√
4.3	0.67	0.55	0.45	√
4.4	1	0.48	0.27	√
5.1	1	0.53	0.68	√
5.2	1	0.51	0.41	√
5.3	0.67	0.43	0.59	√
5.4	1	0.68	0.43	√

Reliability of the strategic problem solving ability test is 0.60



APPENDIX D

The Results of Conducting the Curriculum Unit of the Epistemic Platform

1. The Results from the Curriculum Unit Evaluation by the experts

Table 18 The curriculum unit consistency evaluation

The considered items	N=3		Interpretation
	IOC	S.D.	
1. The curriculum unit goals with the society need	1.00	0.00	consistent
2. The curriculum unit goals with the LPPL approach	1.00	0.00	consistent
3. The curriculum unit goals with learning outcomes	1.00	0.00	consistent
4. The curriculum unit goals with the contents	1.00	0.00	consistent
5. The curriculum unit goals with lesson plan	1.00	0.00	consistent
6. The curriculum unit goals with the assessment	1.00	0.00	consistent
7. The curriculum unit goals with the computer game	1.00	0.00	consistent
8. The contents with the learning activities	1.00	0.00	consistent
9. The curriculum unit with students' pre knowledge	0.67	0.58	consistent

Table 19 The curriculum unit quality evaluation

The evaluated items	N=3		Quality Level
	Mean	S.D.	
1 Over all of the Curriculum unit			
1.1 The contents			
1.1.1 The content correctness	4.00	0.00	High
1.1.2 Language suitability and clarity	3.67	0.58	High
1.1.3 Learning objective consistency	4.00	0.00	High
1.1.4 Suitability of contents in each unit	4.00	0.00	High
1.1.5 Suitability of content ordering	3.67	0.58	High
1.1.6 Suitability to learner	3.67	0.58	High
1.1.7 Content structure clarity and pre-new knowledge relation	4.00	0.00	High
1. 2. The Learn to Play-Play to Learn Approach			
1.2.1 Suitability to the contents and the computer game	4.00	0.00	High
1.2.2 Consistency with theoretical underpinnings	4.00	0.00	High
1.2.3 Suitability to Learner	4.00	0.00	High
1.2.4 Suitability to and consistency with learning objective	4.00	0.00	High

Table 19 (continued)

The evaluated items	N=3		Quality Level
	Mean	S.D.	
1.3. Integration of Strategic problem solving technique			
1.3.1 Suitability to contents and the learning approach	4.33	0.58	High
1.3.2 Supporting and developing student's problem solving and higher ordered thinking	3.67	0.58	High
1.4. Science Learning Activities and Related Teaching- Learning Materials			
1.4.1 Suitability and consistency among learning activities and learning activity ordering	4.00	0.00	High
1.4.2 Suitability among Learning material and learner	4.00	0.00	High
1.4.3 Ease in use of learning material	3.67	0.58	High
1.4.4 Teacher use guide's correctness	4.00	0.00	High
1.4.5 ease in use of teacher use guide	4.00	0.00	High
1.4.6 Lesson plan correctness and suitability	4.00	0.00	High
1.4.7 Learning activity duration	4.00	0.00	High

Table 19 (continued)

The evaluated items	N=3		Quality Level
	Mean	S.D.	
2 The Computer Game entitled” Nano X Project”			
2.1 Game Interface Design			
2.1.1 Suitability, ease in use,	4.00	0.00	High
2.1.2 Clarity and ease to read of color and alphabet	3.67	0.58	High
2.1.3 Meaningfulness and content consistency of static and motive graphics	4.00	0.00	High
2.1.4 Beauty of static and motive graphics	4.00	0.00	High
2.2 Game Representation			
2.2.1 Interesting content presentation	4.00	0.00	High
2.2.2 Flow and consistency of story driving	4.00	0.00	High
2.2.3 Learning motivation of representation	4.33	0.58	High
2.2.4 Interest	4.33	0.58	High
2.2.5 Guiding information provided	4.33	0.58	High

Table 19 (continued)

The evaluated items	N=3		Quality Level
	Mean	S.D.	
2.3 Game Interactive Design			
2.3.1 Ease in use and understandability	3.67	0.58	High
2.3.2 Suitability of interactivity	4.00	0.00	High
2.3.3 Consistency of the contents and interactivity	4.33	0.58	High
3. Science learning Assessment			
3.1 Test item clarity	4.00	0.00	High
3.2 Suitability of amount of items	4.00	0.00	High
3.3 Coverage of practice and test	4.00	0.00	High
3.4 Consistency to the contents	4.00	0.00	High
3.5 Suitability to learner	4.00	0.00	High

2. The Results from the First Trial Study

a. *Results of Science Learning Achievement*

Table 20 The results of science learning achievement from the first trial study

Students	Pre Test	Post Test	Students	Pre Test	Post Test
1	8	26	6	11	19
2	7	23	7	6	17
3	6	20	8	8	28
4	8	21	9	10	20
5	11	18			

Pre-test mean Score is 8.33.

Post-test mean score is 21.33.

3. The Results from the Second Trial Study

3a. Results of Science Learning Achievement

Table 21 The results of science learning achievement from the second trial study

Students	Pre Test	Post Test	Students	Pre Test	Post Test
1	11	23	18	11	19
2	12	25	19	6	17
3	8	17	20	8	24
4	8	19	21	10	20
5	10	17	22	14	29
6	5	16	23	5	20
7	9	23	24	10	21
8	14	34	25	12	26
9	11	30	26	9	23
10	7	19	27	6	20
11	6	18	28	5	18
12	7	20	29	9	23
13	9	20	30	12	26
14	12	23	31	11	26
15	13	24	32	8	20
16	11	22	33	14	32
17	9	20			

Pre-test mean Score is 9.45.

Post-test mean score is 22.24.

3b. Results of Strategic Problem Solving Ability

Table 22 The results of strategic problem solving ability from the second trial study

Students	Pre Test	Post Test	Students	Pre Test	Post Test
1	4	13	18	7	14
2	3	14	19	5	12
3	3	12	20	9	12
4	2	12	21	5	9
5	5	10	22	6	10
6	6	17	23	3	12
7	4	14	24	5	16
8	3	13	25	6	13
9	7	16	26	4	14
10	4	13	27	6	12
11	5	17	28	7	14
12	6	18	29	4	15
13	3	16	30	5	14
14	4	14	31	8	12
15	6	12	32	5	14
16	4	15	33	5	12
17	3	12			

Pre-test mean Score is 4.91.

Post-test mean score is 13.42.

3c. Results of Attitude towards Science

Table 23 Students' attitude towards science pre score from the second trial study

The evaluated items	N=33		Interpretation Level
	Mean	S.D.	
1. Science is very interesting	3.00	1.24	medium
2. I prefer science learning	3.20	0.88	medium
3. Science learning various and interesting	3.063	1.01	medium
4. Students enjoy science learning activities	3.72	1.09	high
5 Science learning have varieties of interesting activities	3.14	1.02	medium
6. Students have active participation in science learning	2.94	0.85	medium
7. Students prefer active inquiry process of science	3.14	0.74	medium
8. Science learning is very important to students in the today life and the future.	3.63	1.03	high
9. Authentic science learning experience in science interest students in science learning.	3.04	0.76	medium
10 Students prefer developing their own science learning	3.47	0.96	medium
11. Science learning can help students solve daily life problems.	3.22	0.74	medium
12. This Science learning help students develop learning abilities and thinking skills.	3.46	0.91	medium

Table 23 (continued)

The evaluated items	N=33		Interpretation Level
	Mean	S.D.	
13. Students prefer hands-on science learning activities	4.08	0.81	high
14. Students prefer scientific problem solving	3.71	1.41	high
15. Students will follow and study more about science	3.71	0.91	high
16. Science career is of students' interest	3.47	1.09	medium

Mean of the attitude towards science pre-scores is 3.37.

Table 24 Students' attitude towards science post score from the second trial study

The evaluated items	N=33		Interpretation Level
	Mean	S.D.	
1. Science is very interesting	4.57	0.83	highest
2. I prefer science learning	4.23	0.65	high
3. Science learning various and interesting	4.04	0.85	high
4. Students enjoy science learning activities	4.30	0.74	high
5 Science learning have varieties of interesting activities	4.38	0.67	high
6. Students have active participation in science learning	4.04	0.80	high
7. Students prefer active inquiry process of science	4.38	0.67	high
8. Science learning is very important to students in the today life and the future.	4.40	0.80	high
9. Authentic science learning experience in science interest students in science learning.	3.94	0.89	high
10 Students prefer developing their own science learning	4.38	0.64	high
11. Science learning can help students solve daily life problems.	4.57	0.58	high
12. This Science learning help students develop learning abilities and thinking skills.	3.98	0.89	high
13. Students prefer hands-on science learning activities	4.17	0.67	high

Table 24 (continued)

The evaluated items	N=33		Interpretation Level
	Mean	S.D.	
14. Students prefer scientific problem solving	4.34	0.79	high
15. Students will follow and study more about science	4.12	0.54	high
16. Science career is of students' interest	3.98	1.00	high

Mean of the attitude towards science post-scores is 4.24.

3d. The Students' Opinion towards the Curriculum Unit

Table 25 Students' opinion towards the curriculum unit from the second trial study

The evaluated items	N=33		Interpretation Level
	Mean	S.D.	
1. Nanoscience and Nanotechnology motivates student in science learning.	4.05	0.61	high
2. The contents of nanoscience and nanotechnology is of student's interest.	4.18	0.77	high
3. The science learning activities are various and interesting.	4.26	0.60	high
4. The computer game Nano X Project is interesting and help students learn science effectively.	4.42	0.61	high
5. The science learning activities are consistent to the contents of nanoscience and nanotechnology.	4.13	0.67	high
6. Students have chances to learn science in various kinds of learning materials.	4.29	0.72	high
7. Students have chances to develop their own learning and higher ordered thinking and problem solving abilities.	4.11	0.72	high
8. Students have authentic learning experience in science learning.	4.39	0.72	high

Table 25 (continued)

The evaluated items	N=33		Interpretation Level
	Mean	S.D.	
9. Students have active participation in the epistemic platform in this kind of learning.	4.08	0.78	high
10. Students can relate and apply acquired knowledge to real life.	4.12	0.94	high
11. Learning activities and processes provide students with inquiry skills and active learner roles.	4.00	0.81	high
12. This kind of science learning help students develop strategic problem solving abilities.	3.92	0.78	high
13. The strategic problem solving activities in this kind of science learning can be applied to and used in students' daily life.	4.03	0.81	high
14. Students have positive attitude towards the learning	4.08	0.64	high
15. Students will follow and study more about nanoscience and nanotechnology	3.92	0.91	high

Mean of the opinion towards the curriculum unit score is 4.1

4. The Results from the Implementation Study

4a Results of Science Learning Achievement Test

Table 26 The results of science learning achievement from the implementation study

Students	Pre Test	Post Test	Students	Pre Test	Post Test
1	6	23	18	13	23
2	10	19	19	11	24
3	13	34	20	13	34
4	9	19	21	4	16
5	7	18	22	11	19
6	7	23	23	7	21
7	9	27	24	7	17
8	5	18	25	8	19
9	3	16	26	13	28
10	5	19	27	5	17
11	10	20	28	7	18
12	7	18	29	11	24
13	14	19	30	13	26
14	12	21	31	12	19
15	8	21	32	6	17
16	9	18			
17	7	17			

Pre-test mean score is 8.815.

Post-test mean score is 21.00.

4b Results of Strategic Problem Solving Ability

Table 27 The results of strategic problem solving ability from the implementation study

Students	Pre Test	Post Test	Students	Pre Test	Post Test
1	3	13	18	3	9
2	6	11	19	5	9
3	4	13	20	4	12
4	3	12	21	4	8
5	7	14	22	5	9
6	4	12	23	3	10
7	3	11	24	7	13
8	7	10	25	4	12
9	5	15	26	9	15
10	4	13	27	5	16
11	3	12	28	5	12
12	6	12	29	4	14
13	4	14	30	7	12
14	7	11	31	4	11
15	4	16	32	3	14
16	5	12			
17	7	10			

Pre-test mean score is 4.812.

Post-test mean score is 12.09.

4c. Results of Attitude towards Science

Table 28 Students' attitude towards science pre score from the implementation study

The evaluated items	N=32		Interpretation Level
	Mean	S.D.	
1. Science is very interesting	3.02	0.55	medium
2. I prefer science learning	3.49	0.78	medium
3. Science learning various and interesting.	4.07	0.82	high
4. Students enjoy science learning activities	2.79	0.83	medium
5 Science learning have varieties of interesting activities	2.89	0.63	medium
6. Students have active participation in science learning	3.23	0.80	medium
7. Students prefer active inquiry process of science	3.21	0.73	medium
8. Science learning is very important to students in the today life and the future.	3.77	0.82	medium
9. Authentic science learning experience in science interest students in science learning.	2.81	0.92	medium
10 Students prefer developing their own science learning	3.02	0.77	medium
11. Science learning can help students solve daily life problems.	3.98	0.86	medium
12. This Science learning help students develop learning abilities and thinking skills.	3.03	0.71	medium

Table 28 (continued)

The evaluated items	N=33		Interpretation Level
	Mean	S.D.	
13. Students prefer hands-on science learning activities	3.31	0.96	medium
14. Students prefer scientific problem solving	3.07	0.79	medium
15. Students will follow and study more about science	3.24	0.93	medium
16. Science career is of students' interest	2.81	.093	medium

Mean of the attitude towards science pre-scores is 3.23.

Table 29 Students' attitude towards science post score from the implementation study

The evaluated items	N=33		Interpretation Level
	Mean	S.D.	
1. Science is very interesting	4.42	0.62	high
2. I prefer science learning	3.60	0.79	high
3. Science learning various and interesting.	4.07	0.88	high
4. Students enjoy science learning activities	4.30	0.69	high
5 Science learning have varieties of interesting activities	3.89	0.86	high
6. Students have active participation in science learning	4.58	0.72	high
7. Students prefer active inquiry process of science	3.86	0.92	high
8. Science learning is very important to students in the today life and the future.	3.88	0.70	high
9. Authentic science learning experience in science interest students in science learning.	4.32	0.96	high
10 Students prefer developing their own science learning	3.98	0.88	high
11. Science learning can help students solve daily life problems.	4.34	0.67	high
12. This Science learning help students develop learning abilities and thinking skills.	3.79	0.78	high
13. Students prefer hands-on science learning activities	4.13	0.56	high

Table 29 (continued)

The evaluated items	N=33		Interpretation Level
	Mean	S.D.	
14. Students prefer scientific problem solving	4.01	0.78	high
15. Students will follow and study more about science	4.30	0.97	high
16. Science career is of students' interest	3.76	0.98	high

Mean of the attitude towards science post-scores is 4.01.

4d. The Students' Opinion towards the Curriculum Unit

Table 30 Students' opinion towards the curriculum unit from the implementation study

The evaluated items	N=33		Interpretation Level
	Mean	S.D.	
1. Nanoscience and Nanotechnology motivates student in science learning.	3.76	0.84	high
2. The contents of nanoscience and nanotechnology is of student's interest.	3.98	0.76	high
3. The science learning activities are various and interesting.	4.34	0.92	high
4. The computer game Nano X Project is interesting and help students learn science effectively.	4.45	0.76	high
5. The science learning activities are consistent to the contents of nanoscience and nanotechnology.	3.79	0.84	high
6. Students have chances to learn science in various kinds of learning materials.	4.34	0.72	high
7. Students have chances to develop their own learning and higher ordered thinking and problem solving abilities.	4.42	0.65	high
8. Students have authentic learning experience in science learning.	4.23	0.86	high

Table 30 (continued)

The evaluated items	N=32		Interpretation Level
	Mean	S.D.	
9. Students have active participation in the epistemic platform in this kind of learning.	4.05	0.95	high
10 Students can relate and apply acquired knowledge to real life.	4.34	0.78	high
11. Learning activities and processes provide students with inquiry skills and active learner roles.	4.34	0.87	high
12. This kind of science learning help students develop strategic problem solving abilities.	4.12	0.69	high
13. The strategic problem solving activities in this kind of science learning can be applied to and used in students' daily life.	4.08	0.71	high
14. Students have positive attitude towards the learning	4.30	0.91	high
15. Students will follow and study more about nanoscience and nanotechnology	3.98	0.74	high

Mean of the Opinion towards the Curriculum unit score is 4.168.



APPENDIX E

The Exemplary Materials of the Curriculum units

หน่วยหลักสูตรการเรียนรู้เรื่องวิทยาศาสตร์นาโนและ นาโนเทคโนโลยีเบื้องต้นระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 วัสดุนาโนเบื้องต้น

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 วัสดุนาโนและนาโนเทคโนโลยีกับความปลอดภัย

พัฒนาโดย

นายสกันธ์ชัย ชะนูนันท์



บทนำ

ความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้ช่วยให้มนุษย์รู้จักและค้นพบสิ่งใหม่ๆอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่สิ่งที่มีขนาดใหญ่มากไปจนถึงสิ่งที่เล็กที่สุด และเมื่อไม่นานมานี้ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ก้าวหน้าไปอีกขั้น ขั้นที่ทำให้มนุษย์สามารถมองเห็นและเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งที่มีขนาดในระดับที่เล็กมากๆ รวมทั้งสามารถออกแบบและสร้างวัสดุและเครื่องมือที่มีขนาดจุเปอร์จิ๋วนี้ได้ ขนาดที่ว่านี้ไม่ได้แค่ระดับมิลลิเมตรหรือแม้กระทั่งไมโครเมตร แต่เล็กถึงในระดับนาโนเมตร ซึ่งหมายถึงขนาดที่เล็กถึงหนึ่งในพันล้านส่วนของเมตร สิ่งที่กำลังกล่าวถึงนี้ก็คือ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระดับนาโน ซึ่งโดยความเข้าใจของคนทั่วไปจะหมายถึง นาโนเทคโนโลยี ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ผู้ชีวิตประจำวันที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วต่อการดำรงชีวิตของทุกคนในเกือบทุกด้าน ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการด้านการให้การศึกษาหรือการจัดเรียนรู้เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี แก่คนในชาติ โดยเฉพาะเยาวชนซึ่งจะต้องเป็นผู้ดำรงชีวิตที่แวดล้อมไปด้วยผลผลิตจากนาโนเทคโนโลยี เพื่อให้ทุกคนมีความรู้ที่เพียงพอที่จะช่วยในการปรับตัวและดำรงชีวิตอย่างมีความสุขในโลกแห่งความก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโนเบื้องต้น นี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้รูปแบบการเรียนรู้ตามแบบแผนของเกมคอมพิวเตอร์ที่หลากหลาย (Game-Based Learning) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปแบบของการเรียนรู้ที่ใช้ปัญหาเป็นพื้นฐาน (Problem-based learning) ผสานกับการใช้เทคโนโลยีของเกมคอมพิวเตอร์ในการสร้างรูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แนวใหม่ ที่ชื่อว่า รูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เสมือนเกม (Game-like Science Learning) เพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ในสถานการณ์ที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์ ที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด เพื่อให้ผู้เรียนได้ กระบวนการสังเกต การสำรวจตรวจสอบ การทดลอง เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจเกี่ยวกับ แนวคิด ทฤษฎี ที่เป็นพื้นฐานสำคัญวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี

โดยรูปแบบการเรียนรู้ของหลักสูตรนี้ กิจกรรมการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย พัฒนาทักษะและกระบวนการคิดและแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ของหน่วยหลักสูตรวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีเบื้องต้น

การเรียนรู้ของหลักสูตรวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีเบื้องต้น มีเป้าหมายสำคัญ ดังนี้ เพื่อให้ผู้เรียน

1. มีความรู้ความเข้าใจหลักการและทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี
2. มีทักษะที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี
3. พัฒนาระบวนการคิดและจินตนาการ ความสามารถในการแก้ปัญหาและการจัดการ ทักษะในการสื่อสาร และความสามารถในการตัดสินใจ
4. เข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญและข้อจำกัดวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีที่มีผลต่อมนุษย์ สังคมและสิ่งแวดล้อม
5. มีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรม จริยธรรม และค่านิยมในการใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์

คำอธิบายหลักสูตรของชุดกิจกรรม

ศึกษาวิเคราะห์ ขนาดและสัดส่วน ความหมายของ วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี ความเป็นมาของการศึกษาพัฒนาของนาโนเทคโนโลยี หลักการและทฤษฎีที่สำคัญของวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี กระบวนการสังเคราะห์สร้างและเครื่องมือที่ใช้ศึกษาด้านวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี สถานภาพ แนวโน้มและทิศทางการพัฒนาของนาโนเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโนที่พบในธรรมชาติ ความหมายและประเภทของวัสดุนาโน คุณสมบัติที่ขึ้นกับขนาดของวัสดุนาโน องค์ประกอบทางเคมี รูปร่าง ขนาด โครงสร้าง กระบวนการสังเคราะห์ คุณสมบัติ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ ของวัสดุนาโนที่สำคัญ อันได้แก่ ท่อนาโนคาร์บอน อนุภาคโลหะเงินนาโน นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และนาโนซิงค์ออกไซด์ และผลกระทบของนาโนเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสำรวจตรวจสอบ การสืบค้นข้อมูลและการอภิปราย เพื่อให้เกิดความรู้ ความคิด ความเข้าใจ สามารถสื่อสารสิ่งที่รู้ มีความสามารถในการตัดสินใจนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

รูปแบบการจัดการเรียนรู้

รูปแบบการจัดการเรียนรู้สำหรับการเรียนรู้ที่ใช้รูปแบบของ การใช้เกมคอมพิวเตอร์เป็นฐาน (Game Based Learning) ร่วมกับกิจกรรมสืบเสาะกลุ่มย่อย

โปรแกรมเกมคอมพิวเตอร์จะพัฒนาขึ้นและใช้เป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมการเรียนรู้ โดยที่มีรูปแบบการใช้ดังนี้

1. ใช้เป็นตัวสร้างบริบท สถานการณ์ที่เป็นปัญหาหรือกำหนดเป้าหมาย รวมทั้งการกำหนดบทบาทหน้าที่ของผู้เรียน ที่นำไปสู่การเรียนรู้ ที่ใช้สถานการณ์จริง
2. ใช้เป็นแหล่งสืบค้นข้อมูล แบบปฏิสัมพันธ์จากการใช้สถานการณ์จริง
3. ใช้เป็นแหล่ง ทดสอบความคิดและสมมติฐานรวมทั้งเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์แก้ปัญหา

การประเมินผล

การประเมินผลใช้รูปแบบการประเมินที่หลากหลาย ซึ่งได้แก่ แฟ้มสะสมงาน (Portfolio Assessment) และ การประเมินด้านความสามารถ (Performance Assessment) ร่วมกับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ ด้านความรู้ความเข้าใจ และแบบวัดและประเมินความคิดการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

มาตรฐานการเรียนรู้ที่สอดคล้อง

ว 2.2-1, ว 3.1-1, ว 3.1-3, ว 3.2-1, ว 3.2-2, ว 4.1-2, ว 8.1-1, ว 8.1-2, ว 8.1-3, ว 8.1-4, ว 8.1-5, ว 8.1-6, ว 8.1-7, ว 8.1-8, ว 8.1-9, ว 8.1-10, ว 8.1-11, ว 8.1-12, และ ว 8.1-13

โครงสร้างเนื้อหา

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี

ขนาดและสัดส่วน

ความหมายของวิทยาศาสตร์นาโน และนาโนเทคโนโลยี

หลักการทางวิทยาศาสตร์พื้นฐานที่สำคัญต่อการทำความเข้าใจเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี

ทฤษฎีและหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่สำคัญของวิทยาศาสตร์นาโน และนาโนเทคโนโลยี

เครื่องมือที่สำคัญของวิทยาศาสตร์นาโน และนาโนเทคโนโลยี

การสร้างสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ระดับนาโน

วิทยาศาสตร์นาโน และนาโนเทคโนโลยีในธรรมชาติ

สถานภาพและความก้าวหน้าของการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์นาโน และนาโนเทคโนโลยี

ประวัติความเป็นมาของการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์นาโน และนาโนเทคโนโลยี

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 วัสดุนาโน เบื้องต้น

วัสดุศาสตร์พื้นฐาน

ความหมายและประเภทของวัสดุนาโน

คุณสมบัติที่ขึ้นกับขนาดของวัสดุนาโน (Size dependent properties)

วัสดุนาโนที่สำคัญ องค์ประกอบ โครงสร้าง รูปร่าง และขนาด วิธีการสังเคราะห์ คุณสมบัติที่

สำคัญ

ท่อนาโนคาร์บอนและกลุ่มอนุพันธ์

นาโนซิงค์ออกไซด์

นาโนไททาเนียมไดออกไซด์

ซิลเวอร์นาโน

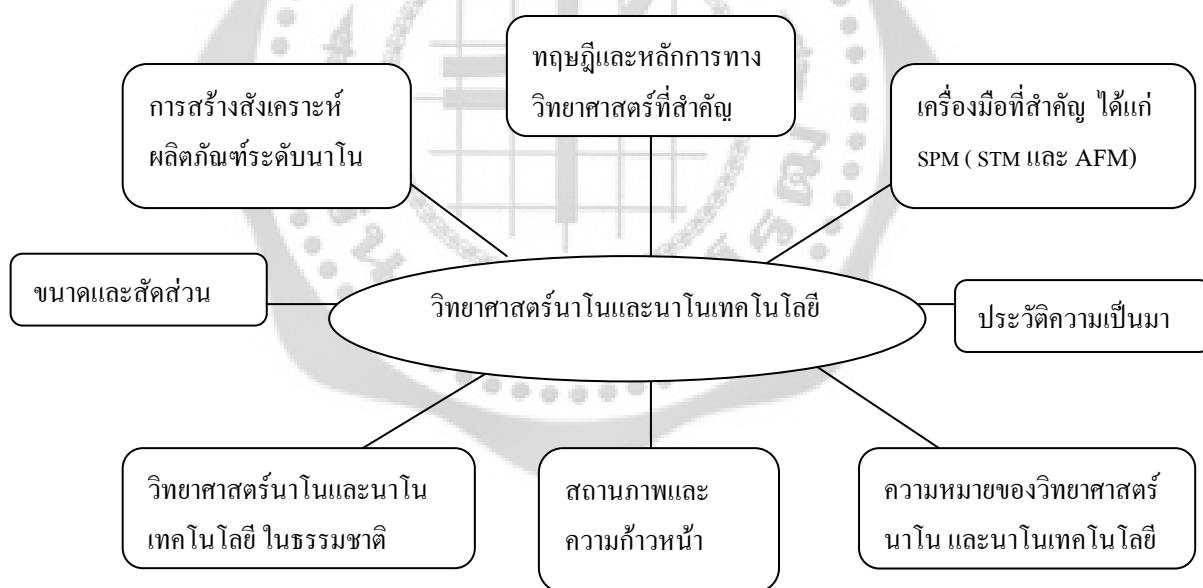
หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 ผลกระทบด้านสุขภาพ อนามัย และสิ่งแวดล้อมของวิทยาศาสตร์นาโน

และนาโนเทคโนโลยี

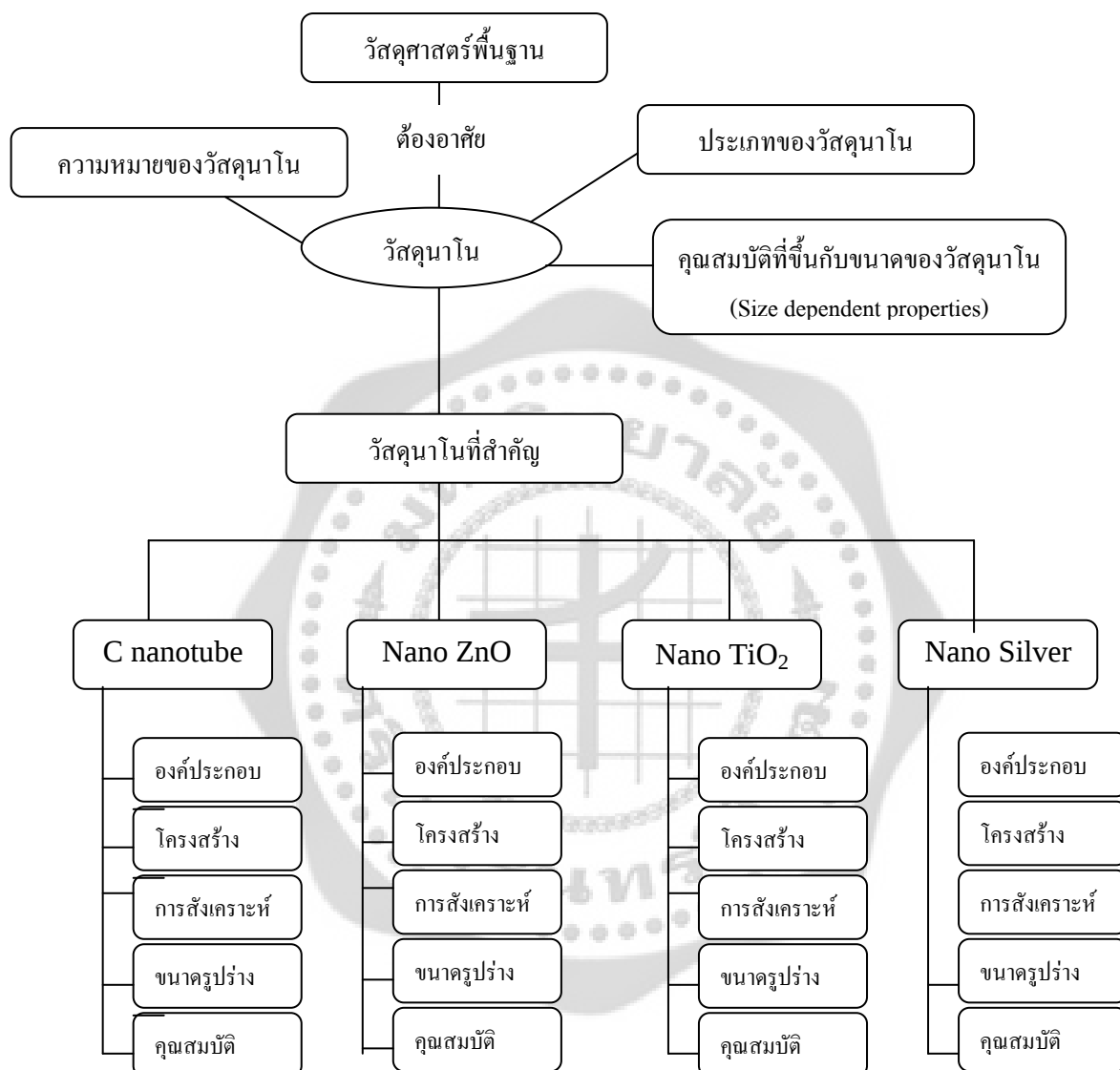
สภาพปัญหา ที่เกิดขึ้น

แนวทางป้องกันและแก้ไข

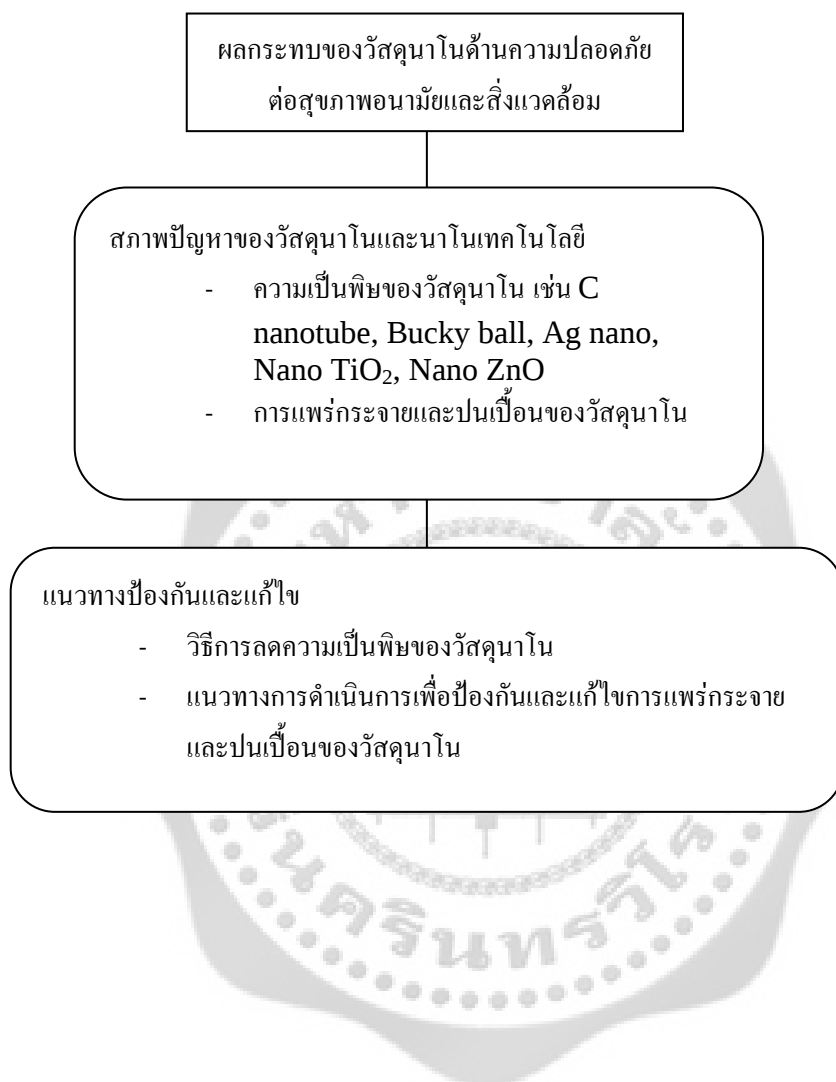
หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี



หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 วัสดุนาโนเบื้องต้น



หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 วัสดุนาโนและนาโนเทคโนโลยีกับความปลอดภัย



คำชี้แจงเกี่ยวกับหน่วยหลักสูตร

การเรียนรู้วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีเบื้องต้นสำหรับครู

บทนำ

ความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้ช่วยให้มนุษย์รู้จักและค้นพบสิ่งใหม่ๆอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่สิ่งที่มีขนาดใหญ่มากไปจนถึงสิ่งที่เล็กที่สุด และเมื่อไม่นานมานี้ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ก้าวหน้าไปอีกขั้น ขั้นที่ทำให้มนุษย์สามารถมองเห็นและเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งที่มีขนาดในระดับที่เล็กมากๆ รวมทั้งสามารถออกแบบและสร้างวัสดุและเครื่องมือที่มีขนาดจุลทรรศน์ได้ ขนาดที่ว่านี้ไม่ได้แค่ระดับมิลลิเมตรหรือแม้กระทั่งไมโครเมตร แต่เล็กถึงในระดับนาโนเมตร ซึ่งหมายถึงขนาดที่เล็กถึงหนึ่งในหนึ่งพันล้านส่วนของเมตร สิ่งที่กำลังกล่าวถึงนี้ ก็คือ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระดับนาโน ซึ่งโดยความเข้าใจของคนทั่วไปจะหมายถึง นาโนเทคโนโลยี ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ สู่ชีวิตประจำวันที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วต่อการดำรงชีวิตของทุกคนในเกือบทุกด้าน ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการด้านการให้การศึกษาหรือการจัดเรียนรู้เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี แก่คนในชาติโดยเฉพาะเยาวชนซึ่งจะต้องเป็นผู้ดำรงชีวิตที่แวดล้อมไปด้วยผลผลิตจากนาโนเทคโนโลยี เพื่อให้ทุกคนมีความรู้ที่เพียงพอที่จะช่วยในการปรับตัวและดำรงชีวิตอย่างมีความสุขในโลกแห่งความก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การจัดการเรียนรู้เนื้อหาวิทยาศาสตร์ระดับนาโนและนาโนเทคโนโลยีเบื้องต้น สำหรับผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายนั้น ไม่ใช่เป็นการสอนเพียงเนื้อหาเท่านั้น แต่ผู้เรียนควรได้รับประสบการณ์เรียนรู้ที่นำไปสู่การเข้าใจอย่างลึกซึ้งทั้งตัวความคิดรวบยอดและกระบวนการทางด้านวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี เทคโนโลยีของเกมคอมพิวเตอร์ที่ถือได้ว่าเป็นระบบสื่อที่มีรูปแบบการนำเสนอที่หลากหลาย และสามารถนำไปใช้เป็นรูปแบบในการออกแบบและพัฒนาระบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบใหม่ที่เหมาะสมได้

หน่วยหลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโนเบื้องต้น นี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้รูปแบบการเรียนรู้ตามแบบแผนของเกมคอมพิวเตอร์ที่หลากหลาย (Game-Based Learning) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปแบบของการเรียนรู้ที่ปัญหาเป็นพื้นฐาน (Problem-based learning) ผสานกับการใช้เทคโนโลยีของเกมคอมพิวเตอร์ในการสร้างรูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แนวใหม่ ที่ชื่อว่า รูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

เสมือนเกม (Game-like Science Learning) เพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ในสถานการณ์ที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด เพื่อให้ผู้เรียนได้ กระบวนการสังเกต การสำรวจตรวจสอบ การทดลอง เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจเกี่ยวกับ แนวคิด ทฤษฎี ที่เป็นพื้นฐานสำคัญวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระดับนาโน

โดยรูปแบบการเรียนรู้ของหลักสูตรนี้ กิจกรรมการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย พัฒนาทักษะและกระบวนการคิดและแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ของหน่วยหลักสูตรวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีเบื้องต้น

การเรียนรู้ของหลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโนเบื้องต้น มีเป้าหมายสำคัญ ดังนี้ เพื่อให้ผู้เรียน

1. มีความรู้ความเข้าใจหลักการและทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน
2. มีทักษะที่สำคัญในการศึกษา ค้นคว้า และคิดค้นเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน
3. พัฒนาระบวนการคิดและจินตนาการ ความสามารถในการแก้ปัญหาและการจัดการ ทักษะในการสื่อสาร และความสามารถในการตัดสินใจ
4. เข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญและข้อจำกัดวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโนที่มีผลกระทบต่อมนุษย์ สังคม และสิ่งแวดล้อม
5. มีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรม จริยธรรม และค่านิยมในการใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโนอย่างสร้างสรรค์

คำอธิบายหน่วยหลักสูตร

ศึกษาวิเคราะห์ ขนาดและสัดส่วน ความหมายของ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน ความเป็นมาของการศึกษาพัฒนาของนาโนเทคโนโลยี หลักการและทฤษฎีที่สำคัญของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน กระบวนการสังเคราะห์สร้างและเครื่องมือที่ใช้ศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน สถานภาพแนวโน้มและทิศทางการพัฒนาของนาโนเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโนที่พบในธรรมชาติ

รูปแบบการจัดการเรียนรู้

รูปแบบการจัดการเรียนรู้สำหรับการเรียนรู้นี้ใช้รูปแบบของ การใช้เกมคอมพิวเตอร์เป็นฐาน (Game Based Learning) ที่มีลักษณะที่เรียกว่า รูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เสมือนเกม ร่วมกับกิจกรรมสืบเสาะกลุ่มย่อย

รูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เสมือนเกม (Game-like Science Learning)

แนวคิดทฤษฎีพื้นฐาน *Theoretical Underpinnings*

รูปแบบการเรียนรู้ที่ใช้เกมเป็นฐาน หรือ Game-based Learning ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่ง ของ กระแสของการจัดการเรียนรู้แนวใหม่ที่เรียกว่า Edutainment ที่ได้รับความสนใจและมีการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวาง โดยมีการศึกษาและพัฒนาในรูปแบบต่างๆ ที่ให้สอดคล้องกับระบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาให้เกิดการเรียนรู้สูงสุด รูปแบบหนึ่งที่สำคัญที่ผู้วิจัยได้คิดค้นและพัฒนาขึ้นก็คือ รูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เสมือนเกม หรือ Game-like Learning ที่ใช้รูปแบบและโครงสร้างของเกมคอมพิวเตอร์ผนวกกับแนวคิดหลักการ ทฤษฎีทางการศึกษา และแนวคิดที่ได้จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีแนวคิดทฤษฎีพื้นฐานทางการเรียนรู้หรือ Theoretical Underpinnings อยู่ 4 ทฤษฎี ดังนี้ อันได้แก่ ทฤษฎีสร้างสรรค์ความรู้ (Constructivism), ทฤษฎี Activity, ทฤษฎี Scaffolding, และ ทฤษฎี Situated Learning

ลักษณะที่สำคัญของรูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เสมือนเกม *Key Aspects of Game-like Science Learning*

รูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ที่เสมือนเกม นี้จะมีโครงข่ายของกิจกรรมสืบเสาะที่เป็นหัวใจสำคัญของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ หรือที่เรียกว่า Inquiry ที่ผนวกเข้ากับรูปแบบของเกม โดยใช้รูปแบบของเกมคอมพิวเตอร์ โดยมีเรื่องราว ที่ผู้เรียนต้องสวมบทบาทเป็นผู้เล่น ดำเนินภารกิจต่างที่เกี่ยวข้อง และเรียนรู้เนื้อหาต่างๆ จากสื่อเกมคอมพิวเตอร์ รวมไปถึงกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้เรียนจะต้องกระทำนอกเหนือจากการมีปฏิสัมพันธ์กับหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยมีครูผู้สอนทำหน้าที่ในการช่วยเหลือในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเจ้าหน้าที่ในเกมที่ต้องตอบโต้ผ่านของระบบเกม หรือความช่วยเหลือต่างๆ ในฐานะครูผู้สอน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาแนวคิด ความรู้ความเข้าใจได้อย่างถูกต้อง ด้วยรูปแบบดังกล่าวจะทำให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้ต่างๆ และทำให้เกิดการจดจำเรียนรู้ได้นานขึ้น

โปรแกรมเกมคอมพิวเตอร์จะพัฒนาขึ้นและใช้เป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมการเรียนรู้ โดยมีรูปแบบการใช้ดังนี้

1. ใช้เป็นตัวสร้างบริบท สถานการณ์ที่เป็นปัญหาหรือกำหนดเป้าหมาย รวมทั้งการกำหนดบทบาทหน้าที่ของผู้เรียน ที่นำไปสู่การเรียนรู้ ที่ใช้สถานการณ์จริง
2. ใช้เป็นแหล่งสืบค้นข้อมูล แบบปฏิสัมพันธ์จากการใช้สถานการณ์จริง
3. ใช้เป็นแหล่ง ทดสอบความคิดและสมมติฐานรวมทั้งเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์แก้ปัญหา

ขั้นตอนการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ ของนักเรียน

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ในเกม Nano X Project episode I นาโนเอกซ์โปรเจค แอปไฟไซด์ 1

1. ให้นักเรียนหรือผู้เล่นแบ่งเป็นทีมๆละ 3 คน และให้ทั้ง 3 คน ทำงานร่วมกันในการสวมบทบาทเป็น ดร. โรเบิร์ต ตัวละครเดินเรื่องในเกม Nano X Project ซึ่ง ดร. โรเบิร์ตได้รับการคัดเลือกให้เป็นหนึ่งในนักวิจัยที่ได้รับเข้าร่วมให้เสนอแนวคิดในรูปแบบของข้อเสนอโครงการวิจัย ซึ่งรายละเอียดจะอยู่ใน ตัวเกมคอมพิวเตอร์ และเอกสารประกอบการเล่น ที่มีชื่อเรียกว่าแบบเสนอแผนการดำเนินการวิจัย (Research Project Proposal) โครงการวิจัยพิเศษ The X Project ซึ่งเป็นโครงการวิจัยพิเศษของศูนย์วิจัยทางการทหาร กระทรวงกลาโหม ที่ต้องการพลังแห่งความคิดใหม่ๆ กับเทคโนโลยี

ใหม่ๆที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนมาพัฒนาให้ระบบชุดทหารราบมีคุณสมบัติที่ดีกว่าและเหนือกว่าวัสดุแบบเก่าๆ

2. ให้ผู้เรียน ทำการศึกษาเอกสาร แบบเสนอแผนการดำเนินการวิจัย (Research Project Proposal)

โครงการวิจัยพิเศษ The X Project โดยทำการศึกษารายละเอียดประกอบทั้งหมดของแบบเสนอแผนการดำเนินการ โดยจะมีช่องว่างในส่วนข้อ 7 ซึ่งเป็นส่วนของ สมาชิกทีมงานวิจัยที่นักเรียนหรือผู้เรียนจะต้องทำการสืบเสาะหา ทั้งจาก ฐานข้อมูลและการออกไปสัมภาษณ์เก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์และตัดสินใจเลือก โดยพิจารณาข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากข้อมูลในเอกสารที่ให้มาในแต่ละข้อ ตั้งแต่หัวข้อ ชื่อโครงการวิจัย ที่มาและความสำคัญ วัตถุประสงค์ ขั้นตอนดำเนินการ นักเรียนต้องวิเคราะห์และพิจารณาคุณสมบัติ ความรู้ความสามารถ ประสบการณ์ ให้มีความสอดคล้องกับโครงการวิจัย และข้อ 8 ซึ่งเป็นส่วนของสถานที่ เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในโครงการ โดยนักเรียน ทำการเข้าไปสำรวจ ศูนย์ระบบห้องปฏิบัติการทางนาโน Nano Lab System Center ซึ่งเป็นสถานที่ที่จะใช้เป็นศูนย์กลางการทำงานวิจัยในโครงการพิเศษนี้ โดยนักเรียนจะต้องสำรวจสถานที่ไปพร้อมๆกับการเรียนรู้เนื้อหาเทคโนโลยีจากส่วนต่างๆ ภายในศูนย์แห่งนี้ และนักเรียนก็จะต้องระบุบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับ สถานที่ อุปกรณ์เครื่องมือ ที่จะใช้ในโครงการวิจัยครั้งนี้

3. เมื่อเสร็จสิ้น แล้วให้ส่งข้อมูลให้คณะกรรมการ ตรวจสอบความถูกต้อง พร้อมทั้งทำแบบทดสอบความรู้ความเข้าใจ

สื่อเกมคอมพิวเตอร์ นาโนเอ็กซ์โปรเจก Nano X Project

สำหรับประกอบการใช้หน่วยหลักสูตรการเรียนรู้

วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี



ออกแบบและพัฒนาโดย

นายสกันรัชชัย ชะนูนันท์

คำชี้แจงเกี่ยวกับสื่อเกมคอมพิวเตอร์

สื่อเกมคอมพิวเตอร์นี้ถูกพัฒนาขึ้นตามกรอบแนวคิดของการเรียนรู้แบบใหม่ที่เรียกว่า Edutainment ที่นำเอารูปแบบ หลักการและแนวคิดของการพัฒนาสื่อเพื่อความบันเทิงมาปรับประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอน โดยเฉพาะด้านการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ โดยผนวกแนวคิดเข้ากับหลักการและทฤษฎีการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องอันได้แก่ ทฤษฎีการเรียนรู้ Constructivism, situated learning, activity และ scaffolding รวมไปถึงข้อค้นพบจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้ศึกษาค้นคว้ามา

เรื่องราวของเนื้อหาเกมโดยย่อ

เนื่องจากศูนย์วิจัยทางการแพทย์ กระทรวงกลาโหม มีความต้องการที่เปิดโอกาสให้นักวิจัยภายนอกเข้าร่วมโครงการวิจัยพิเศษ ที่เกี่ยวกับการแข่งขันการวิจัยและพัฒนาชุดต้นแบบระบบชุดทหารราบ (battlesuit) โดยใช้แนวคิดและเทคโนโลยีสมัยใหม่โดยเฉพาะนาโนเทคโนโลยีด้านวัสดุนาโน เพื่อให้ได้ชุดที่มีคุณสมบัติที่เหนือกว่าวัสดุแบบเก่าที่ใช้มา ดร. โรเบิร์ต (ตัวละครหลักของเกมที่นักเรียนในแต่ละกลุ่มต้องสวมบทบาทร่วมกันในการดำเนินเรื่องในเกม) หนึ่งในนักวิจัยด้านวัสดุศาสตร์ แห่งแลปวิจัย สมาร์ทแมตเตอร์ ได้ถูกทาบทามรับเชิญให้ส่งข้อมูลประวัติผลงาน เพื่อรับการคัดเลือกให้เป็นผู้ดำเนินการดำเนินโครงการวิจัยพิเศษในครั้งนี้

ในการดำเนินการเนื้อเรื่องในเกม นักเรียนจะต้องเดินเรื่องโดยสวมบทบาทเป็น ดร. โรเบิร์ต เริ่มตั้งแต่รับข้อมูลจากศูนย์วิจัยทางการแพทย์ ส่งเอกสารข้อมูลประวัติเพื่อรับการคัดเลือก และเมื่อได้รับการคัดเลือก จะต้องเสนอแผนการดำเนินโครงการวิจัย โดยจะต้องเขียนแผนข้อเสนอโครงการ หรือ proposal เพื่อเสนอต่อคณะกรรมการศูนย์วิจัยทางการแพทย์ โดยนักเรียนในฐานะนักวิจัยนักเรียนจะทำการเขียนแผนสืบเสาะหาทีมงานวิจัยที่มีความรู้ความสามารถที่สอดคล้องเหมาะสมกับโครงการ รวมทั้งสถานที่ที่จะใช้เป็นฐานในการวิจัยโครงการวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้จะต้องทำการสำรวจสถานที่เพื่อค้นหาและระบุอุปกรณ์เครื่องมือที่จะต้องใช้ในโครงการวิจัยในครั้งนี้

เมื่อนักเรียนในบทบาท ดร. โรเบิร์ต ได้ส่งข้อเสนอแผนการดำเนินการและได้รับการยอมรับแล้ว นักเรียนจะต้องดำเนินการพัฒนาระบบชุดต้นแบบตามหัวข้อของโครงการที่กำหนด โดยจะต้องทำการสืบค้น สำรวจ หาวัสดุที่มีคุณสมบัติที่สอดคล้องเหมาะสมกับความต้องการ และเมื่อเลือกวัสดุได้แล้ว และดำเนินการส่งข้อมูลให้ฝ่ายพัฒนาชุดต้นแบบเสร็จแล้ว นักเรียนก็จะต้องทำการทดสอบคุณสมบัติของชุดทดสอบ เพื่อนำข้อมูลผลการวิเคราะห์ทดสอบมาเขียนรายงานส่ง ให้คณะกรรมการพิจารณาคัดเลือกขึ้น

สุดท้ายก่อนที่จะตัดสินใจให้ทีมวิจัยทีมใดได้รับเงินสนับสนุนก่อนใดในการพัฒนาระบบชุดทหารราบต่อไป

อย่างไรก็ตามแม้โครงการจะเสร็จสิ้นไปแล้ว เนื่องจากวัสดุนาโน เป็นวัสดุสมัยใหม่ยังไม่มี การศึกษาผลกระทบด้านสุขภาพอนามัยของผู้ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจจะเกิดขึ้น ดร. โรเบิร์ต จะได้รับการเข้าตรวจสอบจากหน่วยงานรัฐด้านความปลอดภัยของสุขภาพและ สิ่งแวดล้อม ดังนั้นดร. โรเบิร์ต จะต้องศึกษาวิเคราะห์เพื่อวางแผนป้องกันและแก้ไข ปัญหาที่อาจเกิดจากการศึกษาและใช้วัสดุนาโนและนาโนเทคโนโลยี และส่งแผนการจัดการด้านความปลอดภัยของนาโน เทคโนโลยีด้านวัสดุนาโนให้กับเจ้าหน้าที่ต่อไป

จากรูปแบบของเกมคอมพิวเตอร์นี้ นักเรียนจะได้เรียนรู้ผ่านประสบการณ์ที่หลากหลายที่ใกล้เคียง กับประสบการณ์จริงของการทำงานของนักวิทยาศาสตร์วิจัยซึ่งนักเรียนจะได้รับทั้งความรู้ ทักษะการคิดและ กระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้

โครงสร้างของเกมคอมพิวเตอร์

เกมคอมพิวเตอร์นี้ประกอบด้วย 3 ตอน หรือเอพิโซด (episode) ดังนี้

1. Nano X Project episode I นาโนเอ็กซ์โปรเจก ตอนที่หนึ่ง จะเป็นตอนเริ่มต้นของเกม ผู้เล่นในฐานะบทบาทของ ดร. โรเบิร์ต จะเข้ารับข้อมูลโครงการวิจัยพิเศษ ของศูนย์วิจัยทางการแพทย์ จากนั้นก็จะรับ จดหมายเชิญให้ส่งข้อมูลประวัตินผลงาน และใบสมัครเข้าร่วมโครงการ เมื่อได้รับการคัดเลือกแล้ว ดร. โรเบิร์ตจะต้องเขียนเอกสารข้อเสนอแผนการดำเนินการโครงการ ซึ่งจะเป็นกิจกรรมในห้องเรียน (นอกจอเกม) และจะมีส่วนประกอบของข้อเสนอโครงการที่นักเรียนต้องทำการสำรวจสืบค้นวิเคราะห์ประเมินและ ตัดสินใจเลือก นั่นคือ ส่วนของทีมงานนักวิจัยซึ่ง นักเรียนในฐานะบทบาทของ ดร. โรเบิร์ต จะต้องสืบเสาะ ค้นหาทีมงานที่มีความรู้ความสามารถที่สอดคล้องและเหมาะสมกับโครงการวิจัยนี้ และนอกจากนี้ที่สำคัญ จะต้องดำเนินการศึกษาสืบเสาะและระบุเครื่องมืออุปกรณ์ที่จะต้องใช้ในโครงการวิจัยนี้

นาโนเอ็กซ์โปรเจก ตอนที่หนึ่ง จะถูกใช้ในหน่วยการเรียนรู้ที่หนึ่ง ของหน่วยหลักสูตรนี้

2. Nano X Project episode II นาโนเอ็กซ์โปรเจก ตอนที่สอง จะเป็นตอนที่ดร. โรเบิร์ต จะต้อง ดำเนินการโครงการโดยเหตุการณ์หลักจะเป็นการสืบค้น วิเคราะห์ และตัดสินใจเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติ สอดคล้องเหมาะสมตามหัวข้อวิจัยย่อย โดยจะต้องประชุมศึกษาข้อมูลเบื้องต้น และเดินทางไปยังแลปวิจัย

และพัฒนาวัสดุอื่นๆ เพื่อศึกษาข้อมูลเชิงลึกของวัสดุนั้นก่อนที่จะนำข้อมูลมาวิเคราะห์ประเมิน เปรียบเทียบ และตัดสินใจเลือก และส่งข้อมูลผ่านไปยังทีมพัฒนาชุดต้นแบบ

เมื่อชุดต้นแบบพัฒนาเสร็จสิ้นแล้ว ดร. โรเบิร์ต จะต้องดำเนินการวิเคราะห์ตรวจสอบและทดสอบ ชุดต้นแบบของชุดทหารราบเพื่อเก็บข้อมูลคุณสมบัติ แล้วเขียนสรุปผลโครงการเพื่อส่งให้คณะกรรมการ ของศูนย์วิจัยทางการทหารพิจารณาคัดเลือกทีมวิจัยขั้นสุดท้าย

สื่อเกมคอมพิวเตอร์นาโนเอ็กซ์โปรเจก ตอนที่สองนี้จะถูกใช้ในหน่วยการเรียนรู้ที่สอง

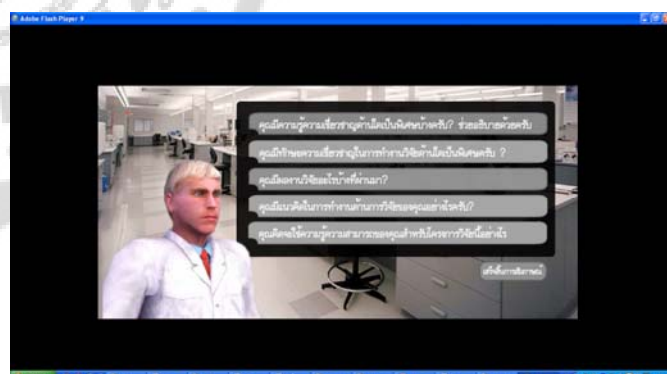
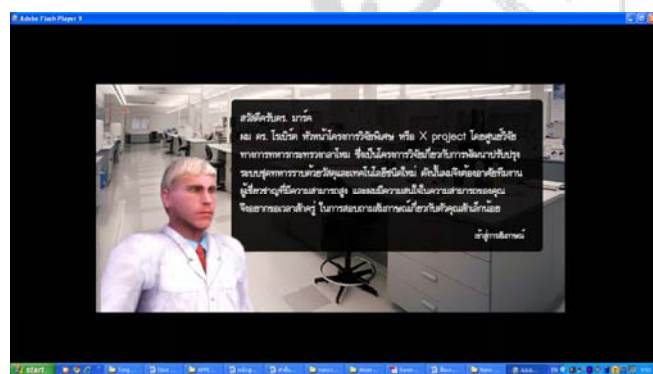
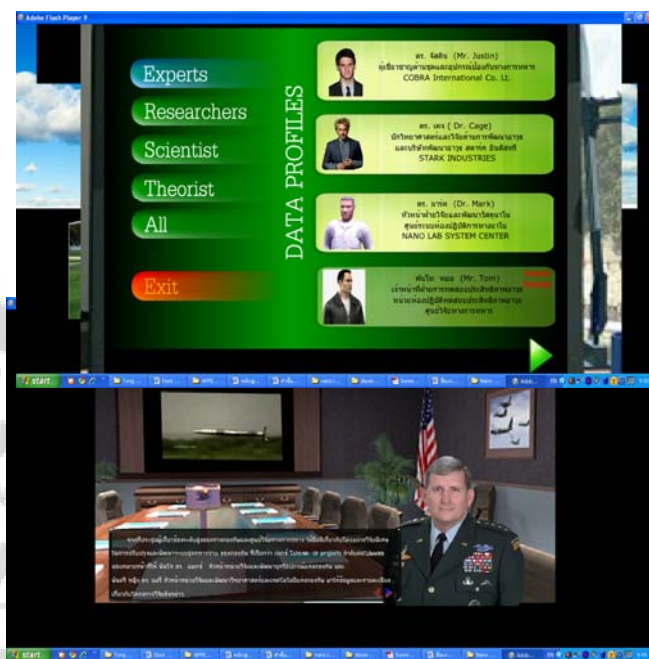
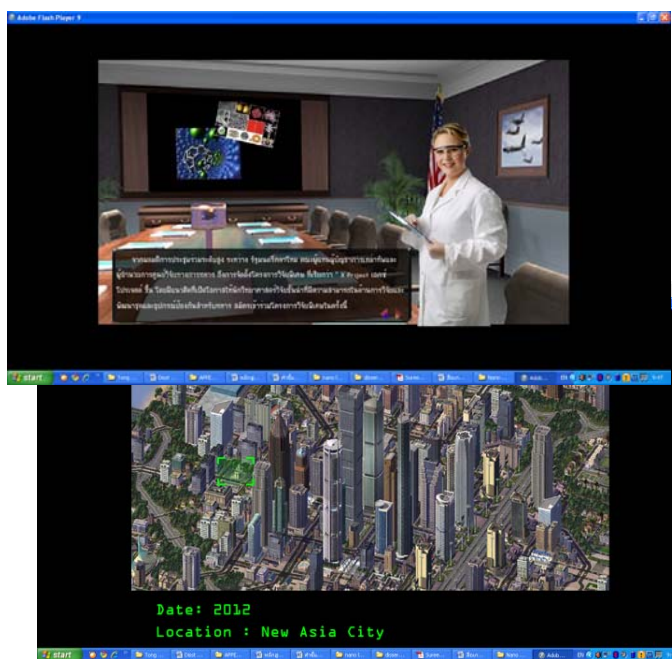
3. Nano X Project episode III นาโนเอ็กซ์โปรเจก ตอนที่สาม เป็นตอนที่โครงการวิจัยดำเนินการ ไปแล้ว และได้รับการตรวจสอบจากเจ้าหน้าที่รัฐด้านสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากนาโน เทคโนโลยีด้านวัสดุนาโน เป็นเรื่องที่ใหม่ ยังไม่มีการศึกษาผลกระทบด้านสุขภาพของผู้เกี่ยวข้องทั้งผู้ที่ ทำงานพัฒนาผลิตภัณฑ์และผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น ดร. โรเบิร์ตจะต้องศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลและจัดทำแผนการจัดการด้านความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยีด้าน วัสดุนาโนให้กับทางเจ้าหน้าที่ต่อไป

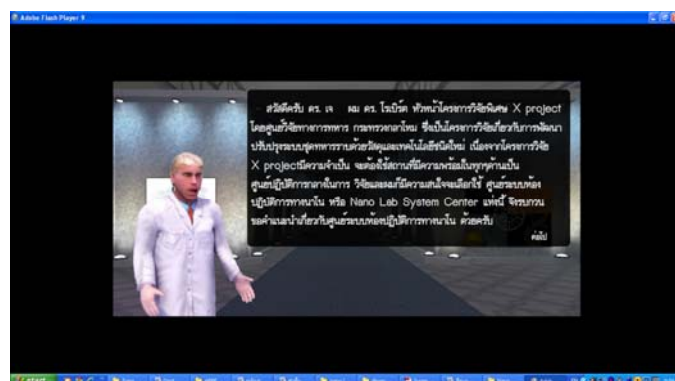
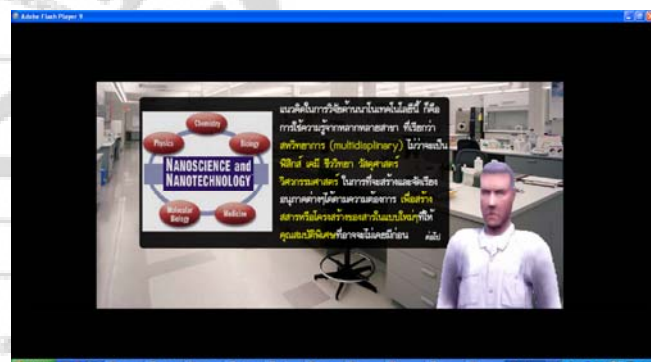
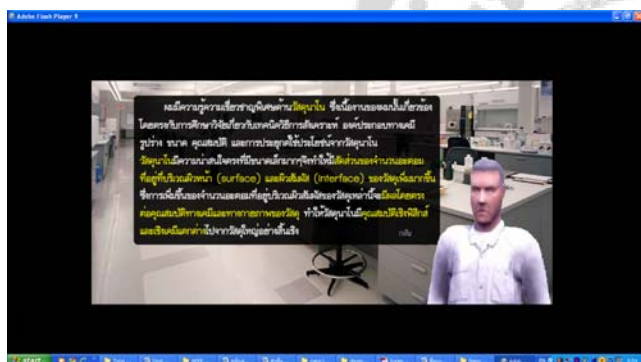
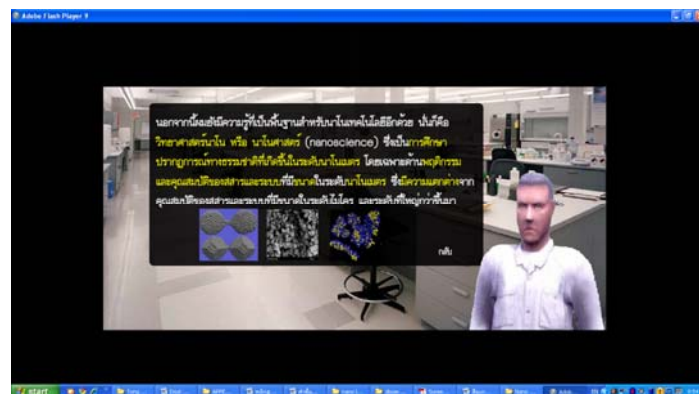
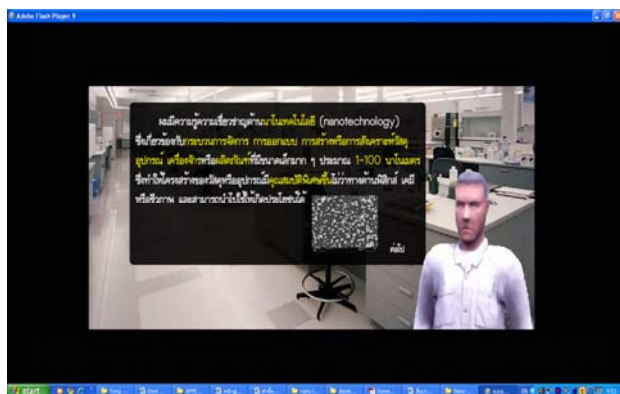
สื่อเกมคอมพิวเตอร์นาโนเอ็กซ์โปรเจก ตอนที่สามนี้จะถูกใช้ในหน่วยการเรียนรู้ที่สาม

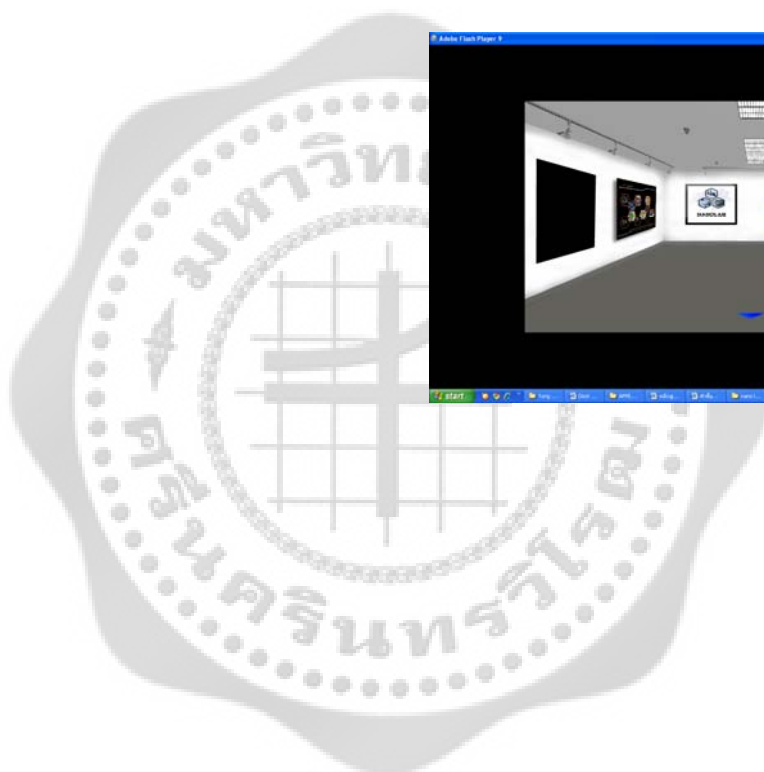
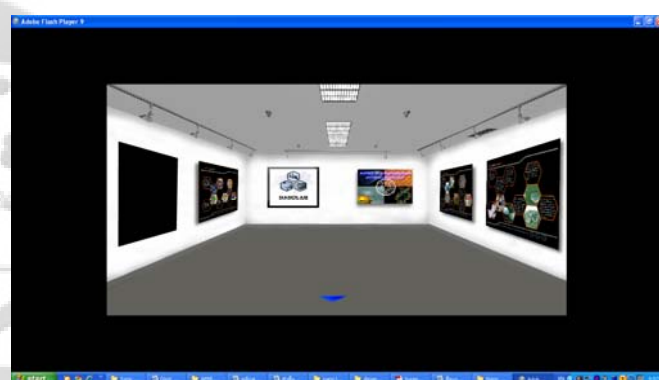
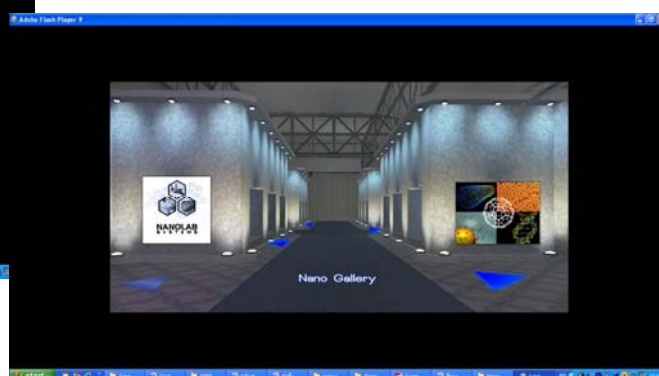
รูปแบบเกมคอมพิวเตอร์

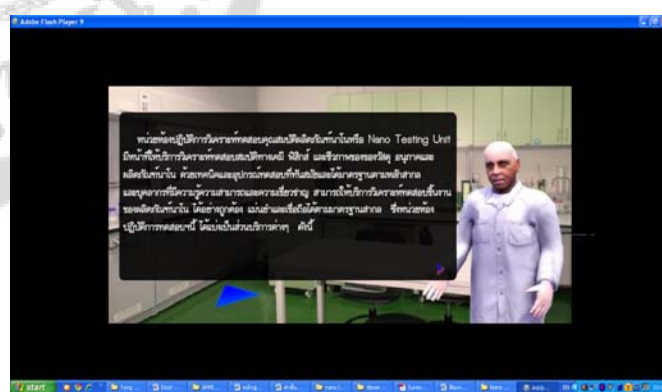
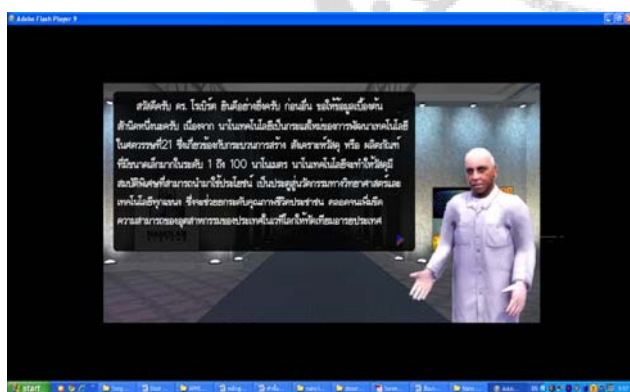
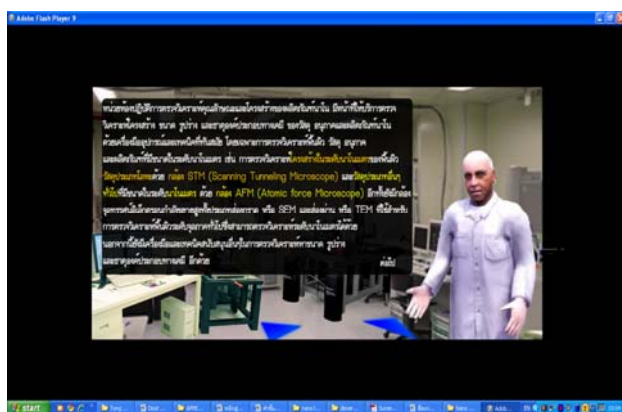
เกมคอมพิวเตอร์ Nano X Project นี้พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม Adobe Flash CS3 ซึ่งเน้นในรูปแบบ ของการดำเนินการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เล่นกับหน้าจอเป็นหลัก ที่มีระบบสื่อประสม (multimedia) ที่ หลากหลาย ไม่มีระบบเก็บคะแนนและระบบบันทึก แต่จะใช้งานด้านเอกสารระหว่างดำเนินการในเกม โดย เอกสารจะจัดทำโดยผู้เล่นหรือนักเรียนแล้วส่งผ่านระบบอีเมลที่ถูกกำหนดขึ้น และนักเรียนจะได้รับข้อมูล ป้อนกลับทั้งผ่านทางอีเมลและโดยตรงจากครูผู้สอน

ซึ่งกล่าวได้ว่า อาจเป็นรูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เสมือนเกม(Game like Science Learning) เพราะมีองค์ประกอบคล้ายเกมแต่ไม่ใช่เกมซะทีเดียว









**แผนการจัดการเรียนรู้หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี หน่วยหลักสูตรการเรียนรู้ เรื่อง วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโนเบื้องต้น
ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เวลา 4 ชั่วโมง**

1. เนื้อหาสาระ

ขนาดและสัดส่วน ความหมายของ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน ความเป็นมาของการศึกษาพัฒนาของนาโนเทคโนโลยี หลักการและทฤษฎีที่สำคัญของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน กระบวนการสังเคราะห์สร้างและเครื่องมือที่ใช้ศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน สถานภาพ แนวโน้มและทิศทางการพัฒนาของนาโนเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโนที่พบในธรรมชาติ

2. มาตรฐานการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้อง

ว 2.2-1, ว 3.1-1, ว 3.1-3, ว.3.2-1, ว.3.2-2, ว 4.1-2, ว 8.1-1, ว 8.1-2, ว 8.1-3, ว 8.1-4, ว 8.1-5, ว 8.1-6, ว 8.1-7, ว 8.1-8, ว 8.1-9, ว 8.1-10, ว 8.1-11, ว 8.1-12, และ ว 8.1-13

3. ความรู้พื้นฐานที่จำเป็นต่อการเรียนรู้

โครงสร้างอะตอม องค์ประกอบของอะตอม องค์ประกอบและรูปร่างที่มีผลต่อคุณสมบัติของสาร

4. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สามารถอธิบายความหมายของขนาดนาโน
2. สามารถอธิบายเปรียบเทียบขนาดระดับนาโนเมตรได้
3. สามารถยกตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบขนาดและสัดส่วนของระดับนาโนได้
4. สามารถอธิบายความหมายของวิทยาศาสตร์นาโน หรือ นาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีได้
5. สามารถอธิบายความหมายหลักการทางวิทยาศาสตร์พื้นฐานที่สำคัญต่อการทำความเข้าใจเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์นาโน
6. สามารถอธิบายส่วนประกอบและหลักการทำงานเครื่องมือที่สำคัญของวิทยาศาสตร์นาโน และนาโนเทคโนโลยี
7. สามารถยกตัวอย่างวิธีการสร้างสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ระดับนาโน

8. สามารถอธิบายหลักการที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีในธรรมชาติได้
9. สามารถวิเคราะห์และระบุประวัติความเป็นมาของการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี

5. รูปแบบการเรียนรู้ที่ใช้

รูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้ใช้ Learn to Play-Play to Learn (LPPL) learning Approach ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนด้านล่างนี้

1. ขั้นนำ
2. ขั้นดำเนินการกิจกรรมการเรียนรู้
3. ขั้นอภิปรายและสะท้อนความคิด
4. ขั้นสรุป
5. ขั้นวัดและประเมินผล

6. กิจกรรมการเรียนรู้

1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน
 - a. ครูแนะนำตัวทำความรู้จักกับนักเรียน แนะนำหลักสูตร แนวทางการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งหมด ที่ใช้รูปแบบเกมคอมพิวเตอร์เป็นฐาน
 - b. ครูแจ้ง เป้าหมายของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง และจุดประสงค์การเรียนรู้ทั้งหมด รูปแบบการเรียนรู้และขั้นตอนกิจกรรม สื่อเกมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ เครื่องมือและอุปกรณ์การเรียนรู้ วิธีการวัดและประเมินผล โครงสร้างเนื้อหาทั้งหมดของนาโนเทคโนโลยีและ เนื้อหาที่บูรณาการประกอบอื่นๆ กระบวนการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์
 - c. ครูถามคำถามเพื่ออภิปรายเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี และชุดเกราะทหาร
 - i. คำถามนำ 1 นาโนเทคโนโลยีคืออะไร สำคัญอย่างไร ชุดเกราะคืออะไร มีองค์ประกอบอะไรบ้าง และมีคุณสมบัติเด่นอะไรบ้าง นาโนเทคโนโลยีและเกี่ยวข้องกับชุดเกราะทหาร ครูรวบรวมคำอภิปรายและยังไม่เฉลย บอกนักเรียนให้ร่วมหาคำตอบในกิจกรรมการเรียนรู้ต่อไป โดยระหว่างนั้น ให้นักเรียนร่วมกันตั้งคำถามเพิ่มเติมที่อยากจะรู้เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีโดยบันทึกข้อคำถามลงไว้ในแบบบันทึกการเรียนรู้

2. ขั้นตอนการกิจกรรมการเรียนรู้

- a. ครูแบ่งกลุ่มผู้เรียน ออกเป็นกลุ่มละ 3 คน และมอบชุดเอกสารสำหรับเรียนรู้ตลอดการเรียนรู้ โดยนักเรียนต้องกำหนดชื่อทีมเพื่อใช้ในการเรียนรู้
- b. นักเรียนแต่ละกลุ่ม เข้าสู่โปรแกรมเกมคอมพิวเตอร์ เพื่อรับภารกิจและดำเนินการตามที่ได้รับมอบหมาย
 - i. ภารกิจในเกม ผู้เล่นรับฟัง ผลการประชุมของศูนย์วิจัยและพัฒนาทางการทหาร กระทรวงกลาโหม
 - ii. รับผิดชอบเชิญ เพื่อสมัครเข้าร่วมโครงการวิจัยพิเศษ (ณ ห้องทำงาน)
 - iii. ศึกษารูปแบบและสร้างแฟ้มข้อมูลประวัติ และแนวคิดสำหรับงานวิจัยพิเศษ
- c. นักเรียน สืบค้นข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต เกี่ยวกับแฟ้มประวัติข้อมูล อภิปรายรวม และรับตัวอย่างแฟ้มประวัติของนักวิจัยด้านวัสดุศาสตร์ที่น่าสนใจ จากครู ศึกษา และ สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากอินเทอร์เน็ต วิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับนักวิจัยวัสดุ และวัสดุศาสตร์ ครูและร่วมอภิปรายเกี่ยวกับวัสดุศาสตร์ ออกแบบและสร้างแฟ้มประวัติข้อมูลเพื่อส่ง ศูนย์วิจัย (ใช้ฟอร์มที่ให้มา ใช้โปรแกรมไมโครซอฟเวิร์ดในการสร้าง) ส่งข้อมูลเข้าเมลที่กำหนดไว้
 - i. นักเรียนรอฟังผล
 - คำถามช่วยสำหรับอภิปราย
 1. นักวัสดุศาสตร์คือใคร ทำอะไรบ้างในการวิจัยวัสดุศาสตร์ วัสดุศาสตร์คืออะไร เกี่ยวกับอะไร ต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานอะไรบ้างถึงจะเป็น นักวัสดุศาสตร์ได้ วัสดุที่สำคัญมีอะไรบ้าง ในแฟ้มข้อมูลประวัติควรมีอะไรบ้าง
- d. ครูและนักเรียน อภิปรายเกี่ยวกับวิธีการเรียนรู้ และความรู้ที่ได้จากกิจกรรมดังกล่าวที่ผ่านมา และร่วมกันสรุปเป็นข้อๆ และบันทึกลงในแบบบันทึกการเรียนรู้ของผู้เรียน
- e. เข้าสู่ภารกิจที่ 2 การเขียนข้อเสนอแผนการดำเนินการ ซึ่งเกี่ยวกับการวางแผนโครงการวิจัยและคัดเลือกสมาชิกทีมวิจัย
 - i. ถ้านักเรียนผ่านการคัดเลือกจะได้รับอีเมลตอบกลับ ว่าได้รับการคัดเลือกจากคณะกรรมการ โครงการก็สามารถดำเนินการขั้นตอนต่อไป ถ้าไม่ผ่านยังให้กลับไปตรวจสอบ และดำเนินการแก้ไข และส่งใหม่อีกครั้ง

- f. ถ้าผ่านแล้ว เข้าสู่ห้องทำงาน เข้าสู่ขั้นตอนการวางแผนโครงการวิจัย โดยใช้เอกสารข้อเสนอแผนการดำเนินการวิจัยโดยรับข้อมูลจากเกมเกี่ยวกับขั้นตอนโครงการ
- g. ครูและนักเรียนร่วมกันวิเคราะห์ ขั้นตอนและระบุขั้นตอนทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเพื่อคัดเลือกและพัฒนาวัสดุใหม่ที่ดีกว่า สำหรับใช้ในชุดเกราะให้นักเรียนศึกษาส่วนต่างๆของข้อเสนอแผนการดำเนินการโครงการ และดำเนินการต่อไปในการสืบเสาะค้นหาทีมงานวิจัย และสำรวจสถานที่ เครื่องมืออุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการดำเนินการวิจัยตามแบบฟอร์มข้อเสนอแผนการดำเนินการโครงการ
- i. เข้าสู่โปรแกรมเกม นักเรียนเข้าไปที่หน้าคอมพิวเตอร์ เพื่อสืบค้นนักวิจัยผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง โดยคำนึงถึงขั้นตอนโครงการวิจัย และเลือกให้สอดคล้องกับขั้นตอน โดยเลือกจากตัวเลือก สร้างลิสต์รายชื่อเพื่อไปสัมภาษณ์ ตามที่ทำงานของผู้เชี่ยวชาญ
1. นักวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี เชี่ยวชาญด้านวัสดุนาโน
 2. ผู้เชี่ยวชาญด้านชุดและอุปกรณ์ป้องกันทางการทหาร
 3. นักทดสอบวัสดุ
 4. ผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัย
- ii. บันทึกข้อมูล ขั้นตอนโครงการวิจัย และรายชื่อผู้เชี่ยวชาญด้านต่างๆ พร้อมระบุหน้าที่ พร้อมระบุเหตุผลประกอบ
- iii. ดำเนินการต่อไปในการสำรวจสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการวิจัย ณ ศูนย์ระบบห้องปฏิบัติการทางนาโน Nano Lab System Center
- iv. นำข้อมูลที่ได้นบันทึกลงให้ครบส่วนของข้อเสนอแผนการดำเนินการโครงการ แล้วส่งข้อมูลผ่านอีเมล
3. ขั้นตอนอภิปรายและสะท้อนแนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการเรียนรู้และสิ่งที่ได้รับ
- a. ครูและผู้เรียนร่วมกันอภิปราย และสะท้อนแนวคิดกับสิ่งที่ได้เรียนรู้มา รวมทั้งกระบวนการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นที่ผ่านมา หากยังไม่เข้าใจดีก็ใช้กิจกรรมเสริม
 - b. กิจกรรมเสริมความรู้ ใช้ simulation lab ที่หาได้ ภาพถ่าย วัสดุนาโน ต่างๆ มีการอธิบายเพิ่มเติมจากครู และครูแจกใบสรุปเนื้อหาความรู้ นาโน (เพิ่มเติม) สำหรับการอภิปรายเพิ่มเติม

- c. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปราย และสรุป กระบวนการเรียนรู้ ความรู้ความเข้าใจ เนื้อหา และการพัฒนากระบวนการคิด(การแก้ปัญหา) โดยบันทึกลงแบบบันทึกการเรียนรู้ส่วนบุคคล โดยกลับไปตอบคำถามที่บันทึกไว้ตั้งแต่ต้นแรก

4. ขั้นสรุปการเรียนรู้

- a. นักเรียนและครู ร่วมกันอภิปราย และสรุปความรู้ทั้งหมดที่ได้เรียนมา ว่าได้เรียนรู้อะไรเพิ่มเติมขึ้นมามีเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี และอื่นๆ และบันทึกเพิ่มเติมพิเศษ ลงในแบบบันทึกการเรียนรู้ส่วนบุคคล และวาดเป็น แผนผังโน้ตส์ และบันทึกย่อตามที่เข้าใจ (ในแบบบันทึกจะเป็นคำถาม เพื่อให้ตอบ)

5. ขั้นวัดและประเมินผล

ให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดประจำหน่วยการเรียนรู้ 10 ข้อ

7. สื่อและวัสดุการเรียนรู้ที่ใช้

1. สื่อเกมคอมพิวเตอร์ Nano X Project Episode I
+ แบบบันทึกโครงการวิจัย 1 (ฟอร์มสมัครเข้าร่วมโครงการวิจัย) ส่งแนบพร้อมกับ cv ประวัติผลงานของนักวิทยาศาสตร์ ของผู้เล่น แนวคิดการทำงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ ผลงานที่ควรมี
+ แบบบันทึกโครงการวิจัย 2 (แบบข้อเสนอแผนการดำเนินการโครงการวิจัย ที่ระบุขั้นตอนต่างๆของโครงการ และรายชื่อทีมงานวิจัยทั้งหมด ที่ต้องระบุรายละเอียดของผู้เชี่ยวชาญ ความสามารถผู้เชี่ยวชาญ ผลงานที่โดดเด่น รวมทั้งสถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือที่สำคัญที่ใช้ในโครงการวิจัย)
2. แบบบันทึกการเรียนรู้ + ใบความรู้เนื้อหาเพิ่มเติมสะท้อนกระบวนการเรียนรู้ กระบวนการคิดแก้ปัญหา เนื้อหาความรู้ความเข้าใจที่ได้อภิปรายความรู้ความเข้าใจที่ได้จากการเรียนเนื้อหาดังกล่าว เขียนผังเนื้อหาที่ได้เรียนรู้ทั้งหมด
3. เว็บไซต์ ทางอินเทอร์เน็ตที่ผู้เรียนสามารถสืบค้นและตรวจสอบความถูกต้องน่าเชื่อถือ โดยครูผู้สอน

8. การวัดและประเมินผล

ตรวจแบบฝึกหัดแบบเขียนตอบ จำนวน 10 ข้อ

ตรวจเอกสารที่นักเรียนสร้างขึ้นขณะดำเนินกิจกรรมกับสื่อเกมคอมพิวเตอร์

คำชี้แจง

ประกอบการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้หน่วยหลักสูตร

เรื่องวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีเบื้องต้นสำหรับผู้เรียน

บทนำ

ความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้ช่วยให้มนุษย์รู้จักและค้นพบสิ่งใหม่ๆอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่สิ่งที่มีขนาดใหญ่มากไปจนถึงสิ่งที่เล็กที่สุด และเมื่อไม่นานมานี้ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ก้าวหน้าไปอีกขั้น ขึ้นที่ช่วยให้มนุษย์สามารถมองเห็นและเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งที่มีขนาดในระดับที่เล็กมากๆ รวมทั้งสามารถออกแบบและสร้างวัสดุและเครื่องมือที่มีขนาดจุลทรรศน์ได้ ขนาดที่วันนี้ไม่ได้แค่ระดับมิลลิเมตรหรือแม้กระทั่งไมโครเมตร แต่เล็กถึงในระดับนาโนเมตร ซึ่งหมายถึงขนาดที่เล็กถึงหนึ่งในพันล้านส่วนของเมตร สิ่งที่กำลังกล่าวถึงนี้ ก็คือ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระดับนาโน ซึ่งโดยความเข้าใจของคนทั่วไปจะหมายถึง นาโนเทคโนโลยี ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ สู่ชีวิตประจำวันที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วต่อการดำรงชีวิตของทุกคนในเกือบทุกด้าน ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการด้านการให้การศึกษาหรือการจัดเรียนรู้เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี แก่คนในชาติโดยเฉพาะเยาวชนซึ่งจะต้องเป็นผู้ดำรงชีวิตที่แวดล้อมไปด้วยผลผลิตจากนาโนเทคโนโลยี เพื่อให้ทุกคนมีความรู้ที่เพียงพอที่จะช่วยในการปรับตัวและดำรงชีวิตอย่างมีความสุขในโลกแห่งความก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโนเบื้องต้น นี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้รูปแบบการเรียนรู้ตามแบบแผนของเกมคอมพิวเตอร์ที่หลากหลาย (Game-Based Learning) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปแบบของการเรียนรู้ที่ใช้ปัญหาเป็นพื้นฐาน (Problem-based learning) ผสานกับการใช้เทคโนโลยีของเกมคอมพิวเตอร์ในการสร้างรูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แนวใหม่ ที่ชื่อว่า รูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เสมือนเกม (Game-like Science Learning) เพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ในสถานการณ์ที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด เพื่อให้ผู้เรียนได้ กระบวนการสังเกต การสำรวจตรวจสอบ การทดลอง เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิด ทฤษฎี ที่เป็นพื้นฐานสำคัญวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีระดับนาโน

โดยรูปแบบการเรียนรู้ของหลักสูตรนี้ กิจกรรมการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย พัฒนาทักษะและกระบวนการคิดและแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ของหน่วยหลักสูตรวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีเบื้องต้น

การเรียนรู้ของหลักสูตรวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีเบื้องต้น มีเป้าหมายสำคัญ ดังนี้ เพื่อให้ผู้เรียน

1. มีความรู้ความเข้าใจหลักการและทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี
2. มีทักษะที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี
3. พัฒนากระบวนการคิดและจินตนาการ ความสามารถในการแก้ปัญหาและการจัดการ ทักษะในการสื่อสารและความสามารถในการตัดสินใจ
4. เข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญและข้อจำกัดวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีที่มีผลต่อมนุษย์สังคมและสิ่งแวดล้อม
5. มีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรม จริยธรรม และค่านิยมในการใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์

คำอธิบายหน่วยหลักสูตร

ศึกษาวิเคราะห์ ขนาดและสัดส่วน ความหมายของ วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี ความเป็นมาของการศึกษาพัฒนาของนาโนเทคโนโลยี หลักการและทฤษฎีที่สำคัญของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน กระบวนการสังเคราะห์สร้างและเครื่องมือที่ใช้ศึกษาด้านวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี สถานภาพ แนวโน้มและทิศทางการพัฒนาของนาโนเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีที่พบในธรรมชาติ

รูปแบบการจัดการเรียนรู้

รูปแบบการจัดการเรียนรู้สำหรับการเรียนรู้นี้ใช้รูปแบบของ การใช้เกมคอมพิวเตอร์เป็นฐาน (Game Based Learning) ที่มีลักษณะที่เรียกว่า รูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เสมือนเกม ร่วมกับกิจกรรมสืบเสาะ กลุ่มย่อย

โปรแกรมเกมคอมพิวเตอร์จะพัฒนาขึ้นและใช้เป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมการเรียนรู้ โดยที่มีรูปแบบการใช้ดังนี้

1. ใช้เป็นตัวสร้างบริบท สถานการณ์ที่เป็นปัญหาหรือกำหนดเป้าหมาย รวมทั้งการกำหนดบทบาทหน้าที่ของผู้เรียน ที่นำไปสู่การเรียนรู้ ที่ใช้สถานการณ์จริง
2. ใช้เป็นแหล่งสืบค้นข้อมูล แบบปฏิสัมพันธ์จากการใช้สถานการณ์จริง
3. ใช้เป็นแหล่ง ทดสอบความคิดและสมมติฐานรวมทั้งเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์แก้ปัญหา

ขั้นตอนการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ในเกม Nano X Project episode I นาโนเอกซ์โปรเจกต์ episode 1

1. ให้นักเรียนหรือผู้เล่นแบ่งเป็นทีมๆละ 3 คน และให้ทั้ง 3 คน ทำงานร่วมกันในการสวมบทบาทเป็น ดร. โรเบิร์ต ตัวละครเดินเรื่องในเกม Nano X Project ซึ่ง ดร. โรเบิร์ตได้รับการคัดเลือกให้เป็นหนึ่งในนักวิจัยที่ได้รับเข้าร่วมให้เสนอแนวคิดในรูปแบบของข้อเสนอโครงการวิจัย ซึ่งรายละเอียดจะอยู่ใน ตัวเกมคอมพิวเตอร์ และเอกสารประกอบการเล่น ที่มีชื่อเรียกว่าแบบเสนอแผนการดำเนินการวิจัย (Research Project Proposal) โครงการวิจัยพิเศษ The X Project ซึ่งเป็นโครงการวิจัยพิเศษของศูนย์วิจัยทางการแพทย์ กระทรวงกลาโหม ที่ต้องการพลังแห่งความคิดใหม่ๆ กับเทคโนโลยีใหม่ๆที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนมาพัฒนาให้ระบบชุดทหารราบมีคุณสมบัติที่ดีกว่าและเหนือกว่าวัสดุแบบเก่าๆ
2. ให้ผู้เรียน ทำการศึกษาเอกสาร แบบเสนอแผนการดำเนินการวิจัย (Research Project Proposal) โครงการวิจัยพิเศษ The X Project โดยทำการศึกษาองค์ประกอบทั้งหมดของแบบเสนอแผนการ

ดำเนินการ โดยจะมีช่องว่างในส่วนข้อ 7 ซึ่งเป็นส่วนของ สมาชิกทีมงานวิจัยที่นักเรียนหรือผู้
 เล่นจะต้องทำการสืบเสาะหา ทั้งจาก ฐานข้อมูลและการออกไปสัมภาษณ์เก็บข้อมูลเพื่อนำมา
 วิเคราะห์และตัดสินใจเลือก โดยพิจารณาข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากข้อมูลในเอกสารที่ให้มาในแต่ละข้อ
 ตั้งแต่หัวข้อ ชื่อโครงการวิจัย ที่มาและความสำคัญ วัตถุประสงค์ ขั้นตอนดำเนินการ นักเรียนต้อง
 วิเคราะห์และพิจารณาคุณสมบัติ ความรู้ความสามารถ ประสบการณ์ ให้มีความสอดคล้องกับ
 โครงการวิจัย และข้อ 8 ซึ่งเป็นส่วนของสถานที่ เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในโครงการ
 โดยนักเรียน ทำการเข้าไปสำรวจ ศูนย์ระบบห้องปฏิบัติการทางนาโน Nano Lab System Center ซึ่ง
 เป็นสถานที่ที่จะใช้เป็นศูนย์กลางการทำงานวิจัยในโครงการพิเศษนี้ โดยนักเรียนจะต้องสำรวจ
 สถานที่ไปพร้อมๆกับการเรียนรู้เนื้อหาเทคโนโลยีจากส่วนต่างๆ ภายในศูนย์แห่งนี้ และ
 นักเรียนก็จะต้องระบุบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับ สถานที่ อุปกรณ์เครื่องมือ ที่จะใช้ในโครงการวิจัยครั้งนี้

3. เมื่อเสร็จสิ้น แล้วให้ส่งข้อมูลให้คณะกรรมการ ตรวจสอบความถูกต้อง พร้อมทั้งทำแบบทดสอบ
 ความรู้ความเข้าใจ



แบบเสนอแผนการดำเนินการวิจัย (Research Project Proposal)

โครงการวิจัยพิเศษ The X Project

1. ชื่อโครงการวิจัยการวิจัยและพัฒนาระบบชุดทหารราบด้วยนาโนเทคโนโลยีด้านวัสดุนาโน
2. ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย
 1. ชื่อ – นามสกุล ดร. โรเบิร์ต xxxx
(ระบุชื่อ นาม- สกุล และชื่อทีมงาน)
 2. ตำแหน่งปัจจุบัน หัวหน้าหน่วยวิจัยและพัฒนาวัสดุ
 3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์
ห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาวัสดุ บริษัท สมาร์ทแมตเตอร์ SM SMART MATTER
 4. ประวัติการศึกษา
B. Sc. Material Science
M. Sc. Material Science and Engineering
Ph.D. Nanoscience and Nanotechnology
 5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
 - การออกแบบและพัฒนาวัสดุสมัยใหม่
 - การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทดสอบคุณสมบัติวัสดุด้วยวิธีการเฉพาะ
 - การออกแบบและพัฒนาวัสดุนาโนคุณสมบัติพิเศษ
 6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ
 - หัวหน้าโครงการวิจัยและพัฒนาวัสดุเส้นใยสำหรับชุดกีฬา และผลิตภัณฑ์กลางแจ้ง ด้วยวัสดุนาโน

3. ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย

ระบบชุดทหารราบ หรือ Battlesuit System เป็นหนึ่งในยุทธโทปกรณ์ของกองทัพที่มีความสำคัญเป็นอันดับต้นๆเนื่องจากเป็นเครื่องมือสำคัญในการปกป้องและป้องกันชีวิตของเหล่าบรรดาทหารในสมรภูมิรบ อย่างไรก็ตามระบบชุดทหารราบในปัจจุบันยังมีข้อบกพร่องที่ต้องได้รับการพัฒนาปรับปรุงให้ดีขึ้น จากสภาพปัญหาของระบบชุดทหารราบที่มีระบบเกราะป้องกันที่มี

น้ำหนักมาก มีขนาดใหญ่ทะเอะทะ และไม่สามารถป้องกันอันตรายและความรุนแรงจากอาวุธได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ส่งผลให้ทหารผู้สวมใส่เคลื่อนตัวได้ลำบาก และตกอยู่ในอันตรายได้ง่าย อีกทั้งระบบชุดทหารราบในปัจจุบันยังไม่มีคุณสมบัติป้องกันอันตรายจากอาวุธเคมีและชีวภาพ รวมทั้งเชื้อจุลชีพ และแบคทีเรียต่างๆ อันเนื่องมาจากขาดการซักล้างทำความสะอาด ซึ่งอาจส่งผลต่อสุขภาพของทหารผู้สวมใส่

จากสภาพปัญหาดังกล่าว และความก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ทำให้เราสามารถตอบสนองต่อปัญหาและใช้เทคโนโลยีในการแก้ไขปัญหาได้ นาโนเทคโนโลยี ด้านวัสดุนาโนก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่สำคัญ ซึ่งวัสดุนาโนนั้นมีคุณสมบัติที่โดดเด่นเหนือกว่าวัสดุดั้งเดิมทั่วไป ทางทีมวิจัยจึงใช้เป็นแนวทางที่สำคัญที่โครงการวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาวิจัย เพื่อใช้นาโนเทคโนโลยีด้านวัสดุนาโน ในการปรับปรุงคุณสมบัติที่สำคัญของระบบชุดทหารราบให้มีคุณสมบัติพิเศษที่เหนือกว่าระบบชุดทหารราบแบบเก่าดั้งเดิม

จากสภาพปัญหาและแนวคิดในการแก้ไขปัญหาที่ได้กล่าวไปข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการวิจัยและพัฒนา ระบบชุดทหารราบตามหัวข้อวิจัยย่อยดังนี้

หัวข้อวิจัย ที่ ๑ การวิจัยและพัฒนา ระบบเกราะป้องกันของระบบชุดทหารราบด้วยนาโนเทคโนโลยี (ท่อนาโนคาร์บอน)

หัวข้อวิจัย ที่ ๒ การวิจัยและพัฒนา ระบบต่อต้านเชื้อจุลชีพของระบบชุดทหารราบด้วยนาโนเทคโนโลยี (อนุภาคนาโน)

4. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบเกราะป้องกันของระบบชุดทหารราบด้วยวัสดุนาโน
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบเกราะป้องกันที่ใช้วัสดุนาโน
3. เพื่อพัฒนาคุณสมบัติการต่อต้านเชื้อจุลชีพของระบบชุดทหารราบด้วยอนุภาคนาโน
4. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติการต่อต้านเชื้อจุลชีพของระบบชุดทหารราบที่ใช้อนุภาคนาโน

5. กรอบแนวคิดและขอบเขตการวิจัย

การดำเนินการ โครงการวิจัย ครั้งนี้ ใช้แนวคิดและรูปแบบของการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์ ในการดำเนินการเพื่อให้เกิดผลงานวิจัยที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด

การแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์ (Strategic Problem Solving) เป็นวิธีการแก้ปัญหาหรือหาคำตอบด้วยการเลือกวิธีการที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นกระบวนการคิดที่มีลักษณะเป็นขั้นเป็นตอน

ผ่านรูปแบบของการคิดวิเคราะห์ ประเมิน เปรียบเทียบ และนำไปสู่การตัดสินใจเลือก
วิธีการหรือแนวทางที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาหรือเป้าหมายนั้นๆ

ขั้นตอนของการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์ มีดังนี้

ขั้นที่ 1 ศึกษาสภาพปัญหาและวิเคราะห์เพื่อระบุ ปัญหาที่แท้จริง

ขั้นที่ 2 สร้างวิธีการหรือทางเลือกในการแก้ปัญหา อย่างน้อย 2 วิธี

ขั้นที่ 3 วิเคราะห์ ประเมิน เปรียบเทียบและระบุเลือกวิธีการที่ดีที่สุด และ

ดำเนินการ

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบวิธีการที่ระบุเลือก

จาก รูปแบบแนวคิดและ ขั้นตอนกระบวนการของการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์ ดังกล่าว
สามารถนำไปปรับใช้ในโครงการวิจัยครั้งนี้ ได้ ดังนี้

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติที่สำคัญของระบบชุด
ทหารราบด้วยนาโนเทคโนโลยี ด้านวัสดุนาโน ให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น และเหนือกว่าคุณสมบัติของ
ระบบชุดทหารราบจากทีมวิจัยคู่แข่ง การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งแสวงหาวัสดุที่ดีที่สุด เพื่อนำมาพัฒนาสร้าง
ชุดต้นแบบ ดังนั้นขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย จึงมีดังนี้

1. ศึกษา วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับระบบชุดทหารราบ เพื่อระบุสภาพปัญหาของ
ระบบชุดทหารราบ
2. สร้างวิธีการ ทางเลือก อย่างน้อย 2 วิธี ในการแก้ไขปรับปรุง กล่าวคือ เลือกวัสดุมา
อย่างน้อย 2 ชนิด
3. ศึกษา วิเคราะห์ ประเมิน เปรียบเทียบ และตัดสินใจระบุเลือก วัสดุที่ดีที่สุด นำไปสร้าง
เป็นอุปกรณ์ของชุดต้นแบบ
4. ตรวจสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ ด้วยวิธีการมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์ เพื่อเป็นการ
ตรวจสอบวิธีการที่เราเลือก

6. วิธีการดำเนินการวิจัย

จากแนวคิดกรอบวิจัยดังกล่าว สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ของโครงการวิจัย ทั้ง 2 หัวข้อวิจัยย่อยดังนี้

รูปแบบของการแก้ปัญหาเชิงกลยุทธ์	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
1.วิเคราะห์สภาพปัญหาและระบุปัญหา หรือ เป้าหมาย	1. ศึกษา วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับระบบชุดทหารราบ เพื่อระบุสภาพปัญหาของระบบชุดทหารราบ
2.วิธีการหรือทางเลือกในการแก้ปัญหา อย่างน้อย 2 วิธี	2. สร้างวิธีการ ทางเลือก อย่างน้อย 2 วิธี ในการแก้ไขปรับปรุง กล่าวคือ เลือกวัสดุมา อย่างน้อย 2 ชนิด
3. วิเคราะห์ ประเมินเปรียบเทียบ และตัดสินใจเลือก วิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด	3. ศึกษา วิเคราะห์ ประเมิน เปรียบเทียบ และตัดสินใจระบุเลือก วัสดุที่ดีที่สุด นำไปสร้างเป็นอุปกรณ์ของชุดต้นแบบ
4. ตรวจสอบวิธีการที่เลือก	4.ตรวจสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ ด้วยวิธีการมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์ เพื่อเป็นการตรวจสอบวิธีการที่เราเลือก

ขั้นตอนการดำเนินการหัวข้อวิจัยที่ 1 การวิจัยและพัฒนาระบบเกราะป้องกันของระบบชุดทหารราบด้วยนาโนเทคโนโลยี (ท่อนาโนคาร์บอน)

1. ศึกษา วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับระบบเกราะป้องกันของระบบชุดทหารราบ เพื่อระบุสภาพปัญหาของระบบชุดทหารราบ
2. สร้างวิธีการแก้ไขปัญหาโดยการคัดเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมและสอดคล้อง โดยการศึกษา สํารวจ วัสดุนาโน และวัสดุดั้งเดิมที่ใช้ เช่น เกลฟลาร์ เพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ
3. ศึกษา วิเคราะห์ ประเมิน เปรียบเทียบ และตัดสินใจระบุเลือก วัสดุที่ดีที่สุด นำไปสร้างเป็นระบบเกราะป้องกันของชุดต้นแบบ

4. ตรวจสอบคุณสมบัติของระบบเกราะป้องกัน ด้วยวิธีการมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์ โดยส่งยังทดสอบ ณ ศูนย์ทดสอบมาตรฐานการยิงทดสอบ
5. วิเคราะห์ผล และเขียนรายงานสรุป

ขั้นตอนการดำเนินการหัวข้อวิจัยที่ 2 การวิจัยและพัฒนาระบบต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ของระบบชุดทหารราบด้วยนาโนเทคโนโลยี (อนุภาคนาโน)

1. ศึกษา วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับระบบเกราะป้องกันของระบบชุดทหารราบ เพื่อระบุสภาพปัญหาของระบบชุดทหารราบ
2. สร้างวิธีการแก้ไขปัญหาโดยการคัดเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมและสอดคล้อง โดยการศึกษา สืบค้น วัสดุนาโน และวัสดุดั้งเดิมที่ใช้ เช่น เกล็ดแร่ เพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ
3. ศึกษา วิเคราะห์ ประเมิน เปรียบเทียบ และตัดสินใจระบุเลือก วัสดุที่ดีที่สุด นำไปสร้างเป็นระบบเกราะป้องกันของชุดต้นแบบ
4. ตรวจสอบคุณสมบัติของระบบเกราะป้องกัน ด้วยวิธีการมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์ โดยส่งยังทดสอบ ณ ศูนย์ทดสอบมาตรฐานการยิงทดสอบ
5. วิเคราะห์ผล และเขียนรายงานสรุป



7. ทีมงานวิจัย (ระบุ รายละเอียดข้อมูลของแต่ละคน)

ชื่อ และสังกัด	ทักษะ ความรู้ความสามารถ ประสบการณ์	เหตุผลที่เลือก

8. สถานที่ดำเนินการ/เก็บข้อมูล อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้

สถานที่ดำเนินการวิจัย

ศูนย์ระบบห้องปฏิบัติการทางนาโน NANO LAB SYSTEM CENTER

เป็นศูนย์ที่มีความพร้อมทั้งทางด้านบุคลากรที่มีประสบการณ์และความสามารถ องค์ความรู้หลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่สำคัญของวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีที่จะทำให้เรามีความเข้าใจอย่างถ่องแท้เกี่ยวกับการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้สำหรับโครงการวิจัยครั้งนี้ รวมทั้ง เครื่องมือและอุปกรณ์สมรรถนะสูงสำหรับการวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี ในการวิจัย ในการวิจัยครั้งนี้ ทีมวิจัยโครงการเลือกใช้ห้องปฏิบัติการ และอุปกรณ์เครื่องมือดังต่อไปนี้

1. ห้องประชุมกลาง เป็นห้องประชุมที่มีเทคโนโลยีสื่อสารและแสดงผลที่ทันสมัย สามารถเชื่อมโยงและถ่ายทอดแสดงผลข้อมูลทันทีแบบ real time จากห้องปฏิบัติการต่างๆ รวมทั้ง สามารถประมวลผลข้อมูล และตัดสินใจในการดำเนินการต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ
2. ห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางนาโน เป็นห้องที่มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่สำคัญ

ชื่ออุปกรณ์หรือเครื่องมือ	หลักการงานและการประยุกต์ใช้	การนำไปใช้ในโครงการวิจัยครั้งนี้

3. ห้องปฏิบัติการทดสอบคุณสมบัติทางนาโน เป็นหน่วยห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติด้านต่างๆ ของวัสดุ อนุภาคนาโนไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ อันได้แก่ คุณสมบัติเชิงแสง คุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติ ฯลฯ คุณสมบัติเชิงเคมี เช่น คุณสมบัติการเป็นตัวเร่ง เป็นต้น และคุณสมบัติเชิงชีววิทยา เช่น คุณสมบัติการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งโครงการวิจัยพิเศษนี้ จะเลือกใช้การทดสอบคุณสมบัติการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ของอนุภาคนาโน โดยเลือกใช้วิธีมาตรฐานสากลที่เป็นที่ยอมรับ ที่นำมาใช้ในโครงการวิจัยครั้งนี้

9. ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

การดำเนินการ	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
ขั้นที่ 1 ประชุมวางแผน	X			
ขั้นที่ 2 คัดเลือกวัสดุและออกแบบ	X	X		
ขั้นที่ 3 พัฒนาชุดต้นแบบ		X	X	
ขั้นที่ 4 ทดสอบคุณสมบัติของระบบชุดทหารราบ			X	
ขั้นที่ 5 สรุปเสนอรายงานผลโครงการวิจัย				X

10. งบประมาณของโครงการวิจัย

- ได้รับการสนับสนุนจากโครงการวิจัยพิเศษ ศูนย์วิจัยแห่งกองทัพ กระทรวงกลาโหม

แบบฝึกหัดประจำหน่วยการเรียนรู้ที่ 1
หน่วยการเรียนรู้ เรื่องวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีเบื้องต้น

จงตอบคำถามดังต่อไปนี้โดยเขียนอธิบายตามความเข้าใจ

1. จงอธิบายความหมายของ”นาโน”?
2. จงยกตัวอย่างวัตถุ หรือสิ่งของ ที่มีขนาดในระดับนาโนเมตร มา 5 ชนิด
3. ขนาดนาโนเมตรมีความสำคัญอย่างไรต่อวัสดุที่มีขนาดดังกล่าว?
4. จงบอกความหมายของ วิทยาศาสตร์นาโน และนาโนเทคโนโลยี และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคำทั้งสอง?
5. คุณลักษณะที่สำคัญของการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี ได้แก่อะไรบ้าง
จงอธิบาย
6. ทฤษฎีหรือหลักการทางวิทยาศาสตร์ใดที่มีความสำคัญต่อการทำความเข้าใจเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์นาโนมากที่สุด จงอธิบาย
7. เหตุการณ์ใดที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ในการศึกษาด้านนาโนเทคโนโลยีมากที่สุด
 - a. การประดิษฐ์กล้อง STM
 - b. การสังเคราะห์ bucky ball ได้ครั้งแรก
8. จงอธิบายคุณสมบัติ lotus effect ของใบบัวมาพอเข้าใจ
9. การสังเคราะห์โครงสร้างระดับนาโนมีวิธีการสังเคราะห์กี่แบบ อะไรบ้าง
10. กล้อง STM และ AMF มีหลักการทำงานที่แตกต่างกันอย่างไร









VITAE

Name: Mr. Skonchai Chanunan

Date of Birth: January 19th, 1980

Place of Birth: Yasothon

Home Address: 47 M9 Fayad, Mahachanachai, Yasothon Province 35130

Office Address: 99 M9 Faculty of Education, Naresuan University,
Nakhonsawan-Phisanulok Road, Mueng, Phitsanulok Province,
65000

Educational Background:

1998	Mahachanachai School (High School)
2001	B.Sc. (Chemistry), Mahasarakham University
2002	Graduate Diploma (Teaching), Mahasarakham University
2011	Ed.D. (Science Education), Srinakharinwirot University