THE KASETSART JOURNAL
Social Sciences
Volume 25, Number 2, 2004

ISSN 0125-8370

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารวิทยาสารเกษตรศาสตร์
Factor Related to Research Publishing on Kasetsart Journal
..... อรวรรณ วงษ์วานิช 226
ความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงเกษตรเลียบคลองมหาสวัสดิ์ อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
Tourists' Satisfaction on Agrotourism along Mahasawad Canal, Phutthamonthon District, Nakhon Pathom Province
..... ยศวีร์ ยุกตะนันท์ สมศรี ภัทรธรรม กาญจนเศ อรรถวิภาคไพศาลย์ และ ไพโรจน์ สังข์เดช 239
Consumption Behavior of Overnutritional Pupils at Upper Level of Primary School in Kamphaeng Phet Province
..... Lalida Jamjumras and Wiyada Tanvatanagul 248
Factors Affecting High School Students' Emotional Quotient in Chiang Mai Province
..... Marayat Yotongyos and Wiyada Tanvatanagul 254

The Official Journal of Kasetsart University
Published by the Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

วิทยาสารเกษตรศาสตร์

สาขาสังคมศาสตร์

ปีที่ ๒๕ ฉบับที่ ๒
กรกฎาคม – ธันวาคม ๒๕๔๗
ISSN 0125 - 8370

THE KASETSART JOURNAL

Social Sciences

http://www.rdi.ku.ac.th
July – December 2004
Volume 25 Number 2

การเลือกใช้สีกับบุคลิกภาพ และความเครียดของนิสิต นักศึกษา มหาวิทยาลัยของรัฐ ในกรุงเทพมหานคร
Color Preference, Personality, and Stress of Public University Students in Bangkok Metropolis
..... ศาลินา วงษ์ไทย และ สุภาพ ฉัตราภรณ์ 129
การศึกษาแนวคิดเรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนช่วงชั้นที่ 4
A Study of Level 4 Students' Photosynthesis Conceptions
..... สิรินภา กิจเกื้อกูล และ นฤมล ยุตาคม 139
การสำรวจแนวคิดเกี่ยวกับฟิสิกส์ของนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู
Exploring Preservice Physics Teachers' Content Knowledge
..... ขจรศักดิ์ บัวระพันธ์ เพ็ญจันทร์ ชิงห์ และ วรรณทิพา รอดแรงค้า 150
ความคิดเห็นของครูและนักเรียนเกี่ยวกับสภาพการเรียนการสอนวิวัฒนาการ
Opinions of Teachers and Students on the Current Practice of Teaching and Learning of Evolution Concepts
..... พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ และ วรรณทิพา รอดแรงค้า 166
สถานภาพการบริหารและการดำเนินงานวิจัยทุนอุดหนุนวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีงบประมาณ 2544
A Status Report on the Institutional Management and Research Implementation of Kasetsart University Research Fund: 2001 Fiscal Year
..... ภัทรา ชูวาธิวัฒน์ 180
การศึกษาเพื่อกำหนดแนวทางส่งเสริมการเข้าสู่ตำแหน่ง "ศาสตราจารย์" ของคณาจารย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
A Study to Identify Ways for Professorship Promotion of Kasetsart University Lecturers
..... สุวรรณา ธุวโชติ และ สุวรรณา สังสิทธยากร 196
บทสะท้อนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ลงพิมพ์ในวารสารวิทยาสารเกษตรศาสตร์
Reflexive of Kasetsart University's Research Works Published in Kasetsart Journal
..... อรวรรณ วงษ์วานิช 206

• วารสารทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การสำรวจแนวคิดเกี่ยวกับฟิสิกส์ของนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู

Exploring Preservice Physics Teachers' Content Knowledge

ขจรศักดิ์ บัวระพันธ์[1] เพ็ญจันทร์ ซิงห์[2] และวรรณทิพา รอดแรงค้า[3]

Khajornsak Buaraphan, Penchantr Singh and Vantipa Roadrangka

ABSTRACT

To explore the preservice physics teachers' physics concepts and categorize those concepts with respect to scientific concepts, thirty three preservice physics teachers from seven teacher colleges all over Thailand were asked to complete the Physics Concept Test (PCT). The test is consisted of the following main areas: mechanics, wave, electric and magnetic fields, thermodynamics, electromagnetic wave, and atomic physics and physics nuclear. The results revealed that the preservice physics teachers' concepts varied from scientific concepts, alternative concepts, to incorrect concepts. From this, most of the preservice physics teachers had alternative conceptions on all main areas.

Key words: content knowledge, preservice physics teachers, scientific concept, alternative concept

บทคัดย่อ

เพื่อสำรวจแนวคิดเกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์ของนิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์ และจำแนกแนวคิดดังกล่าวโดยเปรียบเทียบกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ นิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์จำนวน 33 คน จากสถาบันการผลิตครู 7 แห่งทั่วประเทศ ทำแบบวัดแนวคิดเกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์ ซึ่งครอบคลุมเนื้อหาในวิชาฟิสิกส์ 6 เรื่องหลัก ได้แก่ กลศาสตร์ คลื่น ไฟฟ้าแม่เหล็ก ความร้อนและอุณหพลศาสตร์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและฟิสิกส์อะตอมและฟิสิกส์นิวเคลียร์ ผลการวิจัยพบว่านิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์มีแนวคิดที่หลากหลายตั้งแต่แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ แนวคิดที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ จนถึงแนวคิดที่ไม่ถูกต้อง

[1] โครงการผลิตนักวิจัยพัฒนาด้านการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
The Program to Prepare Research and Development Personnel for Science Education, Faculty of Education, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

[2] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
Department of Physics, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

[3] ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

โดยพบแนวคิดที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ในทุกเรื่องหลัก

บทนำ

การปฏิรูปการเรียนรู้ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 (ONEC, 2000: I) ซึ่งเกี่ยวข้องกับบุคคลหลายฝ่าย ทั้งผู้บริหารสถานศึกษา ครูผู้สอนและบุคลากรทางการศึกษา ผู้ปกครองและนักเรียน แต่บุคคลที่ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการปฏิรูปการเรียนรู้ คือ ครูผู้สอน เพราะว่าครูผู้สอนเป็นผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนซึ่งจะเป็นกำลังสำคัญของประเทศชาติต่อไปในอนาคต (Office of Rajabhat Institute Council, 2002; Secretariat of the Teacher Council, 1994; Tuan and Kaou, 1997)

ในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ครูวิทยาศาสตร์ถือว่าเป็นผู้ที่มีบทบาทสำคัญยิ่งในการส่งเสริม การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของผู้เรียนและพัฒนาผู้เรียนให้เป็นผู้ที่มีความรอบรู้ในทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (scientific and technological literacy) กล่าวคือ เป็นผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจแนวคิดพื้นฐานต่าง ๆ ในทางวิทยาศาสตร์และสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ความเข้าใจนั้นในการแก้ไขปัญหาในชีวิตประจำวันได้ สามารถมี ปฏิสัมพันธ์ต่อประเด็นที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และสังคมได้อย่างเหมาะสม คิดวิเคราะห์ มีวิจารณญาณใน การตัดสินใจประเด็นที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ได้ (National Research Council, 1995) ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติสำคัญที่จำเป็นต้องพัฒนาให้เกิดกับผู้เรียนทุกคนในโลกสมัยใหม่ซึ่งเป็นสังคมแห่งความรู้ (knowledge based society) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2545: 1-2)

จากคุณสมบัติที่พึงประสงค์ของผู้เรียนดังกล่าวนี้เอง กระตุ้นให้เกิดกระแสการพัฒนาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ทั้งในส่วนของครูก่อนประจำการและครูประจำการอย่างเร่งด่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเตรียมความพร้อมของครูก่อนประจำการนั้นเป็นประเด็นที่หลายฝ่ายให้ความสนใจเป็นอย่างยิ่งว่าการพัฒนานิสิตนักศึกษาครูวิทยาศาสตร์นั้นควรจะเป็นไปในแนวทางใดเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของประเทศชาติได้

การพัฒนาและเตรียมความพร้อมของนิสิตนักศึกษาครูวิทยาศาสตร์นั้น เป็นหน้าที่รับผิดชอบโดยตรงของคณาจารย์ในสถาบันการผลิตครูทั้งในส่วนของสถาบันราชภัฏและมหาวิทยาลัย ซึ่งต้องมีความรู้ความเข้าใจในการจัดประสบการณ์วิชาชีพครูอย่างถ่องแท้ มีการวิเคราะห์หาจุดอ่อน จุดแข็ง โอกาส ปัญหาและอุปสรรคในการจัดประสบการณ์วิชาชีพครูแก่นิสิตนักศึกษาครูวิทยาศาสตร์ ซึ่งความรู้ในเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ (science content knowledge) ของนิสิตนักศึกษาครูวิทยาศาสตร์นั้นเป็นดัชนีชี้วัดที่สำคัญตัวหนึ่งในการประเมินสภาพปัจจุบัน และให้แนวทางในการวางแผนเพื่อพัฒนากระบวนการฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ต่อไปในอนาคต

งานวิจัยนี้จึงเกิดขึ้น เพื่อศึกษาแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์ของนิสิตนักศึกษาวิชาเอกฟิสิกส์ของสถาบันการผลิตครูทั่วประเทศ โดยความรู้ในเนื้อหาดังกล่าวครอบคลุม 6 เรื่องหลักในวิชาฟิสิกส์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายตามคู่มือการจัดการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2545) อันได้แก่ เรื่อง กลศาสตร์ คลื่น ไฟฟ้าแม่เหล็ก ความร้อนและอุณหพลศาสตร์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และฟิสิกส์อะตอมและฟิสิกส์นิวเคลียร์ ผลการสำรวจจะให้ข้อมูลย้อนกลับแก่คณาจารย์และบุคลากรที่เกี่ยวข้องในการเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาวิชาฟิสิกส์แก่นิสิตนักศึกษาครูวิทยาศาสตร์ของสถาบันการผลิตครูต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสำรวจแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับวิชา

ฟิสิกส์ของนิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์

2. เพื่อเปรียบเทียบแนวคิดของนิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์กับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

3. เพื่อจำแนกแนวคิดพื้นฐานต่าง ๆ ในวิชาฟิสิกส์ของนิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการสำรวจแนวคิดเกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์ในเรื่องกลศาสตร์ คลื่น ไฟฟ้าแม่เหล็ก ความร้อนและอุณหพลศาสตร์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และฟิสิกส์อะตอมและฟิสิกส์นิวเคลียร์ของนิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์จากสถาบันการผลิตครู 7 แห่ง

นิยามศัพท์

แนวคิดเกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์ หมายถึง แนวคิดของนิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์ เกี่ยวกับกลศาสตร์ คลื่น ไฟฟ้าแม่เหล็ก ความร้อนและอุณหพลศาสตร์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และฟิสิกส์อะตอมและฟิสิกส์นิวเคลียร์ซึ่งวัดได้จากแบบวัดแนวคิดเกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์ (Physics Concept Test)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ให้ข้อมูลแก่คณาจารย์สถาบันการผลิตครูที่เกี่ยวข้องในการเตรียมความพร้อม และให้ความช่วยเหลือนิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์ก่อนปฏิบัติงานสอน

2. ให้ข้อมูลย้อนกลับแก่ผู้บริหาร คณาจารย์ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการพัฒนาหลักสูตรการผลิตครูวิทยาศาสตร์วิชาเอกฟิสิกส์ในด้านการเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาวิชา และแนวทางการพัฒนาหลักสูตรการผลิตครูวิทยาศาสตร์วิชาเอกฟิสิกส์ในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยแบ่งเขตพื้นที่การศึกษาออกเป็น 4 เขต คือ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ แล้วเลือกจังหวัดที่มีสถาบันการผลิตครูทั้งสถาบันราชภัฏและมหาวิทยาลัยที่มีหลักสูตรการผลิตครูวิทยาศาสตร์ แต่ละเขตพื้นที่ ๆ ละ 1 จังหวัด แต่ถ้าสถาบันราชภัฏหรือมหาวิทยาลัยในจังหวัดที่เลือกไม่มีหลักสูตรการผลิตครูวิทยาศาสตร์ ก็จะคัดเลือกจังหวัดอื่นในเขตพื้นที่เดียวกันที่มีสถาบันราชภัฏหรือมหาวิทยาลัยที่มีหลักสูตรการผลิตครูวิทยาศาสตร์ รวมสถาบันผลิตครูทั้งหมด 7 แห่ง

1. ประชากร

นิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 4 จากสถาบันการผลิตครูดังกล่าวข้างต้น

2. กลุ่มตัวอย่าง

นิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 4 ที่ถูกสุ่มมาร้อยละ 50 จากจำนวนนิสิต นักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์ทั้งหมดในแต่ละสถาบันการผลิตครูโดยอาจารย์นิเทศก์ของนิสิต นักศึกษาในสถาบันการผลิตครูนั้น ๆ พบว่ามีสถาบันการผลิตครู 7 แห่ง ที่มีนิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์ โดยเป็นมหาวิทยาลัย 4 แห่ง และเป็นสถาบันราชภัฏ 3 แห่ง รวมมีนิสิตนักศึกษาทั้งสิ้น 33 คน

รูปแบบการวิจัย

รูปแบบการวิจัยที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงสำรวจ โดยผู้วิจัยสำรวจแนวคิดของนิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์จำนวน 33 คน จากสถาบันการผลิตครูที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในช่วงเดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคม พ.ศ. 2545

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ แบบวัดแนวคิดเกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์ของนิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู ซึ่งประกอบด้วยข้อคำถามเพื่อวัดแนวคิดเกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์แบบคำถามปลายเปิด (open-ended questions) จำนวน 42 ข้อ ครอบคลุมสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คือ สาระการเรียนรู้ที่ 4 แรงและการเคลื่อนที่ และสาระการเรียนรู้ที่ 5 พลังงาน ตามหลักสูตรของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งวัดแนวคิดเกี่ยวกับฟิสิกส์ 6 เรื่องหลัก คือ กลศาสตร์ คลื่น ไฟฟ้าแม่เหล็ก ความร้อนและอุณหพลศาสตร์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และฟิสิกส์อะตอมและฟิสิกส์นิวเคลียร์

แบบวัดแนวคิดเกี่ยวกับฟิสิกส์ของนิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูนั้น มีขั้นตอนในการสร้าง ดังนี้

1. ศึกษาเอกสารต่าง ๆ ได้แก่ คู่มือการจัดการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ หนังสือเรียน คู่มือครูวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อวิเคราะห์แนวคิดพื้นฐานต่าง ๆ ในวิชาฟิสิกส์ และหาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (scientific conception) ของแนวคิดพื้นฐานเหล่านั้น

2. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างข้อคำถาม เพื่อวัดแนวคิดพื้นฐานต่าง ๆ ในวิชาฟิสิกส์

3. นำข้อคำถามที่สร้างขึ้น ตลอดจนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของแนวคิดพื้นฐานต่าง ๆ ในวิชาฟิสิกส์ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 2 ท่าน ซึ่งเป็นคณาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งประเด็นที่ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาตรวจสอบมีดังต่อไปนี้

3.1 ความถูกต้องของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของแนวคิดพื้นฐานต่าง ๆ ในวิชาฟิสิกส์

3.2 ความเหมาะสมของข้อคำถามในการวินิจฉัยแนวคิด

3.3 การสื่อความหมายของข้อคำถาม และความถูกต้องของคำตอบ

4. แก้ไข ปรับปรุงข้อคำถาม และนำไปทดลองใช้กับกลุ่มนิสิตนักศึกษาขนาดเล็กจำนวน 9 คนที่มีลักษณะเดียวกับนิสิตนักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบความเข้าใจในภาษาและการสื่อความหมายของข้อคำถาม และนำข้อคำถามที่ผ่านการแก้ไขปรับปรุงแล้ว เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 2 ท่านเดิมอีกครั้ง เพื่อรับข้อเสนอแนะในเรื่องรูปแบบของแบบวัดแนวคิด ความถูกต้องของภาษาที่ใช้ และการสื่อความหมายของข้อคำถาม

5. นำข้อสอบที่ได้ไปเก็บข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ระยะเวลาของการเก็บรวบรวมข้อมูลในแต่ละสถาบันการผลิตครูนั้น มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการฝึกประสบการณ์วิชาชีพของแต่ละสถาบัน สำหรับสถาบันที่ส่งนิสิตนักศึกษาออกฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูในภาคต้น ปีการศึกษา 2545 นั้น ผู้ช่วยนักวิจัยซึ่งเป็นอาจารย์นิเทศก์ในสถาบันนั้น ๆ สถาบันละ 1 คน นัดหมายนิสิตนักศึกษาล่วงหน้า 1 สัปดาห์ ในการทำแบบวัดแนวคิดวิชาฟิสิกส์ โดยใช้เวลาทำ 2 ชั่วโมง และทำแบบวัดแนวคิดแล้วเสร็จในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2545 ส่วนสถาบันที่ส่งนิสิตนักศึกษาออกฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูในภาคปลาย ปีการศึกษา 2545 ผู้ช่วยนักวิจัยนัดหมายนิสิตนักศึกษาล่วงหน้า 1 สัปดาห์ ในการทำแบบวัดแนวคิดวิชาฟิสิกส์ และทำแบบวัดแนวคิดแล้วเสร็จในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2545

การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อผู้วิจัยได้รับแบบวัดแนวคิดเกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์คืน ผู้วิจัยวิเคราะห์คำตอบรายข้อ โดยอ่านคำตอบอย่างละเอียด เปรียบเทียบคำตอบของนิสิตนักศึกษากับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์และแบ่งกลุ่มคำตอบ จากนั้นผู้วิจัยหาค่าความถี่และร้อยละของแต่ละกลุ่ม

คำตอบ สำหรับนิสิตนักศึกษาที่ไม่ตอบ หรือตอบในลักษณะทวนคำถาม หรือตอบนอกประเด็น ถือว่าไม่แสดงคำตอบ จากนั้นผู้วิจัยตีความหมายคำตอบของผู้ตอบตามแนวคิดของ Renner (1990: 35-54) โดยจำแนกแนวคิดของนิสิตนักศึกษาออกเป็น 6 แบบ ตามระดับความสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ดังต่อไปนี้

1. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (sound understanding: SU) หมายถึง นิสิตนักศึกษามีแนวคิดสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ทุกองค์ประกอบ

2. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (partially understanding: PU) หมายถึง นิสิตนักศึกษามีแนวคิดสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบ

3. แนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (specific misconception: SM) หมายถึง นิสิต นักศึกษามีแนวคิดไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏในข้อคำถามนั้น ๆ

4. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและคลาดเคลื่อนบางส่วน (partially understanding with specific misconception: PU/SM) หมายถึง นิสิตนักศึกษามีแนวคิดสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบ อย่างไรก็ดีนิสิตนักศึกษาได้แสดงข้อความที่บ่งชี้ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

5. แนวคิดที่ไม่ถูกต้อง (no understanding: NU) หมายถึง นิสิตนักศึกษาไม่ใช้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับข้อคำถามในการตอบข้อคำถามนั้น ๆ

6. ไม่ตอบคำถาม (no response: NR) หมายถึง นิสิตนักศึกษาไม่ตอบคำถามใด ๆ หรือไม่อธิบายคำตอบ หรือตอบในลักษณะทวนคำถาม หรือตอบไม่ตรงประเด็น

เพื่อหาความถูกต้องในการตีความหมายแนวคิดเกี่ยวกับฟิสิกส์ของนิสิตนักศึกษา ผู้วิจัยสร้างแบบลงความคิดเห็นการวิเคราะห์แนวคิดของนิสิตนักศึกษา โดยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาจำนวน 2 ท่านลงความคิดเห็นต่อการวิเคราะห์แนวคิดของนิสิตนักศึกษาของผู้วิจัยว่าเห็นด้วยหรือไม่กับการตีความหมายของผู้วิจัย พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะ ภายหลังที่ได้รับผลการลงความคิดเห็น ผู้วิจัยหาค่าความสอดคล้องของการจำแนกแนวคิดระหว่างผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญโดยใช้เกณฑ์ความสอดคล้องที่ร้อยละ 80

ผลและวิจารณ์

จากการตรวจแบบวัดแนวคิดเกี่ยวกับฟิสิกส์ของนิสิตนักศึกษาใน 6 เรื่องหลัก คือ กลศาสตร์ คลื่นไฟฟ้า แม่เหล็ก ความร้อนและอุณหพลศาสตร์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และฟิสิกส์อะตอมและฟิสิกส์นิวเคลียร์ ผู้วิจัยพบว่าในแต่ละเรื่องนั้น นิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่หลากหลายตั้งแต่แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ แนวคิดที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ จนถึงแนวคิดที่ไม่ถูกต้อง ผู้วิจัยขอนำเสนอผลพร้อมทั้งอภิปรายตามหัวข้อหลักดังต่อไปนี้

เรื่องที่ 1 กลศาสตร์

มีคำถามทั้งหมด 11 ข้อที่ใช้วัดแนวคิดกลศาสตร์ซึ่งแนวคิดที่วัด ได้แก่ ระยะทางและการกระจัด ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดและเวลา กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อ 1 สมดุลต่อการหมุน งาน พลังงานศักย์ โน้มถ่วงและพลังงานจลน์ การดลและแรงดล การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ กฎแรงดึงดูดระหว่างมวล และแรงกระทำต่อวัตถุในของเหลว ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า เมื่อให้นิสิตนักศึกษาหาระยะทางและการกระจัดของการวิ่งรอบสนามเป็นรูปครึ่งวงกลม 2 วงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 82 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับระยะทางและการกระจัด สามารถจำแนกได้ว่า ระยะทางคือระยะทั้งหมดของการเคลื่อนที่ ซึ่งก็คือ เส้นรอบวงของครึ่งวงกลม และการกระจัดคือระยะที่สั้นที่สุดของการเคลื่อนที่

ซึ่งก็คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของครึ่งวงกลม นิสิตนักศึกษาร้อยละ 6 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับระยะทางและการกระจัดเนื่องจากใช้สมการจากแนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่แนวตรงมาคำนวณหาระยะทาง และเข้าใจความหมายของระยะทางกับการกระจัดสลับกัน

เมื่อให้นิสิตนักศึกษาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดและเวลาในกรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 91 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ถูกต้อง โดยเขียนกราฟระหว่างการกระจัดกับเวลาที่ได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันคงตัว แสดงว่าอัตราการเพิ่มหรือลดของการกระจัดมีค่าคงตัว มีนิสิตนักศึกษาเพียงร้อยละ 3 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะเขียนกราฟไม่ถูกต้องโดยเขียนกราฟเป็นเส้นโค้ง และนิสิตนักศึกษาร้อยละ 3 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนว่า พื้นที่ใต้กราฟการกระจัดและเวลาคือความเร็ว

ในเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันกรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวนั้น พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 76 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถอธิบายได้ถูกต้องว่า เมื่อรถประจำทางแล่นด้วยความเร็วคงตัว แล้วเบรกกระทันหัน ศีรษะผู้โดยสารและลูกโป่งสวรรค์จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเพื่อรักษาสภาพการเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว นิสิตนักศึกษาร้อยละ 6 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้อง โดยตอบว่าศีรษะผู้โดยสารและลูกโป่งสวรรค์จะเคลื่อนที่ไปข้างหลัง และเมื่อถามเกี่ยวกับกรณีวัตถุอยู่นิ่ง พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 58 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน ในการคำนวณหาแรงตึงในเส้นเชือกทั้งสองด้านที่รับน้ำหนักของคนที่ห้อยอยู่ได้ถูกต้อง และนิสิตนักศึกษาถึงร้อยละ 36 ที่มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่สามารถคำนวณหาแรงตึงในเส้นเชือกทั้งสองด้านที่รับน้ำหนักของคนที่ห้อยอยู่ได้

ในเรื่องสมดุลต่อการหมุนโดยให้คำนวณหาน้ำหนักของคนที่ยืนบนปลายกระดานหกข้างหนึ่งเพื่อให้กระดานหกอยู่นิ่ง พบว่ามีนิสิตนักศึกษาเพียงร้อยละ 24 เท่านั้นที่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะคำนวณได้ถูกต้องโดยใช้แนวคิดเกี่ยวกับสมดุลต่อการหมุน คือ โมเมนต์ทวนเท่ากับโมเมนต์ตาม และพบว่านิสิตนักศึกษาถึงร้อยละ 73 ที่มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่ได้พิจารณาถึงโมเมนต์อันเนื่องจากน้ำหนักของคานในการคำนวณ นอกจากนี้ยังพบว่ามีนิสิตนักศึกษาเพียงร้อยละ 3 เท่านั้นมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับสมดุลต่อการหมุน โดยเข้าใจว่าโมเมนต์เท่ากับน้ำหนักคูณกับระยะทางยกกำลังสอง

เมื่อถามว่าแรงชนิดใดที่กระทำต่อวัตถุแล้วไม่เกิดงาน พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 30 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถตอบได้ถูกต้องว่าแรงสู่ศูนย์กลางกระทำต่อวัตถุแล้วไม่เกิดงานเพราะทิศของแรงตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ตลอดเวลา และพบว่านิสิตนักศึกษาถึงร้อยละ 52 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะเข้าใจว่าแรงโน้มถ่วง แรงเสียดทาน และแรงยืดหยุ่น เมื่อกระทำต่อวัตถุแล้วไม่เกิดงาน

สำหรับเรื่องพลังงานศักย์โน้มถ่วงและพลังงานจลน์นั้น พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 58 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะอธิบายได้ถูกต้องว่าเมื่อโยนก้อนหินผ่านตำแหน่งยอดเสาไฟฟ้า จะมีทั้งพลังงานศักย์โน้มถ่วงและพลังงานจลน์ เพราะก้อนหินอยู่สูงจากระดับอ้างอิงคือพื้นโลกเป็นระยะทางที่มีความเร็วค่าหนึ่ง มีนิสิตนักศึกษาเพียงร้อยละ 3 เท่านั้นที่มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะอธิบายพลังงานศักย์โน้มถ่วงและพลังงานจลน์ไม่ถูกต้อง และนิสิตนักศึกษาร้อยละ 3 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนโดยมีแนวคิดว่า “เมื่อโยนก้อนหินผ่านระดับยอดเสาไฟฟ้าก้อนหินจะมีพลังงานจลน์มากกว่าพลังงานศักย์”

ในการอธิบายการดลและแรงดลของไข่ 2 ใบที่มีมวลเท่ากันที่ปล่อยให้ตกลงบนฟองน้ำและไม้เรียบแข็ง พบว่ามีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 39 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะตอบได้ถูกต้องว่า ไข่ทั้งสองจะมีการดลเท่ากันเพราะมีความเร็วต้นและความเร็วปลายเท่ากัน แต่ไข่ที่กระทบไม้เรียบแข็งจะมีแรงดล

มากกว่าไข่ที่กระทบฟองน้ำเพราะใช้เวลาในการกระทบน้อยกว่า และนิสิตนักศึกษาร้อยละ 21 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องโดยอธิบายว่าการดลขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการตกกระทบส่วนแรงดลไม่ขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการตกกระทบ และมีนิสิตนักศึกษาถึงร้อยละ 30 ที่ไม่ตอบคำถาม

ในเรื่องการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 64 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถคำนวณหาระยะทางในแนวราบของลูกระเบิดที่ถูกปล่อยจากเครื่องบินได้ถูกต้อง โดยคำนวณการเคลื่อนที่แยกเป็นอิสระ 2 แนวคือ การเคลื่อนที่ในแนวราบและการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง และพบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 15 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่อาศัยหลักของการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ในการคำนวณ และเมื่อถามว่าในการส่งจรวดขึ้นจากดาวเคราะห์ที่มีมวลและเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันเมื่อเทียบกับโลก ดาวเคราะห์ดวงไหนต้องใช้ความเร็วต้นในการส่งจรวดมากที่สุด พบว่านิสิตนักศึกษาเพียงร้อยละ 9 ที่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถตอบได้ถูกต้องว่า เป็นดาวเคราะห์ที่ต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อย ๆ เพราะแรงดึงดูดระหว่างมวลนั้นแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างมวลยกกำลังสอง นิสิตนักศึกษาร้อยละ 67 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงดูดระหว่างมวลกับมวลและเส้นผ่าศูนย์กลางของดวงดาว

เมื่อให้นิสิตนักศึกษาอธิบายการเคลื่อนที่ของลูกกลมโลหะที่เคลื่อนที่ในกระบอกแก้วที่มีน้ำมันบรรจุอยู่ พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 52 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถอธิบายได้ถูกต้องว่าในช่วงแรกลูกกลมโลหะจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเนื่องจากน้ำหนักของลูกกลมโลหะมากกว่าผลบวกของแรงหนืดและแรงลอยตัว ส่วนในช่วงท้ายของการเคลื่อนที่ ลูกกลมโลหะจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว เนื่องจากน้ำหนักของลูกกลมโลหะเท่ากับผลบวกของแรงหนืดและแรงลอยตัว เพราะแรงหนืดมีค่ามากขึ้นตามความเร็วของลูกกลมโลหะ นิสิตนักศึกษาร้อยละ 24 มีแนวคิดไม่ถูกต้องเพราะไม่ได้ใช้แนวคิดเรื่องน้ำหนัก แรงหนืด และแรงลอยตัวมาอธิบายการเคลื่อนที่ของลูกกลมโลหะ นอกจากนี้ยังพบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 6 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงกระทำต่อวัตถุในของเหลว โดยมีแนวคิดว่า “เมื่อปล่อยลูกกลมโลหะลงในกระบอกแก้วที่มีน้ำมันบรรจุอยู่ ความเร็วของลูกกลมโลหะจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามแรงโน้มถ่วงของโลก ถึงแม้จะมีแรงต้านจากน้ำมัน”

กล่าวโดยสรุปในแนวคิดเรื่องกลศาสตร์นั้นพบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดและเวลามากที่สุด รองลงมา คือ ระยะทางและการกระจัด และกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน กรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว ตามลำดับ ในทางกลับกันพบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับสมดุลต่อการหมุนมากที่สุด รองลงมา คือ กฎแรงดึงดูดระหว่างมวล และงาน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับงานและแรงที่กระทำต่อวัตถุในของเหลวมากที่สุด รองลงมา คือ สมดุลต่อการหมุน กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดและเวลา และพลังงานศักย์โน้มถ่วงและพลังงานจลน์ ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Preece (1997) และ Gilbert *et al.* (1982: 63) ที่พบว่านิสิตนักศึกษาครูสาขาวิทยาศาสตร์จำนวนมากยังมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ ซึ่งทำให้เป็นการยากต่อนิสิตนักศึกษาที่จะทำความเข้าใจแนวคิดเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งและสองของนิวตัน

จากแนวคิดที่ไม่ถูกต้องดังกล่าวอาจเนื่องมาจากความเชื่อของนิสิตนักศึกษาวิชาเอกฟิสิกส์ที่ว่าปริมาณทางฟิสิกส์บางอย่าง เช่น น้ำหนัก แรงโน้มถ่วง หรือแรงเสียดทาน จะไม่ปรากฏในสถานการณ์จนกว่าผู้เรียนจะสังเกตเห็นอิทธิพลของปริมาณทางฟิสิกส์เหล่านั้น (Osborne and Gilbert, 1980: 378 และ Gilbert *et al.*, 1982) นิสิตนักศึกษาขาดความเข้าใจ

ขาดจินตนาการ ขาดประสบการณ์ในการนำหลักการทางกลศาสตร์มาลงมือปฏิบัติ ขาดการทดลองที่เป็นรูปธรรม นอกจากนี้ผู้สอนอาจขาดการประยุกต์หลักการพื้นฐานทางกลศาสตร์มาใช้กับสถานการณ์ที่หลากหลายในชีวิตประจำวัน เพื่อทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจและสนใจที่จะติดตามเนื้อหาที่เรียน(บรรจง, 2528)

เรื่องที่ 2 คลื่น

มีคำถามทั้งหมด 7 ข้อที่ใช้วัดแนวคิดเรื่องคลื่น ซึ่งได้แก่ ความยาวคลื่นและเฟสของคลื่น การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกที่ปลายตรึงแน่น การแทรกสอดของคลื่น คลื่นและตัวกลางในการเคลื่อนที่ อัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ บีตส์ของคลื่นเสียง และปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 39 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถระบุความยาวคลื่นและเฟสของคลื่นสองขบวนที่กำหนดให้ได้ถูกต้อง โดยวัดความยาวคลื่นจากระยะระหว่างสันคลื่นหรือท้องคลื่นที่อยู่ติดกันหรือระยะที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ครบ 360 องศา และพิจารณาเฟสของคลื่นจากจุดกำเนิดของคลื่นว่ามีจุดกำเนิดต่างกันกี่องศา นอกนั้นมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์

เมื่อให้นิสิตนักศึกษาเขียนรูปและอธิบายการเคลื่อนที่ของคลื่นเส้นเชือกเมื่อสะท้อนกลับจากปลายข้างหนึ่งที่ตรึงแน่น พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 85 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะอธิบายได้ถูกต้องว่าคลื่นสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกที่มีปลายตรึงแน่นจะมีเฟสต่างจากคลื่นตกกระทบ 180 องศา และพบว่ามีนิสิตนักศึกษาเพียงร้อยละ 6 เท่านั้นที่มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน โดยมีแนวคิดว่า “คลื่นสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกที่มีปลายตรึงแน่นจะมีทิศทางและเฟสเหมือนกับคลื่นตกกระทบ”

ในการคำนวณหาระยะห่างของแหล่งกำเนิดคลื่นน้ำสองจุดกับแนวปฏิบัพที่ 2 ของการแทรกสอด พบว่ามีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 27 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะใช้สมการการแทรกสอดของคลื่นในการคำนวณ นิสิตนักศึกษาร้อยละ 21 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่ใช้สมการการแทรกสอดของคลื่นในการคำนวณ และนิสิตนักศึกษาร้อยละ 52 ที่ไม่ตอบคำถาม

เกี่ยวกับคลื่นและตัวกลางในการเคลื่อนที่ พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 55 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถอธิบายได้ถูกต้องว่าคลื่นเสียงไม่สามารถเคลื่อนที่ออกมาจากหลอดแก้วสูญญากาศได้ เพราะคลื่นเสียงเป็นคลื่นกลต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ในขณะที่คลื่นแสงสามารถเคลื่อนที่ออกมาจากหลอดแก้วสูญญากาศได้ เพราะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ นิสิตนักศึกษาร้อยละ 33 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์

เมื่อให้นิสิตนักศึกษาคำนวณหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศ ณ อุณหภูมิที่ต่างกัน พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 76 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถคำนวณหาอัตราเร็วของเสียงได้ถูกต้อง นิสิตนักศึกษาร้อยละ 9 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่สามารถคำนวณได้ และนิสิตนักศึกษาร้อยละ 3 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนว่า “อัตราเร็วของเสียงในอากาศไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ” และเมื่อให้นิสิตนักศึกษาคำนวณหาความถี่บีตส์ของเสียงเปียโนกับส้อมเสียง พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 30 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถคำนวณความถี่บีตส์ได้ถูกต้องทั้งสองค่า โดยใช้ความแตกต่างระหว่างความถี่ของเสียงเปียโนและความถี่ของเสียงจากส้อมเสียง มีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 21 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่สามารถคำนวณได้ถูกต้อง และนิสิตนักศึกษาร้อยละ 30 ที่ไม่ตอบคำถาม

นอกจากนี้ยังพบว่าพบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 33 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถทำนายความถี่เสียงที่ผู้รับฟังสองคนจะได้ยินได้ถูกต้อง โดยทำนายว่าคนที่อยู่กับแหล่งกำเนิดเสียงจะได้ยินเสียงความถี่เท่าเดิม และคนที่เคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียงจะได้ยินเสียงที่มีความถี่ต่ำลงอันเนื่องมา

จากปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ นิสิตนักศึกษาร้อยละ 21 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเนื่องจากไม่ได้อาศัยปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ในการทำนายความถี่ที่ผู้รับฟังจะได้ยิน และมีนิสิตนักศึกษาถึงร้อยละ 39 ที่ไม่ตอบคำถาม

กล่าวโดยสรุปในเรื่องคลื่นนั้น พบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกที่ปลายข้างหนึ่งตรึงแน่นมากที่สุด รองลงมา คือ อัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ คลื่นและตัวกลางใน การเคลื่อนที่ ตามลำดับ ในทางกลับกัน พบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับการแทรกสอดของคลื่น บีตส์ของคลื่นเสียง และปรากฏการณ์ดอปเปลอร์มากที่สุด รองลงมา คือ อัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ และพบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกที่ปลายข้างหนึ่งตรึงแน่นมากที่สุด รองลงมาคืออัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ

นิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องในเรื่องคลื่นสอดคล้องกับผลการวิจัยของวงษ์เดือน (2536) ที่พบปัญหาในการเรียนรู้เกี่ยวกับคลื่นของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 และแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับคลื่นนั้น บรรจง (2528) แสดงความคิดเห็นว่า การที่นิสิตนักศึกษามีประสบการณ์การเรียนรู้ในห้องเรียนที่มีการเรียนการสอนแบบเน้นการท่องจำและจดจำทฤษฎีและการคำนวณมากกว่าความเข้าใจซึ่งมาจากการปฏิบัติและการทดลอง ดังนั้นครูผู้สอนควรเน้นให้นิสิตนักศึกษาเรียนรู้แนวคิดเกี่ยวกับปรากฏการณ์ของคลื่นจากการปฏิบัติและการทดลองมากกว่าการท่องจำและจดจำทฤษฎีต่างๆเกี่ยวกับคลื่น ซึ่งแนวคิดเกี่ยวกับคลื่นและปรากฏการณ์คลื่นสามารถทดลองและแสดงให้เห็นได้โดยง่ายจากสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน เช่น การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกที่ปลายข้างหนึ่งตรึงแน่น การแทรกสอดของคลื่นน้ำ การเกิดบีตส์จากการเทียบเสียงของเครื่องดนตรี และการเกิดปรากฏการดอปเปลอร์เมื่อผู้ฟังหรือแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่

เรื่องที่ 3 ไฟฟ้าแม่เหล็ก

มีคำถามทั้งหมด 7 ข้อที่ใช้วัดแนวคิดเรื่องไฟฟ้าแม่เหล็กซึ่งได้แก่เรื่อง กฎของคูลอมบ์ แรงระหว่างประจุไฟฟ้า ทิศของแรงไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าประจุไฟฟ้าและความจุไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้าการเคลื่อนที่ของประจุ ไฟฟ้าในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและกฎของเลนซ์ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า นิสิตนักศึกษาร้อยละ 55 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถคำนวณหาแรงลัพธ์ทางไฟฟ้าที่เกิดจากประจุสองประจุที่มีแรงกระทำต่อประจุหนึ่ง ๆ ได้ถูกต้องโดยใช้กฎของคูลอมบ์และการหาแรงลัพธ์โดยการบวกเวกเตอร์ มีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 24 ที่มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่สามารถคำนวณได้

ในเรื่องแรงระหว่างประจุไฟฟ้า พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 48 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถอธิบายได้ถูกต้องว่า แรงทางไฟฟ้าที่ประจุทั้งสองกระทำต่อกันจะมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน กล่าวคือ แรงกิริยาเท่ากับแรงปฏิกิริยา นิสิตนักศึกษาร้อยละ 3 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่สามารถอธิบายได้โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน นอกจากนี้ยังพบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 18 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนโดยมีแนวคิดว่า “เมื่อวางประจุ A และ B ที่เป็นประจุต่างชนิดกันไว้ใกล้กัน โดยประจุ A มีประจุไฟฟ้าเป็นสองเท่าของประจุ B จะพบว่าประจุทั้งสองจะดึงดูดกัน แต่แรงดึงดูดที่ประจุ A กระทำต่อประจุ B จะมากกว่าแรงดึงดูดที่ประจุ B กระทำต่อประจุ A เพราะประจุ A มีค่ามากกว่าประจุ B สองเท่า” และนิสิตนักศึกษาร้อยละ 30 ที่ไม่ตอบคำถาม

เมื่อให้เขียนรูปและอธิบายทิศของแรงทางไฟฟ้าและสนามไฟฟ้า พบว่านิสิตนักศึกษาเพียงร้อยละ 15 เท่านั้นที่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถเขียนรูปและอธิบายได้ถูกต้องว่าแรงทางไฟฟ้าที่ประจุบวกกระทำต่อประจุลบจะเป็นแรงดึงดูดและสนามไฟฟ้าจะมีทิศพุ่งออกจากประจุบวก นิสิตนักศึกษาร้อยละ 12 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะเขียน

รูปและอธิบายไม่ถูกต้อง นิสิตนักศึกษาร้อยละ 24 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน โดยมีแนวคิดว่า “ถ้าให้ประจุ +Q เป็นประจุต้นกำเนิดสนามไฟฟ้า และ –q เป็นประจุทดสอบแล้ว แรงไฟฟ้าจะมีทิศพุ่งเข้าประจุลบ” และมีนิสิต นักศึกษาร้อยละ 30 ที่ไม่ตอบคำถาม

เมื่อให้นิสิตนักศึกษาคำนวณหาความจุไฟฟ้ารวมของตัวเก็บประจุสองตัวที่ต่อกันแบบขนาน และหาประจุ ไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุแต่ละตัว พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 42 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการความจุไฟฟ้ารวมของตัวเก็บประจุที่ต่อกันแบบขนาน และใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้าและประจุไฟฟ้า นิสิตนักศึกษาร้อยละ 12 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเนื่องจากใช้สมการความจุไฟฟ้ารวมของตัวเก็บประจุในกรณีที่ต่อกันแบบอนุกรม และมีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 27 ที่ไม่ตอบคำถาม

เมื่อถามเกี่ยวกับความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดตัวนำ พบว่ามีนิสิตนักศึกษาเพียงร้อยละ 15 เท่านั้นที่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะอธิบายได้ถูกต้องว่าเมื่อเส้นลวดตัวนำที่มีความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดตัวนำจะลดลงครึ่งหนึ่ง เพราะความต้านทานไฟฟ้าแปรผันตรงกับความยาวของเส้นลวดตัวนำและแปรผกผันกับรัศมีของเส้นลวดตัวนำยกกำลังสอง นิสิตนักศึกษาร้อยละ 36 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเนื่องจากใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดตัวนำที่ไม่ถูกต้องในการอธิบาย นิสิตนักศึกษาร้อยละ 15 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน โดยมีแนวคิดว่า “ถ้าความยาวและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดตัวนำที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลมเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดตัวนำจะไม่เปลี่ยนแปลง” หรือ “ความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดตัวนำจะเพิ่มขึ้น เพราะความต้านทานไฟฟ้าขึ้นกับพื้นที่ของวัตถุ” หรือ “ความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดตัวนำจะมากขึ้น เพราะความต้านทานไฟฟ้าแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัด” และมีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 18 ที่ไม่ตอบคำถาม

เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 39 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถเขียนและอธิบายเส้นทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเมื่อเคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กได้ถูกต้องว่าอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศโค้งขึ้นเนื่องจากถูกแรงกระทำจากสนามแม่เหล็กที่มีทิศพุ่งออกจากกระดาษซึ่งเป็นไปตามกฎมือขวา นิสิตนักศึกษาร้อยละ 33 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องโดยเข้าใจว่าแนวการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะโค้งลง ซึ่งขัดกับกฎมือขวา และมีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 27 ที่ไม่ตอบคำถาม

เมื่อถามเกี่ยวกับกฎของเลนซ์ พบว่าไม่มีนิสิตนักศึกษาคนใดมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์โดยสามารถอธิบายได้ถูกต้องว่า เมื่อพุ่งแท่งแม่เหล็กแท่งหนึ่งเข้าไปในขดลวดที่ต่อกับหลอดไฟและแบตเตอรี ความสว่างของหลอดไฟจะลดลงก่อนแล้วจึงเพิ่มขึ้นจนสว่างเท่าเดิมซึ่งเป็นไปตามกฎของเลนซ์ นิสิตนักศึกษาถึงร้อยละ 72 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเนื่องจากไม่ใช้กฎของเลนซ์อธิบายความสว่างของหลอดไฟ เมื่อพุ่งแท่งแม่เหล็กเข้าไปในขดลวดที่ต่อกับหลอดไฟและแบตเตอรี และมีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 24 ที่ไม่ตอบคำถาม

โดยสรุปในเรื่องไฟฟ้าแม่เหล็กนั้น พบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับกฎของคูลอมบ์มากที่สุด รองลงมา คือ แรงระหว่างประจุไฟฟ้า และประจุไฟฟ้าและความจุไฟฟ้า ตามลำดับ ในทางกลับกัน พบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับกฎของเลนซ์มากที่สุด รองลงมา คือ ความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวด ตัวนำ และการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก ตามลำดับ และพบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับทิศของแรงทางไฟฟ้าและสนามไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมา คือ แรงระหว่างประจุไฟฟ้าและความต้านทาน ไฟฟ้าของเส้นลวดตัวนำ ตามลำดับ

ซึ่งแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับความต้านทานไฟฟ้าของนิสิตนักศึกษานี้คล้ายคลึงกับแนวคิดที่คลาดเคลื่อนที่พบในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในงานวิจัยของไกรรักษ์ (2537)

การที่นิสิตนักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องในเรื่องไฟฟ้าแม่เหล็กนั้น อาจเนื่องมาจากแนวคิดดังกล่าวเป็นแนวคิดเชิงนามธรรมที่ต้องอาศัยการคิดและจินตนาการเป็นอย่างสูงจากผู้เรียน (Pardhan and Bano, 2001: 315) แต่ผู้สอนขาดการเชื่อมโยงแนวคิดเชิงนามธรรมดังกล่าวกับสถานการณ์ต่าง ๆ ที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวันเพื่อเป็นการฝึกให้ผู้เรียนค่อย ๆ เชื่อมโยงความเป็นนามธรรมเข้ากับความเป็นรูปธรรมให้เกิดความเข้าใจในแนวคิดนั้น ๆ

เรื่องที่ 4 ความร้อนและอุณหพลศาสตร์

มีคำถามทั้งหมด 6 ข้อ ที่ใช้วัดแนวคิดเรื่องความร้อนและอุณหพลศาสตร์ซึ่งได้แก่เรื่อง การเปลี่ยนรูป พลังงานศักย์และพลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ปรากฏการณ์การพาความร้อน ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ สมบัติของแก๊ส และพลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุล ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าเมื่อให้นิสิตนักศึกษาคำนวณหาพลังงานความร้อนของลูกกลมเหล็กที่ตกจากที่สูงกระทบพื้นดิน นิสิตนักศึกษาร้อยละ 64 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถคำนวณได้ โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานที่ว่า พลังงานไม่สามารถสร้างขึ้นมาใหม่ได้ แต่สามารถเปลี่ยนรูปจากพลังงานรูปหนึ่งไปสู่พลังงานอีกรูปหนึ่งได้ ในที่นี้ลูกกลมเหล็กที่ตกจากที่สูงจะมีพลังงานศักย์โน้มถ่วงซึ่งจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนเมื่อกระทบพื้นดิน นิสิตนักศึกษาร้อยละ 9 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องในการคำนวณหาพลังงานความร้อนของลูกกลมเหล็ก เนื่องจากไม่ใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานอธิบายการเปลี่ยนรูปพลังงานของลูกกลมเหล็ก และมีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 27 ที่ไม่ตอบคำถาม

ในเรื่องเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน พบว่ามีนิสิตนักศึกษาเพียงร้อยละ 9 เท่านั้นที่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถอธิบายพลังงานไฟฟ้าของลวดความร้อนที่ถูกตัดให้เหลือความยาวเพียงครึ่งเดียวได้ถูกต้อง โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับความยาวและพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวด และความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับความต่างศักย์ความต้านทานและเวลา มีนิสิตนักศึกษาถึงร้อยละ 51 ที่มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่สามารถอธิบายได้ และมีนิสิตนักศึกษาถึงร้อยละ 33 ที่ไม่ตอบคำถาม

เมื่อให้นิสิตนักศึกษาอธิบายการเกิดไอน้ำออกจากปากขณะพูดคุยกันในฤดูหนาว พบว่าไม่มีนิสิตนักศึกษาคนใดมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์โดยสามารถอธิบายการเกิดไอน้ำออกจากปากขณะพูดคุยกันในฤดูหนาว ในแง่ของปรากฏการณ์การพาความร้อนได้ถูกต้อง นิสิตนักศึกษาเพียงร้อยละ 3 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่ได้ใช้ปรากฏการณ์การพาความร้อนมาอธิบาย นอกจากนั้นพบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 27 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนว่า “การเห็นไอน้ำออกจากปากขณะพูดคุยกันในฤดูหนาวนั้นเป็นเพราะความดันอากาศภายในร่างกายมีค่ามากกว่าความดันอากาศภายนอก จึงมีความร้อนหรือพลังงานถ่ายเทออกมาข้างนอก” และมีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 24 ที่ไม่ตอบคำถาม

เมื่อให้นิสิตนักศึกษาอธิบายสาเหตุที่กระป๋องเปล่าบุบบู้บี้เมื่อถูกเผาให้ร้อนจัดแล้วราดด้วยน้ำในทันทีทันใด พบว่านิสิตนักศึกษาเพียงร้อยละ 18 เท่านั้นที่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถอธิบายการบุบบู้บี้ของกระป๋องเปล่าเมื่อถูกเผาให้ร้อนจัดแล้วราดด้วยน้ำในทันทีทันใดได้ถูกต้อง โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิ และปริมาตรในการอธิบาย นิสิตนักศึกษาถึงร้อยละ 45 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่สามารถอธิบายโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิและปริมาตรได้ และมีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 33 ที่ไม่ตอบคำถาม

เมื่อให้นิสิตนักศึกษาเลือกข้อความที่สามารถอธิบายสมบัติของแก๊ส พบว่าไม่มีนิสิตนักศึกษาคนใดมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์โดยสามารถเลือกข้อความได้ถูกต้อง นิสิตนักศึกษาร้อยละ 45 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่สามารถอธิบายสมบัติของแก๊สได้ และมีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 33 ที่ไม่ตอบคำถาม

เกี่ยวกับพลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊ส พบว่านิสิตนักศึกษาเพียงร้อยละ 3 เท่านั้นที่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถเลือกข้อความที่อธิบายพลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊สได้ถูกต้อง นิสิตนักศึกษาร้อยละ 64 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับพลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊ส และมีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 30 ที่ไม่ตอบคำถาม

โดยสรุปในเรื่องความร้อนและอุณหพลศาสตร์นั้น พบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการเปลี่ยนรูปพลังงานศักย์เป็นพลังงานความร้อนมากที่สุด รองลงมา คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิ และพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ตามลำดับ ในทางกลับกัน พบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับพลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊สมากที่สุด รองลงมา คือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิ และสมบัติของแก๊ส ตามลำดับ นอกจากนั้นพบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับปรากฏการณ์การพาความร้อนมากที่สุด รองลงมา คือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ทั้งนี้ยังพบว่าแนวคิดเกี่ยวกับปรากฏการณ์การพาความร้อน และสมบัติของแก๊สนั้น ไม่มีนิสิตนักศึกษาคนใดมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เลย แนวคิดเกี่ยวกับปรากฏการณ์การพาความร้อนและสมบัติของแก๊สนี้เป็นแนวคิดที่ยากสำหรับนิสิตนักศึกษาในการทำความเข้าใจ อาจเป็นเพราะว่าไม่ค่อยมีการทดลองที่เป็นรูปธรรมแสดงให้เห็นมากนัก และครูผู้สอนมักจะสอนโดยใช้การบรรยาย สิ่งเหล่านี้ทำให้นิสิตนักศึกษาขาดความรู้ความเข้าใจในแนวคิดดังกล่าว (บรรจง, 2528)

เรื่องที่ 5 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

มีคำถามทั้งหมด 5 ข้อที่ใช้วัดแนวคิดเรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งได้แก่เรื่อง การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การแทรกสอดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การเกิดแถบสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าในเรื่องการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 18 เท่านั้นที่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถเลือกสถานการณ์การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ถูกต้อง โดยเลือกสถานการณ์ที่อิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งหรือความหน่วง นิสิตนักศึกษาร้อยละ 6 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะเลือกสถานการณ์ได้ไม่ถูกต้อง และนิสิตนักศึกษาร้อยละ 9 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าว่า “คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เพราะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ตั้งฉากกัน” และมีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 24 ที่ไม่ตอบคำถาม

เมื่อให้นิสิตนักศึกษาเรียงลำดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากมากไปหาน้อย พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 64 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถเรียงลำดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากมากไปหาน้อยได้ถูกต้อง ส่วนนิสิตนักศึกษาร้อยละ 27 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะเรียงลำดับความถี่ได้ไม่ถูกต้อง

ในการคำนวณหาความยาวคลื่นแสงที่ฉายลงบนเกรตติง พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 24 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถคำนวณหาความยาวคลื่นแสงที่ฉายลงบนเกรตติงได้ถูกต้องโดยอาศัยสมการแทรกสอดของคลื่น มีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 42 ที่มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่สามารถคำนวณได้ถูกต้อง

เมื่อให้นิสิตนักศึกษาอธิบายการเกิดแถบสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า พบว่าไม่มีนิสิตนักศึกษาคนใดมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์โดยสามารถอธิบายการเกิดแถบสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ถูกต้อง มีนิสิตนักศึกษาถึงร้อยละ 81 ที่ตอบคำถามแต่ไม่ได้อธิบายการเกิดแถบสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อให้ระบุว่าสมบัติที่เท่ากันเสมอของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสูญญากาศ พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 64 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถระบุว่าสมบัติที่เท่ากันเสมอของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสูญญากาศ คือ ความเร็วได้ นิสิตนักศึกษาร้อยละ 6 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน โดยมีแนวคิดว่า “คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดที่เคลื่อนที่ในสูญญากาศจะมีความถี่เท่ากัน” และมีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 30 ที่ไม่ตอบคำถาม

โดยสรุปในเรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น พบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมา คือ การแทรกสอดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตามลำดับ ในทางกลับกันพบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมา คือ การแทรกสอดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตามลำดับ นอกจากนั้นพบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมา คือ สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทั้งนี้ยังพบว่าแนวคิดเกี่ยวกับการเกิดแถบสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นไม่มีนิสิตนักศึกษาคนใดตอบถูกเลย ซึ่งแสดงให้เห็นความสำคัญของแนวคิดนี้ที่ต้องได้รับการแก้ไขจากครูผู้สอนอย่างเร่งด่วน จะเห็นได้ว่าแนวคิดในเรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นแนวคิดยากสำหรับผู้เรียน เพราะเป็นแนวคิดเชิงนามธรรมที่ต้องอาศัยการคิดขั้นสูงและการจินตนาการจากผู้เรียน (Pardhan and Bano, 2001: 315)

เรื่องที่ 6 ฟิสิกส์อะตอมและฟิสิกส์นิวเคลียร์

มีคำถามทั้งหมด 6 ข้อที่ใช้วัดแนวคิดเรื่องฟิสิกส์อะตอมและฟิสิกส์นิวเคลียร์ซึ่งได้แก่เรื่อง การทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกน การยิงอนุภาคแอลฟาไปยังแผ่นทองคำ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก สัญลักษณ์นิวเคลียร์ การสลายตัวให้อนุภาคแอลฟาและปฏิกิริยานิวเคลียร์ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าเมื่อให้นิสิตนักศึกษาเลือกชนิดประจุของหยดน้ำมันที่สามารถลอยอยู่ในสนามไฟฟ้าได้ นิสิตนักศึกษาร้อยละ 24 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถเลือกชนิดประจุได้ถูกต้อง โดยเลือกหยดน้ำมันที่มีประจุบวกเพราะจะถูกแรงจากสนามไฟฟ้ากระทำในทิศตรงข้ามกับน้ำหนักของหยดน้ำมัน จึงมีโอกาสที่จะลอยอยู่ในสนามไฟฟ้าได้ นิสิตนักศึกษาร้อยละ 45 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่ได้คำนึงถึงทิศทางของแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า นิสิตนักศึกษาร้อยละ 6 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนว่า “เมื่อสนามไฟฟ้ามีทิศขึ้นในแนวดิ่ง หยดน้ำมันที่มีโอกาสลอยอยู่ในสนามไฟฟ้าได้ คือ หยดน้ำมันที่มีประจุบวก เพราะจะถูกสนามไฟฟ้าดูดและผลักไว้” และมีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 24 ที่ไม่ตอบคำถาม

เกี่ยวกับเรื่องการยิงอนุภาคแอลฟาไปยังแผ่นทองคำ พบว่ามีนิสิตนักศึกษาเพียงร้อยละ 6 เท่านั้นที่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถอธิบายพลังงานจลน์ของอนุภาคแอลฟา ณ ตำแหน่งที่เข้าใกล้นิวเคลียสของทองคำมากที่สุดได้ถูกต้อง โดยอธิบายว่าพลังงานจลน์ของอนุภาคแอลฟา ณ ตำแหน่งที่เข้าใกล้นิวเคลียสของทองคำมากที่สุดจะมีค่าเท่ากับศูนย์ เพราะอนุภาคแอลฟาหยุดนิ่ง มีนิสิตนักศึกษาถึงร้อยละ 52 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้อง โดยอธิบายว่าพลังงานจลน์ของอนุภาคแอลฟา ณ ตำแหน่งที่เข้าใกล้นิวเคลียสของทองคำมากที่สุดจะมีค่าหนึ่งๆ นิสิตนักศึกษาเพียงร้อยละ 3 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนโดยมีแนวคิดว่า “ถ้ายิงอนุภาคแอลฟาผ่านแผ่นทองคำในแนวตรง พลังงานจลน์ของอนุภาคแอลฟา ณ

ตำแหน่งที่เข้าใกล้นิวเคลียสของทองคำมากที่สุด จะมีค่าเท่าเดิม เพราะอนุภาคแอลฟาไม่มีประจุ จึงไม่มีแรงดึงดูดระหว่างประจุเกิดขึ้น" และมีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 39 ที่ไม่ตอบคำถาม

เมื่อให้นิสิตนักศึกษาทำนายผลที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก ในกรณีที่โฟตอนของแสงที่ให้กับโลหะมีค่าเท่ากับฟังก์ชันงาน พบว่ามีนิสิตนักศึกษาเพียงร้อยละ 9 เท่านั้นที่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถทำนายผลได้ถูกต้องว่าจะทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน ทำให้พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอนเป็นศูนย์ และทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าในวงจร นิสิตนักศึกษาร้อยละ 21 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเราะไม่สามารถทำนายผลได้ถูกต้อง และมีนิสิตนักศึกษาร้อยละ 6 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน โดยมีแนวคิดว่า "ถ้าโฟตอนของแสงที่ให้กับโลหะมีค่าเท่ากับฟังก์ชันงาน (work function) ของโลหะนั้น จะทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกมามีค่าเท่ากับปริมาณแสงที่ตกกระทบ และฟังก์ชันงานที่ได้มีค่าคงที่"

ในเรื่องสัญลักษณ์นิวเคลียร์ พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 67 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถระบุจำนวนนิวตรอน โปรตอน และอิเล็กตรอนของอะตอมของ $^{210}_{84}Po$ ได้ถูกต้อง โดยตัวเลขข้างล่างจะแสดงจำนวนโปรตอนหรืออิเล็กตรอนและผลลัพธ์ของตัวเลขข้างบนลบด้วยตัวเลขข้างล่างจะแสดงจำนวนนิวตรอน มีนิสิตนักศึกษา เพียงร้อยละ 3 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะไม่สามารถระบุจำนวนนิวตรอน โปรตอน และอิเล็กตรอนได้ นอกจากนี้ยังพบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 36 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถระบุจำนวนโปรตอนและนิวตรอนของธาตุกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้รังสีแอลฟาได้ถูกต้อง โดยธาตุกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้รังสีแอลฟาจะมีจำนวนโปรตอนและนิวตรอนลดลงอย่างละ 2 ตัว นิสิตนักศึกษาร้อยละ 18 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะระบุจำนวนโปรตอนและนิวตรอนของธาตุกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้รังสีแอลฟาได้ไม่ถูกต้อง และนิสิตนักศึกษาร้อยละ 6 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน โดยมีแนวคิดว่า "เมื่อธาตุกัมมันตรังสีสลายตัวให้รังสีแอลฟา นิวเคลียสของธาตุนั้นจะมีจำนวนโปรตอนและนิวตรอนลดลงอย่างละ 1 ตัว"

ในเรื่องปฏิกิริยานิวเคลียร์ พบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 42 มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถเขียนปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบ (n , γ) ของนิวเคลียส $^{109}_{47}Ag$ ได้ถูกต้อง โดยนิวเคลียส $^{109}_{47}Ag$ ถูกยิงด้วยนิวตรอน จะมีจำนวนนิวตรอนเพิ่มขึ้น 1 ตัว และปล่อยรังสีแกมมาออกมาด้วย นิสิตนักศึกษาร้อยละ 18 มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเพราะเขียนปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบ (n , γ) ของนิวเคลียส $^{109}_{47}Ag$ ได้ไม่ถูกต้อง นอกจากนั้นพบว่านิสิตนักศึกษาร้อยละ 12 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับปฏิกิริยานิวเคลียร์ เช่น

...เขียนปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบ (n , γ) ของ $^{109}_{47}Ag$ ได้ดังนี้

$$^{109}_{47}Ag + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{106}_{45}X$$

โดยสรุปในเรื่องฟิสิกส์อะตอมและฟิสิกส์นิวเคลียร์นั้น พบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับสัญลักษณ์นิวเคลียร์มากที่สุด รองลงมา คือ ปฏิกิริยานิวเคลียร์ และการสลายตัวให้อนุภาคแอลฟา ตามลำดับ ในทางกลับกัน พบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับการยิงอนุภาคแอลฟาไปยังแผ่นทองคำมากที่สุด รองลงมา คือ การทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกน และปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่านิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับปฏิกิริยานิวเคลียร์มากที่สุด รองลงมา คือ การทดลองหยดน้ำมันของ มิลลิแกน ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก การสลายตัวให้อนุภาคแอลฟา และการยิงอนุภาคแอลฟาไปยังแผ่นทองคำ ตามลำดับ

การที่นิสิตนักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องอาจเป็นเพราะว่าในการเรียนการสอนเรื่องดังกล่าวนี้ นิสิตนักศึกษาจะไม่ได้มีโอกาสทำการทดลองจริง ๆ จะเห็นเพียงแค่ภาพของการทดลองในตำราเท่านั้น (บรรจง, 2528) ดังนั้นนิสิตนักศึกษาจึงพยายามจดจำสมการการคำนวณมากกว่าการทำความ

เข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นครูผู้สอนอาจช่วยนิสิตนักศึกษาเรียนรู้เรื่องนี้ด้วยการให้ลงมือปฏิบัติ ครูผู้สอนควรได้อธิบายแนวคิดพื้นฐานเพื่อให้นิสิตนักศึกษาได้เข้าใจแนวคิดที่ง่ายไปหาแนวคิดที่ยากขึ้นตลอดจนทบทวนความรู้เดิมให้กับนิสิตนักศึกษา

ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

ผลการวิจัยนี้บ่งชี้ว่านิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์ยังประสบปัญหาในเรื่องเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ที่สอนอยู่มาก เนื่องจากนิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องและแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในทุกเรื่องหลัก แสดงให้เห็นการที่นิสิตนักศึกษาไม่สามารถประยุกต์ใช้แนวคิดเกี่ยวกับฟิสิกส์ในการอธิบายเหตุการณ์ในชีวิตประจำวันและเชื่อมโยงแนวคิดทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องไว้ด้วยกันได้จากคำถามที่ถาม สิ่งนี้สะท้อนให้เห็นถึงสภาพปัญหาของการเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาของนิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์ในเรื่อง กลศาสตร์ คลื่น ไฟฟ้าแม่เหล็ก ความร้อนและอุณหพลศาสตร์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และฟิสิกส์อะตอมและฟิสิกส์นิวเคลียร์ ซึ่งครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ นักการศึกษา นักวิทยาศาสตร์ศึกษา และผู้บริหารสถาบันการผลิตครูควรตระหนัก และหาทางป้องกันไม่ให้นิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่ไม่ถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวคิดที่คลาดเคลื่อน เพราะหากนิสิตนักศึกษามีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แล้ว นิสิตนักศึกษาเหล่านั้นอาจถ่ายทอดแนวคิดที่ไม่ถูกต้องหรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อนดังกล่าวไปยังนักเรียนที่ตนเองสอนได้ ดังที่ Pardhan and Bano (2001: 315) กล่าวว่า“ข้อค้นพบเกี่ยวกับแนวคิดที่คลาดเคลื่อนนี้ จะช่วยให้นักวิทยาศาสตร์ศึกษาได้เข้าใจปัญหาของนิสิตนักศึกษา และได้ออกแบบการเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาในโปรแกรมวิชาที่จะช่วยให้นิสิตนักศึกษาที่มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนได้มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เพื่อไม่ให้นิสิตนักศึกษาถ่ายทอดแนวคิดที่คลาดเคลื่อนนั้นไปยังนักเรียนที่สอน แต่ให้นิสิตนักศึกษาเหล่านั้นได้นำเสนอแนวคิดที่ชัดเจนและและคำอธิบายที่ถูกต้อง”

ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะดังนี้

1. ครูผู้สอนควรสำรวจแนวคิดพื้นฐานก่อนเรียนเรื่องใหม่ของผู้เรียน เพื่อให้ทราบว่าผู้เรียนมีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องหรือคลาดเคลื่อนหรือไม่ อย่างไร จะได้หาแนวทางส่งเสริมให้ผู้เรียนเปลี่ยนแนวคิดที่ไม่ถูกต้องหรือคลาดเคลื่อนดังกล่าวเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง อันจะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้แนวคิดเกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์เรื่องใหม่ได้ถูกต้องยิ่งขึ้น นอกจากนั้นควรมีการสำรวจแนวคิดของผู้เรียนหลังเรียน เพื่อให้แน่ใจว่าผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และเปลี่ยนแปลงแนวคิดแล้ว

2. ครูผู้สอนควรเริ่มสอนเนื้อหาวิชาฟิสิกส์จากแนวคิดที่ง่ายไปสู่แนวคิดที่ยาก เช่น จากแนวคิดเกี่ยวกับกลศาสตร์ค่อย ๆ นำไปสู่แนวคิดเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือฟิสิกส์นิวเคลียร์ เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้แนวคิดเกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์ได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

3. ครูผู้สอนควรส่งเสริมให้ผู้เรียนได้มีโอกาสลงมือปฏิบัติการทดลองหรือทำกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงแนวคิดเชิงเชิงรูปธรรมกับแนวคิดเชิงนามธรรมทางฟิสิกส์ได้ นอกจากนั้นครูผู้สอนควรส่งเสริมให้ผู้เรียนคิดจินตนาการในแนวคิดที่เกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์ให้มากขึ้น เพื่อให้การเรียนรู้แนวคิดเชิงนามธรรมในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์เป็นไปได้ดียิ่งขึ้น

4. สถาบันการผลิตครูควรได้ปรับปรุงการเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ของนิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูวิชาเอกฟิสิกส์ในเรื่องกลศาสตร์ คลื่น ไฟฟ้าแม่เหล็ก ความร้อนและอุณหพลศาสตร์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และฟิสิกส์อะตอมและฟิสิกส์นิวเคลียร์ เพื่อให้นิสิตนักศึกษามีความรู้ความเข้าใจแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์

อย่างถ่องแท้ นอกจากนั้นควรมีการทดสอบความรู้พื้นฐานในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ก่อนออกฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูหรือก่อนจบการศึกษา เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมของนิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูก่อนปฏิบัติงานสอนจริง

เอกสารอ้างอิง

ไกรรักษ์ โชติรัตน์. 2537. *มโนภาพที่คลาดเคลื่อนในวิชาวิทยาศาสตร์เรื่องไฟฟ้าของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 3 จังหวัดสระแก้ว.* กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บรรจง ด่านวัฒนาพงษ์. 2528. *การศึกษาปัญหา สาเหตุของปัญหา และวิธีการแก้ปัญหาการใช้อุปกรณ์การสอนปฏิบัติการวิชาฟิสิกส์ของครูฟิสิกส์ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีการศึกษา 2527.* มหาสารคาม: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

วงษ์เดือน กองแก้ว. 2536. *การศึกษาปัญหาการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ ว 421 ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสังกัดกรมสามัญศึกษา เขตการศึกษา 6.* กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2545. *คู่มือการจัดการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

Gilbert, J. K., M. Watts and R. J. Osborne. 1982. "Students' conception of ideas in mechanics". *Physics Education.* 17: 62-66.

Hynd, C., D. Alvermann and G. Qian. 1997. "Preservice elementary school teachers' conceptual change about projectile motion: Refutation text, demonstration, affective factors, and relevance". *Science Education* 81: 1-27.

National Research Council. 1995. *National Science Education Standards.* Washington, DC: National Academy Press.

Office of Rajabhat Institute Council. 2002. *Conceptual Framework to Reform the Teacher and Educational Personnel Preparation and Development.* Available: http://www.rajabhat.ac.th/edu/develop.htm.

Office of the National Education Commission (ONEC). 2000. *Learning Reform: A Learner-Centred Approach.* Bangkok: ONEC.

Osborne, R. J. and Gilbert, J. K. (1980). A technique for exploring students' views of the world. *Physics Education* 15, 376-379.

Palmer, D. 2001. "Students' alternative conceptions and scientifically acceptable conceptions about gravity". *International Journal of Science Education* 23(7): 691-706.

Pardhan, H. and Y. Bano. (2001). "Science teachers' alternate conceptions about direct-currents". *International Journal of Science Education* 23(3): 301-318.

Preece, P. F. W. 1997. "Force and motion: Pre-service and practising secondary science teachers' language and understanding". *Research in Science and Technological Education* 15(1): 123-128.

Renner, J. W. 1990. "Understandings and misunderstandings of eighth graders of four physics concepts found in textbooks". *Journal of Research in Science Teaching* 27(1): 35-54.

Secretariat of the Teacher Council. 1994. *The seminar on "guidelines for shifting teaching profession standards".* Bangkok: Secretariat of the Teacher Council.

Tuan, H. L. and R. C. Kaou. 1997. "Development of a grade eight Taiwanese physical science teachers' pedagogical content knowledge development". *Proceeding of the National Science Council Part D: Mathematics, Science and Technology Education* 7(3): 135-154.