

# ปฏิรูปการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นระดับปริญญาตรีเพื่อแก้ไข ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนต่อเป้าหมายการเรียนรู้

## Transforming Undergraduate Introductory Physics Laboratory to Eliminate Misunderstanding of its Goals

วิชาญ คงธรรม<sup>1\*</sup>

Wichan Khongtham<sup>1\*</sup>

### บทคัดย่อ

การผลิตนักวิทยาศาสตร์สำหรับศตวรรษที่ 21 ต้องให้ผู้เรียนคิดแบบนักวิทยาศาสตร์และสร้างความรู้แบบนักวิทยาศาสตร์ การเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นจึงมีเป้าหมายให้นักศึกษาคิดและสร้างความรู้แบบนักฟิสิกส์ งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักศึกษาเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้น และพัฒนาบทเรียนเรื่องการคิดแบบนักฟิสิกส์ โดยศึกษาผลการใช้บทเรียนกับนักศึกษาชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา ฟส102 (ฟิสิกส์พื้นฐาน) ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 40 คน เครื่องมือในการวิจัย ประกอบด้วย คำถามเพื่อตรวจวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้น แบบสัมภาษณ์ และบทเรียนเรื่องการคิดแบบนักฟิสิกส์ที่นักวิจัยสร้างขึ้น ผลการวิจัยพบว่า นักศึกษามีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเป้าหมายของการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นว่า เพื่อให้ผู้เรียนเชื่อมโยงทฤษฎีกับการปฏิบัติ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดทักษะการทดลองโดยการปฏิบัติตามขั้นตอนบทปฏิบัติการ และการสร้างความรู้ทางฟิสิกส์เป็นหน้าที่ของนักฟิสิกส์เท่านั้น หลังจากการใช้บทเรียนพบว่าบทเรียนมีประสิทธิภาพ นักศึกษาเข้าใจว่าการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์มีเป้าหมายเพื่อให้ผู้เรียนคิดแบบนักฟิสิกส์และสร้างความรู้แบบนักฟิสิกส์ และนักศึกษาตระหนักและมั่นใจว่าสามารถสร้างความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ได้เช่นเดียวกับนักฟิสิกส์

**คำสำคัญ:** ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน เป้าหมายการเรียนรู้ ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้น

### Abstract

The scientist productions for the 21<sup>st</sup> century have to think like scientists and construct knowledge like scientists for students, so are goals of the introductory Physics laboratory. The purposes of this research were to study the student's misunderstanding on the goals of the introductory Physics laboratory and develop think like physicists lesson. We examined 40 Maejo University students who registered PH102 (Basic Physics) course in the 2<sup>nd</sup> semester of the academic year 2016. This research was conducted through diagnostic questions for the goal and were developed of the undergraduate lab and think like physicists lesson. Interviews and collected to evaluate the student's misunderstanding. We found that students had misunderstanding about the learning goals in the laboratory for the student to link theory and practice and to learn experimental skill by following lab direction. Physics knowledge is built by only physicists. After using the lesson, we found that lesson was effective. Students understand that the laboratory course goal will get students to start thinking like physicists by constructing knowledge that make them aware and feel confident that they can construct knowledge in the same way as physicists do.

**Keywords:** Misunderstanding, Learning Goals, Introductory Physics Laboratories

<sup>1</sup> ผศ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

<sup>1</sup> Asst. Prof. Dr., Applied Physics, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, 50290

\* Corresponding author: E-mail address: khongtham6311@gmail.com

## บทนำ

ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 ผู้วิจัยได้รับมอบหมายจากสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ให้ทำการสอนปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐาน ผู้วิจัยได้สอนพร้อมกับเริ่มศึกษาเอกสารเพื่อที่จะหาคำตอบว่า การเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐานในระดับปริญญาตรีมีเป้าหมายอะไรที่ต้องการให้เกิดกับนักศึกษา และการจัดกระบวนการเรียนการสอนควรเป็นเช่นใด พบว่ามีงานวิจัยทางฟิสิกส์ศึกษาจำนวนมากศึกษาเกี่ยวกับการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นในระดับปริญญาตรีงานวิจัยเหล่านั้นได้มีข้อเสนอแนะให้มีการเปลี่ยนแปลงทั้งเป้าหมายและกิจกรรมการเรียนการสอน ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากข้อเรียกร้องของสถานประกอบการและแหล่งงาน ต้องการคนที่มีทักษะและความสามารถที่เหมาะสมกับงานในศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะนักวิทยาศาสตร์ที่สามารถพัฒนาและแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับงานได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนั้น ตำแหน่งงานในสถาบันการศึกษาและหน่วยงานของรัฐมีน้อยมาก ตำแหน่งงานส่วนใหญ่จึงอยู่ที่สถานประกอบการภายนอก และยังพบว่า มีงานวิจัยทางฟิสิกส์ศึกษาจำนวนมากได้กล่าวถึงนิยามของฟิสิกส์ว่าเป็นวิธีแห่งการคิดมากกว่าที่จะนิยามฟิสิกส์ว่าเป็นกลุ่มของเนื้อหาวิชาทางฟิสิกส์ ซึ่งแสดงว่าการเรียนวิชาฟิสิกส์ทำให้ผู้เรียนได้รู้วิธีคิดทางฟิสิกส์นั้นมีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าได้ความรู้เนื้อหาทางฟิสิกส์ [1-5] และพบว่า ความต้องการของแหล่งงานต้องการนักฟิสิกส์ที่มีความรู้ในเนื้อหาวิชาที่หลากหลายเพื่อสร้างความรู้ใหม่ได้ นักศึกษาจะต้องคิดแบบนักฟิสิกส์ ในงานวิจัยทางฟิสิกส์ศึกษา [1-4] มีความเห็นสอดคล้องกันว่า การคิดและสร้างความรู้แบบนักฟิสิกส์ คือ ความสามารถในการคิดและทำ ดังนี้ การสร้างความรู้ การสร้างโมเดล การออกแบบการทดลอง พัฒนากลยุทธ์ในการทำทดลอง การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล และการสื่อสารทางฟิสิกส์ สำหรับเป้าหมายของการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์ระดับปริญญาตรีของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ สอดคล้องกับเป้าหมายของสถาบันการศึกษาฟิสิกส์ส่วนใหญ่ทั่วโลก ที่ไม่ได้ให้ผู้เรียนคิดแบบนักฟิสิกส์และทำแบบนักฟิสิกส์ แต่มีเป้าหมายให้ผู้เรียนได้เชื่อมโยงเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ที่เรียนในบรรยายกับปฏิบัติการฟิสิกส์ และให้ปฏิบัติการทดลองตามขั้นตอนที่อยู่ในบทปฏิบัติการ อย่างไรก็ตาม การที่จะให้ผู้เรียนคิดตั้งคำถาม ออกแบบการทดลอง เก็บรวบรวมข้อมูล และสรุปด้วยตนเอง ผู้เรียนไม่สามารถกระทำได้ ดังนั้น กิจกรรมการสอนปฏิบัติการในปัจจุบันจึงได้ระบุวิธีการทดลองทั้งหมดให้ผู้เรียนทำตาม ผู้เรียนจึงไม่ได้คิดและทำด้วยตนเอง เพื่อให้เป็นไปตามเป้าหมายของการเรียนปฏิบัติการ ปัญหาที่แก้ได้โดยการแนะนำวิธีการในการคิดและสร้างความรู้แบบนักฟิสิกส์พร้อมทั้งยกตัวอย่างที่ผู้เรียนเข้าใจได้ ปฏิบัติได้ และประยุกต์ใช้กับปัญหาต่าง ๆ ได้ ซึ่งไม่ใช่เป็นการกำหนดขั้นตอนทั้งหมดให้ทำตาม แต่ให้แนวทางที่เป็นภาพรวมเท่านั้น

ผู้วิจัยได้ออกแบบกิจกรรมการเรียนเรื่องการคิดแบบนักฟิสิกส์ ซึ่งประกอบด้วย ตัวอย่างการทำกิจกรรมการทดลอง เรื่องการเลือกซื้อกระเบื้องปูพื้นลานกลางแจ้งหน้าบ้าน เพื่อให้นักศึกษาใช้เป็นแนวทางในการเรียนปฏิบัติการ และใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาที่อาจพบได้ในชีวิตการทำงานและชีวิตประจำวัน นักศึกษาจะเห็นว่า ความรู้ที่ทดลองเรื่องการเลือกซื้อกระเบื้องปูพื้นลานกลางแจ้งหน้าบ้าน ไม่ได้รับรางวัลโนเบล แต่ทำให้สมาชิกในครอบครัวโดยเฉพาะเด็กและผู้สูงอายุปลอดภัย และผู้วิจัยคาดหวังว่าบทเรียนเรื่องการคิดแบบนักฟิสิกส์ ซึ่งมีตัวอย่างการทดลองเรื่องการเลือกซื้อกระเบื้องปูพื้นลานกลางแจ้งหน้าบ้าน จะเป็นแนวทางในการเขียนบทนาในบทปฏิบัติการเพื่อให้นักศึกษาได้ศึกษาก่อนเรียนปฏิบัติการต่าง ๆ ในระดับปริญญาตรี

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักศึกษาเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้น
2. เพื่อพัฒนาบทเรียนเรื่องการคิดแบบนักฟิสิกส์และศึกษาผลการใช้บทเรียนกับนักศึกษา

## ระเบียบวิธีการศึกษา

### ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย (Participants) นี้คือ ผู้วิจัยซึ่งเป็นผู้สอนปฏิบัติการรายวิชา ฟส 102 (ฟิสิกส์พื้นฐาน) และ นักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนวิชา ฟส 102 (ฟิสิกส์พื้นฐาน) ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จำนวน 40 คน

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ คำถามเพื่อตรวจวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น และใช้เป็นแบบสัมภาษณ์ชนิดไม่ได้กำหนดโครงสร้าง (Unstructured Interview) เป็นการสนทนา ซักถาม โดยใช้คำตอบของผู้เรียนเป็นตัวกำหนดคำถามของข้อต่อไป และบทเรียนเรื่องการคิดแบบนักฟิสิกส์ที่

ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยนำบทเรียนและคำถามเพื่อตรวจวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้น ไปทดลองใช้กับนักศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวน 28 คน ซึ่งนักศึกษาเหล่านี้ได้เรียนปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐานในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 มาแล้ว ในส่วนของคำถามเพื่อตรวจวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้น ผู้วิจัยใช้คำตอบที่เห็นด้วยและคำตอบที่ไม่เห็นด้วยจากการทดสอบนักศึกษาแต่ละคนเป็นข้อมูลในการสัมภาษณ์เพื่อหาหลักฐานยืนยันว่า คำตอบที่เห็นด้วยและคำตอบที่ไม่เห็นด้วยสอดคล้องกับการให้เหตุผลของนักศึกษาหรือไม่ ผลปรากฏว่า คำตอบที่เห็นด้วยและคำตอบที่ไม่เห็นด้วยจากผลการทดสอบสอดคล้องกับเหตุผลของนักศึกษาที่ได้จากการสัมภาษณ์ ในส่วนของบทเรียน หลังจากที่ได้ทดลองใช้แล้วได้นำผลไปปรับปรุงกิจกรรมการเรียนรู้ ในส่วนคำถามเพื่อตรวจวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้น และตัวอย่างบทเรียน มีดังนี้

#### คำถามตรวจวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นก่อนใช้บทเรียน

ให้นักศึกษาเขียนเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อที่เห็นด้วยกับข้อความในข้อนั้น และเขียนเครื่องหมาย X หน้าข้อที่ไม่เห็นด้วยกับข้อความในข้อนั้น

1. เป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เพื่อให้เข้าใจเนื้อหาฟิสิกส์ที่เรียนจากการบรรยายดีขึ้น
2. เป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เพื่อยืนยันว่า ผลการทดลองสอดคล้องกับทฤษฎีที่เรียนจากการบรรยาย
3. เป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เพื่อให้นักศึกษาได้ทักษะในการทดลองโดยปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในบทปฏิบัติการ
4. เป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เพื่อให้นักศึกษาสามารถค้นคว้าทดลองให้ได้ความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ (ซึ่งความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ อาจจะนำไปสู่การอธิบาย ทำนาย บรรยาย หรือใช้แก้ปัญหาปรากฏการณ์ต่าง ๆ หรือนำไปสู่การประยุกต์เป็นเทคโนโลยีหรือนวัตกรรม)

#### คำถามตรวจวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นหลังใช้บทเรียน

ให้นักศึกษาเขียนเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อที่เห็นด้วยกับข้อความในข้อนั้น และเขียนเครื่องหมาย X หน้าข้อที่ไม่เห็นด้วยกับข้อความในข้อนั้น

1. เป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เพื่อให้เข้าใจเนื้อหาฟิสิกส์ที่เรียนจากการบรรยายดีขึ้น
2. เป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เพื่อยืนยันว่า ผลการทดลองสอดคล้องกับทฤษฎีที่เรียนจากการบรรยาย
3. เป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เพื่อให้นักศึกษาได้ทักษะในการทดลองโดยปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในบทปฏิบัติการ
4. เป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เพื่อให้นักศึกษาสามารถค้นคว้าทดลองทางฟิสิกส์ทำให้ได้ความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ (ซึ่งความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ อาจจะนำไปสู่การอธิบาย ทำนาย บรรยาย หรือใช้แก้ปัญหาปรากฏการณ์ต่าง ๆ หรือนำไปสู่การประยุกต์เป็นเทคโนโลยีหรือนวัตกรรม)
5. เป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เพื่อให้นักศึกษารู้วิธีคิดและทำแบบนักฟิสิกส์
6. เป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เพื่อให้นักศึกษาได้ทักษะในการทดลองโดยออกแบบการทดลองด้วยตนเองซึ่งอาศัยวิธีคิดและวิธีทดลองแบบนักฟิสิกส์

ตัวอย่างบทเรียน เรื่องการคิดแบบนักฟิสิกส์ ประกอบด้วย 3 ส่วน ส่วนที่ 1 บทนำ ส่วนที่ 2 ความหมายของการคิดและการสร้างความรู้แบบนักฟิสิกส์ และส่วนที่ 3 ตัวอย่างการสร้างความรู้ทางฟิสิกส์เรื่อง การเลือกซื้อกระเบื้องปูพื้นลานกลางแจ้งหน้าบ้าน มีดังนี้

1. บทนำ จะกล่าวถึงความรู้และทักษะของนักฟิสิกส์ที่แหล่งงานในศตวรรษที่ 21 ต้องการ ความรู้และความสามารถที่เกิดจากการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐานในระดับปริญญาตรีที่สอดคล้องกับทักษะและความสามารถที่เป็นที่ต้องการเพื่อการทำงานในศตวรรษที่ 21

2. ความหมายของการคิดและการสร้างความรู้แบบนักฟิสิกส์ ซึ่งประกอบด้วย 6 ประเด็น ดังนี้ 1) สร้างความรู้ 2) สร้างโมเดล 3) ออกแบบการทดลอง 4) การใช้เครื่องมือ 5) วิเคราะห์และแปลผลข้อมูล และ 6) การสื่อสารทางฟิสิกส์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การสร้างความรู้ (Constructing Knowledge) นักศึกษาสามารถสร้างความรู้ได้โดยการคิดแบบนักฟิสิกส์ และสร้างความรู้แบบนักฟิสิกส์ โดยยึดแนวทางในการรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และแปลความหมายข้อมูลจากการวัดอย่างมีจรรยาบรรณและความรับผิดชอบเยี่ยงนักวิทยาศาสตร์ และลงข้อสรุปจากข้อมูลที่ได้ นักศึกษาต้องตระหนักว่าถ้าใช้แนวทางในการคิดและทำแบบนักฟิสิกส์ (ดังรายละเอียดข้อ 2.2-2.6) จะสามารถสร้างความรู้ทางฟิสิกส์ได้เช่นเดียวกับนักฟิสิกส์

2.2 การสร้างโมเดล (Modeling) เป็นการสร้างตัวแทนที่เป็นนามธรรมของระบบที่เป็นจริงที่กำลังศึกษาอยู่ในปฏิบัติการฟิสิกส์ โมเดลเป็นสิ่งที่เชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีกับการทดลอง และเชื่อมโยงระหว่างสิ่งที่ถูกสร้างโมเดลกับโมเดลที่สร้างขึ้น โมเดลในทางฟิสิกส์ส่วนมากเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์และโมเดลทางคอมพิวเตอร์ นักศึกษาต้องสามารถสร้างโมเดลเพื่อเป็นตัวแทนระบบทางกายภาพ รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณต่าง ๆ ของโมเดล ใช้คอมพิวเตอร์พัฒนาโมเดล ใช้โมเดลเพื่อทำนายผลที่เกิดจากการทดลองและการแปรผลการทดลองในบริบทของโมเดลที่ได้พัฒนาขึ้น นักศึกษาต้องรับรู้ถึงข้อจำกัดของโมเดล รวมทั้งความไม่แน่นอนของการวัดและข้อจำกัดของเครื่องมือวัด

2.3 ออกแบบการทดลอง (Designing Experiments) นักศึกษาต้องสามารถตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ได้ สามารถออกแบบและพัฒนากการทดลองเพื่อตอบคำถามที่ตั้งไว้ได้ สามารถทดสอบโมเดลและสมมุติฐานได้ สามารถพิจารณาเงื่อนไขของข้อมูล เช่น ด้านคุณภาพที่จะนำมาใช้ งบประมาณ เวลา ความพร้อมด้านเครื่องมืออุปกรณ์และความปลอดภัย นักศึกษาสามารถเตรียมและแก้ไขปัญหาทางเทคนิคเกี่ยวกับอุปกรณ์ให้พร้อมใช้งาน

2.4 พัฒนาทักษะในการทำการทดลอง (Developing Technical and Practical Laboratory Skill) นักศึกษาจะต้องได้ศึกษาเกี่ยวกับเครื่องมือมาตรฐานต่าง ๆ ทางฟิสิกส์ นักศึกษาต้องเรียนรู้วิธีการทำการวัดโดยใช้เครื่องมือมาตรฐานทางฟิสิกส์ และบันทึกผลจากการวัดหรือการสังเกตได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ต้องเข้าใจข้อจำกัดของเครื่องมือวัด สามารถเลือกใช้เครื่องมือวัดที่เหมาะสมกับปริมาณของสิ่งที่ทำการวัด นักศึกษาต้องสามารถใช้คอมพิวเตอร์เพื่อจัดเก็บข้อมูล รวมทั้งสามารถใช้อุปกรณ์ทำการทดลองได้อย่างปลอดภัย

2.5 การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล (Analyzing and Visualizing Data) การวิเคราะห์ข้อมูลถือเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการทดลอง เนื่องจากข้อมูลที่รวบรวมมาได้ไม่มีความหมายถ้ายังไม่ได้แปลความหมาย นักศึกษาต้องสามารถใช้วิธีการทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล เขียนกราฟที่เป็นตัวแทนของข้อมูล บอกขนาดความไม่แน่นอนของข้อมูล และคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัด และสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองกับโมเดลทางคณิตศาสตร์ โมเดลทางคอมพิวเตอร์ หรือสถานการณ์จำลอง

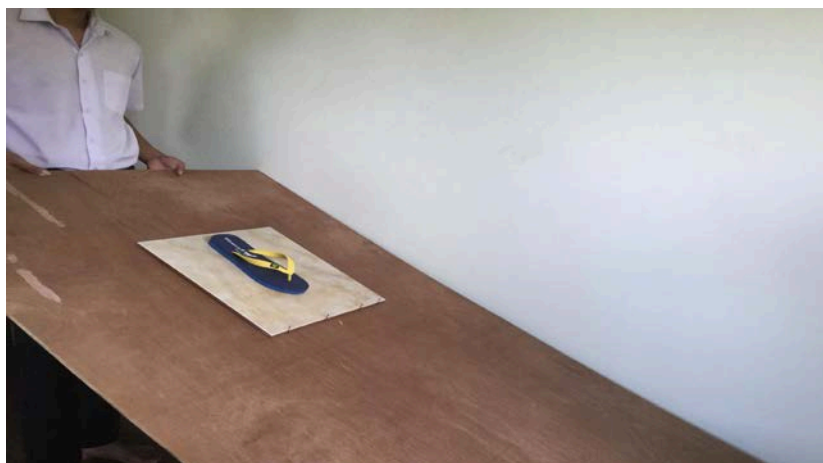
2.6 การสื่อสารทางฟิสิกส์ (Communicating Physics) การสื่อสารเป็นกระบวนการที่เกี่ยวกับการสร้างและการนำเสนอผลจากการศึกษาทดลองและความคิดที่เป็นผลมาจากการศึกษาต่อผู้อื่น ที่เป็นผู้ฟังหรือผู้อ่าน ผู้แปลความหมาย และผู้ทำการประเมิน การเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์ทำให้ได้พัฒนาทักษะการสื่อสารทางวิทยาศาสตร์ได้เป็นอย่างดี นักศึกษาต้องเรียนรู้การนำเสนอเหตุผลเพื่อการโน้มน้าวและการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์โดยใช้หลักฐานจากการทดลองสนับสนุน ซึ่งประกอบด้วย กราฟ ตาราง ตัวเลขที่แสดงค่าความไม่แน่นอน และแผนภาพ นอกจากนี้ นักศึกษาจะต้องเรียนรู้การนำเสนอในสภาพจริงในรูปแบบต่าง ๆ เช่น รายงานทางวิชาการ บทความทางวิชาการ การนำเสนอปากเปล่าและการนำเสนอแบบโปสเตอร์ นักศึกษาต้องพัฒนาทักษะการสื่อสารระหว่างบุคคลในการปฏิบัติการฟิสิกส์โดยการร่วมมือกันและการทำงานเป็นทีม ซึ่งเป็นการเพิ่มทักษะความร่วมมือและการทำงานเป็นทีม

3. ตัวอย่างการสร้างความรู้ทางฟิสิกส์เรื่อง การเลือกซื้อกระเบื้องปูพื้นลานกลางแจ้งหน้าบ้าน สถานการณ์ของปัญหา ต้องการปูกระเบื้องลานกลางแจ้งหน้าบ้านเป็นบริเวณกว้าง โดยที่ต้องเป็นกระเบื้องปูพื้นที่ไม่ลื่น และได้ไปเลือกซื้อกระเบื้องที่ร้านจำหน่าย ปรากฏว่าเลือกกระเบื้องที่ชอบได้สองแบบ คือ กระเบื้องลายการ์ตูน ซึ่งโฆษณาว่าป้องกันลื่นได้ดีที่สุด และกระเบื้องลายดอกไม้ ซึ่งโฆษณาว่าป้องกันลื่นได้ดีกว่า แต่ต้องการทดสอบว่ากระเบื้องแบบไหนป้องกันลื่นได้ดีกว่า จึงทำการทดลองหาคำตอบเพื่อตัดสินใจซื้อโดยวิธีคิดและทำแบบนักฟิสิกส์ คือ

3.1 สร้างโมเดล โดยใช้กรอบแนวคิดเรื่องแรงเสียดทานสถิต เพื่ออธิบายความเสียดทานของกระเบื้องกับรองเท้า ฟองน้ำ โดยวางรองเท้าฟองน้ำบนพื้นเอียงที่เป็นกระเบื้อง ทำให้พื้นเอียงมีค่าทำมุมเอียงเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงค่ามุมเอียงที่รองเท้าเริ่มเคลื่อนที่ หมุนของพื้นเอียงยาว  $L$  จากการเปลี่ยนความสูงจากพื้นถึงปลายพื้นเอียง  $H$  คือ  $\theta = \sin^{-1} \frac{H}{L}$  เมื่อวัดความสูง  $H$  ขณะที่รองเท้าฟองน้ำเริ่มเคลื่อนที่ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต จาก  $\mu_s = \tan \theta$

3.2 ออกแบบการทดลอง วัดความยาวของไม้กระดานอัดโดยใช้สายวัดแล้วบันทึก สมาชิกคนหนึ่งจับขอบด้านหนึ่งของกระดานอัดติดแผ่นกระเบื้องลายการ์ตูนบริเวณกึ่งกลางไม้กระดานอัดด้วยเทปกาวแล้ววางรองเท้าฟองน้ำไว้กึ่งกลางกระเบื้องแล้วยกค่อยๆ ให้เอียงทำมุมกับพื้น อีกด้านหนึ่งของพื้นเอียงวางอยู่บนพื้น เมื่อรองเท้าฟองน้ำเริ่มเคลื่อนที่ให้หยุดพื้นเอียงไว้ที่ตำแหน่งนั้น วัดความสูงของขอบพื้นเอียงจากพื้นด้วยสายวัด ใช้ค่าความสูงและความยาวของแผ่นกระดานอัดมาคำนวณมุมของพื้นเอียง ให้ทำตามขั้นตอนดังกล่าวซ้ำอีกสองครั้ง บันทึกค่าที่ได้ลงในตาราง ต่อจากนั้นให้พลิกไม้กระดานแล้ว

ติดแผ่นกระเบื้องลายดอกไม้บริเวณกึ่งกลางของไม้กระดานอัดแล้ววางรองเท้าฟองน้ำบนกระเบื้องและทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนต่าง ๆ เช่นเดียวกับแผ่นกระเบื้องลายการ์ตูน



ภาพที่ 1 แสดงการทดลอง

3.3 คำถาม สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างพื้นรองเท้าฟองน้ำกับกระเบื้องลายการ์ตูน เปรียบเทียบกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างพื้นรองเท้าฟองน้ำกับกระเบื้องลายดอกไม้เป็นอย่างไร

3.4 อุปกรณ์ รองเท้าฟองน้ำ กระเบื้องลายการ์ตูน กระเบื้องลายดอกไม้ แผ่นกระดานอัดอย่างหนา สายวัด เครื่องคิดเลข เทปขาว

3.5 การสังเกต ความยาวของไม้กระดานอัดวัดได้ 245 เซนติเมตร มุมของพื้นเอียงที่รองเท้าฟองน้ำวางบนกระเบื้องลายการ์ตูนเริ่มเคลื่อนที่มีค่าเฉลี่ย...องศา มุมของพื้นเอียงที่รองเท้าฟองน้ำวางบนกระเบื้องลายดอกไม้เริ่มเคลื่อนที่มีค่าเฉลี่ย...องศา ในตารางต่อไปนี้ได้แสดงค่าความสูงของพื้นเอียง มุมของพื้นเอียง และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

ตารางที่ 1 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

| การทดลอง<br>ครั้งที่ | กระเบื้องลายการ์ตูน |                 |         | กระเบื้องลายดอกไม้ |                 |         |
|----------------------|---------------------|-----------------|---------|--------------------|-----------------|---------|
|                      | H(cm.)              | $\theta$ (องศา) | $\mu_s$ | H(cm.)             | $\theta$ (องศา) | $\mu_s$ |
| 1                    | 152.64              | 38.54           | 0.796   | 163.00             | 41.71           | 0.891   |
| 2                    | 153.13              | 38.69           | 0.801   | 164.88             | 42.27           | 0.909   |
| 3                    | 153.78              | 38.88           | 0.806   | 165.97             | 42.64           | 0.920   |
| เฉลี่ย               | 153.18              | 38.70           | 0.801   | 164.62             | 42.20           | 0.916   |

3.6 การวิเคราะห์ รองเท้าฟองน้ำที่วางอยู่บนกระเบื้องลายดอกไม้เริ่มเคลื่อนที่ขณะที่พื้นเอียงมีความชันมากกว่าความชันของพื้นเอียงที่รองเท้าฟองน้ำวางบนกระเบื้องลายการ์ตูนเริ่มเคลื่อนที่ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างพื้นรองเท้าฟองน้ำกับกระเบื้องลายดอกไม้มากกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างพื้นรองเท้าฟองน้ำกับกระเบื้องลายการ์ตูน 14% มีความแตกต่างเท่ากับ 0.115 จากการสังเกตความเป็นมันวาวและความนูนของลวดลาย และจากการสัมผัสความผิดปกติไม่สามารถบอกความแตกต่างได้ แต่สิ่งที่มองเห็นได้อย่างชัดเจน คือ ความละเอียดของลายดอกไม้มีมากกว่าลายการ์ตูน ความละเอียดของลวดลายจึงน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างพื้นรองเท้าฟองน้ำกับกระเบื้องลายดอกไม้มากกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างพื้นรองเท้าฟองน้ำกับกระเบื้องลายการ์ตูน

3.7 การประเมิน ความคลาดเคลื่อนของการทดลองน่าจะมาจากหลายสาเหตุ คือ ประการแรกน่าจะมีสาเหตุมาจากความไม่สม่ำเสมอของแผ่นกระเบื้อง เนื่องจากแผ่นกระเบื้องมีลวดลาย ความนูนและแนวเส้นของลวดลายในแต่ละตำแหน่งแตกต่างกัน ดังนั้น ตำแหน่งที่วางรองเท้าบนกระเบื้องมีผลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต ประการที่สอง ความคลาดเคลื่อนน่าจะมาจากอัตราเร็วในการยกพื้นเอียงในขณะที่ทำการทดลอง ถ้ายกพื้นเอียงด้วยอัตราเร็วมากเกินไป ตำแหน่งของแผ่นไม้กระดานอัดขณะรองเท้าเริ่มเคลื่อนที่ก็จะคลาดเคลื่อน ความคงที่ของแขนคนยกพื้นเอียงขณะทดลองมีผลต่อความ

คลาดเคลื่อนในการวัดเช่นกัน การลดความคลาดเคลื่อนในการทดลองนี้ทำได้โดยการยกแผ่นกระดานอัดด้วยอัตราเร็วที่ต่ำและสม่ำเสมอเท่าที่จะเป็นไปได้ ต้องหยุดยกพื้นเอียงทันทีที่สังเกตเห็นร่องเท้าเริ่มเคลื่อนที่

3.8 สรุป จากผลการทดลองทำให้ตัดสินใจซื้อกระเบื้องที่มีลวดลายดอกไม้ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างร่องเท้าฟองน้ำกับกระเบื้องลายดอกไม้มากกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างร่องเท้าฟองน้ำกับกระเบื้องลายการ์ตูน ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างร่องเท้าฟองน้ำกับกระเบื้องลายดอกไม้ เท่ากับ 0.916 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างร่องเท้าฟองน้ำกับกระเบื้องลายการ์ตูน เท่ากับ 0.801 ซึ่งมีค่าแตกต่างกัน 0.115 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของกระเบื้องลายดอกไม้สูงกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของกระเบื้องลายการ์ตูน 14%

#### การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในรายวิชา ฟส102 (ฟิสิกส์พื้นฐาน) มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีรายละเอียดวิชาประกอบด้วยภาคบรรยายและภาคปฏิบัติการดังนี้

**ตารางที่ 2** หัวข้อบรรยายและหัวข้อปฏิบัติการรายวิชา ฟส102 (ฟิสิกส์พื้นฐาน) มหาวิทยาลัยแม่โจ้

| หัวข้อบรรยาย (15 สัปดาห์)                | หัวข้อปฏิบัติการ (15 สัปดาห์)                              |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| การเคลื่อนที่ แรงและสมดุล                | บทนำ                                                       |
| งานและพลังงาน                            | บทปฏิบัติการที่ 1 การวัดและความคลาดเคลื่อน                 |
| ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ               | บทปฏิบัติการที่ 2 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นเอียง      |
| แรงลอยตัว                                | บทปฏิบัติการที่ 3 สมดุลและโมเมนต์ของแรง                    |
| ความสว่าง ความเข้มของการส่องสว่าง        | บทปฏิบัติการที่ 4 ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของสสาร      |
| ความร้อนและความชื้น                      | บทปฏิบัติการที่ 5 ความจุความร้อน                           |
| คลื่นเสียง                               | บทปฏิบัติการที่ 6 สัมประสิทธิ์ความหนืดของของเหลว           |
| ไฟฟ้ากระแสตรงและกระแส สลับ               | บทปฏิบัติการที่ 7 การสะท้อน การหักเห และการหาค่าดัชนีหักเห |
| แม่เหล็กไฟฟ้า                            | บทปฏิบัติการที่ 8 อัตราเร็วของเสียงในอากาศ                 |
|                                          | บทปฏิบัติการที่ 9 กฎของโอห์ม                               |
|                                          | บทปฏิบัติการที่ 10 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ                      |
| (บรรยายสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ๆ ละ 1 ชั่วโมง) | (ปฏิบัติการสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ๆ ละ 3 ชั่วโมง)               |

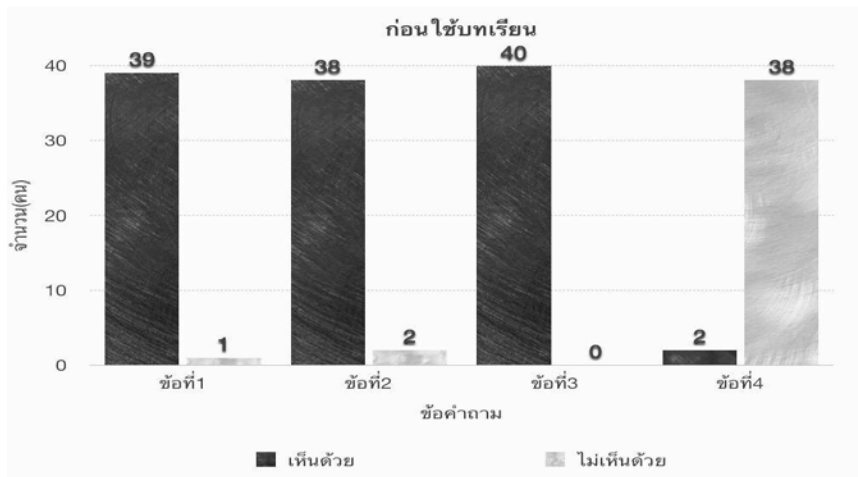
ผู้วิจัยได้ทำการสอนปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐานซึ่งประกอบด้วยบทนำและบทปฏิบัติการที่ 1-10 หลังจากสอนจบบทปฏิบัติการที่ 5 ผู้วิจัยได้ใช้คำถามตรวจวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นก่อนใช้บทเรียนพร้อมกับสัมภาษณ์เพิ่มเติมเพื่อยืนยันคำตอบและบันทึกข้อมูล หลังจากนั้นได้ใช้บทเรียนที่พัฒนาขึ้นกับนักศึกษาและผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างการทำกิจกรรมโดยการสังเกต บันทึกบทสนทนาและพฤติกรรมระหว่างเรียน และใช้คำถามตรวจวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นหลังใช้บทเรียนพร้อมกับสัมภาษณ์เพิ่มเติมเพื่อยืนยันคำตอบและบันทึกข้อมูล

#### การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการใช้คำถามตรวจวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นและจากการสัมภาษณ์เพิ่มเติม และข้อมูลที่ได้จากการสังเกตพฤติกรรมและบทสนทนายระหว่างการเรียนโดยใช้บทเรียน โดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis)

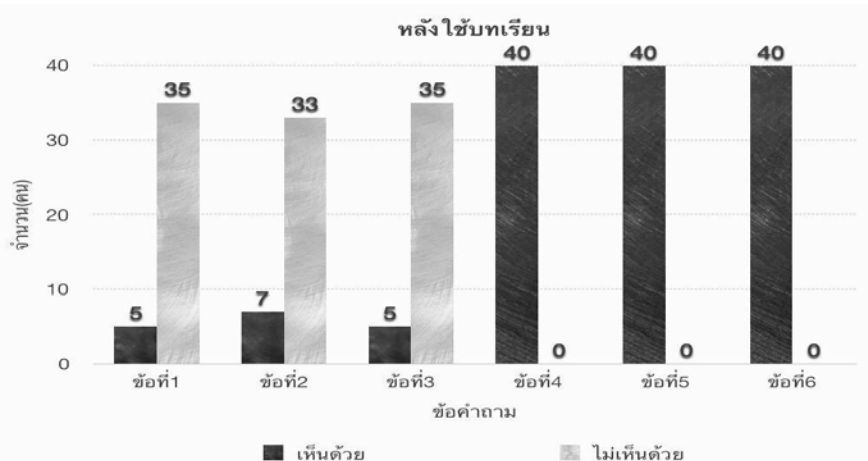
#### ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ข้อมูลที่ได้จากการใช้คำถามตรวจวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นก่อนใช้บทเรียน ในจำนวนนักศึกษา 40 คน แสดงภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 2 ผลการตอบคำถามตรวจวัดความเข้าใจเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นก่อนใช้บทเรียน

ผลการตอบคำถามข้อ 1 มี 39 คน ตอบเห็นด้วย มี 1 คน ตอบไม่เห็นด้วย ข้อ 2 มี 38 คน ตอบเห็นด้วย มี 2 คน ตอบไม่เห็นด้วย ข้อ 3 มี 40 คน ตอบเห็นด้วย มี 0 คน ตอบไม่เห็นด้วย และข้อ 4 มี 2 คน ตอบเห็นด้วย มี 38 คน ตอบไม่เห็นด้วย จะเห็นได้ว่า ผู้เรียนเกือบทั้งหมดมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนว่า เป้าหมายของการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐานเพื่อให้เข้าใจเนื้อหาฟิสิกส์ที่เรียนจากการบรรยายดีขึ้น เพื่อยืนยันว่าผลการทดลองสอดคล้องกับทฤษฎีที่เรียนจากการบรรยาย และเพื่อให้มีทักษะในการทดลองโดยปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในบทปฏิบัติการ จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ศึกษาเรื่องความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนพบว่า มีสาเหตุจากหลายประการ การเรียนการสอนในชั้นเรียนก็เป็นสาเหตุหนึ่ง ผู้วิจัยคิดว่า ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเกิดจากบริบทการเรียนการสอนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นที่นักศึกษา กำลังเรียนอยู่ ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักศึกษาเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นเป็นความเข้าใจที่ไม่ตรงกับความรู้ของนักฟิสิกส์ศึกษา จากงานวิจัยของ Wieman and Holmes [5] ได้ศึกษาเนื้อหาความรู้ฟิสิกส์ของนักศึกษาที่ได้จากการเรียนบรรยายอย่างเดียวกับการเรียนบรรยายพร้อมกับเรียนบทปฏิบัติการในวิชาฟิสิกส์เบื้องต้น ระดับปริญญาตรีกับนักศึกษาหลายพันคน พบว่า ความรู้ที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน และยังเสนอว่าการเรียนวิชาฟิสิกส์พื้นฐานสามารถเรียนจากการบรรยายหรือสาธิต ซึ่งประกอบด้วยการฟังบรรยาย ทำแบบฝึกหัด อภิปรายร่วมกัน หรืออื่น ๆ เป็นต้น ถ้ามีเป้าหมายเพื่อให้เกิดความรู้ทางด้านเนื้อหาฟิสิกส์ก็ไม่จำเป็นต้องเรียนปฏิบัติการทดลอง เนื่องจากการเรียนโดยปฏิบัติการฟิสิกส์ต้องใช้เวลาและงบประมาณสำหรับเครื่องมือปฏิบัติการที่มีมูลค่าสูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสมาคมครูอเมริกัน [1] ที่เสนอแนะให้ปรับปรุงเป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นระดับปริญญาตรีที่เขียนไว้ตั้งแต่ ค.ศ. 1998 [6] โดยให้ตัดเป้าหมายของการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นที่ต้องการให้เกิดแนวคิดทางฟิสิกส์ออก และให้เน้นการสร้างโมเดลและการตั้งคำถามในการทดลองทางฟิสิกส์ ผู้เรียนเกือบทั้งหมดมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน คือ ไม่เห็นด้วยกับเป้าหมายของการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นว่า เพื่อให้ นักศึกษาสามารถค้นคว้าทดลองให้ได้ความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ (ซึ่งความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ อาจจะนำไปสู่การอธิบาย ทำนาย บรรยาย หรือใช้แก้ปัญหาปรากฏการณ์ต่าง ๆ หรือนำไปสู่การประยุกต์เป็นเทคโนโลยีหรือนวัตกรรม) จากการศึกษาของนักฟิสิกส์ ศึกษาการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์ต้องการให้ผู้เรียนสามารถสร้างความรู้ได้ด้วยวิธีคิดและทำตามแบบนักฟิสิกส์ [1-3, 7-9] และจากการสัมภาษณ์นักศึกษาที่ไม่เห็นด้วยกับเป้าหมายที่ว่าเพื่อให้ นักศึกษาสามารถค้นคว้าทดลองให้ได้ความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ มีประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนนักศึกษาที่ไม่เห็นด้วยให้เหตุผลว่าการสร้างความรู้ทางฟิสิกส์ในปัจจุบันทำได้ยากเพราะความรู้ที่พบหรือสร้างได้ง่ายถูกค้นพบหมดแล้ว การสร้างความรู้ทางฟิสิกส์จึงเป็นหน้าที่ของนักฟิสิกส์เท่านั้น ส่วนอีกประมาณครึ่งหนึ่งที่ ไม่เห็นด้วยได้ให้เหตุผลว่า เนื่องจากการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นที่ผ่านมาไม่ได้มีเป้าหมายเพื่อสร้างความรู้ใหม่ แต่เป็นการพิสูจน์ยืนยันความรู้ที่เรียนในบรรยาย ข้อมูลที่ได้จากการใช้คำถามตรวจวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเป้าหมาย การเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐานหลังใช้บทเรียน ในจำนวนนักศึกษา 40 คน แสดงดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 3 ผลการตอบคำถามตรวจวัดความเข้าใจเกี่ยวกับเป้าหมายการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐานหลังใช้บทเรียน

ผลการตอบคำถามข้อ 1 มี 5 คน ตอบเห็นด้วย และมี 35 คน ตอบไม่เห็นด้วย ข้อ 2 มี 7 คน ตอบเห็นด้วย และมี 33 คน ตอบไม่เห็นด้วย ข้อ 3 มี 5 คน ตอบเห็นด้วย และมี 35 คน ตอบไม่เห็นด้วย ข้อ 4 มี 40 คน ตอบเห็นด้วย และมี 0 คน ตอบไม่เห็นด้วย ข้อ 5 มี 40 คน ตอบเห็นด้วย และมี 0 คน ตอบไม่เห็นด้วย ข้อ 6 มี 40 คน ตอบเห็นด้วย และมี 0 คน ตอบไม่เห็นด้วย จะเห็นว่า บทเรียนมีประสิทธิภาพ เนื่องจากนักศึกษาเปลี่ยนจากความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนว่าเป้าหมายของการเรียนคือเพื่อให้เข้าใจเนื้อหาฟิสิกส์ที่เรียนจากการบรรยายดีขึ้น เพื่อยืนยันว่าผลการทดลองสอดคล้องกับทฤษฎีที่เรียนจากบรรยาย และนักศึกษาเข้าใจว่าไม่สามารถค้นคว้าทดลองให้ได้ความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ เปลี่ยนมาเข้าใจว่าเป้าหมายการเรียนคือ เพื่อให้นักศึกษารู้วิธีคิดและทำแบบนักฟิสิกส์ เพื่อให้มีทักษะในการทดลองโดยออกแบบการทดลองด้วยตนเองซึ่งอาศัยวิธีคิดและวิธีทดลองแบบนักฟิสิกส์ และเพื่อให้นักศึกษาสามารถค้นคว้าทดลองทางฟิสิกส์ทำให้ได้ความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ ซึ่งจะเห็นได้จากข้อมูลผลการศึกษานักศึกษาเห็นด้วยกับข้อ 4 ข้อ 5 และข้อ 6 เนื่องจากผู้วิจัยได้ออกแบบบทเรียนเพื่อให้นักศึกษาเปลี่ยนแปลงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนตามแนวคิดของ Posner [9] ซึ่งอธิบายว่ารูปแบบของการเปลี่ยนความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกิดจากภาวะ 4 ประการคือ 1) ความไม่พอใจในแนวคิดที่มีอยู่เดิม (Dissatisfaction) 2) แนวคิดใหม่เข้าใจได้ง่าย (Intelligibility) 3) แนวคิดใหม่มีเหตุผลที่น่าเชื่อถือ (Plausibility) 4) แนวคิดใหม่ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง (Fruitfulness) นักศึกษาเกิดความไม่พอใจในแนวคิดที่มีอยู่เดิมและเห็นว่าแนวคิดใหม่ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากความเข้าใจว่าเป้าหมายของการเรียนปฏิบัติการเพื่อให้เข้าใจเนื้อหาฟิสิกส์ที่เรียนจากการบรรยายดีขึ้น เพื่อยืนยันว่าผลการทดลองสอดคล้องกับทฤษฎีที่เรียนจากบรรยาย และเพื่อให้มีทักษะในการทดลองโดยปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในบทปฏิบัติการ ไม่มีประโยชน์เพราะว่าไม่สอดคล้องกับทักษะ ความรู้ ความสามารถที่ตรงกับความต้องการของแหล่งงานในอนาคต และในทางกลับกันแนวคิดใหม่มีประโยชน์เนื่องจากสอดคล้องกับทักษะความสามารถที่ต้องการของแหล่งงานในอนาคต ซึ่งความรู้และข้อเท็จจริงในส่วนนี้ได้นำเสนอไว้อย่างละเอียดในบทนำ ส่วนแนวคิดใหม่มีเหตุผลที่น่าเชื่อถือและเข้าใจได้ง่ายได้นำเสนอไว้ในส่วนของความหมายของการคิดและการสร้างความรู้แบบนักฟิสิกส์และตัวอย่างการสร้างความรู้ทางฟิสิกส์เรื่อง การเลือกซื้อกระเบื้องปูพื้นลานกลางแจ้งหน้าบ้าน นอกจากนี้ งานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ศึกษา [10-11] พบว่า ความเข้าใจเป้าหมายของการเรียนและความคาดหวังที่มีต่อบทเรียนส่งผลถึงพฤติกรรมในการเรียนของนักศึกษา นั่นคือถ้านักศึกษาเข้าใจเป้าหมายของการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นคลาดเคลื่อน นักศึกษาก็จะมีพฤติกรรมการเรียนเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของการเรียนที่เข้าใจคลาดเคลื่อนเหล่านั้น ผู้วิจัยมีความเห็นว่า ความเชื่อเกี่ยวกับการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นของผู้จัดหลักสูตรมีผลต่อการกำหนดเป้าหมายและการจัดกิจกรรมการเรียน ซึ่งตารางต่อไปนี้จะแสดงความเห็นของผู้วิจัยต่อความเชื่อเกี่ยวกับการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นเพื่อการทำงานในศตวรรษที่ 21 เปรียบเทียบกับความเชื่อเกี่ยวกับการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นในปัจจุบัน และกิจกรรมเกี่ยวกับการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นเพื่อการทำงานในศตวรรษที่ 21 เปรียบเทียบกับกิจกรรมการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นในปัจจุบัน ตามลำดับ

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบความเชื่อเกี่ยวกับการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้น

| ความเชื่อเกี่ยวกับการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้น                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| เพื่อการทำงานในศตวรรษที่ 21                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ในปัจจุบัน                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. นักศึกษาสามารถทดลองเพื่อสร้างความรู้ใหม่ได้ ถ้า นักศึกษาได้รู้วิธีคิดและทำเยี่ยงนักฟิสิกส์</li> <li>2. เนื้อหาวิชาฟิสิกส์ส่วนมากสามารถเรียนรู้โดยใช้วิธี บรรยาย ในเนื้อหาบางส่วนที่เป็นนามธรรม เล็กมาก ใหญ่มาก มีความซับซ้อนมาก เนื้อหาเหล่านั้นควรเรียน โดยใช้วิธีคอมพิวเตอร์สร้างสถานการณ์จำลอง นั่นคือทำให้สิ่งเล็กโตขึ้น สิ่งที่ใหญ่เล็กลง สิ่งที่ซับซ้อนเกิดขึ้น รวดเร็วมากสามารถจำลองให้ช้าลงได้ และเนื้อหาที่ต้องการผลการทดลองยืนยันก็สามารถทำได้โดยการทดลองสาธิต ไม่ต้องทำทุกกลุ่ม สั้นเปลืองเวลา และงบประมาณมาก อย่างไรก็ตามการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์ มีความจำเป็นแต่ไม่ใช่เรียนเพื่อให้เข้าใจเนื้อหาใน บรรยายดีขึ้น</li> <li>3. นักศึกษาต้องเข้าใจเนื้อหาในบรรยายดีก่อนแล้วนำมา สร้างโมเดลเพื่อออกแบบการทดลองเพื่อสร้างองค์ความรู้ ใหม่ทางฟิสิกส์</li> <li>4. นักศึกษาสามารถคิดและทำเยี่ยงนักฟิสิกส์ มีความ ตระหนักและมั่นใจว่าสามารถสร้างความรู้ใหม่ได้ เช่นเดียวกับนักฟิสิกส์ สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาและ พัฒนางานได้รวดเร็วในเวลาที่กำหนด ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ ต้องการของแหล่งงานในศตวรรษที่ 21</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. นักศึกษาไม่สามารถตั้งคำถาม ออกแบบการทดลอง สรุปผลการทดลองด้วยตนเองได้ จึงต้องบอกขั้นตอนการ ทดลองทั้งหมดเพื่อให้นักศึกษาทำตาม</li> <li>2. การเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์ช่วยให้เกิดความรู้ความ เข้าใจเนื้อหาที่เรียนในบรรยายได้ดียิ่งขึ้น</li> <li>3. เรียนปฏิบัติการฟิสิกส์ เพื่อให้เข้าใจเนื้อหาในภาค บรรยายได้ดียิ่งขึ้น และทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ผลว่า สอดคล้องกับทฤษฎีที่เรียนในภาคบรรยาย</li> <li>4. นักศึกษาเข้าใจเนื้อหาที่เรียนในภาคบรรยาย (ประมาณ 2-6 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อหาทั้งหมดที่เรียนใน บรรยายและนำมาเรียนในปฏิบัติการ) ได้ดียิ่งขึ้นและเกิด ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากการทำตาม หนังสือปฏิบัติการทุกขั้นตอนเหมือนทำตามตำรา ทำอาหาร นักศึกษาจะได้นำความรู้และทักษะไปใช้ใน ชีวิตประจำวันและการทำงานในอนาคต แต่จะต้องมีผู้บอก ขั้นตอนทั้งหมดให้ก่อนจึงจะทำได้</li> </ol> |

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบกิจกรรมการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้น

| กิจกรรมการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้น                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| เพื่อการทำงานในศตวรรษที่ 21                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ในปัจจุบัน                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <p>1. ในสัปดาห์ที่ 1-2 ใช้เวลา 6 ชั่วโมง ผู้สอนจะกล่าวถึง บทบาทที่ประกอบด้วยประเด็น ทักษะ ความรู้ ความสามารถ ที่แหล่งงานในศตวรรษที่ 21 ต้องการ การคิดและการสร้าง ความรู้เยี่ยงนักฟิสิกส์</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- การสร้างความรู้</li> <li>- การสร้างโมเดล</li> <li>- ออกแบบการทดลอง</li> <li>- พัฒนาทักษะในการทำการทดลอง</li> <li>- การวิเคราะห์และการแปลผลข้อมูล</li> <li>- การสื่อสารทางฟิสิกส์</li> </ul> <p>พร้อมทั้งศึกษาตัวอย่างการสร้างความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ ของนักศึกษาโดยวิธีคิดและทำเยี่ยงนักฟิสิกส์</p> <p>2. นักศึกษาเริ่มทดลองในสัปดาห์ที่ 3 ผู้สอนจะเตรียม สถานการณ์ของปัญหา อุปกรณ์ที่อาจจะนำมาใช้ในการ แก้ปัญหานั้น เริ่มการเรียนรู้โดยผู้สอนจะอธิบายถึง สถานการณ์ของปัญหาและอุปกรณ์ที่อาจต้องใช้ และ ทบทวนเนื้อหาความรู้ฟิสิกส์ที่อาจจะต้องนำมาใช้ในการ สร้างโมเดล หลังจากนั้นนักศึกษาเริ่มทดลองโดยมี เป้าหมายเพื่อตอบปัญหา หรือสร้างความรู้ใหม่โดยใช้ กระบวนการคิดและทำแบบนักฟิสิกส์ นักศึกษาจะต้องใช้ ความรู้ฟิสิกส์มาสร้างโมเดลของสถานการณ์ที่กำหนดให้ ตั้งคำถาม ออกแบบการทดลอง สรุปผลการทดลองด้วย ตนเอง โดยคำนึงถึงความเหมาะสมทางด้านอุปกรณ์ เวลา ที่ใช้ ผู้สอนอาจจะกำหนดเวลา 3 ชั่วโมง หรือมากกว่า ก็ได้ หลังจากนั้นในสัปดาห์ถัดไปทำการทดลองเรื่องอื่น ซึ่ง ไม่จำเป็นต้องครบ 10 การทดลอง</p> <p>3. การประเมินผล</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ประเมินจากกระบวนการทำงาน คือ การทดลองและ ชิ้นงานคือรายงานผลการทดลอง คิดเป็น 20% ของ คะแนนของรายวิชา</li> <li>- ประเมินจากการสอบข้อเขียนโดยเน้นการกำหนด สถานการณ์ให้นักศึกษาใช้ความรู้จากภาคบรรยายและ การคิดและทำแบบนักฟิสิกส์ สร้างโมเดล ตั้งคำถามและ การออกแบบการทดลอง คิดเป็น 10% ของคะแนนของ รายวิชา</li> </ul> | <p>1. ในเวลา 3 ชั่วโมงของสัปดาห์ที่ 1 ผู้สอนจะกล่าวถึง บทบาท ในประเด็นดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- วัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์</li> <li>- ความแม่นยำ ความถูกต้อง และเลขนัยสำคัญ</li> <li>- ความคลาดเคลื่อนในการทำการทดลอง</li> <li>- การแสดงข้อมูลด้วยกราฟเส้น</li> <li>- ข้อควรพิจารณาในการวิจารณ์และสรุปผลการทดลอง</li> </ul> <p>2. สัปดาห์ที่ 2-10 จะให้นักศึกษาทำการทดลอง มี ทั้งหมด 10 การทดลอง แต่ละการทดลองทำเสร็จภายใน 3 ชั่วโมง โดยมีกิจกรรมคือก่อนทำการทดลองผู้สอนจะ กล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ ทฤษฎีทางฟิสิกส์ และวิธีทำการ ทดลองทุกขั้นตอน หลังจากนั้นนักศึกษาทำการทดลอง บันทึกผลลงในตารางที่กำหนดไว้ รวมทั้งผลการวิเคราะห์ และอภิปรายสรุปผล แล้วส่งรายงานผลการทดลอง</p> <p>3. การประเมินผล</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ประเมินจากกระบวนการทำงานคือการทำการทดลอง และชิ้นงานคือรายงานผลการทดลอง มี 10 การทดลอง คิดเป็น 20% ของคะแนนของรายวิชา</li> <li>- ประเมินจากการสอบข้อเขียน โดยเน้นที่กำหนดผลการ ทดลองและสูตรที่ใช้ในการคำนวณ นักศึกษาตอบคำถาม โดยใช้สูตรและข้อมูล (ตัวเลข ตาราง หรือกราฟ) ที่ กำหนดให้ คิดเป็น 10% ของคะแนนของรายวิชา</li> </ul> |

## สรุป

นักศึกษาเกือบทั้งหมดมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเป้าหมายของการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นว่า เพื่อให้เข้าใจเนื้อหาฟิสิกส์ที่เรียนจากการบรรยายดีขึ้น เพื่อยืนยันว่าผลการทดลองสอดคล้องกับทฤษฎีที่เรียนจากการบรรยาย เพื่อให้มีทักษะในการทดลองโดยปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในบทปฏิบัติการ และนักศึกษาเข้าใจว่าการค้นคว้าทดลองให้ได้ความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ไม่ใช่เป้าหมายของการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้น แต่เมื่อนักศึกษาได้เรียนบทเรียนเรื่องการคิดแบบนักฟิสิกส์ ทำให้ผู้เรียนเข้าใจเป้าหมายการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นที่ถูกต้องว่าเป้าหมายการเรียนคือ เพื่อให้ให้นักศึกษารู้วิธีคิดและทำแบบนักฟิสิกส์ เพื่อให้มีทักษะในการทดลองโดยออกแบบการทดลองด้วยตนเองซึ่งอาศัยวิธีคิดและวิธีทดลองแบบนักฟิสิกส์ และเพื่อให้นักศึกษาสามารถค้นคว้าทดลองทางฟิสิกส์ทำให้ได้ความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ ซึ่งเป้าหมายดังกล่าวเป็นทักษะและความสามารถสำหรับการทำงานในศตวรรษที่ 21 ซึ่งต้องการนักวิทยาศาสตร์ที่มีความอยากรู้อยากเห็น สามารถสร้างความรู้ใหม่เพื่อแก้ปัญหาและพัฒนางานได้อย่างรวดเร็ว

## เอกสารอ้างอิง

- [1] American Association of Physics Teachers. (2015). “AAPT Recommendations for the Undergraduate Physics Laboratory Curriculum”, **The Physics Teacher**. 53(4), 253.
- [2] Ludwigsen, D. (2015). “The Introductory Physics Laboratory as a Consulting Firm”, In **2015 ASEE Annual Conference and Exposition**. 26.1554.1-26.1554.13. June 14-17, 2015 Seattle. Washington: American Society for Engineering Education.
- [3] Nixon, R.S., Godfrey, T.J., Mayhew, N.T. and Wiegert, C.C. (2016). “Undergraduate Student Construction and Interpretation of Graphs in Physics Lab Activities”, **Physical Review Physics Education Research**. 12, 1-19.
- [4] Sayre, E.C. and Irving, P.W. (2015). “Brief, Embedded, Spontaneous Metacognitive Talk Indicates Thinking Like a Physicist”, **Physical Review Special Topics Physics Education Research**. 9, 1-17.
- [5] Wieman, C. and Holmes, N.G. (2015). “Measuring the Impact of an Instructional Laboratory on the Learning of Introductory Physics”, **American Journal of Physics**. 83(11), 1-12.
- [6] American Association of Physics Teachers. (1997). “Goals of the Introductory Physics Laboratory”, **The Physics Teacher**. 35, 546-548.
- [7] Gobaw, G.F. and Atagana, H.I. (2016). “Assessing Laboratory Skills Performance in Undergraduate Biology Students”, **Academic Journal of Interdisciplinary Studies**. 5(3), 113-122.
- [8] Heuvelen, A.V. (1991). “Learning to Think Like Physicist: A Review of Research-based Instructional Strategies”, **American Journal of Physics**. 59(10), 891-897.
- [9] Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. and Gertzog, W.A. (1982). “Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change”, **Science Education**. 66, 211-227.
- [10] Redish, F.E., Saul, M.J. and Steinberg, N.R. (1998). “Student Expectations in Introductory Physics”, **American Journal of Physics**. 66, 212-224.
- [11] Sharma, S., Ahluwalia, P.K. and Sharma, S.K. (2013). “Students’ Epistemological Beliefs, Expectations, and Learning Physics: An International Comparison”, **Physics Education Research**. 9, 1-13.