RESEARCH ARTICLE

Conceptual Development of Force and Motion in Third-Year Preservice Physics Teachers Participating in Constructivist Learning Activities

Khajornsak Buaraphan[1], **Penchantr Singh**[2] **and Vantipa Roadrangka**[3]

[1]**Ph.D. Candidate (Science Education)**
The Program to Prepare Research and Development Personnel for Science Education
E-mail address: g4486019@ku.ac.th
[2]**M.Sc.(Nuclear Physics), Associate Professor**
Department of Physics, Faculty of Science
[3]**Ph.D.(Secondary Education), Ed.D.(Science Education), Professor**
Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University

Abstract

This research dealt with the teaching and learning of force and motion at secondary and tertiary levels as well as their conceptual development. Four 3rd-year physics student teachers from a Rajabhat University in Bangkok were interviewed. It was found that at secondary and tertiary levels instructors usually employed lecture-based teaching method and accentuated the memorization of force and motion equations, rather than the mastering of key concepts and their applications for everyday life. As such, students lacked thorough understanding of what was learned and a negative attitude toward learning was developed instead. In contrast, the activities presented during the session of pedagogical content knowledge (PCK) modeling were found to potentially enhance the understanding of force and motion as well as logical reasoning. Additionally, the human-centred viewpoint and the impetus concept are regarded as a stumbling block in learning force and motion.

Keywords: constructivism, force and motion concept, pedagogical content knowledge modeling, preservice physics teacher, scientific concept

Songklanakarin Journal of Social Sciences and Humanities 12(1) Jan. - Mar. 2006: 97-119
รับต้นฉบับ 30 มิถุนายน 2548 ปรับปรุง-แก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ 23 กันยายน 2548
รับลงตีพิมพ์ 20 ธันวาคม 2548

บทความวิจัย

การพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง

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

[1]นิสิตปริญญาเอกสาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา
โครงการผลิตนักวิจัยพัฒนาด้านการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์,
E-mail : g4486019@ku.ac.th

[2]วท.ม.(นิวเคลียร์ฟิสิกส์), รองศาสตราจารย์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์,

[3]Ph.D.(Secondary Education), Ed.D.(Science Education), ศาสตราจารย์
ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการวิจัยเกี่ยวกับสภาพการจัดการเรียนรู้ในระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษาและการพัฒนาแนวคิดเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ เก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์นักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 จำนวน 4 คน จากมหาวิทยาลัยราชภัฏแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ผลการศึกษาพบว่า ผู้สอนในระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษาจัดการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยใช้การบรรยายเป็นหลัก และมุ่งเน้นการท่องจำสมการต่าง ๆ มากกว่าความเข้าใจแนวคิดสำคัญและการประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน ทำให้ผู้เรียนขาดความเข้าใจอย่างถ่องแท้และมีเจตคติที่ไม่ดีต่อการเรียน ในขณะที่กิจกรรมการเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหา ช่วยให้นักศึกษาพัฒนาความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ ตลอดจนการให้เหตุผลได้ดีกว่า ทั้งนี้พบว่ามุมมองที่ยึดตนเองเป็นศูนย์กลางและแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุเป็นอุปสรรคสำคัญในการเรียนรู้แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ

คำสำคัญ: การแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอน, ทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง, นักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์, แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ, แนวคิดทางวิทยาศาสตร์

บทนำ

เนื้อหาเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุถือว่าเป็นเนื้อหาสำคัญอันหนึ่งที่บรรจุไว้ในหลักสูตรการผลิตครูวิทยาศาสตร์ของสถาบันการผลิตครู เพราะตามคู่มือการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สาระการเรียนรู้ที่ 4 แรงและการเคลื่อนที่ ผู้เรียนตั้งแต่ช่วงชั้นที่ 1 ถึงช่วงชั้นที่ 4 ต้องเรียนรู้แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุเพื่อให้เข้าใจแรงชนิดต่าง ๆ และลักษณะของการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบต่าง ๆ ในธรรมชาติ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2545, 11) นอกจากนั้นเนื้อหาเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุยังเป็นพื้นฐานต่อการเรียนวิชากลศาสตร์ในระดับอุดมศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ซึ่งหากผู้เรียนขาดความเข้าใจเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุแล้ว ก็อาจประสบปัญหาในการเรียนรู้วิชากลศาสตร์ เสมือนว่ากฎของนิวตันเป็นสิ่งที่ไร้ความหมาย (Hellingman, 1989, 36; Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992, 150) อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นเนื้อหาที่ผู้เรียนซึ่งรวมถึงนักศึกษาครูเป็นจำนวนมากมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายใน (impetus concept) และมุมมองที่ยึดตนเองเป็นศูนย์กลาง (human–centred viewpoint) ซึ่งแนวคิดดังกล่าวเป็นอุปสรรคในการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์เพราะผู้เรียนอาจปรับเปลี่ยนบิดเบือนเนื้อหาในบทเรียน ผลจากการทำกิจกรรมการเรียนรู้ต่าง ๆ หรือการตีความหมายของผลเหล่านั้นให้สอดคล้องกับกรอบแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ตนเองมีอยู่ (Champagne, Gunstone & Klopfer, 1983)

เพื่อช่วยให้ผู้เรียนปรับเปลี่ยนแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุให้เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง การสำรวจความรู้และประสบการณ์ที่มีอยู่แล้วก่อนเรียน เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุของผู้เรียนเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง เพราะตามทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (constructivism) นั้น ผู้เรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองได้ โดยการเชื่อมโยงความรู้และประสบการณ์ที่มีอยู่แล้วก่อนเรียนกับความรู้และประสบการณ์ที่ได้รับจากการมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม ทั้งในและนอกห้องเรียน (Colburn, 2000)

งานวิจัยนี้ศึกษาสภาพการจัดการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุในระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษา และในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอนในวิชาพฤติกรรมการสอนฟิสิกส์ของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 และศึกษาการพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุของนักศึกษาจากการเรียนรู้ในช่วงดังกล่าว ซึ่งผลการสำรวจนี้จะเป็นข้อมูลย้อนกลับแก่ผู้บริหาร คณาจารย์ และบุคลากรที่เกี่ยวข้องในสถาบันการผลิตครูในการเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาและวางแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาพการจัดการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุในระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษา และในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอนในวิชาพฤติกรรมการสอนฟิสิกส์ของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3

2. เพื่อศึกษาการพัฒนาแนวคิดของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุจากการเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอนในวิชาพฤติกรรมการสอนฟิสิกส์

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาสภาพการจัดการเรียนรู้และการพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 จำนวน 4 คน จากมหาวิทยาลัยราชภัฏแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร

นิยามศัพท์เฉพาะ

สภาพการจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ หมายถึง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ การใช้สื่อการเรียนรู้ การวัดและประเมินผลการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ

การพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ หมายถึง แนวคิดเชิงฟิสิกส์ของนักศึกษาเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุในสถานการณ์ต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปจากแนวคิดเดิมจากการเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอนในวิชาพฤติกรรมการสอนฟิสิกส์ ซึ่งได้จากการสัมภาษณ์แบบใช้ภาพเขียนลายเส้นประกอบ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. คณาจารย์ระดับมัธยมศึกษา และคณาจารย์ของสถาบันการผลิตครูได้ทราบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุของผู้เรียน

2. คณาจารย์สถาบันการผลิตครูได้ทราบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาฟิสิกส์และการให้ความช่วยเหลือนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ก่อนปฏิบัติงานสอน

3. ผู้บริหาร คณาจารย์ และบุคลากรได้ทราบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาหลักสูตรการผลิตครูฟิสิกส์ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ การเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหา และการวางแนวทางพัฒนาหลักสูตรการผลิตครูฟิสิกส์ในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากร

ประชากร ได้แก่ นักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 จำนวน 4 คน เป็นชาย 2 คน หญิง 2 คน จากมหาวิทยาลัยราชภัฏแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานครที่ลงทะเบียนเรียนในวิชาพฤติกรรมการสอนฟิสิกส์ ซึ่งดำเนินการสอนโดยผู้วิจัยในภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2547

รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงตีความหมาย (interpretive study) (Neuman, 2003, 76) โดยผู้วิจัยในฐานะผู้สอนวิชาพฤติกรรมการสอนฟิสิกส์ดำเนินการสัมภาษณ์และตีความหมายข้อมูลเกี่ยวกับสภาพการจัดการเรียนรู้และการพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. การสัมภาษณ์เป็นรายบุคคล

ผู้วิจัยสัมภาษณ์นักศึกษาเป็นรายบุคคลเกี่ยวกับสภาพการจัดการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุในระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษา และในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอน โดยแบ่งเป็นคำถามเกี่ยวกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ สื่อการเรียนรู้ การวัดผลการเรียนรู้ และปัญหาในการเรียนรู้แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ ดังนี้

- ในระดับมัธยมศึกษา/อุดมศึกษา ครูของท่านสอนเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุอย่างไร (วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนรู้ สื่อการเรียนรู้ และการวัดผลการเรียนรู้)
- ในระดับมัธยมศึกษา/อุดมศึกษา ท่านพบปัญหาในการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือไม่ อย่างไร
- หลังจากเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอน ท่านเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุมากขึ้นหรือไม่ เพราะเหตุใด
- วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนรู้ สื่อการเรียนรู้ และการวัดผลการเรียนรู้ที่ใช้ในช่วงดังกล่าวช่วยให้ท่านเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุมากขึ้นหรือไม่ อย่างไร
- ท่านพบปัญหาในการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุในช่วงดังกล่าวหรือไม่ อย่างไร

2. การสัมภาษณ์แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยใช้ภาพเขียนลายเส้นประกอบ (interview-about-instance; IAI) (Osborne & Gilbert, 1980)

ผู้วิจัยแสดงภาพเขียนลายเส้นของวัตถุในสถานการณ์ต่าง ๆ กล่าวคือ วัตถุอยู่นิ่ง วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง และวัตถุเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง แล้วให้นักศึกษาอธิบายแรงที่กระทำต่อวัตถุและการเคลื่อนที่ของวัตถุในสถานการณ์นั้น ๆ โดยคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์มีอยู่ทั้งหมด 8 ข้อ

ผู้วิจัยมีขั้นตอนในการสร้างคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุดังนี้

1) ศึกษาเอกสารต่าง ๆ ได้แก่ คู่มือการจัดการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ หนังสือเรียนและคู่มือครูวิชาฟิสิกส์ เพื่อวิเคราะห์แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุและหาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของแนวคิดเหล่านั้น

2) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างคำถาม

3) นำคำถามที่สร้างขึ้น ตลอดจนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏในคำถามเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 2 ท่าน ซึ่งเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อให้ตรวจสอบในประเด็นดังต่อไปนี้

3.1) ความเหมาะสมของคำถามในการวินิจฉัยแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ

3.2) ความถูกต้องของภาษาที่ใช้และการสื่อความหมายของคำถาม

3.3) ความถูกต้องของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏในคำตอบ

4) แก้ไข ปรับปรุงคำถาม และนำไปทดลองสัมภาษณ์กลุ่มนักศึกษาขนาดเล็กจำนวน 3 คนซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับนักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบความเข้าใจในภาษา การสื่อความหมายของคำถาม และสำรวจปัญหาที่พบในการสัมภาษณ์ จากนั้นนำคำถามที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขแล้วและบันทึกปัญหาที่พบในการสัมภาษณ์เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาอีกครั้ง เพื่อรับฟังข้อเสนอแนะเกี่ยวกับความถูกต้องของภาษาที่ใช้ การสื่อความหมายของคำถาม และแนวทางการแก้ปัญหาในการสัมภาษณ์

5) นำคำถามที่ได้ไปเก็บข้อมูล

3. กิจกรรมการเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอน

การแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอน (pedagogical content knowledge modeling) จัดขึ้นระหว่างสัปดาห์ที่ 7–11 ในภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2547 ของวิชาพฤติกรรมการสอนฟิสิกส์ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร โดยผู้วิจัยในฐานะผู้สอนวิชาดังกล่าวได้แสดงแบบอย่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยสมมติบทบาทเป็นครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ แล้วให้นักศึกษาสมมติบทบาทเป็นนักเรียน ซึ่งใช้เวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ 2 คาบ/สัปดาห์ กิจกรรมการเรียนรู้ในช่วงดังกล่าวแสดงถึงการบูรณาการความรู้ในเนื้อหาและความรู้เกี่ยวกับวิธีสอนของครูผู้สอน ซึ่งนำไปสู่ความเข้าใจว่าควรจัดเรียง ดัดแปลง และนำเสนอเนื้อหาอย่างไรให้สอดคล้องและเหมาะสมกับความสนใจ และความสามารถที่หลากหลายของผู้เรียน (ขจรศักดิ์ และวรรณทิพา, 2548)

กิจกรรมการเรียนรู้ที่จัดขึ้นในช่วงดังกล่าวอาศัยทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองเป็นพื้นฐาน กล่าวคือ ผู้เรียนไม่ได้เปรียบเสมือนกระดาษที่ว่างเปล่าที่รอคอยให้ครูขีดเขียนความรู้ลงไป ตรงกันข้ามผู้เรียนก้าวเข้ามาในห้องเรียนพร้อมกับความรู้และประสบการณ์ ที่มีอยู่แล้วที่หลากหลาย ผู้เรียนไม่ได้มีหน้าที่รอรับความรู้ที่ถ่ายโอนมาจากครูเพียงฝ่ายเดียว ตรงกันข้ามผู้เรียนมีบทบาทเป็นผู้เรียนที่กระตือรือร้น (active learner) มีหน้าที่ในการร่วมอภิปราย วิจารณ์ โต้แย้ง สร้างสมมติฐาน ลงมือสำรวจตรวจสอบ รายงานและอภิปรายผล และสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง โดยการเชื่อมโยงความรู้และประสบการณ์ที่มีอยู่แล้วกับความรู้และประสบการณ์ที่ได้รับจากการมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมทั้งในและนอกห้องเรียน (Fox, 2001; Colburn, 2000) ครูผู้สอน มีบทบาทเป็นผู้อำนวยความสะดวก

(facilitator) มีหน้าที่เป็นผู้ส่งเสริม สนับสนุน และชี้แนะแนวทางการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองให้แก่ผู้เรียนภายใต้ประสบการณ์การเรียนรู้ที่จัดไว้อย่างเหมาะสม (Windschitl, 2002) เนื่องจากการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองของผู้เรียนเกิดขึ้นได้ตลอดกระบวนการเรียนรู้ การวัดผลการเรียนรู้จึงควรบูรณาการอยู่ในกระบวนการเรียนรู้โดยเน้นทั้งกระบวนการและผลผลิตของการสร้างองค์ความรู้ (Duit & Treagust, 1995) โดยจุดมุ่งหมายของการวัดผลไม่ได้อยู่ที่ความสามารถของผู้เรียนในการจดจำหรือระลึกข้อมูล แต่อยู่ที่ว่าผู้เรียนเกิดการพัฒนาความรู้และประสบการณ์ไปจากเดิมมากน้อยเพียงใด (Tynjala, 1999)

สำหรับเนื้อหาเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุในช่วงดังกล่าว คือ แรงและแรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ทั้งสามข้อของนิวตัน และความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมและแรงลัพธ์ โดยรายละเอียดของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองในแต่ละสัปดาห์เป็นดังต่อไปนี้

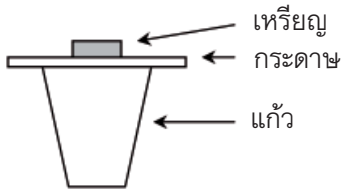
สัปดาห์ที่ 7 แรงและแรงลัพธ์

ผู้สอนใช้วิธีสอนแบบก่อกำเนิดการเรียนรู้ (generative learning model of teaching) (Osborne & Wittrock, 1985) นำเข้าสู่บทเรียนด้วยเกมยิงป้าย ภาพอุบัติเหตุบนท้องถนนจำนวน 4 ภาพ และการปล่อยก้อนดินน้ำมันที่ระดับความสูงต่างกัน แล้วอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับแรง ความเร็ว การเปลี่ยนแปลงความเร็ว และการเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุ ก่อนให้ผู้เรียนทำการทดลองเรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุเนื่องจากแรงลัพธ์ นำเสนอผลการทดลอง อภิปรายร่วมกันแล้วทำใบงานเรื่องการหาแรงลัพธ์

สัปดาห์ที่ 8 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน

ผู้สอนใช้วิธีสอนแบบทำนาย–สังเกต–อธิบาย (Predict–Observation–Explanation) นำเข้าสู่บทเรียนโดยให้ผู้เรียนทำนาย สังเกต และอธิบายสถานการณ์ดังนี้ สถานการณ์ที่ 1 วางเหรียญไว้บนกระดาษแข็งที่วางไว้บนแก้วแล้วดึงกระดาษแข็งออกอย่างรวดเร็ว ดังรูป 1

และสถานการณ์ที่ 2 วางเหรียญไว้บนไม้บรรทัดที่วางโผล่มาจากขอบโต๊ะแล้วปัดไม้บรรทัดอย่างรวดเร็ว ดังรูป 2 แล้วให้อภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับแรงลัพธ์และการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุ ก่อนให้ผู้เรียนทำการทดลองเรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุเมื่อแรงลัพธ์เป็นศูนย์ นำเสนอผลการทดลอง อภิปรายร่วมกันแล้วทำใบงานเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน



รูป 1 สถานการณ์ที่ 1 ของกิจกรรมการเรียนรู้ในสัปดาห์ที่ 8

รูป 2 สถานการณ์ที่ 2 ของกิจกรรมการเรียนรู้ในสัปดาห์ที่ 8

สัปดาห์ที่ 9 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

ผู้สอนใช้ขั้นตอนการสอนแบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (constructivist teaching sequence) (Driver & Oldham, 1980) นำเข้าสู่บทเรียนด้วยการสาธิตการปล่อยลูกบอลจากความสูงระดับไหล่ และผลักถุงทรายที่วางบนโต๊ะ แล้วอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุขณะก่อนเคลื่อนที่ ขณะเคลื่อนที่ และหยุดนิ่ง ก่อนให้ผู้เรียนทำการทดลองเรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุเมื่อแรงลัพธ์ไม่เป็นศูนย์ นำเสนอผลการทดลอง อภิปรายร่วมกัน แล้วทำใบงานเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

สัปดาห์ที่ 10 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน

ผู้สอนใช้ขั้นตอนการสอนแบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองนำเข้าสู่บทเรียนด้วยกิจกรรมชักเย่อ การดึง

เชือกที่ผูกกับขาโต๊ะ และการสังเกตลูกปิงปองที่กระดอนขึ้นจากโต๊ะ แล้วอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับแรงกิริยา–ปฏิกิริยา ก่อนให้ผู้เรียนทำการทดลองเรื่องแรงกิริยา–ปฏิกิริยา นำเสนอผลการทดลองอภิปรายร่วมกันแล้วทำใบงานเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน

สัปดาห์ที่ 11 โมเมนตัมและแรงลัพธ์

ผู้สอนใช้วิธีสอนแบบก่อกำเนิดการเรียนรู้นำเข้าสู่บทเรียนด้วยกิจกรรมการรับ–ส่งลูกบาสเกตบอล การรับลูกปิงปอง ลูกเทนนิส ลูกฟุตบอล ลูกเหล็กที่ปล่อยจากความสูงเท่ากัน แล้วอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุขณะก่อนเคลื่อนที่ ขณะเคลื่อนที่และหยุดนิ่ง ก่อนให้ผู้เรียนทำการทดลองเรื่องการหยุดวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ นำเสนอผลการทดลอง อภิปรายร่วมกัน แล้วทำใบงานเรื่องโมเมนตัมและแรงลัพธ์

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2547 ก่อนการเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอน ผู้วิจัยสัมภาษณ์นักศึกษาเป็นรายบุคคลเกี่ยวกับสภาพการจัดการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุในระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษา พร้อมทั้งสัมภาษณ์แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยใช้การสัมภาษณ์แบบใช้ภาพเขียนลายเส้นประกอบซึ่งใช้เวลาในการสัมภาษณ์คนละประมาณ 90 นาที และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 หลังจากเสร็จสิ้นการเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอน ผู้วิจัยสัมภาษณ์นักศึกษาเป็นรายบุคคลอีกครั้งหนึ่งเกี่ยวกับสภาพการจัดการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุในช่วงดังกล่าว พร้อมทั้งสัมภาษณ์แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยใช้การสัมภาษณ์แบบใช้ภาพเขียนลายเส้นประกอบซึ่งใช้เวลาในการสัมภาษณ์คนละประมาณ 90 นาที

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยถอดเทปบันทึกการสัมภาษณ์สภาพการจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ แล้วจัดกลุ่มคำตอบโดยแบ่งเป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ การใช้สื่อการเรียนรู้ การวัดและประเมินผลการเรียนรู้และปัญหาในการเรียนรู้แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ

ผู้วิจัยถอดเทปบันทึกการสัมภาษณ์แนวคิดของนักศึกษาเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุขณะก่อนและหลังการเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอน อ่านคำตอบที่ได้จากการสัมภาษณ์อย่างละเอียด แล้วตีความหมายคำตอบโดยเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพื่อจำแนกแนวคิดดังกล่าวของนักศึกษาออกเป็น 3 แบบตามระดับความสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ดังนี้

1. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (scientific conception; SC) หมายถึง นักศึกษามีแนวคิดสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ทุกองค์ประกอบ

2. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (partial scientific conception; PC) หมายถึง นักศึกษามีแนวคิดสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบ

3. แนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (alternative conception; AC) หมายถึง นักศึกษามีแนวคิดไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏในคำถามนั้น ๆ

เพื่อหาความถูกต้องในการตีความหมายแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ ผู้วิจัยสร้างแบบลงความคิดเห็นต่อการวิเคราะห์แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 2 ท่าน ลงความคิดเห็นต่อการวิเคราะห์แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุของผู้วิจัยว่าเห็นด้วยหรือไม่กับการตีความหมายและจำแนกแนวคิดของผู้วิจัย พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะ หลังจากได้รับผลการลงความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว ผู้วิจัยหาค่าความสอดคล้องของการตีความหมายและจำแนกแนวคิดระหว่างผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้เกณฑ์ความสอดคล้องที่ร้อยละ 80

เมื่อจำแนกแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุเสร็จแล้ว ผู้วิจัยเปรียบเทียบแนวคิดของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ขณะก่อนและหลังการเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอนเพื่อแสดงการพัฒนาแนวคิดของนักศึกษาเกี่ยวกับแรง

และการเคลื่อนที่ของวัตถุ

ผลและวิจารณ์

ผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอผลการวิจัยและอภิปรายออกเป็น 2 ส่วน คือ สภาพการจัดการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ และการพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ ในที่นี้เพื่อรักษาสิทธิของพลวิจัย ผู้วิจัยขอใช้นามแฝงแทนชื่อของพลวิจัยดังนี้ ยุทธ วรณ์ จุรี และญา

สภาพการจัดการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ

ระดับมัธยมศึกษา

นักศึกษาทุกคนกล่าวว่าครูผู้สอนในระดับมัธยมศึกษาของตนสอนเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยใช้วิธีสอนแบบบรรยายเป็นหลัก โดยให้นักเรียนจดตามคำบอก หรือจดตามสิ่งที่ครูเขียนบนกระดาน นักศึกษามีประสบการณ์ในการทดลองน้อยมาก เพราะได้ทำการทดลองเพียงเล็กน้อยในบางเนื้อหาเท่านั้น โดยวรณ์กับจุรีกล่าวว่า เคยทำการทดลองเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองและข้อที่สามของนิวตัน นอกจากนั้นวรณ์กับญากล่าวว่า ครูผู้สอนไม่ได้เน้นการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุเพื่ออธิบายเหตุการณ์ในชีวิตประจำวัน ทั้งนี้ยุทธ วรณ์ และจุรีกล่าวว่า ครูผู้สอนได้มอบหมายให้ทำการบ้าน แบบฝึกหัด และรายงานบ้างเป็นบางครั้ง

นักศึกษาทุกคนกล่าวว่าเนื่องจากครูผู้สอนในระดับมัธยมศึกษาของตนเน้นการสอนแบบบรรยาย จึงไม่ค่อยใช้สื่อในการเรียนการสอนมากนัก สื่อการเรียนรู้หลักที่ใช้ คือ กระดาน หนังสือเรียน และแบบฝึกหัด นอกจากนั้นก็จะเป็นสื่อที่ใช้ในการทดลองเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองและข้อที่สามของนิวตัน สำหรับการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ก็จะเป็นแบบฝึกหัดการบ้าน รายงาน สอบรายจุดประสงค์ สอบกลางภาค และสอบปลายภาค

สำหรับปัญหาที่นักศึกษาทุกคนพบในการเรียนรู้เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุในระดับมัธยมศึกษา ก็คือ ไม่ค่อยเข้าใจกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน โดยมีสาเหตุมาจากการเรียนรู้โดยการฟังบรรยายเป็นหลักทำให้ไม่ค่อยได้มีโอกาสลงมือปฏิบัติ และครูผู้สอนเน้นการท่องจำสมการต่าง ๆ มากกว่าความรู้ความเข้าใจที่แท้จริง ซึ่งนักศึกษาแต่ละคนให้เหตุผลดังนี้ ยุทธกล่าวว่า "การเรียนแบบบรรยายน่าเบื่อ ทำให้ไม่ตั้งใจเรียน จึงไม่เข้าใจในบทเรียน" วรณ์กล่าวว่า "อาจารย์สอนแบบบรรยายมากในเนื้อหาที่มีการทดลอง...เนื้อหายากนักเรียนไม่ค่อยสนใจเรียน" จุรีกล่าวว่า "อาจารย์จะสอนให้จำสมการ $\Sigma F = 0$, $\Sigma F = ma$ แต่ข้อสอบก็จะถามถึงความรู้เรื่องกฎข้อที่ 1 และข้อที่ 2 ของนิวตัน แต่เนื่องจากไม่เข้าใจจึงทำข้อสอบไม่ได้ ส่งผลสืบเนื่องถึงระดับอุดมศึกษา" และญากล่าวว่า "ไม่เข้าใจ เรียนตามไม่ทัน เรียนไม่รู้เรื่องและไม่เข้าใจเลย รู้เนื้อหาเท่าที่จดบนกระดาน เพราะอาจารย์สอนเร็ว ไม่ค่อยได้ทำการทดลอง ครูให้หนังสือมาให้อ่าน"

ระดับอุดมศึกษา

นักศึกษาทุกคนกล่าวว่าครูผู้สอนในระดับอุดมศึกษาของตนสอนเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยใช้วิธีสอนแบบบรรยายเป็นหลัก โดยมีแผ่นใสประกอบการบรรยาย นักศึกษาได้มีโอกาสทำการทดลองบ้าง เช่น ในเรื่องโมเมนตัม แต่ก็ต้องศึกษาวิธีทดลองและทำการทดลองเอง นอกจากนั้นก็ได้ทำรายงานและแบบฝึกหัดบ้าง สื่อการเรียนรู้หลักที่ครูผู้สอนในระดับอุดมศึกษาใช้ก็คือ แผ่นใส ส่วนการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ที่ครูผู้สอนใช้ก็คือ แบบฝึกหัด รายงาน สอบท้ายบท สอบกลางภาค และสอบปลายภาค

สำหรับปัญหาในการเรียนรู้เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุในระดับอุดมศึกษาของนักศึกษาแต่ละคนเป็นดังนี้ ยุทธกล่าวว่า "มีปัญหาในการปรับตัวในการจด lecture เพราะเป็นคนจดช้า...พอจดตามไม่ทันทำให้ไม่อยากเรียน" วรณ์กล่าวว่า "เวลาค่อนข้างจำกัดคือเวลาสอนน้อยมาก อาจารย์มีกิจกรรมมากมาย" จุรีกล่าวว่า "ไม่ค่อยเข้าใจในบทเรียนเพราะความรู้เดิมไม่ค่อยดี และเวลาที่อาจารย์สอนนั้นจะสอนแบบบรรยายโดยใช้แผ่นใส และก็สอนเร็วทำให้ตามไม่ทัน" และญากล่าวว่า "ตอนเรียนมัธยมความรู้ไม่ค่อยแน่น พอมาเรียนระดับอุดมศึกษาอาจารย์จะไม่สอนพื้นฐาน จะสอนตามเนื้อหาไปเลย ทำให้ไม่เข้าใจเนื้อหาที่ยากและซับซ้อน" ซึ่งจะเห็นว่าสาเหตุหลักของปัญหาดังกล่าวมาจากพื้นฐาน

ความรู้เดิมของนักศึกษาไม่ค่อยดี อันเป็นผลสืบเนื่องมาจากการเรียนรู้ในระดับมัธยมศึกษา และวิธีสอนแบบบรรยายที่ครูผู้สอนใช้

ช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอน

จากการเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอน นักศึกษาทุกคนระบุว่า เข้าใจแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุดีขึ้น โดยนักศึกษาแต่ละคนให้เหตุผลสนับสนุน ดังนี้ จุรีกล่าวว่า "เพราะวิธีสอนของอาจารย์เน้นนักเรียนเป็นสำคัญ ให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง มีการทดลอง การสาธิต การเล่นเกม ทำให้เกิดความเข้าใจมากกว่าจำสูตรกฎแต่ละข้อ" ยุทธกล่าวว่า "เพราะอาจารย์เจาะประเด็นสอนและเน้นเนื้อหาที่สำคัญ อาจารย์จะสอนโดยเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ จึงทำให้เข้าใจเนื้อหาเป็นอย่างดี...อธิบายเหตุการณ์ในชีวิตประจำวันได้ จากที่ไม่เคยอธิบายได้มาก่อน" วรณ์กล่าวว่า "ทำให้เข้าใจมากกว่าเดิมเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ ถ้ามีครูสอนฟิสิกส์อย่างนี้สอนตอน ม.4 ม.5 ก็ดี" ญากล่าวว่า "เพราะอาจารย์สอนตั้งแต่พื้นฐานและมีวิธีสอนที่ทำให้ข้าพเจ้ามีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมทำให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น"

นักศึกษาแต่ละคนมีความคิดเห็นเกี่ยวกับกิจกรรมการเรียนรู้ สื่อการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ที่ใช้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอนดังนี้ ยุทธกล่าวว่า "อาจารย์จะสอนแบบเน้นนักเรียนเป็นสำคัญ มีการใช้สื่อที่หลากหลาย ผู้เรียนสามารถลงมือปฏิบัติได้เองทำให้เข้าใจได้ด้วยตนเอง อาจารย์จะสอนแบบการถามตอบกระตุ้นความคิดของผู้เรียน ทำให้ไม่ง่วง และไม่น่าเบื่อ ผู้เรียน active อยู่ตลอดเวลา" วรณ์กล่าวว่า "กิจกรรมการเรียนรู้ทำให้เข้าใจมากขึ้นเกี่ยวกับแรง พอได้ลงมือทำแล้วเข้าใจดีขึ้น และได้เรียนรู้ว่าถ้ากิจกรรมไม่ดีจะทำให้เด็กเบื่อหน่ายกับการเรียน ไม่อยากเรียน กิจกรรมนั้นก็สูญเปล่า สื่อการเรียนรู้ช่วยอย่างมากในการเรียนรู้ เพราะว่าทำให้เราได้ทราบว่าสื่อที่นำมาสาธิตทำให้เกิดภาพที่ชัดเจนกว่าคำพูด เห็นจริง ใกล้ตัวเรา และการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ต้องวัดให้ตรงตามจุดประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ และสอดคล้องกับเนื้อหา สอดคล้องกับกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ วัดครอบคลุมพฤติกรรมทุกด้าน" จุรีกล่าวว่า "ช่วยให้เข้าใจแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุดีขึ้น คือ จากที่เข้าใจว่ากฎ [การเคลื่อนที่ของนิวตัน] แต่ละข้อ เช่น ข้อที่ 1 มีสูตรว่า $\Sigma F = 0$ กฎข้อที่ 2 คือ $\Sigma F = ma$ กฎข้อที่ 3 แรงกิริยาเท่ากับแรงปฏิกิริยา แต่เมื่อได้เรียนรู้แล้วทำให้เข้าใจใจความสำคัญมากขึ้น และอาจารย์ไม่เน้นการจำสูตรแต่เน้นความเข้าใจ" และญากล่าวว่า "กิจกรรมการเรียนรู้เป็นกิจกรรมที่ข้าพเจ้ามีส่วนร่วมและกระตุ้นให้ข้าพเจ้าคิดตามตลอด สื่อที่ใช้มีความหลากหลายและได้เห็นของจริง การวัดและประเมินผลการเรียนรู้ทำให้ข้าพเจ้าได้รู้ว่าจะต้องวัดผลอย่างไรตามเนื้อหา"

สำหรับปัญหาที่นักศึกษาแต่ละคนพบในการเรียนรู้เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอนเป็นดังนี้ ยุทธกล่าวว่า "ปัญหาก็คือที่เคยเรียนกับอาจารย์ท่านอื่นจะสอนแบบบรรยาย แต่พอมาเรียนกับอาจารย์จะเน้นนักเรียนเป็นสำคัญเลยทำให้เราตอบคำถามไม่ได้บ้าง ปรับตัวเข้ากับการสอนแบบนี้ยังไม่ได้ แต่ก็ยอมรับว่าวิธีการสอนแบบนี้ทำให้เราเข้าใจบทเรียนดียิ่งขึ้น" วรณ์กล่าวว่า "ปัญหาส่วนมากมีน้อยมากเนื่องจากการสาธิต การสอนเป็นกระบวนการขั้นตอนดีมาก อาจารย์สอนดีจึงไม่มีปัญหาเท่าไร ปัญหาคือเรื่องเวลา" จุรีกล่าวว่า "เพราะว่ามีความรู้และความเข้าใจในกฎข้อที่ 1, 2 และ 3 น้อยมาก ทำให้เรียนรู้ได้ช้า แต่เมื่อพยายามทำความเข้าใจก็ทำให้ได้เรียนรู้ดีขึ้นและมีความเข้าใจมากขึ้น" และญากล่าวว่า "ทำแบบฝึกหัดบางอย่างไม่เข้าใจ เพราะไม่เข้าใจโจทย์ปัญหาที่ถาม ทำให้ทำผิด" ซึ่งจะเห็นว่าสาเหตุหลักของปัญหาดังกล่าวคือ พื้นฐานความรู้เดิมของนักศึกษาไม่ค่อยดี และการปรับตัวเนื่องจากต้องเรียนในรูปแบบการเรียนรู้แบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองซึ่งแตกต่างจากรูปแบบการเรียนรู้แบบถ่ายโอนความรู้ (เช่น การสอนแบบบรรยาย) ที่นักศึกษาคุ้นเคย

กล่าวโดยสรุป นักศึกษาได้สะท้อนให้เห็นสภาพปัญหาของการจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุในระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษาที่ครูผู้สอน

เน้นการสอนแบบบรรยายเป็นหลัก ขาดการใช้สื่อการเรียนรู้และการปฏิบัติทดลอง อีกทั้งเน้นให้นักเรียนจดจำสมการต่าง ๆ มากกว่าความรู้ความเข้าใจในแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุและการประยุกต์ใช้แนวคิดดังกล่าวกับเหตุการณ์ในชีวิตประจำวัน สิ่งเหล่านี้ส่งผลให้นักเรียนขาดความเข้าใจแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุและการประยุกต์ใช้กับเหตุการณ์ในชีวิตประจำวัน ทำให้นักเรียนไม่เห็นคุณค่าและเบื่อหน่ายกับการเรียนรู้แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นอุปสรรคต่อนักเรียนในการเรียนรู้แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุในระดับชั้นที่สูงขึ้น หากอธิบายตามแนวคิดของทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองก็คือ เนื่องจากผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองด้วยการเชื่อมโยงความรู้และประสบการณ์ที่มีอยู่แล้วเข้ากับความรู้และประสบการณ์ใหม่ที่ได้รับจากการเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ในบทเรียน ดังนั้นหากผู้เรียนขาดความรู้และประสบการณ์ที่เป็นพื้นฐานในการเชื่อมโยงสู่การเรียนรู้เนื้อหาใหม่ในบทเรียน ก็ยากที่ผู้เรียนจะประสบผลสำเร็จในการเรียนรู้เนื้อหานั้น (Alesandrini & Larson, 2002) จึงเป็นหน้าที่ของครูผู้สอนที่ควรปรับพื้นฐานความรู้ของผู้เรียนให้พร้อมต่อการเรียนรู้เนื้อหาใหม่ในบทเรียน นอกจากนั้นครูผู้สอนควรส่งเสริมให้ผู้เรียนประเมินแนวคิดที่ได้เรียนรู้ ด้วยการประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ต่างๆ หรือการอธิบายปรากฏการณ์ที่พบในชีวิตประจำวัน เพื่อให้นักเรียนเห็นคุณค่าของแนวคิดที่ได้เรียนรู้อันจะทำให้เกิดความคงทนในการเรียนรู้มากขึ้น (Driver & Oldham, 1986)

เมื่อนักศึกษาได้เข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอน ซึ่งเป็นกิจกรรมที่มุ่งส่งเสริมให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง นักศึกษาต้องปรับตัวจากความเคยชินกับรูปแบบการเรียนรู้แบบเดิมคือการเรียนรู้จากการฟังบรรยาย มาเป็นการลงมือปฏิบัติกิจกรรมและการทดลองด้วยตนเอง ซึ่งทำให้นักศึกษาบางคนรู้สึกอึดอัดบ้างในระยะแรก แต่เมื่อได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมและการทดลองภายใต้การชี้แนะจากครูผู้สอน นักศึกษาก็มีเจตคติที่ดีขึ้น เพราะกิจกรรมต่าง ๆ เหล่านั้นช่วยให้นักศึกษาเข้าใจแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุมากขึ้น มากกว่าการพยายามทำความเข้าใจโดยการท่องจำสมการต่าง ๆ นอกจากนั้นนักศึกษายังเห็นคุณค่าและความสำคัญของแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุมากขึ้นจากความสามารถในการอธิบายเหตุการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ทำให้นักศึกษารู้สึกสนุกกับการเรียนรู้แบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองมากขึ้น ผู้วิจัยเชื่อว่าสิ่งเหล่านี้น่าจะส่งเสริมให้นักศึกษานำวิธีสอนแบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองไปใช้กับนักเรียนที่จะสอนในอนาคตแทนที่จะใช้การสอนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียว จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า นักศึกษาครูมีแนวโน้มจะจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบหรือวิธีการที่เคยมีประสบการณ์การเรียนรู้ในรูปแบบหรือวิธีการดังกล่าว มากกว่าจะจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบหรือวิธีการที่ครูผู้สอนในสถาบันการผลิตครูต้องการ (Duit & Treagust, 1995) ดังนั้นหากต้องการให้นักศึกษาครูใช้วิธีสอนแบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองในการสอน ครูผู้สอนในสถาบันการผลิตครูก็ควรใช้วิธีสอนแบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้นักศึกษาครูได้รับประสบการณ์จากการเรียนรู้ด้วยวิธีสอนแบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Tatto, 1999) ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ การแสดงแบบอย่างการสอนด้วยวิธีสอนแบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองจากครูผู้สอนในสถาบันการผลิตครู จึงเป็นแนวทางหนึ่งสามารถส่งเสริมให้นักศึกษาครูใช้วิธีสอนแบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองในการสอนในอนาคตได้

การพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ

จากการตีความหมายและเปรียบเทียบแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุของนักศึกษาก่อนและหลังเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอน ผู้วิจัยขอนำเสนอผลพร้อมทั้งอภิปรายโดยแยกตามลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ปรากฏในคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ กล่าวคือ วัตถุอยู่นิ่ง วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง และวัตถุเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง ดังนี้

กรณีวัตถุอยู่นิ่ง

กรณีวัตถุอยู่นิ่งปรากฏในคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ข้อที่ 1 – 3 ดังนี้

คำถามข้อที่ 1 หนังสือวางนิ่งบนโต๊ะ

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อหนังสือที่วางนิ่งบนโต๊ะ ดังรูป 3

รูป 3 ภาพเขียนลายเส้นประกอบคำถามสัมภาษณ์ข้อที่ 1

พบว่าจากเดิมที่ยุทธมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อหนังสือได้ถูกต้อง คือ น้ำหนักของหนังสือและแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อหนังสือ เขาก็ยังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เช่นเดิม แต่ได้พัฒนาการให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพิ่มเติมว่า "การที่หนังสือวางนิ่งอยู่บนโต๊ะได้เพราะแรงทั้งสองมีขนาดเท่ากัน"

จากเดิมที่วรณ์มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อหนังสือ เขาได้พัฒนาแนวคิดดังกล่าวเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อหนังสือได้ถูกต้อง แต่ให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "หนังสือวางนิ่งบนโต๊ะได้เพราะมีแรงที่โต๊ะกระทำต่อหนังสือในทิศตรงกันข้ามกับแรงโน้มถ่วงของโลกทำให้หนังสือไม่หล่นลงมาเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์การที่หนังสือวางนิ่งบนโต๊ะได้เป็นเพราะแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อหนังสือและแรงปฏิกิริยาที่โต๊ะกระทำต่อหนังสือมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกัน ทำให้แรงลัพธ์ที่กระทำต่อหนังสือเป็นศูนย์ หนังสือจึงรักษาสภาพอยู่นิ่งซึ่งเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน

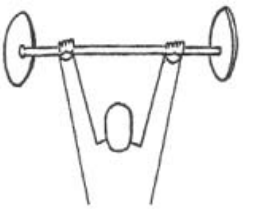
จากเดิมที่จุรีมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อหนังสือ เธอได้พัฒนาแนวคิดดังกล่าวเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์โดยระบุแรงที่กระทำต่อหนังสือได้ถูกต้อง และได้พัฒนาการให้เหตุผลจากเดิมว่า "การที่หนังสืออยู่นิ่งเพราะเราไม่ได้ออกแรงกระทำต่อหนังสือ" ไปเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเข้าใจแนวคิดเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันมากขึ้นดังนี้ "หนังสือวางนิ่งบนโต๊ะได้เพราะแรงลัพธ์ที่กระทำต่อหนังสือเป็นศูนย์"

จากเดิมที่ญามีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อหนังสือ เธอได้พัฒนาแนวคิดดังกล่าวเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์โดยระบุแรงที่กระทำต่อหนังสือได้ถูกต้อง และยังให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพิ่มเติมว่า "การที่หนังสือวางนิ่งบนโต๊ะได้เพราะแรงที่กระทำกับหนังสือมีขนาดเท่ากัน"

จากคำถามข้อที่ 1 โดยสรุปพบว่ายุทธยังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เช่นเดิมแต่พัฒนาการให้เหตุผลที่ละเอียดมากขึ้น วรณ์พัฒนาจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์มาเป็นแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์และให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งอาจเป็นเพราะเข้าใจสับสนระหว่างกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันและข้อที่สามของนิวตัน ส่วนจุรีและญาพัฒนาจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์มาเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์และพัฒนาการให้เหตุผลที่ละเอียดมากขึ้น

คำถามข้อที่ 2 นักยกน้ำหนักยกคานน้ำหนักให้อยู่นิ่ง

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อคานน้ำหนักที่ถูกยกให้อยู่นิ่งโดยนักยกน้ำหนัก ดังรูป 4



รูป 4 ภาพเขียนลายเส้นประกอบคำถามสัมภาษณ์ข้อที่ 2

พบว่าจากเดิมที่ยุทธมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงจากการยก เขาได้พัฒนาแนวคิดดังกล่าวเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อคานน้ำหนักได้ถูกต้อง คือ แรงจากการยกและน้ำหนักของคานน้ำหนัก และให้เหตุผลที่เป็น

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพิ่มเติมว่า "การที่คานน้ำหนักอยู่นิ่งได้เพราะแรงทั้งสองมีขนาดเท่ากัน"

จากเดิมที่วรณ์มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อคานน้ำหนักได้ถูกต้อง แต่ไม่ให้เหตุผลว่าทำไมคานน้ำหนักจึงอยู่นิ่ง เขายังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เช่นเดิม แต่ให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ดังนี้ "การที่คานน้ำหนักอยู่นิ่งได้เพราะแรงทั้งสองมีทิศทางตรงข้ามกันและมีขนาดของแรงเท่ากันเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน คือ แรงกิริยาเท่ากับแรงปฏิกิริยา" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์การที่คานน้ำหนักอยู่นิ่งได้ เพราะแรงจากการยกและน้ำหนักของคานน้ำหนักมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงข้ามกัน ทำให้แรงลัพธ์ที่กระทำต่อคานน้ำหนักเป็นศูนย์ คานน้ำหนักจึงรักษาสภาพอยู่นิ่ง ซึ่งเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน

จากเดิมที่จุรีมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อคานน้ำหนักได้ถูกต้อง เธอยังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เช่นเดิมและได้พัฒนาแนวคิดดังกล่าวโดยให้เหตุผลเพิ่มเติมที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ซึ่งแสดงความเข้าใจเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันมากขึ้นว่า "การที่คานน้ำหนักอยู่นิ่งได้เพราะแรงลัพธ์ที่กระทำต่อคานน้ำหนักมีค่าเป็นศูนย์ จึงทำให้วัตถุรักษาสภาพอยู่นิ่งได้ เป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน"

จากเดิมที่ญามีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงจากการยก เธอได้พัฒนาแนวคิดดังกล่าวเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ และให้เหตุผลเพิ่มเติมที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "การที่คานน้ำหนักอยู่นิ่งได้เพราะแรงทั้งสองเท่ากัน"

จากคำถามข้อที่ 2 โดยสรุปพบว่า ยุทธและญาพัฒนาจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์มาเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์และพัฒนาการให้เหตุผลที่ละเอียดมากขึ้น วรณ์ยังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แต่ให้เหตุผลคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งอาจเป็นเพราะเข้าใจสับสนระหว่างกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันและข้อที่สามของนิวตัน ส่วนจุรียังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เช่นเดิมและพัฒนาการให้เหตุผลที่แสดงถึงความเข้าใจเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่ง

รูป 5 ภาพเขียนลายเส้นประกอบคำถามสัมภาษณ์ข้อที่ 3

ของนิวตันมากขึ้น

คำถามข้อที่ 3 ผลักลังไม้แต่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ที่ถูกผลักแต่ไม่เคลื่อนที่ ดังรูป 5

พบว่าจากเดิมที่ยุทธมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ เขายังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์แต่ระบุน้ำหนักของลังไม้เพิ่มเติมขึ้นมา ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แรงที่กระทำต่อลังไม้ที่ถูกผลักแต่ไม่เคลื่อนที่ คือ แรงผลัก แรงเสียดทานสถิต แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ และน้ำหนักของลังไม้ และพบว่าจากเดิมที่ยุทธให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "ลังไม้ไม่เคลื่อนที่เพราะคนออกแรงน้อยกว่าน้ำหนักของลังไม้" เขาได้พัฒนาการให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ดังนี้ "การที่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่เพราะแรงที่คนออกแรงผลักมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงเสียดทาน"

จากเดิมที่วรณ์มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้และแรงเสียดทาน เขายังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้และน้ำหนักของลังไม้ และพบว่าจากเดิมที่วรณ์ให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "การที่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่เพราะว่ามวลของลังไม้มากกว่าแรงที่ผลัก" เขายังคงให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ดังนี้ "การที่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่เพราะแรงเสียดทานของลังไม้เท่ากับแรงที่คนผลักลังทำให้ลังไม้ไม่เคลื่อนที่เป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ การที่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่เป็นเพราะแรงจากการผลักมีขนาดเท่ากับแรงเสียดทานสถิตที่พื้นกระทำต่อลังไม้ แต่มีทิศ

ตรงข้ามกัน ทำให้แรงลัพธ์ที่กระทำต่อลังไม้เป็นศูนย์ ลังไม้จึงรักษาสภาพอยู่นิ่ง ซึ่งเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน

จากเดิมที่จุรีมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ เธอยังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เช่นเดิม และจากเดิมที่ให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "การที่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่เพราะแรงที่ใช้ผลักน้อยกว่าแรงเสียดทานเพราะพื้นมีความฝืด" ได้พัฒนาการให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ซึ่งแสดงถึงความเข้าใจเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันมากขึ้นดังนี้ "การที่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่เพราะแรงลัพธ์ที่กระทำต่อลังไม้เป็นศูนย์ ลังไม้จึงพยายามรักษาสภาพอยู่นิ่ง"

จากเดิมที่ญามีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้และน้ำหนักของลังไม้ เธอยังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เช่นเดิม แต่ได้พัฒนาการให้เหตุผลเพิ่มเติมที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "การที่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่เพราะแรงที่คนกระทำกับลังไม้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงเสียดทาน"

จากคำถามข้อที่ 3 โดยสรุปพบว่ายุทธยังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เช่นเดิม แต่พัฒนาการให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มาเป็นการให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ วรณ์ยังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เช่นเดิม และให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ จุรียังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เช่นเดิม แต่พัฒนาการให้เหตุผลซึ่งแสดงถึงความเข้าใจเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันมากขึ้น ส่วนญายังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เช่นเดิม แต่พัฒนาการให้เหตุผลที่ละเอียดมากขึ้น

กล่าวโดยสรุป กรณีวัตถุอยู่นิ่ง พบว่านักศึกษาที่จากเดิมมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์อยู่แล้วก็ยังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เช่นเดิม แต่ได้พัฒนาการให้เหตุผลที่ละเอียดมากขึ้น ส่วนนักศึกษาที่จากเดิมมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ได้พัฒนาแนวคิดดังกล่าวมาเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์และพัฒนาการให้เหตุผลที่ละเอียดมากขึ้น ยกเว้นในกรณีของวรรณ์ในคำถามข้อที่ 1 ที่พบว่าพัฒนาจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์มาเป็นแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ และให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งอาจเป็นเพราะเข้าใจสับสนระหว่างกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันและข้อที่สามของนิวตัน และไม่เข้าใจเกี่ยวกับแรงกิริยา–ปฏิกิริยาตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน โดยวรรณ์มีแนวคิดว่า แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุก้อนเดียวกัน แต่มีทิศตรงข้ามกัน จึงหักล้างกันเป็นศูนย์ ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แล้ว แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุคนละก้อน จึงไม่สามารถหักล้างกันเป็นศูนย์ได้ สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าวรรณ์ยังคงใช้การอุปมาแบบขัดแย้ง (conflict metaphor) ที่ว่า "แรงสองแรงที่มีขนาดเท่ากัน กระทำต่อวัตถุเดียวกันแต่อยู่ในทิศตรงข้ามกันเป็นแรงกิริยา–ปฏิกิริยา ยกตัวอย่างเช่น แรงกิริยาคือน้ำหนักของวัตถุในทิศลง และแรงปฏิกิริยาคือแรงที่พื้นดันวัตถุในทิศขึ้น" ซึ่งเป็นแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (Hestenes et al., 1992, 144–145) สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Terry and Jones (1986, 295) ที่พบว่าผู้เรียนจำนวนมากไม่สามารถระบุได้ว่า "เมื่อแรงกิริยาคือ น้ำหนักของวัตถุหรือแรงที่โลกดึงดูดวัตถุ จะมีแรงปฏิกิริยาคือแรงที่วัตถุดึงดูดโลก"

นอกจากนั้นพบว่า นักศึกษาส่วนมาก (3 จาก 4 คนในคำถามข้อที่ 1 และทุกคนในคำถามข้อที่ 3) ยังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เช่นเดิม เพราะละเลยแรงบางชนิด เช่น น้ำหนัก แรงเสียดทาน และ/หรือแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อวัตถุ ซึ่งอาจเป็นเพราะนักศึกษายังมีมุมมองที่ยึดตนเองเป็นศูนย์กลาง นั่นคือมองว่าแรงบางชนิด (เช่น น้ำหนัก แรงเสียดทาน หรือแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อวัตถุ) ไม่ปรากฏอยู่ในสถานการณ์ที่ศึกษา จนกว่าจะสังเกตเห็นอิทธิพลของแรงเหล่านั้นอย่างชัดเจนเสียก่อน (Gilbert, Watts & Osborne, 1982)

กรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว

กรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวปรากฏในคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ข้อที่ 4–5 ดังนี้

รูป 6 ภาพเขียนลายเส้นประกอบคำถามสัมภาษณ์ข้อที่ 4

คำถามข้อที่ 4 ผลักลังไม้ให้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ที่ถูกผลักให้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว ดังรูป 6

พบว่าจากเดิมที่ยุทธมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ เขายังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้และน้ำหนักของลังไม้ ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แรงที่กระทำต่อลังไม้ที่ถูกผลักให้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว คือ แรงผลัก แรงเสียดทานสถิต แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ และน้ำหนักของลังไม้ และพบว่าจากเดิมที่ยุทธให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "แรงผลักต้องมากกว่าน้ำหนักของลังไม้ แล้วลังไม้ถึงจะเคลื่อนที่ได้" ก็ยังคงให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวเพราะแรงที่คนกระทำกับลังไม้มากกว่าแรงเสียดทาน และคนผลักด้วยอัตราเร็วคงตัว" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์การที่ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวเป็นเพราะคนออกแรงผลักลังไม้เท่ากับแรงเสียดทานจลน์

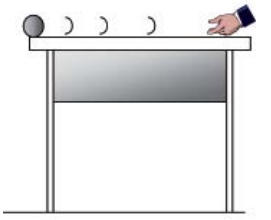
จากเดิมที่วรณ์มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้และแรงเสียดทาน เขายังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ และจากเดิมที่ให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "การที่ลังเคลื่อนที่เพราะว่าแรงที่ผลัก (F) มากกว่าแรงที่ลังต้าน (–F)" ก็ยังคงให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวเพราะมีแรงเสียดทานจลน์ที่มีทิศตรงข้ามกับแรงผลักของคนซึ่งมีมากทำให้ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว"

จากเดิมที่จุรีมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ เธอยังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เช่นเดิม แต่ได้พัฒนาการให้เหตุผลจากเดิมที่มีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ได้ เพราะว่าแรงที่ใช้ผลักเท่ากับหรือมากกว่าน้ำหนักของลังไม้" มาเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวตลอดไปเพราะแรงลัพธ์จากภายนอกที่กระทำต่อลังไม้เป็นศูนย์"

จากเดิมที่ญามีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ แรงเสียดทาน และน้ำหนักของลังไม้ เธอยังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้และน้ำหนักของลังไม้ และจากเดิมที่ญาให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "ลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เพราะเราออกแรงผลักเท่าเดิมตลอด" ก็ยังคงให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวเพราะคนออกแรงผลักมากกว่าแรงเสียดทาน"

คำถามข้อที่ 5 ลูกบอลเคลื่อนที่บนโต๊ะเรียบและลื่นด้วยอัตราเร็วคงตัว

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลูกบอลที่ถูกผลักให้เคลื่อนที่บนโต๊ะเรียบและลื่นด้วยอัตราเร็วคงตัว ดังรูป 7



รูป 7 ภาพเขียนลายเส้นประกอบคำถามสัมภาษณ์ข้อที่ 5

พบว่าจากเดิมที่ยุทธมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุว่าแรงที่กระทำต่อลูกบอล คือ แรงผลักจากมือและน้ำหนักของลูกบอล ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แรงที่กระทำต่อลูกบอล

คือ แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลูกบอลและน้ำหนักของลูกบอล และเมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้ว ถือว่าอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างมือกับลูกบอลก็สิ้นสุดลง จึงไม่มีแรงจากมือกระทำต่อลูกบอลอีกต่อไป เขาก็ยังคงมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เช่นเดิม แต่ได้พัฒนาการให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "การที่ลูกบอลเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวเพราะพื้นเป็นพื้นราบลื่นวัตถุจึงเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่สม่ำเสมอ"

จากเดิมที่วรณ์มีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุว่ามีแรงกระทำต่อลูกบอล คือ แรงผลักจากมือและน้ำหนักของลูกบอล เขาก็ยังคงมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุว่าแรงที่กระทำต่อลูกบอล คือ แรงผลักจากมือ แรงเสียดทาน และน้ำหนักของลูกบอล และให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "การที่ลูกบอลเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวเพราะมีแรงต้านหรือแรงเสียดทานทำให้แรงผลักเท่ากับแรงต้าน" ซึ่งตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันการที่ลูกบอลเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวเพราะแรงลัพธ์ที่กระทำต่อลูกบอลเป็นศูนย์ กล่าวคือ น้ำหนักของลูกบอลเท่ากับแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลูกบอล โดยไม่มีแรงเสียดทานกระทำต่อลูกบอลเพราะพื้นโต๊ะเรียบและลื่น

จากเดิมที่จุรีมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุว่ามีแรงกระทำต่อลูกบอล คือ แรงผลักจากมือและน้ำหนักของลูกบอล เธอก็ยังคงมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เช่นเดิม แต่ได้พัฒนาการให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งแสดงถึงความเข้าใจเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันมากขึ้นว่า "การที่ลูกบอลเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวเพราะแรงลัพธ์จากภายนอกที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ ทำให้ลูกบอลรักษาสภาพการเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว"

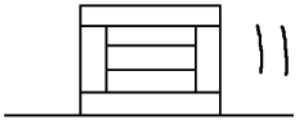
จากเดิมที่ญามีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุว่ามีแรงกระทำต่อลูกบอล คือ แรงผลักจากมือ เธอก็ยังคงมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุว่ามีแรงกระทำต่อลูกบอล คือ แรงผลักจากมือและแรงเสียดทาน แต่ได้พัฒนาการให้เหตุผลเพิ่มเติมว่า "การที่ลูกบอลเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวเพราะพื้นโต๊ะที่เรียบและลื่นทำให้ลูกบอลเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว"

กล่าวโดยสรุปกรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวพบว่า นักศึกษาทุกคนยังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อลังไม้ที่ถูกผลักให้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว เพราะไม่ได้ระบุน้ำหนัก แรงเสียดทาน และ/หรือแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนักศึกษายังคงมีมุมมองที่ยึดตนเองเป็นศูนย์กลาง นั่นคือมองว่าแรงบางชนิด (เช่น น้ำหนัก แรงเสียดทาน หรือแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อวัตถุ) ไม่ปรากฏอยู่ในสถานการณ์ที่ศึกษาจนกว่าจะสังเกตเห็นอิทธิพลของแรงเหล่านั้นอย่างชัดเจนเสียก่อน (Gilbert et al., 1982)

นอกจากนั้นพบว่านักศึกษาทุกคนยังคงมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "มีแรงจากมือกระทำต่อลูกบอล แม้ว่าลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือไปแล้วก็ตาม" แนวคิดนี้สอดคล้องกับแนวคิดที่พบในงานวิจัยว่า "มีแรงจากผู้ให้แรงกระทำ (active agent) อาศัยหรือแฝง (embed) อยู่ในวัตถุเพื่อทำให้วัตถุเคลื่อนที่ต่อไปได้หลังจากวัตถุเคลื่อนที่พ้นจากผู้ให้แรงกระทำไปแล้ว" ซึ่งเรียกว่า แนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุ ตามแนวคิดนี้แรงขับดันภายในของวัตถุได้รับการถ่ายทอดมาจากการกระทำของผู้ให้แรงกระทำ เช่น การผลัก การดึง การปล่อย การตี การโยน หรือการชน เป็นต้น (Heywood & Parker, 2001; Jimoyiannis & Komis, 2003) แนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในนี้พบบ่อยมาก เมื่อให้ผู้เรียนอธิบายแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุเคลื่อนที่พ้นจากผู้ให้แรงกระทำไปแล้ว (Kruger, Summers & Palacio, 1990, 92) แนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุนี้ไม่สอดคล้องกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันกรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว เพราะขณะวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว แรงลัพธ์ภายนอกที่กระทำต่อวัตถุจะเป็นศูนย์

กรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง

กรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งปรากฏในคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ข้อที่ 6–7 ดังนี้



รูป 8 ภาพเขียนลายเส้นประกอบคำถามสัมภาษณ์ข้อที่ 6

คำถามข้อที่ 6 ผลักลังไม้แล้วปล่อยให้เคลื่อนที่ตามพื้นราบแล้วลังไม้เคลื่อนที่ช้าลง

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ที่ถูกผลักแล้วปล่อยให้เคลื่อนที่ตามพื้นราบแล้วลังไม้เคลื่อนที่ช้าลง ดังรูป 8

พบว่าจากเดิมที่ยุทธมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ คือ แรงเสียดทานและแรงผลัก ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แรงที่กระทำต่อลังไม้ คือ แรงเสียดทาน แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ และน้ำหนักของลังไม้ และเมื่อลังไม้เคลื่อนที่พ้นจากมือไปแล้วถือว่าอันตรกิริยาระหว่างมือกับลังไม้ก็สิ้นสุดลง จึงไม่มีแรงจากมือกระทำต่อลังไม้อีกต่อไป เขาก็ยังคงมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เช่นเดิม และจากเดิมที่ให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "เราผลักแล้วปล่อย มันก็จะค่อย ๆ หยุด แรงเสียดทานพยายามต้านการเคลื่อนที่ แรง F ที่ผลักไป ที่คนให้กับวัตถุมันหมด มันก็หยุด ถ้าเป็นพื้นลื่นมันจะลื่น ไม่มีแรงเสียดทาน มันจะเคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ แต่ถ้ามีแรงเสียดทานต้านอยู่ทำให้เคลื่อนที่ช้าลงจนหยุด" ก็ยังคงให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ช้าลงเพราะแรงจากการผลักค่อย ๆ ลดลงในขณะที่แรงเสียดทานมีขนาดเท่าเดิม"

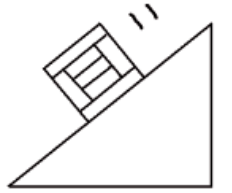
จากเดิมที่วรณ์มีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ คือ แรงผลักและน้ำหนักของลังไม้ ก็ยังคงมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ คือ แรงผลักและแรงเสียดทาน และจากเดิมที่ให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "ลังไม้เคลื่อนที่ช้าลงเพราะความเร็วของลังไม้น้อยกว่าแรงผลัก" ได้พัฒนาการให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ดังนี้ "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ช้าลงเพราะมีแรงเสียดทานที่มีทิศต้านการเคลื่อนที่"

จากเดิมที่จุรีมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ คือ แรงเสียดทาน แรงผลัก และน้ำหนักของลังไม้ เธอได้พัฒนาแนวคิดดังกล่าวเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ คือ แรงเสียดทานและน้ำหนักของลังไม้ และจากเดิมที่ให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ช้าลงเพราะเราไม่ได้ผลักตลอด เราผลักแล้วปล่อย แรงผลักจะลดลงเรื่อย ๆ" ได้พัฒนาการให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ซึ่งแสดงถึงความเข้าใจเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันมากขึ้นดังนี้ "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ช้าลงเพราะแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุไม่เป็นศูนย์ จึงทำให้วัตถุเปลี่ยนแปลงความเร็ว นั่นคือ เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ทำให้ลังไม้เคลื่อนที่ช้าลง"

จากเดิมที่ญามีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ คือ แรงผลักและแรงปฏิกิริยาในทิศตรงข้ามกับทิศการผลัก เธอก็ยังคงมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ คือ แรงผลักและแรงเสียดทาน แต่ได้พัฒนาการให้เหตุผลจากเดิมว่า "พอออกแรงไปถึงจุด ๆ หนึ่ง จะมีแรงต้านทำให้กล่องใบนี้ช้าลง" เป็นการให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ช้าลงเพราะมีแรงเสียดทานที่พื้น"

คำถามข้อที่ 7 ลังไม้เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงด้วยความเร่ง

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ที่ถูกปล่อยให้เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงด้วยความเร่ง ดังรูป 9



รูป 9 ภาพเขียนลายเส้นประกอบคำถามสัมภาษณ์ข้อที่ 7

พบว่าจากเดิมยุทธมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ คือ แรงปล่อย แรงเสียดทาน และน้ำหนักของลังไม้ ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ แรงที่กระทำต่อลังไม้ที่ถูกปล่อยให้เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียง คือ แรงเสียดทาน แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ และน้ำหนักของลังไม้ และเมื่อลังไม้เคลื่อนที่พ้นจากมือแล้ว ถือว่าอันตรกิริยาระหว่างมือกับลังไม้สิ้นสุดลง จึงไม่มีแรงจากมือกระทำต่อลังไม้อีกต่อไป เขาพัฒนาแนวคิดดังกล่าวเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ คือ แรงโน้มถ่วงและแรงเสียดทาน และจากเดิมที่ให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ว่า "การที่ลังเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเป็นเพราะพื้นเอียงถ้าชันมากลังก็ไหลเร็ว ถ้าชันน้อยก็ไหลช้าหรืออาจจะไม่ไหล" ก็ยังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เช่นเดิมว่า "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร่งเพราะพื้นมีความเอียง" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์การที่ลังไม้เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงด้วยความเร่ง เป็นเพราะองค์ประกอบของน้ำหนักของลังไม้ในแนวขนานกับพื้นเอียง ($mg\sin\theta$) มีขนาดมากกว่าแรงเสียดทานจลน์ที่พื้นกระทำต่อลังไม้ (f_k)

จากเดิมที่วรณ์มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ คือ แรงเสียดทานและน้ำหนักของลังไม้ เขาได้พัฒนาแนวคิดดังกล่าวเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ที่ถูกปล่อยให้เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงได้ถูกต้อง และจากเดิมที่ให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ว่า "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร่งเป็นเพราะความชันของพื้นเอียง" ก็ยังคงให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ว่า "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร่งเพราะลังไม้เคลื่อนที่อย่างอิสระลงตามพื้นเอียงมีแรงเสียดทานน้อยทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร่งและขึ้นอยู่กับมวลวัตถุนั้นด้วย"

จากเดิมที่จุรีมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ คือ แรงจากการปล่อย แรงเสียดทาน และน้ำหนักของลังไม้ เธอก็ยังคงมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เช่นเดิม และจากเดิมที่ให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ว่า "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร่งเป็นเพราะความชันของพื้นเอียง" ได้พัฒนาเป็นการให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่แสดงถึงความเข้าใจเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันดังนี้ "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร่งเพราะแรงลัพธ์ที่กระทำต่อลังไม้ไม่เป็นศูนย์ จึงทำให้ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เปลี่ยนแปลงนั่นคือเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อสองของนิวตัน"

จากเดิมที่ญามีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ คือ น้ำหนักของลังไม้ เธอก็ยังคงมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ คือ น้ำหนักของลังไม้และแรงเสียดทาน และจากเดิมที่ให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ว่า "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร่งเป็นเพราะมุมของพื้นเอียงทำให้เกิดแรงดึงดูด" ก็ยังให้เหตุผลที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ว่า "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร่งเพราะมุมของพื้นเอียงทำให้ลังไม้เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงและมีแรงเสียดทานน้อยกว่า ทำให้ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง"

กล่าวโดยสรุปในกรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง พบว่านักศึกษาส่วนมาก (ทุกคนในคำถามข้อที่ 6 และ 2 จาก 4 คนในคำถามข้อที่ 7) ยังคงมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "มีแรงจากการผลักกระทำต่อลังไม้ แม้ว่าลังไม้เคลื่อนที่พ้นจากมือไปแล้วก็ตาม" (ส่วนที่ขีดเส้นใต้แสดงแรงขับดันภายในของลังไม้) ซึ่งเรียกว่า แนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุ นอกจากนั้นพบว่ายุทธยังคงมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า เมื่อลังไม้เคลื่อนที่พ้นจากมือ แรงจากการผลักจะลดลงเพราะพื้นมีแรงเสียดทาน ทำให้ความเร็วของลังไม้ลดลง ซึ่งเป็นแนวคิดเกี่ยวกับการสูญเสียแรงขับดันภายในของวัตถุที่สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kruger et al. (1990, 92), Trumper and Gorsky (1996) และ Shelley and Marjan (2000) ที่พบว่าผู้เรียนจำนวนมากเชื่อว่า "การสูญเสียแรงขับดันภายในจะเกิดขึ้นในระหว่างที่วัตถุเคลื่อนที่ เมื่อแรงขับดันภายในลดลง วัตถุจะเคลื่อนที่ช้าลง และเมื่อแรงขับดันภายในสูญเสียหมด วัตถุจะหยุดนิ่ง" สำหรับ

แนวคิดเกี่ยวกับการสูญเสียแรงขับดันภายในของวัตถุอันเนื่องมาจากอิทธิพลของแรงเสียดทานที่พบนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Thijs (1992) ที่พบว่าผู้เรียนจำนวนมาก มีแนวคิดว่าอิทธิพลของแรงภายนอก เช่น แรงเสียดทาน ทำให้วัตถุสูญเสียแรงขับดันภายในได้

แนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุและการสูญเสียแรงขับดันภายในของวัตถุที่พบในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับทฤษฎีแรงขับดันภายในของนักวิทยาศาสตร์และนักปรัชญาในสมัยโบราณ เช่น ทฤษฎีแรงขับดันภายในของ John Philoponus ในศตวรรษที่ 6 และทฤษฎีแรงขับดันภายในของ Jean Buridan ในศตวรรษที่ 14 (Wandersee, Mintzes & Novak, 1994; Halloun & Hestenes, 1985, 105) นั่นเป็นเพราะแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุเป็นแนวคิดที่เกิดจากประสบ–การณ์การสังเกตการเคลื่อนที่ของวัตถุในชีวิตประจำวัน (McCloskey, 1983, 119)

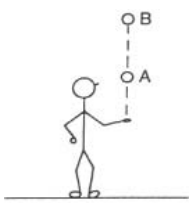
นอกจากนั้นยังพบว่านักศึกษาทุกคนไม่ได้คำนึงถึงน้ำหนัก แรงเสียดทาน และ/หรือแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนักศึกษายังคงมีมุมมองที่ยึดตนเองเป็นศูนย์กลาง นั่นคือมองว่าแรงบางชนิด (เช่น น้ำหนัก แรงเสียดทาน หรือแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อวัตถุ) ไม่ปรากฏอยู่ในสถานการณ์ที่ศึกษาจนกว่าจะสังเกตเห็นอิทธิพลของแรงเหล่านั้นอย่างชัดเจนเสียก่อน (Gilbert et al., 1982)

กรณีวัตถุเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง

กรณีวัตถุเคลื่อนที่ในแนวดิ่งปรากฏในคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ข้อที่ 8 ดังนี้

คำถามข้อที่ 8 โยนลูกบอลขึ้นในแนวดิ่ง

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลูกบอลที่ถูกโยนขึ้นในแนวดิ่งจนถึงจุดสูงสุด ดังรูป 10



รูป 10 ภาพเขียนลายเส้นประกอบคำถามสัมภาษณ์ข้อที่ 8

พบว่าจากเดิมที่ยุทธมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลูกบอลที่ถูกโยนขึ้นในแนวดิ่งจนถึงจุดสูงสุด คือ แรงจากการโยนและน้ำหนักของลูกบอล ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แรงที่กระทำต่อลูกบอลที่ถูกโยนขึ้นในแนวดิ่งจนถึงจุดสูงสุด คือ น้ำหนักของลูกบอล และเมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้ว ถือว่าอันตรกิริยาระหว่างมือกับลูกบอลก็สิ้นสุดลง จึงไม่มีแรงจากมือกระทำต่อลูกบอลอีกต่อไป เขาก็ยังคงมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เช่นเดิม

จากเดิมที่วรณ์มีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลูกบอลคือแรงจากการโยนและน้ำหนักของลูกบอล เขาก็ยังคงมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เช่นเดิม

จากเดิมที่จุรีมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลูกบอลคือแรงจากการโยนและน้ำหนักของลูกบอล เธอได้พัฒนาแนวคิดดังกล่าวเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถระบุแรงที่กระทำต่อลูกบอลได้ถูกต้อง

จากเดิมที่ญามีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลูกบอลคือแรงจากการโยนและน้ำหนักของลูกบอล เธอก็ยังคงมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงที่กระทำต่อลูกบอลคือ แรงจากการโยน

นอกจากนั้นพบว่ายุทธ วรณ์ และญามีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า แรงจากการโยนค่อย ๆ ลดลงเมื่อลูกบอลเคลื่อนที่ขึ้น และเมื่อลูกบอลเคลื่อนที่ไปจนถึงจุดสูงสุด แรงจากการโยนจะเป็นศูนย์

กล่าวโดยสรุปในกรณีวัตถุเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง พบว่านักศึกษา 3 คนจาก 4 คนยังคงมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้ว ยังคงมีแรงจากการโยนกระทำต่อลูกบอล" (ส่วนที่ขีดเส้นใต้แสดงแรงขับดันภายในของลูกบอล) ซึ่งเป็นแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุ (Heywood & Parker, 2001; Jimoyiannis & Komis, 2003) และนักศึกษา 3 คนจาก 4 คนมีแนวคิดเกี่ยวกับการสูญเสียแรงขับดันภายใน

ตาราง 1 การพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3

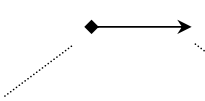
พลวิจัย	แนวคิด	ลักษณะการเคลื่อนที่							
		อยู่นิ่ง			มีอัตราเร็วคงตัว		มีความเร่ง		แนวดิ่ง
		ข้อ 1	ข้อ 2	ข้อ 3	ข้อ 4	ข้อ 5	ข้อ 6	ข้อ 7	ข้อ 8
ยุทธ	SC	→			→				→
	PC		↗	→					
	AC					→	↗	→	
วรณ์	SC		→				↗		
	PC	↘		→	→				
	AC					→		→	→
จุรี	SC	↗	→						
	PC			→	→				↗
	AC					→	→	↗	
ญา	SC	↗	↗						
	PC			→	→		→		
	AC					→		→	→

หมายเหตุ

SC (scientific conception) หมายถึง แนวคิดทางวิทยาศาสตร์

PC (partial scientific conception) หมายถึง แนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์

AC (alternative conception) หมายถึง แนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์



หางลูกศร แสดงแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่**ก่อน**การเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอน

หัวลูกศร แสดงแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่**หลัง**การเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอน

ของวัตถุว่า แรงจากการโยนของลูกบอลจะลดลงเรื่อย ๆ จนเป็นศูนย์ ที่จุดสูงสุดของการเคลื่อนที่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัย ของ Kruger et al. (1990, 92), Trumper and Gorsky (1996) และ Shelley and Marjan (2000)

เมื่อพิจารณาในภาพรวม การพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 แยกตามลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ปรากฏในคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ กล่าวคือ วัตถุอยู่นิ่ง วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง และวัตถุเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง สามารถแสดงได้ดังตาราง 1

จากตาราง 1 กล่าวโดยสรุป กิจกรรมการเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอนช่วยให้นักศึกษาพัฒนาความรู้ความเข้าใจและการให้เหตุผลที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุในกรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งมากที่สุด รองลงมา คือ กรณีวัตถุอยู่นิ่ง และกรณีวัตถุเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง ตามลำดับ โดยนักศึกษาที่มีการพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุมากที่สุด คือ จุรี รองลงมา คือ ยุทธและญา และวรณ์ตามลำดับ ทั้งนี้ถึงแม้ว่าในบางข้อคำถามนักศึกษาจะไม่ได้ปรับเปลี่ยนแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ แต่นักศึกษาได้พัฒนาการให้เหตุผลที่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น และมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ ทั้งนี้พบว่ามุมมองที่ยึดตนเองเป็นศูนย์กลางและแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุเป็นอุปสรรคสำคัญในการเรียนรู้แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ และเป็นแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ปรับเปลี่ยนได้ยาก

ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์และแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 ที่พบในงานวิจัยนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมุมมองที่ยึดตนเองเป็นศูนย์กลางและแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุ มีความสอดคล้องกับแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุที่พบในงานวิจัยในต่างประเทศ แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนที่มีความแตกต่างด้านอายุ เพศ ความสามารถ และวัฒนธรรม มีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุที่สอดคล้องและคล้ายคลึงกัน (Smith, diSessa & Roschelle, 1993)

การที่นักศึกษามีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุและไม่สามารถประยุกต์ใช้แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุอธิบายเหตุการณ์ในชีวิตประจำวันได้ บ่งชี้ว่าสถาบันการผลิตครูยังมีปัญหาในการเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาแก่นักศึกษา โดยเฉพาะนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 ซึ่งผ่านการเรียนรู้ในรายวิชากลศาสตร์มาแล้ว ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Dykstra, Boyle and Monarch (1992) ที่พบว่าผู้เรียนจำนวนมากผ่านการเรียนในรายวิชากลศาสตร์โดยปราศจากความเข้าใจเกี่ยวกับกรอบแนวคิดของนิวตัน (Newtonian framework) สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เป็นแนวคิดที่เปลี่ยนแปลงได้ยาก จากการสำรวจแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุก่อนและหลังการเรียนรู้ในช่วงการแสดงแบบอย่างการสอนแบบผนวกเนื้อหาและวิธีสอนในงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่ามุมมองที่ยึดตนเองเป็นศูนย์กลางและแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุเป็นแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่เปลี่ยนแปลงได้ยาก ซึ่ง Champagne et al. (1983, 177), Hestenes et al. (1992, 142) และ Jimoyiannis and Komis (2003) ให้เหตุผลไว้ว่า เป็นเพราะแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ช่วยให้ผู้เรียนสามารถตีความหมาย ทำนาย และอธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันได้ดี ทำให้ผู้เรียนเกิดความพึงพอใจ ในขณะที่แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ให้คำอธิบายที่สอดคล้องกับปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน ยกตัวอย่าง เช่น ในการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ ผู้สอนมักจะให้ผู้เรียนละเลยอิทธิพลของความเสียดทาน โดยถือว่าอิทธิพลของความเสียดทานมีน้อยมากในขณะที่เหตุการณ์ที่ศึกษาปรากฏอิทธิพลจากความเสียดทาน

อย่างชัดเจน (Jimoyiannis & Komis, 2003; Enderstein & Spango, 1996, 489)

แนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 ที่พบในงานวิจัยนี้เป็นสิ่งกระตุ้นให้ครูผู้สอน ผู้บริหาร และบุคลากรที่เกี่ยวข้องในสถาบันการผลิตครูตระหนักและหาแนวทางเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาวิชาแก่นักศึกษาครูวิทยาศาสตร์ให้ดียิ่งขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้นักศึกษามีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เพราะหากนักศึกษามีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แล้ว อาจถ่ายทอดแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าวไปยังนักเรียนที่ตนเองสอน(Pardhan & Bano, 2001, 315) ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบต่อการศึกษาวิทยาศาสตร์ในวงกว้าง เพราะแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เป็นอุปสรรคและขัดขวางการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ของผู้เรียน ทำให้เกิดผลการเรียนรู้ที่ไม่พึงประสงค์มากมาย เช่น การปรับเปลี่ยนบิดเบือนข้อมูลที่ได้จากการเรียนรู้ (เช่น การสังเกต การตีความหมายและแปลผลข้อมูล และการทำความเข้าใจแนวคิดในบทเรียน) ให้เข้ากับกรอบแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ผู้เรียนมีอยู่ (Wandersee et al., 1994; Champagne et al., 1983) ดังนั้นครูผู้สอน ผู้บริหาร และบุคลากรที่เกี่ยวข้องในสถาบันการผลิตครูควรหาแนวทางส่งเสริมให้นักศึกษาปรับเปลี่ยนแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้นักศึกษานำเสนอแนวคิดที่ถูกต้องแก่นักเรียน

ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะดังนี้

1. ผู้เรียนไม่ได้ก้าวสู่ห้องเรียนฟิสิกส์ด้วยสมองที่ว่างเปล่าเสมือนกระดาษเปล่าที่รอคอยให้ครูขีดเขียนความรู้ลงไป ในทางตรงกันข้ามผู้เรียนก้าวสู่ห้องเรียนพร้อมกับแนวคิดที่มีอยู่แล้วเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุที่หลากหลายซึ่งบางส่วนเป็นแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (Champagne et al., 1983, 174) ดังนั้นครูผู้สอนควรสำรวจแนวคิดของผู้เรียนเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุก่อนเรียน เพื่อให้ทราบว่าผู้เรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ หรือไม่อย่างไร เพื่อจะได้วางแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อช่วยให้ผู้เรียนปรับเปลี่ยนแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เหล่านั้นเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้แนวคิดเรื่องใหม่ได้ถูกต้องยิ่งขึ้น นอกจากนั้นควรมีการสำรวจแนวคิดของผู้เรียนหลังเรียนเพื่อให้แน่ใจว่าผู้เรียนเกิดการเรียนรู้แนวคิดที่ถูกต้องแล้ว ซึ่งครูผู้สอนสามารถใช้สถานการณ์การเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ และแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุที่พบในงานวิจัยนี้ไปสร้างแบบสำรวจแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุของผู้เรียนได้

2. เนื่องจากการสอนแบบบรรยายเป็นหลักขาดการลงมือปฏิบัติการทดลองและกิจกรรมต่าง ๆ ทำให้ผู้เรียนขาดความรู้ความเข้าใจและมีเจตคติที่ไม่ดีต่อการเรียนรู้แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ ดังนั้นครูผู้สอนควรปรับมาใช้วิธีสอนแบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองให้มากขึ้นเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจและมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ

3. มุมมองที่ยึดตนเองเป็นศูนย์กลางและแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุเป็นแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่พบบ่อยและปรับเปลี่ยนได้ยาก ครูผู้สอนอาจช่วยให้ผู้เรียนปรับเปลี่ยนมุมมองที่ยึดตนเองเป็นศูนย์กลางโดยส่งเสริมให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติการทดลองหรือทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันเพื่อเชื่อมโยงความเป็นนามธรรมของแรงบางชนิด เช่น แรงโน้มถ่วง แรงเสียดทาน แรงปฏิกิริยา ให้ผู้เรียนมองเห็นเป็นรูปธรรมยิ่งขึ้น และช่วยให้ผู้เรียนปรับเปลี่ยนแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุ โดยให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดของแรงอย่างชัดเจนก่อนเรียนว่า แรงเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างวัตถุ เมื่ออันตรกิริยาสิ้นสุดลงก็ไม่มีแรงกระทำระหว่างวัตถุอีกต่อไป กล่าวคือ ไม่มีแรงที่อาศัยหรือแฝงอยู่ในวัตถุเพื่อทำให้วัตถุเคลื่อนที่ต่อไปได้หลังจากอันตรกิริยาสิ้นสุดลง สมบัติทางฟิสิกส์ที่อยู่ในวัตถุที่เคลื่อนที่นั้นเรียกว่า โมเมนตัม ไม่ใช่แรง

4. สถาบันการผลิตครูควรปรับปรุงการเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ เพื่อให้นักศึกษาครู

วิชาเอกฟิสิกส์มีความรู้ความเข้าใจแนวคิดดังกล่าวอย่างถ่องแท้ นอกจากนั้นควรมีการทดสอบความรู้พื้นฐานในวิชาฟิสิกส์ก่อนออกฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูหรือก่อนจบการศึกษา เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมของนักศึกษาครูก่อนปฏิบัติงานสอนจริง

5. เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงตีความหมายที่กระทำกับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก โดยมุ่งเน้นการนำเสนอข้อมูลในเชิงลึกแก่ผู้อ่านมากกว่าการสรุปอิง (generalized) ไปยังกลุ่มใหญ่ ดังนั้นนักวิจัยหรือครูผู้สอนที่มีความสนใจอาจประยุกต์ใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองที่นำเสนอในงานวิจัยนี้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาการจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ขจรศักดิ์ บัวระพันธ์ และวรรณทิพา รอดแรงค้า. (2548). แนวทางการพัฒนาครูวิทยาศาสตร์: การพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอน. **ศึกษาศาสตร์ปริทัศน์,** 20(2).

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

Alesandrini, K. & Larson, L. (2002). Teachers bridge to constructivism. **The Clearing House,** 75(3), 118–121.

Champagne, A.B., Gunstone, R.F. & Klopfer, L.E. (1983). Naïve knowledge and science learning. **Research in Science and Technological Education,** 1(2), 173–183.

Colburn, A. (2000). Constructivism: Science education's "grand unifying theory". **The Clearing House,** 74(1), 9–12.

Driver, R. & Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. **Studies in Science Education,** 13, 105–122.

Duit, R. & Treagust, D.F. (1995). Students' conceptions and constructivist teaching approaches. In B. J. Fraser & H.J. Walberg (Eds.), **Improving Science Education** (pp. 46–69). Illinois: The National Society for the Study of Education (NSSE).

Dykstra, D.I.Jr., Boyle, F.C., & Monarch, I.A. (1992). Studying conceptual change in learning physics. **Science Education,** 76(6), 615–652.

Enderstein, L.G. & Spango, P.E. (1996). Beliefs regarding force and motion: A longitudinal and cross-cultural study of South African school pupils. **International Journal of Science Education,** 18(4), 479–492.

Fox, R. (2001). Constructivism examined. **Oxford Review of Education,** 27(1), 23–35.

Gilbert, J.K. Watts, D.M. & Osborne, R.J. (1982). Students' conceptions of ideas in mechanics. **Physics Education,** 17, 62–66.

Halloun, I.A. & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. **American Journal of Physics,** 53(11), 1056–1065.

Hellingman, C. (1989). Do forces have twin brothers? **Physics Education,** 24, 36–40.

Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. **The Physics Teacher,** 30(3), 141–158.

Heywood, D. & Parker, J. (2001). Describing the cognitive landscape in learning and teaching about forces. **International Journal of Science Education,** 23(11), 1177–1199.

Jimoyiannis, A. & Komis, V. (2003). Investigating Greek Students' Ideas about Forces and Motion. **Research in Science Education,** 33, 375–392.

Kruger, C., Summers, M.K., & Palacio, D.J. (1990). A survey of primary school teachers' conceptions of force and motion. **Educational Research,** 32(2), 83–94.

McCloskey, M. (1983). Naïve theories of motion. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), **Mental Models**

(pp.299–324). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Neuman, L.W. (2003). **Social research methods.** (5th ed.). Boston: Allyn and Bacon.

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

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

Shelley, Y. & Marjan, Z. (2000). Newton, we have a problem. **Australian Scinece Teacher Journal,** 46(1), 9–17.

Smith, J.P., diSessa, A.A., & Roschelle, J. (1993). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. **Journal of the Learning Sciences,** 3(2), 115–163.

Tatto, M.T. (1999). Improving teacher education in rural Mexico: The challenge and tensions of constructivist reform. **Teaching and Teacher Education,** 15, 15–35.

Terry, C. & Jones, G. (1986). Alternative frameworks: Newton's third law and conceptual change. **European Journal of Science Education,** 8(3), 291–298.

Thijs, G.D. (1992). Evaluation of an introductory course on "Force" considering students' preconceptions. **Science Education,** 76(2), 155–174.

Trumper, R. & Gorsky, P. (1996). A cross–college age study about physics students' conceptions of force in pre–service training for high school teachers. **Physics Education,** 31(4), 227–236.

Tynjala, P. (1999). Towards expert knowledge? A comparison between a constructivist and traditional learning environment in the university. **International Journal of Educational Research,** 31, 357–442.

Wandersee, J.H., Mintzes, J.J., & Novak, J.D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D.L. Gabel (Ed.), **Handbook of Research on Science Teaching and Learning** (pp.177–210). New York: Macmillan.

Windschitl, M. (2002). Framing constructivism in practice as the negotiation of dilemmas: An analysis of the conceptual, pedagogical, cultural and political challenges facing teachers. **Review of Educational Research,** 72(2), 131–175.