

การพัฒนาความเข้าใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน โดยการใช้การจัดการเรียนรู้
แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย

Developing Secondary School Students' Understanding on
the Newton's Third Law by Predict-Observe-Explain

สุภัทรา วงศ์เลิศอารักษ์¹ เกรียงไกร วันทอง² และ แสงกฤษ กลั่นบุศย์^{3*}

Supatra Wonglertaruk¹ Kriangkrai Wantong² and Saengkrit Klunboot^{3*}

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, supatra.wp@gmail.com

(Faculty of Science; King Mongkut's University of Technology Thonburi)

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, kriangkrai.wan@mail.kmutt.ac.th

(Faculty of Science; King Mongkut's University of Technology Thonburi)

³คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, saengkrit.klu@mail.kmutt.ac.th

(Faculty of Science; King Mongkut's University of Technology Thonburi)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความเข้าใจเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย กลุ่มเป้าหมายเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสตรีศรีสุริโยทัย จำนวน 69 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย ชุดสาธิต และแบบทดสอบวัดความเข้าใจ วิเคราะห์ผลความเข้าใจโดยการเปรียบเทียบก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ ผลการวิจัยพบว่า ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนกรณีวัตถุมวลมากมีแรงกระทำมากกว่าวัตถุมวลน้อยขณะวัตถุทั้งสองหยุดนิ่งลดลงจากร้อยละ 100.0 เป็น 13.0 กรณีวัตถุทั้งสองมีอัตราเร็วขณะชนเท่ากันทำให้แรงที่กระทำกันเท่ากันลดลงจากร้อยละ 94.2 เป็น 15.9 และกรณีวัตถุที่มีอัตราเร็วขณะชนมากกว่าทำให้เกิดแรงกระทำมากกว่าลดลงจากร้อยละ 100.0 เป็น 7.2 นอกจากนี้ยังพบว่าหลังเรียนนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายสามารถพัฒนาความเข้าใจของนักเรียนได้

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา

ABSTRACT

This study aimed to develop students' understanding of Newton's third law of motion through the Predict-Observe-Explain teaching method. The target group was 69 Satri Sisuriyothai students: grade 11. The research instruments included a lesson-plan, a demonstration kit, a test. The data were analyzed by comparing understanding pre-test with post-test. The analyzed data showed that student's misunderstanding in case of the massive object had more action force than the light object while resting, reduced from 100.0% to 13.0%, in case that both objects had the same speed crashing equal action force when they were crashing, reduced from 94.2% to 15.9%, and in case of the object which had more speed while crashing produced more action force, reduced from 100.0% to 7.2%. Moreover, the students who studied through Predict-Observe-Explain got a higher mean score at statistical significance .05 level. According to the results, the Predict-Observe-Explain teaching method and the demonstration kit can develop students' understanding.

KEYWORDS: Predict-Observe-Explain Method, Newton's Third Law, Action-Reaction Force Pairs

**Corresponding author, E-mail: saengkrit.klu@mail.kmutt.ac.th โทร. 086-3439558*

Received: 18 November 2020 /Revised: 3 January 2021 / Accepted: 13 January 2021 / Published online: 30 December 2021

บทนำ

การศึกษาความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีความสำคัญอย่างยิ่งกับการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันเนื่องจากความรู้ในเรื่องนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างนวัตกรรมเพื่อพัฒนาชีวิตของมนุษย์ให้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ยังมีส่วนช่วยพัฒนาการคิดวิเคราะห์ให้เกิดกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบ แต่ในปัจจุบันกลับพบว่าผลสัมฤทธิ์ในรายวิชาวิทยาศาสตร์มีแนวโน้มต่ำลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อหาในสาระฟิสิกส์มีผลสัมฤทธิ์ต่ำลงทุกปี (ประภารัตน์ สิงห์เสนา, 2552) สำหรับวิชาฟิสิกส์เป็นแขนงหนึ่งของวิชาวิทยาศาสตร์ที่ใช้หลักการทฤษฎีมาอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือสิ่งที่พบได้ในชีวิตประจำวัน (อัครพร ก้นหาจาก, 2554) และยังเป็นวิชาพื้นฐานที่สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในรายวิชาอื่นได้ ปัจจุบันการสอนฟิสิกส์เป็นการสอนที่เน้นครูเป็นศูนย์กลาง ซึ่งส่วนใหญ่ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการแก้โจทย์ปัญหา มากกว่าการที่ให้นักเรียนเข้าใจในแนวคิดหลักหรือความเข้าใจทางฟิสิกส์ (ปทุม ช่องคันปอน, 2558) ส่งผลให้นักเรียนเกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน และมีแนวคิดต่อการเรียนวิชาฟิสิกส์ที่ไม่ดีโดยคิดว่าวิชาฟิสิกส์เป็นวิชาที่ยากต่อความเข้าใจและเป็นนามธรรมสูง (รสสุคนธ์ ศรีสันดา, 2554) เพื่อให้นักเรียนลดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนลง ครูจึงจำเป็นต้องหาเทคนิคการสอนที่สามารถช่วยให้นักเรียนเข้าใจในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ได้มากขึ้น

การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายเป็นการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ (Constructivism) ซึ่งเป็นการเรียนรู้ที่ให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการเรียนรู้ 3 ขั้นตอน เริ่มจากการทำนายคำตอบจากปัญหาที่ผู้สอนเป็นผู้กำหนดขึ้น จากนั้นศึกษาหาคำตอบของปัญหาโดยการสังเกตผลจากการลงมือปฏิบัติผ่านกระบวนการการใช้ทักษะด้านต่างๆ จนได้ข้อสรุปตามหลักวิทยาศาสตร์ แล้วนำผลที่ได้มาอธิบายลงข้อสรุปเชื่อมโยงกับองค์ความรู้เดิมจากการทำนายเพื่อสร้างความรู้ใหม่ที่เป็นความเข้าใจที่ถูกต้องของตนเอง (สุเทพ อ่วมเจริญ, 2557) วิธีการจัดการเรียนรู้นี้สามารถทำให้นักเรียนสร้างความเข้าใจทางฟิสิกส์ที่ถูกต้องได้สอดคล้องกับวิจัยของน้าค่าง จันเสริม (2551) ที่กล่าวว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายสามารถพัฒนาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนไปสู่

ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ได้ สำหรับเนื้อหาในเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันเป็นหัวข้อหนึ่งในวิชาฟิสิกส์ที่เป็นความรู้พื้นฐานเพื่อใช้ในการเรียนในหัวข้ออื่นโดยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันที่นักเรียนมักเกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้แก่กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตันซึ่งเป็นกฎที่กล่าวเกี่ยวกับลักษณะของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา โดยนักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจว่าเมื่อรถยนต์และรถบรรทุกเคลื่อนที่ชนกันแรงที่รถบรรทุกกระทำกับรถยนต์มากกว่าแรงที่รถยนต์กระทำกับรถบรรทุกเนื่องจากรถบรรทุกมีมวลมากกว่า ซึ่งสาเหตุที่นักเรียนเกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเรื่องนี้เนื่องจากนักเรียนเข้าใจในนิยามของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตันและไม่สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้ด้วยลักษณะของแรงดังกล่าวขัดต่อความรู้สึกและสภาพความเป็นจริงในชีวิตประจำวัน (สุรศักดิ์ อินสองใจ, 2558) อีกทั้ง ยังไม่มีการทดลองที่สามารถทำให้นักเรียนสังเกตลักษณะของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาได้ชัดเจน นอกจากนี้ยังมีผลการสำรวจเกี่ยวกับความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตันที่พบว่านักเรียนยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับขนาดและทิศทางของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาที่เกิดจากวัตถุสองวัตถุออกแรงกระทำกันในกรณีที่วัตถุทั้งสองมีมวลและอัตราเร็วขณะชนแตกต่างกัน โดยนักเรียนเข้าใจว่าขนาดของมวลและอัตราเร็วขณะชนมีผลต่อแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาซึ่งเป็นความเข้าใจที่ไม่สอดคล้องกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน (ปิยนุช มาลีหวล และเดชา ศุภพิทยากรณ์, 2560)

จากที่ได้ศึกษาปัญหา หลักการ และแนวคิดดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาความเข้าใจของนักเรียนเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตันด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย โดยนำไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2562 โรงเรียนสตรีศรีสุริโยทัยที่กำลังศึกษาเรื่องดังกล่าวในรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ และเปรียบเทียบความเข้าใจของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้จากการทำแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการจัดการเรียนการสอนเพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างชุดสาคิตที่ช่วยพัฒนาความเข้าใจของนักเรียนเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน
2. เพื่อพัฒนาความเข้าใจเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เกิดจากความคิด ความเข้าใจของกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ที่สรุปสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือเรื่องใดเรื่องหนึ่ง
2. ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน หมายถึง แนวความคิด ความเข้าใจต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่ผู้เรียนสร้างขึ้นเองจากการเรียนรู้อการสังเกต การทดลอง โดยแนวคิดที่ผู้เรียนสร้างขึ้นนั้นมีความแตกต่างจากแนวคิดที่เป็นที่ยอมรับทางวิทยาศาสตร์ และต้องได้รับการแก้ไขให้ถูกต้อง
3. การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย หมายถึง การจัดการเรียนรู้ตามทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ (Constructivism) ที่ให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการจัดการเรียนรู้จนทำให้ผู้เรียนสร้างความรู้ใหม่ขึ้นมาด้วยตนเองผ่านกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้ทำนาย (Predict) ผลของปัญหาจากองค์ความรู้ที่นักเรียนมีอยู่เดิม แล้วหาคำตอบจากการสังเกต (Observe) ด้วยการใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และอธิบาย (Explain) ผลการสังเกตเปรียบเทียบกับสิ่งที่ทำนายไว้ ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนได้เกิดกระบวนการคิด การวางแผน และประเมินความคิดอย่างเป็นระบบ

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้ชุดสาคิตและแผนการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย เพื่อพัฒนาความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องของนักเรียนให้มากขึ้น

2. ผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายมีความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องมากขึ้น
3. สามารถนำผลการวิจัยไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงวิธีการจัดการเรียนรู้ในหัวข้ออื่น และเป็นแนวทางสำหรับค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความเข้าใจได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้น (Pre-experimental design) โดยมีกลุ่มทดลองกลุ่มเดียวและทำการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (One groups pretest-posttest design) โดยมีการเลือกกลุ่มทดลองแบบเจาะจง (Purposive selection) ซึ่งผ่านการประเมินจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ใบรับรองเลขที่ KMUTT-IRB-COA 2020-036 รายละเอียดแบบแผนการวิจัยมีดังนี้

ประชากร และตัวอย่างวิจัย

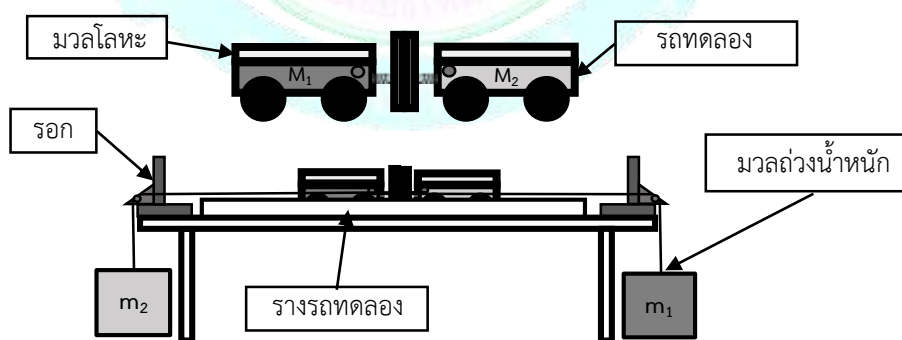
การวิจัยมีกลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสตรีศรีสุริโยทัย ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 จำนวนนักเรียน 2 ห้อง รวมจำนวนนักเรียน 69 คน

เครื่องมือวิจัย

การออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อให้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ ได้แบ่งเครื่องมือออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

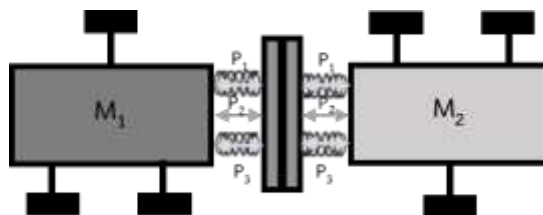
1. ชุดสาธิตเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน

ชุดสาธิตนี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน ทำการทดลองโดยใช้รถทดลองติดสปริงสองคันออกแรงกระทำซึ่งกันและกันและกันในเรื่องของอัตราเร็วของรถทดลองทั้งสองคันที่แตกต่างกัน ได้แก่ (1) กรณีอัตราเร็วเป็นศูนย์ (2) อัตราเร็วขณะชนเท่ากัน และ (3) อัตราเร็วขณะชนต่างกัน โดยรถทดลองทั้งสองคันสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยเชือกที่ผูกติดกับมวลถ่วงน้ำหนักเมื่อปล่อยมวลถ่วงน้ำหนักจะทำให้เชือกที่ผูกติดไว้ดึงรถทดลองให้เคลื่อนที่ ซึ่งชุดสาธิตนี้สามารถเปลี่ยนมวลของรถทดลองโดยเพิ่มมวลโลหะไว้ที่ด้านบนของรถทดลอง และสามารถปรับขนาดอัตราเร็วของรถทดลองทั้งสองคันจากการเพิ่มมวลถ่วงน้ำหนักได้ตามหลักการกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ลักษณะของชุดสาธิตเป็นดังภาพ 1



ภาพ 1 ตัวอย่างชุดสาธิตประกอบการจัดการเรียนรู้เรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน

จากภาพ 1 เมื่อปล่อยมวลถ่วงน้ำหนักจะทำให้รถทดลองที่ติดสปริงไว้ด้านหน้าทั้งสองคันเคลื่อนที่ชนกันทำให้รถทดลองทั้งสองออกแรงกระทำซึ่งกันและกันและกันเกิดเป็นแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาที่มีขนาดเท่ากันแต่ทิศทางตรงกันข้ามตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน ในขณะเดียวกันสปริงหน้ารถทดลองทั้งสองคันจะหดสั้นลงเนื่องจากแรงดังกล่าว โดยลักษณะการหดสั้นของสปริงจะขึ้นกับแรงที่กระทำทำให้ระยะหดของสปริงหดสั้นลงเป็นไปตามกฎของฮุค (Hooke's law) จากนิยามความสัมพันธ์ของแรงกับระยะหดของสปริงดังที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่าถ้าระยะหดของสปริงหน้ารถทดลองแต่ละคันหดสั้นลงเท่ากันนั้นหมายความว่าแรงที่กระทำกับสปริงหน้ารถทดลองทั้งสองคันจะมีค่าเท่ากัน



ภาพ 2 แผนภาพตำแหน่งการวัดความยาวสปริง

การใช้ชุดสไลด์ในการทดลองเปรียบเทียบขนาดของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาของรถทดลองขณะออกแรงกระทำกันนั้น เมื่อทดลองหาระยะหดของสปริงของรถทดลองทั้งสองคันขณะหยุดนิ่งสามารถใช้ไม้บรรทัดวัดระยะหดของสปริงได้ชัดเจน แต่เมื่อทดลองในกรณีที่รถทดลองเคลื่อนที่ชนกันด้วยอัตราเร็วไม่สามารถใช้ไม้บรรทัดวัดค่าระยะหดของสปริงได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้วิธีบันทึกวิถีทัศนของรถทดลองทั้งสองคันเคลื่อนที่ชนกัน แล้วนำมาวิเคราะห์หาระยะหดของสปริงด้วยการวัดความยาวของสปริงก่อนและหลังการชนจากภาพด้วยโปรแกรม Image j ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับวัดระยะหรือพื้นที่ของวัตถุบนภาพ โดยทำการวัดความยาวของสปริง 3 บริเวณดังแสดงในภาพ 2 แล้วจึงนำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ยและคำนวณหาระยะหดของสปริง

2. แผนการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน จำนวน 1 แผน เป็นเวลา 2 คาบ คาบละ 50 นาที โดยภายในแผนการจัดการเรียนรู้ผู้วิจัยได้แบ่งเป็น 3 กิจกรรม ได้แก่

กิจกรรมที่ 1 แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา เป็นการบรรยายประกอบการสาธิตโดยทำกิจกรรมให้นักเรียนสังเกตการเกิดแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาจากการทดลองดึงเครื่องชั่งสปริง

กิจกรรมที่ 2 ขนาดและทิศทางของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา เป็นการบรรยายประกอบการสาธิตโดยให้นักเรียนทำการทดลองเพื่อสังเกตขนาดของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาจากการหาระยะหดของสปริงที่ติดกับรถทดลองสองคันขณะวางสัมผัสกันบนพื้นเอียง และสังเกตทิศทางของแรงจากทิศของแรงที่ทำให้สปริงหดสั้นลง

กิจกรรมที่ 3 การชนกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน เป็นลักษณะกิจกรรมแบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย มุ่งเน้นให้นักเรียนเข้าใจเกี่ยวกับการชนกันของวัตถุกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ทำนาย (Predict: P) เป็นขั้นที่ให้นักเรียนคาดเดาขนาดและทิศทางของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาจากการสังเกตระยะหดสปริงนารถทดลองทั้งสองคันขณะเคลื่อนที่ชนกัน

ขั้นที่ 2 สังเกต (Observe: O) เป็นขั้นที่ให้นักเรียนสังเกตระยะหดของสปริงนารถทดลองทั้งสองคันเพื่อเปรียบเทียบขนาดของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาขณะรถทดลองเคลื่อนที่เข้าชนกันโดยการถ่ายภาพวิถีทัศนและใช้โปรแกรม Image j สำหรับหาระยะหดของสปริงตามเงื่อนไขเกี่ยวกับมวลและอัตราเร็วขณะชนที่แตกต่างกันตามตารางที่ 1 โดยใช้ชุดสไลด์ดังภาพ 1

ตาราง 1 สถานการณ์การทดลองการชนกันตามเงื่อนไขต่างๆ

สถานการณ์	มวลรถทดลอง	ทิศทางเคลื่อนที่	อัตราเร็ว
1	เท่ากัน	ทิศทางตรงข้ามกัน	อัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 1 เท่ากับอัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 2 ($v_1=v_2$)
2	เท่ากัน	ทิศทางตรงข้ามกัน	อัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 1 มากกว่าอัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 2 ($v_1>v_2$)
3	เท่ากัน	ทิศทางเดียวกัน	อัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 1 น้อยกว่าอัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 2 ($v_1<v_2$)
4	ต่างกัน	ทิศทางตรงข้ามกัน	อัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 1 เท่ากับอัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 2 ($v_1=v_2$)
5	ต่างกัน	ทิศทางตรงข้ามกัน	อัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 1 มากกว่าอัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 2 ($v_1>v_2$)
6	ต่างกัน	ทิศทางตรงข้ามกัน	อัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 1 น้อยกว่าอัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 2 ($v_1<v_2$)
7	ต่างกัน	ทิศทางเดียวกัน	อัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 1 มากกว่าอัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 2 ($v_1>v_2$)
8	ต่างกัน	ทิศทางเดียวกัน	อัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 1 น้อยกว่าอัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 2 ($v_1<v_2$)

ขั้นที่ 3 อธิบาย (Explain: E) เป็นขั้นที่ให้นักเรียนได้แสดงมุมมองและแนวคิดของตนเองผ่านการพูดคุยหรืออภิปราย
 สนทนาแลกเปลี่ยนความคิดเห็นจนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาจากการสังเกตระยะหัดของสปริง

จรรยาบรรณของระยะหัดของสปริงหน้ารถทดลองทั้งสองคันและวาดทิศทางของแรงขณะรถทดลองทั้งสองเคลื่อนที่ชนกัน					
เหตุการณ์	ทำนาย		สังเกต		อธิบาย
	ขนาด	ทิศทาง	ขนาด	ทิศทาง	
อัตราเร็วเร็วของรถทดลองคันที่ 1 เท่ากับอัตราเร็วของรถทดลองคันที่ 2 ($v_1=v_2$) ระยะหัดของสปริงทั้งสอง เท่ากันหรือไม่					

ภาพ 3 ตัวอย่างข้อคำถามจากกิจกรรมแบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย

จากภาพ 3 แสดงตัวอย่างข้อคำถามจากกิจกรรมที่ใช้การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย โดยการให้ผู้เรียน
 ระบุขนาดระยะหัดของสปริงหน้ารถทดลองทั้งสองคันและวาดทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นขณะรถทดลองทั้งสองออกแรงกระทำ
 กันเพื่อเปรียบเทียบขนาดและทิศทางของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาทั้งในขั้นตอนการทำนายและสังเกต จากนั้นเปรียบเทียบผลจาก
 ทั้งสองขั้นตอนในขั้นตอนการอธิบาย

3. แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน

แบบทดสอบวัดความเข้าใจที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีลักษณะเป็นแบบทดสอบแบบเติมคำตอบโดยแบ่งการเติมคำตอบเป็น 3
 ส่วน ได้แก่ (1) การระบุขนาดของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา (2) การระบุเวกเตอร์แสดงทิศทางของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา และ
 (3) การอธิบายเหตุผลประกอบการระบุขนาดของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา แบบทดสอบนี้มีจำนวน 11 ข้อคำถามที่สอดคล้องกับ
 จุดประสงค์การเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นดังตารางที่ 2 ซึ่งแบบทดสอบนี้ได้ผ่านการตรวจสอบค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of
 Item Objective Congruence: IOC) จากผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและการสอนฟิสิกส์จำนวน 3 ท่าน ซึ่งมีค่าดัชนีความ
 สอดคล้องเท่ากับ 1.0 และได้ตรวจสอบหาค่าความยากง่ายรายข้ออยู่ระหว่าง 0.3-0.8 และค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.2-0.6 ซึ่ง
 เป็นค่าที่ยอมรับได้ (พิชิตชัย ฤทธิ์จรรยา, 2552)

ตาราง 2 จุดประสงค์การเรียนรู้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตันที่สอดคล้องกับแบบทดสอบวัดความเข้าใจ

จุดประสงค์การเรียนรู้	ข้อคำถามที่
1. นักเรียนสามารถอธิบายลักษณะของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาของวัตถุที่มีมวลขนาดต่างๆที่ออกแรงกระทำกันขณะหยุดนิ่ง	(1.1) (1.2) (1.3)
2. นักเรียนสามารถอธิบายลักษณะของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาของวัตถุที่มีมวลขนาดต่างๆขณะชนกันด้วยอัตราเร็วเท่ากัน	(2.1) (2.3)
3. นักเรียนสามารถอธิบายลักษณะของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาของวัตถุที่มีมวลขนาดต่างๆขณะชนกันด้วยอัตราเร็วต่างกัน	(2.2) (2.4) (2.5) (3.1) (3.2) (3.3)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

1. ชี้แจงกิจกรรม จากนั้นให้นักเรียนกลุ่มเป้าหมายและผู้ปกครองลงนามยินยอมในหนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัย
2. นำแบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตันที่ผ่านการตรวจสอบและแก้ไขจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 11 ข้อคำถาม ไปทดสอบก่อนเรียนกับกลุ่มเป้าหมายเป็นเวลา 30 นาที
3. ทำการทดลองโดยการดำเนินการทำกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายที่ผู้วิจัยสร้าง โดยใช้เวลา 2 คาบ คาบละ 50 นาที
4. หลังจากจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ผู้วิจัยนำแบบทดสอบวัดความเข้าใจหลังเรียนซึ่งเป็นแบบทดสอบชุดเดียวกับแบบทดสอบวัดความเข้าใจก่อนเรียนไปทดสอบกับกลุ่มเป้าหมาย เพื่อวัดความเข้าใจเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตันของนักเรียน เป็นเวลา 30 นาที
5. ผู้วิจัยได้วิเคราะห์คำตอบและการให้เหตุผลประกอบจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน และจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนตามเกณฑ์ที่ประยุกต์จากการจัดระดับความเข้าใจความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ของ Haidar (1997) ดังแสดงในตารางที่ 3
- 6) ผู้วิจัยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเป็นรายบุคคล โดยวิเคราะห์ทั้งชุดแบบทดสอบ เพื่อทราบจำนวนร้อยละของนักเรียนที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์เรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน ก่อนและหลังเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย

ตาราง 3 การจัดระดับความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์โดยประยุกต์จากงานวิจัยของ Haidar (1997)

ระดับความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์	ระดับขั้นของคำตอบ		
	ขนาด	ทิศทาง	อธิบาย
กลุ่มความเข้าใจที่สมบูรณ์ (Scientific Understanding: SU)	ถูกต้อง	ถูกต้อง	อธิบายเหตุผลถูกต้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
กลุ่มความเข้าใจที่ไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding: PU)	ถูกต้อง	ถูกต้อง	อธิบายเหตุผลถูกต้องบางส่วนตามแนวคิดวิทยาศาสตร์แต่ไม่มีส่วนใดผิด
กลุ่มความเข้าใจถูกต้องบางส่วนและคลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding with Scientific Misunderstanding: PUSM)	ถูกต้อง	ถูกต้อง	อธิบายเหตุผลไม่สอดคล้องหรือไม่ถูกต้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หรือไม่อธิบายเหตุผล
	ถูกต้อง	ผิด/ไม่ตอบ	อธิบายเหตุผลถูกต้องหรือถูกต้องบางส่วนหรือไม่ถูกต้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
	ผิด/ไม่ตอบ	ถูกต้อง	
กลุ่มความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (Scientific Misunderstanding: SM)	ผิด	ผิด/ไม่ตอบ	อธิบายเหตุผลไม่สอดคล้องหรือไม่ถูกต้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
กลุ่มไม่เข้าใจ (No Understanding: NU)	ผิด/ไม่ตอบ	ผิด/ไม่ตอบ	ไม่อธิบายเหตุผลหรือทวนคำถามหรือให้เหตุผลไม่สอดคล้องกับคำตอบขนาดและทิศทาง

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ผลความเข้าใจของนักเรียนโดยการเปรียบเทียบความเข้าใจก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย มีการใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่

1. สถิติพื้นฐานในการวิเคราะห์เพื่อจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนจากการทำแบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D)

2. ค่าที (T-Test for dependent Sample) ใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนนักเรียนที่มีความเข้าใจถูกต้องที่นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ค่าร้อยละของจำนวนนักเรียนในแต่ละระดับความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์

แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตันได้นำมาทดสอบกับกลุ่มเป้าหมายและนำผลที่ได้มาจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนตามระดับความเข้าใจโดยใช้เกณฑ์ที่ประยุกต์จากงานวิจัยของ Haidar (1997) จากนั้นทำการวิเคราะห์ใน 3 ลักษณะดังนี้

3.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้

การวิเคราะห์ความเข้าใจของนักเรียนกลุ่มเป้าหมายเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ทำได้โดยการตรวจคำตอบจากการตอบคำถามในแต่ละข้อย่อยโดยพิจารณาคำตอบ 2 ส่วนได้แก่การเขียนระบุขนาดและการระบุทิศทางของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา ถ้าตอบถูกต้องทั้ง 2 ส่วนจึงได้ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบผิดส่วนใดส่วนหนึ่งหรือผิดทั้งสองส่วนได้ 0 คะแนน รวมคะแนนทั้งหมด 11 คะแนน จากนั้นนำคะแนนที่ได้มาหาคะแนนเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายที่นัยสำคัญทางสถิติระดับ .05

3.2 การวิเคราะห์ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนรวมทุกจุดประสงค์การเรียนรู้

นำคำตอบที่ได้จากการดำเนินการทดสอบความเข้าใจเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตันของนักเรียนกลุ่มเป้าหมายก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายมาจัดกลุ่มความเข้าใจโดยใช้แนวทางตามเกณฑ์การจัดระดับความเข้าใจที่ประยุกต์จากงานวิจัยของ Haidar (1997) ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยพิจารณาคำตอบทั้ง 3 ส่วนได้แก่การเขียนระบุขนาด การระบุทิศทางของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา และการอธิบายเหตุผล นำเสนอข้อมูลในรูปแบบภูมิแท่งแสดงร้อยละของจำนวนนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้เปรียบเทียบระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้

3.3 การวิเคราะห์ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนจำแนกตามลักษณะคำตอบ

เมื่อได้ผลการจัดระดับความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ตามเกณฑ์ที่ประยุกต์จากงานวิจัยของ Haidar (1997) ตามหัวข้อที่ 3.2 แล้ว นำผลที่ได้มาพิจารณาเฉพาะคำตอบที่อยู่ในระดับความเข้าใจถูกต้องบางส่วนและคลาดเคลื่อนบางส่วน (PUSM) ระดับความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (SM) และระดับไม่เข้าใจ (NU) ทั้งก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ โดยนำมาจัดกลุ่มลักษณะคำตอบในส่วนของการอธิบายเหตุผลเป็น 4 ลักษณะ ได้แก่ (1) แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาขึ้นกับกับมวลของวัตถุ (2) แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาขึ้นกับอัตราเร็วของวัตถุ (3) แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาขึ้นกับมวลและอัตราเร็วของวัตถุ และ (4) การให้เหตุผลลักษณะอื่นๆ นำเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางร้อยละของจำนวนนักเรียนเปรียบเทียบก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แยกตามลักษณะการอธิบายเหตุผลในแต่ละจุดประสงค์

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตันของนักเรียนกลุ่มเป้าหมายที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย ได้ผลจากการวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้

จากการวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนเป็นรายบุคคลและพิจารณาให้คะแนนเฉพาะข้อที่นักเรียนระบุขนาดและทิศทางได้ถูกต้อง จากนั้นนำมาคำนวณคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มเป้าหมาย และทดสอบค่าเฉลี่ยที่ไม่เป็นอิสระต่อกันโดยใช้การสอบที (T-test dependent sample) ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 4

ตาราง 4 ผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้

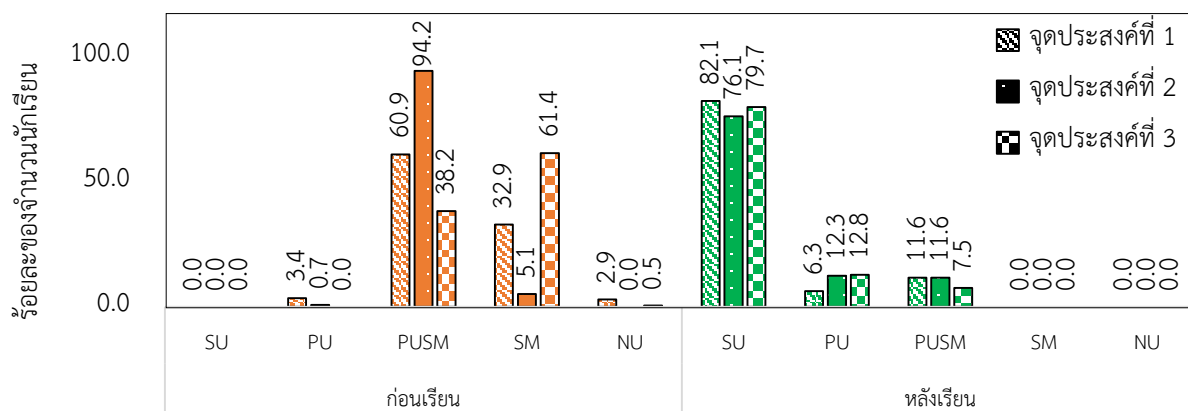
Test	N	$\bar{X}$	S.D.	df	t
Pre-test	69	1.4	0.3	68	51.3
Post-test	69	10.9	1.5		

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, $t_{68,.05} = 1.6676$

จากตารางผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ พบว่า กลุ่มเป้าหมายมีจำนวน 69 คน โดยก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้มีคะแนนเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.4 และ 0.3 ตามลำดับ ส่วนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้มีคะแนนเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.9 และ 1.5 ตามลำดับ ผลการทดสอบค่าทีแบบไม่เป็นอิสระต่อกัน พบว่า ค่าที่มีค่าเท่ากับ 51.3 > 1.6676 ($t_{68,.05}$) แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีคะแนนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้สูงกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ผลการวิเคราะห์ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนรวมทุกจุดประสงค์

ในการวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนได้มีการนำคำตอบมาจัดระดับความเข้าใจเพื่อแสดงถึงระดับความเข้าใจในภาพรวมของทั้ง 3 จุดประสงค์การเรียนรู้ได้แก่นักเรียนสามารถอธิบายลักษณะของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาของวัตถุที่มีมวลขนาดต่างๆที่ออกแรงกระทำกัน (1) ขณะหยุดนิ่ง (2) ขณะชนกันด้วยอัตราเร็วเท่ากัน (3) ขณะชนกันด้วยอัตราเร็วต่างกัน โดยผู้วิจัยวิเคราะห์ผลด้วยการแจกแจงความถี่และลักษณะของคำตอบของนักเรียนที่ใช้เกณฑ์ในการจัดกลุ่มระดับความเข้าใจที่ประยุกต์จากงานวิจัยของ Haidar (1997) แบ่งเป็น 5 ระดับดังตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพ 4



ภาพ 4 แผนภูมิเปรียบเทียบร้อยละจำนวนนักเรียนกลุ่มเป้าหมายก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ในแต่ละระดับความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนรวมทุกจุดประสงค์

จากภาพ 4 แสดงร้อยละของจำนวนนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ในแต่ละระดับความเข้าใจทั้ง 5 ระดับ พบว่า ก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ในจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 1 และ 2 นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจในระดับความเข้าใจถูกต้องบางส่วนและคลาดเคลื่อนบางส่วน (PUSM) คิดเป็นร้อยละ 60.9 และ 94.2 ตามลำดับ ลำดับถัดมานักเรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (SM) คิดเป็นร้อยละ 32.9 และ 5.1 ตามลำดับ แต่จุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 3 นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (SM) สูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 61.4 และระดับความเข้าใจถัดมาคือมีความเข้าใจในระดับความเข้าใจถูกต้องบางส่วนและคลาดเคลื่อนบางส่วน (PUSM) คิดเป็นร้อยละ 38.2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายพบว่านักเรียนมีความเข้าใจที่สมบูรณ์ (SU) สูงขึ้นในทุกจุดประสงค์การเรียนรู้คิดเป็นร้อยละ 82.1 76.1 และ 82.1 ตามลำดับ โดยไม่มีนักเรียนที่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (SM) และระดับไม่เข้าใจ (NU) ซึ่งลักษณะคำตอบของนักเรียนส่วนใหญ่ทั้งสองระดับความเข้าใจที่มีความคลาดเคลื่อนมีการอธิบายเหตุผลเช่นเดียวกันแต่การระบุขนาดและทิศทางแตกต่างกัน คือ ระดับความเข้าใจ PUSM นักเรียนส่วนใหญ่ระบุทิศทางถูกต้องแต่ระบุขนาดและอธิบายเหตุผลผิด ส่วนระดับความเข้าใจ SM นักเรียนส่วนใหญ่ระบุทั้งขนาด ทิศทาง และอธิบายเหตุผลผิด โดยการให้เหตุผลในจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 1 นักเรียนทุกคนอธิบายเหตุผลผิดว่ามวลของวัตถุส่งผลต่อขนาดของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาและไม่มีใครกล่าวเกี่ยวกับอัตราเร็วขณะชน เนื่องจากข้อคำถามถามเกี่ยวกับกล่องสองกล่องที่มีมวลขนาดต่าง ๆ ออกแรงกระทำกันบนพื้นเอียง โดยกล่องทั้งสองไม่มีอัตราเร็ว ส่วนจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 2 และ 3 ที่มีข้อคำถามเกี่ยวกับรถสองคันที่มีมวลและอัตราเร็วขนาดต่าง ๆ เคลื่อนที่ชนกัน นักเรียนมีการอธิบายเหตุผลทั้งเกี่ยวกับมวลและอัตราเร็วขณะชนของวัตถุส่งผลต่อขนาดของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา แต่มีการกล่าวเกี่ยวกับเรื่องอัตราเร็วขณะชนมากกว่า

3. ผลการวิเคราะห์ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนจำแนกตามลักษณะคำตอบ

จากผลการวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนผู้วิจัยได้นำคำตอบของนักเรียนที่อยู่ในระดับความเข้าใจถูกต้องบางส่วนและคลาดเคลื่อนบางส่วน (PUSM) ระดับความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (SM) และระดับไม่เข้าใจ (NU) ในแต่ละจุดประสงค์การเรียนรู้มาวิเคราะห์ร้อยละของจำนวนนักเรียนจำแนกตามการอธิบายเหตุผลแบ่งเป็นการให้เหตุผลเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาได้แก่ มวลของวัตถุ อัตราเร็วของวัตถุ มวลและอัตราเร็วของวัตถุ และเหตุผลอื่น ๆ ผลการวิเคราะห์เป็นดังตารางที่ 5

ตาราง 5 ร้อยละของจำนวนนักเรียนแยกตามการอธิบายเหตุผลเปรียบเทียบก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ในแต่ละจุดประสงค์

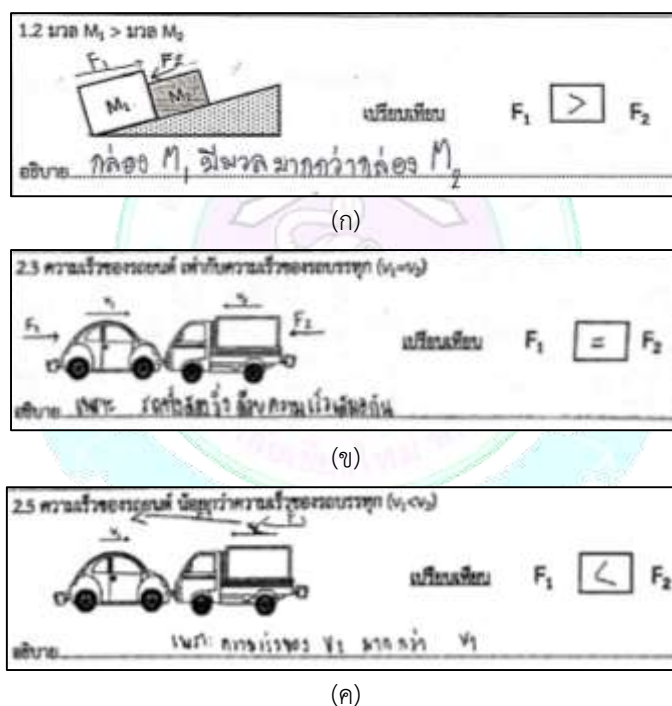
จุดประสงค์การเรียนรู้ที่	ร้อยละของจำนวนนักเรียนแยกตามการอธิบายเหตุผล							
	ก่อนเรียน				หลังเรียน			
	มวล	อัตราเร็ว	มวลและอัตราเร็ว	อื่นๆ	มวล	อัตราเร็ว	มวลและอัตราเร็ว	อื่นๆ
1	100.0	0.0	0.0	1.4	13.0	0.0	0.0	0.0
2	15.9	94.2	13.0	5.8	1.4	15.9	0.0	0.0
3	21.7	100.0	27.5	5.8	1.4	7.2	0.0	0.0

จากตารางที่ 5 ในจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 1 พบว่า ก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่มีการให้เหตุผลเกี่ยวกับมวลของวัตถุสูงถึงร้อยละ 100 แสดงให้เห็นว่านักเรียนทุกคนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับขนาดของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาขึ้นกับมวลของวัตถุโดยตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในลักษณะนี้แสดงดังภาพ 5 (ก) ส่วนการอธิบาย

เหตุผลเกี่ยวกับอัตราเร็วของวัตถุทั้งก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ไม่พบนักเรียนที่ตอบเหตุผลนี้ แต่ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับมวลของวัตถุลดลงหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายคิดเป็นร้อยละ 13.0

สำหรับจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 2 พบว่านักเรียนส่วนใหญ่อธิบายเหตุผลว่าขนาดของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาขึ้นกับอัตราเร็วขณะชนมากกว่าขึ้นกับมวลของรถทั้งก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ดังแสดงตัวอย่างการตอบคำถามในภาพ 5 (ข) โดยก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้มีนักเรียนที่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในเรื่องนี้สูงถึงร้อยละ 94.2 แต่หลังได้รับการจัดการจัดการเรียนรู้ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในเรื่องนี้ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 15.9 ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในลำดับถัดมาคือความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับมวลที่ส่งผลต่อแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาทั้งก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้คิดเป็นร้อยละ 15.9 และ 1.4 ตามลำดับ

จุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 3 พบว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่มีการอธิบายเหตุผลเกี่ยวกับแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาขึ้นกับอัตราเร็วขณะชนสูงถึงร้อยละ 100 และมีนักเรียนบางส่วนที่อธิบายเหตุผลเกี่ยวกับมวลของรถทั้งสองคันคิดเป็นร้อยละ 21.7 แต่หลังได้รับการจัดการเรียนรู้ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในทั้งสองเรื่องลดลงเหลือร้อยละ 7.2 และ 1.4 ตามลำดับ โดยตัวอย่างคำตอบส่วนใหญ่ของนักเรียนที่คลาดเคลื่อนในจุดประสงค์นี้แสดงดังภาพ 5 (ค)



ภาพ 5 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนใน (ก) จุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 1 (ข) จุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 2
 (ค) จุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 3

อภิปราย และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลการพัฒนาความเข้าใจของนักเรียนเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน โดยการใช้การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย ได้ผลการวิจัยดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย พบว่าหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 1.4 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.3 และหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 10.9 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.5

2. ผลการวิเคราะห์ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเปรียบเทียบก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย พบว่า หลังได้รับการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีความเข้าใจที่ถูกต้อง (SU) สูงกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ในทุกจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความเข้าใจถูกต้องบางส่วน และคลาดเคลื่อนบางส่วน (PUSM) ในจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 1 และ 2 คิดเป็นร้อยละ 60.9 และ 94.2 ตามลำดับ ส่วนจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 3 นักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (SM) คิดเป็นร้อยละ 61.4 แต่หลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย นักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความเข้าใจที่สมบูรณ์ (SU) ทุกจุดประสงค์การเรียนรู้ คิดเป็นร้อยละ 82.1 76.1 และ 82.1 ตามลำดับ

3. ผลการวิเคราะห์ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนจำแนกตามลักษณะคำตอบเปรียบเทียบก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการแบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย พบว่า จุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 1 นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเรื่องมวลของวัตถุส่งผลต่อแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาขณะวัตถุทั้งสองหยุดนิ่งลดลงจากร้อยละ 100.0 เป็น 13.0 ส่วนจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 2 และ 3 นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเรื่องอัตราเร็วของวัตถุขณะชนส่งผลต่อแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาขณะวัตถุชนด้วยอัตราเร็วที่เท่ากันและต่างกันลดลงจากร้อยละ 94.2 เป็น 15.9 และร้อยละ 100.0 เป็น 7.2 ตามลำดับ

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีเปลี่ยนแปลงความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องลักษณะของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตันที่เกิดจากวัตถุที่มีมวลและอัตราเร็วขณะชนต่างกัน จากความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนไปสู่ความเข้าใจที่สมบูรณ์ส่งผลให้คะแนนเฉลี่ยหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายสูงกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลมาจากการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายเป็นการจัดการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้สร้างความรู้ด้วยตนเองผ่านการลงมือปฏิบัติจริง (ไผ่ พันงาม, 2560) ด้วยกระบวนการเรียนรู้ 3 ขั้นตอนโดยเริ่มจากขั้นทำนาย (Predict) เป็นขั้นที่นักเรียนคาดเดาคำตอบพร้อมให้เหตุผลประกอบจากคำถามที่ผู้สอนได้ถาม ซึ่งขั้นตอนนี้ช่วยสนับสนุนให้นักเรียนได้นำพื้นฐานความรู้เดิมของตนเองมาประกอบการตัดสินใจอย่างมีเหตุผลตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ในการคาดเดาคำตอบจากคำถามหรือสถานการณ์ที่ผู้สอนสร้างขึ้น (ยศธร บันเทิง, 2556) ต่อมาขั้นสังเกต (Observe) เป็นขั้นที่นักเรียนดำเนินการทดลองเพื่อใช้สำหรับพิสูจน์หาคำตอบจากสิ่งที่ได้ทำนายไว้ผ่านการใช้ทักษะกระบวนการในด้านต่าง ๆ อาทิเช่น ทักษะทางวิทยาศาสตร์ในการวัด การสังเกต การทดลอง และการบันทึกผลการทดลอง (นัชชา แดงงาม และสุระ วุฒิพรหม, 2557) ซึ่งจะช่วยให้ นักเรียนสามารถหาคำตอบของปัญหาได้อย่างเหมาะสมและมีเหตุผลหรือหลักการรองรับ นอกจากนี้ขั้นตอนนี้ยังเป็นขั้นตอนที่นักเรียนได้มีส่วนร่วมกับการจัดการเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริงจึงทำให้นักเรียนเกิดความรู้ ความสนใจ และรู้สึกสนุกกับการทำกิจกรรม อีกทั้งยังช่วยสร้างประสบการณ์ทางการเรียนและบรรยากาศที่ดีในชั้นเรียนให้กับนักเรียนได้อีกด้วยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจรรยาธิษั กุลพ่วง (2559) ที่กล่าวไว้ว่าการเรียนการสอนจากการปฏิบัติจริงเป็นการเรียนที่นักเรียนสามารถสร้างความรู้ด้วยตนเองทำให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรง มีความสนุกสนาน ไม่น่าเบื่อ และเกิดบรรยากาศการเรียนรู้ที่ดีจึงส่งผลให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้และเข้าใจในเนื้อหาที่เรียนมากขึ้น และขั้นสุดท้ายคือขั้นอธิบาย (Explain) นักเรียนจะได้ใช้ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณในการจัดระบบข้อมูล และลงข้อสรุปอย่างสมเหตุสมผลในการหาผลของคำตอบ โดยเริ่มจากสรุปความรู้ด้วยตนเองผ่านเขียนผลการวิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมและบันทึกไว้ในขั้นตอนการสังเกตมาเปรียบเทียบกับสิ่งที่ทำนายจากความรู้เดิมซึ่งผลที่ได้ อาจมีความขัดแย้งกัน แล้วจึงมีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนในชั้นเรียนร่วมกันคิด วิเคราะห์ และอภิปรายจนสามารถลงข้อสรุปเป็นความเข้าใจที่ถูกต้องได้ จากผลการจัดการเรียนรู้ดังที่กล่าวมาเห็นได้ชัดว่าการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายสามารถช่วยให้นักเรียนได้เกิดการเรียนรู้ผ่านการใช้ทักษะกระบวนการด้านต่าง ๆ จนสามารถพัฒนาความเข้าใจของตนเองให้สูงขึ้นได้ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนิศารัตน์ ทองแดง (2555) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์เรื่องสารชีวโมเลกุลของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย พบว่า หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความ

เข้าใจหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีการเปลี่ยนแปลงจากความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเป็นความเข้าใจที่สมบูรณ์สูงขึ้นคิดเป็นร้อยละ 60.72

สำหรับผลการเปรียบเทียบความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนจำแนกจากการอธิบายเหตุผลที่พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในเรื่องวัตถุมวลมากมีแรงกระทำมากกว่าวัตถุน้อยขณะวัตถุทั้งสองออกแรงกระทำกันตอนหยุดนิ่ง และความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนกรณีวัตถุทั้งสองชนกันด้วยอัตราเร็วต่างกันส่งผลให้แรงที่กระทำขณะชนต่างกัน ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลมาจากการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนเคยเรียนมาไม่มีการทดลองที่สามารถแสดงให้เห็นชัดเจนว่าขนาดมวลและอัตราเร็วขณะชนของวัตถุไม่ส่งผลต่อแรงขณะวัตถุทั้งสองกระทำกัน หรืออาจเป็นเพราะสถานการณ์ในข้อคำถามตรงกับเหตุการณ์ที่นักเรียนพบเจอในชีวิตจริงที่รถคันใหญ่ชนกับรถคันเล็กแล้วรถคันเล็กเกิดความเสียหายมากกว่า จึงทำให้นักเรียนคิดว่ารถคันใหญ่มีแรงมากกว่าซึ่งเป็นสิ่งที่ขัดกับความรู้ที่นักเรียนเคยเรียน แสดงให้เห็นว่านักเรียนยังไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้จากสิ่งที่เรียนกับเหตุการณ์ในชีวิตประจำวันได้ (David, E Brown, 1989) จึงทำให้เกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนขึ้น แต่จากผลการวิจัยที่มีแนวโน้มการลดลงของความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนหลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายแสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจถูกต้องได้โดยเฉพาะในขั้นตอนการสังเกตและอธิบายที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจากการทดลองโดยใช้ชุดสาธิตทำให้นักเรียนมองเห็นภาพชัดเจนเกี่ยวกับแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยากับการชนกันของรถ โดยเปรียบเทียบระยะหดของสปริงหน้ารถทดลองกับขนาดของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา และทิศทางของแรงที่ทำให้สปริงหดสั้นลงกับทิศทางของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาจนนำไปสู่การลงข้อสรุปที่เป็นความเข้าใจที่ถูกต้องได้ ซึ่งความเข้าใจที่เกิดขึ้นจากการทดลองโดยใช้ชุดสาธิตในขั้นตอนนี้ตรงกับงานวิจัยของสุรศักดิ์ อินสองใจ (2558) ที่กล่าวว่า การใช้ชุดสาธิตโดยให้สังเกตการหดตัวของสปริงเป็นการมองสิ่งที่เป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรมทำให้นักเรียนสามารถสังเกตขนาดและทิศทางของแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาได้ชัดเจนยิ่งขึ้นและช่วยทำให้นักเรียนมีความเข้าใจที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น รวมถึงสถานการณ์ที่ผู้สอนเป็นผู้กำหนดนั้นสอดคล้องกับเหตุการณ์ในชีวิตประจำวันจึงช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้จากสิ่งที่เรียนในชั้นเรียนสู่การอธิบายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตจริงได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอำนาจ วิชาพล (2556) ที่กล่าวว่า การจัดการกิจกรรมที่มีสถานการณ์หรือโจทย์ที่เกี่ยวข้องกับเรื่องใกล้ตัวและอยู่ในชีวิตประจำวันของนักเรียนจะช่วยให้นักเรียนสามารถนำความรู้ที่เรียนไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้เวลาในการจัดกิจกรรมมาก ดังนั้นครูผู้สอนจึงจำเป็นต้องมีการวางแผนลำดับขั้นตอนและจัดเตรียมสื่อให้พร้อมก่อนทำการสอน เพื่อที่จะใช้เวลาในการทำกิจกรรมได้อย่างคุ้มค่า

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ในการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายเป็นกิจกรรมที่ให้นักเรียนสร้างความรู้ใหม่ขึ้นเองจากการลงมือปฏิบัติโดยใช้ทักษะกระบวนการต่าง ๆ ดังนั้นในการทำวิจัยครั้งต่อไปอาจศึกษาตัวแปรด้านอื่น ๆ เช่น ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ ทักษะด้านการสื่อสาร เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- จรรยารักษ์ กุลพวง. (2559). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาชีววิทยาและเจตคติต่อการจัดการเรียนรู้รูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้น ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้แบบเชิงรุก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. *วารสารศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 18, 265-275.
- นิศาตร์ณ์ ทองแดง. (2555). ศึกษาการเปลี่ยนแปลงมโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารชีวโมเลกุล ของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ทำนาย-สังเกต-อธิบาย (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นัชชา แดงงาม และสุระ วุฒิพรหม. (2557). ผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายร่วมกับการสาธิตอย่างง่ายต่อความคิดรวบยอดเรื่องการเคลื่อนที่แบบหมุน. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 5, 86-93.
- น้ำค้าง จันเสริม. (2551). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้การสอนเรื่องงานและพลังงานชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 บนพื้นฐานของทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์โดยใช้วิธี Predict-Observe-Explan (POE) (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ประภารัตน์ สิงห์เสนา. (2552). ผลการใช้วงจรการเรียนรู้ 5E ร่วมกับแผนผังเชิงโต้แย้งที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ และความสามารถในการประยุกต์ความรู้ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น (วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต). ภาควิชาหลักสูตร การสอนและเทคโนโลยีการศึกษา สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปทุม ช่อคันปอน. (2558). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน เรื่อง พลังงานนิวเคลียร์ โดยการจัดการเรียนรู้ 4 MAT ร่วมกับผังมโนทัศน์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). สาขาวิชาการวิจัยและพัฒนาหลักสูตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ปิยนุช มาลีหวล และเดชา ศุภพิทยาภรณ์. (2560). ผลการสอนแบบเพียร์ที่เสริมด้วยกิจกรรมการลงมือปฏิบัติทางฟิสิกส์ต่อมโนทัศน์เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารมหาวิทยาลัยนครพนม*, 7, 87-95.
- ไผ่ พันงาม. (2560). การพัฒนาความเข้าใจในเคมีวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารละลาย ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ผสมผสานกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย ในชั้นสร้างความสนใจสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- พิชิตชัย ฤทธิ์จัญญ. (2552). *หลักการวัดและประเมินผลการศึกษา*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์เจ้า ออฟ เคอร์มิสท์.
- ยศธร บรรเทิง. (2556). การพัฒนามโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ของไหลสถิต โดยใช้วิธีการสอนแบบ Predict-Observe- Explain (POE) (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- รสสุคนธ์ ศรีสันดา. (2554). ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรง มวล และกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการสอนโดยใช้ชุดการสอน (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). สาขาวิชาการวิจัยและพัฒนาหลักสูตร คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.
- สุรศักดิ์ อินสองใจ. (2558). การพัฒนาแนวคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 4 เรื่อง แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา โดยการจัดการเรียนรู้ แบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ร่วมกับการสอนแบบอุปมา. ในการประชุมวิชาการระดับชาติ *The National Graduate Research Conference ครั้งที่ 34* (น.1708-1715). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- สุเทพ อ่วมเจริญ. (2557). SU Model : การประยุกต์การจัดการเรียนรู้แบบสร้างองค์ความรู้. *วารสารวิชาการ Veridian E-Journal*, 7, 948.
- อำนาจ วิชาพล. (2556). ผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการเชื่อมโยงในชีวิตจริง เรื่อง สถิติสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ เบญจมราชาลัย. *วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร*, 8, 81-88.
- อัจฉราพร กันหาอาจ. (2554). ผลของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์การสืบเสาะโดยใช้การบูรณาการร่วมระหว่างปฏิบัติการทดลองจริงผ่านคอมพิวเตอร์ และสถานการณ์จำลองบนคอมพิวเตอร์ที่มีต่อการเรียนรู้ เรื่องคุณสมบัติของคลื่นเสียง ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. ใน *การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ The International Conference on Science and Technology for Sustainable Development of the Greater Mekong Sub-region (3rd STGMS) and The Second International Conference on Applied Science* (น.24-25). หลวงพระบาง: มหาวิทยาลัยสุภานุวงศ์.
- David, E Brown. (1989). Students' concept of force: the importance of understanding Newton's third law. *Journal of Physics Education*, 24, 1353 -358.
- Haidar, A.H. (1997). Prospective Chemistry Teachers' Conception of Conservation of Matter and Related Concept. *Journal of Research in Science Teaching*, 4, 181-197.

