

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง แรง มวล และกฎการเคลื่อนที่

ณัฐวรรณ ศิริธร¹ และเอกภูมิ จันทรชน²

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง และศึกษาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง แรง มวล และกฎการเคลื่อนที่ของนิเวศน์ กลุ่มที่ศึกษา คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 29 คน ในโครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ ของโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร เครื่องมือที่ใช้การเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ บันทึกหลังการสอนของครู อนุทินของนักเรียน วิดีทัศน์บันทึกการสอน วิเคราะห์ข้อมูลแบบอุปนัย และแบบทดสอบความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ วิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา เพื่อจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนรายข้อในแต่ละองค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จากนั้นหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก เพื่อทำการแบ่งอันดับตามหลักการทางสถิติออกเป็น 3 ระดับ (คะแนนเต็ม 2 คะแนน) ผลการวิจัยพบว่าแนวปฏิบัติที่ดีขั้นที่ 1 การกำหนดประเด็นที่ศึกษา ควรยกตัวอย่างสถานการณ์ที่ท้าทายและเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน ขั้นที่ 2 การสร้างสรรค์และวิเคราะห์ข้อมูล ควรตั้งคำถามชี้แนะในลักษณะคำถามปลายเปิด และเปิดโอกาสให้นักเรียนเป็นผู้สืบเสาะด้วยตนเอง โดยครูเป็นผู้อำนวยความสะดวกแก่นักเรียน ขั้นที่ 3 การสร้างข้อโต้แย้งชั่วคราว รูปแบบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ควรกำหนดองค์ประกอบอย่างชัดเจน ขั้นที่ 4 กิจกรรมการโต้แย้ง ควรส่งเสริมให้นักเรียนทุกกลุ่มมีส่วนร่วมในกิจกรรมและเน้นให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นบนพื้นฐานของตรรกะและเหตุผล ขั้นที่ 5 การเขียนรายงานส่วนบุคคล ควรให้การช่วยเหลือแนะนำให้นักเรียนเข้าใจกรอบแนวคิดของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และขั้นที่ 6 การอภิปรายสะท้อนผลและการปรับปรุงรายงาน ควรกระตุ้นให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบรายงานของเพื่อน และอภิปรายถึงปัญหาและแนวทางที่เกิดขึ้นระหว่างการทำกิจกรรม และผลจากการวิเคราะห์แบบทดสอบความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้ พบว่าความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเฉลี่ยอยู่ในระดับดี (1.75 คะแนน)

คำสำคัญ : 1. การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง 2. คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

¹ นิสิตระดับปริญญาโท คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมล : nutt.sirithon@gmail.com

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำคณะศึกษาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมล : feduepj@ku.ac.th

Implementing argument-driven inquiry approach for developing grade 10 students' ability to make scientific explanation on the topic of force, mass, and law of motion

Nuttawan Sirithon³ and Ekgapoom Jantarakantee⁴

Abstract

This classroom action research aims to explore the best practices of argument-driven inquiry approach for developing students' ability in making scientific explanation and to study students' ability in making scientific explanation on the topic of force, mass and law of motion. The participants were 29 grade 10 students in Enrichment Science Classroom program of a large secondary school in Bangkok. The research instruments were teacher field notes, students' journals, and video of teacher's teaching (analyzed via inductive analysis) and the scientific explanation ability test which was analyzed, using content analysis. Then the students' answers were categorized into groups and the average scores in each component of the scientific explanation were calculated. After that, the overall picture was analyzed by weighted arithmetic mean and the data were grouped into 3 class intervals (Full score=2). The results indicate that the best practice of argument-driven inquiry approach in each step are as follows. 1) For task identification, the teacher should give a challenging situation that is related to students' daily life. 2) As for the generation and analysis of data, guided questions should be asked in an open-ended format, allowing students to make an inquiry by themselves while the teacher played a facilitator role. 3) In the creating a tentative argument step, each component in the format of scientific explanation should be clearly specified. 4) In the argumentation session, the teacher should encourage all of the students to participate and emphasize that students express opinions based on logic and reasoning. 5) While writing individual report, the teacher should offer students guidelines to ensure their understanding of scientific explanation framework. 6) During reflective and revision of the report, students should be encouraged to revised peers' report and discuss problems and solutions which arose during the learning activities. After learning through argument-driven inquiry approach, students' ability to make scientific explanation was at a good level (1.75 points).

Keywords: 1. Argument-driven inquiry approach 2. Scientific explanation

³ Master degree student at Faculty of Education, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. Email address: nutt.sirithon@gmail.com

⁴ Assistant Professor at Faculty of Education, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. Email address: feduepj@ku.ac.th

บทนำ

ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (scientific explanation) เป็นหนึ่งในสมรรถนะของนักเรียนในการใช้ความรู้ความเข้าใจ ทักษะในการคิดวิเคราะห์ และการสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นการสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถของนักเรียนในการเชื่อมโยงแนวคิดหรือหลักการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้กับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ที่พบเจอในชีวิตจริง เพื่อนำเสนอประเด็น ข้อโต้แย้ง หรือการตัดสินใจของตนเองต่อสาธารณชน (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2014) รวมทั้งเป็นตัวบ่งชี้ความสำเร็จในการจัดการเรียนรู้เชิงวิทยาศาสตร์ เนื่องจากคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เป็นการสื่อสารที่สามารถบ่งบอกความเข้าใจเชิงลึกได้ (Kuhn and Reiser, 2004) การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์คือการอธิบายลักษณะของปรากฏการณ์ที่ได้จากการค้นพบ สังเกต หรือทดลอง บนพื้นฐานของเหตุผลเชิงตรรกะที่สอดคล้องกับหลักฐานเชิงประจักษ์ โดยคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นั้นประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ข้อกล่าวอ้าง (claim) คือคำตอบของคำถาม 2) หลักฐาน (evidence) คือข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการสังเกต การทดลอง หรือการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ เพื่อใช้ในการสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง และ 3) การให้เหตุผล (reasoning) คือการเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ (McNeill and Krajcik, 2008)

แต่อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ (Programme for International Student Assessment: PISA) ด้านการรู้วิทยาศาสตร์ในปีพุทธศักราช 2555 คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนไทย คือ 444 คะแนน ซึ่งต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยมาตรฐานที่องค์กรเพื่อความร่วมมือและพัฒนาเศรษฐกิจ (Organization for Economic Co-operation and Development: OECD) ได้กำหนดไว้ที่ 501 คะแนน โดยหนึ่งในสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ในการประเมินการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ คือ การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2014) เมื่อพิจารณาผลการประเมินตามระดับการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ที่กำหนดมาตรฐานวัดออกเป็น 6 ระดับ พบว่าระดับสูงสุด ที่ระดับ 6 ซึ่งเป็นระดับที่นักเรียนสามารถใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการระบุ อธิบาย และประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการสร้างข้อโต้แย้ง โดยใช้ประจักษ์พยานทางวิทยาศาสตร์ในการตัดสินใจ มีจำนวนนักเรียนไทยอยู่ในระดับนี้เพียงร้อยละ 1.2 ในขณะที่ระดับต่ำสุด ที่ระดับ 1 ซึ่งเป็นระดับที่นักเรียนสามารถใช้ความรู้วิทยาศาสตร์ในการอธิบายสถานการณ์ที่คุ้นเคยเพียงไม่กี่สถานการณ์และสามารถให้คำอธิบายจากหลักฐานอย่างจำกัด มีจำนวนนักเรียนไทยถึงร้อยละ 95.2 (Partnership for 21st century skills, 2008; The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2014)

จากการที่ผู้วิจัยได้ศึกษาประสิทธิภาพการรู้วิทยาศาสตร์ที่โรงเรียนแห่งหนึ่ง พบปัญหาหนึ่งในชั้นเรียนคือนักเรียนมีปัญหาในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น เมื่อให้นักเรียนตอบคำถาม อธิบายสถานการณ์หรือเขียนอธิบายผลการทดลอง และเมื่อให้นักเรียนทำแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเคลื่อนที่แนวตรง พบว่าคะแนนในภาพรวมของนักเรียนอยู่ระดับพอใช้ คือ 1.17 คะแนน จาก 2.00 คะแนน จำแนกเป็นข้อกล่าวอ้าง 1.65 คะแนน หลักฐาน 1.10 คะแนน และการให้เหตุผล 0.76 คะแนน โดยพบว่านักเรียนส่วนใหญ่จะตอบเพียงข้อกล่าวอ้างสั้นๆ เท่านั้น โดยไม่แสดงหลักฐานในการสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง หรือขาดการให้เหตุผลเพื่อเชื่อมโยงกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ แสดงให้เห็นว่านักเรียนยังไม่มี ความเข้าใจในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่เรียนอย่างแท้จริง

ผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง (Argument-Driven Inquiry: ADI) โดยสังเคราะห์ตามกรอบแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2008) Sampson and Gleim (2009) และ Sampson, Enderle, Groom, and Witte (2013) เป็นแนวทางหนึ่งในการส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เนื่องจากมีลักษณะที่สนับสนุนนักเรียน ให้มีโอกาสเรียนรู้วิธีการพัฒนาการสร้างความเข้าใจ การออกแบบและดำเนินการทดลอง การใช้ข้อมูลในการตอบคำถามบนพื้นฐานของหลักฐานเชิงประจักษ์และการให้เหตุผล การเขียนและการสะท้อนการทำงานของตนเอง และมีส่วนร่วมในการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) การกำหนดประเด็นที่ศึกษา เป็นขั้นที่กระตุ้นความสนใจและทบทวนความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จากการอธิบายสถานการณ์หรือตอบคำถามที่ครูตั้งขึ้น เพื่อกระตุ้นความสนใจ หรือเพื่อเชื่อมโยงความรู้เดิม
- 2) การสร้างสรรค์และวิเคราะห์ข้อมูล เป็นขั้นที่นักเรียนร่วมกันทำงานเป็นกลุ่ม เพื่อสำรวจตรวจสอบประเด็นที่ต้องการศึกษาตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
- 3) การสร้างข้อโต้แย้งชั่วคราว เป็นขั้นที่นักเรียนแต่ละกลุ่มนำผลที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบมาร่วมกันสร้างข้อโต้แย้ง ที่มีลักษณะเป็นคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
- 4) กิจกรรมการโต้แย้ง เป็นขั้นที่นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอและแสดงความคิดเห็น โดยใช้เหตุผลประกอบการนำเสนอข้อโต้แย้งของกลุ่มตนเอง
- 5) การเขียนรายงานรายบุคคล เป็นขั้นที่นักเรียนเขียนรายงานผลจากการทำกิจกรรมเป็นรายบุคคล และ
- 6) การอภิปรายสะท้อนผลและการปรับปรุงรายงาน เป็นขั้นที่ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลที่ได้จากการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนได้ประเมินสิ่งที่ได้เรียนรู้ ปรับปรุงคุณภาพและแก้ไขรายงานตามคำแนะนำจากการอภิปรายสะท้อนผลร่วมกัน

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง แรง มวล และกฎการเคลื่อนที่ เนื่องจากเป็นเรื่องที่มีความสำคัญต่อการเรียนรู้และความเข้าใจของนักเรียน ซึ่งเป็นแนวคิดพื้นฐานสำหรับการทำความเข้าใจปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน (Buaraphan and Singh, 2012) และเป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้น เช่น สมดุลกล งานและพลังงาน แรงทางไฟฟ้า เป็นต้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในโครงการห้องเรียนพิเศษด้านวิทยาศาสตร์

2. เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง แรง มวล และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในโครงการห้องเรียนพิเศษด้านวิทยาศาสตร์

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน (classroom action research) โดยใช้รูปแบบของ Kemmis and McTaggart (1998) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ ขั้นวางแผน (plan) ขั้นลงมือปฏิบัติ (act) ขั้นสังเกต (observe) และขั้นสะท้อนผลการปฏิบัติ (reflect) เพื่อศึกษาแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง ในการพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

1. กลุ่มที่ศึกษา นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในโครงการห้องเรียนพิเศษด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม จำนวน 1 ห้องเรียน โดยมีจำนวนนักเรียนหญิง 29 คน ของโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร

2. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยทำการออกแบบและสร้างแผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง เรื่อง แรง มวล และกฎการเคลื่อนที่ จำนวน 5 แผน ในแต่ละแผนประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอน คือ 1) การกำหนดประเด็นที่ศึกษา 2) การสร้างสรรค์และวิเคราะห์ข้อมูล 3) การสร้างข้อโต้แย้งชั่วคราว 4) การโต้แย้ง 5) การเขียนรายงานรายบุคคล และ 6) การอภิปรายสะท้อนผลการปรับปรุงรายงาน และจัดทำแบบทดสอบความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ประเภทอัตนัย ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ สถานการณ์ ข้อมูลประกอบสถานการณ์ และคำสั่งจำนวน 7 ข้อ ครอบคลุม 5 เนื้อหา ได้แก่ กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันจำนวน 1 ข้อ กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันจำนวน 2 ข้อ กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตันจำนวน 2 ข้อ แรงเสียดทานจำนวน 1 ข้อ และการนำกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ไปใช้จำนวน 1 ข้อ ตามลำดับ ซึ่งผ่านการตรวจสอบคุณภาพด้านความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้างโดยคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ในระหว่างการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้ทำการบันทึกวีดิทัศน์ เพื่อสังเกตเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการจัดการเรียนรู้ และเมื่อเสร็จสิ้นการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผน ผู้วิจัยทำการเขียนบันทึกหลังการสอนทันที รวมทั้งให้นักเรียนเขียนบันทึกสะท้อนความคิดเห็นใน 3 ประเด็น ได้แก่ สิ่งที่ได้เรียนรู้ ปัญหาและอุปสรรค และข้อเสนอแนะ หลังจากเสร็จสิ้นการดำเนินการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้งจำนวน 5 แผนแล้ว อีก 2 สัปดาห์ ต่อมาผู้วิจัยได้นำแบบทดสอบความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ไปใช้กับกลุ่มที่ศึกษา

3. การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้อาจจากการเก็บรวบรวมจากวีดิทัศน์บันทึกการสอน บันทึกหลังการสอนของครู และอนุทินของนักเรียน มาวิเคราะห์แบบอุปนัย (inductive analysis) โดยการตีความเพื่อหาข้อสรุปของข้อค้นพบ ปัญหาและแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง ที่ส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ร่วมกับคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ครูพี่เลี้ยง และครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และทำการวิเคราะห์แบบทดสอบความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเชิงเนื้อหา เพื่อจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนรายข้ออย่างละเอียดในแต่ละองค์ประกอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ คือ ข้อกล่าวอ้าง (claim) หลักฐาน (evidence) และ การให้เหตุผล (reasoning) โดยแบ่งเกณฑ์แปลผลคะแนนออกเป็น 3 ระดับ ซึ่งมีคะแนนเต็มเท่ากับ 2 คะแนน ได้แก่ ระดับดี (2 คะแนน) ระดับพอใช้ (1 คะแนน) และระดับปรับปรุง (0 คะแนน) ตามกรอบแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2008) จากนั้นทำการวิเคราะห์ความสามารถในการสร้างคำอธิบาย

เชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในภาพรวมโดยการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักและทำการแบ่งอันตรภาคชั้นตามหลักการทางสถิติออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับดี (2.00-1.40 คะแนน) ระดับพอใช้ (1.39-0.70 คะแนน) และระดับปรับปรุง (0.69-0.00 คะแนน)

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์แนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้งในแต่ละชั้น พบว่า

ขั้นที่ 1 การกำหนดประเด็นที่ศึกษา

แนวปฏิบัติที่ 1 ยกตัวอย่างสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน และมีความน่าสนใจ ทำทลายความคิดของนักเรียน เนื่องจากวิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่เกี่ยวข้องกับการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นเพื่อให้นักเรียนตระหนักถึงการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในชีวิตประจำวัน การนำเสนอสถานการณ์ในชีวิตประจำวันมาซึ่งจะเป็นการกระตุ้นความสนใจของนักเรียน รวมทั้งเป็นการพัฒนาการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ดี ดังตัวอย่างอนุทินของนักเรียนดังนี้ “ขอบตัวอย่างเรื่องแรงเสียดทานของคนไต่เนิน ทำให้เห็นว่าเราใช้ฟิสิกส์ในการอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นได้อย่างไร”

แนวปฏิบัติที่ 2 สถานการณ์ที่ใช้ ควรเป็นสถานการณ์ที่ทำให้นักเรียนเกิดการโต้แย้งหรือเกิดความสงสัย การยกตัวอย่างสถานการณ์ ที่นำมาใช้เป็นประเด็นในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง ควรเป็นประเด็นที่น่าสนใจ และทำให้นักเรียนเกิดความทลายความคิด เกิดความสงสัย เพื่อนำไปสู่การค้นหาคำตอบ เช่น เรื่องแรงเสียดทาน ผู้วิจัยนำประเด็นเรื่องทิศของแรงเสียดทานของล้อรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยล้อหลังและขับเคลื่อน 4 ล้อ ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร ถ้ารถยนต์ทั้ง 2 คันขับเคลื่อนไปข้างหน้าเหมือนกัน (ประเด็นการโต้แย้งจากแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่องแรงเสียดทาน) ซึ่งพบว่านักเรียนเกิดการโต้แย้งโดยได้แสดงแนวคิดและความเข้าใจของตนเอง เป็นต้น เนื่องจากมีคำตอบที่หลากหลายและแตกต่างกัน และต้องครอบคลุมถึงแนวคิดที่ต้องการจัดการเรียนรู้ ครูควรถามในลักษณะซักไซ้ไล่เรียง เพื่อนำไปสู่การคาดคะเนคำตอบ ทำให้นักเรียนเกิดความอยากรู้อยากเห็นในสิ่งที่สงสัย และให้นักเรียนได้แสดงแนวคิดจากคำอธิบายที่นักเรียนสร้างขึ้น

ขั้นที่ 2 การสร้างสรรค์และวิเคราะห์ข้อมูล

แนวปฏิบัติที่ 1 คำถามชี้หน้าหรือคำถามก่อนการทดลอง ควรเป็นคำถามปลายเปิดและทำทลายนักเรียนให้เกิดความสงสัยหรือความไม่แน่ใจ คำถามเป็นสิ่งสำคัญในการดำเนินการจัดกิจกรรมการโต้แย้ง การตั้งคำถามชี้หน้าก่อนให้นักเรียนลงมือสร้างสรรค์และวิเคราะห์ข้อมูล จะช่วยปลูกฝังทักษะที่สำคัญในการตัดสินใจ การสื่อสาร การคิด และการอภิปรายอย่างมีเหตุผลให้กับนักเรียน โดยคำถามนั้นจะต้องมีลักษณะที่ทำให้ให้นักเรียนเกิดความสนใจ สงสัย ขัดแย้งกับความรู้หรือประสบการณ์เดิม และต้องการพิสูจน์คำตอบของตนเอง ซึ่งควรเป็นคำถามปลายเปิด เพื่อสนับสนุนให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ หรือพยายามให้เหตุผลในการอธิบายคำตอบของตนเอง จากการทำนายและวิเคราะห์ปรากฏการณ์ได้อย่างหลากหลาย

แนวปฏิบัติที่ 2 ครูควรเปิดโอกาสให้นักเรียนเป็นผู้สืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง และส่งเสริมให้นักเรียนตระหนักถึงกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยครูเป็นผู้อำนวยความสะดวกให้แก่นักเรียน (facilitator) เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเป็นผู้สืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง จากการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มย่อย และ

มีการแลกเปลี่ยนการเรียนรู้ การตัดสินใจในด้านต่างๆ เช่น วิธีการทดลอง วิธีการวิเคราะห์ผล การสรุปผล หรือการเชื่อมโยงความสัมพันธ์จากข้อมูล เป็นต้น โดยครูควรตรวจสอบนักเรียนอย่างทั่วถึง รวมทั้งตั้งคำถามกระตุ้นความคิดเมื่อนักเรียนเกิดข้อผิดพลาด เพื่อให้ให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ในด้านแนวคิด และตระหนักถึงวิธีการที่นักวิทยาศาสตร์ได้มาซึ่งความรู้ด้วยตนเองอย่างมีเหตุผล ดังตัวอย่างอนุทินของนักเรียน ดังนี้ “เปิดโอกาสให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการเรียน ได้ใช้อุปกรณ์การทดลองต่างๆ มีกิจกรรมที่ให้นักเรียนได้นำเสนอ อธิบาย หรือถามกันในกลุ่มในสิ่งที่สงสัยได้ ทำให้เข้าใจได้ดีขึ้น”

ขั้นที่ 3 การสร้างข้อโต้แย้งชั่วคราว

แนวปฏิบัติ ครูกำหนดองค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจน คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล การพิจารณาที่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ทำให้นักเรียนเข้าใจกรอบแนวคิดในแต่ละองค์ประกอบ รวมทั้งทำให้นักเรียนสามารถจัดระบบความคิดของตนเอง เพื่อเชื่อมโยงความรู้ แนวคิด หรือหลักฐานต่างๆ มาใช้ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังตัวอย่างอนุทินของนักเรียน ดังนี้ “การเขียนในลักษณะที่กำหนดรูปแบบแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มาให้ ทำให้สามารถเข้าใจง่ายและเรียบเรียงได้ดีกว่า จะต้องเขียนอะไรบ้างจึงจะถือว่าเป็นคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์”

ขั้นที่ 4 กิจกรรมการโต้แย้ง

แนวปฏิบัติที่ 1 ครูควรกำหนดให้นักเรียนทุกกลุ่มมีส่วนร่วมในกิจกรรมการโต้แย้ง โดยกำหนดให้แต่ละกลุ่มถามคำถามปลายเปิดต่อเพื่อนกลุ่มที่นำเสนอ รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะ หรือข้อโต้แย้งในกิจกรรมการโต้แย้ง เนื่องจากคำถามเป็นสิ่งสำคัญในการกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสงสัยว่า สิ่งของตนเองเข้าใจนั้นถูกต้องหรือไม่ และทำให้นักเรียนเกิดการพิจารณาในหลากหลายมุมมองว่า สามารถใช้แนวคิดหรือหลักการทางวิทยาศาสตร์ใดมายืนยันข้อกล่าวอ้างของตนเองหรือแย้งข้อกล่าวอ้างของเพื่อน เป็นวิธีการที่ดีในการสร้างบรรยากาศในกิจกรรมการโต้แย้ง

ขั้นที่ 5 การเขียนรายงานรายบุคคล

แนวปฏิบัติที่ 1 ครูเป็นผู้ให้คำปรึกษาแนะนำแก่นักเรียนในการเขียนรายงานในช่วงแรก จากนั้นจึงลดบทบาทของตนเองลง การเขียนรายงาน เป็นขั้นตอนที่มีบทบาทสำคัญในการทำงานทางวิทยาศาสตร์ ยกตัวอย่างเช่น นักวิทยาศาสตร์ได้เผยแพร่ความรู้หรือสิ่งที่ตนเองค้นพบในรูปแบบของการเขียน เป็นต้น และเป็นการพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน รวมทั้งทำให้สามารถตรวจสอบความเข้าใจของแนวคิด องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างขึ้น โดยครูมีบทบาทสำคัญในการให้คำปรึกษาแนะนำแก่นักเรียน เพื่อส่งเสริมความเข้าใจกรอบแนวคิดในแต่ละองค์ประกอบอย่างแท้จริง จากนั้นจึงปรับลดระดับการให้ความช่วยเหลือ เพื่อให้นักเรียนสามารถเรียนรู้และเข้าใจด้วยตนเอง

ขั้นที่ 6 การอภิปรายสะท้อนผลและการปรับปรุงรายงาน

แนวปฏิบัติที่ 1 ครูควรกระตุ้นให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบรายงานของเพื่อน โดยให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในกระบวนการประเมินรายงานของเพื่อน เพื่อเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการประเมินและการทบทวนรายงาน และพัฒนาการเขียนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยครูอาจใช้ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่มีองค์ประกอบที่ไม่สมบูรณ์ เพื่อเป็นตัวอย่างให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายถึง

กรอบแนวคิดในการตรวจสอบคุณภาพของรายงาน

แนวปฏิบัติที่ 2 ครูควรกระตุ้นให้นักเรียนร่วมกันแลกเปลี่ยนและอภิปรายถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนได้สะท้อนถึงปัญหาหรือสิ่งที่ต้องการแก้ไข โดยการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ที่ได้อพบ ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้จากปัญหาที่เกิดขึ้น อีกทั้งเป็นการสะท้อนการจัดการเรียนรู้ของครู เพื่อนำไปปรับปรุงหรือพัฒนาให้ดีขึ้น

และเพื่อศึกษาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ภายหลังจากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง ในอีก 2 สัปดาห์ถัดมา ผู้วิจัยจึงให้นักเรียนกลุ่มที่ศึกษาทำแบบทดสอบ เมื่อพิจารณาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในภาพรวมจากแบบทดสอบโดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักในแต่ละองค์ประกอบ แล้วทำการแบ่งอันดับภาคชั้นทางสถิติ เพื่อทำการแปลผลคะแนนออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับดี (2.00-1.40 คะแนน) ระดับพอใช้ (1.39-0.70 คะแนน) และระดับปรับปรุง (0.69-0.00 คะแนน) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของคะแนนการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในภาพรวมจากแบบทดสอบ

ข้อที่	คะแนน (2 คะแนน)			คะแนนรวม (เฉลี่ย)
	ข้อกล่าวอ้าง	หลักฐาน	การให้เหตุผล	
1	1.79	1.86	1.90	1.85
2	1.90	1.97	1.97	1.95
3	1.83	1.79	1.93	1.85
4	1.21	1.93	1.41	1.52
5	1.45	1.97	1.66	1.69
6	2.00	1.66	1.72	1.79
7	1.86	1.52	1.55	1.64
ค่าเฉลี่ย	1.72	1.81	1.73	1.75

จากตารางที่ 1 พบว่า ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในภาพรวมอยู่ในระดับดี คือ 1.75 คะแนน จากคะแนนเต็ม 2.00 คะแนน และเมื่อพิจารณาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบอยู่ในระดับดี โดยนักเรียนมีความสามารถในการแสดงหลักฐานมากที่สุด คือ 1.81 คะแนน รองลงมาคือการให้เหตุผล คือ 1.73 คะแนน และข้อกล่าวอ้าง คือ 1.72 คะแนน ตามลำดับ

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง แรง มวล และกฎการเคลื่อนที่ พบว่าแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้ในแต่ละชั้น ได้แก่ ชั้นที่ 1 การกำหนดประเด็นที่ศึกษา สถานการณ์ที่ใช้

ควรเป็นสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน เพื่อกระตุ้นความสนใจของนักเรียนและให้นักเรียนตระหนักถึงการใช้นำคิดทางวิทยาศาสตร์ในการอธิบายสิ่งที่พบเจอ (McNeill and Krajcik, 2007; Yeo and Gilbert, 2014) รวมทั้งสถานการณ์ที่ยกตัวอย่าง ควรเป็นสถานการณ์ที่ทำนาย ทำให้นักเรียนเกิดการโต้แย้งในตัวเอง หรือเพื่อนร่วมชั้นเรียน ขั้นที่ 2 การสร้างสรรค์และวิเคราะห์ข้อมูล ครูควรตั้งคำถามชี้แนะหรือคำถามก่อนการทดลองที่มีลักษณะเป็นคำถามปลายเปิด เพื่อสนับสนุนให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หรือพยายามให้เหตุผลในการอธิบายคำตอบของตนเอง จากการทำนายและวิเคราะห์ปรากฏการณ์ว่าคำตอบหรือแนวคิดของตนเองนั้นถูกต้องหรือไม่ สอดคล้องกับ Golding (2011) ที่กล่าวว่า คำตอบของนักเรียนจะแสดงให้เห็นว่าข้อกล่าวอ้างของนักเรียนนั้น มีองค์ประกอบของหลักฐานหรือเหตุผลในลักษณะอย่างไร และเหมาะสมหรือไม่ และกระตุ้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายและดำเนินกิจกรรมต่อ จนนำไปสู่การค้นพบคำตอบที่ต้องการ ซึ่งครูควรเป็นผู้อำนวยความสะดวก และเปิดโอกาสให้นักเรียนเป็นผู้สืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง และส่งเสริมให้นักเรียนตระหนักถึงกระบวนการและวิธีการที่นักวิทยาศาสตร์ได้มาซึ่งความรู้ สอดคล้องกับ Bosse, Huwendiek, Skelin, Kirschfink and Nilendei (2010) ที่พบว่า ครูมีบทบาทที่สำคัญในการอำนวยความสะดวกในการส่งเสริมให้นักเรียนให้สร้างองค์ความรู้ที่มีประสิทธิภาพ ขั้นที่ 3 การสร้างข้อโต้แย้งชั่วคราว เมื่อกำหนดรูปแบบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยพิจารณาที่องค์ประกอบ จะทำให้นักเรียนสามารถจัดระบบความคิดได้ดีและมีความสมบูรณ์มากขึ้น (McNeill, Lizotte and Krajcik, 2005) ขั้นที่ 4 กิจกรรมการโต้แย้ง ควรกำหนดให้นักเรียนทุกกลุ่มมีส่วนร่วมในกิจกรรมโต้แย้ง จากการถามคำถาม หรือให้ข้อเสนอแนะ หรือข้อโต้แย้ง โดยเน้นให้นักเรียนใช้หลักฐานและเหตุผลการตั้งคำถามเป็นการฝึกให้นักเรียนเกิดการพิจารณามุมมองในด้านต่างๆ สอดคล้องกับ Golding (2011) ที่พบว่า การตั้งคำถามเป็นการฝึกให้นักเรียนเกิดการพิจารณามุมมองในด้านต่างๆ และสามารถเรียบเรียงแนวคิดเพื่อนำมาตอบคำถาม ขั้นที่ 5 การเขียนรายงานรายบุคคล ครูควรให้คำปรึกษาแนะนำแก่นักเรียนในการเขียนรายงานในช่วงแรก โดยส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจกรอบแนวคิดในแต่ละองค์ประกอบให้ชัดเจน เมื่อนักเรียนเข้าใจในกรอบแนวคิดแล้วจากนั้นค่อยๆ ลดบทบาทในการช่วยเหลือ และ ขั้นที่ 6 การอภิปรายสะท้อนผลและการปรับปรุงรายงาน ครูควรกระตุ้นให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบรายงานของเพื่อน เพื่อให้เป็นการเรียนรู้ผ่านการประเมินรายงาน และร่วมกันวิพากษ์อย่างมีเหตุผล รวมทั้งกระตุ้นให้อภิปรายถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนพบเจอระหว่างการทำกิจกรรม เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้และมีการแลกเปลี่ยนแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น สอดคล้องกับ White and Frederiken (1998) ที่กล่าวว่า เมื่อให้นักเรียนได้สะท้อนถึงสิ่งที่ได้จากการเรียนรู้จะเป็นการเพิ่มความเข้าใจทั้งด้านแนวคิดและกระบวนการสืบเสาะให้นักเรียนมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

1. การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง ควรเน้นให้นักเรียนตระหนักถึงความสำคัญในการให้ข้อเสนอแนะ การร่วมกันอภิปราย วิพากษ์วิจารณ์ หรือแลกเปลี่ยนความรู้หรือสิ่งที่ได้ค้นพบอย่างมีเหตุผล โดยปราศจากการใช้อารมณ์ส่วนตัวหรืออคติ ว่าเป็นแนวทางหนึ่งในการหาข้อสรุปบนพื้นฐานของตรรกะและเหตุผล โดยนำหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ เหตุผลเชิงประจักษ์หรือแนวคิดที่ได้มาอธิบายตามกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้

2. คำถามเป็นสิ่งสำคัญในการดำเนินการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง เพื่อสร้างความสนใจแก่นักเรียน หรือท้าทายนักเรียน ทำให้นักเรียนเกิดความสงสัย ต้องการหาคำตอบ โดยคำถามที่ครูและนักเรียนใช้ควรเป็นคำถามปลายเปิด และเป็นคำถามที่ทำให้นักเรียนเกิดการโต้แย้งภายในตนเองและผู้อื่น นำไปสู่การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เนื่องจากนักเรียนต้องหาหลักฐานเพื่อมาสนับสนุนข้อกล่าวของตนเอง โดยใช้เหตุผลในการเชื่อมโยง

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนได้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อนำเสนอข้อโต้แย้งของตนเอง เนื่องจากเวลาที่จำกัด นักเรียนอาจนำเสนอไม่ได้ครบทุกกลุ่ม หรือข้อโต้แย้งของนักเรียนที่ค่อนข้างเหมือนกันทำให้เกิดการโต้แย้งได้น้อย ดังนั้นควรจัดกลุ่มประเภทคำตอบของนักเรียนที่แตกต่างกันแล้วสุ่มให้นักเรียนออกมานำเสนอ แล้วให้นักเรียนกลุ่มอื่นๆ ร่วมกันเสนอแนะหรือโต้แย้งอย่างมีเหตุผล ซึ่งเป็นการส่งเสริมนักเรียนในการประเมินข้อแย้งของผู้อื่น และยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นโดยอาศัยหลักฐานและเหตุผลประกอบการตัดสินใจ

2. จากแผนการจัดการเรียนรู้ช่วงแรก ในขั้นตอนกิจกรรมการโต้แย้ง พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ไม่กล้าแสดงความคิดเห็นหรือโต้แย้งกับกลุ่มอื่น ครูควรชี้แนะให้เห็นถึงความสำคัญในการโต้แย้งว่าเป็นกระบวนการหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการหาข้อสรุปที่ถูกต้อง โดยใช้หลักฐานและเหตุผลเชิงประจักษ์ในการสนับสนุนข้อกล่าวอ้างของตนเอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษา ภายใต้โครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ประจำปีการศึกษา 2558



References

- Bosse, H. M., Huwendiek, S., Skelin, S., Kirschfink, M. and Nikendei, C. (2010). Interactive film scenes for tutor training in problem-based learning (PBL): dealing with difficult situations. **BMC Medical Education**. [Online]. Retrieved May 18, 2017 from <http://www.biomedcentral.com/1472-6920/10/52>
- Buaraphan, Khajornsak. and Singh, Penjuntr. (2012). Alternative Conceptions about Force and Motion (แนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่). **Kasetsart Educational Review**, 22(3): 49-63.
- Golding, C. (2011). Educating for critical thinking: thought-encouraging questions in a community of inquiry. **Higher Education Research & Development**, 30(3): 357-370.
- Kemmis, S. and McTaggart, R. (1998). **The Action Research**. Victoria: Deakin University.
- Kuhn, L. and Reiser, B. (2008). Making Sense of Argumentation and Explanation. **Science Education**, 93(1): 26-55.
- McNeill, K. L., Lizotte, D. J., and Krajcik, J. (2005). Identifying Teacher Practices that Support Students' Explanation in Science. **The annual meeting of the American Educational Research Association**, Montreal, Canada. (Mimeographed)
- McNeill, K. L. and Krajcik, J. (2007). Scientific Explanations: Characterizing and Evaluating the Effects of Teachers' Instructional Practices on Student Learning. **Journal of research in science teaching**, 40(1): 53-78.
- McNeill, K. L. and Krajcik, J. S. (2008). **Assessing Middle School Students' Content Knowledge and Reasoning through Written Scientific Explanations**. [Online]. Retrieved April 6, 2016 from http://www-personal.umich.edu/~krajcik/McNeill&Krajcik_NSTA.pdf
- Partnership for 21st century skills. (2008). **21st century skills Education and Competitiveness A RESOURCE AND POLICY GUIDE**. [Online]. Retrieved April 29, 2016 from http://www.p21.org/storage/documents/21st_century_skills_education_and_competitiveness_guide.pdf
- Sampson, V. and Gleim, L. (2009). Argument-Driven Inquiry to Promote the Understanding of Important Concepts & Practices in Biology. **The American Biology Teacher**, 71(8): 465-472.
- Sampson, V., Enderle, P., Grooms, J., and Witte, S. (2013). Writing to Learn by Learning to Write During the School Science Laboratory: Helping Middle and High School Students Develop Argumentative Writing Skills as They Learn Core Ideas. **Science Education**, 97(5): 643-670.

- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2014). **PISA 2012 Result, Mathematics, Reading, and Science what do students know? What can be done ?** (ผลการประเมิน PISA 2012 คณิตศาสตร์ การอ่าน และวิทยาศาสตร์ นักเรียนรู้อะไร และทำอะไรได้บ้าง). Bangkok: The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology.
- White, B. Y. and Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, Modeling, and Metacognition: Making Science Accessible to All Students. **Cognition and Instruction**, 16(1): 3-118.
- Yeo, J. and Gilbert, J. K. (2014). Constructing a Scientific Explanation - A Narrative Account. **International Journal of Science Education**, 36(11): 1902-1935.