

การบูรณาการการประเมินระหว่างเรียนเข้ากับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ในรายวิชาฟิสิกส์เรื่อง แรงและกฎการเคลื่อนที่ เพื่อพัฒนาทักษะการโต้แย้งของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

The Integration of Formative Assessment with 5Es Inquiry Learning Cycle for Teaching Physics in the Unit of Force and Law of Motion for Developing Grade 10 Students' Argumentation Skill

อารักษ์ ประพรม* (Arrak Praprom)* ดร.เอกภูมิ จันทระขันธ์ (Dr.Eakapoom Jantarakhantee)**

ดร.วีรพัฒน์ พลอัน (Dr.Weerapat Pon-On)***

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาการทักษะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 28 คน โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการการประเมินระหว่างเรียนเข้ากับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย คือ ใบกิจกรรมการสร้างข้อโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 4 ใบกิจกรรม ผู้วิจัยนำใบกิจกรรมมาวิเคราะห์ทางสถิติ ทั้งการวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยการหาค่าเฉลี่ย ร้อยละ และการวิเคราะห์เชิงคุณภาพโดยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหาในแต่ละองค์ประกอบของทักษะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ข้อกล่าวอ้าง เหตุผลสนับสนุน ข้อกล่าวอ้าง หลักฐานสนับสนุน เหตุผล ข้อกล่าวอ้างที่ต่างออกไป และการโต้แย้งกลับ ผู้วิจัยพบว่านักเรียนมีระดับคะแนนในแต่ละองค์ประกอบในทักษะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้นในแต่ละแผน เมื่อพิจารณาแต่ละองค์ประกอบพบว่า นักเรียนมีระดับคะแนนเฉลี่ยในการสร้างข้อกล่าวอ้างระดับดีมาก (ร้อยละ 100) เหตุผลสนับสนุน ข้อกล่าวอ้างระดับดี (ร้อยละ 53.50) หลักฐานสนับสนุนเหตุผลระดับดี (ร้อยละ 53.50) ข้อกล่าวอ้างที่ต่างออกไประดับดี (ร้อยละ 51.50) และการโต้แย้งกลับระดับดี (ร้อยละ 53.50) เมื่อจบแผนการเรียนรู้ที่ 4 ซึ่งองค์ประกอบทักษะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ที่ได้รับการพัฒนามากที่สุดก็คือ ข้อกล่าวอ้างที่ต่างออกไป

ABSTRACT

The research aimed to develop the argumentation skill of grade 10 students in unit of force and law of motion by using integration formative assessment with 5Es inquiry learning cycle. The participant were 28 grade 10 students. The research instruments were making scientific argument activity sheets. I collected student's answers from the test and I analyzed overall score by mean, percentage I analyzed in each component of argumentation by content analysis and categorized into different group. The results showed that after finished 4 lesson plans by integration formative assessment with 5Es inquiry learning cycle, student had overall score of making scientific argumentation in high level of development. In addition, their score in each component such claim was very good level (100%), warrant was good level (53.50%), evidence was good (53.50%), counter claim was good level (51.50%) and rebuttal was good level (53.50%). Counter claim was the most developed component.

คำสำคัญ: การโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น การประเมินระหว่างเรียน

Keywords: Scientific Argumentation, 5Es Cycle Learning, Formative Assessment

*นิสิต หลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

***ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทนำ

วิทยาศาสตร์จัดว่าเป็นศาสตร์ที่จำเป็นต้องใช้เหตุผลในการศึกษา กว่าที่จะได้ออกมาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างที่เราเรียนกันอยู่ในทุกวันนี้ นักวิทยาศาสตร์จะต้องทำการค้นคว้า ทดลอง ที่ใช้ระยะเวลายาวนานร่วมกับการให้เหตุผลเพื่อเชื่อมโยงข้อมูลและหลักฐานเข้าด้วยกันจนนำไปสู่การสรุปเป็นองค์ความรู้ที่ถูกต้องและเป็นที่ยอมรับของนักวิทยาศาสตร์คนอื่น ๆ และประชาชนทั่วไป (Sampson et al., 2011; Lin & Mintzes, 2010; Simon et al., 2002) ขั้นตอนที่สำคัญที่สุดขั้นตอนหนึ่งในการที่จะทำให้ได้มาซึ่งองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือคือ การโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ เพราะกระบวนการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการสำคัญที่เอาไว้วิพากษ์และตรวจสอบความรู้ให้ออกมาได้เป็นความรู้สุดท้ายที่มีความชัดเจน ถูกต้อง และได้รับการยอมรับจากทุกฝ่าย

ทักษะการโต้แย้งเป็นกิจกรรมพื้นฐานของวิทยาศาสตร์ (Osborne et al., 2004) เช่นเดียวกับที่ Kuhn (1993) ได้กล่าวไว้ว่า วิทยาศาสตร์เป็นกิจกรรมทางสังคมที่มีการโต้แย้งเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นการศึกษาศาสตร์จึงควรสอนเพื่อพัฒนาทักษะการโต้แย้ง ซึ่ง Kuhn เองพบว่านักเรียนไม่ค่อยได้รับโอกาสได้แสดงความคิดเห็นและแสดงผลสนับสนุนความคิดเห็นของเขา (Kuhn, 1991) โรงเรียนในปัจจุบันไม่สนับสนุนให้นักเรียนได้มีการพัฒนาทักษะการให้เหตุผล โอกาสที่ครูให้นักเรียนพัฒนาและฝึกฝนทักษะการโต้แย้งนั้นมีน้อยมาก (Means and Voss, 1996 และ Newton, Driver and Osborne, 1999) มีงานวิจัยที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการโต้แย้งในห้องเรียน พบว่าการโต้แย้งในชั้นเรียนมักถูกปิดกั้นโดยครู นักเรียนไม่ค่อยได้มีส่วนในการอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน และครูมักไม่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้สร้างข้อโต้แย้ง (Newton et al., 1999) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 4 ณ โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดนนทบุรี พบว่านักเรียนกลุ่มที่ผู้วิจัยได้ศึกษามีการแสดงความเห็นค่อนข้างน้อยและไม่ค่อยมีการโต้ตอบกับครูผู้สอน เมื่อนักเรียนมีคำถามหรือข้อสงสัยมักจะเก็บไว้ในใจไม่กล้าถามครูผู้สอนหรือเวลาที่ครูผู้สอนถามคำถามกับนักเรียนนักเรียนมักไม่ตอบคำถาม นั่นอาจเป็นเพราะนักเรียนมีความเขินอายหรือกลัวที่จะตอบคำถามผิดแล้วกลัวจะเสียหน้าจึงทำให้นักเรียนเลือกที่จะไม่ตอบ ปัญหาต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาเหล่านี้เกิดจากสาเหตุที่ครูจัดการเรียนการสอนในรูปแบบที่ไม่เน้นให้นักเรียนมีการคิดวิเคราะห์และไม่ค่อยเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็น เน้นการเรียนแบบท่องจำเพื่อเอาไปทำข้อสอบ นักเรียนมักจะเป็นผู้รับความรู้จากครูเพียงอย่างเดียว

จากการศึกษางานวิจัยพบว่าการศึกษาการโต้แย้งนั้นจะส่งเสริมให้นักเรียนมีการใช้ทักษะการคิดที่หลากหลาย ใช้ความสามารถในการสืบเสาะหาข้อมูลหรือหลักฐานเชิงประจักษ์ที่สามารถตรวจสอบได้ สามารถประเมินค่าความน่าเชื่อถือของข้อมูล หลักฐาน จนนักเรียนสามารถตัดสินใจใช้ข้อมูล หลักฐาน เพื่อเชื่อมโยงไปสู่ข้อกล่าวอ้างได้ด้วยตนเอง (Driver et al., 2000) และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์พบว่าการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้เป็นสิ่งสำคัญของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ซึ่งจะทำให้เกิดการเรียนรู้อาสาสมัครอย่างแท้จริงเพราะนักเรียนจะเป็นผู้ลงมือปฏิบัติสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเองรวมถึงมีการแลกเปลี่ยนความรู้กับผู้อื่น จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) 2) ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) 3) ขั้นอธิบาย (Explanation) 4) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) และ 5) ขั้นประเมินผล (Evaluation) Biological Science Curriculum Study (BSCS, 1992) อังไฉน (Bybee, R. W., 2014) นำมาจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเป็นผู้ลงมือสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง และพัฒนาทักษะการโต้แย้งของนักเรียน โดยขั้นสร้างความสนใจจะกระตุ้นให้นักเรียนได้คิดวิเคราะห์รวมถึงตัดสินใจในการสร้างข้อกล่าวอ้างของตัวเอง ขั้นสำรวจและค้นหาช่วยให้นักเรียนฝึกทักษะการสืบเสาะหาความรู้เพื่อหาเหตุผลหรือหลักฐานเพื่อนำมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างของตน ขั้นอธิบายจะกระตุ้นให้นักเรียนได้จัดสรรข้อมูลที่ได้จากการสืบเสาะเพื่อใช้ใน

การสนับสนุนข้อกล่าวอ้างของตนเอง ขยายความรู้กระตุ้นให้นักเรียนเกิดการโต้แย้งขึ้นในห้องเรียนโดยการนำปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับเนื้อหาเป็นประเด็นในการโต้แย้ง และขึ้นประเมินผลจะช่วยให้ นักเรียนรู้ว่าข้อกล่าวอ้างของตนเองถูกต้องหรือไม่และหลักฐานหรือเหตุผลที่นำมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างมีความเหมาะสมหรือไม่

จากประสบการณ์ของผู้วิจัยที่พบว่า เวลาที่ครูถามคำถามนักเรียนมักไม่ตอบคำถาม ซึ่งอาจเป็นเพราะนักเรียนมีความเขินอายหรือกลัวที่จะตอบคำถามผิดแล้วกลัวจะเสียหน้า ผู้วิจัยจึงสนใจจะนำเทคนิคการประเมินระหว่างเรียน (Formative assessment) ซึ่งเป็นการประเมินเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียนที่มีการดำเนินการอย่างต่อเนื่องตลอดการเรียนการสอน เป็นการประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนอย่างไม่เป็นทางการ ขณะที่ครูมอบหมายให้นักเรียนเรียนทำกิจกรรมตามที่กำหนด ครูจะคอยสังเกต ซักถาม จดบันทึก แล้ววิเคราะห์ข้อมูลว่าผู้เรียนเกิดการเรียนรู้หรือไม่ จะต้องให้ผู้เรียนปรับปรุงอะไร หรือผู้สอนควรปรับปรุงอะไรเพื่อให้นักเรียนเกิดความก้าวหน้าในการเรียนรู้ (Frunza, 2014 ; Black, 1995) การประเมินระหว่างเรียนทำได้หลายรูปแบบ เช่น การให้ข้อเสนอแนะ ข้อสังเกตในการนำเสนอผลงาน การพูดคุยระหว่างครูกับนักเรียนเป็นกลุ่มหรือรายบุคคล การสัมภาษณ์ เป็นต้น แต่ในงานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยจะใช้เทคนิคของ Keeley (2008) เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ต้องใช้ทักษะการสืบเสาะหาความรู้ และส่งเสริมทักษะการโต้แย้ง โดยลักษณะของเทคนิคต่าง ๆ ของการประเมินระหว่างเรียนจะส่งเสริมให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นของตนเองและอภิปรายร่วมกับผู้อื่น เพื่อหาข้อสรุปแนวคิดที่ถูกต้อง ซึ่งต้องผ่านกระบวนการคิดวิเคราะห์ สืบเสาะหาความรู้ รวมถึงได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับผู้อื่น ซึ่งสอดคล้องกับทักษะการโต้แย้ง นอกจากนี้การประเมินระหว่างเรียนจะช่วยพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียนได้โดยตรงเพราะการประเมินระหว่างเรียนเกิดขึ้นขณะกำลังจัดการเรียนรู้ ทำให้ครูสามารถให้ข้อเสนอแนะต่อนักเรียนได้ทันที (Sadler, 1989; Shepard, 2003)

การบูรณาการการประเมินระหว่างเรียนเข้ากับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการเรียนการสอนให้เอื้ออำนวยต่อการพัฒนาทักษะการโต้แย้งของนักเรียนได้ เนื่องจากทักษะการโต้แย้งเป็นทักษะที่ต้องใช้ความสามารถในการสร้าง สนับสนุน คัดค้าน หรือปรับปรุงข้อกล่าวอ้าง เพื่อนำไปสู่การสร้างองค์ความรู้ที่ได้รับการยอมรับโดยอาศัยหลักฐานเชิงประจักษ์ เพื่อเชื่อมโยงข้อกล่าวอ้างและหลักฐานเข้าด้วยกัน (Lin and Mintzes et al., 2010 ; Sampson et al., 2011) ซึ่งต้องอาศัยการสืบเสาะหาความรู้ โดยเทคนิคต่าง ๆ ของการประเมินระหว่างเรียนช่วยส่งเสริมให้เกิดการโต้แย้งเนื่องจากนักเรียนจะได้แสดงความคิดเห็นของตนเองและเปิดโอกาสให้นักเรียนตรวจสอบความคิดของคนอื่นเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแนวคิดของตนเอง นอกจากนี้ยังช่วยแก้ปัญหาให้นักเรียนไม่กล้าตอบคำถามครูเพราะกลัวตอบผิดหรือเขินอายเนื่องจากเทคนิคการประเมินระหว่างเรียนจะให้นักเรียนกล้าที่จะแสดงความคิดเห็นออกมาโดยที่นักเรียนไม่รู้ตัว

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจึงเป็นเหตุผลที่ผู้วิจัยเลือกที่จะศึกษา การพัฒนาทักษะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้การบูรณาการการประเมินระหว่างเรียนเข้ากับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนาทักษะการโต้แย้งของนักเรียนเรื่อง แรงและกฎการเคลื่อนที่ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการการประเมินระหว่างเรียนเข้ากับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น

วิธีการวิจัย

ผู้วิจัยทำการวิจัยกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดนนทบุรี ที่เรียนรายวิชาฟิสิกส์เพิ่มเติม 1 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 1 ห้องเรียน ประกอบด้วยนักเรียนชาย 10 คน นักเรียนหญิง 18 คน รวมทั้งสิ้น 28

คน โดยผู้วิจัยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 4 แผน ประกอบด้วยเนื้อหาเรื่อง 1) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน 2) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน 3) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน 4) แรงเสียดทาน โดยแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ได้ดำเนินการตามแนวการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ 1) ขั้นสร้างความสนใจ เป็นการนำเข้าสู่บทเรียนผู้วิจัยจะจัดกิจกรรมที่สร้างความสนใจให้นักเรียนเกิดความสงสัยและอยากที่จะเรียนรู้ 2) ขั้นสำรวจและค้นหา เมื่อทำความเข้าใจกับประเด็นหรือคำถามที่สนใจจะศึกษาอย่างถ่องแท้แล้วจึงให้นักเรียนวางแผนกำหนดแนวทางการสำรวจตรวจสอบ 3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป เมื่อได้ข้อมูลอย่างเพียงพอจากการสำรวจตรวจสอบแล้ว จึงนำข้อมูล ข้อสังเกตที่ได้มาวิเคราะห์ แปรผล สรุปผลและนำเสนอผลที่ได้ในรูปแบบต่าง ๆ 4) ขั้นขยายความรู้ เป็นการนำความรู้ที่สร้างขึ้นไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิมหรือแนวคิดที่ได้ค้นคว้าเพิ่มเติม หรือนำแบบจำลองหรือข้อสรุปที่ได้ไปใช้อธิบายสถานการณ์หรือเหตุการณ์อื่น ๆ 5) ขั้นประเมินเป็นการประเมินการเรียนรู้ด้วยกระบวนการต่าง ๆ ว่านักเรียนมีความรู้ะไรบ้าง อย่างไร และมากน้อยเพียงใด โดยในแต่ละแผนจะมีการบูรณาการการประเมินระหว่างเรียนที่เน้นให้นักเรียนได้โต้แย้งทางความคิดซึ่งกันและกันเข้าไปในขั้นของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำแผนการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาศาสตร์ 1 ท่าน ทางด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 1 ท่าน และครูประจำการในโรงเรียน 1 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องและภาษาที่ใช้เพื่อปรับแก้แล้วนำไปใช้ ซึ่งทุกแผนได้ดำเนินการตามขั้นตอนทั้ง 5 เพื่อพัฒนาทักษะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ตามเนื้อหาของแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บจากใบกิจกรรมระหว่างเรียนทั้ง 4 แผนการจัดการเรียนรู้ได้ผลดังตารางที่ 1

Table1 Mean Score of Students' Scientific Argumentation Skill in 5 Components as Claim, Warrant, Evidence, Counter Claim and Rebuttal (Number = 28)

Lesson Plan	Mean Score of Students' Scientific Argumentation Skill					Average score
	Claim	Warrant	Evidence	Counter Claim	Rebuttal	
1. newton's first law of motion	2	0.89	0.50	0.21	0.21	0.76
2. newton's second law of motion	2	1.10	0.96	0.64	0.71	1.08
3. newton's third law of motion	2	0.89	0.92	0.42	0.57	0.96
4. friction	2	1.07	1.07	1.03	1.07	1.24

Note: 2 = Very-High Skill; 1-1.99 = High Skill; 0-0.99 = Low Skill

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเริ่มจัดการเรียนรู้ตามแผนการเรียนรู้ที่ 1 ในเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน พบว่าคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนอยู่ในระดับควรปรับปรุงแทบทุกองค์ประกอบ โดยเหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้างอยู่ที่ระดับคะแนน 0.89 คะแนน หลักฐานสนับสนุนเหตุผลอยู่ที่ระดับคะแนน 0.50 คะแนน ข้อกล่าวอ้างที่ต่างออกไปอยู่ที่ระดับคะแนน 0.21 คะแนน และข้อโต้แย้งกลับอยู่ที่ระดับคะแนน 0.21 คะแนน ยกเว้นข้อกล่าวอ้างที่ระดับคะแนนของนักเรียนอยู่ที่ระดับ 2 คะแนน ซึ่งเป็นระดับดีมาก สาเหตุที่คะแนนของแต่ละองค์ประกอบในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ต่ำ เนื่องจากนักเรียนยังไม่มี ความคุ้นเคยกับทักษะการโต้แย้งและไม่คุ้นชินกับคำถามในรูปแบบนี้มากนัก แม้ครูจะอธิบายแล้วว่าแต่ละองค์ประกอบของการโต้แย้งคืออะไร แต่เมื่อนักเรียนได้รับการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับการสร้างทักษะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ตั้งแต่แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 จนถึงแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 พบว่าคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนเพิ่มขึ้นทุกองค์ประกอบ โดยในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 พบว่าคะแนนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยคะแนนของการสร้างข้อกล่าวอ้างอยู่ที่ระดับคะแนน 2 คะแนน เหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้างอยู่ที่ระดับคะแนน 1.07 คะแนน หลักฐานสนับสนุนเหตุผลอยู่ที่ระดับคะแนน 1.07 คะแนน ข้อกล่าวอ้างที่ต่างออกไปอยู่ที่ระดับคะแนน 1.03 คะแนน และข้อโต้แย้งกลับอยู่ที่ระดับคะแนน 1.07 คะแนน ซึ่งอยู่ระดับดี ยกเว้นการสร้างข้อกล่าวอ้างที่อยู่ในระดับดีมาก และเมื่อคิดคะแนนเฉลี่ยรวมของความสามารถในการสร้างทักษะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละแผนพบว่าในแผนที่ 1 คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนอยู่ในระดับควรปรับปรุง (0.76 คะแนน) แผนที่ 2 คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนอยู่ในระดับดี (1.08 คะแนน) แต่แผนที่ 3 คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนอยู่ในระดับควรปรับปรุง (0.96 คะแนน) และแผนที่ 4 คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนอยู่ในระดับดี (1.24 คะแนน)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ทั้งนี้สามารถพิจารณาทักษะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในแต่ละองค์ประกอบทั้ง 5 องค์ประกอบได้ดังต่อไปนี้

ข้อกล่าวอ้าง ผู้วิจัยพบว่าระหว่างการจัดการเรียนรู้ 4 แผน ระดับของข้อกล่าวอ้างของนักเรียนอยู่ในระดับดีมากทุกแผน เนื่องจากรูปแบบคำถามที่อยู่ในใบกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้จะมีลักษณะเป็นการมอบสถานการณ์ แต่ไม่มีข้อมูลประกอบสถานการณ์มาให้แก่นักเรียนนักเรียนจะต้องไปสืบค้นหาข้อมูลเองด้วยตนเอง ดังตัวอย่างสถานการณ์คือ นักเรียนคิดว่าควรมีการบังคับให้คนขับรถคาดเข็มขัดนิรภัยหรือไม่ ซึ่งนักเรียนสามารถวิเคราะห์และสร้างข้อกล่าวอ้างได้อย่างเหมาะสมคือ “ควรมีการบังคับให้คนขับรถคาดเข็มขัดนิรภัยทุกครั้ง” จะเห็นได้ว่าข้อคำถามนั้นให้ตอบเพียงแค่ว่าเห็นด้วยหรือไม่เห็นด้วยเท่านั้น ซึ่งส่งผลกับคำตอบของนักเรียนคือเมื่อนักเรียนเชื่อมโยงสถานการณ์ในข้อคำถามเข้ากับบริบทในชีวิตประจำวันนักเรียนก็สามารถตอบได้โดยไม่ต้องอาศัยการคิดวิเคราะห์หรือการสืบค้นหาข้อมูลเพื่อช่วยในการตัดสินใจ จึงทำให้นักเรียนสามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้อย่างเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก ในกรณีตัวอย่างของคำถามนี้ พบว่านักเรียนทุกคนสร้างข้อกล่าวอ้างเหมือนกันทั้งหมดคือ ควรมีการบังคับให้คนขับรถคาดเข็มขัดนิรภัยทุกครั้ง การที่นักเรียนทุกคนสามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้อยู่ในระดับดีมาก แสดงให้เห็นว่าข้อคำถามที่ใช้วัดองค์ประกอบของข้อกล่าวอ้างมีข้อบกพร่องที่เห็นได้ชัดนั่นคือ ข้อคำถามจากสถานการณ์การง่ายเกินไปนักเรียนสามารถตอบได้โดยใช้ประสบการณ์ส่วนตัวในชีวิตประจำวันโดยไม่ต้องอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เรียนทำให้ไม่สามารถรู้ได้อย่างแท้จริงว่านักเรียนเข้าใจแนวคิดที่เรียนหรือไม่

เหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง จากตารางที่ 2 พบว่าระหว่างจัดการเรียนการสอนในแผนที่ 1 นักเรียนมีระดับคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ระดับควรปรับปรุง (0.89 คะแนน) แต่หลังจากผ่านการจัดการเรียนรู้แผนที่ 2 พบว่าระดับคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ระดับดี (1.10 คะแนน) แต่เมื่อเข้าแผนที่ 3 คะแนนเฉลี่ยลดลงไปอยู่ในระดับควรปรับปรุง (0.89 คะแนน) ผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์

นักเรียนที่ได้คะแนนน้อยลงในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 และได้ประเด็นออกมา คือคำถามเป็นคำถามที่ยากเนื่องจากนักเรียนไม่ได้มีประสบการณ์ทางด้านนี้ สถานการณ์ที่ครูกำหนดให้ไม่ได้เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นประจำในชีวิตประจำวัน ทำให้ต้องใช้จินตนาการและการวิเคราะห์อย่างมาก รวมถึงการหาข้อมูลที่สอดคล้องที่จะนำมาใช้เป็นเหตุผลเพื่อสนับสนุนข้อกล่าวอ้างที่ได้ยาก ซึ่งต่างจากคำถามในใบกิจกรรมในแผนอื่น ๆ เช่น ในใบกิจกรรมที่ 1 ซึ่งผู้วิจัยใช้คำถามว่า นักเรียนคิดว่าควรมีการบังคับให้คาดเข็มขัดนิรภัยขณะขับรถหรือไม่ หรือในใบกิจกรรมที่ 2 ใช้คำถามว่าเมื่อมีรถบรรทุกและรถเก๋งวิ่งด้วยความเร็วคงที่เท่ากัน เมื่อคนขับทั้งสองตัดสินใจเหยียบเบรคพร้อมกัน นักเรียนคิดว่าระหว่างรถเก๋งและรถบรรทุก รถคันไหนจะหยุดก่อนกัน และในใบกิจกรรมที่ 4 นักเรียนจะเลือกซื้อยางรถยนต์ที่มีดอกยางลักษณะใด ซึ่งในใบกิจกรรมที่ 4 รูปแบบของใบกิจกรรมยังมีข้อมูลของยางรถยนต์แต่ละชนิดมาให้ให้นักเรียนใช้ร่วมในการตัดสินใจในการตอบคำถามอีกด้วย จะเห็นว่ารูปแบบของสถานการณ์ในใบกิจกรรมที่ 1 2 และ 4 นักเรียนมีความรู้และประสบการณ์เดิมที่คุ้นเคยกับสถานการณ์ดังกล่าวมากกว่าสถานการณ์ในใบกิจกรรมที่ 3 ซึ่งคำถามในใบกิจกรรมที่ 3 คือ “นักเรียนคิดว่าแรงที่ข้างดึงหนุมีค่าเท่ากับแรงที่หนุดึงข้างหรือไม่ เมื่อข้างและหนู่ออกแรงจนเชือกตึง” ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนที่ได้คะแนนน้อยคือ “แรงที่ข้างดึงมีค่ามากกว่าเพราะข้างมีแรงเยอะกว่า” จากคำตอบของนักเรียนแสดงให้เห็นว่านักเรียนใช้อารมณ์ความรู้สึกที่ไม่ได้อ้างอิงหลักการทางวิทยาศาสตร์ในการตอบ นอกจากนี้สาเหตุที่ทำให้คะแนนในใบกิจกรรมที่ 3 ลดลง เนื่องจากในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 ได้กำหนดให้นักเรียนทำใบกิจกรรมในเวลาเรียนซึ่งได้กำหนดเวลาในการทำเป็นผลให้การสืบค้นข้อมูลเพื่อนำมาตอบคำถามไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร รวมไปถึงนักเรียนไม่มีสมาธิในการทำเนื่องจากได้เรียนมาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วอาจทำให้นักเรียนเหนื่อยล้า ซึ่งต่างจากแผนที่ 1 2 และ 4 ที่มอบหมายให้นักเรียนทำการบ้านจึงทำให้นักเรียนได้มีเวลาสืบค้นข้อมูลมากขึ้น

หลักฐานสนับสนุนเหตุผล จากตารางที่ 1 ระหว่างการจัดการเรียนการสอนทั้ง 4 แผน พบว่าคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนเพิ่มขึ้นจากระดับควรปรับปรุง (0.5 คะแนน) ในแผนการเรียนรู้แผนที่ 1 เป็นระดับดี (0.96 คะแนน) แต่ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนมีค่าลดลง (0.92 คะแนน) ผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์นักเรียนที่ได้คะแนนในส่วนนี้น้อยจำนวน 6 คน โดยคำถามที่ใช้สัมภาษณ์คือ “นักเรียนคิดว่าภาระหาหลักฐานมาสนับสนุนเหตุผลของเราในข้อนี้มีความยากอย่างไร” และผู้วิจัยได้สรุปประเด็นจากคำตอบของนักเรียนที่ถูกสัมภาษณ์ดังนี้ เนื่องจากคำถามในใบกิจกรรมเป็นคำถามที่ยาก และไม่ได้อยู่ในบริบทที่ใกล้ตัวหรือพบเห็นเป็นประจำ จึงทำให้หาหลักฐานสนับสนุนเหตุผลได้ยาก นอกจากนี้นักเรียนยังไม่สามารถสร้างเหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้อย่างเหมาะสมจึงส่งผลทำให้การหาหลักฐานที่จะมาสนับสนุนเหตุผลเพื่อทำให้ข้อกล่าวอ้างมีความน่าเชื่อถือเป็นเรื่องที่ยากขึ้นไปอีก ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนที่ได้คะแนนน้อยคือ “เมื่อข้างออกแรงดึงและหนู่ออกแรงดึงเนื่องจากหนุมีแรงน้อยกว่าข้างจึงไม่สามารถต้านแรงของข้างได้เลยเป็นผลทำให้แรงที่ข้างดึงมีค่ามากกว่า” จากคำตอบของนักเรียนแสดงให้เห็นว่า หลักฐานสนับสนุนเหตุผลมีความหมายเดียวกับเหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง (ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนที่ได้คะแนนน้อยในเหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้างคือ “แรงที่ข้างดึงมีค่ามากกว่าเพราะข้างมีแรงเยอะกว่า”) แสดงให้เห็นว่านักเรียนไม่สามารถสร้างหลักฐานสนับสนุนเหตุผลได้อย่างเหมาะสม อาจเป็นเพราะนักเรียนเข้าใจว่าเหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้างและหลักฐานสนับสนุนเหตุผลเป็นสิ่งเดียวกัน เนื่องจากทั้งสองมีความคล้ายคลึงกัน โดยทำหน้าที่เป็นสิ่งที่ใช้สนับสนุนข้อกล่าวอ้างให้น่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น และยังมีลักษณะที่เหมือนกันคือใช้เป็นเหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง โดยหลักฐานสนับสนุนเหตุผลจะช่วยให้เหตุผลที่ใช้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น และเหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้างจะทำให้ข้อกล่าวอ้างมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ดังนั้นหลักฐานสนับสนุนเหตุผลก็จะทำหน้าที่สนับสนุนให้ข้อกล่าวอ้างน่าเชื่อถือโดยอัตโนมัติ จึงทำให้นักเรียนคิดว่าเหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้างและหลักฐานสนับสนุนเหตุผลเป็นสิ่งเดียวกัน อีกหนึ่งประเด็นสำคัญที่ทำให้คะแนนเฉลี่ยในข้อนี้ต่ำเป็นเพราะว่าเวลาในการทำใบกิจกรรมมีน้อย เนื่องจากในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 นักเรียนได้ทำใบกิจกรรมในห้องเรียนซึ่งมีเวลาจำกัด ซึ่งต่างจาก

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 2 และ 4 ที่ให้นักเรียนทำเป็นการบ้านเลขทำให้เวลาในการสืบค้นข้อมูลมากกว่า เนื่องจากผู้วิจัยต้องการจะทราบว่าเมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้และให้นักเรียนทำแบบฝึกทักษะการโต้แย้งในใบกิจกรรมทันทีจะมีผลกับคำตอบของนักเรียนหรือไม่ เพื่อนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับกรณีที่ให้นักเรียนทำใบกิจกรรมแบบวัดทักษะการโต้แย้งเป็นการบ้าน เพื่อหาแนวทางที่ดีที่สุดในการวัดความสามารถทักษะการโต้แย้งของนักเรียน จากประเด็นนี้จึงทำให้พบว่า องค์ประกอบของทักษะการโต้แย้งมีความเกี่ยวข้องกันโดยตรง โดยเฉพาะเหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้างจะส่งผลโดยตรงกับหลักฐานสนับสนุนเหตุผล อย่างไรก็ตามหลังจากผ่านการเรียนรู้แผนที่ 4 พบว่าระดับคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนเพิ่มขึ้นอยู่ที่ระดับดี (1.03 คะแนน)

ข้อกล่าวอ้างที่ต่างออกไป จากตารางที่ 1 พบว่าระหว่างการจัดการเรียนการสอนตามแผนทั้ง 4 แผนคะแนนเฉลี่ยขององค์ประกอบนี้จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับองค์ประกอบอื่น ๆ ของทักษะการโต้แย้ง ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์นักเรียนส่วนหนึ่งซึ่งประกอบด้วยนักเรียนที่มีผลการเรียนอยู่ในระดับเก่ง กลาง และอ่อน โดยมีคำถามว่า “นักเรียนคิดว่าองค์ประกอบใดของทักษะการโต้แย้งที่สร้างยากที่สุด เพราะเหตุใด” คำตอบของนักเรียนตอบว่า ข้อกล่าวอ้างที่ต่างออกไป เป็นองค์ประกอบที่สร้างยากที่สุด เพราะการที่จะหาเหตุผลมาหักล้างความคิดตัวเองทำได้ยาก เนื่องจากตัวนักเรียนเองมีความรู้และประสบการณ์เดิมอยู่แล้ว แสดงให้เห็นว่านักเรียนยังขาดทักษะการคิดวิเคราะห์และความคิดสร้างสรรค์ในการคิดนอกกรอบหรือวิเคราะห์สถานการณ์จากมุมมองต่าง ๆ ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการสร้างข้อกล่าวอ้างที่ต่างออกไปเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ผู้วิจัยได้พยายามปรับการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผนเพื่อปรับปรุงให้นักเรียนสามารถสร้างข้อกล่าวอ้างที่ต่างออกไปได้ดียิ่งขึ้น โดยปรับกิจกรรมให้นักเรียนมีการคิดวิเคราะห์และฝึกใช้ข้อมูลของฝ่ายตรงข้ามเพื่อสร้างข้อกล่าวอ้างที่ต่างออกไป (กิจกรรมโต้ว่าที) ในแผนที่ 2 พบว่าคะแนนเฉลี่ยของใบกิจกรรมที่ 2 (0.64 คะแนน) มากกว่าคะแนนเฉลี่ยในใบกิจกรรมที่ 1 (0.21 คะแนน) แต่ในใบกิจกรรมแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 พบว่าคะแนนเฉลี่ยลดลง (0.42 คะแนน) เนื่องจากแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 ได้มีการปรับเวลาในการทำใบกิจกรรมซึ่งให้นักเรียนทำใบกิจกรรมในช่วงโมงเรียน ซึ่งในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 2 และ 4 มอบหมายให้ทำเป็นการบ้าน แสดงให้เห็นว่าเวลาในการทำใบกิจกรรมส่งผลต่อคะแนนในแต่ละองค์ประกอบของทักษะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเวลาที่น้อยจะส่งผลให้การสืบค้นข้อมูลและการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนไม่มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนในองค์ประกอบนี้เพิ่มขึ้นเป็นระดับดีในใบกิจกรรมแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 (1.03 คะแนน) เนื่องจากได้มีการปรับรูปแบบในใบกิจกรรมโดยเพิ่มข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อให้นักเรียนใช้ประกอบในการตอบคำถาม ซึ่งข้อมูลที่เพิ่มลงในใบกิจกรรมเป็นข้อมูลที่เป็นลักษณะเชิงเปรียบเทียบ มีข้อมูลหลากหลายมุมมองที่เกี่ยวกับประเด็นการโต้แย้ง ซึ่งจะช่วยให้เด็กนักเรียนตัดสินใจในการสร้างข้อกล่าวอ้าง แสดงเหตุผลและหลักฐานเพื่อสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง รวมทั้งสร้างข้อกล่าวอ้างที่ต่างออกไป และการโต้แย้งกลับ โดยผ่านการคิดวิเคราะห์และเชื่อมโยงข้อมูลต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

ข้อโต้แย้งกลับ จากตารางที่ 1 พบว่าระหว่างการจัดการเรียนการสอนตามแผนทั้ง 4 แผน คะแนนเฉลี่ยขององค์ประกอบนี้จะมีค่าน้อยเป็นลำดับที่สอง เมื่อเทียบกับองค์ประกอบอื่น ๆ ของทักษะการโต้แย้ง โดยคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับควรปรับปรุง ในใบกิจกรรมแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 (0.21 คะแนน) ในใบกิจกรรมแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 (0.71 คะแนน) และในใบกิจกรรมแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 (0.57 คะแนน) อย่างไรก็ตามคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนในองค์ประกอบนี้เพิ่มขึ้นเป็นระดับดีในใบกิจกรรมแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 (1.07 คะแนน) แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีการพัฒนาในองค์ประกอบนี้มากขึ้น ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์นักเรียนส่วนหนึ่ง โดยมีคำถามว่า “นักเรียนคิดว่าการสร้างข้อโต้แย้งกลับมีความยากอย่างไร” คำตอบของนักเรียนตอบว่า ข้อโต้แย้งกลับเป็นอีกหนึ่งองค์ประกอบที่สร้างยากเนื่องจากต้องคิดวิเคราะห์และมีความสร้างสรรค์ในการให้เหตุผลที่จะสามารถหักล้างข้อกล่าวอ้างฝ่ายตรงข้าม ซึ่งสอดคล้องกับ Lubben et al., (2010) Lin and

Mintzes et al., (2010) ; Sampson et al., (2011) ที่กล่าวว่า การโต้แย้งถือเป็นทักษะที่ต้องอาศัยทักษะการคิดสร้างสรรค์
คิดวิเคราะห์ วิเคราะห์ ซึ่งเป็นการคิดขั้นสูง

จากผลการวิจัย ผู้วิจัยพบว่าการจัดการเรียนรู้โดยการบูรณาการการประเมินระหว่างเรียนเข้ากับการจัดการเรียนรู้แบบ
สืบเสาะ 5 ชั้น สามารถพัฒนาให้นักเรียนมีทักษะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น โดยองค์ประกอบที่ได้รับการพัฒนามาก
ที่สุดได้แก่ ข้อโต้แย้งกลับ โดยดูจากคะแนนขององค์ประกอบนี้มีการเพิ่มขึ้นมากกว่าองค์ประกอบอื่น ๆ ซึ่งการจัดการเรียนรู้
โดยการบูรณาการการประเมินระหว่างเรียนเข้ากับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ชั้น นี้จะเน้นการทำกิจกรรมที่ร่วมกับการ
เก็บข้อมูลจากการทำการทดลองในห้องเรียน พร้อมทั้งวิเคราะห์และทำให้เกิดการโต้แย้งระหว่างนักเรียน ทำให้นักเรียนรู้จัก
ข้อมูลและเลือกใช้หลักฐานมากยิ่งขึ้นและสามารถหาหลักฐานเพื่อจะมาหักล้างข้อกล่าวอ้างของฝ่ายตรงข้าม อย่างไรก็ตาม
นักเรียนยังไม่สามารถสร้างองค์ประกอบต่าง ๆ ของการโต้แย้งให้มีคะแนนอยู่ในระดับมาก ยกเว้น ข้อกล่าวอ้าง ซึ่งอาจเป็น
เพราะว่านักเรียนยังไม่มีความรู้เกี่ยวกับทักษะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ และเพิ่งเริ่มที่จะพัฒนาทักษะการแย้งได้ไม่นาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาภายใต้
โครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ประจำปีการศึกษา 2560

เอกสารอ้างอิง

- Bybee, R. W. "The BSCS SE Instructional Model: Personal Reflections and Contemporary Implications." *Science and Children* 51 (8): 3-13; 2014.
- Driver, R. A. and Osborne, J. "Supporting and Promoting Argumentation Discourse in Science Education." *Science Education* 38 (1): 39-72; 2002.
- Frunza, "Teachers Learning From Professional Development in Elementary Science: Reciprocal Relations Between Formative Assessment and Pedagogical Content Knowledge." Wiley Periodicals, Inc; 2014.
- Kuhn, D. "Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking." *Science Education* 77(3): 319-337; 1993.
- Lin, S. & Mintzes, J. J. "Learning Argumentation Skills through Instruction in Socioscientific Issues". Taiwan: National Science Council; 2010.
- Means, and Voss., "A model for teaching argumentation in science class." *Journal of Research in Science Teaching* 41 (3): 629-643; 1996.
- Newton, P., Driver, R. and Osborne, J. "Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms." 1999 John Wiley & Sons, Inc.; 1998.
- Newton, P., Driver, R. and Osborne, J. "The place of argumentation in the pedagogy of school science." *International Journal of Science Education* 21 (5): 553-576; 2010.
- Osborne, et al., "The Effects of Argument Stance on Scientific Knowledge Inquiry Skills." *International Journal of Science Education* 35 (16): 2784-2800; 2004.
- Sadler, D. R. "Formative assessment and the design of instructional systems." *Instructional Science* 18:119-144; 1998.



- Sampson, V., Grooms, J. and Walker, J. P. "Argument-Driven Inquiry as a way to help Students Learn How to Participate in Scientific Argumentation and Craft Written Arguments: An Exploratory Study." 2010 Wiley Periodicals, Inc; 2010.
- Shepard, LA. "Exploring Teachers' Informal Formative Assessment Practices and Students' Understanding in the Context of Scientific Inquiry." Journal of Research in Science Teaching 44 (1): 57-84; 2003.
- Simon, S., Osborne, J. & Erduran, S. "Systemic Teacher Development to Enhance the use of Argumentation in School Science Activities." Leadership and Professional Development in Science Education; 2003.