วารสารอิเล็กทรอนิกส์
ทางการศึกษา

OJED, Vol.10, No.2, 2015, pp.238-248

OJED
An Online Journal
of Education
http://www.edu.chula.ac.th/ojed

ผลของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น

EFFECTS OF SCIENCE INSTRUCTION USING MORE MODEL ON SCIENCE LEARNING ACHIEVEMENT AND SCIENTIFIC EXPLANATION ABILITY OF LOWER SECONDARY SCHOOL

นางสาวจงกล บุญรอด*
Jongkol Boonrod
ผศ.ดร.อลิศรา ชูชาติ **
Asst. Prof. Alisara Chuchat, Ph.D.

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE (2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE กับนักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไป (3) ศึกษาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE (4) เปรียบเทียบความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE กับนักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไป กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนทุ่งใหญ่วิทยาคม จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 2 ห้องเรียน แบ่งเป็น กลุ่มทดลอง 37 คน และกลุ่มควบคุม 38 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ แบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ และแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ตามลำดับ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติทดสอบที

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ (1) นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ ร้อยละ 70 (2) นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์สูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (3) นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ ร้อยละ 70 (4) นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์สูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

* นิสิตมหาบัณฑิตสาขาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน
คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail Address: krukol_024@hotmail.com
**อาจารย์ประจำสาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน
คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail Address: Alisara.C@chula.ac.th
ISSN1905-4491

Abstract

The purpose of study were (1) to study science learning achievement of the experimental group which learning science instruction through MORE model (2) to compare science learning achievement of students between the experimental group and the control group which learned science through conventional teaching method (3) to study the ability of making explanation of the experimental group (4) to compare scientific explanation ability of Mathayom Suks 1 students at the Thungyaiwittayakom secondary school in Nakhon Si Tammarat. The samples were devided into two groups of 37 and 38 students for experimental and control groups respectively. The research instruments were (1) a science learning achievement and (2) the scientific explanation ability test. The collects data were analyzed by arithmetic mean, means of percentage, standard deviation and t-test

The research findings were summarized as follow: (1) After the experiment, the average score of science learning achievement of the experimental group was higher than the criterion score set at 70 percent. (2) After the experiment, the percentage average scores of science learning achievement of the experimental group was higher than the control group at .05 level of significance. (3) After the experiment, the average scores of ability of making explanation of experimental group was higher the criterion score set at 70 percent. (4) After the experiment, the percentage average score of ability of making explanation of the experimental group was higher than the control group at .05 level of significance.

คำสำคัญ: การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE / แบบจำลอง / ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ / คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ / ความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

KEYWORDS: SCIENCE INSTRUCTION USING MORE MODEL / MODEL/ SCIENCE LEARNING ACHIEVEMENT / SCIENTIFIC EXPLANATION / SCIENTIFIC EXPLANATION ABILITY

บทนำ

สังคมโลกในยุคปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การดำเนินชีวิตประจำวันเปลี่ยนแปลงไปตามความก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การจัดการศึกษาที่มุ่งหวังให้นักเรียนมีเพียงความรู้ ความเข้าใจด้านวิชาการเพียงอย่างเดียว ไม่เพียงพอต่อการจัดเตรียมกำลังคนให้มีสามารถแข่งขันในระดับสากล และพร้อมต่อการเป็นกำลังแรงงานที่รองรับการเข้าสู่ประชาคมอาเซียนได้ (สำนักคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ, 2555) ดังนั้นการจัดการศึกษาควรมุ่งส่งเสริมให้นักเรียนมีความรู้รอบด้าน สามารถเชื่อมโยงความรู้กับภูมิสังคม บูรณการการเรียนรู้ได้หลากหลายด้านทั้งทางด้านวิชาการ ทักษะชีวิต และสร้างนิสัยใฝ่เรียนรู้ มีทักษะในการคิด สามารถแก้ปัญหาเฉพาะหน้า และรับยอมความคิดเห็นของผู้อื่นได้ (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2554)

การจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งที่มีบทบาทในการพัฒนานักเรียนให้เป็นผู้ที่มีความพร้อมในการดำเนินชีวิตได้อย่างเท่าทันกับการเปลี่ยนแปลงของโลก มุ่งหวังให้นักเรียนมีความรอบรู้ทางวิทยาศาสตร์ สามารถนำความรู้ไปใช้ในการระบุปัญหาที่จะทำให้เกิดความรู้ใหม่ในการอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ มีทักษะการค้นหาหลักฐานที่ทำให้เกิดข้อสรุปทางวิทยาศาสตร์ มีความเข้าใจลักษณะสำคัญของการสร้างและการค้นหาความรู้ของมนุษย์ ตระหนักถึงผลของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบต่อความคิดของ

บุคคล สิ่งของเครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน สังคมวัฒนธรรม และการมีส่วนร่วมในการตัดสินใจในประเด็นที่เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ของประชาชน (OEDC, 2013)

จากการพิจารณาการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ในระดับนานาชาติ (Trends in International Mathematics and Science Study: TIMSS) ซึ่งเป็นประเมินความเข้าใจตามเนื้อหาของหลักสูตร โดยกำหนดพฤติกรรมของผู้เรียนออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ความรู้ความเข้าใจ การประยุกต์ใช้ความรู้ และการให้เหตุผล โดยดำเนินการประเมินทุกๆ 4 ปี และเมื่อพิจารณาผลการประเมินวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 2 ในปี พ.ศ. 2550 และ พ.ศ. 2554 พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ย 471 และ 444 เป็นผลคะแนนที่อยู่ในระดับความสามารถทางการเรียนต่ำ และการประเมินผลการเรียนนานาชาติ ตามโครงการ PISA (Programme for International Student Assessment) ดำเนินการโดยองค์กรเพื่อความร่วมมือและพัฒนาเศรษฐกิจ (Organisation for Economic Co-operation and Development; OECD) ที่มั่งเน้นการประเมินสรรถนะในการใช้ความรู้และทักษะในชีวิตจริงของนักเรียน โดยประเมินสมรรถนะ 3 ด้าน ได้แก่ การรอบรู้ด้านการอ่าน การรอบรู้ทางคณิตศาสตร์ และการรอบรู้ทางวิทยาศาสตร์ และเมื่อพิจารณาผลการประเมินความรอบรู้ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นการประเมินเกี่ยวกับการความสำคัญของวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์หรือบริบทในชีวิตจริง พบว่าผลการประเมินความรอบรู้ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนใน ปีพ.ศ. 2549 พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2555 มีคะแนนเฉลี่ย 421 425 และ 444 ตามลำดับ เป็นผลคะแนนที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยระดับนานาชาติ เป็นระดับที่นักเรียนแสดงศักยภาพของการใช้ประโยชน์จากวิทยาศาสตร์ในชีวิตจริงได้ในอนาคตอยู่ในระดับต่ำ (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2554; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2556)

นอกจากนี้ ผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (Ordinary National Education Test: O - NET) เป็นการจัดทดสอบความรู้และความคิดของนักเรียนตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน เมื่อพิจารณาผลการทดสอบระดับชาติวิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ของปีการศึกษา 2555 ถึง 2558 พบว่านักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 35.37 37.95 และ 38.68 ตามลำดับ ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยไม่ถึงร้อยละ 50 และเมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 12 ซึ่งครอบคลุมจังหวัดนครศรีธรรมราชและพัทลุง พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 37.22 39.72 และ 40.99 ตามลำดับ ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยไม่ถึงร้อยละ 50 เช่นกัน (สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ, 2557)

จากผลการประเมินทั้งในระดับนานาชาติและระดับประเทศ พบว่า ความสามารถในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และศักยภาพการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในชีวิตจริงยังอยู่ในระดับต่ำ ดังนั้น การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ควรส่งเสริมให้นักเรียนมีความสามารถในการเรียนวิทยาศาสตร์ และสามารถนำความรู้ไปใช้ในแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ โดยการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อให้นักเรียนเกิดความเข้าใจเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น และส่งเสริมให้นักเรียนมีความสามารถในสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เพื่อนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่พบในชีวิตประวัน

การจัดการเรียนสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้นักเรียนสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ การจัดการเรียนการสอนที่เน้นให้นักเรียนสร้างแบบจำลอง เป็นการสร้างกระบวนการเรียนรู้ที่เลียนแบบการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ โดยนักวิทยาศาสตร์สร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้ในการอธิบายผล

การศึกษา หรือนำเสนอกระบวนการทำงานของตนเอง โดยแบบจำลองเป็นตัวแทนของการนำเสนอแนวคิดและกลไกของวิธีการสำรวจตรวจสอบ (Gershenfeld, 2012) แบบจำลองที่นักวิทยาศาสตร์สร้างขึ้นต้องได้รับการยอมรับจากชุมชนวิทยาศาสตร์ การยอมรับพิจารณาจากข้อมูลหรือหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้มาด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ สามารถนำไปใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้ (Harrison & Treagust, 1998) เมื่อนำแบบจำลองและกระบวนการสร้างแบบจำลองมาใช้ในการจัดเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จะส่งเสริมนักเรียนเกิดการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ เข้าใจปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ มีทักษะในการเรียนรู้ด้วยตนเอง และสามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้ (Buckey & Boulter, 2000)

รูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE เป็นรูปแบบการสอนที่พัฒนาตามแนวคิดของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เน้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จากกระบวนการสร้างแบบจำลอง รูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนนำเสนอความเข้าใจและการคาดคะเนคำตอบของปรากฏการณ์ที่ศึกษาโดยการการสร้างแบบจำลองเบื้องต้น ส่งเสริมให้นักเรียนตระหนักถึงการรู้คิดของตนเอง รับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงความคิดของตนเอง สามารถวิเคราะห์และแก้ไขแนวคิดของตนเองได้จากใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ และแก้ไขแบบจำลองให้สอดคล้องกับหลักฐาน แล้วนำแบบจำลองที่ถูกต้องมาใช้ในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของปรากฏการณ์ที่ศึกษา โดยการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) ขั้นการสร้างแบบจำลองเบื้องต้น (Model) เป็นขั้นการสร้างแบบจำลองเบื้องต้นจากความรู้หรือประสบการณ์ของเดิมของนักเรียน เพื่อใช้แสดงถึงความเข้าใจเบื้องต้นและการคาดคะเนปรากฏการณ์ที่ศึกษา (2) ขั้นการสังเกต (Observer) เป็นขั้นการวางแผนและดำเนินการสำรวจตรวจสอบเพื่อค้นหาข้อมูลที่อธิบายการเกิดปรากฏการณ์ที่ศึกษา (3) ขั้นสะท้อนแนวคิด (Reflect) เป็นขั้นการนำเสนอแนวคิดและข้อมูลที่ไดรับจากการสังเกต เพื่อนำมาใช้ในการแก้ไขแบบจำลอง (4) ขั้นการสร้างคำอธิบาย (Explain) เป็นขั้นการนำแบบจำลองมาใช้ในการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ประกอบด้วยการลงข้อสรุปที่สนับสนุนด้วยหลักฐานและการให้เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุป ซึ่งการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเป็นการแสดงความเข้าใจถึงปรากฏการณ์ที่ศึกษา (Tien, 1998; Rickey, 1999; Carillo et al. 2005; Trout et al., 2005)

นอกจากนี้การส่งเสริมให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ยังส่งผลให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ (Primo et al., 2008) เป็นผู้ที่มีทักษะในการสื่อสารได้อย่างน่าเชื่อถือ สามารถใช้หลักฐานจากการพิสูจน์เชิงประจักษ์และให้เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุปได้ และยังเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงไปตามหลักฐานเชิงประจักษ์ ((McNeill & Kracjik, 2010) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Peker & Wallace (2011) พบว่า การส่งเสริมให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ทำให้นักเรียนสามารถอธิบายปรากฏการณ์ โดยใช้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์สนับสนุนคำอธิบาย พร้อมแสดงเหตุผลเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของคำอธิบายและหลักฐานได้

จากการศึกษาแนวคิด สภาพปัญหา และเอกสารงานวิจัยดังกล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE มาใช้ เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ และความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่จะทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

1) ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE

2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE กับนักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไป

3) ศึกษาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE

4) เปรียบเทียบความสามารถ ในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE กับนักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi – Experimental Research) มีการเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลอง กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง เป็นกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE และกลุ่มควบคุม เป็นกลุ่มที่เรียนวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไป

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 12 นครศรีธรรมราชและพัทลุง สำนักงานคณะกรรมการศึกษาขั้นพื้นฐานกระทรวงศึกษาธิการ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดกลางจังหวัดนครศรีธรรมราช สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 12 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ ดำเนินการเลือกโรงเรียนและนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 แบบเจาะจง จากนั้นเลือกห้องเรียนที่มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไม่แตกต่างกัน จำนวน 2 ห้องเรียน คือ ห้อง ม.1/6 จำนวน 37 คน เป็นกลุ่มทดลอง และห้อง ม.1/5 จำนวน 38 คน เป็นห้องควบคุม

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มี 2 ประเภท คือ

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลอง MORE และแผนการจัดการเรียนรู้แบบทั่วไป แต่ละแผนการจัดการเรียนรู้มีรายละเอียดดังนี้

1.1 แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลอง MORE มีขั้นตอนในการจัดการเรียนการสอน 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นการสร้างแบบจำลองเบื้องต้น (Model) เป็นการให้นักเรียนสร้างแบบจำลองเบื้องต้นจากการใช้ความรู้หรือประสบการณ์ในการสร้างแบบจำลอง เพื่อแสดงความเข้าใจและคาดคะเนคำตอบของปรากฏการณ์ที่ศึกษา

2) ขั้นการสังเกต (Observer) เป็นการให้นักเรียนเป็นผู้การวางแผนการและดำเนินการสำรวจตรวจสอบ ตลอดจนเก็บรวบรวมข้อมูล จัดกระทำข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อให้เป็นหลักฐานในการแก้ไขแบบจำลองเบื้องต้น

3) ขั้นการสะท้อนแนวคิด (Reflect) เป็นการให้นักเรียนนำข้อมูลและหลักฐานที่ได้จากการสังเกตมาพิจารณาและอภิปรายร่วมกัน มานำมาใช้เป็นสนับสนุนแนวคิดการแก้ไขแบบจำลองเบื้องต้น

4) ขั้นการอธิบาย (Explain) เป็นการนำแบบจำลองมาใช้ในการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อแสดงความเข้าใจต่อปรากฏการณ์ที่ศึกษา โดยคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนประกอบด้วยข้อสรุป หลักฐาน และการให้เหตุ

1.2 แผนการจัดการเรียนรู้แบบทั่วไป มีขั้นตอนการจัดการเรียนการสอน 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน เป็นการกระตุ้นความสนใจ ทบทวนความรู้หรือประสบการณ์ของนักเรียน กำหนดปัญหาและคาดคะเนคำตอบล่วงหน้า

2) ขั้นกิจกรรม เป็นการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้นักเรียนออกแบบ วางแผน เก็บรวบรวมข้อมูล และปฏิบัติการทดลอง เพื่อสำรวจตรวจสอบผลการคาดคะเนคำตอบ

3) ขั้นสรุป เป็นการลงข้อสรุปความรู้ และการนำความรู้ไปใช้สถานการณ์ใหม่

2. เครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์ และแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 แบบสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เป็นข้อสอบแบบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ วัดพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัยตามแนวคิดของ Klopfer (อ้างถึงใน พิมพันธ์ เดชะคุปต์ และพเยาว์ ยินดีสุข, 2548: 126) ประกอบด้วย 4 ด้าน ได้แก่ ด้านความรู้ ความเข้าใจ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และการนำความรู้ไปใช้ โดยแบบสอบครอบคลุมเนื้อหาสาระเรื่อง สารรอบตัวและสารละลาย วิชาวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

2.2 แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เป็นข้อสอบแบบอัตนัย จำนวน 5 ข้อ แต่ละข้อประกอบด้วยสถานการณ์ ข้อมูลประกอบสถานการณ์ เช่น รูปภาพ ตาราง และข้อคำถาม แบบวัดฉบับสร้างขึ้นตามแนวคิดของ McNeill et al., (2006: 170 - 191) โดยกำหนดรายการประเมิน 3 รายการตามองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ข้อกล่าวอ้าง (claim) หลักฐาน (Evidence) และการให้เหตุผล (Reasoning) และมีความสอดคล้องกับเนื้อสาระวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารรอบตัวและสารละลาย ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 1

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการทดลองตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้พัฒนาขึ้นและเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเองทั้งในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มีการเตรียมนักเรียนทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมก่อนการทดลองโดยแนะนำรายวิชา จุดประสงค์การเรียนรู้และการวัดและประเมินผลให้นักเรียนทั้งสองกลุ่ม สำหรับกลุ่มทดลองเตรียมนักเรียนเพิ่มเติม โดยแนะนำลักษณะการเรียนการสอนโดยใช้แบบจำลอง MORE และศึกษาหมายของแบบจำลอง หลังจากนั้นดำเนินการสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลอง MORE กับกลุ่มทดลอง และดำเนินการสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบทั่วไปกับกลุ่มควบคุม โดยใช้

เวลาในการจัดการเรียนการสอนทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำนวนทั้งสิ้น 23 คาบ คาบละ 50 นาที ดำเนินการสอนเสร็จสิ้นทั้งสองกลุ่ม ทำการทดสอบหลังเรียนทั้งสองกลุ่มด้วยแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ โดยใช้เวลา 50 นาที และ แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้เวลา 60 นาที จากนั้นครูนำคะแนนที่ได้จากการทดสอบ มาวิเคราะห์ เพื่อทดสอบสมมติฐาน

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ค่าสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยการหาค่า โดยการหาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{X}_{\text{ร้อยละ}}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ จากนั้นนำคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์มาเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 ซึ่งกำหนดโดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2555:) เพื่อแปลระดับความสามารถทางการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยสถิติที (t - test) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์หลังเรียนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม และการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

ผลการวิจัย

ผลของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น พบว่า

1. นักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนด้วยแบบจำลอง MORE มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์สูงกว่าเกณฑ์กำหนดไว้ร้อยละ 70

2. นักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนสอนด้วยแบบจำลอง MORE มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์สูงกว่านักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3. นักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนด้วยแบบจำลอง MORE มีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ร้อยละ 70

4. นักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนสอนด้วยแบบจำลอง MORE มีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์สูงกว่านักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

อภิปรายผล

ผลการวิจัยของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น พบว่า ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสามารถอภิปรายผลตามลำดับดังนี้

1. ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

ผลการวิจัยพบว่า หลังได้รับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดร้อยละ 70

และสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 1 และข้อที่ 2 แสดงว่าการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE ช่วยพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ สามารถอภิปรายได้ดังนี้

1) นักเรียนมีความเข้าใจบทเรียนผ่านกระบวนการสร้างแบบจำลอง โดยนักเรียนสร้างแบบจำลองเบื้องต้น เพื่อนำเสนอผลการคะเนและแสดงความเข้าใจเบื้องต้นของปรากฏการณ์ที่ศึกษา แล้วดำเนินการค้นหาคำตอบผ่านวิธีการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงประจักษ์ แล้วนำข้อมูลและผลการศึกษามาสะท้อนแนวคิดของตนเอง เพื่ออธิบายผลการศึกษาด้วยหลักการทางวิทยาศาสตร์และแก้ไขแบบจำลอง แล้วนำมาสร้างเป็นคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่แสดงออกถึงความเข้าใจปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่นักเรียนสร้างความเข้าใจบทเรียนด้วยตนเอง แสดงความเข้าใจของตนเองออกมาในรูปของแบบจำลองและคำอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับคำกล่าวของ Maia & Justi (2009) ที่อธิบายว่า การเรียนรู้ผ่านกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความรอบรู้ทางวิทยาศาสตร์ เข้าใจธรรมชาติและกระบวนการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และทักษะในการสืบค้นข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลายและเลือกใช้ข้อมูลได้อย่างเหมาะสมกับการสร้างแบบจำลอง สอดคล้องกับ Coll & Lajium (2011) ที่อธิบายว่า การจัดการเรียนการสอนที่เน้นให้นักเรียนสร้างแบบจำลองจะช่วยกระตุ้นให้นักเรียนสร้างความเข้าใจมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์และใช้แบบจำลองเป็นตัวแทนของการอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์

2) นักเรียนสามารถประเมินความเข้าใจบทเรียนได้จากการกระบวนการสะท้อนแนวคิดของตนเอง สามารถเชื่อมโยงความรู้เดิมกับข้อมูลที่ได้รับจากการเรียนรู้ใหม่ได้ สามารถเข้าใจหลักการและวิธีการค้นหาหลักฐานเชิงประจักษ์ในการสนับสนุนแนวคิดของตนเอง เพื่อนำมาใช้ในการสร้างหลักการทางวิทยาศาสตร์ ประเมินและแก้ไขแบบจำลองของตนเอง สอดคล้องกับคำอธิบายของ Schwarz et al. (2009) ที่บอกว่า กระบวนการแก้ไขแบบจำลองจะช่วยให้นักเรียนสามารถประเมินความเข้าใจของตนเองได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ricky (1999) ที่พบว่าเมื่อครูกระตุ้นให้นักเรียนสะท้อนแนวคิดของตนเอง ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์และเกิดทักษะในการแก้ปัญหา ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mattox, Reisner & Rickey (2006) ที่ใช้รูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE ส่งผลให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจวิทยาศาสตร์มากขึ้น และสามารถอธิบายผลการทดลองได้ทั้งในระดับมหาภาค (Macroscopic) และระดับโมเลกุล (Molecular)

2. ด้านความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า หลังได้รับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดร้อยละ 70 และสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 3 และข้อที่ 4 แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ โดยใช้แบบจำลอง MORE ช่วยพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ในแต่ขั้นตอนการสอนตามรูปแบบ MORE ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลองช่วยในการอธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษา สอดคล้องกับ Schwarz et al. (2009) ที่อธิบายว่า การเปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนในการสร้างแบบจำลอง สามารถช่วยพัฒนาความสามารถในการอธิบายและ

ประเมินแบบจำลองได้ โดยในแต่ละขั้นตอนของการสร้างแบบจำลองทำให้นักเรียนเข้าใจปรากฏการณ์มากขึ้น สอดคล้องกับ Coll & Lajium (2011) ที่อธิบายว่าการสร้างแบบจำลอง ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ การเปิดโอกาสให้นักเรียนเป็นผู้วางแผนและสำรวจตรวจสอบปรากฏการณ์ที่ศึกษาด้วยตนเองในขั้นการสังเกต ช่วยให้นักเรียนสามารถใช้หลักฐานเชิงประจักษ์เพื่อสนับสนุนการลงข้อสรุปปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้ และการสะท้อนแนวคิดของนักเรียนทำให้นักเรียนสามารถเข้าใจหลักการทางวิทยาศาสตร์ สามารถนำมาเชื่อมโยงหลักฐานกับข้อสรุปของปรากฏการณ์ที่ศึกษา ทำให้นักเรียนสามารถเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ที่มีองค์ประกอบข้อสรุป หลักฐาน และการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์เพื่อเชื่อมโยงหลักฐานกับข้อสรุปได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tien, Teichert, & Ricky (2007) ที่ใช้รูปแบบการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE พบว่า การเปิดโอกาสให้นักเรียนสร้างแบบจำลอง แล้วเปิดโอกาสให้นักเรียนเป็นผู้วางแผนและเก็บรวบรวมข้อมูล สะท้อนแนวคิดจากการเก็บรวบรวมข้อมูล ช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่แสดงหลักฐานและการใช้เหตุผล เพื่ออธิบายการเปลี่ยนในระดับมหาภาค (macroscopic) และระดับโมเลกุล (Molecular) ได้

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยพบว่า การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น พบว่า สามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ดีกว่าการเรียนการสอนแบบทั่วไป

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ครูผู้สอนที่สนใจนำการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MORE ไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ควรศึกษาขั้นตอนการสอน บทบาทครูและบทบาทนักเรียนในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด และทำความเข้าใจความหมายและกระบวนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนสามารถแสดงแนวคิดและสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษาอย่างเข้าใจ

2. ข้อเสนอสำหรับการวิจัยครั้งต่อไปนี้

จากการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยพบว่า นักเรียนให้ความสนใจกับการสร้างแบบจำลอง เพื่อเป็นตัวแทนทางความคิดในการอธิบายปรากฏการณ์ ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปอาจจะศึกษาตัวแปรความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

สถาบันทดสอบทางการศึกษา. (2557). *ค่าสถิติพื้นฐานคะแนน O – NET มัธยมศึกษาปีที่ 3*. สืบค้นจาก http://www.onetresult.niets.or.th

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2555). *การวัดประเมินผลวิทยาศาสตร์*. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2556). *ผลการประเมิน PISA 2012 คณิต การอ่าน และวิทยาศาสตร์.* กรุงเทพมหานคร: แอดวานซ์ พริ้นติ้ง เซอร์วิส จำกัด

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2554) *แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 พ.ศ. 2555 – 2559*. สืบค้นจาก http://www.nesdb.go.th/Portals/0/news/plan/p11/plan11.pdf

สำนักงานเลขาการสภาการศึกษา. (2554). *คู่มือสร้างความรู้ความเข้าใจแก่ผู้บริหาร ครู และนักเรียน เพื่อเตรียมความพร้อมรองรับการประเมินตามโครงการวิจัยนานาชาติ (PISA และ TIMSS).* สืบค้นจาก http://www.once.go.th

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ. (2555). *แผนการศึกษาแห่งชาติ (พ.ศ.2555-2559).* กรุงเทพมหานคร: พริกหวานกราฟฟิค.

พิมพันธ์ เดชะคุปต์ และพเยาว์ ยินดีสุข. (2548). *วิธีวิทยาการสอนวิทยาศาสตร์ทั่วไป*. กรุงเทพมหานคร: พัฒนาคุณภาพวิชาการ.

ภาษาอังกฤษ

Buckley, C. B. & Boulter, J. C. (2000). Investigating the role of represention and expressed models in building mental model. In J.K. Gilbert & C.J Boulter. *Developing Models in Science Education*. (pp.119 – 135) Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Carillo, C., Lee, C. & Rickey, D. (2005). *Enhancing science teaching by doing: A framework to guide chemistry students' thinking in the laboratory*. Retrieved from http://www.copernicusproject.ucr.edu/ssi/5E/TeachingbyDoing.pdf

Coll, K. R., & Lajium, D. (2011). Modeling and the future of science learning. *Models and Modeling in Science Education*, 6, 3-21.

Gershenfeld, N. (2012). *Science uses model to explain aspects of the real world.* Retrieved from http://scienceornot.net/2012/01/17/science-uses-models-to-explain-aspects-of-the-real-world.

Harrison, G. A., & Treagust, F.D. (1998). Modelling in science lessons: are there better ways to learn with model. *School Science and Mathematics*, *98*(8), 420-429

Mattox, C. A., Reisner. A. B., & Rickey, D. (2006) What happens when chemical compounds are added to water? an introduction to the model-observe-reflect-explain (MORE) Thinking Frame. *Journal of chemical ducation.*

Maia, F. P. & Justi, R. (2009). Learning of chemical equilibrium through modeling -based teaching. *International Journal of Science Education*, *31*(15), 603-630.

McNeill, K. L. et al. (2006). Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. *The journal of the learning sciences*, *15*(2), 153-191.

McNeill, K. L., & Krajcik, J. S. (2010). *Importance of supporting students in scientific explanation*. Retrieved from http://www.pearsonhighered.com /assets/hip/us/hip_us_pearsonhighered/samplechapter/0137043457pdf.

Organisation for Econamic Co-operation and Development (OECD). (2013). PISA 2012 *Assessment and analytical framework: mathematics, reading, science, problem solving and financial literacy*. Retrieved from http://www.oecd.org/pisa/ pisaproducts/PISA%202012%20framework%20e-book_final.pdf

Peker, D., & Wallace, S. C. (2011). *Characterizing High School Students' Written Explanations in Biology Laboratories*. Research in Science Education, 41,169–191.

Primo, R. A. M et al. (2008) *Testing one premise of scientific inquiry in science classrooms: A study that examines students' scientific explanations*. Retrieved from http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED502629.pdf

Rickey, D., & Stacy, A. (2000). The role of metacognition in learning chemistry. *Journal of chemical education*, *77*(7), 915-920

Rickey, D. (1999). *The effects of laboratory curriculum and instruction on undergraduate students' understanding of chemistry*. Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, CA.

Schwarz, C. V. et al. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Reserarch in Science Teaching, 46*(6), 632-654.

Tien, T. L. (1998). *Fostering expert inquiry skills and beliefs about chemistry through the MORE laboratory experience*. Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, CA.

Tien, T. L., Teichert, A. M., & Rickey, D. (2007). Effectiveness of a MORE laboratory module in prompting students to revise their molecular-level ideas about solutions. *Journal of chemical education*, *84*(1), 175-181

Trout, T., Lee, C. & Rickey, D. (2005). *Inquiry learning: What is it ? How do you do it?*. Retrieved from: http://portal.acs.org/preview/fileFetch/C/CNBP_024294/ pdf/CNBP_024294.pdf