

## การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้วยการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

## Science Learning Management by Using the Scientific Explanation

สันติชัย อนุวรชัย\*

## บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอความสำคัญ ความหมาย องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ รวมทั้งแนวทางการจัดการเรียนการสอนเพื่อให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และแนวทางการวัดและประเมินผลคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งครูวิทยาศาสตร์สามารถนำไปใช้ในการจัดการการสอนวิทยาศาสตร์ได้ เนื่องจากความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ถือเป็นหนึ่งในตัวบ่งชี้ถึงความสำเร็จของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้วยกระบวนการสืบสอบทางวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้เพราะความสามารถดังกล่าวได้สะท้อนภาพของสังคมวิทยาศาสตร์ให้เกิดขึ้นในห้องเรียนได้เป็นอย่างดี ทำให้นักเรียนเข้าใจกระบวนการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ อีกทั้งสอดคล้องกับเป้าหมายของการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ของสังคมโลก และยังเป็นการพัฒนาให้นักเรียนให้มีความรู้ มีทักษะกระบวนการและมีคุณลักษณะของความเป็นนักวิทยาศาสตร์

## Abstract

This article aims to propose the importance, meaning and component of scientific explanation. The guidelines of instruction, evaluation and assessment to assist students to make the scientific explanation are also used for science instruction. Since the abilities of making scientific explanation are one of indicators to show the success of scientific inquiry processes, the abilities reflect the whole image of scientific societies in the classroom, and help students to understand the scientific knowledge, related to learning sciences in global society. They also develop student to have the knowledge, process skills, and scientists' attributes.

## บทนำ

การสืบสอบทางวิทยาศาสตร์ (scientific inquiry) เป็นวิธีการที่สำคัญของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพราะเป็นวิธีการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการค้นคว้าหาความรู้ในธรรมชาติ แล้วนำเสนอผลการค้นคว่านั้นในรูปของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific Explanation) ดังนั้นจึงเป็นที่ยอมรับกันว่าการปฏิบัติอันเป็นหัวใจสำคัญของการสืบสอบเชิงวิทยาศาสตร์คือการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Bayer and Davis, 2008: 383) สอดคล้องกับแนวคิดของ Berland and Reiser (2009: 27) ที่กล่าวว่า “เป้าหมายสำคัญของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้วยการสืบสอบมี 2 ประการ คือ (1) นักเรียนควรมีความสามารถในการใช้ข้อมูลและมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ในการสร้างรูปแบบหรือคำอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา (2) นักเรียนควรได้รับการกระตุ้นให้นำเสนอและโต้แย้งทางความคิด”

ความสำคัญของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ดังกล่าวจึงนำมาสู่การเปลี่ยนแปลงเป้าหมายของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในปัจจุบันที่เปลี่ยนแปลงจากการเน้นให้นักเรียนเก็บรวบรวมข้อเท็จจริงของปรากฏการณ์ที่ศึกษา มาเป็นการสร้างความเข้าใจในปรากฏการณ์ โดยการเชื่อมโยงความคิดเชิงวิทยาศาสตร์ไปสู่หลักฐานและการให้เหตุผล (Bayer and Davis, 2008: 382) รวมทั้งการกำหนดมาตรฐานการศึกษาสำหรับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ให้ความสำคัญกับคำอธิบาย อาทิ สภาการวิจัยแห่งชาติของประเศสหรัฐอเมริกา (National Research Council, 1996; 2000 อ้างถึงใน Ruiz-Primo et al., 2010: 584) ได้เน้นว่าการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เป็นความสามารถและความเข้าใจพื้นฐานสำหรับการสืบสอบเชิงวิทยาศาสตร์ โดยระบุว่า “นักเรียนควรมีความสามารถ 4 ประการ ได้แก่ (1) การแสดงหลักฐานเพื่อช่วยพัฒนาและประเมินคำอธิบาย (2) สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากหลักฐาน (3) สร้างและปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์และแบบจำลอง โดยใช้เหตุผลและหลักฐาน (4) มีความเข้าใจว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นั้น เน้นหลักฐาน เหตุผลและใช้หลักการ รูปแบบและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์” นอกจากนี้ จำนวนงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่ฝึกให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ก็พบว่าที่มีมากขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะงานวิจัยเชิงทดลอง อาทิ Sandoval and Millwood (2005) ทำวิจัยเชิงทดลองกับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนด้วยวิธีสืบสอบร่วมกับโปรแกรม ExplanationConstructor เพื่อศึกษาโครงสร้างของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนเขียน McNeill et al. (2006) ทำวิจัยเชิงทดลองกับนักเรียนระดับเกรด 7 เพื่อศึกษาผลของการเสริมศักยภาพที่มีต่อความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เป็นต้น

นอกจากนี้ ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ยังเป็นความสามารถประการหนึ่งที่บ่งชี้ถึงความรู้ทางวิทยาศาสตร์ตามตัวบ่งชี้ขององค์กรเพื่อความร่วมมือและพัฒนาทางเศรษฐกิจ (Organization for Economic Co-operation and Development: OECD) ซึ่งใช้ในการประเมินความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ตามโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ (Program for International Student Assessment: PISA) ซึ่งมีการประเมินสมรรถนะของนักเรียน 3 ด้าน ได้แก่ (1) การระบุประเด็นทางวิทยาศาสตร์ (2) การอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ในเชิงวิทยาศาสตร์ และ (3) การใช้หลักฐานเชิงวิทยาศาสตร์ (OECD, 2009: 138)

ด้วยเหตุนี้ การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จึงเป็นการสร้างประสบการณ์ในการเรียนรู้ ที่สอดคล้องกับสมรรถนะและมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่สังคม

ต้องการ อีกทั้งเป็นการพัฒนานักเรียนทั้งกระบวนการคิด การปฏิบัติและสร้างคุณลักษณะแบบนักวิทยาศาสตร์ และมีส่วนส่งเสริมให้การเรียนการสอนด้วยวิธีการสืบสอบทางวิทยาศาสตร์ประสบความสำเร็จได้เป็นอย่างดี

### ความหมายของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ หมายถึง ข้อความที่ใช้สำหรับให้ความหมาย อธิบายและการกล่าวอ้าง ในบริบททางวิทยาศาสตร์ โดยมีลักษณะสำคัญที่บ่งชี้ว่าเป็นคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งกล่าวไว้โดยสภาการวิจัยแห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา (National Research Council, 1996 อ้างถึงใน Chiappetta and Koballa, 2010: 104) คือ คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ต้องเป็นคำอธิบายที่สะท้อนผลการสังเกตและการทดลองในเชิงประจักษ์ คำอธิบายที่สร้างขึ้นนั้นต้องมาจากการให้เหตุผลในเชิงตรรกะและสอดคล้องกับหลักฐาน เป็นคำอธิบายที่เป็นสาธารณะและสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยใช้กระบวนการพินิจพิจารณา การรับรอง การปรับเปลี่ยนและการปฏิเสธจากสังคมวิทยาศาสตร์

นอกจากนี้ Gilbert et al. (2000: 193-194) กล่าวว่า “คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์คือ ผลผลิตของสังคมวิทยาศาสตร์เพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ” และได้นำเสนอความหมายของคำอธิบายในวิทยาศาสตร์ (Explanation in Science) ว่ามี 5 ความหมาย ดังนี้ (1) คำอธิบาย คือ การให้ความหมายของคำในบริบททางวิทยาศาสตร์ให้มีความมีความชัดเจน (2) คำอธิบาย คือ ประโยคที่แสดงถึงความเชื่อหรือการกระทำอย่างมีเหตุผลในบริบททางวิทยาศาสตร์ (3) คำอธิบาย คือ การอธิบายสาเหตุของสภาพ เหตุการณ์ กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ (4) คำอธิบาย คือ การอธิบายลักษณะและหน้าที่ของสิ่งต่างๆ ซึ่งเป็นผลมาจากการสืบสอบเชิงวิทยาศาสตร์ (5) คำอธิบาย คือ การกล่าวอ้างทฤษฎีที่มาจากการ นิรนัยจากกฎต่างๆ

### องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มีการพัฒนาโดยลำดับ ซึ่งจากการศึกษาของผู้เขียนพบว่าพัฒนามาจากรูปแบบข้อโต้แย้งของ Toulmin ซึ่งเป็นผู้พัฒนาองค์ประกอบของรูปแบบข้อโต้แย้งทั่วไป (Generic Argument Form) เพื่อใช้วิเคราะห์ข้อโต้แย้งในชีวิตประจำวัน (Osborne, 2005: 371; Dawson and Venville, 2010: 134-135) อย่างไรก็ตาม หากจากนำองค์ประกอบของข้อโต้แย้งตามรูปแบบของ Toulmin มาใช้ในการสร้างคำอธิบายคงเป็นเรื่องยากสำหรับครูและนักเรียน (Sampson and Clark, 2009A: 456-457) ดังนั้นจึงมีการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบดังกล่าวให้ง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งผู้เขียนได้สรุปองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากงานเขียนของ Kuhn and Reiser (2004: 7-8) McNeill et al. (2006: 158) Ruiz-Primo et al (2008: 3) Berland and Reiser (2009: 33-34) และ Sampson and Clark (2009A: 456-457) สรุปได้ว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มีองค์ประกอบ 3 ประการ

- (1) ข้อกล่าวอ้าง (claim) คือ ข้อยืนยันหรือคำตอบของการศึกษาปรากฏการณ์
- (2) หลักฐาน (evidence) คือ ข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง มีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณหรือข้อมูลเชิงคุณภาพ
- (3) การให้เหตุผล (reasoning) คือ ข้อความที่แสดงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

## แนวทางการจัดการเรียนรู้ด้วยการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

จากการสืบค้นของผู้เขียนพบว่าแนวทางสำคัญที่ใช้จัดการเรียนรู้ด้วยการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์คือการสืบสอบเชิงวิทยาศาสตร์ เช่น ให้นักเรียนทดลอง ค้นคว้าด้วยตนเอง แต่ภาระงานที่มอบหมายให้นักเรียนทำนั้นต้องเป็นการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ หรืออาจจัดเป็นขั้นตอนตามรูปแบบการสอนที่นักการศึกษาแนะนำ ดังนั้นจุดเน้นของการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จึงอยู่ที่การออกแบบภาระงานให้นักเรียนได้ปฏิบัติ ซึ่ง McNeill and Krajcik (2008C: 108-112) ได้เสนอแนวการดำเนินการไว้ 6 ขั้นตอน ได้แก่

**ขั้นที่ 1 การระบุและคัดเลือกมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา (Identify and Unpack the Content Standard)** เป็นการกำหนดมาตรฐานการเรียนรู้และระบุโมโนทัศน์ที่ต้องการสอนให้ชัดเจน

**ขั้นที่ 2 คัดเลือกการปฏิบัติการสืบสอบเชิงวิทยาศาสตร์ (Unpack the Scientific Inquiry Practice)** เป็นการกำหนดสิ่งที่ต้องการให้นักเรียนปฏิบัติหรือกำหนดกิจกรรมการเรียนรู้ที่มีลักษณะเน้นการสืบสอบหาความรู้ เช่น การทดลอง เป็นต้น

**ขั้นที่ 3 การกำหนดการเรียนรู้ด้วยการปฏิบัติงาน (Create Learning Performance)** เป็นการกำหนดภาระงานที่ต้องการให้นักเรียนปฏิบัติหลังจากการสืบสอบแล้ว ซึ่งนั่นก็คือกำหนดให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

**ขั้นที่ 4 สร้างภาระงานที่ต้องการประเมิน (Write the Assessment Task)** เป็นการออกแบบสถานการณ์และข้อคำถามที่ให้นักเรียนใช้เป็นแนวทางในการสืบสอบแล้วนำมาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

**ขั้นที่ 5 ทบทวนภาระงานที่ต้องการประเมิน (Review the Assessment Task)** หลังจากการออกแบบสถานการณ์หรือข้อคำถามแล้วให้ทบทวนอีกครั้ง โดยใช้คำถามที่ปรับจากกรอบแนวคิดการประเมินตามโครงการ 2061 (Project 2061's Assessment Framework) เพื่อทบทวน (1) ความรู้ที่จำเป็นต่อการทำภาระงานนี้ถูกต้องหรือไม่ (2) ความรู้เพียงพอต่อการทำภาระงานนี้หรือไม่ หรือมีความรู้อื่นๆ ที่จำเป็นกับการทำงานนี้อีกหรือไม่ และ (3) ภาระงานที่ต้องการประเมินและเนื้อหานั้น มีความเป็นไปได้ที่นักเรียนจะทำความเข้าใจได้หรือไม่

**ขั้นที่ 6 พัฒนาเกณฑ์การให้คะแนนแบบจำเพาะ (Develop Specific Rubrics)** เป็นการสร้างเกณฑ์การให้คะแนนแบบจำเพาะต่อคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ต้องการให้นักเรียนสร้างขึ้น

ตัวอย่างการออกแบบภาระงานเพื่อให้นักเรียนได้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (McNeill and Krajcik, 2008C: 108-112) นำเสนอเรื่องความสัมพันธ์แบบผู้ล่ากับเหยื่อ (Predator/Prey Relationship) สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาโดยแต่ละขั้นตอน สรุปได้ดังนี้

**ขั้นที่ 1 เลือกมาตรฐานช่วงชั้นเรื่องการพึ่งพาอาศัยของสิ่งมีชีวิตที่กำหนดที่ระบุไว้ดังนี้**

**มาตรฐานช่วงชั้นเรื่องการพึ่งพาอาศัยของสิ่งมีชีวิต (ระดับเกรด 6-8):** สิ่งมีชีวิตสองชนิดมีปฏิสัมพันธ์กันได้หลายแบบ อาจเป็นความสัมพันธ์แบบผู้ผลิตกับผู้บริโภค แบบผู้ล่ากับเหยื่อ หรือแบบปรสิตกับผู้ถูกอาศัย หรือสิ่งมีชีวิตอาจเป็นผู้กินซากหรือผู้ย่อยสลายสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ความสัมพันธ์อาจจะมีการแข่งขันหรือได้ประโยชน์

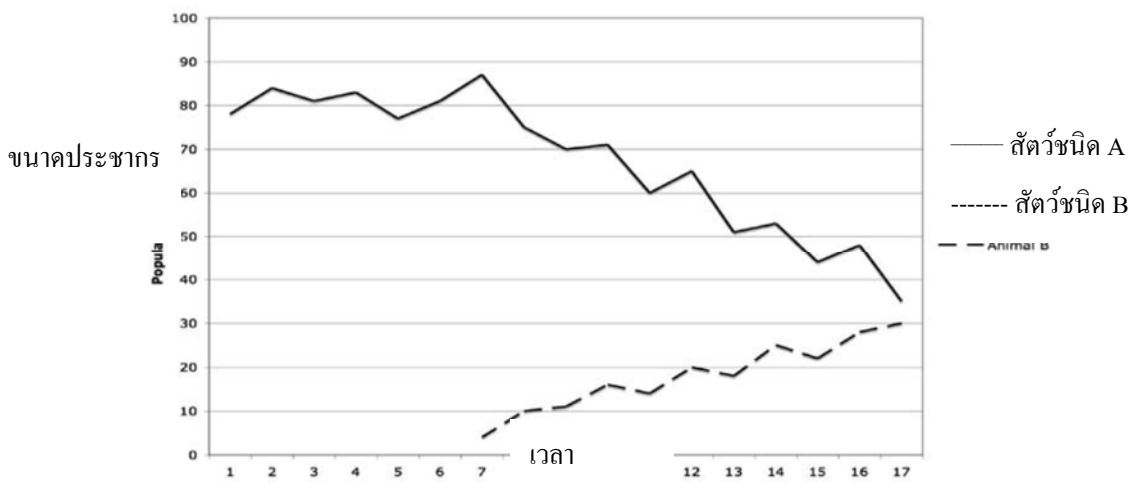
ร่วมกัน สิ่งมีชีวิตบางชนิดมีการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นเพื่อให้อยู่รอดได้ (AAAS, 1993: 17 อ้างถึงใน McNeill and Krajcik, 2008C: 108)

**ขั้นที่ 2** กำหนดให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลด้วยตนเองเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ

**ขั้นที่ 3** กำหนดให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิต A และ B ที่ครูจะสร้างสถานการณ์ให้ไว้ โดยครูกำหนดลักษณะของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ไว้ก่อนคร่าวๆ ดังเช่น นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ประกอบด้วย (1) ข้อกล่าวอ้าง คือ ข้อความที่แสดงว่าสิ่งมีชีวิตสองชนิดซึ่งมีความสัมพันธ์กันแบบผู้ล่ากับเหยื่อ (2) หลักฐาน คือ ข้อความที่แสดงลักษณะของสิ่งมีชีวิตและประชากรของสิ่งมีชีวิตชนิดนั้น (3) การให้เหตุผล คือ ข้อความที่แสดงว่าผู้ล่าบริโภคเหยื่อ และเมื่อผู้ล่าเข้าไปอยู่ในสภาพแวดล้อมใหม่จะเป็นสาเหตุที่ทำให้ประชากรเหยื่อลดลงอย่างรวดเร็ว

**ขั้นที่ 4** ออกแบบสถานการณ์ดังต่อไปนี้ให้นักเรียน

“สัตว์ชนิด A อาศัยอยู่ในทุ่งหญ้า โดยสัตว์ชนิดนี้กินหญ้า รากและวัชพืชเป็นอาหาร สัตว์ชนิด A อาศัยอยู่ในโพรงขนาดเล็กใต้ดิน ณ ช่วงเวลาที่ 7 สัตว์ชนิด B เข้ามาในสภาพแวดล้อมนี้ สัตว์ชนิด B มีขนาดประชากรใหญ่กว่าสัตว์ชนิด A และกินสัตว์ขนาดเล็ก แมลงและสัตว์เลื้อยคลานเป็นอาหาร ดังกราฟ” จงสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่อธิบายรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์ทั้งสองชนิดนี้



กราฟที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดประชากรกับเวลาของสัตว์ชนิด A และ B (McNeill and Krajcik, 2008C: 108)

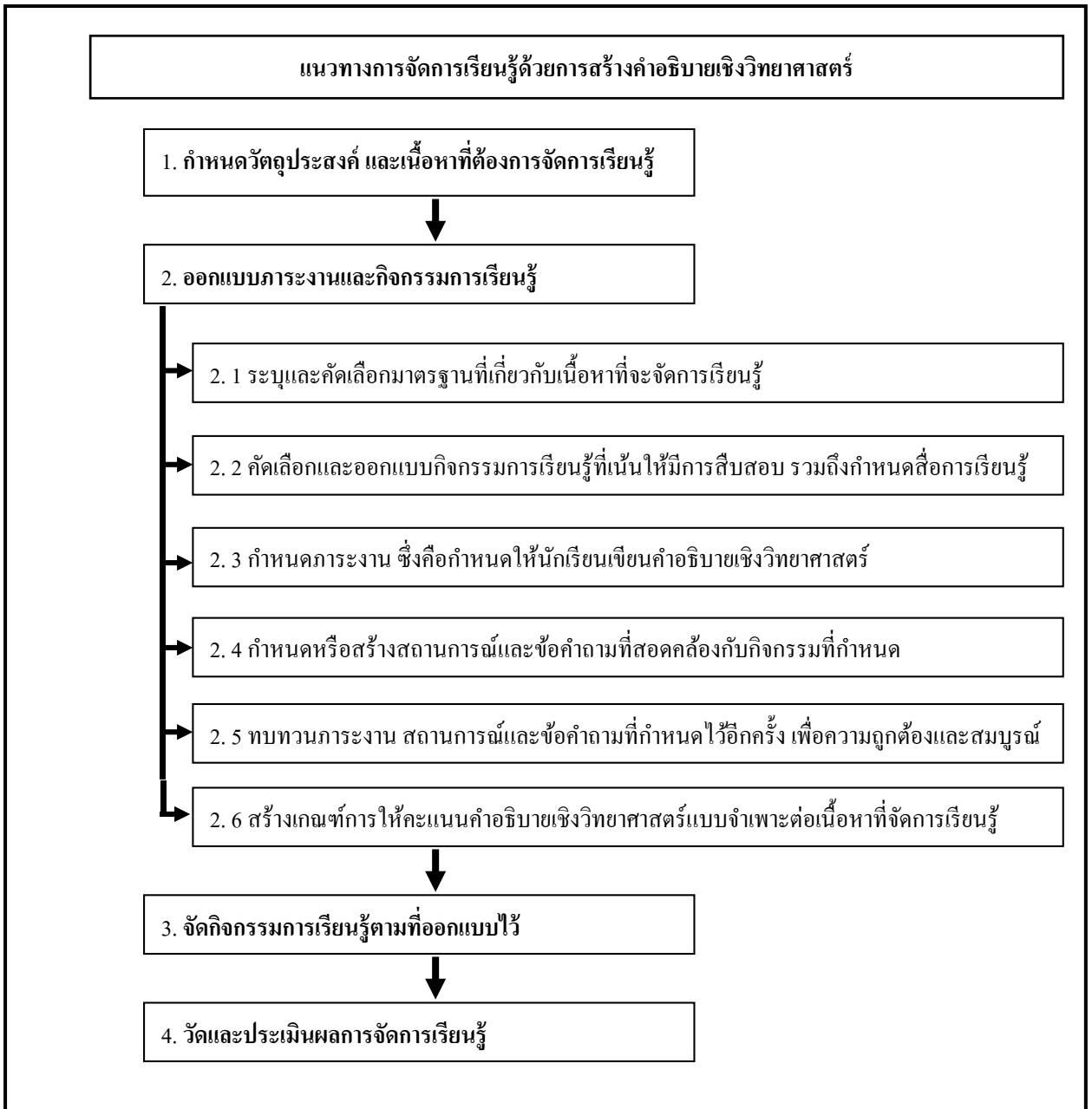
**ขั้นที่ 5** ทบทวนสถานการณ์ กราฟ ที่กำหนดให้นักเรียนอีกครั้งหนึ่ง

**ขั้นที่ 6** สร้างเกณฑ์การให้คะแนนแบบจำเพาะ เพื่อตรวจให้คะแนนกับนักเรียน ซึ่งแสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างผู้ล่ากับเหยื่อ (McNeill and Krajcik, 2008C: 110)

องค์ประกอบ	ระดับคะแนน		
	1	2	3
ข้อกล่าวอ้าง	ระบุว่าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างผู้ล่ากับเหยื่อ หรือระบุความสัมพันธ์ผิด เช่น ระบุว่า เป็นความสัมพันธ์แบบปรสิตร่วมกับผู้ถูกอาศัย	ระบุความสัมพันธ์แต่ยังไม่ชัดเจน เช่น สัตว์ชนิด B เป็นสาเหตุให้ขนาดประชากรของสัตว์ชนิด A ลดลง	ระบุความสัมพันธ์ได้ชัดเจนว่าสัตว์ชนิด A และ B มีความสัมพันธ์กันแบบผู้ล่ากับเหยื่อ
หลักฐาน	ให้ข้อมูลที่ไม่เหมาะสม เช่น เส้นกราฟของสัตว์ทั้งสองชนิดลากขึ้นและลงอย่างมาก หรือมีการให้หลักฐานที่ไม่ชัดเจน เช่น เขียนว่ากราฟนี้คือหลักฐาน	แสดงหลักฐานหนึ่งหรือสองข้อจากสามข้อ ดังนี้ (1) เมื่อสัตว์ชนิด B เข้าไปอยู่ในสภาพแวดล้อมนี้ ขนาดประชากรของสัตว์ชนิด A จะลดลง (2) สัตว์ทั้งสองชนิดกินอาหารต่างกัน ดังนั้นสัตว์ทั้งสองชนิดจะไม่แข่งขันกันกินอาหาร (3) สัตว์ชนิด B กินสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเช่นเดียวกับชนิด A ดังนั้นสัตว์ชนิด B สามารถกินสัตว์ชนิด A ได้	แสดงหลักฐานครบทั้งสามข้อ ดังนี้ (1) เมื่อสัตว์ชนิด B เข้าไปอยู่ในสภาพแวดล้อมนี้ ขนาดประชากรของสัตว์ชนิด A นั้นจะลดลง (2) สัตว์ทั้งสองชนิดกินอาหารต่างกัน ดังนั้นสัตว์ทั้งสองชนิดจะไม่แข่งขันกันกินอาหาร (3) สัตว์ชนิด B กินสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเช่นเดียวกับชนิด A ดังนั้นสัตว์ชนิด B สามารถกินสัตว์ชนิด A ได้
การให้เหตุผล	ให้เหตุผลไม่เหมาะสม เช่น พวกมันเป็นสัตว์ที่แตกต่างกัน หรือไม่มีการให้เหตุผล	กล่าวถึงหลักฐานซ้ำอีกครั้ง หรือกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ล่ากับเหยื่อไม่สมบูรณ์ เช่น ผู้ล่ากินสัตว์ชนิดอื่นๆ	กล่าวถึงลักษณะทั่วไปของความสัมพันธ์แบบสมบูรณ คือ ผู้ล่าจะกินเหยื่อและเมื่อผู้ล่าเข้าไปอยู่ในสภาพแวดล้อมใหม่ ก็จะเป็นสาเหตุที่ทำให้ประชากรเหยื่อลดลง

แนวทางการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้วยการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สรุปลงได้ดังแผนภาพดังนี้



แผนภาพที่ 1 แนวทางการจัดการเรียนรู้ด้วยการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

### แนวทางการวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

McNeill and Krajcik (2008C: 109-110) ระบุว่าความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มีลักษณะเป็น “Learning Performance” หรือการเรียนรู้ด้วยการปฏิบัติงาน สอดคล้องกับ Nitko and Brookhart (2007: 244-245) ที่อธิบายการประเมินการปฏิบัติงาน (Performance Assessment) ว่าเป็นการประเมินที่มีการให้ภาระงานที่ต้องการให้นักเรียนทำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ความรู้และทักษะ ร่วมกับการใช้เกณฑ์การประเมินที่ชัดเจนในการประเมินผล ดังนั้นการประเมินการปฏิบัติงานของนักเรียนมีองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการ คือ (1) ภาระงาน

ที่ต้องการให้ปฏิบัติ (Performance Task) คือการประเมินกิจกรรมที่ต้องการให้นักเรียนแสดงออก โดยอาจใช้การประเมินผลงาน (Product) ที่นักเรียนสร้าง และ/หรือการประเมินกระบวนการ (Process) ที่นักเรียนใช้ในการสร้างผลงานจนสำเร็จ ทั้งนี้จะประเมินประการใดประการหนึ่งหรือทั้งสองขึ้นอยู่กับเป้าหมายของการเรียนรู้ที่กำหนด (2) เกณฑ์การให้คะแนน (Scoring Rubrics) คือ เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพการปฏิบัติงานของนักเรียน

จากแนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ข้างต้น จะเห็นได้ว่าเป็นการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ที่นักเรียนได้ปฏิบัติงาน ซึ่งมี 2 ส่วน คือ (1) กระบวนการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ อันเป็นการแสดงถึงการวัดและประเมินกระบวนการ (Process) และ (2) คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ อันเป็นการแสดงถึงการวัดและประเมินผลผลิต (Product) ดังนี้รายละเอียดต่อไปนี้

(1) การวัดและประเมินกระบวนการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เป็นการประเมินกระบวนการเรียนรู้ โดยอาจใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมที่แสดงออก หลักฐานที่บ่งชี้ถึงกระบวนการได้มาซึ่งคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ดังตัวอย่างการประเมินกระบวนการของ Sampson et al. (2010: 20-21) ซึ่งประเมินกลุ่มทดลองที่เรียนวิชาเคมีด้วยรูปแบบการเรียนการสอนสืบสอบร่วมกับกลวิธีการโต้แย้งเพื่อให้กลุ่มทดลองสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ประเมินโดยใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมระหว่างเรียน ใช้เกณฑ์การประเมินแบบรูบริกส์ 2 ด้าน คือ (1) การเริ่มต้นการสืบสอบ (2) วิธีดำเนินการ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 เกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Sampson et al., 2010: 20-21)

เกณฑ์การประเมิน	ระดับคะแนน		
	1	2	3
<b>ด้านที่ 1 การเริ่มต้นการสืบสอบ ประกอบด้วย การให้คะแนนใน 2 ประเด็น คือ (1) การอธิบายปัญหาหรือภาระงานและการอธิบายความเข้าใจในทฤษฎีหรือกรอบแนวคิดของมโนทัศน์</b>	อธิบายปัญหาหรือภาระงานได้สมบูรณ์ แต่ไม่ได้อธิบายทฤษฎีหรือมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล	อธิบายปัญหาหรือภาระงานได้สมบูรณ์ แต่ไม่ได้อธิบายทฤษฎีหรือมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลไม่ชัดเจนและถูกต้องบางส่วน	อธิบายปัญหาหรือภาระงานได้สมบูรณ์และอธิบายรายละเอียดที่แสดงความเข้าใจในทฤษฎีหรือมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล
<b>(2) การตั้งคำถาม และ/หรือเป้าหมายของการสืบสอบ และการอธิบายความจำเป็น หรือความสำคัญของการสืบสอบ</b>	มีการตั้งคำถามของปัญหาในการสืบสอบ แต่ไม่มีการอธิบายความจำเป็น หรือความสำคัญของการสืบสอบ	มีการตั้งคำถามของปัญหาในการสืบสอบ แต่อธิบายความจำเป็น หรือความสำคัญของการสืบสอบไม่ชัดเจนหรืออธิบายแบบทั่วไป	มีการตั้งคำถามของปัญหาในการสืบสอบ และอธิบายความจำเป็น หรือความสำคัญของการสืบสอบได้ชัดเจน

ตารางที่ 2 เกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (ต่อ)



เกณฑ์การประเมิน	ระดับคะแนน		
	1	2	3
<p><b>ด้านที่ 2 วิธีการดำเนินการ</b></p> <p><b>ประกอบด้วย</b>การให้คะแนนใน 2 ประเด็น คือ</p> <p>(1) การอธิบายวิธีการดำเนินการสืบสอบ</p>	อธิบายวิธีการดำเนินการได้สมบูรณ์ หรือเป็นวิธีการสืบสอบที่ยากต่อการดำเนินการ	อธิบายวิธีการดำเนินการได้สมบูรณ์แต่วิธีการบางประการมีข้อบกพร่อง ใช้คำศัพท์ที่แสดงถึงธรรมชาติของการสืบสอบได้ถูกต้อง เช่น การทดลอง การสังเกต หรือใช้คำสำคัญได้ถูกต้อง เช่น สมมติฐาน ตัวแปรต้น ตัวแปรตามและตัวแปรควบคุม	อธิบายวิธีการดำเนินการได้สมบูรณ์และวิธีการมีความเหมาะสม ใช้คำศัพท์ที่แสดงถึงธรรมชาติของการสืบสอบได้ถูกต้อง เช่น การทดลอง การสังเกต และใช้คำสำคัญได้ถูกต้อง เช่น สมมติฐานตัวแปรต้น ตัวแปรตามและตัวแปรควบคุม
<p>(2) การให้เหตุผลเกี่ยวกับวิธีการดำเนินการสืบสอบที่กำหนด</p>	ให้เหตุผลได้ดีในบางมุมมองของการสืบสอบและเป็นจำนวนน้อย เช่น การปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดไว้เป็นสิ่งจำเป็น	ให้เหตุผลได้ดีในบางมุมมองของการสืบสอบ เช่น การอธิบายวิธีการควบคุมตัวแปรแต่ไม่อธิบายแนวทางการทดลองที่เป็นทางเลือกเพิ่มเติม	ให้เหตุผลได้ดีในทุกมุมมองของการสืบสอบ เช่น การอธิบายวิธีการควบคุมตัวแปรและอธิบายแนวทางการทดลองที่เป็นทางเลือกเพิ่มเติม

(2) การวัดและประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ใช้วิธีการทดสอบ (Testing) ด้วยการให้แบบสอบถามเรียง (Essay Test) โดยใช้ข้อคำถามแบบปลายเปิด (The Open-Ended Explanation Items) (McNeill and Krajcik 2008A; Sampson and Clark, 2009A) ซึ่งมีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ แบบทดสอบ และเกณฑ์การให้คะแนน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

**แบบทดสอบ (Test)** ประกอบด้วยข้อสอบที่มีองค์ประกอบสำคัญคือ (1) สถานการณ์เกี่ยวกับเรื่องที่ต้องการให้นักเรียนสร้างคำอธิบาย (2) ข้อมูลประกอบสถานการณ์ที่กำหนด ซึ่งอาจอยู่ในรูปกราฟ ตาราง แผนภูมิ ภาพการทดลอง ฯลฯ เพื่อให้นักเรียนใช้เป็นข้อมูลในการอ้างอิงเป็นหลักฐานในการสร้างคำอธิบาย (3) คำสั่งหรือคำถามที่ให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ โดยระบุว่าต้องการให้นักเรียนสร้างคำอธิบายในเรื่องใด ส่วนจำนวนข้อสอบในแบบสอบและเวลาที่ใช้ในการทำแบบสอบนั้นแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับผู้สอน ดังตัวอย่างของ McNeill and Krajcik (2008: 104) ที่สร้างข้อสอบเพื่อวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น เรื่องสารและสมบัติของสาร ดังนี้

**ตัวอย่างข้อสอบ** จงพิจารณาข้อมูลในตารางที่กำหนดให้ดังนี้

ของเหลว	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	สี	มวล (g)	จุดหลอมเหลว (°C)
ชนิดที่ 1	0.93	ไม่มีสี	38	-98
ชนิดที่ 2	0.79	ไม่มีสี	38	26
ชนิดที่ 3	13.6	สีเงิน	21	-39
ชนิดที่ 4	0.93	ไม่มีสี	16	-98

จงเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ที่แสดงให้เห็นว่าของเหลวชนิดใดมีสถานะเดียวกัน

**เกณฑ์การให้คะแนน (Scoring Rubrics)** การตรวจให้คะแนนข้อสอบ ครูจะต้องสร้างเกณฑ์การให้คะแนนแบบจำเพาะต่อเรื่องที้ออกข้อสอบ โดย Harris et al. (2006: 73) McNeill and Krajcik (2008B: 134; 2008C: 115; 2006: 28) ได้สร้างเกณฑ์การประเมินที่เรียกว่า “Base Explanation Rubrics” เพื่อเป็นแนวทางให้นำไปสร้างเกณฑ์เฉพาะเรื่อง ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3 ดังนี้

**ตารางที่ 3** เกณฑ์การให้คะแนนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Harris et al., 2006: 73 McNeill and Krajcik, 2008B: 134;2008C: 115; 2006: 28)

องค์ประกอบ	ระดับคะแนน		
	1	2	3
<b>ข้อกล่าวอ้าง</b> คือ ข้อยืนยันของปรากฏการณ์ที่ศึกษา	ไม่เขียนข้อกล่าวอ้าง หรือเขียนข้อกล่าวอ้างไม่ถูกต้อง	เขียนข้อกล่าวอ้างถูกต้องแต่ไม่ชัดเจน	เขียนข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้องและชัดเจน
<b>หลักฐาน</b> คือ ข้อมูลเชิงประจักษ์ที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง	ไม่มีการแสดงหลักฐานหรือแสดงหลักฐานไม่เหมาะสม กล่าวคือเป็นหลักฐานที่ไม่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง	แสดงหลักฐานได้เหมาะสมแต่ไม่เพียงพอ และอาจมีหลักฐานบางประการที่ไม่เหมาะสม	แสดงหลักฐานได้เหมาะสมและมีจำนวนเพียงพอต่อการสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง
<b>การให้เหตุผล</b> คือ ข้อความที่แสดงความเชื่อมโยงระหว่างข้อกล่าวอ้างกับหลักฐาน	ไม่แสดงเหตุผลหรือแสดงเหตุผลที่ไม่เชื่อมโยงหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง	แสดงเหตุผลที่เชื่อมโยงกับข้อกล่าวอ้าง แต่มีการใช้หลักฐานซ้ำ และ/หรือ ใช้หลักฐานเชิงวิทยาศาสตร์บ้าง แต่ไม่เพียงพอ	แสดงเหตุผลที่เป็นการเชื่อมโยงหลักฐานไปสู่ข้อกล่าวอ้าง รวมถึงใช้หลักการเชิงวิทยาศาสตร์ได้เหมาะสมและเพียงพอ

เมื่อนำเกณฑ์การประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มาสร้างเป็นเกณฑ์เฉพาะเรื่องจากข้อสอบที่นำเสนอข้างต้น จะทำให้ได้เกณฑ์การให้คะแนน แสดงดังตารางที่ 4 ดังนี้

**ตารางที่ 4** เกณฑ์การให้คะแนนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เรื่องสารและสมบัติของสาร (Harris et al., 2006: 73 McNeill and Krajcik, 2008B: 134; 2008C: 115; 2006: 28)

องค์ประกอบ	ระดับคะแนน		
	1	2	3
<b>ข้อกล่าวอ้าง</b>	เขียนไม่ถูกต้อง โดยระบุว่าไม่มีของเหลวชนิดใดที่มีสถานะเดียวกันหรือระบุว่า เป็นสถานะอื่น	เขียนไม่ชัดเจน เช่น ของเหลวบางชนิดมีสถานะเดียวกัน	เขียนอย่างชัดเจนว่า ของเหลวชนิดที่ 1 และ 4 มีสถานะเดียวกัน
<b>หลักฐาน</b>	เขียนแสดงหลักฐานที่ไม่เหมาะสม เช่น มวลเท่ากัน หรือเขียนไม่ชัดเจน เช่น หลักฐานที่ใช้คือข้อมูลในตาราง	เขียนแสดงหลักฐานเพียง 1 หรือ 2 ข้อจากข้อมูลที่กำหนดให้ 3 ข้อ ได้แก่ ความหนาแน่น จุดหลอมเหลวและสี และอาจแสดงหลักฐานที่ไม่เหมาะสม คือกล่าวถึงสมบัติเรื่องมวล	เขียนแสดงหลักฐานครบ 3 ข้อจากข้อมูลที่กำหนดให้ ได้แก่ ความหนาแน่น จุดหลอมเหลวและสี โดยระบุว่าสมบัติทั้ง 3 ข้อของของเหลวชนิดที่ 1 และ 4 มีค่าเท่ากัน
<b>การให้เหตุผล</b>	ไม่เขียนหรือเขียนอธิบายเหตุผลไม่เหมาะสม เช่น จำแนกสารได้เช่นเดียวกับการพิจารณาว่าไขมันกับสบู่มีสถานะเดียวกัน	เขียนเหตุผลอธิบายว่า ความหนาแน่น จุดหลอมเหลวและสี มีค่าเท่ากัน หรือเขียนแสดงคำอธิบายไม่ครบถ้วนเกี่ยวกับสมบัติของสาร เช่น มวลไม่ใช่สมบัติของสาร ดังนั้นจึงไม่นำมาพิจารณา	เขียนอธิบายเหตุผลได้ครบถ้วนว่าสารที่มีสถานะเดียวกันจะต้องมีความหนาแน่น จุดหลอมเหลวและสีเหมือนกัน ดังนั้นของเหลวชนิดที่ 1 และ 4 มีสมบัติทั้งสามเหมือนกันจึงมีสถานะเดียวกัน

**บทสรุป**

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จัดเป็นภาระงาน (task) แบบหนึ่งที่คุณครูวิทยาศาสตร์สามารถนำไปใช้จัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้วยกระบวนการสืบสอบ แทนภาระงานแบบเดิม เช่น การเขียนรายงานผลการทดลอง รวมทั้งสามารถนำไปใช้เป็นข้อสอบอีกรูปแบบหนึ่งเพื่อประเมินความรู้ ความสามารถในการสืบสอบทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เนื่องจากคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ได้สะท้อนให้เห็นถึงการประมวลความรู้ การประยุกต์ความรู้ การสื่อสารความรู้ ในรูปของข้อความที่เป็นข้อกล่าวอ้างหรือข้อสรุป (claim) แล้วแสดงหลักฐานเชิงประจักษ์ (evidence) เพื่อยืนยันข้อกล่าวอ้างของตนเอง จากนั้นเชื่อมโยงหลักฐานที่แสดงกับข้อกล่าวอ้างด้วยการให้เหตุผล (reasoning) ด้วยความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจปรากฏการณ์ได้ชัดเจน ถูกต้องและเหมาะสม ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้ฝึกสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จึงเท่ากับเป็นการฝึกให้นักเรียนเรียนรู้เกี่ยวกับธรรมชาติและกระบวนการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ที่จะต้องเขียนคำอธิบายผลของการศึกษาหรือผลของการสำรวจตรวจสอบปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เพื่อสื่อสารให้สังคมรับรู้ในรูปแบบของคำอธิบายที่ประกอบด้วยหลักฐานเชิงประจักษ์และมีกรให้เหตุผลที่น่าเชื่อถือ ถูกต้องและตรวจสอบได้ด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เมื่อนักเรียนได้ผ่านประสบการณ์การเรียนรู้ดังกล่าวบ่อยมากขึ้น โอกาสที่จะซึมซับกระบวนการทำงานและความคิดแบบนักวิทยาศาสตร์ย่อมมีมากขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตาม การให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นั้น ครูควรตระหนักอยู่เสมอว่าการสร้างข้อคำถาม หรือสถานการณ์ที่ต้องการให้นักเรียนสร้างคำอธิบายต้องมีความชัดเจน สามารถใช้วิธีการสืบสอบเพื่อหาคำตอบได้ และหากเป็นข้อสอบที่ให้นักเรียนสร้างคำอธิบาย ครูจะต้องกำหนดหลักฐานเพื่อให้นักเรียนนำมาแสดงในการเขียน ซึ่งอาจอยู่ในรูปของตาราง รูปภาพ แผนภาพ กราฟ เป็นต้น ซึ่งต้องเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง เกี่ยวข้องกับเรื่องที่ถาม เหมาะสมกับระดับความรู้และความสามารถของนักเรียน นอกจากนี้สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือจะต้องสร้างเกณฑ์การให้คะแนนแบบจำเพาะต่อเรื่องที่ต้องมีความถูกต้อง ชัดเจน เพื่อความถูกต้องและเที่ยงตรงในการตรวจให้คะแนน

ดังนั้น การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้วยการสืบสอบ จึงควรฝึกให้นักเรียนได้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ควบคู่กัน ไป เพื่อสะท้อนผลการเรียนรู้ที่มีความหมาย นอกจากครูจะสามารถตรวจสอบความรู้ของนักเรียนได้แล้ว ยังเป็นการฝึกทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลได้อีกประการหนึ่ง ยิ่งไปกว่านั้นการให้นักเรียนฝึกเขียนคำอธิบายบ่อยๆ ยังอาจเป็นการฝึกคุณลักษณะของความเป็นนักวิทยาศาสตร์ที่ดี โดยเฉพาะความมีเหตุผล การรู้จักอ้างอิงหลักฐานเชิงประจักษ์ เป็นต้น ซึ่งเป็นความมุ่งหวังของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ต้องการพัฒนานักเรียนให้มีทั้งความรู้ ทักษะกระบวนการและคุณลักษณะของความเป็นนักวิทยาศาสตร์

**บรรณานุกรม**

- Berland, L. K. and Reiser, B. J. (2009). "Making Sense of Argumentation and Explanation". *Science Education*. 93 (1): 26-55.
- Beyer, C. J. and Davis, E. A. (2008). "Fostering Second Graders' Scientific Explanations: A Beginning Elementary Teacher's Knowledge, Beliefs, and Practice". *The Journal of the Learning Sciences*. 17 ( 3): 381-414.
- Chiappetta, E. L. and Koballa, T. R. (2010). *Science Instruction in the Middle and Secondary Schools: Developing Fundamental Knowledge and Skills*. 7<sup>th</sup> edition, USA: Pearson Education, Inc.
- Dawson, V. M. and Venville, G. (2010). "Teaching Strategies for Developing Students' Argumentation Skills About Socioscientific Issues in High School Genetics". *Research in Science Education*. 40 (2): 133-148.
- Gilbert, J. K. et al. (2000). Explanation with Models in Science Education. In Gilbert, J. K. and Boulter, C. J., *Developing Models in Science Education*, Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 193-208.
- Kuhn, L. and Reiser, B. (2004). "Students Constructing and Defending Evidence-Based Scientific Explanations". Retrieved on July 8, 2010 from [http://p2061.org/documents/Students\\_Evidence\\_Based\\_Scientific\\_Explanations.pdf](http://p2061.org/documents/Students_Evidence_Based_Scientific_Explanations.pdf).
- 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.
- \_\_\_\_\_. (2009). "Teacher Use of Curriculum to Support Student in Writing Scientific Arguments to Explain Phenomena". *Science Education*. 93 (2): 233-268.
- McNeill, K. L. and Krajcik, J. S. (2006). "Supporting Students' Construction of Scientific Explanation through Generic versus Context-Specific Written Scaffolds". Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, April, 2006.
- \_\_\_\_\_. (2008A). "Scientific Explanations: Characterizing and Evaluating the Effects of Teachers' Instructional Practices on Student Learning". *Journal of Research in Science Teaching*. 45 (1): 55-78.
- \_\_\_\_\_. (2008B). "Inquiry and Scientific Explanations: Helping Students Use Evidence and Reasoning". Retrieved on August 6, 2010 from [www.nsta.org/permissions](http://www.nsta.org/permissions).
- \_\_\_\_\_. (2008C). Assessing Middle School Students' Content Knowledge and Reasoning Through Written Scientific Explanations. In National Science Teacher Association, *Assessing Science Learning*, Virginia: NSTA Press. 101-116.
- Nitko, A. J. and Brookhart, S. M. (2007). *Educational Assessment of Students*. 5<sup>th</sup> ed., New Jersey: Pearson Merrill Prentice Hall.

Organization for Economic Co-operation and Development. (2009). "PISA 2009 Assessment Framework: Key competencies in reading, mathematics and science". Retrieved on August 31, 2010 from <http://www.oecd.org/dataoecd/11/40/44455820.pdf>.

Osborne, J. (2005). "The Role of Argument in Science Education". In Boersma, K. et al., *Research and the Quality of Science Education*, Netherland: Springer. 367-380.

Ruiz-Primo, M. A. et al. (2008). "Testing One Premise of Scientific Inquiry in Science Classrooms: A Study That Examines Students' Scientific Explanations". Research Report Graduate School of Education & Information Sciences University of California, Los Angeles.

\_\_\_\_\_. (2010). "Testing One Premise of Scientific Inquiry in Science Classrooms: Examining Student Scientific Explanations and Student Learning". *Journal of Research in Science Teaching*, 47 (5) : 583-608.

Sampson, V. et al. (2010). "Learning to Write in Undergraduate Chemistry: The Impact of Argument-Driven Inquiry". Paper presented at the 2010 Annual International Conference of the National Association of Research in Science Teaching (NARST), Philadelphia, PA, March, 2010.

Sampson, V. and Clark, D. V. (2008). "Assessment of the Ways Students Generate Arguments in Science Education: Current Perspectives and Recommendations for Future Direction". *Science Education*, 92 (3): 447-472.

\_\_\_\_\_. (2009A). "The Impact of Collaboration on the Outcomes of Scientific Argumentation". *Science Education*, 93 (3): 448-484.

\_\_\_\_\_. (2009B). "A Comparison of the Collaborative Scientific Argumentation Practices of Two High and Two Low Performing Groups". Retrieved on May 16, 2010 from <http://www.springerlink.com/content>.

Sandoval, W. A. and Millwood, K. A. (2005). The Quality of Students' Use of Evidence in Written Scientific Explanation. *Cognition and Instruction*, 23 (1): 23-55.