ความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ลือชา ลดาชาติ

วิทยาลัยการศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา แม่กา เมือง พะเยา 56000

E-mail: ladachart@gmail.com

รับบทความ: 14 ธันวาคม 2558 ยอมรับตีพิมพ์: 20 มีนาคม 2559

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการวิจัยที่ศึกษาความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของผู้เรียน โดยเริ่มต้นด้วยการนำเสนอนิยามและกระบวนการพัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ อธิบายตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เรื่องต่าง ๆ ทั้งความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์และการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์ นำเสนอประโยชน์และความท้าทายของการวิจัยเกี่ยวกับความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาในประเทศไทย

คำสำคัญ: ความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ การวิจัยด้านการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ศึกษา

Learning Progressions in Science

Luecha Ladachart

School of Education, University of Phayao, Maeka, Muang, Phayao 56000, Thailand
E-mail: ladachart@gmail.com

Received: 14 December 2015 Accepted: 20 March 2016

Abstract

This article aims at presenting research on students' learning progressions in science. It begins with a definition of learning progressions in science and processes by which learning progressions in science are developed. Then, it exemplifies a variety of learning progressions in both scientific concepts and practices. Next, it discusses benefits and challenges of research on learning progressions in science. It also suggests for research on science education in Thailand.

Keywords: Learning progressions in science, Research on learning science, Science education

บทนำ

งานวิจัยเกี่ยวกับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา (Driver et al., 1994; Pfundt and Duit, 2009) ยืนยันว่า ผู้เรียนไม่ว่าจะอยู่ในระดับการศึกษาใดก็ตาม ไม่ได้เข้าสู่ห้องเรียนด้วยสมองที่ว่างเปล่าเพื่อรับความรู้จากครู หากแต่ผู้เรียนมีความเข้าใจเดิมบางอย่างเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากประสบการณ์ในชีวิตประจำวันของผู้เรียนเอง ความเข้าใจเดิมนี้มักมีอิทธิพลต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของผู้เรียน (ไม่ว่าผู้เรียนจะตระหนักถึงความเข้าใจเดิมของตนเองหรือไม่ก็ตาม) กล่าวคือ เมื่อไรก็ตามที่ความเข้าใจเดิมของผู้เรียนสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ผู้เรียนจะเรียนรู้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์นั้นได้โดยง่าย แต่ในทางกลับกัน หากความเข้าใจเดิมของผู้เรียนขัดแย้งหรือแม้กระทั่ง ไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ผู้เรียนจะประสบกับความยากลำบากในการเรียนรู้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์นั้น ในกรณีหลังนี้ ผู้เรียนมักตีความและเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์บนพื้นฐานความเข้าใจเดิมที่คลาดเคลื่อนของตนเอง (Galili et al., 1993; Vosniadou, 1994) ด้วยเหตุนี้ นักวิทยาศาสตร์ศึกษาจึงมุ่งศึกษาความเข้าใจของผู้เรียนเรื่องต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เพื่อเปลี่ยนแปลงให้นักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

(Duit and Treagust, 2003)

งานวิจัยที่ศึกษาความเข้าใจของผู้เรียนมักวิเคราะห์ความเข้าใจของผู้เรียนเรื่องต่าง ๆ โดยการจัดกลุ่ม ซึ่งมีรากฐานมาจากการศึกษาของ Piaget (1930) ตัวอย่างเช่น Haidar (1997) ได้ศึกษาความเข้าใจของนิสิตครูชั้นปีที่ 3 และ 4 จำนวน 173 คน เกี่ยวกับการอนุรักษ์มวล และจัดความเข้าใจของนิสิตครูเหล่านี้ออกเป็น 5 กลุ่ม ตามลำดับความถูกต้องเมื่อเทียบกับแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ ดังนี้ (1) ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ (2) ความเข้าใจที่ถูกต้องบางส่วน (3) ความเข้าใจที่ถูกต้องบางส่วนและคลาดเคลื่อนบางส่วน (4) ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน และ (5) ไม่มีคำตอบ การจัดกลุ่มความเข้าใจลักษณะนี้ได้กลายเป็นต้นแบบของการวิเคราะห์ความเข้าใจของผู้เรียนเรื่องต่าง ๆ ในงานวิจัยอีกจำนวนมากทั้งในและต่างประเทศ (Jituafua et al., 2010; Gonen and Kocakaya, 2010; Muangramun and Pitipornpapin, 2013; Tipjoi and Narjaikaew, 2013) การวิเคราะห์ความเข้าใจของผู้เรียนเช่นนี้ช่วยให้ครูสามารถติดตามได้ว่า เมื่อผู้เรียนผ่านประสบการณ์การเรียนรู้ด้วยกิจกรรมบางอย่างแล้ว ผู้เรียนจะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจหรือไม่ และเพียงใด (Buaraphan et al., 2006)

อย่างไรก็ดี แม้ครูทราบดีจากผลการวิจัยที่ศึกษาความเข้าใจของผู้เรียนว่า ผู้เรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนอะไรบ้าง แต่การเปลี่ยนแปลงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเหล่านั้นให้เป็นความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์กลับไม่ใช่เรื่องง่าย (Clement, 1982; Campanario, 2002) ในการนี้ diSessa (2002) ชี้ให้เห็นจุดอ่อนประการหนึ่งของงานวิจัยที่ศึกษาความเข้าใจของผู้เรียนว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มักบ่งชี้เพียงว่า ผู้เรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนอะไรบ้าง แต่ไม่ได้ให้รายละเอียดว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเหล่านั้นควรเป็นไปในทิศทางใด เขานำเสนอแผนภาพ (ดังภาพที่ 1) เพื่อยกตัวอย่างสมมติและขยายความจุดอ่อนนี้ว่า แม้งานวิจัยหนึ่งให้ข้อมูลว่า ผู้เรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (A) ซึ่งแตกต่างจากความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ (B) แต่หากงานวิจัยนี้ไม่ได้ให้รายละเอียดว่า ผู้เรียนจะเปลี่ยนแปลงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนนี้ (A) ไปเป็นความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ (B) ได้อย่างไรบ้าง การจัดการเรียนการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงความเข้าใจนี้ก็ยังคงขาดทิศทางที่ชัดเจน นั่น - คือ “เส้นทางที่เชื่อมโยงระหว่าง A และ B” ซึ่งแสดงถึงพัฒนาการทางความเข้าใจจากการมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (A) สู่การมีความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ (B)

ภาพที่ 1 แผนภาพจำลองจุดอ่อนของงานวิจัยที่ศึกษาความเข้าใจเดิมของผู้เรียน (ดัดแปลงจาก diSessa, 2002)

ถึงแม้ว่านักวิทยาศาสตร์ศึกษาจำนวนหนึ่งศึกษาความเข้าใจเรื่องเดียวกันของผู้เรียนที่มีอายุ ประสบการณ์ และระดับการศึกษาต่างกัน ตัวอย่างเช่น Trumper (2001) ศึกษาความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย (ม.4 จำนวน 153 คน ม.5 จำนวน 116 คน และ ม.6 จำนวน 109) เกี่ยวกับแนวคิดพื้นฐานทางดาราศาสตร์ ในขณะที่ Calik and Ayas (2005) ศึกษาความเข้าใจของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 1 – 4 (ม.1 จำนวน 105 คน ม.2 จำนวน 102 คน ม.3 จำนวน 103 คน และ

ม. 4 จำนวน 131 คน) เกี่ยวกับสารละลายเคมี ส่วน Viiri (2000) ศึกษาความเข้าใจของผู้เรียนทั้งในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (28 คน) ในระดับอุดมศึกษาชั้นปีที่ 1 (61 คน) และในระดับอุดมศึกษาชั้นปีที่ 3 และ 4 (41 คน) เกี่ยวกับปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลง ในทำนองเดียวกัน Pongsophon et al. (2003) ศึกษาความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 – 6 (ระดับชั้นละ 4 คน) เกี่ยวกับแนวคิดเรื่องวิวัฒนาการ งานวิจัยเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์ว่า ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเรื่องนั้น ๆ มีลักษณะอย่างไร ปรากฏมากในผู้เรียนกลุ่มใด และมีความคงทนมากน้อยเพียงใด แต่งานวิจัยเหล่านี้ยังคงขาดการวิเคราะห์ที่ชัดเจนว่า พัฒนาการทางความเข้าใจของผู้เรียนเรื่องนั้น ๆ ควรเป็นอย่างไร

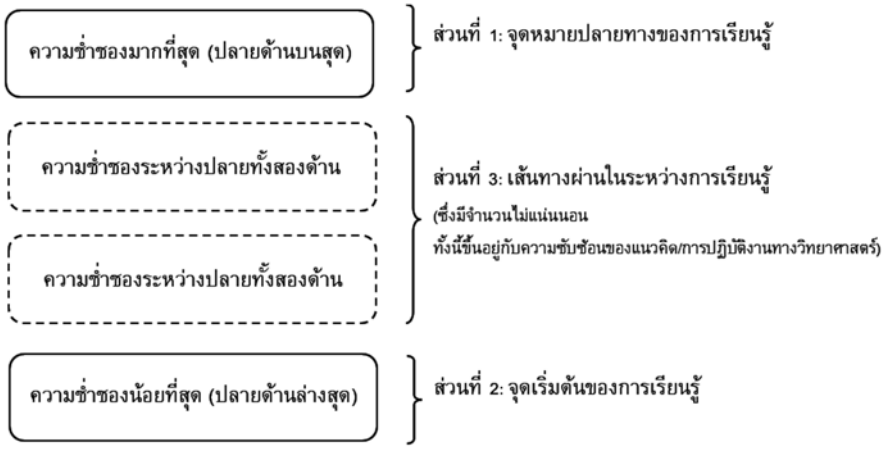
เนื่องจากความเข้าใจเดิมของผู้เรียนไม่จำเป็น ต้องเป็นความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนและเป็นอุปสรรคในการเรียนรู้เสมอไป (Clement and Zietsman, 1989) หากแต่ความเข้าใจเดิมบางอย่างมีศักยภาพที่ควรได้รับการพัฒนาเพื่อให้ผู้เรียนต่อยอดสู่ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ได้เช่นกัน (Smith et al., 1994) ความเข้าใจเดิมบางอย่างจึงสามารถเป็น “วัตถุดิบ” หรือ “ทรัพยากร” ในการพัฒนาให้นักเรียนมีความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ได้ (Larkin, 2012) นักวิทยาศาสตร์ศึกษาจำนวนหนึ่งจึงสนใจศึกษาว่า ความเข้าใจเดิมใดบ้างที่มีศักยภาพและสามารถเป็นพื้นฐานในการพัฒนาสู่ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ ร่วมกับการศึกษาว่าพัฒนาการจากความเข้าใจเดิมที่มีศักยภาพนั้นสู่ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ควรเป็นอย่างไร แนวคิดนี้เป็นแนวคิดพื้นฐานของงานวิจัยด้านการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่มีชื่อว่า “ความก้าวหน้าในการเรียนรู้” (learning progressions) ซึ่งยังคงเป็นเรื่องใหม่ในประเทศไทย ดังนั้น บทความนี้จึงมุ่งนำเสนอว่า ความก้าวหน้าในการเรียนรู้คืออะไร ถูกสร้างขึ้นมาอย่างไร และเพื่อประโยชน์อะไร พร้อมทั้งนำเสนอตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาและพัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เรื่องต่าง ๆ ตอนท้ายของบทความนี้เป็นการให้ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยด้านนี้ในประเทศไทย

นิยามและการพัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

โดยนิยามเบื้องต้นแล้ว ความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์หมายถึง “ชุดคำบรรยาย” (descriptions) เกี่ยวกับความเข้าใจของผู้เรียนเรื่องใด ๆ ในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งเรียงลำดับจากความเข้าใจที่มีความซ่ำซองน้อยไปยังความเข้าใจที่มีความซ่ำซองมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามลำดับ (NRC, 2007) ชุดคำบรรยายนี้เป็นเสมือน “แผนที่ถนน” (road maps) หรือ “แบบจำลองเส้นทาง” (model pathways) ที่แสดงถึงพัฒนาการทางความเข้าใจที่เป็นไปได้ในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นกับผู้เรียนส่วนใหญ่ที่กำลังเรียนรู้เรื่องนั้น ๆ (Duschl et al., 2011; Black et al., 2011) ชุดคำบรรยายนี้ต้องผ่านการสร้างทดสอบและยืนยันด้วยหลักฐานจากการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลกับผู้เรียนจริง (Shea and Duncan, 2013) ซึ่งอาจเป็นการศึกษาระยะยาวกับผู้เรียนกลุ่มหนึ่งกลุ่มใด (longitudinal studies) และ/หรือการเป็นการศึกษาระยะสั้นกับผู้เรียนหลายกลุ่มที่มีอายุประสบการณ์ และความรู้ต่างกัน (cross-age studies) เนื่องจากการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เน้นการบูรณาการความเข้าใจด้านเนื้อหาร่วมกับความสามารถในการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์ (Bureau of Academic Affairs and Educational Standards, 2010; NRC, 2007) ชุดคำบรรยายความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เรื่องใด ๆ จึงควรมีทั้งความเข้าใจและ

การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์ (Songer et al., 2009) อย่างไรก็ดี งานวิจัยเกี่ยวกับความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในช่วงเริ่มต้นยังคงเน้นเฉพาะความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น (Duschl et al., 2011)

กระบวนการสร้างชุดคำบรรยายความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องหนึ่ง ๆ มีได้หลากหลายและไม่มีขั้นตอนที่แน่นอนตายตัว (Shea and Duncan, 2013) อย่างไรก็ดี กระบวนการนี้มักเริ่มต้นจากการระบุความเข้าใจ/การปฏิบัติงานที่มีความซ่ำชองมากที่สุด (ปลายด้านบนสุด: ส่วนที่ 1) จากการวิเคราะห์แนวคิด/การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์ร่วมกับความคาดหวังของหลักสูตร และการระบุความเข้าใจ/การปฏิบัติงานที่มีความซ่ำชองน้อยที่สุด (ปลายด้านล่างสุด: ส่วนที่ 2) จากการศึกษาผลการวิจัยเกี่ยวกับความเข้าใจ/การปฏิบัติงานเดิมของผู้เรียนที่มีลักษณะต่าง ๆ (NRC, 2007) จากนั้นการกำหนดความซ่ำชองที่อยู่ระหว่างปลายทั้งสองด้าน (ส่วนที่ 3) จึงตามมา ซึ่งอาจมีจำนวนได้หลากหลายและมักมีมากมากกว่าหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของแนวคิด/การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์นั้น (Duschl et al., 2011) ดังนั้น หากเปรียบการเรียนรู้กับการเดินทางแล้ว ปลายด้านบนสุดนี้จึงเป็นจุดหมายปลายทางของการเรียนรู้ ในขณะที่ปลายด้านล่างสุดเป็นจุดเริ่มต้นของการเรียนรู้ ซึ่งในระหว่างปลายทั้ง 2 ด้านนั้นเป็นเส้นทางที่นักเรียนจะได้เดินทางผ่านไปในระหว่างการเรียนรู้ กระบวนการทั้งหมดนี้นำมาซึ่ง “แบบจำลองสมมติฐานเบื้องต้น” หรือชุดคำบรรยายที่แสดงว่าความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องนั้น ๆ เป็นอย่างไร ซึ่งประกอบด้วย (1) คำบรรยายความซ่ำชองมากที่สุด ณ ปลายด้านบนสุด (2) คำบรรยายความซ่ำชองน้อยที่สุด ณ ปลายด้านล่างสุด และ (3) คำบรรยายความซ่ำชองที่อยู่ระหว่างปลายทั้งสองด้าน ดังในภาพที่ 2 เกณฑ์สำคัญในการจำแนกระดับความซ่ำชองในแต่ละระดับคือว่า ความซ่ำชองในแต่ละระดับต้องมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ ความซ่ำชองในระดับล่างต้องเป็นพื้นฐานในการเรียนรู้สู่การมีความซ่ำชองในระดับที่สูงถัดขึ้นไป (Krajcik, 2011)



ภาพที่ 2 องค์ประกอบของแบบจำลองสมมติฐานเบื้องต้นในระหว่างการสร้างความก้าวหน้าในการเรียนรู้

จากนั้นการทดสอบและยืนยันความสมเหตุสมผลของแบบจำลองสมมติฐานเบื้องต้นด้วยหลักฐานจากผู้เรียนจึงตามมา ในการนี้ นักวิจัยบางคนอาจเก็บข้อมูลจากผู้เรียนจำนวนหนึ่งที่มีช่วงอายุ ประสบการณ์ และความรู้แตกต่างกัน แล้วนำข้อมูลเหล่านี้มาจำแนก จัดกลุ่ม และเรียงลำดับตามความซ่ำซองที่ปรากฏในแบบจำลองสมมติฐานเบื้องต้นนั้น ซึ่งอาจนำไปสู่การปรับเปลี่ยนรายละเอียดและลำดับชั้นของความซ่ำซองในแบบจำลองสมมติฐานเบื้องต้นนั้นให้สอดคล้องกับหลักฐานจากผู้เรียนมากยิ่งขึ้น (Shea et al., 2013) กระบวนการส่วนนี้อาจเกิดขึ้นหลายครั้งกับกลุ่มผู้เรียนที่ไม่ซ้ำเดิม ทั้งนี้เพื่อให้ความก้าวหน้าในการเรียนรู้ครอบคลุมพัฒนาการทางความเข้าใจ/การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนให้ได้มากที่สุด อย่างไรก็ดี นักวิจัยบางคนอาจบูรณาการการทดสอบแบบจำลองสมมติฐานเบื้องต้นร่วมกับการจัดการเรียนการสอน กล่าวคือ นักวิจัยเหล่านี้ทำการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้และแบบประเมินการเรียนรู้บนพื้นฐานของแบบจำลองสมมติฐานเบื้องต้น แล้วนำกิจกรรมการเรียนรู้และแบบประเมินการเรียนรู้ไปใช้กับนักเรียน ทั้งนี้เพื่อพิจารณาว่า กิจกรรมการเรียนรู้เหล่านี้เอื้อให้เกิดการเรียนรู้ตามแบบจำลองสมมติฐานเบื้องต้นหรือไม่ ซึ่งจะนำไปสู่การยืนยันและ/หรือการปรับเปลี่ยนแบบจำลองสมมติฐานเบื้องต้นให้สอดคล้องกับพัฒนาการการเรียนรู้ของผู้เรียนต่อไป อย่างไรก็ดี นักวิจัยบางคนอาจไม่ได้เริ่มต้นด้วยการสร้างแบบจำลองสมมติฐานเบื้องต้น หากแต่เริ่มต้นด้วยการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้และแบบประเมินการเรียนรู้ “พร้อมๆ กับ” การสร้างและทดสอบแบบจำลองสมมติฐานเบื้องต้น

ด้วยความแตกต่างของกระบวนการ พัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องต่าง ๆ Duschl et al. (2011) จึงได้จัดประเภทของกระบวนการพัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้ออกเป็น 2 แบบ แบบแรกได้ชื่อว่า “กระบวนการพัฒนาแบบทดสอบยืนยัน” (validation approach) ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองสมมติฐานเบื้องต้นก่อน แล้วจึงมีการทดสอบยืนยันด้วยการเก็บข้อมูลจากผู้เรียน โดยปราศจากการบูรณาการร่วมกับการจัดการเรียนการสอน ในขณะที่แบบหลังได้ชื่อว่า “กระบวนการพัฒนาแบบวิวัฒนาการ” (evolutionary approach) ซึ่งเป็นการสร้างและพัฒนาแบบจำลองสมมติฐานเบื้องต้นร่วมกับการจัดการเรียนการสอน โดยแบบแรกนั้นเป็นกระบวนการพัฒนาจาก “บนลงล่าง” (top-down) ในขณะที่แบบหลังนั้นเป็นกระบวนการพัฒนาจาก “ล่างขึ้นบน” (bottom-up) ในการนี้ Duschl et al. (2011) เห็นว่า เฉพาะกระบวนการพัฒนาแบบวิวัฒนาการเท่านั้นที่เป็นการพัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้อย่างแท้จริง ทั้งนี้เพราะ (พวกเขาเชื่อ)ว่า ความก้าวหน้าในการเรียนรู้ควรครอบคลุมหรือบ่งชี้เป็นนัยด้วยว่า การจัดการเรียนการสอนแบบใดที่เอื้อให้เกิดการเรียนรู้ตามลำดับชุดคำบรรยายนั้น อย่างไรก็ดี Shea and Duncan (2013) แย้งว่า เนื่องจากงานวิจัยเกี่ยวกับความก้าวหน้าในการเรียนรู้ยังคงเพิ่งเริ่มต้นและมีน้อย กระบวนการพัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้จึงอาจมีได้หลากหลาย และ ณ เวลานี้ มันอาจเร็วเกินไปที่ใครจะตัดสินได้ว่า กระบวนการพัฒนาแบบใดมีประสิทธิภาพ และกระบวนการพัฒนาแบบใดไม่มีประสิทธิภาพ

ตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

นักวิทยาศาสตร์ศึกษาจำนวนหนึ่งได้พัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เรื่องต่าง ๆ ตามความสนใจของตนเอง ทั้งนี้เพื่อเป็น

แนวทางในการพัฒนาหลักสูตร การจัดการเรียนการสอน และการสร้างแบบประเมินการเรียนรู้ ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เรื่องต่าง ๆ ซึ่งผู้เขียนหยิบยกมานำเสนอเพื่อให้ผู้อ่านเห็นความหลากหลายของความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องต่าง ๆ มากที่สุด

ตัวอย่างที่ 1: การจม/ลอยของวัตถุ

งานวิจัยที่พัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้ในช่วงแรก ๆ คือเรื่องงานวิจัยเรื่องการจม/ลอยของวัตถุโดย Kennedy and Wilson (2007) ซึ่ง ณ ขณะนั้น ยังไม่ได้ชื่อว่า “ความก้าวหน้าในการเรียนรู้” อย่างไรก็ดี นักวิจัยคนอื่น ๆ เห็นว่าผลการวิจัยนี้คือความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องการจม/ลอยของวัตถุ ซึ่งประกอบด้วย 4 ลำดับขั้นของความเข้าใจเรื่องการจม/ลอยของวัตถุที่มีความซ่ำซองจากมากไปหาน้อย ดังที่ Corcoran et al. (2009) สรุปไว้ดังนี้ (ในการอ่านความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องต่าง ๆ ผู้อ่านควรอ่านจากด้านล่างขึ้นด้านบนเพื่อให้เห็นถึงพัฒนาการทางความเข้าใจได้โดยง่าย)

(1) นักเรียนเข้าใจว่า ทั้งมวลของวัตถุ “และ” ปริมาตรของวัตถุเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการจมลอยของวัตถุในของเหลวใดๆ โดยการจมลอยของวัตถุจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัตถุเทียบกับความหนาแน่นของของเหลวนั้น

(2) นักเรียนเข้าใจว่า ทั้งมวลของวัตถุ “และ” ปริมาตรของวัตถุเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการจมลอยของวัตถุนั้นในของเหลวใด ๆ โดยการจมลอยของวัตถุจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างมวลของวัตถุและปริมาตรของวัตถุ (ความหนาแน่นของวัตถุ)

(3) นักเรียนเข้าใจว่า ทั้งมวลของวัตถุ “และ” ปริมาตรของวัตถุเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการจมลอยของวัตถุนั้นในของเหลวใด ๆ

(4) นักเรียนเข้าใจว่า มวลของวัตถุ “หรือ” ปริมาตรของวัตถุเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการจมลอยของวัตถุนั้นในของเหลวใด ๆ

ชุดคำบรรยายข้างต้นแจกแจงความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นออกเป็น 4 กลุ่มตามระดับความซ่ำซองของความเข้าใจเรื่องการจม/ลอยของวัตถุ ความเข้าใจ “มวลหรือปริมาตร” เป็นปลายด้านล่างสุด ซึ่งเป็นพื้นฐานของความเข้าใจ “มวลและปริมาตร” ในขณะที่ความเข้าใจ “มวลและปริมาตร” เป็นพื้นฐานของความเข้าใจ “ความหนาแน่น” ส่วนความเข้าใจ “ความหนาแน่น” เป็นพื้นฐานของความเข้าใจ “ความหนาแน่นสัมพัทธ์” ซึ่งเป็นปลายด้านบนสุดที่แสดงถึงความเข้าใจที่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ตามลำดับ เนื่องจากการเปลี่ยนจากการมีความเข้าใจ “มวลหรือปริมาตร” ไปเป็นการมีความเข้าใจ “ความหนาแน่นสัมพัทธ์” ในทันทีอาจเป็นการก้าวกระโดดเกินไปสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ดังนั้น การจัดการเรียนการสอนจะมีโอกาสประสบความสำเร็จมากขึ้น หากนักเรียนมีโอกาสได้พัฒนาความเข้าใจไปทีละขั้น ๆ ตามลำดับขั้นของชุดคำบรรยายนี้

ตัวอย่างที่ 2: วัฏจักรของน้ำ

จากการศึกษาความเข้าใจของนักเรียนตั้งแต่ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ถึงชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 Gunkel et al. (2012) พัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องวัฏจักรของน้ำ ซึ่งประกอบด้วย 4 ลำดับขั้น ดังนี้

(1) นักเรียนไม่เพียงแค่สามารถระบุแหล่งน้ำทั้งที่ตนเองคุ้นเคยและไม่คุ้นเคยได้ (เช่น แม่น้ำ แอ่งน้ำ บ่อน้ำ น้ำใต้ดิน น้ำที่ซึมอยู่ในดิน ละอองน้ำในอากาศ) หากแต่ยังสามารถระบุถึงการหมุนเวียนของน้ำในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งโดยธรรม-

ชาติและโดยสิ่งมีชีวิต (รวมทั้งมนุษย์) เช่น การไหลของน้ำ การซึมของน้ำ การตกของฝน การขนย้ายน้ำโดยมนุษย์ การดื่มและขับถ่ายน้ำของสัตว์ต่าง ๆ ตลอดจนการหมุนเวียนของน้ำในระดับอนุภาคได้ด้วย เช่น การระเหย การควบแน่น การเคลื่อนที่ของมวลละอองน้ำในอากาศ ยิ่งไปกว่านั้นนักเรียนยังสามารถอธิบายกลไก/สาเหตุของการหมุนเวียนของน้ำได้ด้วย เช่น แรงโน้มถ่วงทำให้น้ำไหลจากที่สูงไปสู่ที่ต่ำ การได้รับความร้อนทำให้น้ำในสถานะของเหลวระเหยเป็นไอน้ำสู่อากาศ และความกดอากาศที่แตกต่างกันทำให้อากาศและละอองน้ำในอากาศเคลื่อนที่จากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่ง

(2) นักเรียนสามารถระบุแหล่งน้ำทั้งที่ตนเองคุ้นเคยและไม่คุ้นเคย (เช่น แม่น้ำ แอ่งน้ำ บ่อน้ำ น้ำใต้ดิน น้ำที่ซึมอยู่ในดิน ละอองน้ำในอากาศ) และสามารถระบุถึงการหมุนเวียนของน้ำในรูปแบบง่าย ๆ ทั้งโดยธรรมชาติและโดยสิ่งมีชีวิต (รวมทั้งมนุษย์) เช่น การไหลของน้ำ การซึมของน้ำ การตกของฝน การขนย้ายน้ำโดยมนุษย์ การดื่มและขับถ่ายน้ำของสัตว์ต่าง ๆ นอกจากนี้นักเรียนยังสามารถระบุถึงการหมุนเวียนของน้ำในระดับอนุภาคได้ด้วย เช่น การระเหย การควบแน่น การเคลื่อนที่ของมวลละอองน้ำในอากาศ

(3) นักเรียนสามารถระบุแหลงน้ำที่ตนเองคุ้นเคยและพบในชีวิตประจำวัน (เช่น แม่น้ำ แอ่งน้ำ บ่อน้ำ) และสามารถระบุถึงการหมุนเวียนของน้ำในรูปแบบง่าย ๆ ซึ่งอาจเป็นกลไกโดยธรรมชาติและ/หรือโดยสิ่งมีชีวิต (รวมทั้งมนุษย์) เช่น การไหลของน้ำ การซึมของน้ำ การตกของฝน การขนย้ายน้ำโดยมนุษย์ การดื่มและขับถ่ายน้ำของสัตว์ต่าง ๆ

(4) นักเรียนสามารถระบุแหล่งน้ำที่ตนเองคุ้นเคยและพบในชีวิตประจำวันได้ (เช่น แม่น้ำ แอ่งน้ำ บ่อน้ำ) แต่ไม่สามารถระบุถึงความเกี่ยวข้องกันระหว่างน้ำจากแหล่งต่าง ๆ เหล่านี้ กล่าวคือ นักเรียนยังบอกไม่ได้ว่า น้ำจากแหล่งต่าง ๆ มีการหมุนเวียนกัน ตัวอย่างเช่น นักเรียนอาจบอกว่าน้ำที่อยู่ในแหล่งน้ำใด ๆ ก็จะคงอยู่ในแหล่งน้ำนั้น

ชุดคำบรรยายข้างต้นแจกแจงความเข้าใจของนักเรียนตั้งแต่ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ถึงชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ออกเป็น 4 ระดับตามความซ่ำซองของความเข้าใจเรื่องวัฏจักรของน้ำ นักเรียนเริ่มต้นจากความเข้าใจพื้นฐานจากประสบการณ์รอบตัวที่เป็นรูปธรรมสู่ความเข้าใจที่เกี่ยวข้องกับการคิดเชิงนามธรรมเกี่ยวกับอนุภาคของน้ำและการเคลื่อนที่ของอนุภาคของน้ำจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งด้วยกลไกบางอย่าง ความก้าวหน้าในการเรียนรู้นี้จึงบ่งบอกว่า ความเข้าใจเกี่ยวกับความเป็นอนุภาคของสสาร (ซึ่งในที่นี้คือน้ำ) เป็นปัจจัยหนึ่งที่จำเป็นสำหรับนักเรียนในการเรียนรู้และพัฒนาสู่การมีความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์เรื่องวัฏจักรของน้ำ ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนเรื่องวัฏจักรของน้ำจึงต้องคำนึงถึงความพร้อมของนักเรียนในการคิดเชิงนามธรรมเกี่ยวกับอนุภาคของน้ำ ความก้าวหน้าในการเรียนรู้ไม่เพียงแค่บ่งบอกถึงพัฒนาการทางความเข้าใจเท่านั้น หากยังบ่งบอกถึงปัจจัยที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้สู่การมีความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ด้วยเช่นกัน

ตัวอย่างที่ 3: สุริยวิถี

จากการศึกษาความเข้าใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาและชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น Plummer and Krajcik (2010) พัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้เกี่ยวกับสุริยวิถี (เมื่อสังเกตจากพื้นโลก)

ผลที่ได้คือชุดคำบรรยายที่กล่าวถึงความซ่ำซองของความเข้าใจ 3 ระดับ ดังนี้

(1) นักเรียนเข้าใจว่า เส้นทางที่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์เคลื่อนไปบนท้องฟ้าเปลี่ยนไปในแต่ละฤดู ซึ่งเป็นผลให้ความยาวของเส้นทางนี้ในแต่ละฤดูไม่เท่ากัน นอกจากนี้เส้นทางนี้ไม่จำเป็นต้องผ่านจุดจอมฟ้า (ซึ่งอยู่บนศีรษะของผู้สังเกต) โดยตรง

(2) นักเรียนเข้าใจว่า ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าไม่ได้อยู่นิ่ง หากแต่เปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่อง โดยดวงอาทิตย์ขึ้นในทิศตะวันออก เคลื่อนที่อย่างช้า ๆ แต่ต่อเนื่องตลอดช่วงกลางวัน และตกในทิศตะวันตก

(3) นักเรียนเข้าใจว่า ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกในแต่ละวัน โดยดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่บนท้องฟ้าในเวลากลางวัน และไม่ปรากฏอยู่บนท้องฟ้าในเวลากลางคืน

ชุดคำบรรยายข้างต้นแจกแจงความเข้าใจของนักเรียนตั้งแต่ชั้นประถมศึกษาถึงชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ออกเป็น 3 ระดับตามความซ่ำซองของความเข้าใจเกี่ยวกับสุริยวิถี (เมื่อสังเกตจากพื้นโลก) โดยนักเรียนต้องมีความเข้าใจพื้นฐานก่อนว่า ดวงอาทิตย์ปรากฏในเวลากลางวัน และหายไปในเวลากลางคืน จากนั้นนักเรียนพัฒนาความเข้าใจให้ซ่ำซองมากขึ้น โดยการเพิ่มรายละเอียดของความเข้าใจที่ว่า ดวงอาทิตย์ไม่ได้ปรากฏขึ้น อยู่นิ่ง และหายไปในท้องฟ้า หากแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นในทิศตะวันออก เคลื่อนไปอย่างช้า ๆ แต่ต่อเนื่อง และตกในทิศตะวันตก จากนั้นนักเรียนพัฒนาความเข้าใจต่อไปว่า เส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าอาจไม่ซ้ำเดิม หากแต่มันจะแตกต่างกันไปเล็กน้อยในแต่ละฤดู ความก้าวหน้าในการเรียนรู้นี้จึงสามารถเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนเพื่อให้นักเรียนมีพัฒนาการทางความเข้าใจได้อย่างเป็นระบบ

ตัวอย่างที่ 4: กฎการอนุรักษ์พลังงาน

จากการศึกษาความเข้าใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 Neumann et al. (2013) ได้พัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องกฎการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งประกอบด้วยลำดับความเข้าใจ 4 ขั้นด้วยกัน ดังนี้

(1) นักเรียนเข้าใจทั้ง “รูปแบบพลังงาน” “แหล่งพลังงาน” “การเปลี่ยนรูปแบบพลังงาน” และ “การถ่ายโอนพลังงาน” ตลอดจนการสูญเสียคุณค่า/มูลค่าของพลังงานอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบพลังงานและ/หรือการถ่ายโอนพลังงาน นอกจากนั้นนักเรียนเข้าใจด้วยว่า แม้การเปลี่ยนแปลงรูปแบบพลังงานและการถ่ายโอนพลังงานทำให้ “คุณค่า/มูลค่าของพลังงาน” เปลี่ยนแปลงไป แต่ไม่ได้ทำให้ “ปริมาณของพลังงาน” เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ พลังงานยังมีปริมาณคงเดิม ไม่ว่ามันจะเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปแบบใดและ/หรือถ่ายโอนไปยังที่ใดก็ตาม

(2) นักเรียนเข้าใจทั้ง “รูปแบบพลังงาน” และ “แหล่งพลังงาน” ตลอดจน “การเปลี่ยนรูปแบบพลังงาน” และ “การถ่ายโอนพลังงาน” นอกจากนี้ นักเรียนยังเข้าใจด้วยว่า พลังงานในรูปแบบหนึ่งมีคุณค่า/มูลค่ามากกว่าอีกรูปแบบหนึ่ง เช่น พลังงานเคมีของเชื้อเพลิงมีคุณค่า/มูลค่ามากกว่าพลังงานความร้อนจากท่อไอเสีย ดังนั้น การเปลี่ยนรูปแบบพลังงานและการถ่ายโอนพลังงานสามารถทำให้คุณค่า/มูลค่าของพลังงานเปลี่ยนแปลงไป

(3) นักเรียนไม่เพียงแค่เข้าใจ “รูปแบบพลังงาน” และ “แหล่งพลังงาน” เท่านั้น หากยังเข้าใจด้วยว่า พลังงานสามารถเปลี่ยนจากรูปแบบ

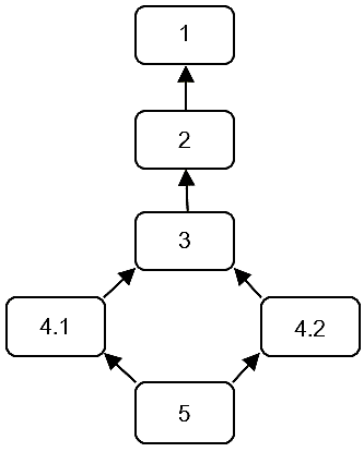
หนึ่งไปยังอีกรูปแบบหนึ่งได้ เช่น พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนไปเป็นพลังงานเสียง พลังงานแสงเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน และเข้าใจด้วยว่า พลังงานสามารถถ่ายโอนจากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่งได้ด้วย เช่น พลังงานความร้อนถ่ายโอนจากเตาไฟไปยังบุคคลที่นั่งรอบเตาไฟ พลังงานเสียงจากลำโพงถ่ายโอนไปยังสนามหญ้า

(4) นักเรียนเข้าใจ “รูปแบบพลังงาน” และ “แหล่งพลังงาน” โดยการระบุได้ว่า พลังงานอยู่ในรูปแบบใดได้บ้าง เช่น แสง เสียง ไฟฟ้า ความร้อน และระบุได้ว่า พลังงานในรูปแบบเหล่านั้นมาจากแหล่งใด เช่น ลำโพง หลอดไฟ แบตเตอรี่ เตาไฟ

ชุดคำบรรยายข้างต้นแจกแจงความเข้าใจของนักเรียนตั้งแต่ชั้นประถมศึกษาถึงชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ออกเป็น 4 ระดับตามความซ่ำซองของความเข้าใจเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งสามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาหลักสูตรเรื่องพลังงานได้ กล่าวคือ ในช่วงแรก (เช่น ในระดับชั้นประถมศึกษา) นักเรียนควรได้รู้จักพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ จากแหล่งต่าง ๆ ก่อน จากนั้น นักเรียนควรได้เรียนรู้ว่า พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบและถ่ายโอนได้ เมื่อนักเรียนมีความเข้าใจพื้นฐานนี้แล้ว นักเรียนในระดับการศึกษาที่สูงขึ้น (เช่น ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น) ควรได้เรียนรู้ว่า การเปลี่ยนรูปพลังงานและการถ่ายโอนพลังงานส่งผลให้คุณค่า/มูลค่าของพลังงานเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งบางครั้งยากต่อการทำให้พลังงานนั้นกลับมาอยู่ในรูปแบบและ/หรือแหล่งเดิม และในตอนท้ายที่สุด (เช่น ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย) นักเรียนจึงสามารถเรียนรู้ได้ว่า แม้การเปลี่ยนแปลงรูปแบบและการถ่ายโอนพลังงานทำให้คุณค่า/มูลค่าของพลังงานเปลี่ยนแปลงไป แต่ไม่ได้ทำให้ปริมาณของพลังงานเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งก็คือกฎการอนุรักษ์พลังงานนั่นเอง

ตัวอย่างที่ 5: การเกิดฤดู

จากการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้และแบบประเมินการเรียนรู้เรื่องการเกิดฤดู และการนำกิจกรรมและแบบประเมินเหล่านั้นไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เป็นเวลา 10 คาบ คาบละ 50 นาที Plummer and Maynard (2014) พัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องการเกิดฤดู ซึ่งประกอบด้วย 5 ลำดับขั้น โดยลำดับขั้นที่ 4 ประกอบด้วย 2 ลำดับขั้นย่อย ดังในภาพที่ 3 รายละเอียดมีดังนี้



ภาพที่ 3 ความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องการเกิดฤดู

(1) นักเรียนเชื่อมโยงความเข้าใจพื้นฐานทั้งสองมุมมองได้อย่างสมบูรณ์ นักเรียนสามารถมองปรากฏการณ์นี้ได้จากทั้ง 2 มุมมอง และเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่าง 2 มุมมองได้ กล่าวคือ นักเรียนไม่เพียงแค่เข้าใจว่า (เมื่อสังเกตจากพื้นโลก) ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนท้องฟ้าเกิดจากตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างผู้สังเกตและดวงอาทิตย์ ซึ่งทำให้แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นที่ต่าง ๆ บนโลกด้วยมุมที่แตกต่างกัน มุมที่แสงอาทิตย์ตก

กระทบแต่ละพื้นที่บนโลกแตกต่างกันทำให้ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแต่ละพื้นที่แตกต่างกันด้วย นักเรียนยังเข้าใจด้วยว่า ในขณะที่โลกกำลังโคจรไปยังตำแหน่งต่าง ๆ รอบดวงอาทิตย์ แกนหมุนรอบตัวเองของโลกที่เอียงทำให้โลกด้านหนึ่งมีช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์นานกว่าและมีช่วงเวลาไม่ได้รับแสงอาทิตย์สั้นกว่าโลกอีกด้านหนึ่ง ผู้คนบนโลกรับรู้ได้จากช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืนที่ไม่เท่ากันใน 1 วัน ทั้งความแตกต่างของความเข้มของแสงอาทิตย์และความแตกต่างของช่วงเวลาการได้รับแสงอาทิตย์นี้ส่งผลร่วมกันให้อุณหภูมิเฉลี่ยบนโลกในแต่ละพื้นที่แตกต่างกันไป ณ เวลาเดียวกัน เมื่อโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ไปเรื่อยๆ ตำแหน่งของโลกเทียบกับดวงอาทิตย์ก็จะเปลี่ยนไป บริเวณที่เคยได้รับแสงอาทิตย์เข้มมากและยาวนานก็กลับเป็นบริเวณที่ได้รับแสงอาทิตย์เข้มน้อยและสั้น สิ่งเหล่านี้ปรากฏให้ผู้คนบนโลกรับรู้ได้ในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงฤดู

(2) นักเรียนเชื่อมโยงความเข้าใจพื้นฐานทั้งสองมุมมองได้บ้างแล้ว แต่การเชื่อมโยงนั้นยังไม่สมบูรณ์มากนัก กล่าวคือ นักเรียนเข้าใจว่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า (เมื่อสังเกตจากพื้นโลก) เกิดจากตำแหน่งสัมพัทธ์กันระหว่างผู้สังเกตบนโลกและดวงอาทิตย์ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าเกี่ยวข้องกับความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลก นั่นคือ พื้นที่ที่แสงอาทิตย์ตกกระทบโดยตรงด้วยมุม 90 องศา มีความเข้มของแสงอาทิตย์มากกว่าพื้นที่ที่แสงอาทิตย์ตกกระทบด้วยมุมที่น้อยกว่า 90 องศา ความเข้มของแสงอาทิตย์นี้เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิบนพื้นโลกอีกทอดหนึ่ง นั่นคือ นักเรียนเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนรูปของพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน อย่างไรก็ดี นักเรียนยังไม่เข้าใจว่า (เมื่อสังเกตจากอวกาศ) แกนหมุนรอบตัวเองของโลกที่เอียง (ประมาณ 23.5 องศาจากระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์) เกี่ยวข้องกับช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืนที่แตกต่างกันในแต่ละฤดูอย่างไร

(3) นักเรียนมีทั้งความเข้าพื้นฐานเกี่ยวกับมุมมองจากอวกาศ “และ” ความเข้าพื้นฐานเกี่ยวกับมุมมองจากพื้นโลก อย่างไรก็ดี นักเรียนยังไม่สามารถเชื่อมโยงความเข้าใจทั้งสองได้ กล่าวคือ นักเรียนยังไม่เข้าใจปรากฏการณ์เดียวกันจาก 2 มุมมองได้

(4) นักเรียนมีความเข้าใจพื้นฐานบางอย่าง ซึ่งอาจเป็นความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับมุมมองจากอวกาศ (ลำดับขั้น 4.1) “หรือ” ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับมุมมองจากพื้นโลก (ลำดับขั้น 4.2) ในส่วนของความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับมุมมองจากอวกาศนั้น นักเรียนเข้าใจเกี่ยวกับระบบดวงอาทิตย์ โลก และดวงจันทร์ ไม่ว่าจะเป็นความเข้าใจเกี่ยวกับขนาดสัมพันธ์และระยะทางสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์ โลก และดวงจันทร์ รวมทั้งเข้าใจด้วยว่าโลกใช้เวลาประมาณ 1 วันในการหมุนรอบตัวเองและใช้เวลาประมาณ 1 ปีในการโคจรรอบดวงอาทิตย์ วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์แม้มีรูปร่างวงรี แต่ก็เป็นวงรีที่ค่อนข้างกลม ในส่วนความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับมุมมองจากพื้นโลก นักเรียนเข้าใจว่า โลกมีช่วงเวลากลางวันและกลางคืนแตกต่างกันไปในแต่ละฤดู และเส้นสุริยวิถีบนท้องฟ้าในแต่ละฤดูก็แตกต่างกันด้วยเช่นกัน

(5) นักเรียนเข้าใจว่า ฤดูร้อนเกิดขึ้นเมื่อโลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ ในขณะที่ฤดูหนาวเกิดขึ้นเมื่อโลกอยู่ไกลดวงอาทิตย์ นักเรียนขาดความเข้าใจที่จำเป็นหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ (ทั้งรูปร่างของวง

โคจร รัศมีของวงโคจร และเวลาที่โลกใช้ในการโคจรรอบดวงอาทิตย์ครบ 1 รอบ) ขนาดสัมพัทธ์ระหว่างดวงอาทิตย์ โลก และดวงจันทร์ รวมทั้งลักษณะการหมุนรอบตัวเองของโลก (นั่นคือ แกนหมุนรอบตัวเองของโลกที่เอียงทำมุมกับระนาบการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์)

ตัวอย่างที่ 6: แบบจำลองอะตอมและแรงไฟฟ้าระหว่างอะตอม

จากการเก็บข้อมูลกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น (ร่วมกับนิสิตระดับอุดมศึกษาอีกจำนวนหนึ่ง) Steven et al. (2010) พัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้ 2 เรื่อง ได้แก่ แบบจำลองอะตอม และแรงไฟฟ้าระหว่างอะตอม โดยความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องแบบจำลองอะตอมประกอบด้วย 6 ลำดับขั้นหลัก ดังนี้

(1) นักเรียนเข้าใจว่า อะตอมมีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีองค์ประกอบย่อย ซึ่งประกอบด้วยโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน โดยโปรตอนและนิวตรอนอยู่ในบริเวณศูนย์กลางของอะตอม (ซึ่งก็คือนิวเคลียส) ในขณะที่อิเล็กตรอนอยู่บริเวณรอบนอกนิวเคลียส นักเรียนเข้าใจด้วยว่า อิเล็กตรอนอยู่รอบนิวเคลียสในลักษณะระดับชั้น ซึ่งคล้ายกับวงโคจรของดาวเคราะห์ต่าง ๆ รอบดวงอาทิตย์ ในการนี้ นักเรียนเข้าใจด้วยว่า ตำแหน่งของอิเล็กตรอนไม่อาจระบุได้อย่างเจาะจง นอกจากการอาศัยหลักความน่าจะเป็นในรูปแบบของความหนาแน่นของอิเล็กตรอนเท่านั้น

(2) นักเรียนเข้าใจว่า อะตอมมีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีองค์ประกอบย่อย ซึ่งประกอบด้วยโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน โดยโปรตอนและนิวตรอนอยู่ในบริเวณศูนย์กลางของอะตอม (ซึ่งก็คือนิวเคลียส) ในขณะที่อิเล็กตรอนอยู่บริเวณรอบนอกนิวเคลียส นักเรียนเข้าใจด้วยว่า อิเล็กตรอนอยู่รอบนิวเคลียสในลักษณะระดับชั้น ซึ่งคล้ายกับวงโคจรของดาวเคราะห์ต่าง ๆ รอบดวงอาทิตย์

(3) นักเรียนเข้าใจว่า อะตอมมีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีองค์ประกอบย่อย ซึ่งประกอบด้วยโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน โดยโปรตอนและนิวตรอนอยู่ในบริเวณศูนย์กลางของอะตอม (ซึ่งก็คือนิวเคลียส) ในขณะที่อิเล็กตรอนอยู่บริเวณรอบนอกนิวเคลียส

(4) นักเรียนเข้าใจว่า อะตอมมีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีองค์ประกอบย่อย ซึ่งประกอบด้วยโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน

(5) นักเรียนเข้าใจว่า อะตอมมีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีองค์ประกอบย่อย

(6) นักเรียนเข้าใจว่า อะตอมมีรูปร่างเป็นทรงกลมที่ไม่มีองค์ประกอบย่อย

ในขณะที่ความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่อง แรงไฟฟ้าระหว่างอะตอม ประกอบด้วย 5 ลำดับขั้นหลักดังนี้

(1) นักเรียนเข้าใจว่า อะตอมตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันด้วยแรงทางไฟฟ้า ซึ่งเกี่ยวข้องกับการให้ การรับ และ/หรือการใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุดร่วมกันระหว่างอะตอม ดังนั้น การจัดเรียงอิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมจึงเป็นสิ่งกำหนดลักษณะการเกิดแรงไฟฟ้า (หรือพันธะ) ระหว่างอะตอม

(2) นักเรียนเข้าใจว่า อะตอมตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันด้วยแรงทางไฟฟ้า ซึ่งเกี่ยวข้องกับการให้ การรับ และ/หรือการใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุดร่วมกันระหว่างอะตอม

(3) นักเรียนเข้าใจว่า อะตอมตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันด้วยแรงทางไฟฟ้า ซึ่งอิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมมีบทบาทสำคัญ

(4) นักเรียนเข้าใจว่า อะตอมตั้งแต่ 2

อะตอมขึ้นมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันด้วยแรงทางไฟฟ้า

(5) นักเรียนเข้าใจว่า อะตอมตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันด้วยแรงบางอย่าง

เนื่องจาก Steven et al. (2010) เชื่อว่านักเรียนสามารถและควรเรียนรู้เรื่องแบบจำลองอะตอมและแรงระหว่างอะตอมไปพร้อม ๆ กัน นักวิจัยกลุ่มนี้จึงได้ทำการรวมความก้าวหน้าในการเรียนรู้ทั้งสองเรื่องเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างเป็นความก้าวหน้าในการเรียนรู้แบบหลายมิติ (2 มิติ) ที่เป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนสำหรับนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ซึ่งประกอบด้วย 4 ลำดับขั้น ดังนี้

(1) นักเรียนเข้าใจว่า อะตอมมีรูปร่างเป็นทรงกลมที่มีองค์ประกอบย่อย ได้แก่ โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน โดยโปรตอนและนิวตรอนอยู่ในบริเวณศูนย์กลางของอะตอม (ซึ่งก็คือนิวเคลียส) ในขณะที่อิเล็กตรอนอยู่บริเวณรอบนอกนิวเคลียสในลักษณะเป็นลำดับชั้นที่คล้ายกับวงโคจรของดาวเคราะห์ต่าง ๆ รอบดวงอาทิตย์ โดยตำแหน่งของอิเล็กตรอนไม่อาจถูกระบุได้อย่างเจาะจง นอกจากการอาศัยหลักความน่าจะเป็นในรูปแบบของความหนาแน่นของอิเล็กตรอนเท่านั้น ทั้งนี้พลังงานของอิเล็กตรอนเป็นสิ่งกำหนดว่าอิเล็กตรอนหนึ่งจะอยู่ในลำดับชั้นใด เนื่องจากแต่ละลำดับขั้นสามารถบรรจุจำนวนอิเล็กตรอนได้จำกัดอะตอม (ที่เป็นกลางทางไฟฟ้า) แต่ละชนิดจึงมีจำนวนอิเล็กตรอนและการจัดเรียงอิเล็กตรอนแตกต่างกัน ตารางธาตุสามารถช่วยในการทำนายสมบัติต่าง ๆ ของอะตอม (หรือธาตุ) ได้ส่วนหนึ่งจากจำนวนอิเล็กตรอนและการจัดเรียงอิเล็กตรอน อะตอมเหล่านี้อาจมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันด้วยแรงทางไฟฟ้าที่ต่อเนื่อง ซึ่งขึ้นอยู่กับการให้ การรับ และ/หรือการใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุดร่วมกันระหว่างอะตอม

(2) นักเรียนเข้าใจว่า อะตอมมีรูปร่างเป็นทรงกลมที่มีองค์ประกอบย่อย ได้แก่ โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน โดยโปรตอนและนิวตรอนอยู่ในบริเวณศูนย์กลางของอะตอม (ซึ่งก็คือนิวเคลียส) ในขณะที่อิเล็กตรอนอยู่บริเวณรอบนอกนิวเคลียสในลักษณะเป็นลำดับชั้นที่คล้ายกับวงโคจรของดาวเคราะห์ต่าง ๆ รอบดวงอาทิตย์ โดยตำแหน่งของอิเล็กตรอนไม่อาจระบุได้อย่างเจาะจง นอกจากการอาศัยหลักความน่าจะเป็นในรูปแบบของความหนาแน่นของอิเล็กตรอนเท่านั้น ตารางธาตุสามารถช่วยในการทำนายสมบัติต่าง ๆ ของอะตอม (หรือธาตุ) ได้ อะตอมเหล่านี้อาจมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันด้วยแรงทางไฟฟ้าที่ต่อเนื่อง

(3) นักเรียนเข้าใจว่า อะตอมมีรูปร่างเป็นทรงกลมที่มีองค์ประกอบย่อย ได้แก่ โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน โดยโปรตอนและนิวตรอนอยู่ในบริเวณศูนย์กลางของอะตอม (ซึ่งก็คือนิวเคลียส) ในขณะที่อิเล็กตรอนอยู่บริเวณรอบนอกนิวเคลียส จำนวนโปรตอนเป็นสิ่งกำหนดชนิดของอะตอม (หรือธาตุ) อะตอมเหล่านี้อาจมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันด้วยแรงทางไฟฟ้า ซึ่งอาจเป็นแรงผลักหรือแรงดึงดูด

(4) นักเรียนเข้าใจว่า อะตอมมีรูปร่างเป็นทรงกลมที่ไม่มีองค์ประกอบย่อย สสารทุกชนิดประกอบจากอะตอมชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีประมาณ 100 ชนิด อะตอมเหล่านี้อาจมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันด้วยแรงบางอย่าง ซึ่งอาจเป็นแรงผลักหรือแรงดึงดูด

ชุดคำบรรยายข้างต้นแจกแจงความเข้าใจของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาตอนต้น 2 เรื่อง (นั่นคือ แบบจำลองอะตอม และแรงทางไฟฟ้าระหว่าง

อะตอม) ซึ่งไล่ระดับตั้งแต่ความเข้าใจที่ซ่ำชองน้อยไปสู่ความเข้าใจที่ซ่ำชองมากขึ้น ตามลำดับ เนื่องจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ทั้งสองเรื่องมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน การบูรณาการความก้าวหน้าในการเรียนรู้ทั้ง 2 เรื่องจึงช่วยสร้างแนวทางในการจัดการเรียนการสอนทั้ง 2 เรื่องร่วมกันได้ การบูรณาการความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องต่าง ๆ เข้าด้วยกันเป็นความท้าทายใหม่ประการหนึ่งของการวิจัยด้านนี้ ซึ่งผลที่ได้จะช่วยกำหนดเป็นแนวทางการพัฒนาหลักสูตรในภาพกว้างว่า นักเรียนในแต่ละระดับชั้น ควรเรียนรู้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่องใดบ้าง และในระดับใด ทั้งนี้เพื่อให้สิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้ในระดับชั้น หนึ่งเอื้อให้เกิดการเรียนรู้ในระดับชั้นที่สูงขึ้นไป ตามลำดับ จนกระทั่งในท้ายที่สุด เมื่อนักเรียนจบขั้นสูงสุดของการศึกษาขั้นพื้นฐาน นักเรียนจะมีความเข้าใจพื้นฐานที่เพียงพอสำหรับการใช้ชีวิตในสังคม การประกอบอาชีพ และการศึกษาต่อในระดับการศึกษาที่สูงขึ้นต่อไป

ตัวอย่างที่ 7: การให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ในบริบทเนื้อหาเรื่องความหลากหลายทางชีวภาพ

จากการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์เรื่องความหลากหลายทางชีวภาพ ร่วมกับการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับพัฒนาการของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 – 6 เป็นเวลาต่อเนื่องกัน 3 ปี Songer et al. (2009) ได้พัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้เกี่ยวกับการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย 4 ลำดับหลัก ดังนี้

(1) นักเรียนลงข้อสรุป ยกหลักฐานที่สนับสนุนข้อสรุป และชี้แจงความสัมพันธ์ระหว่างข้อสรุปและหลักฐาน ตลอดจนหักล้างข้อสรุปทางเลือกอื่น ๆ

(2) นักเรียนลงข้อสรุป ยกหลักฐานที่สนับสนุนข้อสรุป และชี้แจงความสัมพันธ์ระหว่างข้อสรุปและหลักฐาน

(3) นักเรียนลงข้อสรุปและยกหลักฐานที่สนับสนุนข้อสรุป

(4) นักเรียนลงข้อสรุปได้ ซึ่งอาจสอดคล้องกับข้อสรุปทางวิทยาศาสตร์หรือไม่ก็ได้

ชุดคำบรรยายข้างต้นแจกแจงความสามารถของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 – 6 ออกเป็น 4 ระดับตามความซ่ำชองในการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสามารถเป็นแนวทางในการประเมินความสามารถของนักเรียน รวมทั้งการจัดการเรียนการสอนที่เน้นการพัฒนาให้นักเรียนสามารถให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์เรื่องอื่นด้วย (Suttakun and Ladachart, 2013) กล่าวคือ การจัดการเรียนการสอนนี้ควรเริ่มต้นจากการให้นักเรียนฝึกลงข้อสรุป จากนั้นนักเรียนควรได้รับโอกาสให้พิจารณาว่า ข้อสรุปนั้นมีหลักฐานใดสนับสนุนบ้าง และพิจารณาต่อไปว่า ข้อสรุปและหลักฐานสัมพันธ์กันอย่างไร และในท้ายที่สุด นักเรียนควรฝึกพิจารณาด้วยว่า การให้เหตุผลของตนเอง (ซึ่งรวมทั้งข้อสรุป หลักฐาน และการชี้แจงความสัมพันธ์ระหว่างข้อสรุปและหลักฐาน) สามารถหักล้างข้อสรุปทางเลือกอื่น ๆ ได้หรือไม่ และอย่างไร

ตัวอย่างที่ 8: การสร้างและใช้แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

จากการพัฒนาหลักสูตรและกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในรูปแบบและเนื้อหาต่าง ๆ ในระดับประถมศึกษาปีที่ 6 ถึงมัธยมศึกษาปีที่ 2 Schwarz et al. (2009) ได้พัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้เกี่ยวกับการสร้างและใช้แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมการเรียนรู้เนื้อหาเรื่องปฏิสัมพันธ์ระหว่างแสงกับสสาร และความเป็นอนุภาคของสสาร โดยกิจกรรมประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ (1) การนำเสนอปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและคำถามที่ต้องอาศัยการสร้างแบบจำลอง (2) การสร้างแบบจำลอง (3) การทดสอบแบบจำลองนั้นด้วยหลักฐาน (4) การเปรียบเทียบแบบจำลองนั้นกับแบบจำลองอื่น ๆ ในแง่ของความสามารถในการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ และ (5) การใช้แบบจำลองนั้นในการทำนายและอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ในการนี้ ความก้าวหน้าในการเรียนรู้เกี่ยวกับการสร้างและใช้แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ประกอบด้วย 4 ลำดับขั้น ดังนี้

(1) นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลอง ทั้งเพื่อ “บรรยาย” และ “อธิบาย” ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ตลอดจนเพื่อ “สื่อสาร” ความเข้าใจของตนเองเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาตินั้น และเพื่อ “ทำนาย” สิ่งต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นด้วย นอกจากนี้ นักเรียนยังสร้างและใช้แบบจำลองเพื่อ “ตั้งคำถาม” และ/หรือ “ตั้งสมมติฐาน” ใหม่ ซึ่งจะนำไปสู่การทดลองหรือการทดสอบ ตลอดจนการปรับเปลี่ยนแบบจำลองนั้นให้สอดคล้องกับหลักฐานจากปรากฏการณ์นั้นและปรากฏการณ์อื่น ๆ ด้วย

(2) นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองทั้งเพื่อ “บรรยาย” และ “อธิบาย” ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ตลอดจนเพื่อ “สื่อสาร” ความเข้าใจของตนเองเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาตินั้น นอกจากนี้ นักเรียนยังสร้างและใช้แบบจำลองเพื่อ “ทำนาย” สิ่งต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นด้วย

(3) นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองทั้งเพื่อ “บรรยาย” และ “อธิบาย” ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ นอกจากนี้นักเรียนยังสร้างและใช้แบบจำลองเพื่อ “สื่อสาร” กับผู้อื่นว่า ตนเองมีความเข้าใจปรากฏการณ์ทางธรรมชาตินั้นอย่างไร

(4) นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองเพื่อ “บรรยาย” ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ กล่าวคือ นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองเพียงเพื่อระบุสิ่งที่ปรากฏเท่านั้น โดยปราศจากการอธิบายว่า สิ่งที่ปรากฏนั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร

ชุดคำบรรยายข้างต้นแจกแจงความสามารถของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 ถึงมัธยมศึกษาปีที่ 2 ออกเป็น 4 ระดับตามความซ่ำซองในการสร้างและใช้แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสามารถเป็นแนวทางในการประเมินความสามารถของนักเรียน รวมทั้งการจัดการเรียนการสอนที่เน้นการพัฒนาให้นักเรียนสามารถสร้างและใช้แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ กล่าวคือ การจัดการเรียนการสอนนี้ควรเริ่มต้นจากการให้นักเรียนฝึกบรรยายสิ่งที่เกิดขึ้นในปรากฏการณ์ทางธรรมชาติใด ๆ จากนั้น นักเรียนควรได้รับโอกาสในการสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาตินั้น และสื่อสารความเข้าใจของตนเองผ่านแบบจำลองที่ตนเองสร้างขึ้น ต่อมา นักเรียนควรได้รับการกระตุ้นให้ใช้แบบจำลองนั้นเพื่อทำนายสิ่งที่อาจจะเกิดขึ้นในปรากฏการณ์ทางธรรมชาตินั้น และในท้ายที่สุด นักเรียนควรใช้แบบจำลองเพื่อตั้งคำถามและสมมติฐานใหม่ ตลอดจนทดสอบว่า แบบจำลองนั้นสามารถตอบคำถามใหม่หรือสนับสนุนสมมติฐานใหม่นั้นหรือไม่

นอกจากนี้ Schwarz et al. (2009) ยังได้พัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้เกี่ยวกับความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อีกด้วย ซึ่งประกอบด้วย 4 ลำดับขั้น ดังนี้

(1) นักเรียนเข้าใจว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไม่ใช่สำเนาของปรากฏการณ์ทางธรรม-

ชาติ หากแต่เป็นสิ่งที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ดังนั้น แบบจำลองจึงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยการเปลี่ยนแปลงนั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงตามหลักฐานจากการศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาตินั้น นอกจากนี้ นักเรียนยังเข้าใจด้วยว่า การเปลี่ยนแปลงแบบจำลองเพื่อทดสอบความคิดหรือสมมติฐานใหม่บางอย่างเป็นเรื่องปกติในทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งนักเรียนเองก็สามารถทำได้เช่นกัน

(2) นักเรียนเข้าใจว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไม่ใช่สำเนาของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ หากแต่เป็นสิ่งที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ดังนั้นแบบจำลองจึงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยการเปลี่ยนแปลงนั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงตามหลักฐานจากการศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาตินั้น

(3) นักเรียนเข้าใจว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไม่ใช่สำเนาของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ หากแต่เป็นสิ่งที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ดังนั้นแบบจำลองจึงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยการเปลี่ยนแปลงนั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงตามผู้รู้ ซึ่งอาจเป็นนักวิทยาศาสตร์ ครู หรือหนังสือ

(4) นักเรียนเข้าใจว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นสำเนาของ (หรือเหมือนกับ) ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติทุกประการ ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ หากแบบจำลองนั้นไม่ถูกต้องหรือไม่เหมือนกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ แบบจำลองนั้นก็ผิดและไม่มีประโยชน์อันใด

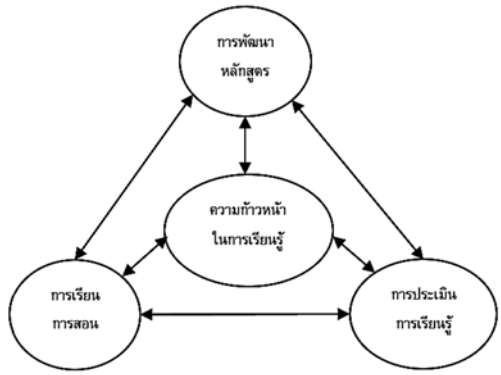
ชุดคำบรรยายข้างต้นแจกแจงความเข้าใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 ถึงมัธยมศึกษาปีที่ 2 เกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีด้วยกัน 4 ระดับ เนื่องจากความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของความรู้และธรรมชาติของการได้มาซึ่งความรู้มักสัมพันธ์กับวิธีการเรียนรู้ของนักเรียน (Hammer, 1995; Hutchison and Hammer, 2010) ความก้าวหน้าในการเรียนรู้นี้จึงเป็นสิ่งที่บ่งบอกได้ว่า นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างไร และมีแนวโน้มที่จะเรียนรู้วิทยาศาสตร์อย่างไร กล่าวคือ หากนักเรียนเข้าใจว่า ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (เช่น แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์) เป็นสิ่งที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ นักเรียนมีแนวโน้มที่จะเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยการท่องจำ ทั้งนี้เพราะนักเรียนเช่นนี้เชื่อว่าความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีความถูกต้องตลอดไป ในทางตรงกันข้าม หากนักเรียนเข้าใจว่า ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (เช่น แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์) เป็นสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์สร้างขึ้น ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามหลักฐาน นักเรียนเช่นนี้มีแนวโน้มที่จะเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยการทดลองและทดสอบทางความคิด ทั้งนี้เพื่อปรับเปลี่ยนความคิดนั้นให้สอดคล้องกับหลักฐานต่าง ๆ ความก้าวหน้าในการเรียนรู้จึงช่วยในการจำแนกนักเรียนตามความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (นั่นคือ แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์) และวิธีการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้เช่นกัน

ประโยชน์และความท้าทายเกี่ยวกับความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

งานวิจัยเกี่ยวกับความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มีประโยชน์หลายประการ ประโยชน์ประการแรกคือว่า เนื่องจากความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เรื่องใด ๆ เป็นชุดคำบรรยายความเข้าใจ/การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสามารถพัฒนาได้ในช่วงเวลาหรือช่วงอายุหนึ่ง ดังนั้นชุดคำบรรยายนี้จึงเป็นแนวทาง

สำหรับครูในการออกแบบการจัดการเรียนการสอนที่เอื้อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้และพัฒนาตามลำดับชุดคำบรรยายนั้น (Stevens et al., 2010) ประโยชน์ประการที่สองคือว่า ครูยังสามารถใช้ชุดคำบรรยายนี้เป็นแนวทางในการพัฒนาแบบประเมินการเรียนรู้ของนักเรียน (Furtuk et al., 2014) ซึ่งอาจเป็นการประเมินในระหว่างหรือหลังการเรียนรู้ ทั้งนี้เพื่อติดตามและตรวจสอบว่า นักเรียนมีพัฒนาทางความเข้าใจ/การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์หรือไม่ และอย่างไร ในการนี้ ครูสามารถระบุได้ว่า นักเรียนกำลังประสบอุปสรรคใดในการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความเข้าใจ/การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์ให้มีความชำชองมากขึ้น ประโยชน์ประการที่สาม คือ ชุดคำบรรยายนี้สามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาหลักสูตรที่เหมาะสมกับพัฒนาการในการเรียนรู้ของนักเรียนอย่างแท้จริง (Wiser et al., 2009) ทั้งนี้เพราะชุดคำบรรยายนี้ผ่านการศึกษาและยืนยันกับผู้เรียนจริงมาแล้ว (Smith et al., 2006) เนื่องจากชุดคำบรรยายนี้สามารถเป็น “แกนกลาง” ของทั้งการพัฒนาหลักสูตร การออกแบบการเรียนการสอน และการพัฒนาแบบประเมิน ดังนั้น ความก้าวหน้าในการเรียนรู้จึงสามารถช่วยให้เกิดความสอดคล้องกันระหว่างหลักสูตร การจัดการเรียนการสอน และการประเมินการเรียนรู้ (Black et al., 2011) ดังในภาพที่ 4

นอกจากนี้ ความก้าวหน้าในการเรียนรู้ยังให้ข้อมูลและมุมมองสำหรับการพัฒนาวิชาชีพครูอีกด้วย (Furtak, 2009; Plummer and Slagle, 2009) เนื่องจากครูจำเป็นต้องมีความรู้หลายด้าน เช่น ความรู้ด้านเนื้อหา ความรู้ด้านวิธีสอน ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร และความรู้เกี่ยวกับการประเมินผลการเรียนรู้ (Shulman, 1987) โดยพื้นฐานแล้ว ความก้าวหน้าในการเรียนรู้สามารถ



ภาพที่ 4 การพัฒนาหลักสูตร การเรียนการสอนและการประเมินการเรียนรู้ที่มีความก้าวหน้าในการเรียนรู้เป็นแกน

เป็นข้อมูลให้ครูเข้าใจผู้เรียนได้มากขึ้น ทั้งนี้ชุดคำบรรยาย สามารถเป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์ความเข้าใจ/การปฏิบัติของผู้เรียนได้ นอกจากนี้ ความก้าวหน้าในการเรียนรู้ยังเป็นเครื่องมือสำหรับครูในการทำความเข้าใจเนื้อหาให้ลึกซึ้งมากขึ้น ทั้งนี้เพราะครูสามารถเปรียบเทียบความเข้าใจของผู้เรียนในรูปแบบต่าง ๆ ได้ว่า ความเข้าใจแบบหนึ่งชำชองหรือถูกต้องมากกว่าความเข้าใจอีกแบบหนึ่งอย่างไร และเพราะเหตุใด และด้วยแนวทางจากความก้าวหน้าในการเรียนรู้ ครูที่สอนเรื่องเดียวกัน สามารถรวมกลุ่มกันเพื่อสร้างกิจกรรมและแบบประเมินการเรียนรู้ที่จะส่งเสริมและติดตามพัฒนาการทางความเข้าใจ/การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน ซึ่งส่งผลให้ครูเรียนรู้ร่วมกันเกี่ยวกับวิธีการสอนและการประเมินผลการเรียนรู้เรื่องนั้น ๆ (Furtak and Heredia, 2014) ยิ่งไปกว่านั้น หากครูได้รับการส่งเสริมอย่างเหมาะสมแล้ว ความก้าวหน้าในการเรียนรู้อาจช่วยให้ครูเห็นการเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหา (เช่น ความเข้าใจการเกิดฤดูอย่างถ่องแท้ต้องอาศัยความเข้าใจเกี่ยวกับสุริยวิถีและการเปลี่ยนรูปพลังงาน) ภาย-

ในหลักสูตรอีกด้วย

ถึงแม้ว่าชุดคำบรรยายเกี่ยวกับความก้าวหน้าในการเรียนรู้มีประโยชน์หลายประการ แต่งานวิจัยด้านนี้ก็มีความท้าทายเช่นกัน (โดยเฉพาะในประเทศไทย) ความท้าทายประการแรกแฝงอยู่ในกระบวนการสร้างและพัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้ ซึ่งต้องอาศัยกำลัง เวลา และงบประมาณไม่น้อย กล่าวคือ ในการสร้างและพัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องใด ๆ นั้น ผู้วิจัยจำเป็นต้องวิเคราะห์แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ร่วมกับความคาดหวังในหลักสูตร ตลอดจนศึกษาผลการวิจัยเกี่ยวกับความเข้าใจของผู้เรียนเรื่องนั้นอย่างละเอียด ทั้งนี้เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองสมมติฐานเบื้องต้นเกี่ยวกับความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องนั้น ซึ่งแสดงถึงลำดับขั้นของความเข้าใจ/การปฏิบัติงานจากที่มีความซ่ำซ้องน้อยไปยังที่มีความซ่ำซ้องมาก จากนั้นการทดสอบและยืนยันแบบจำลองสมมติฐานเบื้องต้นนั้นกับข้อมูลจากผู้เรียนจริงก็เป็นอีกส่วนหนึ่งของกระบวนการสร้างและพัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้ ซึ่งต้องอาศัยกำลัง เวลา และงบประมาณไม่น้อยเช่นกัน ด้วยความท้าทายนี้ ผลการวิจัยเกี่ยวกับความก้าวหน้าในการเรียนรู้จึงปรากฏสู่สาธารณะในจำนวนที่จำกัด ความท้าทายอีกประการหนึ่งในการสร้างและพัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้คือความสามารถของผู้วิจัย ซึ่งต้องมีความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ลึกซึ้งเพียงพอที่จะวิเคราะห์และสังเคราะห์ได้ว่า พัฒนาการทางความเข้าใจ/การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์แต่ละเรื่องควรเป็นเช่นใด ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงควรมีประสบการณ์และพื้นฐานในการทำการวิจัยเกี่ยวกับการเรียนรู้ของนักเรียนมาก่อน

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาในประเทศไทย

จากการทบทวนงานวิจัยต่าง ๆ ในประเทศไทย งานวิจัยที่สร้างและพัฒนาความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เรื่องต่าง ๆ ยังไม่มีปรากฏในขณะที่นักวิจัยในต่างประเทศเริ่มบุกเบิกและมีผลการวิจัยด้านนี้เผยแพร่สู่สาธารณะประมาณปี ค.ศ. 2007 – 2009 ทั้งนี้เพราะความก้าวหน้าในการเรียนรู้เป็นแนวคิดพื้นฐานของนโยบายด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา (NRC, 2007) ซึ่งเน้นการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ให้เหมาะสมกับและเอื้อให้เกิดพัฒนาการการเรียนรู้ของผู้เรียน ด้วยเหตุนี้งานวิจัยเกี่ยวกับความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เรื่องต่าง ๆ จึงทยอยได้รับการเผยแพร่สู่สาธารณะมากขึ้นในปัจจุบัน ในทางตรงกันข้าม ถึงแม้ว่าพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ (Ministry of Education, 1999) ได้กล่าวไว้ ว่า "*การจัดการศึกษาต้องยึดหลักว่า ผู้เรียนทุกคนมีความสามารถ (ในการ) เรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ ... กระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตามธรรมชาติและเต็มศักยภาพ*" (มาตรา 22) และ "*ให้สถานศึกษา ... ส่งเสริมให้ผู้สอนสามารถวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับผู้เรียนในแต่ละระดับการศึกษา*" (มาตรา 30) แต่งานวิจัยส่วนใหญ่ (โดยเฉพาะงานวิจัยโดยครู) ยังคงเน้นการวิจัยด้านการสอน (research on teaching) ไม่ว่าจะเป็นการวิจัยเพื่อศึกษาผลของการสอนรูปแบบต่าง ๆ และการวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสื่อการสอนต่าง ๆ ในขณะที่งานวิจัยที่เน้นการวิจัยด้านการเรียนรู้ (research on learning) ยังคงมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะภายในกลุ่มนักวิชาการจากมหาวิทยาลัย ด้วยเหตุนี้ ข้อเสนอแนะจากบทความนี้คือว่า ครู (และนักวิชาการ) ควรเปลี่ยนจุด-

เน้นของการวิจัยจาก “การสอน” มาเป็น “การเรียนรู้” โดยเฉพาะงานวิจัยที่สร้างความชัดเจนเกี่ยวกับพัฒนาการของนักเรียนด้านต่าง ๆ (ไม่ว่าจะเป็นด้านความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ ด้านการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์ ด้านความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ และด้านเจตคติต่อวิทยาศาสตร์) ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาหลักสูตร การจัดการเรียนการสอน การสร้างแบบประเมินการเรียนรู้ และการพัฒนาวิชาชีพครูให้สอดคล้องกับธรรมชาติของพัฒนาการการเรียนรู้เรื่องต่าง ๆ ของผู้เรียน นอกจากนี้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาครูควรริเริ่มศึกษาว่า ครูมีความเข้าใจเกี่ยวกับความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องที่ตนเองสอนหรือไม่และอย่างไรด้วยเช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

Black, P., Wilson, M., and Yao, S. (2011). Road maps for learning: A guide to the navigation of learning progression. **Measurement** 9(2–3): 71–123.

Buaraphan, K., Singh, P., and Roadrangka, V. (2006). Conceptual development of force and motion in their-year preservice teachers participating in constructivist learning activities. **Songklanakarin Journal of Social Sciences and Humanities** 12(1): 97–119. (in Thai)

Bureau of Academic Affairs and Educational Standards. (2010). **Indicators and Core Learning Content in Science According to the Basic Education Core Curriculum B.E. 2551.** Bangkok: Press of the Agricultural Co-operative Federation of Thailand. (in Thai)

Calik, M., and Ayas, A. (2005).A Cross-age study on the understanding of chemical solutions and their components. **International Education Journal** 6(1): 30–41.

Campanario, J. M. (2002). The parallelism between scientists’ and students’ resistance to new scientific ideas. **International Journal of Science Education** 24(10): 1095–1110.

Clement, J. (1982).Students’ preconceptions in introductory mechanics. **American Journal of Physics** 50(1): 66–71.

Clement, J., and Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: finding ‘anchoring conceptions’ for grounding instruction on students’ intuitions. **International Journal of Science Education** 11(special issue): S54–S65.

Corcoran, T., Mosher, F. A., and Roget, A. (2009). **Learning Progressions in Science: An Evidence-Based Approach to Reform**. New York: Columbia University, Center on Continuous Instructional Improvement Teachers College.

diSessa, A. A. (2002). Why “conceptual ecology” is a good idea. In Limon, M. and Mason, L. (Eds.). **Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice**, pp. 29–60. Netherlands: Academic Publishers.

Driver, R., Leach, J., Scott, P., and Wood-Robinson, V. (1994). Young people's understanding of science concepts: implications of cross-age studies for curriculum planning. **Studies in Science Education** 24(1): 75–100.

Duit, R., and Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. **International Journal of Science Education** 25(6): 671–688.

Duschl, R., Maeng, S., and Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. **Studies in Science Education** 47(2): 123–182.

Furtak, E. M. (2009). **Toward Learning Progressions as Teacher Development Tools**. Retrieved from http://www.education.msu.edu/projects/leaps, November 19, 2014.

Furtak, E. M., and Heredia, S. C. (2014). Exploring the influence of learning progressions in two teacher communities. **Journal of Research in Science Teaching** 51(8): 982–1020.

Furtak, E. M., Moorison, D., and Kroog, H. (2014). Investigating the link between learning progressions and classroom assessment. **Science Education** 98(4): 640–673.

Gailli, I., Bendakk, S., and Goldberg, F. (1993). The effects of prior knowledge and instruction on understanding image formation. **Journal of Research in Science Teaching**, 30(3): 271–301.

Gonen, S. and Kocakaya, S. (2010). A cross-age study on the understanding of heat and temperature. **Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education** 2(1): 1–15.

Gunckel, K. L., Covitt, B. A., Salinas, I., and Anderson, C. W. (2012). A learning progression for water in socio-ecological systems. **Journal of Research in Science Teaching** 49(7): 843–868.

Hammer, D. (1995). Epistemological consideration in teaching introductory physics. **Science Education** 79(4): 393–413.

Hutchison, P. and Hammer, D. (2010). Attending to student epistemological framing in a science classroom. **Science Education** 94(3): 506–524.

Jituafua, A., Techapinyawat, S., Pongsophon, P., and Srita, S. (2010). Investigate grade 12 students' pre-conceptions in the topic of plant responses. **Songklanakarin Journal of Social Sciences and Humanities** 16(4): 629–642. (in Thai)

Kennedy, C. A., and Wilson, M. (2007). **Using Progress Variables to Interpret Student Achievement and Progress (BEAR Technical Report No. 2006-12-01)**. Retrieved from https://bearcenter.berkeley.edu/sites/default/files/Kennedy_Wilson

2007.pdf, December 14, 2015.

Krajcik, J. (2011). Learning progressions provide road maps for the development and validity of assessments and curriculum materials. **Measurement** 9(2–3): 155–158.

Larkin, D. (2012). Misconceptions about "misconceptions": preservice secondary science teachers' views on the value and role of student ideas. **Science Education** 96(5): 927–959.

Ministry of Education. (1999). **National Education Act B. E. 2542**. Retrieved from http://www.moe.go.th/main2/plan/p-r-b4 2-01.htm, November 19, 2014. (in Thai)

Muangramun, R., and Pitiporntapin, S. (2013). Enhancing grade 8th students' understanding of scientific concept in topic of "our earth" using model-based learning. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 4(1): 38–45. (in Thai)

National Research Council [NRC]. (2007). **Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K – 8**. Washington, D.C.: The National Academics.

Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., and Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. **Journal of Research in Science Teaching**, 50(2): 162–188.

Pfundt, H., and Duit, R. (2009). **Bibliography – STCSE: Students' and Teachers' Conceptions and Science Education**. Retrieved from http://archiv.ipn.uni-ki el.de/ stcse/, November 18, 2014.

Piaget, J. (1930). **The Child's Conception of Physical Causality**. London: Routledge.

Plummer, J. D., and Krajcik, J. (2010). Building a learning progression for celestial motion: Elementary levels from an earth based perspective. **Journal of Research in Science Teaching** 47(7): 768–787.

Plummer, J. D., and Maynard, L. (2014). Building a learning progression for celestial motion: An exploration of students' reasoning about the seasons. **Journal of Research in Science Teaching** 51(7): 902–929.

Plummer, J. D., and Slagle, C. (2009). **A Learning Progression Approach to Teacher Professional Development in Astronomy**. Retrieved from http://www.education. msu.edu/projects/leaps, November 19, 2014.

Pongsophon, P., Jantrarotai, P., and Roadrangka, V. (2003). Perspectives of Thai students in grade 9–12 on evolutionary concepts. **Kasetsart Journal (Social Sciences)** 24(1): 1–14. (in Thai)

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., and Karjcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific mo-

deling accessible and meaningful for learners**. Journal of Research in Science Teaching** 46(6): 632–654.

Shea, N. A., and Duncan, R. G. (2013). From theory to data: The process of refining learning progressions. **Journal of the Learning Sciences** 22(1): 7–32.

Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. **Harvard Educational Review** 57(1): 1–23.

Smith, C. L., Wiser, M., Anderson, C. W., and Krajcik, J. (2006). Implications of research for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and the atomic-molecular theory. **Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives** 14(1 & 2): 1–98.

Smith, J. P., diSessa, A. A., and Roschelle, J. (1994). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. **Journal of the Learning Sciences** 3(2): 115–163.

Songer, N. B., Kelcey, B., and Gotwals, A. W. (2009). How and when does complex reasoning occur? Empirical driven development of a learning progression focused on complex reasoning and biodiversity. **Journal of Research in Science Teaching** 46(6): 610–631.

Stevens, S. Y., Delgado, C., and Krajcik, J. (2010). Developing a hypothetical multi-dimensional learning progression for the nature of matter. **Journal of Research in Science Teaching** 47(6): 687–715.

Suttakun, L., and Ladachart, L. (2013). Fourth grade students' scientific reasoning. **Naresuan University Journal: Science and Technology** 21(3): 107–123. (in Thai)

Tipjoi, W. and Narjaikaew, P. (2013). The Effect of short-course training program on scientific concepts of the primary school non-science teacher. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 4(2): 143–156. (in Thai)

Trumper, R. (2001). A Cross-age study of senior high school students' conceptions of basic astronomy concepts. **Research in Science and Technological Education** 19(1): 98–109.

Viiri, J. (2000). Students' understanding of tides. **Physics Education** 35(2): 105–110.

Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. **Learning and Instruction** 4(1): 45–69.

Wiser, M., Smith, C. L., Doubler, S., and Asbell-Clark, J. (2009). **Learning Progressions as Tools for Curriculum Development: Lessons from the Inquiry Project**. Retrieved from http://education.msu.edu/projects/leaps, November 19, 2014.