

แบบจำลองกับการศึกษาวิทยาศาสตร์

ลฎาภา ลดาชาติ¹

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่มีแบบจำลองเป็นฐาน บทความเริ่มต้นด้วยการนำเสนอนิยาม ลักษณะสำคัญ และประเภทของแบบจำลอง จากนั้น บทความนำเสนอว่า นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อย่างไร ครูมีความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อย่างไร และครูใช้แบบจำลองในการปฏิบัติการสอนวิทยาศาสตร์อย่างไร บทสรุปโดยรวมเปิดเผยว่า นักเรียนมีแนวโน้มที่จะมี “มุมมองด้านการเรียน” ในขณะที่ครูมี “มุมมองด้านการสอน” โดยทั้งนักเรียนและครูมักละเลย “มุมมองด้านการวิจัย” ซึ่งแบบจำลองมีบทบาทสำคัญต่อการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้น บทความนี้จึงเสนอแนะแนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้เรียนรู้ “จาก” “ด้วย” และ “เกี่ยวกับ” แบบจำลอง ในกรณีนี้ ครูจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาวิชาชีพด้านนี้อย่างจริงจัง

คำสำคัญ: 1. แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 2. ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ 3. การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ 4. ครูวิทยาศาสตร์

¹อาจารย์ ดร. ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ (ชีววิทยา) ภาควิชาหลักสูตร การสอน และการเรียนรู้ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อีเมล : ladapa23@gmail.com
โทรศัพท์ : 08-6896-6250

Models and science education

Ladapa Ladachart²

Abstract

This article aims at reviewing research on model-based instruction of science. It begins with presenting a definition, key characteristics, and types of models. After that, it presents how students understand scientific models, how science teachers understand scientific models, and how science teachers use models in their teaching practices. General conclusions reveal that students tend to have “a learning perspective” while science teachers have “a pedagogical perspective.” Both students and teachers often ignore “a research perspective” that a model plays an important role in scientific inquiry. Thus, this article suggests approaches to teaching and learning that allow students to learn “from” “with” and “about” models. In doing so, science teachers need intensive professional development.

Keywords: 1. Scientific models 2. Nature of science 3. Scientific inquiry
4. Science teachers

² Lecturer, Ph.D. at Faculty of Education, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.
Email address: ladapa23@gmail.com Tel: 08-6896-6250

บทนำ

การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในยุคปัจจุบันมุ่งเน้นให้นักเรียนได้สร้างความรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Abd-El-Khalick et al., 2004; Luecha Ladachart & Chokchai Yuenyong, 2016; Kusalin Musikul, 2007; National Research Council, 1996) ทั้งนี้ เพื่อให้นักเรียนได้พัฒนาตนเองหลายด้านไปพร้อมกัน ทั้งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จิตวิทยาศาสตร์ และเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ (Bureau of Academic Affairs and Educational Standards, 2010) นอกจากนี้ การทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ยังเป็นพื้นฐานให้นักเรียนได้เข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ว่า ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกิดขึ้นและก้าวหน้าได้อย่างไร และเหตุใดความรู้ทางวิทยาศาสตร์จึงเป็นที่ยอมรับ (Luecha Ladachart, Ladapa Suttakun, & Chatree Faikhamta, 2013; Schwartz, Lederman, & Crawford, 2004) การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยการสืบเสาะจึงกลายเป็นภาพแห่งความสำเร็จของการปฏิรูปการศึกษาวิทยาศาสตร์ (Anderson, 2002)

การสร้างและใช้แบบจำลองเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการสืบเสาะเพื่อพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Gilbert, 2004) ทั้งนี้ เพราะแบบจำลองไม่เพียงแต่ช่วยให้นักวิทยาศาสตร์สื่อสารความคิดของตนเองเกี่ยวกับสิ่งที่ป็นนามธรรม (เช่น แรง สนามแม่เหล็ก และรังสีของแสง) ให้เป็นรูปธรรมแล้ว แบบจำลองยังช่วยให้นักวิทยาศาสตร์อธิบายและพยากรณ์สิ่งที่เกิดขึ้นในธรรมชาติได้อีกด้วย (van Driel & Verloop, 1999) ยิ่งไปกว่านั้น แบบจำลองยังช่วยให้นักวิทยาศาสตร์สร้างสมมติฐานใหม่ๆ ทั้งนี้ เพื่อนำไปทดสอบกับหลักฐานเชิงประจักษ์ อันจะนำไปสู่การยืนยันหรือหักล้างสมมติฐานนั้นต่อไป (van Driel & Verloop, 2002) ด้วยเหตุนี้ นักเรียนจึงควรมีความสามารถในการสร้างและใช้แบบจำลองเพื่อพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Bureau of Academic Affairs and Educational Standards, 2010; NGSS Lead States, 2013)

ครูมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมให้นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองในการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Justi & Gilbert, 2002) อย่างไรก็ตาม ครูหลายคนกลับไม่ได้ให้ออกาสนักเรียนได้สร้างและใช้แบบจำลองมากนัก ครูส่วนใหญ่มักใช้แบบจำลองเพื่อนำเสนอความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (van Driel & Verloop, 1999; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002) ราวกับว่าแบบจำลองนั้นเป็นสิ่งที่ถูกต้องสมบูรณ์และจะไม่เปลี่ยนแปลงอีกต่อไป (Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991) นักเรียนจึงมีบทบาทเพียงแต่ทำความเข้าใจแบบจำลองที่ครูนำเสนอ ทั้งๆ ที่ในความเป็นจริงแล้ว แบบจำลองเป็นสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์สร้างขึ้นจากการใช้จินตนาการและความคิดสร้างสรรค์ร่วมกับข้อมูลและหลักฐานเชิงประจักษ์ต่างๆ (Harrison & Treagust, 2000) แบบจำลองจึงนำเสนอเพียงลักษณะบางอย่าง

ตามวัตถุประสงค์ของนักวิทยาศาสตร์ (van Driel & Verloop, 2002) และสามารถเปลี่ยนแปลงได้ (Treagust et al., 2002)

ด้วยความสำคัญของการจัดการเรียนการสอนเพื่อให้นักเรียนสามารถสร้างและใช้แบบจำลองในการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ครูวิทยาศาสตร์ทุกคนจึงควรมีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ แต่ด้วยการวิจัยที่มุ่งศึกษาความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของครูวิทยาศาสตร์ในประเทศไทยยังคงมีอยู่อย่างจำกัด บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอและสรุปความก้าวหน้าของการวิจัยเกี่ยวกับการใช้แบบจำลองในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตและพัฒนาครูวิทยาศาสตร์ให้มีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และสามารถนำความเข้าใจนั้นไปจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่ส่งเสริมให้นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองได้ต่อไป โดยบทความนี้ประกอบด้วยเนื้อหาส่วนต่างๆ ตามลำดับ ดังนี้

(1) นิยามและลักษณะสำคัญของแบบจำลอง

(2) ประเภทของแบบจำลอง

(3) ความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

(4) ความเข้าใจและการปฏิบัติการสอนของครูเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

(5) แนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ด้วยแบบจำลอง

(6) การผลิตและพัฒนาครูเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

และในท้ายที่สุด บทความนี้สรุปองค์ความรู้และประเด็นสำคัญเกี่ยวกับการส่งเสริมการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ด้วยแบบจำลอง

(1) นิยามและลักษณะสำคัญของแบบจำลอง

ด้วยความหลากหลายของแบบจำลองที่มีอยู่ในวงการวิทยาศาสตร์ ทั้งในแง่ของลักษณะภายนอก หน้าที่ และการนำไปประยุกต์ใช้ แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์จึงยังไม่มีนิยามที่แน่นอนตายตัว (van Driel & Verloop, 1999) แต่โดยทั่วไปแล้ว แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง สิ่งที่นักวิทยาศาสตร์สร้างขึ้นเพื่อเป็น “ตัวแทน” (representation) ของลักษณะบางประการเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (Windschitl & Thompson, 2006) โดยนักวิทยาศาสตร์อาจสร้างแบบจำลองด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่น เพื่อ “สื่อสาร” (communicate) ความคิดของตนเองเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เพื่อ “บรรยาย” (describe) ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเป็นอย่างไร เพื่อ “อธิบาย” (explain) ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเกิดขึ้นได้อย่างไร และ/หรือเพื่อ “พยากรณ์” (predict) สิ่งที่จะเกิดขึ้นในปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (Schwarz et al., 2009) แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์จึงทำหน้าที่เสมือนเป็น “สะพาน” ที่เชื่อมโยงความคิดของนักวิทยาศาสตร์

กับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (Oh & Oh, 2011) ซึ่งอยู่ในรูปแบบที่หลากหลาย ทั้งข้อความ ภาพวาด กราฟ สมการ แผนผัง โครงสร้างทางกายภาพ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Treagust et al., 2002)

ในการนี้ van Driel และ Verloop (1999; 2002) ได้สรุปลักษณะสำคัญของแบบจำลองไว้ ดังนี้

- แบบจำลองต้องเชื่อมโยงกับเป้าหมาย โดยเป้าหมายในที่นี้ หมายถึง ลักษณะบางประการของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่แบบจำลองเป็นตัวแทน เป้าหมายอาจหมายถึง วัตถุ (เช่น เซลล์ อะตอม และร่างกายมนุษย์) ระบบ (เช่น วงจรไฟฟ้า ระบบหมุนเวียนเลือด และระบบสุริยะ) กระบวนการ (เช่น ปฏิกริยาเคมี การคัดเลือกโดยธรรมชาติ และการถ่ายโอนพลังงานในระบบนิเวศ) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิของแก๊ส และความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเหยื่อและผู้ล่าในระบบนิเวศ) และปรากฏการณ์ต่างๆ (เช่น การเกิดภาพจากกระจกเงาโค้ง การเกิดแผ่นดินไหว และการเกิดสุริยุปราคา)

- แบบจำลองมักเป็นเครื่องมือในการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ไม่สามารถสังเกตเห็นหรือวัดได้โดยตรง เช่น อะตอม ไดโนเสาร์ และหลุมดำ แบบจำลองมักช่วยให้นักวิทยาศาสตร์ตั้งสมมติฐานใหม่ๆ เกี่ยวกับสิ่งที่มันเป็นตัวแทน เช่น โครงสร้างภายในอะตอมเป็นอย่างไร ไดโนเสาร์กินอะไรเป็นอาหาร และหลุมดำมีคุณสมบัติหรือพฤติกรรมอย่างไร

- แบบจำลองไม่ใช่ผลที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่มันเป็นตัวแทน เช่น ภาพถ่ายก่อนเมฆจากมุมสูง สเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน และภาพของเซลล์ต้นหอมจากกล้องจุลทรรศน์ แต่ผลที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอาจนำไปสู่การสร้างแบบจำลอง เช่น ภาพถ่ายก่อนเมฆอาจนำไปสู่การสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ สเปกตรัมของอะตอมอาจนำไปสู่การสร้างแบบจำลองโครงสร้างของอะตอม และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อาจนำไปสู่การสร้างแบบจำลองโครงสร้างภายในเซลล์

- แบบจำลองมีลักษณะที่คล้ายกับเป้าหมายเพียงบางประการ (ไม่ใช่ทุกประการ) ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลอง เช่น แบบจำลองระบบสุริยะมีส่วนคล้ายกับระบบสุริยะจริงๆ เพียงแค่จำนวนและลักษณะการโคจรของดาวเคราะห์ต่างๆ เท่านั้น แผนภาพสายใยอาหารในระบบนิเวศก็มีลักษณะที่คล้ายกับระบบนิเวศจริงๆ เพียงแค่รูปแบบการถ่ายทอดพลังงานจากผู้ผลิตไปยังผู้ล่าลำดับต่างๆ เท่านั้น

- ในการสร้างแบบจำลอง นักวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องพิจารณาว่าแบบจำลองจะมีลักษณะอะไรบ้างที่จำเป็นต้องคล้ายกับเป้าหมาย และลักษณะอะไรบ้างที่ไม่จำเป็นต้องคล้ายกับเป้าหมาย ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลอง ดังนั้น

เป้าหมายเดียวกันอาจมีแบบจำลองได้หลายแบบ เช่น นักวิทยาศาสตร์อาจจำลองโมเลกุลของน้ำด้วยสัญลักษณ์ต่างๆ เช่น H_2O , H-O-H และ H:O:H หรือแม้กระทั่งรูปภาพ

• กระบวนการพัฒนาแบบจำลองจะเกิดขึ้นในลักษณะซ้ำๆ โดยนักวิทยาศาสตร์ต้องทดสอบแบบจำลองกับหลักฐานเชิงประจักษ์ ซึ่งมาจากการศึกษาสิ่งที่เป็นเป้าหมายของแบบจำลอง จนกระทั่งพวกเขาเห็นว่า แบบจำลองนั้นสามารถเป็นตัวแทนของเป้าหมายได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตนเองต้องการ ดังเช่นกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ในแต่ละยุคสมัยสร้างและพัฒนาแบบจำลองอะตอม

(2) ประเภทของแบบจำลอง

ด้วยความหลากหลายของแบบจำลอง Gilbert (2004) ได้จัดประเภทของแบบจำลองตามสถานะทางภววิทยา (ontological status) ดังนี้

• แบบจำลองทางความคิด (mental model) คือ ตัวแทนของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่แต่ละบุคคลสร้างขึ้น ซึ่งอาจเหมือน สอดคล้อง หรือแตกต่างจากแบบจำลองที่เป็นที่ยอมรับในทางวิทยาศาสตร์หรือไม่ก็ได้ ตัวอย่างเช่น นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 บางคนอาจสร้างแบบจำลองทางความคิดว่า แรงทางแม่เหล็กเกิดขึ้นโดยแม่เหล็กส่งอำนาจในรูปแบบของคลื่นไปยังวัตถุต่างๆ ที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบ ในขณะที่บางคนอาจมีแบบจำลองทางความคิดว่า แรงแม่เหล็กเกิดขึ้นในลักษณะที่คล้ายกับการเกิดแรงโน้มถ่วงอันเนื่องมาจากสนามโน้มถ่วงของโลก (Ladapa Suttakun & Luecha Ladachart, 2013) โดยปกติแล้ว แบบจำลองทางความคิดเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นในความคิดของแต่ละบุคคล ไม่ว่าใครก็ไม่สามารถเข้าถึงหรือล่วงรู้แบบจำลองทางความคิดของผู้อื่นได้ ยกเว้นเสียแต่ว่าผู้เป็นเจ้าของแบบจำลองทางความคิดนั้นยินยอมเปิดเผยให้ผู้อื่นได้รับทราบผ่านการแสดงออกในรูปแบบต่างๆ

• แบบจำลองที่ผ่านการแสดงออก (expressed model) คือ แบบจำลองทางความคิดที่บุคคลเปิดเผยให้ผู้อื่นได้ล่วงรู้และรับทราบผ่านการแสดงออกในรูปแบบต่างๆ เช่น คำพูด ข้อความ ท่าทาง หรือภาพวาด อย่างไรก็ตาม แบบจำลองประเภทนี้ยังคงเป็นเรื่องส่วนบุคคล ดังนั้น มันจึงอาจเหมือน สอดคล้อง หรือแตกต่างจากแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หรือไม่ก็ได้ แบบจำลองทางความคิดของนักเรียนที่ปรากฏในรายงานวิจัยต่างๆ (Nattharit Kuathan, Chatree Faikhamta, & Sudjit Sanguanruang, 2011) จึงเป็นแบบจำลองที่ผ่านการแสดงออก ทั้งนี้ เพราะนักเรียนได้เปิดเผยแบบจำลองทางความคิดของตนเองให้ผู้วิจัยและสาธารณชนได้รับทราบแล้ว

• แบบจำลองที่สอดคล้องกันภายในกลุ่ม (consensus model) คือ แบบจำลองทางความคิดที่บุคคลต่างๆ เปิดเผยสู่สาธารณะและเป็นที่ยอมรับกันภายในกลุ่มบุคคลเหล่านั้น ตัวอย่างเช่น เมื่อนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในโรงเรียนเดียวกันได้แสดง

ความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของอะตอม และพวกเขาเห็นสอดคล้องตรงกันว่าอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสขนาดเล็กตรงกลางและมีอิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียสนั้น (Porn-tip Supatchaiyawong, Chatree Faikhamta, & Pochanat Suwanruji, 2014) แบบจำลองเกี่ยวกับโครงสร้างของอะตอมเช่นนี้จึงเป็นแบบจำลองที่สอดคล้องกันภายในกลุ่มนักเรียน ซึ่งอาจเป็นที่ยอมรับในทางวิทยาศาสตร์หรือไม่ก็ได้

- แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (scientific model) คือ แบบจำลองทางความคิดที่เหล่านักวิทยาศาสตร์ให้การยอมรับ แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มักผ่านการทดสอบโดยนักวิทยาศาสตร์มาอย่างละเอียด จนกระทั่งนักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันเห็นพ้องต้องกัน ตัวอย่างเช่น นักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันยึดถือ “แบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอกอิเล็กตรอน” (cloud electron model of atom) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อาจเปลี่ยนแปลงได้ในอนาคต หากแบบจำลองนั้นไม่สามารถอธิบายกับหลักฐานที่เกิดขึ้นในอนาคตหรือนักวิทยาศาสตร์มีแบบจำลองอื่นที่สามารถอธิบายหลักฐานนั้นได้ดีกว่าแบบจำลองในปัจจุบัน

นอกจากนี้ Gilbert (2004) ยังได้จัดประเภทของแบบจำลองตามลักษณะภายนอก ได้แก่

- แบบจำลองที่เป็นรูปธรรม (concrete mode) หรือแบบจำลองที่เป็นวัสดุ (material mode) เป็นแบบจำลอง 3 มิติ ที่อยู่ในรูปแบบของวัสดุต่างๆ เช่น การใช้ลูกบอลและกึ่งไม้แทนโมเลกุลของสารต่างๆ การใช้พลาสติกแทนอวัยวะต่างๆ ในร่างกายมนุษย์ และการใช้วัสดุต่างๆ แทนโครงสร้างของไดโนเสาร์

- แบบจำลองในรูปแบบภาษา (verbal mode) เป็นแบบจำลองที่เป็นข้อความบรรยายความสัมพันธ์ของสิ่งต่างๆ ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบของภาษาพูดหรือภาษาเขียนก็ได้ เช่น ข้อความที่บรรยายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ข้อความที่บรรยายทฤษฎีจลน์ของแก๊ส และคำอธิบายการเกิดระบบสุริยะ แบบจำลองในรูปแบบนี้อาจอ้างถึงทั้งสิ่งที่เป็นรูปธรรม เช่น วัตถุ ภาษา และดาวเคราะห์ และสิ่งที่เป็นนามธรรม เช่น ความเร่ง โมเลกุล และแรงโน้มถ่วง

- แบบจำลองในรูปแบบสัญลักษณ์ (symbolic mode) เป็นแบบจำลองที่มีการใช้สัญลักษณ์ต่างๆ ที่นักวิทยาศาสตร์ตกลงร่วมกัน เช่น การใช้ C แทนอะตอมของคาร์บอน การใช้เส้นเล็กๆ แทนพันธะระหว่างอะตอม การใช้ลูกศรแทนแรง และการใช้สมการแทนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

- แบบจำลองในรูปแบบของแผนภาพและกราฟ (visual mode) เป็นแบบจำลองที่มีการใช้แผนภาพ 2 มิติ แทนกระบวนการที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เช่น การใช้แผนภาพที่ประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตและลูกศรเพื่อแทนการถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศ การใช้

แผนภาพรังสีของแสงแทนกระบวนการเกิดภาพจากกระจก และการใช้กราฟแทนความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลา แผนภาพเหล่านี้อาจอยู่ในรูปแบบของภาพวาดด้วยลายมือหรือภาพจากคอมพิวเตอร์ก็ได้

- แบบจำลองในรูปแบบของท่าทาง (gestural mode) เป็นแบบจำลองที่มีการใช้ส่วนต่างๆ ของร่างกายในการจำลองกระบวนการที่เกิดขึ้น เช่น การให้นักเรียนเคลื่อนที่ในกรณีต่างๆ ทั้งการเกี่ยวแขนกัน การจับมือกัน และการปล่อยมือกัน ทั้งนี้ เพื่อแทนการเคลื่อนที่ของอะตอมของสสารในสถานะของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ตามลำดับ และการใช้นิ้วมือแทนทิศทางของแรง (F) ความเร็วของอนุภาค (v) และสนามแม่เหล็ก (B) ในกรณีที่อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก

ในบริบทของการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ Harrison และ Treagust (2000) ได้จัดประเภทของแบบจำลองที่ครูมักใช้ในการจัดการเรียนการสอน ดังนี้

- แบบจำลองขนาด (scale model) เป็นแบบจำลองที่ย่อหรือขยายขนาดของสิ่งต่างๆ เช่น แบบจำลองไดโนเสาร์ แบบจำลองเซลล์ และแบบจำลองโครงสร้างร่างกายของมนุษย์ แบบจำลองแบบนี้มักถูกใช้เพื่อนำเสนอองค์ประกอบและโครงสร้างของสิ่งต่างๆ ที่นักเรียนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า

- แบบจำลองเชิงอุปมาอุปไมยเพื่อการสอน (pedagogical analogical model) เป็นแบบจำลองที่ครูใช้ประกอบคำอธิบายต่างๆ เพื่อให้นักเรียนเข้าใจกระบวนการเกิดปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้ง่ายและเป็นรูปธรรมยิ่งขึ้น เช่น การใช้ลูกบิ๊งบองแทนอะตอม การใช้หลอดไฟแทนดวงอาทิตย์ และการใช้ลูกบอลแทนดวงจันทร์ แบบจำลองแบบนี้มักมีสิ่งที่เป็นนามธรรมต่างๆ (เช่น พันธะระหว่างอะตอม และรังสีของแสง) รวมอยู่ในคำอธิบายด้วย

- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) เป็นแบบจำลองที่ครูใช้สมการและกราฟแทนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เช่น $PV = nRT$ แทนกฎของแก๊สในอุดมคติ และ $f = \mu N$ แทนกฎแรงเสียดทาน

- แบบจำลองทางทฤษฎี (theoretical model) เป็นแบบจำลองที่ครูใช้สัญลักษณ์ต่างๆ แทนสิ่งสมมติทางทฤษฎี เช่น การใช้ลูกศรแทนสนามแม่เหล็ก การใช้ลูกศรแทนรังสีของแสง การใช้ลูกศรแทนแรงที่กระทำต่อวัตถุ ทั้งนี้ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ

- แบบจำลองที่เป็นแผนภาพและตาราง (diagrams and tables) เป็นแบบจำลองที่ครูใช้เพื่อแสดงแบบแผนบางอย่างในปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น แผนภาพวัฏจักรของน้ำ แผนภาพการวิเคราะห์เครือข่ายติ ตารางธาตุ และแผนภาพอนุกรมวิธานของสัตว์

- แบบจำลองแนวคิดและกระบวนการ (concept-process model) เป็นแบบจำลองที่แสดงแนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการที่เกิดขึ้นในปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น การใช้สมการเคมีแทนปฏิกิริยาเคมี การใช้แผนภาพแทนกระบวนการหมุนเวียนของเลือด และ การใช้แผนภาพแทนการหักเหของแสง

- แบบจำลองคอมพิวเตอร์ (simulations) เป็นแบบจำลองที่ครูใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงพลวัตที่เกิดขึ้นในปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ซึ่งนักเรียนไม่สามารถสังเกตเห็นได้โดยตรงจากประสบการณ์ในชีวิตประจำวัน เช่น การใช้คอมพิวเตอร์จำลองการคัดเลือกโดยธรรมชาติ การใช้คอมพิวเตอร์จำลองปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบลูกโซ่ และ การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุในสภาพที่ไร้แรงโน้มถ่วงหรือไร้แรงเสียดทาน

(3) ความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ด้วยแบบจำลองมีบทบาทสำคัญในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ดังที่ Harrison และ Treagust (2000, p. 1013) กล่าวว่า “มันค่อนข้างจะเป็นไปไม่ได้ที่จะสอนและเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยปราศจากการใช้แบบจำลอง” นักวิจัยด้านการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จึงพยายามศึกษาว่า นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองอย่างไร โดยนักวิจัยเหล่านั้นมองว่า แบบจำลองเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ประเภทหนึ่ง และการสร้างแบบจำลองก็เป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้น นอกจากการเรียนรู้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ “จาก” แบบจำลอง (learning from models) แล้ว นักเรียนควรมีโอกาสได้เรียนรู้ที่จะสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ “ด้วย” แบบจำลอง (learning with models) และเรียนรู้ “เกี่ยวกับ” ธรรมชาติของแบบจำลอง และกระบวนการสร้างแบบจำลองด้วย (learning about models and modeling) (Hodson, 1992; Justi & Gilbert, 2002; Justi & van Driel, 2005)

Grosslight et al. (1991) ได้ริเริ่มศึกษาความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 33 คน นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 22 คน และผู้เชี่ยวชาญด้านแบบจำลอง จำนวน 4 คน ผลการวิจัยเปิดเผยว่า นักเรียนส่วนใหญ่ (โดยเฉพาะนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1) มีความเข้าใจว่า แบบจำลองมีลักษณะเหมือนกับของจริงทุกประการ ยกเว้นเพียงว่า แบบจำลองอาจมีขนาดที่เล็กหรือใหญ่กว่าของจริงเท่านั้น ความเข้าใจเช่นนี้แตกต่างจากความเข้าใจของผู้เชี่ยวชาญด้านแบบจำลอง ซึ่งมองว่า แบบจำลองเป็นสิ่งที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์บางอย่าง ดังนั้น แบบจำลองจึงไม่จำเป็นต้องเหมือนกับของจริงทุกประการ อย่างไรก็ตาม นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีแนวโน้มที่จะมีความเข้าใจที่สอดคล้องกับความเข้าใจของผู้เชี่ยวชาญมากขึ้น

ในทำนองเดียวกัน Treagust et al. (2002) พบว่า แม้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายส่วนใหญ่จากจำนวนทั้งหมด 228 คน เข้าใจถูกต้องว่า แบบจำลองของสิ่งเดียวกันมีได้หลายแบบ และแบบจำลองสามารถเปลี่ยนแปลงได้ แต่นักเรียนส่วนใหญ่ก็ยังคงมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนว่า แบบจำลองต้องมีลักษณะเหมือนกับของจริง ให้มากที่สุด ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนนี้เป็นผลมาจากการที่นักเรียนมีประสบการณ์เกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ยังไม่หลากหลายเพียงพอ นักเรียนคุ้นเคยเพียงแต่แบบจำลองทางกายภาพ (เช่น แบบจำลองโครงสร้างของหูก และแบบจำลองโครงสร้างของโลก) แต่ยังไม่คุ้นเคยกับแบบจำลองของสิ่งที่เป็นามธรรม (เช่น แบบจำลองการเกิดจักรวาล) ซึ่งแม้แต่นักวิทยาศาสตร์เองก็ไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนว่ากระบวนการจริงที่เกิดขึ้นเป็นอย่างไร

Gobert et al. (2011) ศึกษาความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 736 คน ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มได้เรียนรู้ด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ในวิชาใดวิชาหนึ่ง ผลการวิจัย “ก่อนเรียน” เปิดเผยว่า นักเรียนที่เรียนวิชาชีววิทยามีแนวโน้มที่จะเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์น้อยกว่านักเรียนที่เรียนวิชาฟิสิกส์และเคมี ในขณะที่ผลการวิจัย “หลังเรียน” เปิดเผยว่า นักเรียนที่เรียนวิชาเคมีมีแนวโน้มที่จะมีความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ดีขึ้น ในขณะที่นักเรียนที่เรียนวิชาฟิสิกส์และชีววิทยาไม่แสดงแนวโน้มนี้ ในการนี้ ผู้วิจัยให้เหตุผลว่าวิชาเคมีเป็นวิชาที่มีการใช้แบบจำลองค่อนข้างมาก และหลากหลาย (เมื่อเทียบกับวิชาฟิสิกส์และชีววิทยา) นอกจากนี้ เนื้อหาบางส่วนในวิชาเคมียังมีการอภิปรายธรรมชาติของแบบจำลองด้วย ผลการวิจัยนี้จึงให้มุมมองว่า

- ความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อาจเป็นความเข้าใจที่ขึ้นอยู่กับบริบทของวิชาวิทยาศาสตร์แต่ละสาขา (domain-specific understanding) ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับว่านักเรียนเคยมีประสบการณ์เกี่ยวกับแบบจำลองในวิชาวิทยาศาสตร์แต่ละสาขาอย่างไร

- การสอดแทรกเนื้อหาเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองอย่างชัดเจน (explicit instruction) สามารถช่วยพัฒนาความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

Lee, Chang และ Wu (2017) ศึกษาความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 102 คน และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 87 คน ทั้งนี้ เพื่อทดสอบว่านักเรียนเหล่านี้พิจารณาแบบจำลองต่างๆ อย่งไร ผลการวิจัยเปิดเผยว่า นักเรียนส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับลักษณะภายนอกของแบบจำลอง โดยนักเรียนมักเห็นว่า

- แบบจำลอง 3 มิติดีกว่าแบบจำลอง 2 มิติ
- แบบจำลองที่เป็นภาพดีกว่าแบบจำลองที่เป็นข้อความ
- แบบจำลองที่เป็นภาพเคลื่อนไหวดีกว่าแบบจำลองที่เป็นภาพนิ่ง
- แบบจำลองที่มีรายละเอียดมากกว่าแบบจำลองที่มีรายละเอียดน้อย

ทั้งนี้ เพราะนักเรียนมีแนวโน้มที่จะพิจารณาแบบจำลองด้วย “มุมมองด้านการเรียน” (learning perspective) ว่า แบบจำลองแบบใดช่วยให้ตนเองเรียนรู้สิ่งต่างๆ ได้ง่าย แต่นักเรียนไม่ได้มองแบบจำลองด้วย “มุมมองด้านการวิจัย” (research perspective) ว่า แบบจำลองถูกสร้างขึ้นด้วยวัตถุประสงค์ใด และมีส่วนช่วยในการสื่อสารความคิด ทดสอบสมมติฐาน และพยากรณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นอย่างไร ถึงกระนั้นก็ตาม นักเรียนในระดับการศึกษาที่สูงกว่า (ม. 5) มีแนวโน้มที่จะมีความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองที่สมบูรณ์กว่า นักเรียนในระดับการศึกษาที่ต่ำกว่า (ม. 2)

ในบริบทของประเทศไทยนั้น Porntip Supatchaiyawong et al. (2014) ได้สำรวจความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 29 คน จากโรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่ง และได้ผลการวิจัยที่สนับสนุนผลการวิจัยในต่างประเทศ โดยพวกเขาพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่เข้าใจบทบาทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในระดับที่ลึกซึ้งเพียงพอ นักเรียนเข้าใจเพียงว่าแบบจำลองถูกสร้างขึ้นเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ แต่นักเรียนยังไม่ตระหนักว่าแบบจำลองสามารถช่วยให้นักวิทยาศาสตร์พยากรณ์สิ่งที่เกิดขึ้นในธรรมชาติได้ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ นักเรียนบางส่วนยังตีความหมายของคำว่า “แบบจำลอง” ในมุมมองที่แคบว่าแบบจำลองจะเป็นเฉพาะวัตถุหรือสิ่งของเท่านั้น ทั้งๆ ที่ในทางวิทยาศาสตร์แล้ว แบบจำลองอาจเป็นแผนผัง รูปภาพ แผนภูมิ กราฟ หรือภาพวาดก็ได้

จากการวิจัยข้างต้น ข้อสรุปสำคัญคือ นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้นมักเข้าใจว่า แบบจำลองจำเป็นต้องมีลักษณะเหมือนของจริงทุกประการหรือเหมือนของจริงให้ได้มากที่สุด (Grosslight et al., 1991; Treagust et al., 2002) อย่างไรก็ตาม เมื่อนักเรียนอยู่ในระดับการศึกษาที่สูงขึ้น นักเรียนมีแนวโน้มที่จะเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น (Grosslight et al., 1991) นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายเริ่มเข้าใจว่า แบบจำลองไม่จำเป็นต้องเหมือนของจริงทุกประการ มีได้หลากหลาย และสามารถเปลี่ยนแปลงได้ (Lee et al., 2017; Treagust et al., 2002) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่นักเรียนมีประสบการณ์เกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลายมากขึ้น ถึงกระนั้นก็ตาม พัฒนาการด้านความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้น “ช้า” และ “ยาก” (Gobert et al., 2011, p. 675; 678) ยกเว้น

เสียดว่า ธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์จะได้รับการเน้นย้ำอย่างชัดเจน ในระหว่างการจัดการเรียนการสอน ซึ่งเป็นบทบาทที่สำคัญของครู ด้วยเหตุนี้ นักวิจัยด้านการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จึงสนใจศึกษาว่า ครูวิทยาศาสตร์มีความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองอย่างไร และใช้แบบจำลองในการจัดการเรียนการสอนอย่างไร

(4) ความเข้าใจและการปฏิบัติการสอนของครูเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ในการส่งเสริมให้นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ตลอดจนเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ครูจำเป็นต้องมีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และนำความเข้าใจนั้นไปจัดการเรียนการสอนได้อย่างเหมาะสม (Henze, van Driel, & Verloop, 2007; Justi & Gilbert, 2002) ตัวอย่างเช่น ในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เรื่องใดเรื่องหนึ่ง ครูจำเป็นต้อง :

- มีความเข้าใจเบื้องต้นว่า แบบจำลองคืออะไร แบบจำลองมีบทบาทอย่างไร ในการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ แบบจำลองมีข้อจำกัดอย่างไร เหตุใดแบบจำลองของปรากฏการณ์เดียวกันจึงมีได้หลากหลาย และเหตุใดเมื่อไรแบบจำลองจึงมีการเปลี่ยนแปลง
- รู้ว่าแบบจำลองในเนื้อหาวิทยาศาสตร์เรื่องนั้นเป็นอย่างไรและมีแบบใดบ้าง
- รู้ว่าตนเองควรนำเสนอแบบจำลองแบบใด เมื่อไร และอย่างไรในระหว่างการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เรื่องนั้น
- มีความสามารถและทักษะในการออกแบบและจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้สร้าง ใช้ และทดสอบแบบจำลองในเนื้อหาวิทยาศาสตร์เรื่องนั้น
- รู้และสามารถติดตามได้ว่า นักเรียนมีกระบวนการสร้างแบบจำลองอย่างไร และควรให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนอย่างไร

นักวิจัยด้านการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จึงมุ่งศึกษาว่า ครูวิทยาศาสตร์มีความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองอย่างไร และใช้แบบจำลองในการจัดการเรียนการสอนอย่างไร

ในการนี้ van Driel และ Verloop (1999) ได้สำรวจความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองของครูวิทยาศาสตร์ จำนวน 15 คน ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ผลการวิจัยปรากฏว่า ครูส่วนใหญ่ให้นิยามในลักษณะที่คล้ายกันว่า แบบจำลองคือสิ่งที่เป็นตัวแทนของของจริง (representation of reality) แต่อยู่ในรูปแบบที่ง่าย (simplified) และเป็นแบบแผน (schematic) โดยแบบจำลองของสิ่งหรือปรากฏการณ์เดียวกันสามารถมีได้หลากหลาย แต่กระนั้นก็ตาม ครูเหล่านี้กลับมีความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองที่จำกัด ทั้งนี้เพราะครูหลายคนเข้าใจว่าแบบจำลองมีหน้าที่หลักคือการ “บรรยาย” และ “อธิบาย” ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ครูเหล่านี้ละเลยว่า แบบจำลองมีบทบาทในการ “พยากรณ์”

และ “สร้างสมมติฐาน” เกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติด้วยเช่นกัน ด้วยความเข้าใจที่จำกัดนี้ ครูจึงใช้แบบจำลองเพื่อนำเสนอความรู้ทางวิทยาศาสตร์เป็นหลัก และละเลยการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ใช้แบบจำลองเพื่อพยากรณ์และสร้างสมมติฐานเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ผลการวิจัยนี้จึงเสนอแนะว่า ครูควรได้รับการพัฒนาให้เข้าใจบทบาทที่หลากหลายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ในทำนองเดียวกัน Justi และ Gilbert (2002) สัมภาษณ์ผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ในประเทศบราซิล จำนวน 39 คน เกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยผู้สอนเหล่านี้ประกอบด้วยครูระดับประถมศึกษา 10 คน ครูระดับมัธยมศึกษา 10 คน นักศึกษาครู 10 คน และอาจารย์มหาวิทยาลัย 9 คน ผลการวิจัยเปิดเผยว่า ถึงแม้ว่าผู้สอนเหล่านี้จะตระหนักและเห็นคุณค่าของการใช้แบบจำลองในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ แต่พวกเขามักใช้แบบจำลองเพื่อนำเสนอเนื้อหาหรือแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น พวกเขาแทบไม่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้สร้าง ใช้ และทดสอบแบบจำลอง โดยผู้สอนจำนวนหนึ่งให้เหตุผลว่า พวกเขาไม่รู้จะจัดการกับแบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้นอย่างไร หากแบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้นไม่สอดคล้องกับแบบจำลองที่เป็นที่ยอมรับในทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยนี้สะท้อนว่า ครูจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาให้มี “ความรู้ด้านเนื้อหาผลงานวิธีสอน” (pedagogical content knowledge) (Shulman, 1986) สำหรับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่เน้นการสร้าง ใช้ และทดสอบแบบจำลอง

จากการศึกษาความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองของครูวิทยาศาสตร์ก่อนหน้า (van Driel & Verloop, 1999) van Driel และ Verloop (2002) ได้ทำการสัมภาษณ์ครูวิทยาศาสตร์ จำนวน 7 คน (ครูชีววิทยา 4 คน และครูเคมี 3 คน) ทั้งนี้ เพื่อศึกษาเพิ่มเติมว่า ในกรณีที่ครูวิทยาศาสตร์มีการใช้แบบจำลองในการจัดการเรียนการสอน พวกเขามีการใช้แบบจำลองอย่างไร และรูปแบบการใช้แบบจำลองในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เกี่ยวข้องกับวิชาและประสบการณ์สอนหรือไม่ ผลการวิจัยเปิดเผยว่า ครูกลุ่มหนึ่ง จำนวน 4 คน (ครูชีววิทยา 2 คน และครูเคมี 2 คน) ใช้แบบจำลองเพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดที่เป็นนามธรรมได้ง่ายขึ้น จุดเน้นของการใช้แบบจำลองของครูเหล่านี้จึงอยู่ที่การนำเสนอเนื้อหาหรือแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ในขณะที่ครูอีกกลุ่มหนึ่ง จำนวน 3 คน (ครูชีววิทยา 2 คน และครูเคมี 1 คน) ส่งเสริมให้นักเรียนได้สร้าง ใช้ และทดสอบแบบจำลองด้วยตนเอง นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลภูมิหลังของครูทั้งสองกลุ่มแล้ว พวกเขาพบว่า รูปแบบการใช้แบบจำลองไม่เกี่ยวข้องกับวิชาที่ครูเหล่านี้สอน และไม่เกี่ยวข้องกับประสบการณ์สอน พวกเขาจึงยืนยันว่า ครูวิทยาศาสตร์ควรได้รับการพัฒนาให้สามารถจัดการเรียนการสอนที่เน้นให้นักเรียนได้สร้าง ใช้ และทดสอบแบบจำลอง

Lin (2013) ศึกษาความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่ของแบบจำลองและกระบวนการสร้างแบบจำลองของครูระดับประถมศึกษาในเมืองหลวงของไต้หวัน จำนวน 187 คน ซึ่งประกอบด้วยครูที่จบวิชาเอกวิทยาศาสตร์ (94 คน) และครูที่ไม่จบเอกวิทยาศาสตร์ (93 คน) ทั้งนี้ เพื่อเปรียบเทียบว่า ครูทั้งสองกลุ่มมีความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองที่แตกต่างกันหรือไม่ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามแบบมาตราส่วนประเมินค่า 4 ระดับ จำนวน 16 ข้อ เปิดเผยว่า ครูทั้งสองกลุ่มมีความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองที่ไม่แตกต่างกันแทบทุกข้อ ยกเว้นข้อเดียวที่กล่าวถึงหน้าที่ของแบบจำลองในการสร้างความคิด (สมมติฐาน) ใหม่ ๆ โดยครูที่ไม่จบเอกวิทยาศาสตร์มีความเข้าใจที่ดีกว่าครูที่จบเอกวิทยาศาสตร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในกรณีนี้ ผู้วิจัยจึงสัมภาษณ์ครูเพิ่มเติมและพบว่า ครูทั้งสองกลุ่มมีแนวโน้มที่จะ “เห็นด้วย” กับข้อความในแบบสอบถาม ซึ่งไม่มีข้อความใดเป็นนิเสธ ข้อมูลส่วนใหญ่จากแบบสอบถามของครูทั้งสองกลุ่มจึงไม่แตกต่างกันแต่ในระหว่างการตอบแบบสอบถาม ครูที่จบเอกวิทยาศาสตร์มักมีแบบจำลองบางอย่างอยู่ในใจ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เน้นการอธิบายความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (เช่น แบบจำลองขนาด) ดังนั้นเมื่อข้อคำถามไม่สอดคล้องกับแบบจำลองในใจของครูที่จบเอกวิทยาศาสตร์ พวกเขาจึงมีแนวโน้มที่จะ “ไม่เห็นด้วย” กับข้อคำถามที่กล่าวถึงหน้าที่ของแบบจำลองในการสร้างความคิดใหม่มากกว่าครูที่ไม่จบเอกวิทยาศาสตร์

Harrison (2001) ตั้งสมมติฐานว่า การนำเสนอแบบจำลองตามที่ปรากฏในหนังสือเรียนอาจมีผลต่อรูปแบบการใช้แบบจำลองของครูในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เขาจึงสัมภาษณ์ครูที่สอนวิทยาศาสตร์สาขาต่างๆ (ฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา) จำนวน 10 คน ร่วมกับการวิเคราะห์แบบจำลองที่ปรากฏในหนังสือเรียนที่ครูเหล่านี้ใช้ประกอบการเรียนการสอน ผลการวิจัยเปิดเผยถึง “...ความเชื่อมโยงกันระหว่างวิธีการที่หนังสือเรียนนำเสนอแบบจำลองและวิธีการที่ครูจัดการเรียนการสอนด้วยแบบจำลอง” (หน้าที่ 428) เนื่องจากหนังสือเรียนส่วนใหญ่นำเสนอแบบจำลองโดยปราศจากการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองกับของจริง ข้อจำกัดของแบบจำลองและกระบวนการสร้างแบบจำลอง ครูหลายคนจึงไม่ตระหนักว่าสิ่งที่ตนเองอ้างถึงในการจัดการเรียนการสอนเป็นแบบจำลอง ตัวอย่างเช่น ครูเคมีอาจพูดถึง “สูตรโมเลกุล” ครูชีววิทยาอาจพูดถึง “ทฤษฎีวิวัฒนาการ” และครูฟิสิกส์อาจพูดถึง “รังสีของแสง” ราวกับว่าสิ่งเหล่านี้คือของจริง ทั้ง ๆ ที่พวกมันเป็นแบบจำลองที่นักวิทยาศาสตร์สร้างขึ้นเพื่อศึกษาและทำความเข้าใจปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้ ผลการวิจัยนี้จึงเสนอแนะให้ผู้แต่งหนังสือเรียน “เน้นย้ำลักษณะที่เหมือนและไม่เหมือนของแบบจำลองที่พวกเขาใช้ในการอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์” (หน้าที่ 432)

Henze et al. (2007) ศึกษาความรู้ของครูวิทยาศาสตร์ 9 คน (ครูฟิสิกส์ 3 คน ครูเคมี 3 คน และครูชีววิทยา 3 คน) ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ทั้งนี้ เพื่อกำหนดองค์ความรู้ที่เหมาะสมกับการจัดการเรียนการสอน “ด้วย” แบบจำลอง ในการนี้ พวกเขาจำแนกครูวิทยาศาสตร์ออกเป็น 2 กลุ่ม ซึ่งมีความรู้เกี่ยวกับแบบจำลองที่แตกต่างกัน ครูกลุ่มแรกแม้มีความรู้เกี่ยวกับแบบจำลอง แต่ความรู้เหล่านั้นเป็นความรู้ที่เน้นการใช้แบบจำลองเพื่อนำเสนอความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างเช่น ครูกลุ่มนี้รู้ว่าตนเองควรใช้แบบจำลองอะไรเพื่อนำเสนอแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ให้นักเรียนเข้าใจได้ง่ายขึ้น และนักเรียนมักประสบปัญหาอะไรในการทำ ความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่แฝงอยู่ในแบบจำลองนั้น ในขณะที่ครูอีกกลุ่มหนึ่งมีความรู้เกี่ยวกับแบบจำลองที่เน้นให้นักเรียนได้สร้าง ใช้ และทดสอบแบบจำลองด้วยตัวเอง ตัวอย่างเช่น ครูกลุ่มนี้รู้ว่าตนเองควรใช้คำถามและเทคนิคอะไรในการกระตุ้นให้นักเรียนได้แสดงแบบจำลองทางความคิด ประเมินแบบจำลองทางความคิด และปรับเปลี่ยนแบบจำลองทางความคิดให้สอดคล้องกับหลักฐานต่างๆ ในการนี้ พวกเขาเห็นว่าความเชื่อเกี่ยวกับการเรียนรู้มีบทบาทสำคัญที่จะกำหนดว่าครูจะใช้แบบจำลองในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์อย่างไร

จากการวิจัยข้างต้น ข้อสรุปสำคัญคือ ครูวิทยาศาสตร์มีมุมมองต่อแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่จำกัด กล่าวคือ ครูวิทยาศาสตร์มักมองแบบจำลองในฐานะสิ่งที่จะช่วยในการบรรยายและอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (van Driel & Verloop, 1999) และละเลยการมองแบบจำลองในฐานะตัวช่วยในการพยากรณ์และสร้างสมมติฐานใหม่เกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (van Driel & Verloop, 2002) การละเลยนี้ทำให้ครูวิทยาศาสตร์ไม่ได้เปิดโอกาสให้นักเรียนได้สร้าง ใช้ ทดสอบ และปรับเปลี่ยนแบบจำลอง (Justi & Gilbert, 2002) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Gilbert, 2004) ปัจจัยหลายอย่างทำให้ครูวิทยาศาสตร์มีแนวโน้มเช่นนี้ ไม่ว่าจะเป็นความเชื่อเกี่ยวกับการเรียนรู้ (Henze et al., 2007) และการนำเสนอแบบจำลองในหนังสือเรียน (Harrison, 2001) ที่ยังคงยึดติดกับการถ่ายทอดความรู้ นอกจากนี้ ครูวิทยาศาสตร์หลายคนยังมีความรู้ที่จำกัดเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนด้วยแบบจำลอง (Justi & Gilbert, 2002; Henze et al., 2007) การกำหนดแนวทางการจัดการเรียนการสอนด้วยแบบจำลองและการพัฒนาครูให้สามารถจัดการเรียนการสอนด้วยแบบจำลองจึงกลายเป็นเรื่องสำคัญ (Lin, 2013)

(5) แนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ด้วยแบบจำลอง

ด้วยความสำคัญของแบบจำลองในการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ นักวิจัยด้านการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จึงพยายามคิดค้นแนวทางการจัดการเรียนการสอนที่เน้นให้นักเรียนได้สร้าง ใช้ ทดสอบ และปรับเปลี่ยนแบบจำลองทางความคิดมากขึ้น

ดังเช่นที่ Oh และ Oh (2011, p. 1121) เสนอแนะไว้ว่า “การใช้แบบจำลองในห้องเรียนวิทยาศาสตร์ควรไปให้ไกลกว่าวิธีการแบบเดิมๆ ซึ่งเน้นการถ่ายทอดความรู้ด้านเนื้อหาในแบบจำลองที่เป็นที่ยอมรับทางวิทยาศาสตร์” แต่แนวทางหลักในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่ได้รับความนิยมคือ “วัฏจักรการสืบเสาะแบบ 5Es” (Bybee et al., 2006) ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การสร้างความสนใจ (2) การสำรวจตรวจสอบ (3) การสร้างคำอธิบาย (4) การขยายหรือต่อยอดความคิด และ (5) การประเมินผล ถึงแม้ว่าขั้นตอนเหล่านี้มีการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดของตนเอง แต่ไม่มีการกล่าวถึงบทบาทของแบบจำลองอย่างชัดเจน ครูหลายคนจึงอาจจะเลยการให้นักเรียนได้สร้างแบบจำลอง และเน้นย้ำให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Akerson et al., 2009) แนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่เน้นย้ำบทบาทของแบบจำลองจะช่วยให้ครูเห็นความสำคัญและเข้าใจบทบาทของแบบจำลองในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ด้วยการสืบเสาะมากขึ้น

ในการนี้ Schwarz et al. (2009) ได้เสนอแนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ด้วยแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ได้แก่

- (1) ขั้นนำเสนอปรากฏการณ์ (anchor phenomena) ซึ่งครูนำเสนอปรากฏการณ์พร้อมทั้งคำถาม เพื่อให้นักเรียนสร้างแบบจำลองที่จะอธิบายว่าปรากฏการณ์นั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร
- (2) ขั้นสร้างแบบจำลอง (construct a model) ซึ่งครูเปิดโอกาสให้นักเรียนสร้างแบบจำลองตามความรู้เดิมของตนเอง
- (3) ขั้นทดสอบแบบจำลองด้วยหลักฐาน (empirically test the model) ซึ่งนักเรียนทำการสืบเสาะเพื่อเก็บรวบรวมหลักฐาน ทั้งนี้ เพื่อทดสอบว่าแบบจำลองนั้นสอดคล้องกับหลักฐานหรือไม่
- (4) ขั้นประเมินแบบจำลอง (evaluate the model) ซึ่งนักเรียนนำหลักฐานต่างๆ มาแลกเปลี่ยนกัน ทั้งนี้ เพื่อประเมินว่าแบบจำลองของตนเองควรเป็นที่ยอมรับบนพื้นฐานของหลักฐานเหล่านั้นหรือไม่
- (5) ขั้นเปรียบเทียบแบบจำลองของตนเองกับของผู้อื่น (test the model against other ideas) ซึ่งนักเรียนทั้งชั้นนำแบบจำลองต่างๆ มาเปรียบเทียบกับบนพื้นฐานของหลักฐานต่างๆ
- (6) ขั้นปรับปรุงแบบจำลอง (revise the model) ซึ่งนักเรียนกลับมาทบทวนแบบจำลองของตนเอง และปรับปรุงแบบจำลองของตนเองให้สอดคล้องกับหลักฐานมากขึ้นและอธิบายปรากฏการณ์นั้นได้ดีขึ้น

(7) ใช้แบบจำลองเพื่อพยากรณ์หรืออธิบายปรากฏการณ์ (use the model to predict or explain) ซึ่งนักเรียนนำแบบจำลองที่ผ่านการปรับปรุงแล้วไปพยากรณ์หรืออธิบายปรากฏการณ์อื่นๆ ที่ใกล้เคียงกัน

ในทำนองเดียวกัน Schwarz และ White (2005, p. 172) มองว่า การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เป็น “กระบวนการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลองที่เป็นคู่แข่งกัน” ดังนั้น พวกเขาจึงเสนอแนวทางการจัดการเรียนการสอนเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ ซึ่งเน้นให้นักเรียนได้สร้าง เปรียบเทียบ และทดสอบแบบจำลอง ดังนี้

(1) ขั้นตั้งคำถาม (question) ซึ่งครูตั้งคำถามที่น่าสนใจกับนักเรียนเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น การเคลื่อนที่ของวัตถุใน 1 มิติ ในสถานการณ์อุดมคติ (ไม่มีแรงเสียดทาน) เป็นอย่างไร

(2) ขั้นตั้งสมมติฐาน (hypothesize) ซึ่งนักเรียนใช้ความรู้และประสบการณ์เดิมของตนเองเพื่อตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในสถานการณ์นั้น

(3) ขั้นสำรวจตรวจสอบ (investigate) ซึ่งนักเรียนทำการสำรวจตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุ ทั้งจากวัสดุอุปกรณ์จริงและจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

(4) ขั้นวิเคราะห์ (analyze) ซึ่งนักเรียนวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจตรวจสอบ

(5) ขั้นสร้างแบบจำลอง (model) ซึ่งนักเรียนนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลมาสร้างเป็นแบบจำลองในรูปแบบกฎหรือสมการที่บรรยายความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อวัตถุและการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้น

(6) ขั้นประเมิน (evaluate) ซึ่งนักเรียนประเมินข้อจำกัดของแบบจำลองที่ตนเองสร้างขึ้นภายใต้สถานการณ์อื่นๆ ที่ซับซ้อนขึ้น เช่น การเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่มีแรงเสียดทาน การเคลื่อนที่ 2 มิติ และการเคลื่อนที่ภายใต้สนามโน้มถ่วง

Rea-Ramirez, Clement และ Nunez-Oviedo (2008) เสนอวัฏจักร GEM สำหรับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ด้วยแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอนได้แก่

(1) ขั้นสร้างแบบจำลอง (generation) ซึ่งนักเรียนได้สร้างแบบจำลองของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ

(2) ขั้นประเมินแบบจำลอง (evaluation) ซึ่งนักเรียนประเมินแบบจำลองบนพื้นฐานของหลักฐาน

(3) ขั้นปรับปรุงแบบจำลอง (modification) ซึ่งนักเรียนปรับปรุงแบบจำลองให้สอดคล้องกับหลักฐานมากขึ้น

ด้วยวัฏจักรการสร้าง ประเมิน และปรับปรุงแบบจำลองบนพื้นฐานของหลักฐานต่างๆ นักเรียนจะค่อยพัฒนาความเข้าใจของตนเองให้สอดคล้องกับแนวคิด

ทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น ในการนี้ Chatree Faikhamta และ Porntip Supatchaiyawong (2014, p. 92) ได้นำแนวทางนี้มาต่อยอดโดยการเพิ่ม “ชั้นขยายแบบจำลอง” (elaboration) ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่นักเรียนจะมีโอกาสได้นำ “แบบจำลองที่ผ่านการดัดแปลงแก้ไขแล้ว มาอธิบายและทำนายปรากฏการณ์...หรือสถานการณ์อื่น” ทั้งนี้เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของแบบจำลองนั้น

เนื่องจากแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งในองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (นักวิทยาศาสตร์ใช้แบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ) และมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (นักวิทยาศาสตร์ใช้แบบจำลองในการศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ) ดังนั้น การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ด้วยแบบจำลองสามารถส่งเสริมให้นักเรียนได้เข้าใจ “ธรรมชาติของความรู้ทางวิทยาศาสตร์” (Nature of scientific knowledge) และ “ธรรมชาติของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์” (Nature of scientific inquiry) ได้เช่นกัน (Akerson et al., 2009) โดยครูอาจจำเป็นต้องเน้นย้ำลักษณะสำคัญเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจน (Gobert et al., 2011; Luecha Ladachart et al., 2013) ว่า :

- ในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์ต้องอาศัยหลักฐานเชิงประจักษ์ ดังนั้น แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ส่วนหนึ่งจึงมีพื้นฐานมาจากหลักฐานเชิงประจักษ์ (empirical nature of scientific models and modeling)
- ในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องลงข้อสรุปจากหลักฐานเชิงประจักษ์ ร่วมกับการใช้จินตนาการและความคิดสร้างสรรค์ (inferential, imaginative, and creative nature of scientific models and modeling)
- นักวิทยาศาสตร์อาจสร้างแบบจำลองของปรากฏการณ์เดียวกันได้ไม่เหมือนกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของนักวิทยาศาสตร์ ดังนั้น ปรากฏการณ์เดียวกันอาจมีแบบจำลองได้มากกว่าหนึ่ง (subjective nature of scientific models and modeling)
- แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งที่ชั่วคราวที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ (tentative nature of scientific models and modeling)

ความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองจะช่วยให้นักเรียนเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้อย่างมีความหมายมากขึ้น (Schwarz & White, 2005; Porntip Supatchaiyawong et al., 2014)

(6) การผลิตและพัฒนาครูเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

นอกจากการสร้างแนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ด้วยแบบจำลองแล้ว นักวิจัยด้านการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตระหนักดีว่า หากครูยังขาดความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (ดังที่ปรากฏในหัวข้อเรื่อง ความเข้าใจ

และการปฏิบัติการสอนของครูเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์) ครูเหล่านั้นก็ไม่สามารถจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตามแนวทางนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะส่งผลให้นักเรียนไม่เข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (ดังที่ปรากฏในหัวข้อเรื่องความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์) นักวิจัยด้านการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จึงพยายามจัดกิจกรรมรูปแบบต่างๆ เพื่อผลิตและพัฒนาครูวิทยาศาสตร์ให้มีความสามารถด้านนี้ โดยกิจกรรมการพัฒนาครูอาจอยู่ในรูปแบบการอบรมเชิงปฏิบัติการให้กับครู (Akerson et al., 2009) การให้ครูทำวิจัยปฏิบัติการ (Justi & van Driel, 2005) และการสอดแทรกความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองในระหว่างที่ครูทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Crawford & Cullin, 2004; Windschittl & Thompson, 2006) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

Crawford และ Cullin (2004) พยายามส่งเสริมให้นักศึกษาวิชาชีพครู จำนวน 14 คน มีความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยในช่วงแรกของการวิจัยพวกเขาพบว่า นักศึกษาเหล่านี้มีมุมมองต่อแบบจำลองในฐานะตัวช่วยในการจัดการเรียนการสอน (a pedagogical view of models) ในมุมมองนี้ แบบจำลองถูกมองเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ครูถ่ายทอดความรู้ทางวิทยาศาสตร์ให้นักเรียนเข้าใจได้ง่ายขึ้นเท่านั้น นักศึกษาเหล่านั้นไม่ได้มองแบบจำลองในฐานะสิ่งที่จะช่วยให้ตนเองเรียนรู้และสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้ พวกเขาจึงเปิดโอกาสให้นักศึกษาได้ออกแบบการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ สร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และอภิปรายเกี่ยวกับลักษณะสำคัญของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ จนกระทั่งเมื่อใกล้สิ้นภาคการศึกษา พวกเขาประเมินความเข้าใจของนักศึกษากลุ่มนี้อีกครั้ง ผลการวิจัยปรากฏว่า แม้นักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงมุมมองไปในทิศทางที่ดีขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่มีนักศึกษาคนใดเลยที่มีความเข้าใจที่สมบูรณ์เกี่ยวกับแบบจำลอง ผลการวิจัยนี้สะท้อนว่า การเปลี่ยนแปลงความคิดเกี่ยวกับแบบจำลองเป็นเรื่องที่ต้องอาศัยเวลาและความพยายาม

Windschittl และ Thompson (2006) ใช้เวลา 11 สัปดาห์ในการส่งเสริมให้นักศึกษาวิชาชีพครูวิชาเอกวิทยาศาสตร์ จำนวน 21 คน มีความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ในกรณีนี้ พวกเขาใช้กิจกรรมการเรียนรู้ที่หลากหลาย ทั้งการทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่มีการสร้างและใช้แบบจำลอง การศึกษาเอกสารและการอภิปรายกลุ่มเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ การมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ และการออกแบบกิจกรรมการเรียนการสอนที่มีการสร้างและใช้แบบจำลอง ผลการวิจัยเปิดเผยว่า การจัดการเรียนการสอนที่มีแบบจำลองเป็นจุดเน้น สามารถช่วยพัฒนาให้นักศึกษามีความเข้าใจที่ดีขึ้นเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตาม นักศึกษาหลายคนยังไม่สามารถนำแบบจำลองไปใช้เป็นกรอบแนวคิดของ

การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ นักศึกษาส่วนใหญ่ยังคงเข้าใจว่า แบบจำลองมีหน้าที่เพื่อนำเสนอความคิดให้ผู้อื่นเข้าใจได้ง่ายขึ้นเท่านั้น มีนักศึกษาเพียง 2-3 คนที่เข้าใจว่าแบบจำลองเป็นเครื่องมือสำหรับการสร้างทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานสำหรับการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์

ผลการวิจัยข้างต้นสะท้อนให้เห็นอุปสรรคสำคัญของการเรียนรู้เกี่ยวกับบทบาทของแบบจำลองในการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากนักศึกษาจำนวนหนึ่งมีความเชื่อว่า การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องเป็นไปตามลำดับขั้นตอนของ “วิธีการทางวิทยาศาสตร์” (the scientific method) ซึ่งประกอบด้วย (1) การกำหนดปัญหา (2) การตั้งสมมติฐาน (3) การเก็บรวบรวมข้อมูล (4) การวิเคราะห์ข้อมูล และ (5) การสรุปผล ซึ่งไม่มีการกล่าวถึงแบบจำลองอย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้ นักศึกษาเหล่านี้จึงไม่ตระหนักว่าแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์อย่างไร ทั้งๆ ที่ในความเป็นจริงแล้ว แบบจำลองมีบทบาทสำคัญในการช่วยให้นักวิทยาศาสตร์ตั้งคำถามและสมมติฐานเกี่ยวกับสิ่งที่ตนเองสนใจศึกษา และเมื่อนักศึกษาทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์จนกระทั่งพวกเขาได้ข้อสรุปออกมาแล้ว นักศึกษาส่วนใหญ่ไม่สามารถให้เหตุผลที่เชื่อมโยงข้อสรุปนั้นกับแบบจำลองได้ (model-based reasoning) ผลจากการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์จึงเป็นการลงข้อสรุปอย่างผิวเผินเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และไม่ได้ลงลึกถึงระดับของการยืนยันหรือปฏิเสธแบบจำลอง Windschitl และ Thompson (2006) จึงตั้งข้อสังเกตว่า ถึงแม้ว่าวิธีการทางวิทยาศาสตร์จะให้แนวทางเบื้องต้นแก่นักศึกษาในการพัฒนากิจกรรมการเรียนการสอนในชั้นเรียน แต่ในขณะเดียวกัน มันก็อาจทำให้นักศึกษาละเลยบทบาทของแบบจำลองที่มีต่อกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์

Akerson et al. (2009) จัดการอบรมเชิงปฏิบัติการเป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อพัฒนาครูระดับประถมศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ธรรมชาติของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ และธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ในการนี้ ครูได้เขียนแผนการจัดการเรียนรู้ตามวัฏจักร 5Es ร่วมกัน ทั้งนี้ เพื่อหาโอกาสที่เหมาะสมในการสอดแทรกความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ธรรมชาติของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ และธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ จากการติดตามความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และการจัดการเรียนการสอนของครู จำนวน 4 คน พวกเขาพบว่า ถึงแม้ว่าครูให้นิยามของคำว่า “แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์” ที่สมบูรณ์มากขึ้น แต่ครูยังมองแบบจำลองในฐานะตัวช่วยในการแสดง สื่อสาร หรือนำเสนอแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยครูมักใช้แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในชั้น “การขยายหรือต่อยอดความคิด” ทั้งนี้ เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ และเพื่อประเมินความเข้าใจด้านเนื้อหาของนักเรียน ผลการวิจัยนี้สะท้อนว่า การส่งเสริมให้

นักเรียนใช้แบบจำลองเพื่อเป็นกรอบแนวคิดในการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เป็นเรื่องท้าทายสำหรับครู

Justi และ van Driel (2005) ส่งเสริมให้ครูวิทยาศาสตร์คนหนึ่งทำการวิจัยปฏิบัติการ (action research) เพื่อเรียนรู้เกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนด้วยแบบจำลองจากการปฏิบัติจริง โดยก่อนหน้าที่ครูคนนี้จะทำวิจัยปฏิบัติการ ครูคนนี้ได้เข้าร่วมกิจกรรมการพัฒนาครูเกี่ยวกับแบบจำลอง ซึ่งเปิดโอกาสให้ครูได้เรียนรู้เกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และตระหนักถึงความสำคัญของแบบจำลองที่มีต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยปรากฏว่า ถึงแม้ว่าครูคนนี้จะมีความเข้าใจที่ไม่สมบูรณ์เกี่ยวกับแบบจำลอง (แบบจำลองมีหน้าที่เพื่อแสดงหรือนำเสนอแนวคิดทางวิทยาศาสตร์) และกังวลกับการจัดการเรียนการสอนตามแนวทางนี้ แต่เมื่อเธอได้ลองไปปฏิบัติการสอนจริง เธอได้เรียนรู้เกี่ยวกับแบบจำลองด้วยมุมมองที่ลุ่มลึกมากขึ้น (แบบจำลองเป็นพื้นฐานในการตีความหมายข้อมูล) และเธอรู้สึกมั่นใจมากขึ้น ถึงกระนั้นก็ตาม ผลการวิจัยเปิดเผยว่าการเรียนรู้ของครูคนนี้ได้เกิดขึ้นโดยง่ายและตรงไปตรงมา ความรู้หลายด้าน เช่น ความรู้ด้านเนื้อหา ความรู้ด้านหลักสูตร และความรู้ด้านวิธีสอน จำเป็นต้องพัฒนาไปพร้อมๆ กัน

จากการวิจัยข้างต้น ข้อสรุปสำคัญคือว่า การส่งเสริมให้ครูมีความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองและสามารถจัดการเรียนการสอนด้วยแบบจำลองยังคงเป็นเรื่องท้าทาย ทั้งนี้เพราะครูเองยังคงมีความเข้าใจที่จำกัดเกี่ยวกับแบบจำลอง โดยครูส่วนใหญ่มองว่าแบบจำลองเป็นเพียงเครื่องมือที่ช่วยในการสื่อสารแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (Crawford & Cullin, 2004) ครูเหล่านี้ไม่ได้มองว่าแบบจำลองเป็นกรอบแนวคิดในการตั้งคำถามและสมมติฐาน อันจะนำไปสู่การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ยิ่งไปกว่านั้น การนำเสนอ “วิธีการทางวิทยาศาสตร์” และ “วัฏจักรการสืบเสาะ 5Es” ก็ไม่ได้เน้นบทบาทของแบบจำลองในกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Akerson et al., 2009; Windschitl & Thompson, 2006) ด้วยข้อจำกัดเหล่านี้ การเรียนรู้เกี่ยวกับแบบจำลองจึงเป็นเรื่องที่ครูต้องอาศัยเวลา (Justi & van Driel, 2005) การเปิดโอกาสให้ครูได้เรียนรู้เกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองอย่างชัดเจน (Windschitl & Thompson, 2006) ร่วมกับการออกแบบแผนการจัดการเรียนการสอนด้วยแบบจำลอง (Akerson et al., 2009) และนำแผนการจัดการเรียนการสอนนั้นไปปฏิบัติจริง (Justi & van Driel, 2005) มีศักยภาพในการพัฒนาครูในด้านนี้

บทสรุป

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้แบบจำลองในการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ ผลโดยทั่วไปปรากฏว่า ทั้งนักเรียนและครูมีความเข้าใจที่จำกัดเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนมีแนวโน้มที่จะเข้าใจว่าแบบจำลองควรมีลักษณะที่เหมือนนักบของจริงทุกประการ (Grosslight et al., 1991) ซึ่งเป็นมุมมองที่ Lee et al. (2017) เรียกว่า “มุมมองด้านการเรียน” (learning perspective) ด้วยการมองแบบจำลองเพื่อเรียนรู้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่แฝงอยู่ในแบบจำลอง นักเรียนจึงคิดว่ายิ่งแบบจำลองเหมือนของจริงมากเท่าไร ตนเองก็จะยิ่งเข้าใจของจริงได้ง่ายและครบถ้วนมากขึ้นเท่านั้น ในขณะที่ครูส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะมี “มุมมองด้านการสอน” (pedagogical perspective) (Crawford & Cullin, 2004) ซึ่งเป็นการมองแบบจำลองในฐานะเครื่องมือถ่ายทอดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ให้นักเรียนเข้าใจได้ง่ายขึ้น ดังนั้น ครูจึงอาจคิดไปว่ายิ่งแบบจำลองมีรายละเอียดชัดเจนมากเท่าไร นักเรียนก็จะเรียนรู้เกี่ยวกับของจริงได้ง่ายขึ้นเท่านั้น ทั้งสองมุมมองเป็นผลมาจากจุดเน้นด้านเนื้อหาของจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

ในการมองแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ สิ่งที่ทั้งครูและนักเรียนมักละเลยไปก็คือ “มุมมองด้านการวิจัย” (research perspective) (Lee et al., 2017) ซึ่งเป็นการมองแบบจำลองในฐานะเครื่องมือในการทำวิจัยทางวิทยาศาสตร์ (การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์) ทั้งนี้ เพราะแบบจำลองมีบทบาทสำคัญในการเป็นกรอบแนวคิดในการตั้งคำถามและสมมติฐานทางวิทยาศาสตร์ (Gilbert, 2004) ดังนั้น เมื่อนักวิทยาศาสตร์ได้ทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์จนได้ข้อสรุปแล้ว นักวิทยาศาสตร์จึงต้องนำข้อสรุปนั้นมาเชื่อมโยงหรืออ้างอิงกับแบบจำลอง ทั้งนี้ เพื่อประเมินและตัดสินใจว่าแบบจำลองนั้นถูกต้องหรือมีจุดบกพร่องหรือไม่และอย่างไร (Windschitl & Thompson, 2006) ด้วยกระบวนการนี้ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์จึงก้าวหน้าขึ้นได้ (Schwarz & White, 2005) การละเลยมุมมองด้านการวิจัยนี้อาจเป็นผลมาจากประสบการณ์การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่ครูและนักเรียนเหล่านี้ได้รับมาในอดีต ซึ่งยังไม่ได้นับบทบาทของแบบจำลองมากนัก ดังนั้น หากหลักสูตรวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันต้องการพัฒนาให้นักเรียนสามารถทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีความหมายแล้ว ครูจำเป็นต้องเน้นให้นักเรียนเห็นถึงบทบาทของแบบจำลองให้ชัดเจนมากขึ้น

ในการนี้ ครูสามารถทำได้โดยการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้สร้าง ใช้ ทดสอบ และปรับปรุงแบบจำลอง (Rea-Ramirez et al., 2008; Schwarz & White, 2005; Schwarz et al., 2009) ตลอดจนเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ใช้แบบจำลองด้วยวัตถุประสงค์ที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสาร การบรรยาย การอธิบาย

และการพยากรณ์เกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (Oh & Oh, 2011) พร้อมกันนี้ ครูต้องเน้นย้ำให้นักเรียนได้เข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ว่า การสร้างแบบจำลองเป็นไปตามวัตถุประสงค์ ปรากฏการณ์หนึ่งอาจมีแบบจำลองได้มากกว่าหนึ่งแบบจำลองไม่จำเป็นต้องเหมือนของจริงทุกประการ และแบบจำลองสามารถเปลี่ยนแปลงได้ (Treagust et al., 2002) โดยครูจำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นอย่างดี ซึ่งหมายความว่า นักเรียนไม่ได้แค่เรียนรู้จากแบบจำลอง (learning from models) เท่านั้น หากแต่นักเรียนจะต้องเรียนรู้ด้วยแบบจำลอง (learning with models) และเรียนรู้เกี่ยวกับแบบจำลองด้วย (learning about models) บทความนี้จบด้วยการนำเสนอว่า ความท้าทายในปัจจุบัน คือ การผลิตและพัฒนาครูให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ มีความรู้ด้านเนื้อหา ผสานวิธีสอนเกี่ยวกับแบบจำลอง และสามารถจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ด้วยแบบจำลองได้



References

- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, P., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., . . . Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: international perspectives. **Science Education**, 88(3), 397-419.
- Akerson, V. L., Townsend, J. S., Donnelly, L. A., Hanson, D. L., Tira, P., & White, O. (2009). Scientific Modeling for Inquiring Teachers' Network (SMIT'N): the influence on elementary teachers' views of nature of science, inquiry, and modeling. **Journal of Science Teacher Education**, 20(1), 21-40.
- Anderson, R. D. (2002). Reforming science teaching: what research says about inquiry. **Journal of Science Teacher Education**, 13(1), 1-12.
- 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 (ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551)**. Bangkok: Press of the Agricultural Co-operative Federation of Thailand.
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Scotter, P. V., Powell, J. C., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). **The BSCS 5E instructional model: origin, effectiveness, and applications** [Online]. Retrieved August 19, 2016 from http://www.bscs.org/sites/default/files/_legacy/BSCS_5E_Instructional_Model-Executive_Summary_0.pdf
- Crawford, B. A. & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. **International Journal of Science Education**, 26(11), 1379-1401.
- Faikhamta, C. & Supatchaiyawong, P. (2014). Model-based learning (การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน). **Kasetsart Educational Review**, 29(3), 86-99.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: routes to more authentic science education. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2(2), 115-130.

- Gobert, J. D., O'Dwyer, L., Horwitz, P., Buckley, B. C., Levy, T., & Wilensky, U. (2011). Examining the relationship between students' understanding of the nature of models and conceptual learning in biology, physics, and chemistry. **International Journal of Science Education**, 33(5), 653-684.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. **Journal of Research in Science Teaching**, 28(9), 799-822.
- Harrison, A. G. (2001). How do teachers and textbook writers model scientific ideas for students?. **Research in Science Education**, 31(3), 401-435.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. **International Journal of Science Education**, 22(9), 1011-1026.
- Henze, I., van Driel, J. H., & Verloop, N. (2007). Science teachers' knowledge about teaching models and modelling in the context of a new syllabus on public understanding of science. **Research in Science Education**, 37(2), 99-122.
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. **International Journal of Science Education**, 14(5), 541-562.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. **International Journal of Science Education**, 24(4), 369-387.
- Justi, R. & van Driel, J. (2005). A case study of the development of a beginning chemistry teacher's knowledge about models and modelling. **Research in Science Education**, 35(2), 197-219.
- Kuathan, N., Faikhamta, C., & Sanguanruang, S. (2011). The secondary students' mental models of chemical bonding (แบบจำลองความคิดเรื่องพันธะเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4). **Songklanakarin Journal of Social Sciences and Humanities**, 17(2), 299-314.
- Ladachart, L., Suttakun, L., & Faikhamta, C. (2013). A critical difference between the promotion of "Nature of Science" instruction outside and inside Thailand (ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างการส่งเสริมการเรียนรู้การสอน "ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์" ภายนอกและภายในประเทศไทย). **Kasetsart Journal (Social Sciences)**, 34(2), 269-282.

- Ladachart, L. & Yuenyong, C. (2016). What Thai science teachers should learn from the Programme for International Student Assessment (สิ่งที่ครูวิทยาศาสตร์ไทยควรเรียนรู้จากโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ). **Parichart Journal**, 28(2), 108-137.
- Lee, S. W., Chang, H., & Wu, H. (2017). Students' views of scientific models and modeling: do representational characteristics of models and students' educational levels matter?. **Research in Science Education**, 47(2), 305-328.
- Lin, J. (2013). Elementary school teachers' knowledge of model functions and modeling processes: a comparison of science and non-science majors. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 12(5), 1197-1220.
- Musikul, K. (2007). Teaching and learning through scientific inquiry (การเรียนการสอนโดยใช้ scientific inquiry). **IPST Journal**, 35(149), 36-37.
- National Research Council [NRC]. (1996). **The National Science Education Standards**. Washington, DC: National Academy Press.
- NGSS Lead States. (2013). **Next generation science standards: for states, by states**. Washington, DC: National Academy of Sciences.
- Oh, P. S. & Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: an overview. **International Journal of Science Education**, 33(8), 1109-1130.
- Rea-Ramirez, M. A., Clement, J., & Nunez-Oviedo, M. C. (2008). An instructional model derived from model construction and criticism theory, In J. J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.). **Model Based Learning and Instruction in Science**, 2, 23-43. Netherlands: Springer.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Crawford, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: an explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. **Science Education**, 88(4), 610-645.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., . . . Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners. **Journal of Research in Science Teaching**, 46(6), 632-654.

- Schwarz, C. V. & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: developing students' understanding of scientific modeling. **Cognition and Instruction**, 23(2), 165-205.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. **Educational Researcher**, 15(2), 4-14.
- Supatchaiyawong, P., Faikhamta, C., & Suwanruji, P. (2014). Understandings of the nature of scientific model of students' grade 10 (ความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4). **Journal of Education, Prince of Songkla University, Pattani Campus**, 25(1), 37-50.
- Suttakun, L. & Ladachart, L. (2013). Sixth graders' mental model of magnet and magnetic force (แบบจำลองทางความคิดของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เกี่ยวกับแม่เหล็ก และแรงแม่เหล็ก). **Journal of Social Sciences and Humanities, Ubon Ratchathani University**, 4(1), 90-105.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. **International Journal of Science Education**, 24(4), 357-368.
- van Driel, J. H. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. **International Journal of Science Education**, 21(11), 1141-1153.
- _____. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. **International Journal of Science Education**, 24(12), 1255-1272.
- Windschitl, M. & Thompson, J. (2006). Transcending simple forms of school science investigation: the impact of preservice instruction on teachers' understandings of model-based inquiry. **American Educational Research Journal**, 43(4), 783-835.