

การส่งเสริมแนวคิดหลักและการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และ  
วิศวกรรมศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ด้วยโมดูลการเรียนรู้  
สะเต็มบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน  
PROMOTING STUDENTS' CONCEPTUAL UNDERSTANDING AND  
SCIENTIFIC AND ENGINEERING PRACTICES FOR THE STUDENTS  
IN MATTAYOMSUKSA 6 WITH INQUIRY-BASED STEM LEARNING  
MODULE ON NANOSCIENCE

พิมพร ผาพรหม<sup>1\*</sup> และ นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์<sup>2</sup>

Peempond Phaprom<sup>1\*</sup> and Niwat Srisawasdi<sup>2</sup>

มหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 หมู่ 16 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002<sup>1,2</sup>  
Khon Kaen University, 123 Mittrapap Rd., Nai-Muang Sub-district, Muang District, Khon Kaen Province 40002<sup>1,2</sup>

\*Corresponding author E-mail: pimprom20@gmail.com

(Received: Apr 3, 2018; Revised: Jun 18, 2018; Accepted: Jun 19, 2018)

### บทคัดย่อ

การปรับปรุงแนวทางการจัดการเรียนรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์เพื่อส่งเสริมความเข้าใจและความสามารถในการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เชิงบูรณาการนั้นเป็นความท้าทายสำหรับการจัดการศึกษาร่วมสมัยในยุคปัจจุบันนี้ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้าใจแนวคิดหลักและการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้สะเต็มบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ ซึ่งโมดูลการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 2 หน่วย ได้แก่ หน่วยพื้นฐานทำความเข้าใจความสะอาดตัวเองได้และหน่วยannonความร้อนคุณภาพสูง โดยกระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบริบทการปฏิบัติงานการทดลองโดยใช้การคำนวณผ่านคอมพิวเตอร์ถูกใช้เป็นของการเรียนรู้สะเต็มบูรณาการในเนื้อหาโมดูลดังกล่าว กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 22 คนของโรงเรียนภาครัฐแห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น โดยนักเรียนได้รับการทดสอบทั้งก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้แบบวัดความเข้าใจแนวคิดหลัก เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน และแบบวัด

<sup>1</sup> นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์

การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้การทดสอบที แบบสัมพันธ์กัน ผลการศึกษาพบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจแนวคิดหลัก เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน และคะแนนการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์หลังเรียนที่สูงขึ้นกว่าคะแนนก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ดังนั้นข้อค้นพบของการศึกษานี้ชี้ให้เห็นได้ว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้สะเต็มบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะนั้น สามารถส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ทั้งในมิติความเข้าใจแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์และความสามารถในการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เชิงบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาของประเทศไทยได้

**คำสำคัญ:** โมดูลการเรียนรู้สะเต็ม, วิทยาศาสตร์สืบเสาะ, วิทยาศาสตร์ระดับนาโน, การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

## ABSTRACT

The revision of science learning to promote scientific understanding and the integration of science and engineering practices is a key challenge in this century education. As such, this study aimed to examine conceptual understanding and scientific and engineering practices through inquiry-based STEM learning module on nanoscience for twelfth graders. In this study, two learning units, i.e. self-cleaning surface and super insulator, were developed. A hand-on computer-based inquiry laboratory was employed as a learning tool to facilitate integrated STEM learning process. A total of 22 twelve graders from a public secondary education school were recruited in this study. They were administered a conceptual test on the nanoscience phenomena and a practical test of science and engineering practices at both before and after the implementation of the module. The dependent *t*-test was applied to compare the pre-test and post-test scores for both measured variables. The result indicated that the post-test scores of conceptual understanding on nanoscience and their scientific and engineering practices were significantly higher than the pre-test scores at *p*-value less than .01. This implied that the inquiry-based STEM learning module could be an effective instructional intervention for promoting both conceptual understanding and science and engineering practices for Thai high school students.

**KEYWORDS:** STEM Learning Module, Inquiry Science, Nanoscience, Science and Engineering Practices

## บทนำ

การพัฒนาอย่างรวดเร็วของสังคมโลก ประกอบกับการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่องทำให้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ หรือเรียกโดยย่อว่าสะเต็ม (STEM ; Science, Technology, Engineering and Mathematics) กลายเป็นปัจจัยบ่งชี้ถึงศักยภาพการแข่งขันของแต่ละประเทศ และการจัดการศึกษาในลักษณะดังกล่าวมีความจำเป็นมากยิ่งขึ้นในสังคมยุคศตวรรษที่ 21 นี้ (Kuenzi, 2008; Tan, Ngo, Chandrasekaran and Cai, 2013) สำหรับบริบทของประเทศไทยนั้นรัฐบาลมีการกำหนดนโยบายการจัดการศึกษาที่เน้นการพัฒนาการรู้ในสะเต็ม (STEM Literacy) ไว้เป็นแนวทางการพัฒนาและนโยบายของชาติอย่างชัดเจน และมีหน่วยงานและสถาบันทั้งภาครัฐและภาคเอกชนที่เกี่ยวข้องและให้ความสำคัญกับการจัดการศึกษามีการพยายามส่งเสริมการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา (STEM Education) เช่น การก่อตั้งศูนย์สะเต็มแห่งชาติ ในปีพุทธศักราช 2557 โดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) การขับเคลื่อนสะเต็มศึกษาสู่ชั้นเรียนโดยการจัดอบรมแก่ครูและบุคลากรทางการศึกษาของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) โครงการ Chevron Enjoy Science โดยความร่วมมือของบริษัท เชฟรอนสถาบันคีนัน มหาวิทยาลัยและโรงเรียนต่าง ๆ ที่เข้าร่วมโครงการ และโครงการ KKU Smart Learning Academy ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า

แรงผลักดันและกลไกการยกระดับและพัฒนาคุณภาพการจัดการศึกษาที่เน้นสะเต็มศึกษาในบริบทประเทศไทยนั้นมีความเข้มข้นและจริงจังในการดำเนินการเป็นอย่างมาก

สะเต็มศึกษา เป็นลักษณะของการจัดการศึกษาเชิงบูรณาการข้อความรู้จากศาสตร์ทั้งสี่ สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีวิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้พัฒนาความรู้และสมรรถนะในการเรียนรู้ ที่สอดคล้องกับสภาพบริบทจริงที่เป็นปัจจุบันของสังคม ซึ่งสถานการณ์และเหตุการณ์จริงในปัจจุบันนั้นไม่ได้จำกัดความเกี่ยวข้องของอยู่เพียงเนื้อหาในสาขาวิชาใดวิชาหนึ่งเพียงเท่านั้นอีกต่อไป แต่มีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกันกับทั้งสี่สาขาวิชาพื้นฐานตามหลักคิดของสะเต็ม และยังอาจรวมถึงองค์ความรู้ทางสังคมศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ จิตวิทยา และรัฐศาสตร์ได้อีกด้วย (Breiner, Harkness, Johnson and Koehler, 2012; Green, 2007; Teaching Institute for Excellence in STEM : TIES, 2010) ดังนั้นเป้าหมายหลักของสะเต็มศึกษาจึงไม่ได้มุ่งให้ผู้เรียนมีความรู้และความเข้าใจ หรือความสามารถในการปฏิบัติงานในสาขาวิชาเพียงหนึ่งใด แต่ทว่าต้องการให้ผู้เรียนนั้นสามารถดำเนินชีวิตได้บนฐานความรู้แบบบูรณาการข้อความรู้เพื่อที่จะปรับตัวและเรียนรู้สิ่งใหม่ได้อย่างมีคุณภาพและยั่งยืนตามสภาพการณ์ของโลกในยุคปัจจุบันและอนาคตที่ถูกแปรเปลี่ยนอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงเป็นความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้เรียนจะต้องสามารถบูรณาการความรู้แบบสะเต็มมาประยุกต์ใช้ตามบริบทของชีวิตจริงหรือเพื่อแก้ปัญหาปัจจุบันใน

การดำเนินชีวิตในยุคนี้ได้จากเป้าหมายดังกล่าวการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางของสะเต็มศึกษาจึงต้องเป็นการบูรณาการร่วมข้อความรู้ของสาขาวิชาเพื่อนำไปสู่การส่งเสริมการเรียนรู้ได้ทั้งแนวคิดหลักและทักษะปฏิบัติตามหลักการทางวิชาการและที่สอดคล้องเป็นไปตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงโดยต้องเอื้ออำนวยให้มีโอกาสได้ทั้งลงมือเรียนรู้ในแนวตรงและแนวประยุกต์ในข้อความรู้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์อย่างสัมพันธ์กันกับบริบทจริงที่จำเป็นและสำคัญต่าง ๆ ต่อการดำรงชีวิตซึ่งที่ผ่านมาก็มีทั้งนักวิจัยและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการศึกษาได้เสนอแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาไว้หลากหลายรูปแบบ เช่น การเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน (Project-based Learning) การเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-based Learning) และการเรียนรู้โดยใช้การสืบเสาะเป็นฐาน (Inquiry-based Learning) เป็นต้น (Public School of North Carolina, 2012) ในกรณีบริบทสะเต็มศึกษาของประเทศไทยนั้นสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้นำเสนอวิธีการจัดการเรียนรู้ที่เอื้ออำนวยต่อแนวทางของสะเต็มศึกษาว่าต้องมีแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งให้นักเรียนได้เกิดเรียนรู้ในแนวคิดหลักไปโดยพร้อมกันกับการสร้างทักษะด้านสะเต็ม โดยมีแนวทางได้หลายวิธี เช่น การเรียนรู้โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ (Evidence-based Learning) การเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน (Project-based Learning) การเรียนรู้โดยใช้

ปัญหาเป็นฐาน (Problem-based Learning) และการเรียนรู้โดยใช้การสืบเสาะเป็นฐาน (Inquiry-based Learning) (ธวัช ชิตตระการ, 2555) เป็นต้น

ถึงแม้จะมีการเสนอรูปแบบการจัดการเรียนการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่หลากหลายแต่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบูรณาการสะเต็มโดยตรงยังมีน้อยจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (รักษศิริ จิตอารี, วิจิตร อุดอ้าย และวาริรัตน์ แก้วอุไร, 2560; รัตน์ดาวัล วรณปะเถาว์ และประสาธน์เมืองเฉลิม, 2560; สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ และคนอื่น ๆ, 2560) เป็นที่น่าสังเกตว่า แม้เทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์จะได้รับความสำคัญและมีความจำเป็นในมุมมองของสะเต็มศึกษาแต่ยังไม่ปรากฏงานวิจัยที่ส่งเสริมการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในชั้นเรียนอย่างชัดเจน ทั้งในแง่การส่งเสริมการเรียนรู้แนวคิดหลัก และการส่งเสริมทักษะการปฏิบัติงานทางเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ อย่างไรก็ตามยังมีตัวอย่างงานวิจัย ที่ให้ความสำคัญกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ที่มีความใกล้เคียงและสอดคล้องกับความต้องการของสะเต็มศึกษาเช่น การพัฒนาโมดูลการเรียนรู้ในหัวข้อเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีบนฐานการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะ (Srisawasdi, 2012) และการพัฒนาปฏิบัติการทดลองจำลองโดยใช้คอมพิวเตอร์ (Computer-simulated Experiment) เพื่อพัฒนาแบบความเข้าใจ (Mental Model) ของนักเรียน (Suits and Srisawasdi, 2013) ซึ่งจากการศึกษาดังกล่าว พบว่า ผู้เรียนมีความคิดเห็นเชิงบวกต่อ

การจัดการเรียนรู้ ช่วยส่งเสริมแบบความเข้าใจของผู้เรียน และยังช่วยลดความเข้าใจคลาดเคลื่อน (Misconceptions) ของผู้เรียน สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่สนับสนุนว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยวิทยาศาสตร์สืบเสาะโดยใช้โมดูลการเรียนรู้ นั้น เป็นรูปแบบหนึ่งที่สามารถส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนได้ ทั้งในด้านส่งเสริมความเข้าใจแนวคิดหลัก ทักษะการปฏิบัติงาน และเจตคติที่มีต่อการเรียนรู้ (Kim, Hannafin & Bryan, 2007; Srisawasdi, 2015; Reeve, 2013)

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าว จึงอาจกล่าวได้ว่า การเรียนรู้โดยใช้โมดูลการเรียนรู้บนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ โดยเฉพาะโมดูลการเรียนรู้ที่ประกอบด้วย การทดลองโดยใช้คอมพิวเตอร์นั้น มีความสอดคล้องกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและอาจส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดทักษะการปฏิบัติงานทางเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ได้นอกจากนี้การเรียนรู้ผ่านบริบทของนาโนเทคโนโลยี อาจทำให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงแนวคิดหลักในสาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์สู่เทคโนโลยีที่มีการใช้ประโยชน์จริงในยุคปัจจุบันได้ ดังนั้น การจัดการเรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้ที่มีการทดลองโดยใช้คอมพิวเตอร์ในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยี โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบวิทยาศาสตร์สืบเสาะ จึงเป็นการศึกษารูปแบบหนึ่งที่สอดคล้องกับความมุ่งหมายของสะเต็มศึกษา

เพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่

มุ่งเน้นให้ผู้เรียนบรรลุทั้งด้านความเข้าใจ แนวคิดหลักและการเกิดทักษะบูรณาการในสถานการณ์การเรียนรู้ที่มีความสอดคล้องเป็นไปตามบริบทของสังคมและการเปลี่ยนแปลงของโลกยุคปัจจุบัน ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้าใจแนวคิดหลัก (Conceptual Understanding) และการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (Science and Engineering Practices) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้สะเต็มบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อค้นพบที่เป็นผลการเรียนรู้ของนักเรียน เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะที่เน้นการบูรณาการสะเต็มต่อไป

## หลักการ แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### หลักสูตรวิทยาศาสตร์ของไทย

การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานของประเทศไทย ได้ยึดตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ จำแนกเป็น 8 สาระ สำหรับผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ในสายการเรียนที่เน้นวิทยาศาสตร์ ได้มีการจัดกลุ่มวิชาหลัก ๆ เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา โลกและดาราศาสตร์ จะสังเกตได้ว่าในหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของไทยนั้นไม่ปรากฏแนวคิดหลักเชิงบูรณาการสะเต็มไว้อย่างชัดเจน มีเพียงสาระที่ใกล้เคียงกับแนวคิด

ทางเทคโนโลยี คือ สารที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีเนื้อหาโดยตรง แต่ผู้สอนต้องสอดแทรกในการจัดการเรียนการสอนในทุกสาระ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเป้าหมายของหลักสูตรวิทยาศาสตร์พบว่า หลักสูตรมีความมุ่งหวังให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงและบูรณาการความรู้กับสาขาอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของสะเต็มศึกษา โดยเป้าหมายของหลักสูตรวิทยาศาสตร์ไทย มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ โดยใช้กระบวนการในการสืบเสาะหาความรู้ และการแก้ปัญหาที่หลากหลาย ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ทุกขั้นตอนมีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติจริงอย่างหลากหลาย เหมาะสมกับระดับชั้น (กระทรวงศึกษาธิการ, 2552) ดังนั้นในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ผู้สอนจึงต้องศึกษาหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับสะเต็ม นั่นคือ หลักสูตรของกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ และกลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี เพื่อให้มีแนวคิดหลักที่สอดคล้องและเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน

### ความสำคัญและแนวคิดหลักของวิทยาศาสตร์นาโน

วิทยาศาสตร์ระดับนาโน (Nanoscience) และนาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) เป็นศาสตร์ที่เกิดจากการบูรณาการความรู้จากหลายสาขาวิชา และมีการประยุกต์ใช้ที่หลากหลาย จึงอาจ

กล่าวได้ว่า วิทยาศาสตร์ระดับนาโนและนาโนเทคโนโลยีเป็นหัวข้อหนึ่งที่ควรมีในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้ว การศึกษาเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ระดับนาโนหรือนาโนเทคโนโลยี ในระดับมัธยมศึกษายังไม่ปรากฏชัดเจนและยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากมีอุปสรรคและความท้าทายในหลายประเด็น เช่น ต้องใช้ความคิดขั้นสูงเพื่อให้เข้าใจความรู้ที่มาจากหลาย ๆ สาขา (Greenberg, 2009) นอกจากนี้แนวคิดหลักที่เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ระดับนาโนยังมีความเป็นนามธรรมสูง อเล็กตรอน อะตอม หรือโมเลกุล มีขนาดเล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ไม่เกิดปฏิสัมพันธ์โดยตรงในชีวิตประจำวัน ทำให้นักเรียนไม่สามารถลงมือกระทำเพื่อเรียนรู้เกี่ยวกับหลักการของนาโนเทคโนโลยีได้โดยตรง (Drexler, 1992; Xie and Pallant, 2011) ดังนั้นการจัดการเรียนรู้เรื่องที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยี จึงควรนำเทคโนโลยีมาใช้ในการส่งเสริมการเรียนรู้ในชั้นเรียน ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การใช้มัลติมีเดีย (Multimedia) การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) การปฏิบัติการทดลองผ่านไมโครคอมพิวเตอร์ (Microcomputer Laboratory) หรือการปฏิบัติการทดลองเสมือน (Virtual Laboratory) เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อส่งเสริมให้เกิดความเข้าใจในแนวคิดทางวิชาการและเชื่อมโยงกับประสบการณ์ของนักเรียนได้ดียิ่งขึ้น

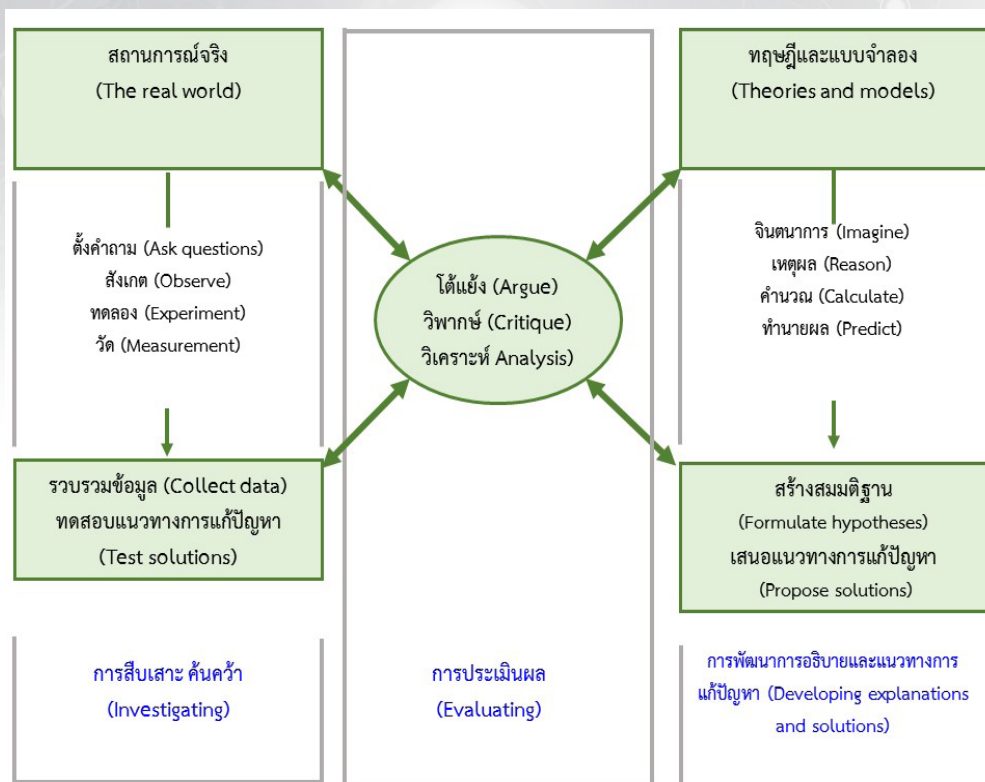
ในงานวิจัยนี้มีแนวคิดของวิทยาศาสตร์ระดับนาโนที่สำคัญ คือ 1) พื้นผิวทำความสะอาดตัวเองได้ (Self-clearing Surface) และ 2) ฉนวนความร้อนคุณภาพสูง (Super Insulator)

ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เกิดจากสมบัติพิเศษของวัสดุที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร ( $10^{-9}$  เมตร) นำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าทางการตลาด เช่น ผ้าเพดานหรือผนังกันความร้อนคุณภาพสูงที่มีสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนหรือกำจัดคราบสกปรกได้เอง วัสดุกันน้ำคุณภาพสูง เป็นต้น ซึ่งการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ระดับนาโนจะสามารถทำให้นักเรียนเชื่อมโยงความรู้ไปสู่เทคโนโลยีที่มีอยู่จริงในชีวิตประจำวันได้

### **ความหมายและความสำคัญของการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์**

จากแนวคิดเกี่ยวกับสะเต็มศึกษา ส่งผลให้มีการปรับปรุงแนวทางการจัดการเรียนรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์เพื่อให้สอดคล้องกับการบูรณาการทั้ง 4 สาขาวิชาโดยเกิดการใช้คำใหม่ คือ การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (Scientific and Engineering Practices) ซึ่งเป็นการกำหนดว่านักเรียนควรรู้ หรือควรได้รับการสอนให้สามารถลงมือปฏิบัติได้ โดยเพิ่มระดับความซับซ้อนตามระดับชั้นเรียนของนักเรียน ซึ่งการปฏิบัติงานดังกล่าว

คือ (Bybee, 2011) 1) การตั้งคำถาม (การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์) และการนิยามปัญหา (การปฏิบัติงานทางวิศวกรรมศาสตร์) 2) การพัฒนาและใช้แบบจำลอง 3) การวางแผนและค้นหาคำตอบ 4) การวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล 5) การใช้แนวคิดทางคณิตศาสตร์และการคำนวณ 6) การสร้างคำอธิบาย (การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์) และการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (การปฏิบัติงานทางวิศวกรรมศาสตร์) 7) การยืนยันแนวคิดหรือการโต้แย้งโดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ และ 8) การสืบค้น ประเมิน และสื่อสารข้อมูล การกำหนดการปฏิบัติงานดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ครอบคลุมทั้งกระบวนการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ อย่างไรก็ตามการปฏิบัติงานทั้ง 8 ขั้นตอนยังคงถือว่าอยู่บนพื้นฐานการเรียนรู้โดยใช้การสืบเสาะเป็นฐาน จากการปรับเปลี่ยนดังกล่าว จึงมีการนำเสนอลักษณะการเรียนรู้และการปฏิบัติงานของนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรที่สอดคล้องกับการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ตามแผนผังดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 องค์ประกอบของการปฏิบัติงาน 3 ส่วนของนักวิทยาศาสตร์และวิศวกร

ที่มา : National Research Council, 2012

จากภาพที่ 1 การเรียนรู้ที่สอดคล้องกับการปฏิบัติงานของนักวิทยาศาสตร์และวิศวกร แบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก ๆ คือ

1. ส่วนสืบเสาะ ค้นคว้า (Investigating) โดยผู้เรียนตั้งคำถาม สังเกต ทดลอง และวัดจากปรากฏการณ์ที่เห็นในชีวิตประจำวัน จากนั้นรวบรวมข้อมูลและทดสอบแนวทางการแก้ปัญหา

2. ส่วนพัฒนาการอธิบายและแนวทางการแก้ปัญหา (Developing Explanations and Solutions) ประกอบ ด้วยส่วนทฤษฎีและแบบจำลองที่ต้องใช้จินตนาการ เหตุผล การคำนวณ การทำนาย แล้วนำแบบจำลอง

หรือทฤษฎีที่มีนั้นมาสร้างสมมติฐานหรือสร้างแนวทางการแก้ปัญหา

3. ส่วนประเมินผล (Evaluation) โดยผู้เรียนต้องอาศัยการคิดวิเคราะห์ การวิพากษ์ การวิจารณ์ หรือการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์

จากแผนผังดังกล่าว จะสังเกตได้ว่าการปฏิบัติทั้ง 3 ส่วนไม่ได้เป็นขั้นตอนเรียงลำดับก่อนหลัง แต่การปฏิบัตินี้จะเชื่อมโยงกันตลอดเวลา ดังจะเห็นได้จากส่วนของการประเมินผล (ส่วนกลาง) ซึ่งปกติจะใช้เวลาประเมินผลข้อมูลที่ได้หลังจากการทดลอง แต่ในที่นี้การประเมินผลจะอยู่ในทุก ๆ ส่วนของการปฏิบัติงานของนักวิทยาศาสตร์และ

วิศวกร ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนตามแนว  
สะเต็มศึกษาในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ จึงต้อง  
คำนึงถึงการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และ  
วิศวกรรมศาสตร์ตามแผนผังข้างต้น

### การสอนวิทยาศาสตร์สืบเสาะ

แนวทางหนึ่งของการจัดการเรียนรู้ที่  
ใช้เป็นฐานสำหรับการบูรณาการวิทยาศาสตร์  
เทคโนโลยี คณิตศาสตร์ และวิศวกรรม นั้นคือ  
กระบวนการวิทยาศาสตร์สืบเสาะ (Scientific  
Inquiry) โดย บัค เบิร์ทซ์ และทาวน์ (Buck,  
Bretz and Towns, 2008) ได้นำเสนอแนวทาง  
ดังกล่าวไว้โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับ  
ของการยืนยัน (Confirmation) ระดับการสืบเสาะ  
แบบมีโครงสร้าง (Structured Inquiry) ระดับการ  
สืบเสาะแบบชี้แนะแนวทาง (Guided Inquiry)  
ระดับการสืบเสาะแบบเปิด (Open Inquiry)  
ระดับการสืบเสาะตามบริบทจริง (Authentic  
Inquiry)

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการ  
จัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการวิทยาศาสตร์  
สืบเสาะในระดับการสืบเสาะแบบเปิดภายใต้  
บริบทสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ปฏิบัติการทดลอง  
โดยใช้คอมพิวเตอร์ (Srisawasdi, 2012) ซึ่งมี  
กระบวนการเรียนรู้ดังนี้

1. ตั้งคำถาม (Questions) คือ ขั้นตอน  
ที่ผู้สอนตั้งคำถามจากการให้ผู้เรียนสังเกต  
ปรากฏการณ์หรือผลการทดลอง

2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Theory)  
คือ ขั้นตอนที่ผู้สอนแนะนำแนวคิดที่สำคัญ  
เพื่อให้ผู้เรียนศึกษาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้  
อธิบายปรากฏการณ์หรือใช้ในการสืบเสาะหา  
คำตอบ

3. ออกแบบ (Design) คือ ขั้นตอนที่  
ผู้เรียนสร้างสมมติฐาน ออกแบบการทดลอง  
ทำการทดลอง และเก็บข้อมูลจากการทดลอง  
โดยใช้คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ทางเทคโนโลยี  
ต่าง ๆ ในการดำเนินการ

4. วิเคราะห์ผล (Analysis) คือ ขั้นตอน  
ที่ผู้เรียนทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง  
และสืบค้นทฤษฎีหรือแนวคิดเพิ่มเติม เพื่อ  
อธิบายผลการทดลองของตนเอง

5. สื่อสาร (Communication) คือ ขั้นตอน  
ที่ผู้เรียนนำเสนอผลการศึกษาแก่สมาชิกใน  
ชั้นเรียน

6. สรุปผล (Conclusion) คือ ขั้นตอน  
ที่ผู้เรียนและผู้สอนร่วมกันสรุปและอภิปรายผล  
การศึกษาและเชื่อมโยงข้อค้นพบหรือข้อสรุป  
นั้นสู่สถานการณ์ในชีวิตจริง

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากหลักสูตรวิทยาศาสตร์  
ของไทยไม่ปรากฏแนวคิดหลักเชิงบูรณาการ  
โดยตรง แต่เพื่อให้บรรลุเป้าหมายของหลักสูตร  
วิทยาศาสตร์และความสำคัญของสะเต็มศึกษา  
วิทยาศาสตร์ระดับนาโน และนาโนเทคโนโลยี  
จึงเป็นแนวคิดหนึ่ง ที่ควรจัดการเรียนรู้สำหรับ  
นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย อย่างไรก็ตาม  
การจัดการเรียนรู้ดังกล่าว ยังมีข้อจำกัด  
เนื่องจากอนุภาคหรือโมเลกุลระดับนาโน  
ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และไม่มี  
ปฏิสัมพันธ์โดยตรงในชีวิตประจำวัน ดังนั้น  
การปฏิบัติการทดลองเสมือนจริง จึงถือว่าเป็น  
วิธีการหนึ่ง ที่สามารถส่งเสริมการเรียนรู้ของ  
ผู้เรียนได้ โดยมีตัวอย่างงานวิจัยที่สามารถ  
ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจใน

แนวคิดหลักของวิทยาศาสตร์ ในหลายหัวข้อ เช่น แรงและการเคลื่อนที่ (Jairuk, 2007; Sujarittham, 2009) แสง (Sokoloff, 2007) และ เทอร์โมไดนามิกส์ (ปรีดา ทะเหล็บ, 2553) เป็นต้น

สำหรับตัวอย่างงานวิจัยที่ส่งเสริมความเข้าใจแนวคิดหลักเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีโดยตรงนั้น คือ การศึกษาการใช้ปฏิบัติการผ่านคอมพิวเตอร์ เรื่อง ระบบจมูกเทียม (Artificial Olfactory System) ในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ สืบเสาะตามบริบทจริง (Authentic Inquiry Environment) ของนิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์ (Srisawasdi, 2012) ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้ผู้เรียนทำการทดลองโดยออกแบบ กำหนดตัวแปร และเรียนรู้โดยกระบวนการสืบเสาะด้วยตนเอง โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นฐาน (Computerized Laboratory) จากการศึกษาพบว่า นักเรียนมีความคิดเห็นเชิงบวกต่อการจัดการเรียนรู้ โดยเฉพาะในด้านการทดลองที่เปิดโอกาสให้นักเรียนเลือก กำหนดตัวแปรหรือเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องเพื่อศึกษาค้นคว้าและทดลองด้วยตนเอง และช่วยส่งเสริมการคำนวณโดยใช้ตัวเลขจากการทดลอง รวมถึงการตีความจากแนวโน้มและรูปแบบของข้อมูล เพื่อใช้ในการสรุปผล (Srisawasdi, 2012) จากผลการศึกษาดังกล่าว จึงอาจกล่าวได้ว่าการทดลองโดยใช้คอมพิวเตอร์มีแนวโน้มเชิงบวกต่อการเรียนรู้ของผู้เรียน ทั้งในแง่การส่งเสริมทักษะการปฏิบัติ และด้านความเข้าใจแนวคิดหลัก เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ ซูส และนิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์ (Suits and Srisawasdi, 2013) ที่ได้ทำการศึกษาด้านการจัดการเรียนรู้

ด้วยการทดลองจำลองโดยใช้คอมพิวเตอร์ (Computer-simulated Experiment) เพื่อพัฒนาแบบความเข้าใจ (Mental Model) ของนักเรียน ซึ่งพบว่าการทดลองที่พัฒนาขึ้น สามารถพัฒนาแบบความเข้าใจของนักเรียนได้ดีขึ้น และยังช่วยลดความเข้าใจคลาดเคลื่อน (Misconceptions) ของผู้เรียน รวมถึงช่วยให้นักเรียนมีการรับรู้ (Perception) ต่อการทดลองจำลองในด้านบวกอีกด้วย ซึ่งผู้วิจัยได้เสนอไว้ว่าการออกแบบบทเรียนจำลองที่ดี จะช่วยเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้และการทำความเข้าใจแนวคิดหลักอย่างมีความหมายได้

อย่างไรก็ตาม ยังไม่ปรากฏงานวิจัยที่ใช้โมเดลการเรียนรู้บนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะที่เน้นการบูรณาการสะเต็ม มีเพียงตัวอย่างงานวิจัยที่อยู่ในรูปแบบการจัดหลักสูตรตามแนวทางสะเต็มศึกษา อาทิ งานวิจัยของ รักเกียรติ จิตอารี, วิจิตร อุดอ้าย และวารินทร์ แก้วอุไร (2560) ซึ่งได้พัฒนารูปแบบการเรียนการสอนตามแนวทฤษฎีการสร้างความรู้และการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาเพื่อเสริมสร้างการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่า นักเรียนที่ผ่านการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบการสอนที่พัฒนาขึ้น มีคะแนนการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ในด้านระบุคำถามทางวิทยาศาสตร์ ด้านการอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์และด้านการใช้ระบ็จักพยาทางทางวิทยาศาสตร์สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่พัฒนาบทปฏิบัติการสะเต็มศึกษาตามแนวทางโครงการพระราชดำริ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น (สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ และ

คนอื่น ๆ, 2560) โดยมีบทปฏิบัติการ 7 ชุด ได้แก่ (1) ผนหลวง (2) ฝ่ายชะลอน้ำเพื่อชีวิต (3) น้ำดีไล่ น้ำเสีย (4) แก่งดิน (5) เชื้อนเปลี่ยน รูปพลังงาน (6) กังหันน้ำชัยพัฒนา และ (7) เกษตรทฤษฎีใหม่ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่านักเรียนที่เข้าร่วมโครงการสามารถเชื่อมโยงความรู้ทางวิทยาศาสตร์กับโครงการพระราชดำริ และการศึกษาดังกล่าวสามารถพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทัศนคติที่ดีในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าว พบว่า ถึงแม้ว่าจะมีตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ระดับนาโน หรือนาโนเทคโนโลยี ที่มีการใช้โมดูลการเรียนรู้ที่ประกอบด้วย การทดลองโดยคอมพิวเตอร์ และมีผลการศึกษาเชิงบวกต่อผู้เรียน แต่ยังไม่ปรากฏงานวิจัยที่ใช้โมดูลการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนในแนวคิดหลักเชิงบูรณาการสะสมโดยตรง และเมื่อพิจารณางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษา ก็ยังไม่ปรากฏการใช้โมดูลการเรียนรู้บนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ และยังไม่ปรากฏการศึกษาแนวคิดหลักเชิงบูรณาการสะสม

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้สะสมบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ โดยมุ่งเน้นการวัดผลในด้านความเข้าใจแนวคิดหลัก เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน และการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาต่อไป

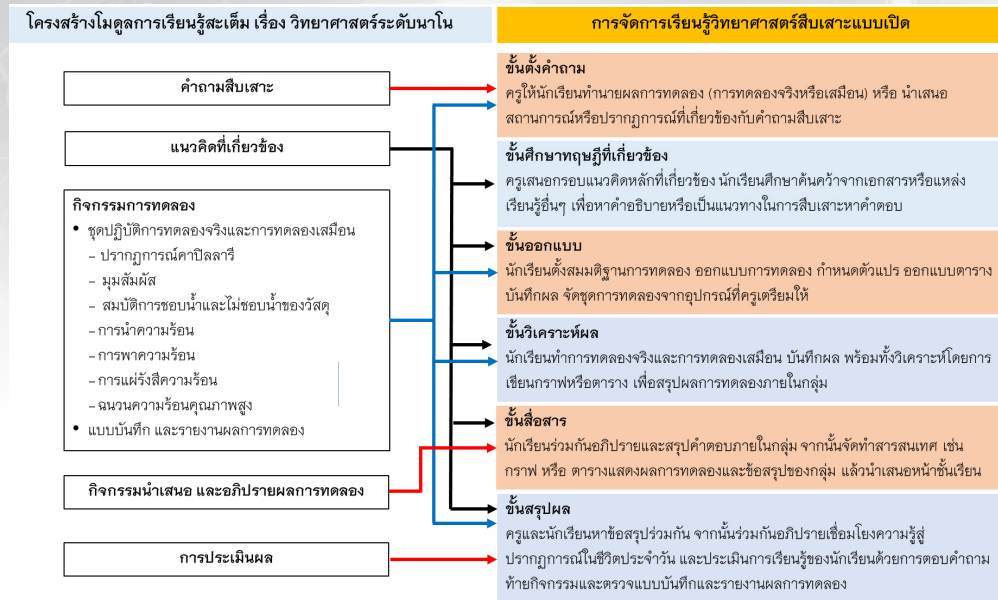
## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจแนวคิดหลัก เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้สะสมบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน

2. เพื่อเปรียบเทียบการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้สะสมบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน

## นิยามศัพท์เฉพาะ

1. โมดูลการเรียนรู้สะสมบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน หมายถึง ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ประกอบด้วย 1) คำถามสืบเสาะ แนวคิดที่เกี่ยวข้อง 2) กิจกรรมการทดลองที่เกี่ยวข้องกับแนวคิด เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน โดยใช้ชุดปฏิบัติการทดลองผ่านคอมพิวเตอร์ที่ผสมผสานระหว่างการทดลองจริงและการทดลองเสมือน จำนวน 7 ชุด 3) กิจกรรมการนำเสนอและอภิปรายผล และ 4) การประเมินผล ซึ่งโมดูลการเรียนรู้นี้จะใช้ประกอบการจัดการเรียนรู้แบบวิทยาศาสตร์สืบเสาะแบบเปิด ซึ่งมีกระบวนการจัดการเรียนรู้ 6 ขั้นตอน (Srisawasdi, 2012) ได้แก่ ตั้งคำถามศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ออกแบบ วิเคราะห์ผลสื่อสาร และสรุปผล โดยมุ่งเน้นให้นักเรียนเรียนรู้แนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ โครงสร้างของโมดูลการเรียนรู้ดังกล่าว แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างของโมดูลการเรียนรู้ระดับบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน ที่ใช้ร่วมกับ การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะแบบเปิด

2. ความเข้าใจแนวคิดหลัก เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน หมายถึง ความรู้ ความเข้าใจแนวคิดหลักในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ระดับ นาโน ประกอบด้วยแนวคิดหลัก 4 ด้าน คือ ด้านวิทยาศาสตร์ระดับนาโน (แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และการถ่ายเทความร้อน) ด้านนาโนเทคโนโลยีด้านคณิตศาสตร์ (กราฟและความสัมพันธ์) และด้านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

3. การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ หมายถึง ทักษะการปฏิบัติของนักเรียนในการเรียนรู้ เรื่องวิทยาศาสตร์ระดับนาโนที่สอดคล้องกับการปฏิบัติงานของนักวิทยาศาสตร์และวิศวกร ประกอบด้วยการปฏิบัติ 8 ด้าน (Bybee, 2011) ได้แก่ 1) การตั้งคำถาม

และการนิยามปัญหา 2) การพัฒนาและใช้แบบจำลอง 3) การวางแผนและค้นหาคำตอบ 4) การวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล 5) การใช้แนวคิดทางคณิตศาสตร์และการคำนวณ 6) การสร้างคำอธิบายและการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 7) การยืนยันแนวคิดหรือการโต้แย้งโดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ และ 8) การสืบค้น ประเมิน และสื่อสารข้อมูล

### วิธีการดำเนินวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการดังนี้

#### กลุ่มประชากร

นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 กลุ่มห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ จำนวน 3 ห้องเรียน (83 คน) สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาขอนแก่น เขต 25 จังหวัดขอนแก่น ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559

### กลุ่มตัวอย่าง

จากการสุ่มกลุ่มตัวอย่างนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 1 ห้องเรียน (22 คน) สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา มัธยมศึกษา เขต 25 จังหวัดขอนแก่น ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 ได้มาจากการสุ่มอย่างง่าย

### รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้น (Pre-experimental Research) โดยใช้กลุ่มทดลองเพียงกลุ่มเดียวที่มีการวัดผลก่อนและหลังการทดลอง (One Group Pretest-Posttest Design)

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

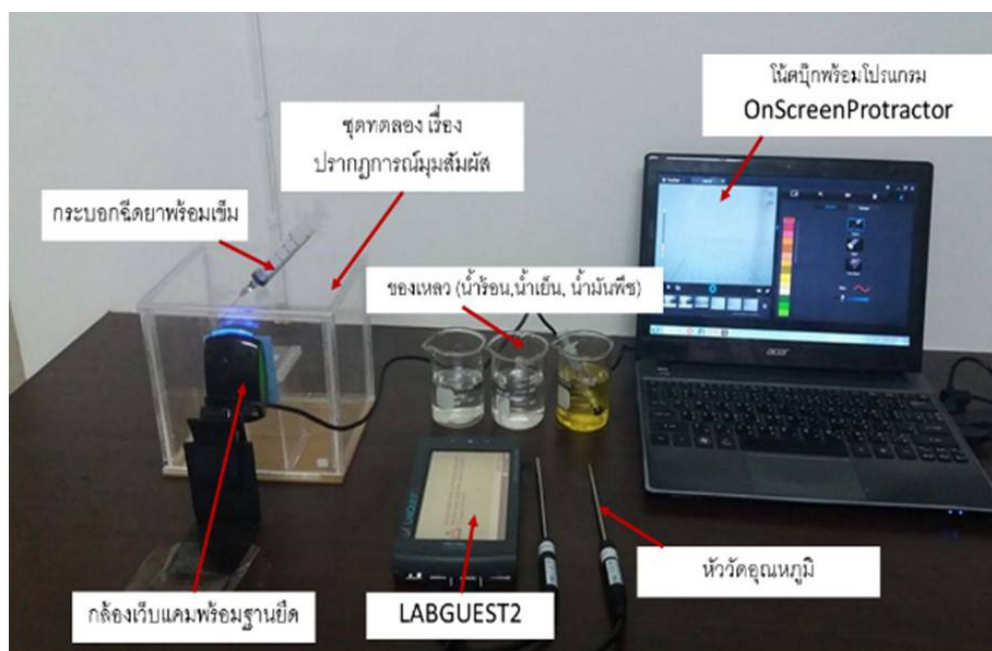
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีดังนี้

1. โมดูลการเรียนรู้สะเต็มบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน ประกอบด้วย 2 โมดูล ได้แก่ โมดูลการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง พื้นผิวทำความสะอาดตัวเอง ประกอบด้วยชุดการทดลอง 3 ชุด ได้แก่ ปราบฏการณ์คาปิลลารี มุมสัมผัส และสมบัติความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของวัสดุ

โมดูลการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง ฉนวนความร้อนคุณภาพสูง ประกอบด้วยชุดการทดลอง 4 ชุด ได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสี และวัสดุกันความร้อนคุณภาพสูง ดำเนินการสร้างโดยศึกษาหลักสูตรการศึกษาระดับพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 มาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และการงานอาชีพและเทคโนโลยี และกำหนดแนวคิดสำคัญด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ที่มีความสอดคล้องและสัมพันธ์กับแนวคิดเรื่องวิทยาศาสตร์ระดับนาโน จากนั้นนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 5 คน เพื่อพิจารณาความถูกต้องเหมาะสม และปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะซึ่งพบว่ามีเหมาะสมเฉลี่ยเท่ากับ 4.05 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.32 หลังจากนั้นนำโมดูลการเรียนรู้ไปทดลองใช้ (Try Out) กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างและปรับแก้ไขจากข้อมูลที่ได้จากการสังเกตตามบริบทการทดลองใช้จริง โดยตัวอย่างชุดทดลองได้นำเสนอไว้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ตัวอย่างชุดปฏิบัติการทดลองผ่านคอมพิวเตอร์ในหน่วยย่อย เรื่อง จนวนความร้อน  
คุณภาพสูง ที่ใช้ในโมดูลการเรียนรู้สะเต็มบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ



ภาพที่ 4 ตัวอย่างชุดปฏิบัติการทดลองผ่านคอมพิวเตอร์ในหน่วยย่อย เรื่อง พื้นผิวทำความสะอาดตัวเอง  
ได้ที่ใช้ในโมดูลการเรียนรู้สะเต็มบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ

2. แบบวัดความเข้าใจแนวคิดหลัก เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน แบบปรนัย ชนิด 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ คะแนนเต็ม 30 คะแนน โดยดำเนินการสร้างเริ่มจากการวิเคราะห์วัตถุประสงค์ของโมดูลการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น และดำเนินการสร้างข้อสอบ แบบปรนัย ชนิด 4 ตัวเลือก จำนวน 50 ข้อ เป็นต้นร่าง จากนั้นนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 5 คน เพื่อประเมินเพื่อหาข้อดีความสอดคล้อง (IOC) ของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ หลังจากนั้นนำแบบทดสอบที่ผ่านการประเมินแล้ว จำนวน 50 ข้อ ไปทดลองใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างจนกระทั่งได้ข้อสอบทั้งสิ้นจำนวน 30 ข้อ โดยค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.29–0.58 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.23–0.72 และค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.87 จากนั้นจึงจัดทำเป็นฉบับสมบูรณ์เพื่อใช้ทดลองจริงกับกลุ่มตัวอย่างต่อไป

3. แบบวัดการปฏิบัติงานทาง วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ แบบอัตนัย จำนวน 14 ข้อ โดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า และวิศวกรรมศาสตร์ตามแนวทางในการศึกษาของบายบี (Bybee, 2011) แล้วกำหนดวัตถุประสงค์ในการวัดและเกณฑ์การประเมิน และสร้างข้อคำถามแบบอัตนัยให้สอดคล้องกับเนื้อหาในโมดูลการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น จากนั้นจึงส่งให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 คน พิจารณาความถูกต้องและเหมาะสมของแบบวัดที่สร้างขึ้น โดยภาพรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.73 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.46 แล้วดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

ของผู้เชี่ยวชาญ หลังจากนั้นนำแบบวัดการปฏิบัติงานที่สร้างขึ้น ไปทดลองใช้ (Try Out) กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง พบว่าแบบวัดการปฏิบัติงานที่สร้างขึ้น มีความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.81 จากนั้นจึงจัดทำเป็นฉบับสมบูรณ์เพื่อใช้ทดลองจริงกับกลุ่มตัวอย่างต่อไปดำเนินการสร้างโดยเริ่มต้นจากศึกษาเอกสาร หลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ โดยทำตารางวิเคราะห์เทียบเคียงการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์

#### การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ความเข้าใจแนวคิดหลัก เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน และการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ก่อนและหลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้โมดูลการเรียนรู้บูรณาการ สะเต็ม เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน โดยสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบที่แบบสัมพันธ์กัน (Dependent *t*-test)

#### ผลการศึกษา

ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้โมดูลการเรียนรู้สะเต็มบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน มีดังนี้

1. ความเข้าใจแนวคิดหลัก เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน พบว่าคะแนนก่อนเรียนของนักเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.55 คะแนน จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 48.50 และมีคะแนนหลังเรียน มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.86 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 89.53 ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** การเปรียบเทียบความเข้าใจแนวคิดหลัก เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้ระดับนาโนวิทยาศาสตร์สืบเสาะ เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน

| คะแนน     | Mean  | S.D  | ค่าเฉลี่ยผลต่าง | S.D ค่าเฉลี่ยผลต่าง | t       |
|-----------|-------|------|-----------------|---------------------|---------|
| ก่อนเรียน | 14.55 | 3.00 | 12.32           | 3.64                | 15.86** |
| หลังเรียน | 26.86 | 1.58 |                 |                     |         |

\*\*  $p < .01$

จากตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนก่อนและหลังเรียนพบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนมีค่าสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ย (Mean) รายด้านโดยพิจารณาคะแนนในรูปแบบร้อยละ พบว่าแนวคิดหลักด้านที่มีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน

มากที่สุด คือ ด้านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Mean = 95.45%, S.D. = 0.29) ด้านที่มีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนต่ำที่สุด คือ แนวคิดด้านคณิตศาสตร์ (Mean 70.45%, S.D. = 0.58) ผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจแนวคิดหลัก เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน รายด้าน ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** การเปรียบเทียบความเข้าใจแนวคิดหลัก เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น โดยพิจารณารายด้าน

| แนวคิดหลัก                             | คะแนนก่อนเรียน (ร้อยละ) |      | คะแนนหลังเรียน ร้อยละ |      | ผลต่าง (ร้อยละ) |
|----------------------------------------|-------------------------|------|-----------------------|------|-----------------|
|                                        | Mean                    | S.D  | Mean                  | S.D  |                 |
| 1. นาโนเทคโนโลยี                       | 46.31                   | 2.22 | 90.63                 | 1.01 | 44.32           |
| 2. วิทยาศาสตร์ระดับนาโน                | 50.00                   | 1.35 | 90.91                 | 0.87 | 40.91           |
| 3. คณิตศาสตร์                          | 47.73                   | 0.58 | 70.45                 | 0.58 | 22.72           |
| 4. กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี | 59.05                   | 0.66 | 95.45                 | 0.29 | 36.40           |

จากตารางที่ 2 หลังจากนักเรียนได้เรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้สะเต็มบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ พบว่า ความเข้าใจแนวคิดหลัก เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน มีการเปลี่ยนแปลงเชิงบวก โดยแนวคิดหลักด้านนาโนเทคโนโลยี มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด (ผลต่าง = 44.32%) ขณะที่ความเข้าใจแนวคิดหลักด้านคณิตศาสตร์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด (ผลต่าง = 20.72%)

2. การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ พบว่า คะแนนก่อนเรียนของนักเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.82 คะแนน จากคะแนนเต็ม 60 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 41.37 และคะแนนหลังเรียนของนักเรียนมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.68 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 66.13 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้สะเต็มบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน

| คะแนน     | Mean  | S.D  | ค่าเฉลี่ยผลต่าง | S.D ค่าเฉลี่ยผลต่าง | t       |
|-----------|-------|------|-----------------|---------------------|---------|
| ก่อนเรียน | 24.82 | 2.70 | 14.86           | 3.44                | 20.26** |
| หลังเรียน | 39.68 | 2.75 |                 |                     |         |

\*\* $p < .01$

จากตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนน พบว่า คะแนนเฉลี่ยของการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์หลังเรียนมีค่าสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ย (Mean) รายด้าน โดยพิจารณาคะแนนในรูปแบบร้อยละ พบว่าการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และ

วิศวกรรมศาสตร์ ด้านที่มีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนมากที่สุด คือ การสืบค้น ประเมิน และสื่อสารข้อมูล (Mean = 84.09%, S.D. = 0.79) สำหรับด้านที่มีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนต่ำที่สุด คือ การสร้างคำอธิบายและการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Mean = 50.00%, S.D. = 0.93)

ผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยรายด้านดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น โดยพิจารณารายด้าน

| การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และ<br>วิศวกรรมศาสตร์              | คะแนนก่อน<br>เรียน (ร้อยละ) |      | คะแนนหลัง<br>เรียน (ร้อยละ) |      | ผลต่าง<br>(ร้อยละ) |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|------|-----------------------------|------|--------------------|
|                                                               | Mean                        | S.D  | Mean                        | S.D  |                    |
| 1. การตั้งคำถามและการนิยามปัญหา                               | 53.18                       | 1.46 | 75.91                       | 1.22 | 22.73              |
| 2. การพัฒนาและใช้แบบจำลอง                                     | 44.09                       | 1.37 | 70.45                       | 0.95 | 26.36              |
| 3. การวางแผนและค้นหาคำตอบ                                     | 45.00                       | 0.91 | 75.00                       | 0.80 | 30.00              |
| 4. การวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล                           | 38.64                       | 1.04 | 58.33                       | 0.74 | 19.70              |
| 5. การใช้แนวคิดทางคณิตศาสตร์และ<br>การคำนวณ                   | 31.06                       | 0.71 | 51.52                       | 0.68 | 20.45              |
| 6. การสร้างคำอธิบายและการออกแบบ<br>วิธีการแก้ปัญหา            | 36.36                       | 0.85 | 50.00                       | 0.93 | 13.64              |
| 7. การยืนยันแนวคิดหรือการโต้แย้งโดยใช้<br>หลักฐานเชิงประจักษ์ | 27.27                       | 0.49 | 51.20                       | 0.61 | 23.93              |
| 8. การสืบค้น ประเมิน และสื่อสารข้อมูล                         | 42.42                       | 1.01 | 84.09                       | 0.79 | 41.67              |

จากตารางที่ 4 พบว่าการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ หลังจากรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น วิทยาศาสตร์สืบเสาะมีการเปลี่ยนแปลงในเชิงบวก โดยการปฏิบัติด้านการสืบค้น ประเมิน และสื่อสารข้อมูล มีการเปลี่ยนแปลง

มากที่สุด (ผลต่าง = 41.67%) และการปฏิบัติด้านการสร้างคำอธิบายและการออกแบบวิธีการแก้ปัญหามี การเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด (ผลต่าง = 13.64%) ตัวอย่างบรรยากาศการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนแสดงไว้ในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนโดยครูผู้สอนแนะนำบทเรียน ให้คำถามหลักและนำเสนอข้อความรู้พื้นฐานต่อนักเรียนทั้งชั้น (ซ้าย) และการลงมือปฏิบัติงานการทดลองผ่านคอมพิวเตอร์โดยใช้โมดูลการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นวิทยาศาสตร์สืบเสาะ (ขวา)

จากข้อมูลข้างต้น จึงสามารถสรุปได้ว่า คะแนนความเข้าใจแนวคิดหลัก เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน และคะแนนการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ของนักเรียนหลังเรียนด้วยโมดูลการเรียนรู้สะเต็มบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ มีค่าสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

## อภิปรายผล

### ผลการศึกษาความเข้าใจแนวคิดหลักเรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน

ผลจากการจัดการเรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้สะเต็มบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน สามารถสรุปได้ว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจแนวคิดหลักเรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน โดยภาพรวมเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ย คิดเป็นร้อยละ 89.55 ซึ่งค่าเฉลี่ยของคะแนนหลังเรียนค่าสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 อาจเนื่องมาจากนักเรียนมีโอกาสดูได้เรียนรู้แนวคิดหลัก เรื่องวิทยาศาสตร์ระดับนาโน จากการใช้โมดูลการเรียนรู้ที่ประกอบด้วยชุดการทดลองผ่านคอมพิวเตอร์ที่มีการผสมผสานทั้งการทดลองจริงและการทดลองเสมือน ทำให้นักเรียนสามารถเข้าใจแนวคิดหลักได้ดียิ่งขึ้น สอดคล้องกับ สุรจิรา บุญเลิศ และมะยูโซะ คุโนะ (2557) และ ซูส และนิวัธน์ ศรีสวัสดิ์ (Suits and Srisawasdi, 2013) ที่พบว่า การทดลองเสมือนจริงช่วยเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้และการทำความเข้าใจแนวคิดหลักอย่างมีความหมายได้ โดยเฉพาะการเรียนรู้แนวคิดหลักเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ระดับนาโน ซึ่งมีความ

เป็นนามธรรมสูงนั้น การทดลองเสมือนจริงจะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเรียนรู้ได้ดีขึ้นเนื่องจากนักเรียนสามารถมองเห็นปรากฏการณ์จากสถานการณ์จำลองที่ไม่สามารถมองเห็นได้จากการทดลองจริง

นอกจากนี้การจัดการเรียนการสอนด้วยโมดูลการเรียนรู้สะเต็มบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ (แบบเปิด) ดังโครงสร้างในภาพที่ 2 นั้น ครูผู้สอนได้เป็นผู้กำหนดกรอบคำถามสืบเสาะ และชี้แนะทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเท่านั้นส่วนขั้นตอนอื่นๆ นักเรียนเป็นผู้ออกแบบและเรียนรู้ด้วยตนเอง จากการเรียนรู้ดังกล่าวจึงเป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ออกแบบการทดลองอย่างอิสระ สามารถทำการทดลองทั้งทดลองจริงและทดลองเสมือนเพื่อตรวจสอบสมมติฐานของตนเอง และยืนยันผลการทดลองวิเคราะห์ผลการทดลอง ลงข้อสรุป และร่วมอภิปรายเชื่อมโยงสู่ประสบการณ์ในชีวิตประจำวัน ซึ่งการจัดการเรียนการสอนดังกล่าวมีความสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ซึ่งมีลักษณะสำคัญ 5 ประการได้แก่ (1) การเน้นการบูรณาการ (2) การส่งเสริมให้นักเรียนสร้างความเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหาวิชาทั้ง 4 กับชีวิตประจำวัน และการทำอาชีพ (3) เน้นการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 (4) ท้าทายความคิดของนักเรียนและ (5) เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นและความเข้าใจที่สอดคล้องกับเนื้อหาทั้ง 4 วิชา (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดหลักเชิงบูรณาการในเรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโนได้ดียิ่งขึ้น

เมื่อพิจารณาความเข้าใจแนวคิดหลัก เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน เป็นรายด้าน พบว่า ความเข้าใจแนวคิดหลักด้านกระบวนการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติ การทดลองอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้เรียนรู้ กระบวนการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้เป็น อย่างดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ รัตนดาวัล วรณปะเถาว์ และประสาธต์ เนื่องเฉลิม (2560) ที่ส่งเสริมให้นักเรียนลงมือปฏิบัติกิจกรรมตาม แนวทางสะเต็มศึกษาอย่างต่อเนื่อง จนทำให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และมีทักษะ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาในแง่การเปลี่ยนแปลง ความเข้าใจแนวคิดหลัก พบว่า ความเข้าใจ แนวคิดหลักด้านนาโนเทคโนโลยีมีการ เปลี่ยนแปลงมากที่สุด ทั้งนี้สืบเนื่องจากการ จัดการเรียนการสอนมีการออกแบบเพื่อ ให้เกิดการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์ระดับนาโน อย่างต่อเนื่อง ด้วยการให้นักเรียนเรียนรู้ความรู้อย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีก่อน แล้ว จึงปฏิบัติการทดลองที่เกี่ยวข้องกับนาโน เทคโนโลยี จำนวน 7 ชุด โดยชุดการทดลอง ดังกล่าวมีการเชื่อมโยงถึงผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรมทางเทคโนโลยี คือ วัสดุหรือพื้นผิว ทำความสะอาดตัวเอง และฉนวนกันความร้อน คุณภาพสูง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีการใช้งานจริง จนเกิดเป็นความเข้าใจแนวคิดหลักด้าน นาโนเทคโนโลยีจากประสบการณ์ การเรียนรู้ด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ อย่างมีความหมาย

เมื่อพิจารณาความเข้าใจแนวคิดหลัก ด้านคณิตศาสตร์ พบว่า มีการเปลี่ยนแปลง เชิงบวก แต่มีค่าน้อยกว่าด้านอื่น ๆ และเป็นด้าน ที่มีคะแนนเฉลี่ยน้อยที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากระหว่างการทำงานกลุ่ม นักเรียนบางกลุ่มแบ่งหน้าที่กันชัดเจน ทำให้นักเรียนบางคนไม่ ได้รับผิดชอบงานบางส่วน เช่น การวิเคราะห์ ผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำให้นักเรียน คนนั้นเรียนรู้ด้านการเขียนกราฟความสัมพันธ์ ของปริมาณต่าง ๆ ได้ไม่เต็มที่ จึงส่งผลให้ คะแนนเฉลี่ยด้านคณิตศาสตร์ต่ำกว่าด้านอื่น ๆ

### ผลการศึกษาการปฏิบัติงานทาง วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

จากผลการศึกษา พบว่า นักเรียน มีคะแนนการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์โดยภาพรวมเพิ่มขึ้น โดยมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน คิดเป็นร้อยละ 66.13 ซึ่งมีค่าสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ .01 ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่า การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง และเปิดโอกาสให้นักเรียนเรียนรู้ด้วยตนเอง เมื่อพิจารณาการออกแบบการจัดการ เรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้สะเต็มบนฐาน วิทยาศาสตร์สืบเสาะ โดยมีขั้นตอน 6 ขั้นนั้น จะพบว่ามีผลสอดคล้องกับการปฏิบัติงาน ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ โดยความสอดคล้องดังกล่าว ดังตารางที่ 5

**ตารางที่ 5** ความสอดคล้องของการจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการสืบเสาะแบบวิทยาศาสตร์ และการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่เกิดขึ้นกับนักเรียน

| กระบวนการสืบเสาะแบบวิทยาศาสตร์ | การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์                                                                    |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ตั้งคำถาม                      | - การตั้งคำถาม (วิทยาศาสตร์) และการนิยามปัญหา (วิศวกรรม)                                                        |
| ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง        | - การวางแผนและค้นหาคำตอบ<br>- การสืบค้น ประเมิน และสื่อสารข้อมูล                                                |
| ออกแบบ                         | - การพัฒนาและใช้แบบจำลอง<br>- การวางแผนและค้นหาคำตอบ                                                            |
| วิเคราะห์ผล                    | - การวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล<br>- การยืนยันแนวคิดหรือการโต้แย้งโดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์                  |
| สื่อสาร                        | - การยืนยันแนวคิดหรือการโต้แย้งโดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์<br>- การสืบค้น ประเมิน และสื่อสารข้อมูล                |
| สรุปผล                         | - การสร้างคำอธิบาย (วิทยาศาสตร์) และการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (วิศวกรรม)<br>- การสืบค้น ประเมิน และสื่อสารข้อมูล |

เมื่อพิจารณารางที่ 5 จะสังเกตได้ว่าการจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการสืบเสาะแบบวิทยาศาสตร์หนึ่งขั้นตอนอาจแสดงถึงการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์มากกว่าหนึ่งข้อเพื่อให้ครอบคลุมทั้งกระบวนการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ จากการศึกษาแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และพิจารณาแผนผังดังภาพที่ 1 จะพบว่าการปฏิบัติทั้ง 8 ด้าน ยังคงถือว่าอยู่บนพื้นฐานการเรียนรู้โดยใช้การสืบเสาะเป็นฐาน ดังนั้นเมื่อดำเนินการตามกระบวนการสืบเสาะแบบวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง สมบูรณ์ ก็อาจกล่าวได้ว่าเป็นการส่งเสริมการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ได้

เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยของการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์รายด้าน พบว่า การปฏิบัติด้านการสืบค้น ประเมิน และสื่อสารข้อมูลมีคะแนนเฉลี่ยสูงสุดและเป็นด้านที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากนักเรียนสามารถเรียนรู้การสืบค้น การประเมิน และสื่อสารข้อมูลจากกิจกรรมการนำเสนอและอภิปรายภายในกลุ่ม ก่อนการนำเสนอหน้าชั้นเรียน ดังนั้นนักเรียนจึงมีโอกาสแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ร่วมกันปรับปรุง แก้ไข และพัฒนาการปฏิบัติงานด้านนี้อย่างสม่ำเสมอ สำหรับการปฏิบัติที่มีคะแนนเฉลี่ยต่ำสุด คือ ด้านการสร้างคำอธิบายและการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก

นักเรียนบางส่วนยังไม่คุ้นเคยกับการออกแบบ การทดลอง กำหนดตัวแปร รวมถึงสร้างตาราง บันทึกผลด้วยตนเอง ในการเรียนรู้ อาจต้องใช้ความต่อเนื่องและระยะเวลาพอสมควร จึงทำให้มีคะแนนเฉลี่ยด้านนี้มีค่าต่ำสุดและ มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การปฏิบัติด้านอื่น ๆ

## ข้อเสนอแนะ

### ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้

1. เนื่องจากชุดปฏิบัติการทดลองผ่าน คอมพิวเตอร์ จำนวน 7 ชุด ค่อนข้างใช้อุปกรณ์ ราคาสูง ในการนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ อาจเหมาะสำหรับโรงเรียนที่มีงบประมาณ เพียงพอเท่านั้น ดังนั้นในการส่งเสริมการเรียนรู้ ตามแนวทางสะเต็มศึกษาโดยใช้โมดูล การเรียนรู้บนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ โดยเฉพาะการทดลองโดยใช้คอมพิวเตอร์ จึงจำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนจากผู้บริหารโรงเรียน หรือการสนับสนุนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

2. การจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการ สืบเสาะแบบวิทยาศาสตร์ในแต่ละขั้นตอน ค่อนข้างมีข้อจำกัดเรื่องเวลา ครูสามารถ ยืดหยุ่นได้ตามความเหมาะสม

3. การออกแบบกิจกรรมตามแนวทาง สะเต็มศึกษา เมื่อต้องการบูรณาการแนวคิดหลัก ในหลายสาขาวิชา ผู้สอนควรศึกษาหลักสูตรใน เชิงบูรณาการ กล่าวคือ ต้องศึกษาหลักสูตรของ กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ และศึกษา สาระเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร และสาระการออกแบบและเทคโนโลยี ของ กลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและ

เทคโนโลยี ทั้งนี้เพื่อเชื่อมโยงแนวคิดหลักที่ สัมพันธ์กับแนวคิดหลักของวิทยาศาสตร์ใน ระดับเดียวกัน เพื่อให้สามารถจัดการเรียนรู้ให้มีความสอดคล้องกับระดับชั้นและประสบการณ์ ของผู้เรียน

4. การออกแบบการจัดการเรียน การสอนเพื่อส่งเสริมการปฏิบัติงานทาง วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ในชั้นเรียน วิทยาศาสตร์นั้น ควรตระหนักถึงการปฏิบัติงาน ทางวิศวกรรมศาสตร์ที่มีรายละเอียดแตกต่าง จากกระบวนการสืบเสาะแบบวิทยาศาสตร์ด้วย โดยเฉพาะด้านการนิยามปัญหา (ด้านที่ 1) และ การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (ด้านที่ 8)

### ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. การปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ (Science and Engineering Practices) เป็นหนึ่งในจุดมุ่งหมายหลักของ การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา จึงควรมีการศึกษาวิจัยทั้งในประเด็นการพัฒนา เครื่องมือสำหรับวัดผลประเมินผล หรือการ จัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการปฏิบัติงานทาง วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ต่อไป ดังนั้น กระทรวงศึกษาธิการ หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จึงควรมีการสนับสนุนงบประมาณในการดำเนิน โครงการหรือการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ด้านนี้โดยเฉพาะ

2. นานาเทคโนโลยี ถือเป็นหัวข้อหนึ่ง ที่เป็นตัวอย่างของการบูรณาการสะเต็มสู่ชีวิต ประจำวัน สอดคล้องกับเป้าหมายของสะเต็ม ศึกษา แต่จากการทดสอบก่อนเรียน พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยของความเข้าใจแนวคิด หลักด้านนาโนเทคโนโลยีน้อยที่สุด ทั้งนี้อาจ

เนื่องจากไม่มีการบรรจุแนวคิดนี้ในหลักสูตร  
อย่างชัดเจน ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จึง  
ควรมีการศึกษา วิจัย เกี่ยวกับแนวทางการนำ  
แนวคิดหลักทางนาโนเทคโนโลยีมาบรรจุอยู่

ในหลักสูตรวิทยาศาสตร เพื่อให้สอดคล้องกับ  
สถานการณ์และการเปลี่ยนแปลงของโลกใน  
ยุคปัจจุบัน

### เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2552). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*.  
กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- ธวัช ชิตตระการ. (2555). *การพัฒนากระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม  
ผ่านโปรแกรม STEM*. สืบค้นจาก [http://www.se-edlearning.com/wp-content/  
uploads/2013/11/stem.science.innovation.pdf](http://www.se-edlearning.com/wp-content/uploads/2013/11/stem.science.innovation.pdf)
- ปรีดา ตะเหลบ. (2553). *การพัฒนาการสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ของกระบวนการ  
ทางเทอร์โมไดนามิกส์*. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการสอนฟิสิกส์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).
- รักษ์ศิริ จิตอารี, วิจิตร อุดอ้าย และวาริรัตน์ แก้วอุไร. (2560). การพัฒนารูปแบบการเรียน  
การสอนตามแนวทฤษฎีการสร้างความรู้และการจัดการเรียนรู้ STEM EDUCATION  
เพื่อเสริมสร้างการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. *วารสารศึกษา  
ศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 19(2), 202-213.
- รัตน์ดาวัล วรณปะเถาว์ และประสาธน์ เนื่องเฉลิม. (2560). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน  
ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2  
โดยการจัดการเรียนการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษา. *วารสารการบริหารและนิเทศการ  
ศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 8(3), 137-147.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). *รู้จักสะเต็ม*. สืบค้นจาก  
[http://www.stemedthailand.org/?page\\_id=23](http://www.stemedthailand.org/?page_id=23)
- สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ, บงกช บุญบุรพงค์, เดชา จันทน์น้ำใส, นราธิป ปราโมทย์, ภาณุกร คงไธยะ,  
ปัทมาพร นาคู และสิรินญา โพธิ์ระ. (2560). จากกิจกรรมในโครงการพระราชดำริสู่  
การพัฒนาวิทยาศาสตร์ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในโครงการมหาวิทยาลัยเด็ก  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม  
เพื่อการเรียนรู้*, 8(2), 449-457.
- สุรจิรา บุญเลิศ และมะยุไซ้ะ ภูโน. (2557). การพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเสมือนจริง เรื่อง  
สารละลายกรดและเบส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. *วารสารศึกษาศาสตร์ ฉบับ  
วิจัยบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 8(2), 199-206.

- Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C., & Koehler, C. M. (2012). What is STEM?: A discussion about conceptions of STEM in education and partnerships. *Science and Mathematics*, 112(1), 3–11.
- Buck, L. B., Bretz, S. L., & Towns, M. H. (2008). Characterizing the level of inquiry in the undergraduate laboratory. *Journal of College Science Teaching*, September/October, 52–58.
- Bybee, R. W. (2011). Scientific and engineering practices in K–12 classrooms: Understanding “a framework for K–12 science education”. *Science Teacher*, 78(9), 34–40.
- Drexler, K. E. (1992). *Nanosystems: molecular machinery, manufacturing, and computation*. New York, USA.: John Wiley & Sons.
- Green, M. (2007). *Science and engineering degrees: 1966–2004 (NSF 07–307)*. Arlington, VA: National Science Foundation.
- Greenberg, A. (2009). Integrating nanoscience into the classroom: Perspectives on nanoscience education projects. *ACS Nano*, 3(4), 762–769.
- Jairuk, U. (2007). *The use of interactive lecture demonstrations in force and motion to teach high school-level physics*. (Master of Science and Technology Education, Mahidol University).
- Kim, M. C., Hannafin, M. J., & Bryan, L. A. (2007). Technology-enhanced inquiry tools in science education: An emerging pedagogical framework for classroom practice. *Science Education*, 91(6), 1010–1030. doi:10.1002/sce.20219
- Kuenzi, J. J. (2008). Science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education: background, federal policy, and legislative action. *Congressional Research Service Reports*, pp. 35. Retrieved from <http://digitalcommons.unl.edu/crsdocs/35>
- Public Schools of North Carolina. (2012). *North Carolina’s science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education strategic plan*. Retrieved from <http://www.dpi.state.nc.us/docs/stem/overview/education-strategic-plan.pdf>
- National Research Council. (2012). *A framework for K–12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, D.C.: National Academies Press.
- Reeve, E. M. (2013). *Implementing science, technology, mathematics, and engineering (STEM) education in Thailand and in ASEAN*. Retrieved from [http://dpstapply.ipst.ac.th/specialproject/images/IPST\\_Global/document/Implementing%20STEM%20in%20ASEAN%20%2001PST%20May%207%202013%20-%20Final.pdf](http://dpstapply.ipst.ac.th/specialproject/images/IPST_Global/document/Implementing%20STEM%20in%20ASEAN%20%2001PST%20May%207%202013%20-%20Final.pdf)

- Sokoloff, D. R. (2007). Active learning of introductory optics: Interactive lecture demonstrations and magic tricks. *Paper presented at the Education and Training in Optics and Photonics*, Ottawa, Ontario.
- Srisawasdi, N. (2012). Student teachers' perceptions of computerized laboratory practice for science teaching: A comparative analysis. *Procardia – Social and Behavioral Sciences*, 46, 4031–4038.
- Srisawasdi, N. (2015). Evaluation of motivational impact of a computer-based nanotechnology inquiry learning module on the gender gap. *Journal of Nano Education*, 7(1), 28–37.
- Suits, J., & Srisawasdi, N. (2013). *Use of an interactive computer-simulated experiment to enhance students' mental models of hydrogen bonding phenomena pedagogic roles of animations and simulations in chemistry courses*. Washington, DC.: American Chemical Society.
- Sujarittham, T. (2009). *Applying electromagnetism to develop demonstration sets for enhancing students' conceptions in Newton's laws*. (Master of Science and Technology Education, Mahidol University)
- Tan, J., Ngo, B. K., Chandrasekaran, I., & Cai, Y. (2013). Cultivating STEM education through 3D sabbaticals. *Springer Singapore*, 1, 71–77. DOI: 10.1007/978-981-4021-90-6\_5
- Teaching Institute for Excellence in STEM (TIES). (2010). *What is STEM education?*. Retrieved from <http://www.tiesteach.org/about/what-is-stem>
- Vasques, J. A., Sneider, C., & Comer, M. (2013). *Lesson essentials grades 3–8: Integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Portsmouth, New Hampshire: Heinemann.
- Xie, Q., & Pallant, A. (2011). *The molecular workbench software: an innovative dynamic modeling tool for nanoscience education*. New York: Springer.

