การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับรูปแบบกิจกรรมการสอนด้วยกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

A SYSTEMATIC REVIEW OF THE ENGINEERING DESIGN PROCESS FOR DEVELOPING CREATIVE PROBLEM-SOLVING OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS

ณัฐวุฒิ อรุณรัตน์ และปราวีณยา สุวรรณณัฐโชติ*

Nattawut Arunrat and Praweenya Suwannatthachote

nattawut.nat5555@gmail.com and praweenya.s@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

Department of Educational Technology and Communications, Faculty of Education, Chulalongkorn University, Bangkok 10330 Thailand

*Corresponding author E-mail: nattawut.nat5555@gmail.com

(Received: March 14, 2019; Revised: March 27, 2019; Accepted: April 24, 2019)

ABSTRACT

This study was used systematic review approach to synthesize instructional models of the engineering design process affecting creative problem-solving abilities of secondary school students and the research question were to study the process of engineering design process to inquire for integrating engineering design process. The sample used in this study was 20 research projects on instructional models of the engineering design process conducted with secondary school students in other countries within the past five years (2013-2018). For data collection, the research instrument was a synthesis form developed based on the literature review. As a result, it was found that instructional models of the engineering design process affecting creative problem-solving abilities of secondary school students included the following steps: 1) problem identification, 2) information collection, 3) planning, 4) design, 5) operation, 6) testing, 7) improvement/evaluation, and 8) presentation. In addition, the engineering process could be integrated with other instructional models, including the science process, constructivism and problem-based learning. The results of this research can be used as guidelines for planning instructional activities using the engineering design process affecting creative problem-solving abilities and they can help personnel and teachers/instructors prepare or develop their instruction using the engineering design process.

Keywords: Engineering design process; Creative problem solving abilities; Science process; Constructivism; Problem-based learning

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับกระบวนการออกแบบวิศวกรรมสำหรับการพัฒนาการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย 2) เพื่อนำเสนอแนวทางการประยุกต์กระบวนการออกแบบวิศวกรรมร่วมกับรูปแบบวิธีการสอนอื่น ในการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบนี้กลุ่มตัวอย่าง คือ งานวิจัยต่างประเทศที่ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบกิจกรรมการสอนด้วยกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยคัดเลือกงานวิจัยตีพิมพ์เป็นภาษาอังกฤษระยะเวลาย้อนหลัง 5 ปี คือ ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2556 ถึงปีพ.ศ. 2561 (ค.ศ. 2013 ถึง ค.ศ. 2018) จำนวน 20 เรื่อง เครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูลเป็นแบบสังเคราะห์ที่สร้างขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรม ผลการสังเคราะห์งานวิจัย พบว่า รูปแบบกิจกรรมการสอนด้วยกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายมีดังนี้ 1) การกำหนดปัญหาหรือระบุปัญหา 2) การรวบรวมข้อมูล 3) การวางแผน 4) การออกแบบ 5) การปฏิบัติงาน 6) การทดสอบ 7) การปรับปรุง/การประเมินผลงาน และ 8) การนำเสนอ นอกจากนี้แนวทางการประยุกต์ร่วมกับรูปแบบวิธีการสอนอื่น มีดังนี้ 1) กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 2) การสร้างความรู้ด้วยตนเอง และ 3) การจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน ผลการวิจัยนี้สามารถนำผลงานวิจัยไปใช้เป็นแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนด้วยกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ และเป็นแนวทางในการเตรียมความพร้อมหรือพัฒนาการจัดการเรียนการสอนแก่บุคลากร อาจารย์/ครู ด้วยกระบวนการออกแบบวิศวกรรม

คำสำคัญ: กระบวนการออกแบบวิศวกรรม การแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสร้างความรู้ด้วยตนเอง การจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน

1. บทนำ

ปัจจุบันการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐานมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงทางด้านเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม สภาพแวดล้อม ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เจริญก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง โดยต้องอาศัยทักษะที่สำคัญคือ การแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ (Creative Problem Solving) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญต่อการพัฒนางานหรือการแก้ไขปัญหา ทั้งนี้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) [1] ได้ระบุถึงกระบวนการออกแบบวิศวกรรม (Engineering Design Process) ว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อการสร้างทักษะความคิดสร้างสรรค์ เพื่อนำไปสู่การคิดค้นสิ่งประดิษฐ์หรือการสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ เกิดขึ้น รวมทั้งการพัฒนาทักษะต่างๆ ให้เกิดขึ้นในนักเรียนที่จะนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาในชีวิตประจำวันและ/หรือการนำไปสู่การพัฒนาประเทศ ดังนั้นการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์จำเป็นอย่างยิ่งกับการเรียนรู้อย่างมีคุณภาพและมาตรฐานสู่ระดับสากลสอดคล้องกับประเทศไทย 4.0 และโลกศตวรรษที่ 21

จากผลการประเมินทักษะในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ของ The Programme for International Student Assessment (PISA) พบว่า นักเรียนไทยมีสมรรถนะในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์อยู่ในระดับต่ำกว่ามาตรฐานร้อยละ 50 จึงทำให้ปี พ.ศ. 2558 มีการปรับเปลี่ยนส่งเสริมให้นักเรียนมีสมรรถนะในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์มากยิ่งขึ้น อนึ่งความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ (Creative Problem Solving) เป็นความสามารถในการสร้างสรรค์สิ่งประดิษฐ์ แนวคิดหรือวิธีการ ที่รู้จักการคิดสร้างหรือจัดกระทำสิ่งต่างๆ ขึ้นมาเอง เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการ โดยใช้หลักการสร้างสรรค์และหาแนวทางในการประดิษฐ์ขึ้น อย่างไรก็ตามความคิดสร้างสรรค์จะนำไปสู่การสร้างสรรค์ผลงาน การพัฒนา การบริการใหม่ หรือการแก้ไขปัญหา โดยมีทักษะหลักการต่างๆ ในการคิด วิเคราะห์ สังเคราะห์เข้าร่วมกันจะนำไปสู่การแก้ไขปัญหาที่สำเร็จได้ ทั้งนี้การแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ไม่ใช่กระบวนการในทางองค์ความรู้หรือเทคนิคสำหรับการแก้ปัญหา แต่เป็นการใช้ความเชี่ยวชาญของตนเองในการสร้างมิติของการปฏิบัติ และเป็นความพยายามต่อการใช้ศักยภาพทางสติปัญญาของมนุษย์ให้สามารถคิดค้นสิ่งใหม่ๆ ซึ่งผลจากความคิดสร้างสรรค์ยังเป็นหนทางสู่การเกิดนวัตกรรมและเทคโนโลยีต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์อีกด้วย การแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์จึงเป็นลักษณะที่มีคุณค่าต่อบุคคลและสังคมอย่างยิ่ง และสมควรที่จะต้องได้รับการส่งเสริมให้เกิดขึ้นในตัวบุคคล โดยเฉพาะทางการศึกษาจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดขึ้นในการเรียนการสอนเพื่อนำไปสู่ตัวของนักเรียน [2,3,4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเรียนรู้วิศวกรรมในยุคแห่งศตวรรษที่ 21 จะถูกเรียกขึ้นใหม่ว่า “จินตวิศวกร (Imaginer)” คือ จินตนาการ (Imagination) ผนวกกับ วิศวกรรม (Engineering) หมายถึง ผู้ที่มีทักษะและความเก่งอัจฉริยะอย่างกว้างขวาง มีกระบวนการสร้างสรรค์แนวความคิดที่สามารถพัฒนาและสามารถใช้งานในอนาคตได้ โดยมีความคิดที่ไม่มีขีดจำกัด สามารถปรับปรุงกระบวนการได้อย่างสม่ำเสมอ และมีวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหา [4] ที่อาศัยการแก้ไขปัญหาอย่างสร้างสรรค์กับระบบวิศวกรรมเข้าร่วมกัน จึงจะทำให้เกิดการพัฒนางานหรือการแก้ปัญหาด้วยกระบวนการออกแบบวิศวกรรมขึ้นมาได้ [5] ส่วนกระบวนการออกแบบวิศวกรรมมีทักษะทางด้านวิศวกรรมดังต่อไปนี้ 1) ทักษะความสามารถทางเทคนิค (Technical Competence) 2) ทักษะการสื่อสาร (Communications Skills) 3) ทักษะความเป็นผู้นำ (Leadership Skills) และ 4) ทักษะการทำงานเป็นกลุ่ม (Teamwork) เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาได้อย่างสร้างสรรค์

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยเห็นว่าควรศึกษาเรื่องรูปแบบกิจกรรมการสอนด้วยกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ เพื่อนำรูปแบบดังกล่าวมาวิเคราะห์เป็นแนวทางในการจัดกิจกรรมการสอนแก่ผู้สอน รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ที่ต้องการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 หรือตามนโยบายประเทศไทย 4.0 ของนักเรียนต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับกระบวนการออกแบบวิศวกรรมสำหรับการพัฒนาการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

2.2 เพื่อนำเสนอแนวทางการประยุกต์กระบวนการออกแบบวิศวกรรมร่วมกับรูปแบบวิธีการสอนอื่น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบกิจกรรมการสอนด้วยกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยคัดเลือกงานวิจัยตีพิมพ์เป็นภาษาอังกฤษระยะเวลาย้อนหลัง 5 ปี คือ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึงปี พ.ศ. 2561 (ค.ศ. 2013 ถึง ค.ศ. 2018) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบนี้กลุ่มตัวอย่าง คือ งานวิจัยต่างประเทศที่ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบกิจกรรมการสอนด้วยกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยคัดเลือกตามเกณฑ์ดังนี้

3.1.1 ประชากรหรือกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

3.1.2 ตัวแปรต้น คือ รูปแบบกิจกรรมการสอนด้วยกระบวนการออกแบบวิศวกรรม

3.1.3 ตัวแปรตาม คือ ความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ หรือผลการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์

3.1.4 รายงานที่ตีพิมพ์เป็นฉบับภาษาอังกฤษและเป็นการวิจัยระหว่างปีพ.ศ. 2556 ถึงปีพ.ศ. 2561 (ค.ศ. 2013 ถึง ค.ศ. 2018)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล แบบสังเคราะห์ขั้นตอนกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ประกอบด้วยสภาพข้อมูลทั่วไปของงานวิจัยได้แก่ ชื่อผู้แต่ง วารสาร ปีที่ตีพิมพ์ กลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือ และผลการวิจัย ด้วยการใช้วิธีการสืบค้นดังนี้

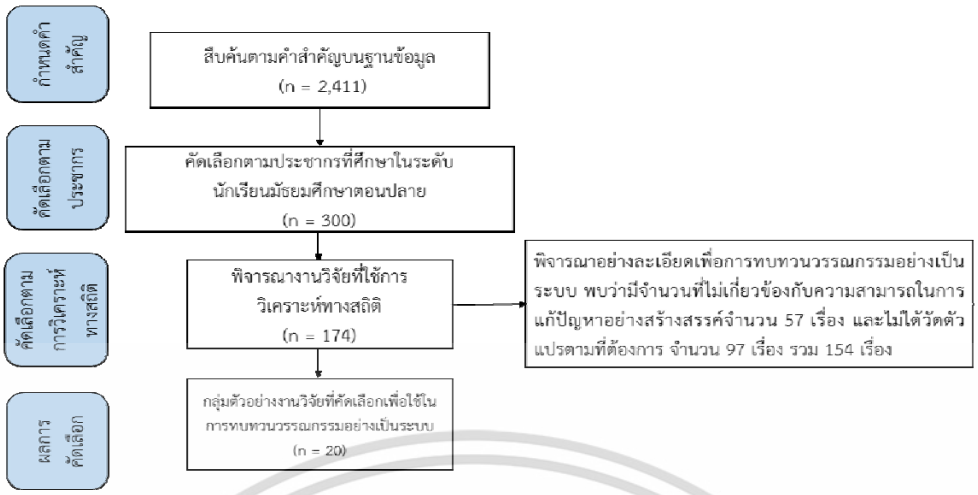
3.2.1 กำหนดคำสำคัญ (Keywords) เช่น กระบวนการออกแบบวิศวกรรม (Engineering Design Process) ความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ (Creative Problem Solving Abilities)

3.2.2 สืบค้นด้วยคอมพิวเตอร์ (Computerized Searching) จากฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์หรือฐานข้อมูลสืบค้นออนไลน์สากล

3.2.3 คัดเลือกงานวิจัยตามเกณฑ์ที่กำหนด (ข้อ 3.1) จากชื่อเรื่อง บทคัดย่อ ผลการวิจัย และนำเสนอแก่อาจารย์ที่ปรึกษา

3.2.4 ประเมินคุณภาพงานวิจัย โดยผู้วิจัยและอาจารย์ที่ปรึกษาตรวจทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 กระบวนการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ

4. ผลการวิจัย

ผลจากการสืบค้นงานวิจัยจากฐานข้อมูลในมหาวิทยาลัยต่างๆ ทั้งต่างประเทศและฐานข้อมูลสากลที่เกี่ยวกับรูปแบบกิจกรรมการสอนด้วยกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย จากการสืบค้นตามคำสำคัญพบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวกับรูปแบบกิจกรรมการสอนด้วยกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ ระยะเวลาย้อนหลัง 5 ปี คือ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึงปี พ.ศ. 2561 (ค.ศ. 2013 ถึง ค.ศ. 2018) ที่ตีพิมพ์เป็นภาษาอังกฤษมีทั้งสิ้นจำนวน 2,411 เรื่อง ทั้งนี้เมื่อคัดเลือกตามประชากรที่ศึกษาในระดับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่ามีจำนวน 300 เรื่อง หลังจากการพิจารณาจากบทคัดย่อและพิจารณาวิจัยที่ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีจำนวน 174 เรื่อง ทั้งนี้เมื่อนำมาพิจารณาอย่างละเอียดเพื่อการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ พบว่ามีจำนวนที่ไม่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์จำนวน 57 เรื่อง และไม่ได้วัดตัวแปรตามที่ต้องการ จำนวน 97 เรื่อง ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่ใช้ในการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบจำนวน 20 เรื่อง

จากการทบทวนวรรณกรรมรายงานการวิจัยที่เกี่ยวกับขั้นตอนของกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่า มีอยู่ 8 ขั้นตอน ดังนี้ 1) การกำหนดปัญหาหรือระบุปัญหา 2) การรวบรวมข้อมูล 3) การวางแผน 4) การออกแบบ 5) การปฏิบัติงาน 6) การทดสอบ 7) การปรับปรุง/การประเมินผลงาน และ 8) การนำเสนอ/การแลกเปลี่ยนข้อมูล สรุปได้ตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ขั้นตอนกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ของผู้เรียนมัธยมศึกษาตอนปลายจากการทบทวนวรรณกรรม

ขั้นตอนกระบวนการออกแบบวิศวกรรม	Saeedeh [6]	El-Zein and Hedemann [7]	Zhu et al. (2018) [8]	Esmaeilian et al. [9]	Moore et al. [10]	N. Mentzer et al. [11]	SÜRmeli et al. [12]	Kuang-Chao et al. [13]	Lammi and Becker [14]	Cross et al. [15]	Kelley and Knowles [16]	Mentzer [17]	Cropley [18]	Chien and Chu [19]	Denson and Lammi [20]	Wendell et al. [21]	Lawanto et al. [22]	Kanematsu and Barry [23]	Starkey et al. [24]	Yoon Yoon et al. [25]
1. การกำหนดปัญหาหรือระบุปัญหา																				
1.1 กำหนด/ระบุปัญหา	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ขั้นตอนกระบวนการออกแบบวิศวกรรม	Saeedeh [6]	El-Zein and Hedemann [7]	Zhu et al. (2018) [8]	Esmaeilian et al. [9]	Moore et al. [10]	N. Mentzer et al. [11]	SÜRmeli et al. [12]	Kuang-Chao et al. [13]	Lammi and Becker [14]	Cross et al. [15]	Kelley and Knowles [16]	Mentzer [17]	Cropley [18]	Chien and Chu [19]	Denson and Lammi [20]	Wendell et al. [21]	Lawanto et al. [22]	Kanematsu and Barry [23]	Starkey et al. [24]	Yoon Yoon et al. [25]
2. การรวบรวมข้อมูล/สร้างแนวคิด																				
2.1 รวบรวมข้อมูล		/	/	/	/		/	/	/	/	/			/	/	/	/	/	/	
2.2 แนวความคิด	/	/		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3. การวางแผน																				
3.1 สร้างแผนงาน	/	/		/	/	/	/	/		/	/	/	/	/		/	/	/		
4. การออกแบบ																				
4.1 การออกแบบ	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
5. การปฏิบัติงาน																				
5.1 ปฏิบัติงาน	/	/	/	/	/	/	/	/		/	/	/	/	/		/	/	/	/	/
6. การทดสอบ																				
6.1 ทวนสอบงาน	/		/	/	/		/	/		/	/		/	/	/	/	/	/	/	/
6.2 แบบจำลอง			/		/		/			/			/	/		/		/	/	
7. การปรับปรุง/การประเมินผลงาน																				
7.1 ปรับปรุง	/					/	/	/		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
8. การนำเสนอ/การแลกเปลี่ยนข้อมูล																				
8.1 แลกเปลี่ยนข้อมูล	/	/	/	/	/		/	/	/	/	/		/	/	/	/	/	/		/

การทบทวนวรรณกรรมจากรายงานการวิจัย พบว่าแนวทางการประยุกต์กระบวนการออกแบบวิศวกรรมร่วมกับรูปแบบวิธีการสอนอื่น ได้แก่ วิธีการสอนด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Method) วิธีการสอนการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructionism) และวิธีการสอนด้วยการใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-Based Learning) โดยสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลแนวทางการประยุกต์กระบวนการออกแบบวิศวกรรมร่วมกับรูปแบบวิธีการสอนอื่น

แนวทางการประยุกต์กระบวนการออกแบบวิศวกรรมร่วมกับรูปแบบวิธีการสอนอื่น	Saeedeh [6]	El-Zein and Hedemann [7]	Zhu et al. (2018) [8]	Esmaeilian et al. [9]	Moore et al. [10]	N. Mentzer et al. [11]	SÜRmeli et al. [12]	Kuang-Chao et al. [13]	Lammi and Becker [14]	Cross et al. [15]	Kelley and Knowles [16]	Mentzer [17]	Cropley [18]	Chien and Chu [19]	Denson and Lammi [20]	Wendell et al. [21]	Lawanto et al. [22]	Kanematsu and Barry [23]	Starkey et al. [24]	Yoon Yoon et al. [25]
กระบวนการทางวิทยาศาสตร์		/									/				/					
การสร้างความรู้ด้วยตนเอง											/									
การใช้ปัญหาเป็นฐาน					/											/				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2 แนวทางการประยุกต์กระบวนการออกแบบวิศวกรรมร่วมกับรูปแบบวิธีการสอนอื่นของ El-Zein and Hedemann [7] , Kelley and Knowles [16] และ Denson and Lammi [20] พบว่า กระบวนการออกแบบวิศวกรรมสามารถประยุกต์ร่วมกับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นวิธีการสอนสำหรับการแก้ปัญหาที่เน้นให้นักเรียนคิดแก้ปัญหาเช่นเดียวกันกับกระบวนการออกแบบวิศวกรรม แบ่งขั้นตอนออกได้เป็น 1) ขั้นกำหนดขอบเขตของปัญหา โดยขั้นนี้สามารถใช้ร่วมกับกระบวนการออกแบบวิศวกรรมสำหรับการประยุกต์ร่วมกันคือ ผู้สอนจะกำหนดขอบเขตของปัญหา เพื่อให้นักเรียนได้คิดหัวข้อด้วยการนำปัญหามาจำแนกออกเป็นข้อๆ บทบาทของผู้สอนจะต้องทำให้นักเรียนสามารถมองเห็นปัญหา และสร้างจุดมุ่งหมายในการแก้ปัญหาได้อย่างชัดเจน 2) ขั้นตั้งสมมุติฐาน สามารถนำไปใช้กับขั้นรวบรวมข้อมูลในการสร้างกรอบแนวคิด เพื่อแสดงให้เห็นว่า ปัญหาที่ค้นพบมีสาเหตุมาจากอะไร และมีวิธีการแก้ปัญหาได้อย่างไร ทั้งนี้บทบาทของผู้สอนจะต้องช่วยให้นักเรียนวางแผนในการแก้ปัญหาและแบ่งกลุ่มในการรับผิดชอบงานตามความสามารถของนักเรียน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับขั้นตอนการวางแผนด้วยเช่นกัน 3) ขั้นรวบรวมข้อมูล สามารถใช้วิธีการค้นคว้าจากแหล่งความรู้ต่างๆ เพื่อเป็นพื้นฐานและรองรับการแก้ปัญหา เช่น จากตำรา เอกสารต่างๆ หรือใช้การสัมภาษณ์ ซักถามจากผู้คน โดยบทบาทของผู้สอนคือ แนะนำแหล่งค้นคว้าหรือติดต่อผู้เชี่ยวชาญให้ 4) ขั้นทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล สามารถนำไปประยุกต์ได้กับขั้นออกแบบ ปฏิบัติงาน และทดสอบ โดยให้นักเรียนได้ดำเนินการทดลองด้วยกระบวนการวิทยาศาสตร์ด้วยการให้นักเรียนตรวจสอบข้อสมมุติฐาน โดยใช้หลักฐานมาอ้างอิงต่อผลลัพธ์ที่ได้และตรวจสอบความถูกผิดของข้อมูลที่ได้รับ 5) ขั้นประเมินผล สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับขั้นปรับปรุง/ขั้นประเมินผลงาน คือ การสรุปว่าข้อมูลที่ได้รับหรือผลการปฏิบัติงานนั้นเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ต่อกรอบแนวคิดหรือไม่ ตามหลักเหตุและผลเพื่อให้ได้คำตอบสำหรับปัญหาอย่างแท้จริง

นอกจากนี้ Kelley and Knowles [16] กล่าวว่าสามารถใช้ร่วมกับวิธีการสอนการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructionism) ซึ่งเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนสามารถสร้างความรู้ การเรียนรู้ที่เกิดขึ้นภายในของนักเรียน โดยได้เสนอว่า วิธีการดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการออกแบบวิศวกรรม โดยให้นักเรียนออกแบบ สร้าง หรือให้ผู้เรียนทำชิ้นงานเกิดขึ้น ทั้งนี้มีวิธีการใช้ในขั้นตอนการกำหนดปัญหาหรือระบุปัญหา ที่ให้นักเรียนใช้ความคิด ความรู้ของตนเอง ในการคิดขึ้นมาเพื่อตอบสนองต่อปัญหาที่ต้องการแก้ไขและเป็นพื้นฐานสำหรับความคิดสร้างสรรค์ และนำความคิดที่ได้มาแลกเปลี่ยนกับผู้อื่นที่ทำให้นักเรียนเกิดองค์ความรู้ใหม่ก่อนขั้นตอนการออกแบบ

และ Wendell et al. [21] และ Moore et al. [10] พบว่าสามารถใช้การจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-Based Learning) เข้าร่วมกับกระบวนการออกแบบวิศวกรรมได้ เป็นกระบวนการที่ใช้ปัญหาเป็นฐานการเรียนรู้ โดยให้นักเรียนอยากรู้ เริ่มต้นจากปัญหาที่นักเรียนสนใจหรือค้นพบในชีวิตประจำวัน จากนั้นนักเรียนใช้ความคิดร่วมกันแก้ไขปัญหากับผู้อื่น โดยผู้สอนเป็นผู้กระตุ้นให้นักเรียนคิดจากสถานการณ์ ข่าว เหตุการณ์ปัจจุบัน ก่อนที่จะนำไปสู่แนวความคิดและการหาข้อมูลมารองรับกับแนวความคิด

5. อภิปรายผล

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ศึกษาขั้นตอนกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 20 เรื่อง พบว่า

5.1 ขั้นตอนของกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน ทั้งหมด 8 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) การกำหนดปัญหาหรือระบุปัญหา 2) การรวบรวมข้อมูล 3) การวางแผน 4) การออกแบบ 5) การปฏิบัติงาน 6) การทดสอบ 7) การปรับปรุง/การประเมินผลงาน และ 8) การนำเสนอ/การแลกเปลี่ยนข้อมูล ดังนี้

1. การกำหนดปัญหาหรือระบุปัญหา คือ การท้าทาย การสร้างเงื่อนไข ข้อจำกัดให้แก่นักเรียน เพื่อจุดประสงค์ของกระบวนการคิดหรือแนวความคิด ที่ต้องตอบสนองหรือตรงต่อเป้าหมายในการออกแบบ ทั้งนี้ El-Zein and Hedemann [7] และ Esmaeilian et al. [9] ได้กล่าวว่า การกำหนดปัญหาควรกำหนดให้นักเรียนคาดหวังในการแก้ปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต และเป็นปัจจัยพื้นฐานของชีวิตประจำวัน และให้นักเรียนได้คิดอย่างอิสระมีเหตุผลและจริยธรรมในการต้องการแก้ปัญหา นอกจากนี้ Kanematsu and Barry [23] และ Starkey et al. [24] พบว่า ในการกำหนดปัญหาหรือระบุปัญหาเป็นส่วนที่กระตุ้นให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหามากที่สุด เนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นของความคิดที่กระตุ้นให้เกิดการกระทำในขั้นตอนต่อไปจากจินตนาการของนักเรียน แต่ผู้สอนจะต้องคอยกำกับความคิดของนักเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การรวบรวมข้อมูล คือ การศึกษาการกลั่นกรองโอกาสความสำเร็จ เพื่อพัฒนาแนวคิดและสามารถหาแนวทางสำหรับการดำเนินงานภายใต้การประเมินหรือข้อจำกัดได้ เช่น การศึกษาความเป็นไปได้ ด้านการตลาด เทคนิค การเงิน และการจัดการ ทั้งนี้ Moore et al. [10] และ N. Mentzer et al. [11] ได้กล่าวว่า การรวบรวมข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การรวบรวมข้อมูลจากทฤษฎีและจากการสร้างแนวความคิด ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมากต่อการดำเนินกิจกรรม เนื่องจากเป็นสิ่งที่สำคัญต่อข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบที่สนองต่อปัญหา โดยใช้เหตุผลจากทฤษฎีเพื่อสร้างความน่าเชื่อถือและค้นพบสิ่งที่แตกต่างจากเดิมได้ อีกทั้งยังเชื่อมโยงปัญหาเข้ากับทฤษฎีได้อีกด้วย

3. การวางแผน คือ การสร้างแผนงาน ระยะเวลา งบประมาณหรือสิ่งที่คาดคะเนไว้ เพื่อกำหนดลำดับขั้นตอนของวิธีการหรือการลงปฏิบัติงาน การตัดสินใจ พิจารณาถึงโอกาสและการประยุกต์ใช้ระบบวิศวกรรมถึงความเป็นไปได้ Moore et al. [10] และ Cross et al. [15] พบว่า การกำหนดขั้นตอนหรือการวางแผนประกอบจะช่วยให้นักเรียนพบแนวทางการแก้ปัญหาได้อย่างละเอียด และสร้างความเข้าใจของกระบวนการในการปฏิบัติงานได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบกระบวนการปฏิบัติงานได้

4. การออกแบบ คือ ขั้นตอนการประยุกต์ใช้ข้อมูลและแนวคิดจากการรวบรวมข้อมูล เพื่อการออกแบบสำหรับการหาแนวทางการแก้ไขปัญหา รวมทั้งการสร้างโมเดลในการดำเนินงานหรือกิจกรรมที่เกิดขึ้น โดย Lammi and Becker [14] และ Kanematsu and Barry [23] พบว่าการออกแบบเป็นการแสดงความคิดจากปัญหาที่แสดงออกเป็นรูปธรรมที่สามารถทำให้นักเรียนเข้าใจได้ง่ายและแสดงถึงการเชื่อมโยงแนวความคิดเป็นรูปร่างลักษณะ

5. การปฏิบัติงาน คือ การดำเนินการตามขั้นตอนที่วางแผนตามโครงสร้างหรือกระบวนการที่จัดทำไว้ เพื่อหาคำตอบหรือข้อปฏิบัติที่ต้องการตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในวัตถุประสงค์หรือจุดประสงค์ ซึ่ง El-Zein and Hedemann [7] และ Lawanto et al. [22] กล่าวว่า การปฏิบัติงานเป็นการทบทวนความซ้ำซ้อนของการแก้ปัญหา เผชิญต่อปัญหาและค้นหาวิธีแก้ไข เพื่อนำไปสู่การสร้างผลงานจริง

6. การทดสอบ คือ การประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขผลลัพธ์ที่ได้ หรือกระบวนการที่สร้างขึ้นไว้ รวมทั้งการตรวจสอบแนวความคิดที่จัดดำเนินการขึ้นด้วยแบบจำลอง (Model) หรือ ตัวต้นแบบ (Prototypes) เป็นการตัดสิน ทบทวนขั้นตอนให้ได้ผลงานที่เหมาะสมและหาจุดที่ดีที่สุด (Optimization) และพิจารณาขีดความสามารถของการทำงานและค่าใช้จ่าย ซึ่ง Zhu et al. [8] ได้กล่าวถึงการทดสอบว่าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้ 1) การสร้างแบบจำลอง คือ การสร้างต้นแบบที่ช่วยให้ความคิดสร้างสรรค์เกิดความไหลตัวทางความคิดสู่การตอบสนองการแก้ปัญหาและเกิดเป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น และทำให้นักเรียนได้เห็นถึงความเป็นไปได้ของรายละเอียดในการแก้ปัญหา 2) การทวนสอบงาน คือ การตรวจสอบแนวความคิด พิจารณาผลการออกแบบจากขั้นตอนการวางแผน

7. การปรับปรุง/การประเมินผลงาน คือ ปรับปรุงดำเนินกิจกรรมแก้ไข ปัญหาหรือชิ้นงาน รวมทั้งกรณีที่ผิดพลาดอาจปฏิบัติใหม่ วางแผนใหม่ ขั้นตอนใหม่ ทดสอบใหม่ ซึ่ง Wendell et al. [21] พบว่า เป็นการประเมินผลการกระทำที่จัดขึ้นจากแผนที่กำหนดไว้เพื่อพัฒนาให้ได้อย่างเหมาะสม โดยใช้หลักดังนี้ 1) การสนองความต้องการของข้อกำหนดการออกแบบ 2) ความเหมาะสมกับเศรษฐกิจ 3) ด้านเทคนิค 4) ด้านการสร้างสรรค์ 5) ความพึงพอใจของผู้ใช้ 6) องค์ประกอบความเป็นไปได้ อีกทั้ง N. Mentzer et al. [11] และ Denson and Lammi [20] พบว่า การปรับปรุงหรือการประเมินผลงานเป็นส่วนช่วยในการตัดสินใจข้อมูลในการออกแบบ เพื่อพัฒนาผลจากการทดสอบให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นกว่าเดิม

8. การนำเสนอ/การแลกเปลี่ยนข้อมูล คือ นำเสนอ ประชาสัมพันธ์ เปลี่ยนความคิด ความรู้แก่บุคคลอื่นเพื่อให้ผู้อื่นเข้าใจ และได้รับข้อเสนอแนะเพื่อดำเนินการพัฒนาต่อไป ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่สำคัญกับผู้อื่นได้โดยตรง ซึ่ง Zhu et al. [8] และ Saeedeh [6] พบว่า การนำเสนอเป็นการถ่ายทอดแนวความคิดเพื่อได้รับข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากมิติมุมมองของบุคคลอื่นอีกด้วย นอกจากนี้ Cross et al. [15] เสนอว่าการนำเสนอผลงานเป็นการสื่อสารและศิลปะ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญต่อการดำรงชีวิต อีกทั้งการนำเสนอยังเป็นพื้นฐานของความเป็นกระบวนการออกแบบวิศวกรรม

5.2 กระบวนการออกแบบวิศวกรรมสามารถสอนร่วมกับวิธีการสอนอื่นได้ ซึ่งมีความสอดคล้องและสามารถประยุกต์ในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

1. กระบวนการออกแบบวิศวกรรมร่วมกับวิธีการสอนด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ พบว่า มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างมาก แต่มีจุดต่างคือ วิทยาศาสตร์เริ่มต้นด้วยคำถาม ในขณะที่กระบวนการออกแบบวิศวกรรมเริ่มต้นด้วยวิธีการกำหนดปัญหา (Create Solution to the problem) ซึ่งสิ่งสำคัญของกระบวนการทั้ง 2 นำมาประยุกต์ร่วมคือ การสืบสอบ (Inquiry) โดย El-Zein and Hedemann [7] กล่าวว่าเป็นส่วนที่ช่วยให้นักเรียนเกิดความรู้สึกหรืออยากที่จะสืบค้นหรือแสวงหาข้อมูลที่เป็นปัญหา เมื่อร่วมกันทั้ง 2 รูปแบบการสอนจะทำให้ได้ทั้งวิธีการค้นหาปัญหาและข้อมูลในการแก้ปัญหาร่วมกัน ซึ่งจะส่งผลให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการแก้ไขปัญหาได้อย่างหลากหลายแนวทาง ที่เชื่อมโยงปัญหาในชีวิตประจำวันมากยิ่งขึ้น และส่งผลให้นักเรียนเกิดทักษะการแก้ปัญหา ทักษะการคิดเชิงระบบ และทักษะความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งทักษะเหล่านี้ส่งผลให้เกิดเป็นทักษะสำหรับการใช้ในชีวิตประจำวันได้

2. กระบวนการออกแบบวิศวกรรมร่วมกับวิธีการสอนด้วยการสร้างความรู้ด้วยตนเอง พบว่าเป็นกระบวนการที่ให้นักเรียนได้ลงมือกระทำด้วยตนเอง (Learning by Doing) โดย Kelley and Knowles [16] กล่าวว่าเป็นการมองลึกไปถึงศักยภาพของนักเรียนต่อการเรียนรู้ที่เกิดปฏิกิริยาระหว่างประสบการณ์ความรู้ของนักเรียนเองและสภาพสิ่งแวดล้อมภายนอก ทำให้เกิดประสบการณ์ใหม่ร่วมกับประสบการณ์ความรู้เดิมจนเกิดองค์ความรู้ใหม่ในตัวนักเรียน อีกทั้งยังทำให้สมองของนักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้และเอื้อต่อการเกิดความคิดสร้างสรรค์จากประสบการณ์ที่เกิดขึ้นได้ ทั้งนี้จากกระบวนการออกแบบวิศวกรรมจะต้องให้นักเรียนได้เกิดทักษะด้านสังคม ซึ่งสอดคล้องกับหลักการเรียนรู้จากประสบการณ์และสิ่งแวดล้อมโดยเน้นให้เห็นความสำคัญของการเรียนรู้ร่วมกัน (Social Value) ทำให้บุคคลเป็นแหล่งการเรียนรู้อีกหนึ่งทางเพื่อนำไปสู่โลกภายนอก ที่จะทำให้ปรับตัวและร่วมทำงานกับผู้อื่นได้ง่าย ทั้งนี้จุดสอดคล้องระหว่างกระบวนการออกแบบวิศวกรรมร่วมกับวิธีการสอนด้วยการสร้างความรู้ด้วยตนเอง คือ เริ่มที่นักเรียนอยากจะเรียนรู้อะไร อยากจะทำอะไร จนนักเรียนรู้สึกเข้าถึงปัญหาซึ่งเป็นแรงจูงใจภายในที่ทำให้เกิดการสร้างสรรค์ ทั้งนี้จะต้องใช้กระบวนการเรียนรู้อย่างเป็นกลุ่ม ซึ่งจะดีกว่าการเรียนรู้เพียงคนเดียวทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์กันจนสร้างความรู้ได้ด้วยตนเอง

3. กระบวนการออกแบบวิศวกรรมร่วมกับวิธีการสอนจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน เป็นวิธีการที่ให้นักเรียนได้เรียนรู้โดยได้จัดกระทำด้วยตนเอง (Active Learning) ที่ใช้ปัญหาเป็นฐานการเรียนรู้ ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่ให้นักเรียนได้เริ่มต้นด้วยวิธีการกำหนดปัญหา โดย Wendell et al. [21] ได้กล่าวว่ากระบวนการออกแบบวิศวกรรมจะต้องทำงานกันอย่างเป็นกลุ่ม การใช้การจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานจะเน้นให้นักเรียนเกิดปฏิสัมพันธ์กันระหว่างนักเรียน จนทำให้เกิดการปฏิบัติและการเรียนรู้ร่วมกัน (Collaborative Learning) นำไปสู่การค้นคว้าหาคำตอบหรือสร้างความรู้ใหม่บนฐานความรู้เดิมที่นักเรียนมีมาก่อนหน้านี้ และฝึกให้เกิดทักษะการทำงานอย่างมีส่วนร่วมได้ ซึ่งเรียกว่ามนุษยสัมพันธ์ และ Moore et al. [10] ได้กล่าวอีกว่า กระบวนการออกแบบวิศวกรรมทำให้เสริมสร้างและพัฒนาให้นักเรียนต่อยอดความรู้เดิมให้ขยายไปสู่ความคิดใหม่ๆ โดยวิธีการสอนจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานจะเป็นกลไกในการค้นคว้าเพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหา ทำให้ผู้เรียนแก้ไขปัญหา ได้คิด ทำเป็น และมีการตัดสินใจที่ดี และสามารถรู้จักการทำงานเป็นทีมอีกด้วย

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

การนำผลงานวิจัยไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนด้วยกระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย และเป็นแนวทางในการเตรียมความพร้อมหรือพัฒนาการจัดการเรียนการสอนแก่บุคลากร อาจารย์/ครู ด้วยกระบวนการออกแบบวิศวกรรม

6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

การศึกษากระบวนการออกแบบวิศวกรรมที่มีผลต่อทักษะด้านอื่นๆ เช่น ทักษะกระบวนการทำงานกลุ่ม ทักษะกระบวนการนวัตกรรม ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น นอกเหนือจากความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์

เอกสารอ้างอิง

[1] Ministry of Education. 2017. **Core Curriculum Basic Education of Mathematics, Science and Geography Content in the Subjects of Social Studies, Religion and Culture (Updated edition 2017)**. Bangkok: Office Academic and Education Standards.

[2] Chan, J. and C. Schunn. 2015. The impact of analogies on creative concept generation: Lessons from an in vivo study in engineering design. **Cognitive Science**, 39(1), p. 126-155.

[3] Ragupathi, K.k.n.e.s. and H.h.h.u.c. Hubball. 2015. Scholarly Approaches to Learning Technology Integration in a Research-Intensive University Context: Impact of a New Faculty Initiative. Transformative Dialogues. **Teaching & Learning Journal**, 8(1), p. 1-16.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[4] Bybee, R. 2010. Advancing STEM education: A 2020 vision. **Technology and Engineering Teacher Journal**, 70.

[5] Thipakorn, B. and K.S. Tawornpichayachai. 2015. The Twenty-First Century Engineering Education: KMUTT Imagineering Program. **Technology & Workplace Skills for the Twenty-First Century,** p.71.

[6] Saeedeh Ziaeefard, et al. 2017. **Co-robotics hands-on ativities: A gateway to engineering design and STEM learning**. Robotics and Autonomous Systems, 7(13).

[7] El-Zein, A.H. and C. Hedemann. 2016. Beyond problem solving: Engineering and the public good in the 21st century. **Journal of Cleaner Production**, 137, p. 692-700.

[8] Zhu, W., et al. 2018. **Engineering Design and Manufacturing Education through Research Experience for High School Teachers**. Procedia Manufacturing, 26, p. 1340-1348.

[9] Esmaeilian, B., et al. 2018. Use of Citizen Science to Improve Student Experience in Engineering Design, Manufacturing and Sustainability Education. **Procedia Manufacturing**, 26, p. 1361-1368.

[10] Moore, T., et al. 2014. Implementation and integration of engineering in K-12 STEM education, in Engineering in Pre-College Settings. **Synthesizing Research**, p. 48.

[11] Mentzer, N., K. Becker, and M. Sutton. 2015. **Engineering Design Thinking: High School Students' Performance and Knowledge**, p. 417-432.

[12] SÜRmeli, H., et al. 2018. **Secondary School Students' Performance and Opinions Towards Activities Based on Engineering Design Process**, 47(2), p. 844-872.

[13] Kuang-Chao, Y.U., L.I.N. Kuen-Yi, and F.A.N. Szu-Chun. 2013. How High School Students Apply Knowledge in Engineering Design Projects. **International Journal of Engineering Education**, 29(6), p. 1604.

[14] Lammi, M.m.n.e. and K.k.b.u.e. Becker. 2013. Engineering Design Thinking. **Journal of Technology Education**, 24(2), p. 55-77.

[15] Cross, J., et al. 2016. Engineering and Computational Thinking talent in middle school students: A framework for defining and recognizing student affinities. in 2016 **IEEE Frontiers in Education Conference (FIE).**

[16] Kelley, T.R. and J.G. Knowles. 2016. A conceptual framework for integrated STEM education. **International Journal of STEM Education**, 3(1), p. 11.

[17] Mentzer, N.j.e.n.p.e.. 2014. High School Student Information Access and Engineering Design Performance. **Journal of Pre-College Engineering Education Research**, 4(1), p. 31-42.

[18] Cropley, D.H. 2016. Creativity in Engineering, in Multidisciplinary Contributions to the Science of Creative Thinking, G.E. Corazza and S. Agnoli, Editors. **Springer Singapore: Singapore**, p. 155-173.

[19] Chien, Y.-H. and P.-Y. Chu. 2018. The Different Learning Outcomes of High School and College Students on a 3D-Printing STEAM Engineering Design Curriculum. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 16(6), p. 1047-1064.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[20] Denson, C.D.c.n.e. and M.m.n.e. Lammi. 2014. Building a Framework for Engineering Design Experiences in High School. **Journal of Technology Education**, 26(1), p. 75-87.

[21] Wendell, K.B., C.G. Wright, and P.C. Paugh. 2015. Urban elementary school students' reflective decision-making during formal engineering learning experiences (Fundamental). **Proceedings of the ASEE Annual Conference & Exposition**, p. 1.

[22] Lawanto, O., et al.. 2013. Pattern of Task Interpretation and Self-Regulated Learning Strategies of High School Students and College Freshmen during an Engineering Design Project. **Journal of STEM Education: Innovations & Research**, 14(4), p. 15-27.

[23] Kanematsu, H. and D.M. Barry. 2016. STEM and Creativity, in **STEM and ICT Education in Intelligent Environments,** p. 15-23.

[24] Starkey, E., C.A. Toh, and S.R. Miller. 2016. Abandoning creativity: The evolution of creative ideas in engineering design course projects. **Design Studies**, 47, p. 47-72.

[25] Yoon Yoon, S.s.t.e., M.G.e.p.e. Evans, and J.j.t.e. Strobel. 2014. Validation of the Teaching Engineering Self-Efficacy Scale for K-12 Teachers: A Structural Equation Modeling Approach. **Journal of Engineering Education**, 103(3), p. 463-485.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้