

การพัฒนาแบบแผนการเรียนการสอนทางวิศวกรรม กรณีศึกษาเรื่องการควบคุมแบบออโตทูน

The Instructional Model Development in Engineering Education: Case Study of Autotuning Control

อาคม ลักษณะสกุล (Arkhom Luksanasakul)^{1*} ดร.พูลศักดิ์ โกษียาภรณ์ (Dr.Poolsak Koseeyaporn)**
ดร.มงคล หวังสติธยวงศ์ (Dr.Mongkol Wangsathitwong)***

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อพัฒนาแบบแผนการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรม เรื่องระบบควบคุมแบบออโตทูน ตามแนวการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์ความรู้นิยม ขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วย การวิเคราะห์เนื้อหา การสร้างแบบแผนการเรียนการสอน ECEA-Model การสร้างสื่อการเรียนการสอนแบบโปรแกรมจำลอง การประเมินแบบแผนการเรียนการสอนโดยผู้เชี่ยวชาญทั้งด้านการศึกษาและด้านวิศวกรรม จำนวน 10 คน แบบแผนการเรียนการสอนนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้าจำนวน 26 คน ใช้วิธีวัดประเมินความรู้ของผู้เรียนและการประเมินกระบวนการและทดสอบความแตกต่างของคะแนนทดสอบก่อนเรียนหลังเรียนโดยใช้สถิติที (t-test) ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพรูปแบบการเรียนการสอนมีค่าเท่ากับ 71.86/74.86 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 70/70 คะแนนทดสอบก่อนเรียนหลังเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อแบบแผนการเรียนการสอนในระดับพึงพอใจระดับมาก

ABSTRACT

The purpose of this research is to develop the instructional model in engineering education case study of the autotuning control based on constructivism theory. The procedure of this research includes content analysis, instructional model development: ECEA-Model, simulation program implementation. In addition all materials were evaluated by the 10 experts in both education and engineering perspective. The instruction model was applied to a sample group which is the 26 undergraduate electrical engineering students. The evaluation methods are product assessment, process assessment, test score difference between pretest and posttest, and student satisfaction evaluation. The results show that the instructional package efficiency is 71.86/74.86; this was higher than the 70/70 expected results. The test score differences are statistically significant at the 0.01 level. The students were satisfied in the instructional model at high level.

คำสำคัญ การศึกษาด้านวิศวกรรม การออกแบบรูปแบบการเรียนการสอน สร้างสรรค์ความรู้นิยม

Key Words: Engineering education, Instructional design, Constructivism

¹ Correspondent author: luksanasakul@gmail.com

* นักศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้าศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

*** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทนำ

การศึกษาทางด้านวิศวกรรม (Engineering education) ส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาในยุคโลกาภิวัตน์ จำเป็นต้องปรับตัวเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงที่ถือเป็นความท้าทาย [1] ได้แก่ 1) เศรษฐกิจฐานความรู้ (The knowledge economy) ที่เทคโนโลยีสารสนเทศและการติดต่อสื่อสารถูกให้ความสำคัญแทนการขนส่งที่มีความสำคัญในทศวรรษที่ผ่านมา 2) กระแสโลกาภิวัตน์ (Globalization) ที่เกี่ยวข้องกับความเร็ว ความปลอดภัย เศรษฐกิจที่เป็นสากลพึ่งพาซึ่งกันและกัน 3) การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี (Technology change) ทั้งเทคโนโลยีสารสนเทศ ไบโอเทคโนโลยี นาโนเทคโนโลยี 4) นวัตกรรมเทคโนโลยี (Technology innovation) ที่เกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ รวมถึง 5) ประชากร (Demographics) ความหลากหลายทางวัฒนธรรม ถือเป็นความท้าทายที่ส่งผลต่อการศึกษาด้านวิศวกรรม การเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปอย่างรวดเร็วมีอิทธิพลโดยตรง การศึกษาด้านวิศวกรรมจำเป็นต้องตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว [2] ดังที่อดีตอธิการบดีสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่กล่าวถึงว่า โลกาภิวัตน์ที่กำลังเปลี่ยนแปลงส่งผลให้วิธีการทำงานของวิศวกรต้องเปลี่ยนแปลงด้วย การจัดการศึกษาด้านวิศวกรรมต้องพิจารณาถึงบริบทใหม่ เนื้อหาใหม่ การแข่งขันและความท้าทายด้านวิศวกรรม [3]

ความสามารถของผู้สำเร็จการศึกษาด้านวิศวกรรมในศตวรรษที่ 21 ถูกคาดหวังให้เป็นผู้ที่สามารถประยุกต์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และวิศวกรรม ออกแบบ ทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทำงานได้หลายหน้าที่ [1, 4] เข้าใจความรับผิดชอบด้านอาชีพและจริยธรรม [5] สื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6-8] เข้าใจผลกระทบของการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมทั้งในบริบทของโลกและสังคม เห็นความสำคัญของการเรียนรู้ตลอดชีวิต [9] มีความสนใจในประเด็นหรือปัญหาร่วมสมัย ใช้เทคนิคทักษะ และเครื่องมือทางวิศวกรรมที่ทันสมัยในการปฏิบัติงานวิศวกรรม [1, 10] มีทักษะการคิดแก้ปัญหา

[8] ดังนั้นการเรียนการสอนที่ใช้ห้องเป็นเป็นหลักในปัจจุบันควรเปลี่ยนเป็นกระบวนการที่เป็นแบบผู้เรียนเป็นผู้ลงมือทำ (Active) ที่ส่งเสริมให้เกิดทักษะการแก้ปัญหาและการทำงานเป็นทีม [1]

ทศวรรษที่ผ่านมาการพัฒนาการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยระดับนานาชาติด้านการพัฒนาการศึกษาด้านวิศวกรรมที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องดังภาพที่ 1 [11] ที่พบว่าการวิจัยด้านการศึกษาด้านวิศวกรรมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยในปี ค.ศ. 2011 มีงานวิจัยเพิ่มขึ้นจากปี ค.ศ. 2000 คิดเป็น 3-4 เท่าและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยให้ความสำคัญกับการวิจัยเพื่อพัฒนาสื่อหรือเทคโนโลยีทางการศึกษา การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอน การศึกษาสภาพปัจจุบันและแก้ปัญหาเฉพาะด้าน ระบบการเรียนรู้ รวมทั้งการพัฒนาหลักสูตร พัฒนารายวิชาตามลำดับ ที่สำคัญการพัฒนาการศึกษาด้านวิศวกรรมจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาหลักสูตร เนื้อหาวิชา ให้สอดคล้องกับภาคอุตสาหกรรมและการวิจัย เพื่อที่จะนำผู้เรียนไปสู่ความเป็นวิศวกรมืออาชีพ [12]

การเรียนการสอนด้านวิศวกรรมระบบควบคุมและระบบอัตโนมัติของประเทศไทย เมื่อศึกษาจากหลักสูตรและแผนการสอนของมหาวิทยาลัยต่างๆ ในประเทศไทย พบว่าปัจจุบันเน้นการสอนเกี่ยวกับความรู้เบื้องต้น (Introduction) การออกแบบในโดเมนความถี่ (Modeling in frequency domain) การตอบสนองในโดเมนความถี่ (Frequency response) การออกแบบในโดเมนเวลา (Modeling technique in the time domain) การตอบสนองในโดเมนเวลา (Time response) การลดรูประบบ (Reduction of multiple subsystems) ความผิดพลาดของระบบ (Steady-state errors) เสถียรภาพของระบบ (Stability) การวิเคราะห์ทางเดินของราก (Root locus technique) การออกแบบในโดเมนความถี่ (Design via frequency response) ในขณะที่การวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนในสาขานี้ที่ผ่านมาให้

ความสนใจเกี่ยวกับการพัฒนาสื่อและชุดทดลองแบบต่างๆ ได้แก่ การสร้างและพัฒนาชุดทดลอง [13-15] การพัฒนาชุดทดลองเสมือน การพัฒนาชุดทดลองทางไกล [16] การพัฒนาชุดทดลองแบบ Realtime [17] การพัฒนาสื่อผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ติดตามตัวเพื่อให้ง่ายในการกระจายและเข้าถึงสื่อและวัสดุในการเรียนรู้ [18] การพัฒนาระบบช่วยวัดและประเมินผลการเรียนรู้ [19] ซึ่งจะเห็นได้ว่างานวิจัยส่วนใหญ่เน้นการผลิตสื่อการเรียนการสอน

ในขณะที่การวิจัยในด้านวิศวกรรมระบบควบคุมปัจจุบันสนใจศึกษาเกี่ยวกับ PID Autotuning, Fuzzy logic Control, Robust control, Auto-tuning using fuzzy, Neural network, Fuzzy tuning PI, Adaptive control, Autotuning using neural และหากพิจารณาด้านการใช้ระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมพบว่ามากกว่า 97% ของตัวควบคุมใช้การปรับตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID) แต่ในมุมมองของผู้บริหารและวิศวกรกล่าวว่าเป็นเรื่องที่ยากที่จะทำให้ระบบพีไอดี ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในด้านการพัฒนาตัวควบคุมพบว่ามีเพียง 32 เปอร์เซ็นต์ที่ประสบความสำเร็จเป็นที่ยอมรับ นอกจากนั้นพบว่าล้มเหลวไม่สามารถยอมรับเนื่องจากมีการตอบสนองที่เฉื่อย (Sluggish) และมีการแกว่ง (Oscillatory) จากผลดังกล่าวนำมาสู่การพิจารณาวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการควบคุม ซึ่งระบบออโตจูน (Autotuning) เป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมเพราะสามารถหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ด้วยตัวเองและสามารถปรับตัวได้อย่างต่อเนื่องทำให้การควบคุมมีประสิทธิภาพและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งหากพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการศึกษาด้านระบบควบคุมและระบบอัตโนมัติในปัจจุบันกับความก้าวหน้าทางด้านระบบควบคุมทั้งในภาคอุตสาหกรรมและการวิจัย จำเป็นต้องมีการปรับปรุงพัฒนาให้มีเนื้อหาสอดคล้องกับภาคอุตสาหกรรมและการวิจัย เพื่อพัฒนาการศึกษาทางด้านวิศวกรรม โดย

ระบบออโตจูน เป็นเรื่องหนึ่งที่มีบทบาทอย่างมากในภาคอุตสาหกรรมในปัจจุบันเนื่องจากสามารถแก้ปัญหาความยุ่งยากในการปรับค่า Parameter ของตัวควบคุมพีไอดี ดังที่เห็นได้จากมีผู้ผลิตทางด้านอุตสาหกรรมมากมายใช้ระบบออโตจูน ในผลิตภัณฑ์ต่างๆในปัจจุบัน ได้แก่ ABB, Emerson process management, Foxboro, Honeywell, Siemens, Yokogawa ดังนั้นระบบออโตจูน นับว่าเป็นเรื่องที่สำคัญสำหรับระบบควบคุมในปัจจุบันจึงจำเป็นต้องพัฒนาทั้งเนื้อหาวิชาและสื่อการเรียนการสอน

การวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนจำเป็นต้องศึกษาสภาพปัจจุบันและปัญหาให้ชัดเจน ซึ่งจากการศึกษาผู้วิจัยพบว่าพบว่าสภาพรายวิชาเกี่ยวกับระบบควบคุมมีเนื้อหาที่น่าสนใจแต่ค่อนข้างยากสอดคล้องกับงานวิจัย [13] สำหรับเนื้อหาเกี่ยวกับพีไอดี (PID) ฟัซซี่ (Fuzzy) และออโตจูน (Autotuning) พบว่านักเรียนรู้จักตัวควบคุมแบบพีไอดี แต่ไม่รู้จักและไม่เข้าใจเกี่ยวข้องกับฟัซซี่และออโตจูน ด้านสื่อการสอนพบว่า 97 เปอร์เซ็นต์ใช้โปรแกรม Matlab ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีลิขสิทธิ์ ผู้เรียน เสนอแนะว่าควรจะให้ครูตามหลักสูตรควรให้ความสำคัญกับความเข้าใจของผู้เรียน ควรใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ และเปิดโอกาสให้นักเรียนซักถาม แสดงความคิดเห็น

ทฤษฎีการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์ความรู้นิยม (Constructivism) เป็นทฤษฎีทางการศึกษาที่มุ่งเน้นการสร้างความรู้มากกว่าการรับความรู้ เชื่อว่าการเรียนรู้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายใน ผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้จากความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่พบเห็นกับความรู้ความเข้าใจเดิม โดยพยายามนำประสบการณ์เดิมมาสร้างเป็นโครงสร้างทางปัญญา (Cognitive structure) โดยผ่านกระบวนการดูดซึม (Assimilation) และการปรับโครงสร้างทางปัญญา (Accommodation) การเชื่อมโยงประสบการณ์เดิม เพื่อให้โครงสร้างทางปัญญาของแต่ละบุคคลเข้าสู่สภาพสมดุล (Equilibrium) คือการเกิดการเรียนรู้ผ่านการจัดการเรียนการสอนตามแนวการเรียนรู้แบบ

สร้างสรรค์ความรู้ใหม่จะต้องจัดประสบการณ์เพื่อให้
เกิดการสร้างความรู้ในตัวผู้เรียนโดยผู้เรียนมีบทบาท
เป็นผู้ลงมือทำและผู้สอนเป็นผู้สนับสนุน

สำหรับงานวิจัยเพื่อพัฒนารูปแบบการเรียน
การสอนปัจจุบันพบว่ามีลักษณะเด่นอยู่ 3 ด้านคือการ
วิจัยเพื่อพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนตามทฤษฎี
เพื่อแก้ปัญหาเฉพาะด้าน และเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพ
ของรูปแบบการเรียนการสอน [11] ซึ่งไม่พบงานวิจัย
ที่เน้นพัฒนาเนื้อหาพร้อมกับการพัฒนารูปแบบ
การศึกษาดังภาพที่ 2 และเมื่อพิจารณาด้านการเรียน
การสอนด้านวิศวกรรมระบบควบคุมในปัจจุบันที่
ขาดเนื้อหาที่สอดคล้องกับหัวข้อการวิจัยและ
อุตสาหกรรมโดยเฉพาะระบบอัตโนมัติ ที่มีใช้ใน
อุตสาหกรรมซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผู้จบการศึกษา
เช่นเดียวกับด้านการเรียนการสอนที่ควรเปลี่ยน
เป็นการเรียนรู้ผ่านการลงมือทำ (Active learning)
เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาได้เต็มศักยภาพ
ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่มีซอฟต์แวร์แบบ
ไม่มีลิขสิทธิ์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้มาพัฒนาเป็น
สื่อการเรียนการสอนในด้านระบบควบคุมได้อย่างมี
ประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงสนใจทำการวิจัยเพื่อพัฒนา
รูปแบบการเรียนการสอนโดยใช้โปรแกรมจำลอง
เครื่องระบบอัตโนมัติ ตามแนวการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์
ความรู้ใหม่

กรอบแนวคิดของการวิจัย

กรอบแนวคิดของการวิจัยแสดงดังภาพที่ 3
เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนทาง
ด้านวิศวกรรมโดยวิเคราะห์เนื้อหาจากช่องว่าง
(Gap analysis) ของหลักสูตรปัจจุบัน งานวิจัย
และอุตสาหกรรม แล้วพัฒนารูปแบบการเรียนการ
สอนที่สอดคล้องกับคุณลักษณะที่ต้องการของผู้สำเร็จ
การศึกษา สภาพและความต้องการของผู้เรียน สื่อการ
เรียนการสอน โดยใช้ทฤษฎีสร้างสรรค์ความรู้ใหม่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนตาม
แนวการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์ความรู้ใหม่
2. เพื่อพัฒนาเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับระบบ
อัตโนมัติ
3. เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนการสอนประเภท
โปรแกรมจำลองที่เกี่ยวข้องกับระบบอัตโนมัติ
4. เพื่อหาประสิทธิภาพรูปแบบการเรียน
การสอนที่เกี่ยวข้องกับระบบอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรม
จำลอง

สมมติฐานของการวิจัย

1. ประสิทธิภาพของรูปแบบการเรียนการ
สอนมีประสิทธิภาพสูงตามเกณฑ์ 70/70
2. ผู้เรียนมีความพึงพอใจในรูปแบบการ
เรียนการสอนและโปรแกรมจำลองระบบควบคุม
ในระดับมาก

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์เนื้อหา

การวิเคราะห์เนื้อหาอยู่บนพื้นฐานที่เชื่อ
ว่าการจัดการศึกษาโดยเฉพาะด้านวิศวกรรมจำเป็น
ต้องสอดคล้องกับเทคโนโลยีภาคอุตสาหกรรม เป็น
ไปได้ที่เนื้อหาไม่มีในหลักสูตรแต่มีความจำเป็น
สำหรับการเรียนการสอน ผู้สอนควรคำนึงถึงการพัฒนา
ผู้เรียนมากกว่าหลักสูตร [20] การพัฒนาการเรียน
การสอนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการพัฒนา
เนื้อหาวิชาให้สอดคล้องกับภาคอุตสาหกรรมและ
การวิจัยเป็นสิ่งจำเป็น อาจารย์ผู้สอนสามารถที่จะ
ปรับหลักสูตรได้อย่างไม่เป็นทางการ (Informal
changes) เพื่อปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง [21]
โดยการวิเคราะห์ที่มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 การศึกษางานวิจัย เพื่อศึกษาหัวข้อ
งานวิจัยทางด้านระบบควบคุมที่เป็นที่สนใจ พบว่า
หัวข้อวิจัยปัจจุบันประกอบด้วย PID control, Fuzzy
logic control, Robust control, Neural network,

Adaptive control, Optimal control fuzzy, Identification and estimation, Stochastic control และ Autotuning และพบว่าเกี่ยวกับออโตจูน (Autotuning) มีการประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคนิคต่างๆ จำนวนมาก

ขั้นที่ 2 การศึกษาหลักสูตรรายวิชา โดยทบทวนหลักสูตรรายวิชา โครงการสอน ของอาจารย์ในมหาวิทยาลัยในประเทศไทยจำนวน 11 มหาวิทยาลัยพบว่าปัจจุบันเน้นการสอนความรู้เบื้องต้น การออกแบบในโดเมนความถี่ การตอบสนองในโดเมนความถี่ การออกแบบในโดเมนเวลา การตอบสนองในโดเมนเวลา การลดรูป ความผิดพลาดของระบบ เสถียรภาพของระบบ การวิเคราะห์ทางเดินของราก การออกแบบในโดเมนความถี่

ขั้นที่ 3 การศึกษาการใช้งานอุปกรณ์ออโตจูนในงานอุตสาหกรรม พบว่าปัจจุบันอุปกรณ์ควบคุมดังกล่าวมีหลายยี่ห้อ เช่น ABB, Foxboro, Honeywell, Siemens, Yokogawa

ขั้นที่ 4 การวิเคราะห์สื่อการเรียนการสอนในปัจจุบันพบว่า 97 เปอร์เซ็นต์ใช้โปรแกรม Matlab Simulink ซึ่งเป็นโปรแกรมเชิงพาณิชย์ราคาแพงและไม่พบว่าใช้ระบบการจัดการเรียนการสอนอื่นๆ เช่น ระบบ LMS ระบบ CMS

การพัฒนาแบบแผนการเรียนการสอน

การพัฒนาแบบแผนการเรียนการสอนผู้วิจัยใช้ ADDIE Model สำหรับพัฒนาแบบแผนการเรียนการสอนมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 การวิเคราะห์ (Analysis phase) โดยใช้ข้อมูลจากสภาพรายวิชา เนื้อหาที่ต้องการพัฒนาทัศนคติของนักเรียน ระดับวัตถุประสงค์ และสื่อการเรียนการสอน เพื่อหาแนวทางการพัฒนาแบบแผนการเรียนการสอนที่เหมาะสม

ขั้นที่ 2 การออกแบบ (Design phase) ประกอบด้วย การสร้างจุดประสงค์การเรียนรู้ แบบแผนการเรียนการสอน เครื่องมือวัดประเมินผลแบบฝึกหัด เนื้อหา วางแผนการสอน และเลือกสื่อ

การสอน โดยกำหนดเนื้อหาออกเป็น 4 เรื่อง คือแบบจำลองระบบ การควบคุมแบบพีไอดี การควบคุมแบบฟัซซี่ และการควบคุมแบบออโตจูน เมื่อวิเคราะห์เนื้อหาแต่ละบทเรียน และเขียนวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความสอดคล้อง (IOC)

การออกแบบรูปแบบการเรียนการสอนยึดทฤษฎีสร้างสรรค์ความรู้นิยม เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยตนเองอันจะส่งผลต่อความเข้าใจในเนื้อหาได้ดี มีบริบทสนับสนุนกระบวนการคิดต่อรองภายในใจนักเรียน สร้างบรรยากาศการเรียนรู้ เตรียมเครื่องมือทางปัญญาช่วยให้นักเรียนมีการต่อรองความคิด สร้างกระบวนการต่อรองทางสังคม สร้างความร่วมมือระหว่างกลุ่มนักเรียนและผู้สอน รูปแบบการเรียนการสอนที่สร้างขึ้นเรียกว่า ECEA-Model มีองค์ประกอบรายละเอียดของรูปแบบการเรียนการสอนดังตารางที่ 1 และมีขั้นตอนการใช้งานและกิจกรรมดังภาพที่ 4

ขั้นที่ 3 การพัฒนา (Development phase) ขั้นนี้ประกอบด้วยการสร้างคู่มือนักเรียน คู่มือครู คู่มือการใช้โปรแกรม คู่มือรูปแบบการเรียนการสอน โปรแกรมจำลองการเรียนรู้กฎฟัซซี่สามมิติ โปรแกรมจำลองการทำงานระบบฟัซซี่ ระบบ LMS และเครื่องมือวัดประเมินผล โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การสร้างคู่มือนักเรียน คู่มือนักเรียนจะประกอบด้วยวัตถุประสงค์การเรียนรู้ แผนการดำเนินกิจกรรม และเนื้อหา คู่มือนักเรียนนี้มีความแตกต่างจากเอกสารตำราเรียนปกติโดยสร้างให้ส่งเสริมการเรียนรู้ตามแนวสร้างสรรค์ความรู้นิยมและสอดคล้องกับความถนัดทางการเรียนและการรับรู้ของผู้เรียน

2. การสร้างคู่มือครู คู่มือครูมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นเอกสารประกอบการสอนของผู้สอน คู่มือครูมีเนื้อหาเหมือนกับคู่มือนักเรียน โดยเพิ่มเรื่องการวิเคราะห์เนื้อหา วิธีสอน และส่วนเฉลย

3. การสร้างเครื่องมือ สื่อและโปรแกรมจำลอง ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

- โปรแกรม Fuzzy Rule สร้างใช้ภาษา Visual C++ ร่วมกับ ROBOSIM เพื่อใช้เป็นสื่อการสอนเรื่องการสร้างกฎฟัซซี่ โปรแกรมประกอบด้วยสองส่วนคือ LFBIP เป็นหน้าต่างสำหรับวางเงื่อนไข และส่วนที่สองคือ RoboSvr เป็นส่วนแสดงผล Inverse pendulum สามมิติโดยจะแสดงผลทันทีที่ทำการเลือกหรือเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ง่ายต่อการวางเงื่อนไขสำหรับการศึกษาแบบลองผิดลองถูก (Trial and error) ดังแสดงในภาพที่ 5 (ก)

- โปรแกรม Fuzzy Learning พัฒนาโดยใช้ภาษา Visual C++ ใช้งานร่วมกับโปรแกรม Scilab สำหรับการจำลองระบบ (Simulation) ใน XCOS ผู้เรียนสามารถปรับ Membership function ของ Input-Output และเขียนกฎฟัซซี่ (Rule base) ของระบบฟัซซี่ ดังแสดงในภาพที่ 5 (ข)

- ระบบ LMS (Learning management system) ผู้วิจัยเลือกใช้ระบบ LMS สำหรับกำหนดการสอนรายสัปดาห์ การดาวน์โหลดเอกสารการเรียนการสอน ไฟล์โปรแกรมและข้อสอบ การทดสอบก่อนเรียน หลังเรียน และแบบสอบถามเพื่อการวิจัย โดยใช้ระบบของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ดังแสดงในภาพที่ 6

- เครื่องมือวัดและประเมินผล มี 2 ส่วนคือ เครื่องมือวัดประเมินความรู้ของผู้เรียน (Product assessment) ประกอบด้วยแบบทดสอบก่อนเรียน แบบทดสอบหลังเรียน และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ และเครื่องมือวัดกระบวนการ (Process assessment) ประกอบด้วย แบบสังเกต แบบประเมินตนเอง แบบประเมินเพื่อนนักเรียน แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน

เครื่องมือทั้งหมดได้นำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างเพื่อปรับปรุงคุณภาพกับกลุ่มย่อยที่เป็น นักศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จำนวน 9 คน

ขั้นที่ 4 การดำเนินการ (Implementation phase) เป็นขั้นของการนำวัสดุการสอนที่พัฒนา

ขึ้นไปดำเนินการกิจกรรมการเรียนการสอนตาม ECEA-Model ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 26 คน ดังภาพที่ 7 โดยทำการสอนตามขั้นตอนของรูปแบบการเรียนการสอน ECEA-Model ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 8-11

1. **ขั้นแนะนำชี้แจง (Explore)** มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนทราบจุดประสงค์การเรียนรู้ บทบาทหน้าที่ของตนเองเข้าใจสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ เข้าใจภาพรวมและประเด็นสำคัญของเนื้อหาที่จะทำการเรียนรู้

2. **ขั้นสร้างความรู้ (Construction)** วัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนสร้างความรู้ในเนื้อหาบทเรียนที่กำหนดโดยตนเองร่วมกันกับเพื่อน อาจารย์ ผู้สอนทำหน้าที่เป็นผู้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำในการเรียนรู้และการแก้ปัญหา โดยใช้สื่อ อุปกรณ์การเรียนการสอนที่จัดเตรียมไว้

3. **ขั้นแลกเปลี่ยนความรู้ (Exchange)** มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันหลังทำการเรียนรู้กลุ่มย่อย โดยการแบ่งกลุ่มให้มีขนาดใหญ่ขึ้นประมาณ 4-5 คน แล้วทำการทบทวนกิจกรรมทั้งหมดที่ทำผ่านมาเพื่อเปรียบเทียบ วิธีการ แนวทางการแก้ปัญหา และคำตอบว่ามีความเหมือนและหรือแตกต่างกันอย่างไร ในขั้นตอนนี้จะมีการอภิปรายแลกเปลี่ยนกันหากมีประเด็นที่มีความขัดแย้งกันเพื่อหาข้อสรุป และอาจารย์ผู้สอนจะสรุปผล

4. **ขั้นประยุกต์ใช้ความรู้ (Application)** มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนได้นำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้แบบทดสอบหลังเรียนในขั้นตอนนี้

ขั้นที่ 5 การประเมินผล (Evaluation) การประเมินในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยสองส่วนคือการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน (Output) และการประเมินกระบวนการจัดการเรียนการสอนที่สอดคล้องการการเรียนการสอนตามแนวสร้างสรรค์ความรู้นิยม (Process)

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า การประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการเรียนการสอน ECEA-Model โดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่าด้านความเหมาะสมของรูปแบบมีค่า $\bar{X}=4.23$ หมายถึงเหมาะสมในระดับมาก ด้านคู่มือ เอกสารประกอบการเรียนการสอนมีค่า $\bar{X}=4.30$ หมายถึงเหมาะสมในระดับมาก และด้านการวัดและประเมินผลมีค่า $\bar{X}=4.14$ หมายถึงเหมาะสมในระดับมาก

การประเมินการพัฒนาเนื้อหาเรื่องระบบออโตจูนโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่ามีค่าดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหา (IOC) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.75-1.00 หมายความว่ามีความสอดคล้องของเนื้อหาเกี่ยวกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ด้านการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนประเภทโปรแกรมจำลองที่เกี่ยวข้องกับระบบออโตจูน ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรม Fuzzy Rule โปรแกรม Fuzzy Learning และระบบ LMS มีค่า $\bar{X}=4.25$ หมายถึงเหมาะสมในระดับมาก และมีความเหมาะสมกับวัยของผู้เรียนในระดับมากที่สุด

ประสิทธิภาพของรูปแบบการเรียนการสอน ECEA-Model โดยใช้โปรแกรมจำลองเพื่อการสอนเรื่องระบบออโตจูน พบว่าค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 26 คนคิดเป็นร้อยละ 71.86 และค่าเฉลี่ยของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคิดเป็นร้อยละ 74.86 แสดงว่ารูปแบบการเรียนการสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพที่ 71.86/74.86 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 70/70 เมื่อพิจารณาผลการทำแบบฝึกหัดแต่ละหน่วยเรียนพบว่าคะแนนเฉลี่ยแต่ละหน่วยเรียนมีค่าสูงกว่าร้อยละ 70 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดและเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างคะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้สถิติ (t-test) พบว่าคะแนนเฉลี่ยของคะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.01 นั่นคือ การสอนด้วยรูปแบบการเรียนการสอนที่สร้างขึ้นทำให้

ผู้เรียนมีความรู้สูงขึ้น

ความพึงพอใจของผู้เรียนต่อรูปแบบการเรียนการสอน พบว่าด้านความเหมาะสมของรูปแบบและกิจกรรมการเรียนการสอนมีค่า $\bar{X}=4.30$ หมายถึงพึงพอใจมาก ด้านความเหมาะสมของสื่อสนับสนุนการเรียนการสอน มีค่า $\bar{X}=4.34$ หมายถึงพึงพอใจมาก ด้านความเหมาะสมด้านการวัดประเมินผล มีค่า $\bar{X}=4.17$ หมายถึงพึงพอใจมาก ข้อเสนอแนะอื่นๆ นักเรียนให้ความคิดเห็นว่ารูปแบบการเรียนการสอนสามารถทำให้เข้าใจเรื่องที่เรียนได้ดี แต่ความเพิ่มเวลาการเรียนรู้ให้มากขึ้น

สรุป และอภิปรายผล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมเรื่องระบบควบคุมแบบออโตจูน ตามแนวการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์ความรู้นิยม เพื่อพัฒนาการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมให้สอดคล้องกับภาคอุตสาหกรรมและการวิจัย ขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วย การวิเคราะห์เนื้อหา การสร้างรูปแบบการเรียนการสอน การสร้างสื่อการเรียนการสอนแบบโปรแกรมจำลอง ให้ผู้เชี่ยวชาญทั้งด้านการศึกษาและด้านวิศวกรรมประเมิน เนื้อหาสื่อการเรียนการสอน รูปแบบการสอน นำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพรูปแบบการเรียนการสอนมีค่าเท่ากับ 71.86/74.86 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 70/70 คะแนนทดสอบก่อนเรียนหลังเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อรูปแบบการเรียนการสอนในระดับพึงพอใจระดับมาก ซึ่งมีประเด็นตามสมมุติฐานที่สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

จากสมมุติฐานที่ว่าประสิทธิภาพของรูปแบบการเรียนการสอนที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสูงตามเกณฑ์ 70/70 ผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบหลังเรียนคิดเป็นร้อยละ 71.86 และค่าเฉลี่ย

ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคิดเป็นร้อยละ 74.86 แสดงว่ารูปแบบการเรียนการสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพที่ 71.86/74.86 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 70/70 และเมื่อทดสอบค่าความแตกต่างระหว่างคะแนนทดสอบก่อนเรียนและคะแนนทดสอบหลังเรียน โดยใช้สถิติ (t-test) พบว่าคะแนนเฉลี่ยของคะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.01 นั่นคือ การเรียนการสอนด้วยรูปแบบการเรียนการสอน ECEA-Model ทำให้ผู้เรียนมีความรู้สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากรูปแบบการเรียนการสอนตามแนว Constructivism ส่งเสริมให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยตนเองผ่านการปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม ทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในเรื่องที่ศึกษาซึ่ง สอดคล้องกับการวิจัย [22] ที่กล่าวว่า การสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับการพัฒนากระบวนการของ Software เป็นเรื่องที่ยากในระดับปริญญาตรี การสอนแบบปกติ (Lecture-based teaching approaches) ไม่สามารถทำให้เกิดความเข้าใจแบบ Long-Term ได้ การออกแบบการเรียนการสอนโดยใช้กระบวนการ Constructivism ทำให้ผู้เรียนสร้างความเข้าใจที่ลึกซึ้งได้ และโปรแกรมจำลองที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องมือช่วยสอนที่มีประโยชน์อย่างมากทั้งในการเรียนรู้เนื้อหา สร้างความเข้าใจ

จากสมมุติฐานที่ว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจในรูปแบบการเรียนการสอนและโปรแกรมจำลองระบบควบคุมในระดับมาก ผลการวิจัยพบว่าด้านรูปแบบการเรียนการสอนและกิจกรรมการเรียนการสอนมีค่า $\bar{X}=4.30$ หมายถึงผู้เรียนมีความพึงพอใจในระดับมาก ด้านความเหมาะสมของสื่อสนับสนุนการเรียนการสอนมีค่า $\bar{X}=4.34$ หมายถึงผู้เรียนมีความพึงพอใจในระดับมาก ด้านความเหมาะสมด้านการวัดประเมินผลมีค่า $\bar{X}=4.17$ หมายถึงผู้เรียนมีความพึงพอใจในระดับมาก ทั้งนี้เนื่องจากความพึงพอใจของผู้เรียนในการเรียนเกิดจาก คุณสมบัติของครู วิธีสอน กิจกรรมการเรียนการสอน การวัดและประเมินผล ซึ่งรูปแบบการเรียนการสอน สื่อ และวัสดุการสอนถูกสร้างขึ้นโดยคำนึงถึงความ

ถนัดในการเรียนรู้ของผู้เรียนและตามแนว Constructivism ซึ่งสอดคล้องกับ [23] ที่ทำวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบการสอนแบบนักเรียนเป็นศูนย์กลางกับครูเป็นศูนย์กลางใน College biology labs พบว่า ชั้นเรียนแบบดั้งเดิมนักเรียนมีปฏิสัมพันธ์น้อยกว่าชั้นเรียนคอนสตรัคติวิซึม และจากความคิดเห็นของนักเรียนแสดงให้เห็นว่าเขามีความพึงพอใจและการมีส่วนร่วมที่สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

กิตติกรรมประกาศ

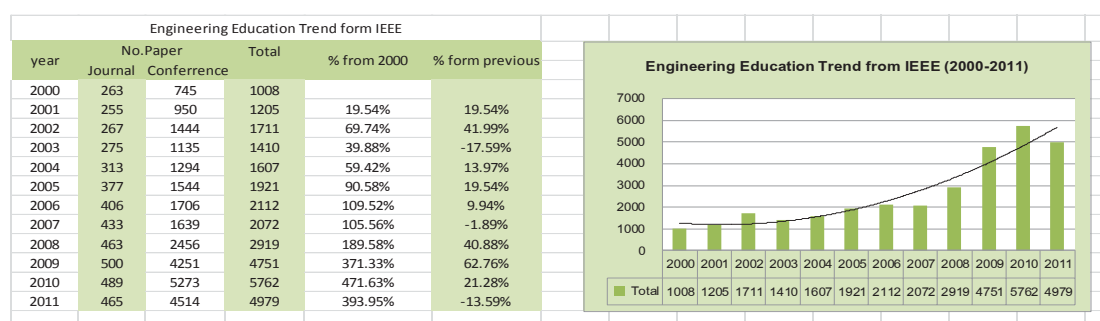
ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาผู้ให้ทุนการศึกษาปริญญาเอกในประเทศ-ต่างประเทศและขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ให้อาสาศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

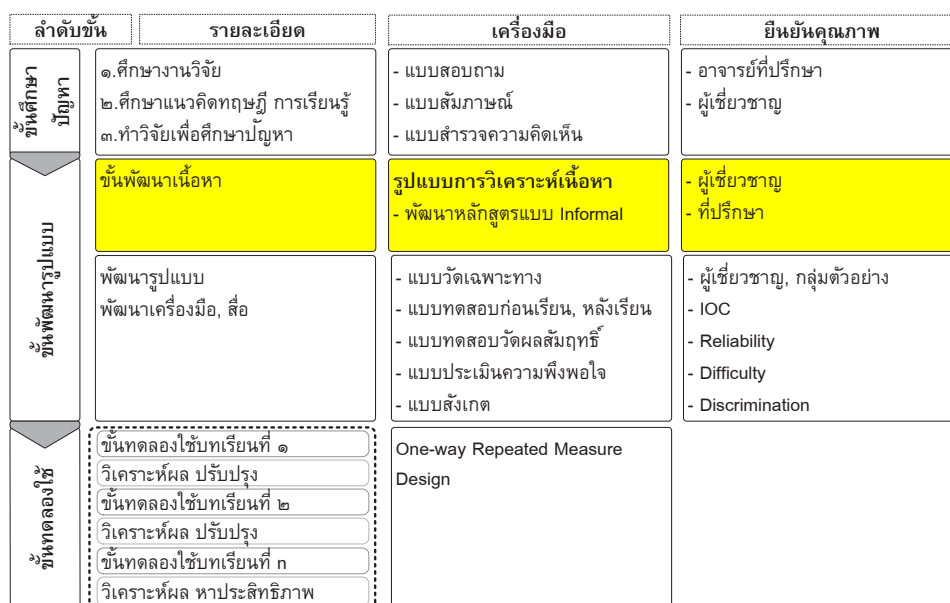
1. Duderstadt JJ. Engineering for a changing world: a roadmap to the future of engineering practice, research, and education: The Millennium Project University of Michigan; 2008.
2. Sunthonkanokpong W. Future global visions of engineering education. *Procedia Engineering*. 2011;8(0):160-4.
3. VEST CM. Context and Challenge for twenty-first century engineering education. *Journal of Engineering Education*. 2008.
4. Al-Sammak AI, Al-Shehabi H. Development of engineering education in Bahrain. *Technology and Society Magazine, IEEE*. 2006;25(2):12-7.
5. Clancy EA, Quinn P, Miller JE. Assessment of a case study laboratory to increase awareness of ethical issues in engineering. *Education, IEEE Transactions on*. 2005;48(2):313-7.

6. Lyman FA. Opening engineering students' minds to ideas beyond technology. *Technology and Society Magazine, IEEE*. 2002;21(3):16-23.
7. Mohan A, Merle D, Jackson C, Lannin J, Nair SS. Professional skills in the engineering curriculum. *Education, IEEE Transactions on*. 2010;53(4):562-71.
8. Benson L, Becker KH, Cooper M, Griffin H, Smith K. Engineering education: Departments, degrees and directions. *International Journal of Engineering Education*. 2009;26(5):1042-8.
9. De Coi JL, Karger P, Koesling AW, Olmedilla D. Control your elearning environment: Exploiting policies in an open infrastructure for lifelong learning. *Learning Technologies, IEEE Transactions on*. 2008;1(1):88-102.
10. AlRegib G, Hayes MH, Moore E, Williams DB. Technology and tools to enhance distributed engineering Education. *Proceedings of the IEEE*. 2008;96(6):951-69.
11. Luksanasakul A, Koseeyaporn P, wangsattitwong M. The development of researching model for instructional development in engineering education. *The national conference on technical education, TechEd- 3nd; Bangkok, Thailand; 2010, Thai*.
12. Ernst EW. Workplace changes and engineering education reform. *26th Annual Frontiers in Education*. 1996;2:882-5.
13. Dong-Jin L. An undergraduate laboratory course in real-time dynamic control. *Education, IEEE Transactions on*. 2005;48(1):105-10.
14. Hurley WG, Chi Kwan L. Development, implementation, and assessment of a web-based power electronics laboratory. *Education, IEEE Transactions on*. 2005;48(4):567-73.
15. Kuperman A, Rabinovici R. Virtual torque and inertia loading of controlled electric drive. *Education, IEEE Transactions on*. 2005;48(1):47-52.
16. Bellmunt OG, Miracle DM, Arellano SG, Sumper A, Andreu AS. A distance PLC programming course employing a remote laboratory based on a flexible manufacturing cell. *Education, IEEE Transactions on*. 2006;49(2):278-84.
17. Dong-Jin L. A laboratory course in real-time software for the control of dynamic systems. *Education, IEEE Transactions on*. 2006;49(3):346-54.
18. Kok Kiong T, Goh HL. Development of a mobile spreadsheet-based PID control simulation system. *Education, IEEE Transactions on*. 2006;49(2):199-207.
19. Haffner JF, Pereira LFA, Coutinho DF. Computer-assisted evaluation of undergraduate courses in frequency-domain techniques for system control. *Education, IEEE Transactions on*. 2006;49(2):224-35.
20. Vest CM. Educating Engineers for 2020 and Beyond National Academy of Engineering; 2005; Available from: <http://www.engineeringchallenges.org/cms/7126/7639.aspx>.

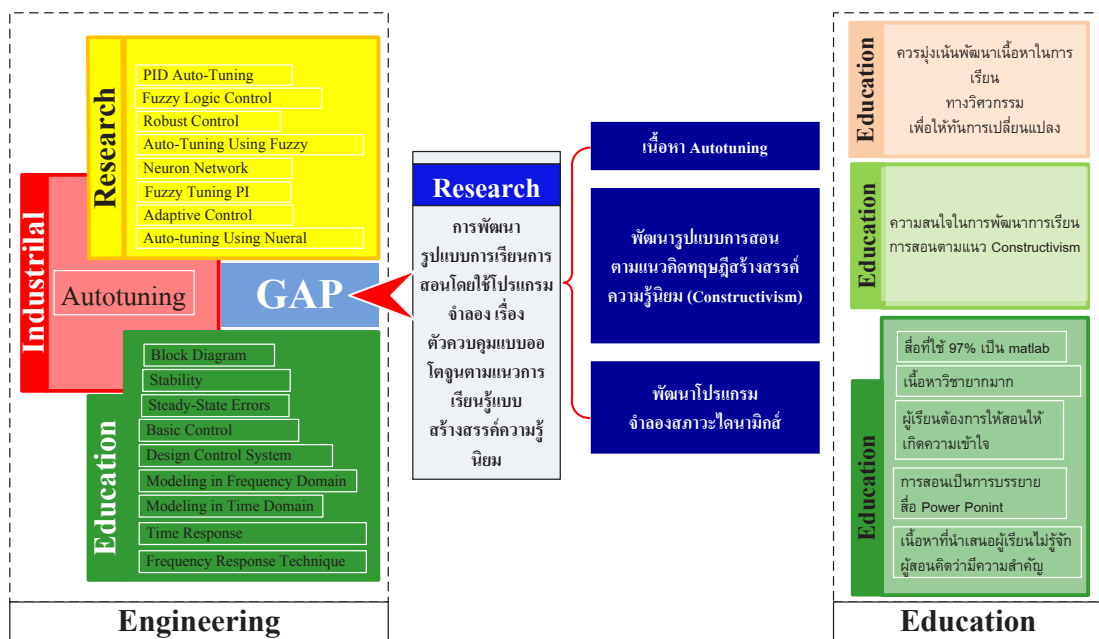
21. Heywood J. Engineering education : research and development in curriculum and instruction. Canada: John Wiley & Sons, Inc; Hoboken, New Jersey; 2005.
22. Srinivasan J, Lundqvist K, editors. A constructivist approach to teaching software processes. Software Engineering, 2007 ICSE 2007 29th International Conference on; 2007 20–26 May 2007.
23. Lord T, Travis H, Magill B, King L, Hall W, Indiana P. Comparing student-centered and teacher-centered instruction in college biology labs.



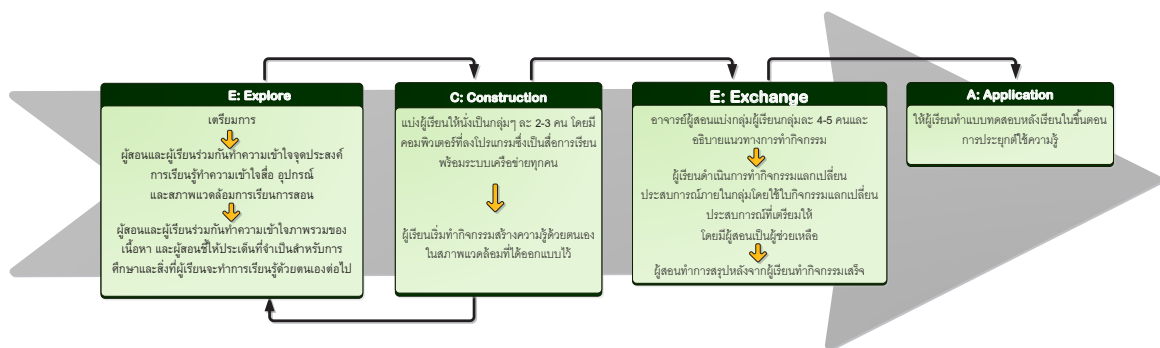
ภาพที่ 1 แนวโน้มความสนใจงานวิจัยด้านการพัฒนาการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรม



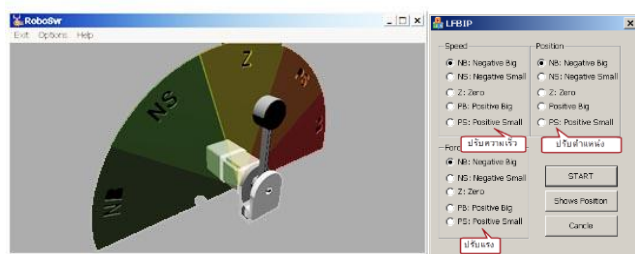
ภาพที่ 2 รูปแบบการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรม



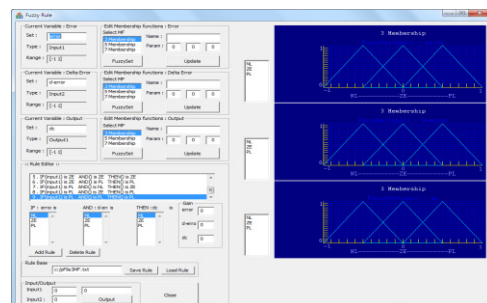
ภาพที่ 3 กรอบแนวคิดสำหรับกรวิจัย



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการสอนตามรูปแบบ ECEA-Model

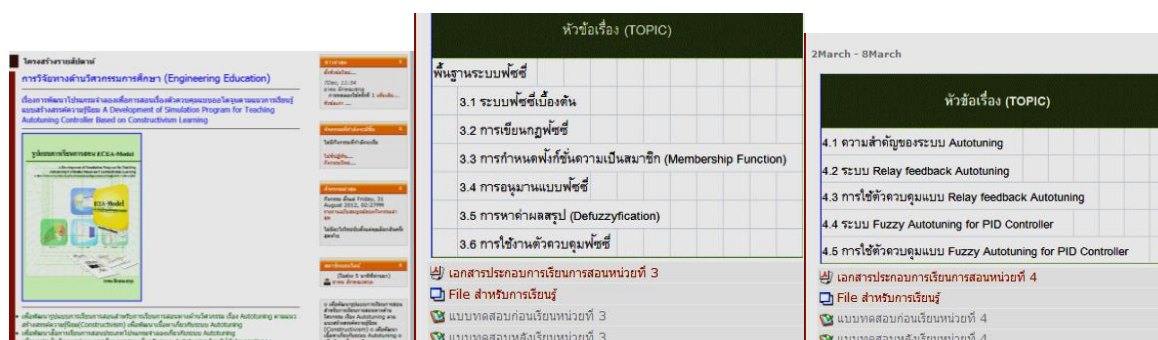


ก)



ข)

ภาพที่ 5 โปรแกรมจำลอง ก) โปรแกรมเรียนรู้กฎฟัซซี่ ข) โปรแกรม Fuzzy Learning



ภาพที่ 6 ระบบจัดการเรียนการสอนผ่านระบบเครือข่าย LMS



ภาพที่ 7 กิจกรรมผู้เรียน ผู้สอน

ECEA-Model	Stage : E : Explore, C : Construction, E : Exchange, A : Application		
	กิจกรรมผู้สอน	กิจกรรมผู้เรียน	เครื่องมือ สื่อ
	บอกวัตถุประสงค์ การเรียนรู้	ทำความเข้าใจวัตถุประสงค์การเรียนรู้	โปรแกรมจำลอง
	แนะนำการสอนและวิธีการเรียนรู้	ทำความเข้าใจวิธีการเรียนรู้	ใบเนื้อหา
	จัดสภาพแวดล้อมอุปกรณ์การเรียนการสอน	เรียนรู้การใช้สื่อและอุปกรณ์การเรียนรู้	แบบสังเกต
	สอนตัวอย่างการเรียนรู้โดยชี้ให้เห็นแนวทางวิธีการ เป้าหมาย	ศึกษาวิธีการเรียนรู้ตามตัวอย่าง	

ภาพที่ 8 บทบาทของผู้เรียน ผู้สอน ในขั้นแนะนำ ชี้แจง (Explore)

ECEA-Model	Stage : E : Explore, C : Construction, E : Exchange, A : Application		
	กิจกรรมผู้สอน	กิจกรรมผู้เรียน	เครื่องมือ สื่อ
	แนะนำช่วยเหลือ	ศึกษาเนื้อหาด้วยตนเอง โดยใช้กลุ่ม	โปรแกรมจำลอง
		ใช้เอกสารประกอบการเรียนที่ผู้สอน	ใบเนื้อหา
		ใช้สื่อที่จัดเตรียมไว้	ใบกิจกรรม
		มีอิสระในการเรียนรู้	แบบสังเกต

ภาพที่ 9 บทบาทของผู้เรียน ผู้สอน ในขั้นสร้างความรู้ (Construction)

ECEA-Model	Stage : E : Explore, C : Construction, E : Exchange, A : Application		
	กิจกรรมผู้สอน	กิจกรรมผู้เรียน	เครื่องมือ สื่อ
	แนะนำช่วยเหลือ	หลักจากศึกษาเนื้อหาที่กำหนด	โปรแกรมจำลอง
		ด้วยกลุ่มย่อยเสร็จแล้ว	ใบกิจกรรม
		ให้นักศึกษาทำกิจกรรม	แบบสังเกต
		แลกเปลี่ยนความรู้โดย	
		ใช้ใบกิจกรรมที่เตรียมให้	

ภาพที่ 10 บทบาทของผู้เรียน ผู้สอน ในขั้นแลกเปลี่ยนประสบการณ์ (Exchange)

ECEA-Model	Stage : E : Explore, C : Construction, E : Exchange, A : Application	
	กิจกรรมผู้สอน	กิจกรรมผู้เรียน
	แนะนำช่วยเหลือ	ทำแบบทดสอบ
		ทำแบบวัดและประเมิน
		แบบประเมินทัศนคติ
		แบบวัดการเรียนรู้

ภาพที่ 11 บทบาทของผู้เรียน ผู้สอน ในขั้นประยุกต์ใช้ (Application)

ตารางที่ 1 รูปแบบการเรียนการสอนและความหมาย

ศัพท์	นิยามศัพท์สำหรับรูปแบบการเรียนการสอน	คุณสมบัติที่สอดคล้องกับ Constructivism
E: Explore	หมายถึง ขั้นแนะนำ ชี้แจง เป็นขั้นตอนการเรียนการสอนที่ให้อาจารย์ผู้สอนมีบทบาทเป็นผู้สนับสนุนและช่วยเหลือ แนะนำนักเรียนเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ ทรัพยากรสนับสนุน ภาพรวมขอบเขตและจุดประสงค์ในการศึกษาแต่ละหัวข้อ	ผู้เรียนเป็นผู้กำหนดเป้าหมาย (Student-directed goals) เปิดมุมมองในการเรียนรู้ (Exploration) ระบบช่วยเหลือ (Scaffolding) ผู้สอนเป็นผู้แนะนำ (Teacher as coaches)
C: Construction	หมายถึง ขั้นสร้างความรู้ เป็นขั้นตอนการเรียนการสอนที่ให้นักเรียนทำกิจกรรมเพื่อสร้างความรู้โดยมีผู้สอนมีบทบาทเป็นผู้แนะนำช่วยเหลือ	ปฏิสัมพันธ์ (Conceptual interrelatedness) ครูเป็นผู้แนะนำ (Teacher as Coacher) ใช้ความรู้เดิมในการสร้างความรู้ (Previous Knowledge Constructions) ระบบช่วยเหลือ (Scaffolding) การรู้คิด (Meta cognition) เรียนรู้จากการฝึกหัด (Apprenticeship learning) ผู้เรียนควบคุมตนเอง (Learner Control)
E: Exchange	หมายถึง ขั้นแลกเปลี่ยนความรู้ เป็นขั้นตอนการเรียนการสอนที่ให้นักเรียนทำกิจกรรมกลุ่มเพื่อแลกเปลี่ยนประสบการณ์จากการเรียนรู้ เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ แลกเปลี่ยนปัญหาและวิธีแก้ไข โดยมีผู้สอนมีบทบาทเป็นผู้แนะนำ ช่วยเหลือและอธิบายหากมีความจำเป็น	เรียนรู้จากข้อผิดพลาด (Consideration of errors) ระบบช่วยเหลือ (Scaffolding) การร่วมมือสู่ความรู้ (Knowledge Collaboration) ครูเป็นผู้แนะนำ (Teacher as Coaches)
A: Application	หมายถึง ขั้นประยุกต์ใช้ความรู้ เป็นขั้นตอนการเรียนการสอนที่ให้นักเรียนประยุกต์ใช้ทฤษฎีความรู้ที่ได้ศึกษา โดยการทำแบบทดสอบ การสอบย่อย การทำแบบฝึกหัด หรือการทำงานที่ใช้ความรู้ที่ได้ศึกษามาแก้ปัญหา โดยมีการฟื้นคืนและประยุกต์ใช้ความรู้	ประเมินตามสภาพจริง (Authentic Assessment) ครูเป็นผู้แนะนำ (Teacher as Coaches)

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนจากการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์และการทดสอบก่อนเรียน

รายการ	N	$\bar{X}$	SD	df	t	sig
คะแนนทดสอบก่อนเรียน	26	17.42	3.36	25	15.78	0.00**
คะแนนทดสอบหลังเรียน	26	40.26	8.23			

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของรูปแบบการเรียนการสอน

ชุดข้อสอบ		N	คะแนนเต็ม	ΣX	$\bar{X}$	ร้อยละ
ทดสอบหลังเรียน	1	26	15	274	10.54	70.26
	2	26	11	201	7.73	70.28
	3	26	17	321	12.35	72.62
	4	26	13	251	9.65	74.26
รวม						71.86
ทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์		26	56	1090	41.92	74.86