รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education โดยการศึกษาบทเรียน

The Model for Development the Instructors of Fundamental Physics In Higher Education level to Designs the Learning Activities Based on the Concept of STEM Education by Lesson Study.

ฉลองชัย ธีวสุทรสกุล

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๘
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ ๒๕๕๘ A ๑๐๘๐๒๐๒๔
สัญญาเลขที่ ๙๔ / ๒๕๕๘

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education โดยการศึกษาบทเรียน

The Model for Development the Instructors of Fundamental Physics In Higher Education level to Designs the Learning Activities Based on the Concept of STEM Education by Lesson Study.

ฉลองชัย ธีวสุทรสกุล

คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

กันยายน พ.ศ. 2560

คำนำ

โครงการวิจัยเรื่อง “รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education โดยการศึกษาบทเรียน (The Model for Development the Instructors of Fundamental Physics In Higher Education level to Designs the Learning Activities Based on the Concept of STEM Education by Lesson Study)” ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล(งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มีระยะเวลาสัญญา 1 ปี (ตุลาคม 2557 – กันยายน 2558) โดยผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเรื่องนี้พร้อมกับโครงการวิจัยเรื่อง “รูปแบบการพัฒนาครูฟิสิกส์มัธยมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยการศึกษาบทเรียน (The Model for Development the Teacher of Physics in Higher School to Designs the Learning Activities of STEM Education with Lesson Study.)”

เหตุที่โครงการวิจัยเรื่องนี้เสร็จล่าช้ากว่ากำหนดมากนั้น เพราะผู้วิจัยต้องการให้ผลการวิจัยเรื่องนี้นำไปประยุกต์ใช้ได้จริงและสอดคล้องกับบริบทการศึกษาของอุดมศึกษา จึงเน้นกระบวนการวิจัยที่มีการทดลองจริงกับสภาพการเรียนการสอนจริง ให้มากครั้งเท่าที่จะทำได้ แต่ประสบปัญหาการดำเนินการหลายประการ เนื่องจากสะเต็มศึกษาเป็นเรื่องใหม่มากในช่วงปี 2557-2558 โดยเฉพาะวิศวกรรมศาสตร์ในสะเต็มศึกษา และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม(Engineering design process) และปัญหามากสุดก็คือการหาครูฟิสิกส์ระดับอุดมศึกษาเข้าร่วมทดลองสอนจริง

สิ่งหนึ่งที่ผู้วิจัยขอแจ้งผู้อ่านทราบก็คือ งานวิจัยเรื่องนี้คล้ายงานวิจัยเรื่อง “รูปแบบการพัฒนาครูฟิสิกส์มัธยมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยการศึกษาบทเรียน” เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะรูปแบบฯ จะมีขั้นตอนและวิธีการปฏิบัติเหมือนกัน เพราะเนื้อหาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาใกล้เคียงกับเนื้อหาระดับมัธยมศึกษามาก และมีเงื่อนไขที่จำเป็นต้องออกแบบให้มีรูปแบบฯ เหมือนกัน โดยเฉพาะเงื่อนไขที่ต้องการให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงกับการเรียนการสอนฟิสิกส์ของสถาบันอุดมศึกษาทุกแห่งในประเทศไทย

จึงแสดงเจตนา ณ ที่นี้ว่า ผู้วิจัยไม่มีเจตนาลอกเลียนผลงานของตนเอง (Plagiarism) แต่อย่างใด

ผู้วิจัยหวังว่า ผลวิจัยเรื่องนี้คงเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ ระดับมัธยมศึกษาของประเทศไทย พอสมควร

ฉลองชัย ธีวสุทรสกุล (แก้วภูผา)
กันยายน 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 94/2558

Acknowledgment

This work was financially supported by the Research Grant of Burapha University through National Research Council of Thailand (Grant no. 94/2558)

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

ข้าพเจ้า ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฉลองชัย ธีวสุทรสกุล และคณะวิจัย ได้รับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา โครงการวิจัยเรื่อง “รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education โดยการศึกษาบทเรียน (The Model for Development the Instructors of Fundamental Physics In Higher Education level to Designs the Learning Activities Based on the Concept of STEM Education by Lesson Study.)” รหัสโครงการ 2558A10802024 สัญญาเลขที่ 94/2558 ได้รับงบประมาณรวมทั้งสิ้น 522,500 บาท (ห้าแสนสองหมื่นสองพันห้าร้อยบาทถ้วน) ระยะเวลาดำเนินการ 2 ปี 10 เดือน (1 ตุลาคม 2557 ถึง วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2560)

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. พัฒนา รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education โดยการศึกษาบทเรียน
2. ประเมินผล รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education ในด้านต่อไปนี้
    2.1 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนของผู้เรียน ระหว่างก่อนและหลังเรียน
    2.2 เปรียบเทียบทัศนคติของผู้เรียนต่อวิชาฟิสิกส์ ระหว่างก่อนและหลังทดลอง
    2.4 สอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน ต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้สอนและผู้เรียน วิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา
กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้สอนวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา 5 คน และ
นิสิตนักศึกษาจำนวน 295 คน

เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล คือ 1) แบบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียน 2) แบบสอบถามทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ และ 3) แบบสอบถามความพึงพอใจต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา ทุกฉบับมีค่าความเชื่อมั่นมากกว่า 0.80

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง โดยการศึกษาเอกสารและงานวิจัย สนทนากลุ่ม (Focus group) และสัมภาษณ์ผู้ทรงคุณวุฒิ

2. ออกแบบรูปแบบฯ และตรวจสอบปรับปรุงโดยการสนทนากลุ่ม (Focus Group) ผู้ทรงคุณวุฒิ จากนั้นนำรูปแบบฯ ให้ผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา 5 คน ทดลองใช้ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา แล้วนำมาทดลองสอนในชั้นเรียน 7 เรื่อง โดยใช้กระบวนการศึกษาบทเรียน (Lesson Study) พร้อมวัดและประเมินผล

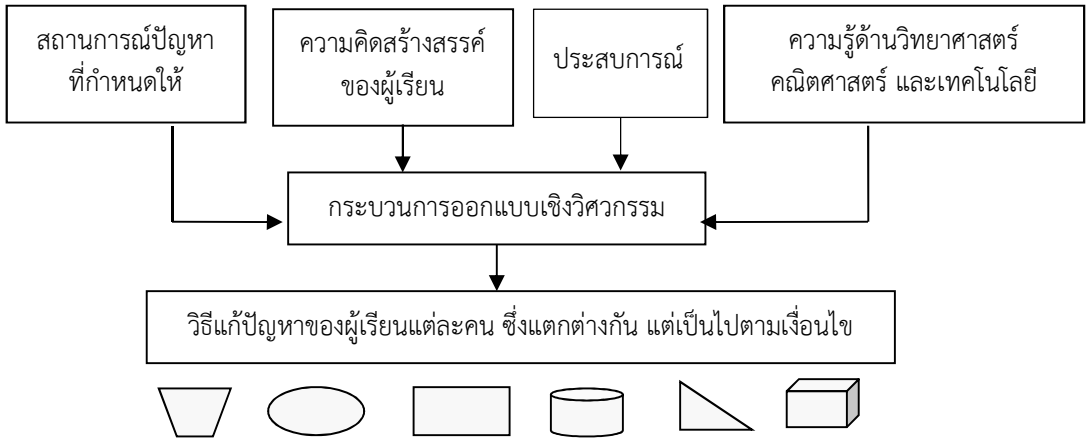
ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาพบว่า กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่เหมาะกับบริบทการเรียนการสอน วิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาของประเทศไทย มี 2 ลักษณะ คือ

กิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะอิงปัญหา

มีลักษณะเป็นการกำหนดสถานการณ์ปัญหาพร้อมด้วยเงื่อนไขหรือข้อจำกัด ที่ให้ผู้เรียนต้องนำความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ประสบการณ์ และความคิดสร้างสรรค์ มาผสมผสานกันโดยใช้กระบวนออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อออกแบบ(หาแนวทาง)วิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ดังภาพที่ 1 ข้อดีของกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะนี้คือ ผู้สอนนำไปใช้สอนผู้เรียนได้หลายกลุ่ม และเมื่อสอนหลายครั้งผู้สอนจะเกิดความชำนาญ ลดภาระการเตรียมอุปกรณ์และเตรียมการสอน ซึ่งกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะนี้สอดคล้องกับแนวการเรียนการสอนแบบอิงปัญหา(Problem based learning ; PBL)

ภาพที่ 1 แนวคิดสะเต็มศึกษาแบบอิงปัญหา



กิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะโครงงาน

รูปแบบการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะโครงงาน (project based learning : PjBL) มีวิธีการที่สำคัญ ดังนี้

1. เรื่องหรือสถานการณ์ปัญหาที่ผู้เรียนเลือกทำโครงงานสะเต็มศึกษา ต้องเป็นปัญหาที่ผู้เรียนไม่สามารถทำสำเร็จได้ด้วยการเลียนแบบจากแหล่งต่างๆ หรือการลองผิดถูก เช่น เลียนแบบจากของที่มีอยู่เดิม หรือ เลียนแบบจากอินเทอร์เน็ต หรือเลียนแบบจาก เพราะผู้เรียนจะคิดว่าไม่มีความจำเป็นต้องนำความรู้วิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี เข้ามาช่วยแก้ปัญหา จึงไม่ก่อให้เกิดการเห็นความสำคัญ คุณค่าและประโยชน์ของวิชาเหล่านี้ ไม่บรรลุวัตถุประสงค์ของสะเต็มศึกษา

2. เป็นสิ่งที่ผู้เรียนต้องนำความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี มาผสมผสานกันเพื่อใช้ประกอบหรือช่วยวิเคราะห์และแก้ปัญหา มิฉะนั้นจะไม่สำเร็จ หรือสำเร็จแต่ไม่ดีเพียงพอ

3. จะต้องไม่ง่ายหรือยากเกินไป ไม่ใช้เวลามากเกินไป และไม่ควรใช้งบประมาณใช้จ่ายมากเกินไป เพราะอาจจะเกิดปัญหาด้านค่าใช้จ่ายในระหว่างจัดกิจกรรมการเรียนการสอนตามมา

4. กระบวนการทำโครงงานหรือขั้นตอนการทำโครงงาน ต้องเป็นไปตามขั้นตอนของกระบวนออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยจะมีกี่ขั้นตอนก็ได้ ตามแต่ผู้สอนเห็นสมควร (เนื่องจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีหลายแบบ) ดังตัวอย่าง 7 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 วิเคราะห์ปัญหาหรือความต้องการ พร้อมเงื่อนไขหรือข้อจำกัด
ขั้นที่ 2. รวบรวมข้อมูลและความรู้ที่ต้องใช้ประกอบการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา
ขั้นที่ 3. วิเคราะห์วิธีการปัญหาวิธีต่างๆ ที่เป็นไปได้ แล้วเลือกวิธีการที่ดีที่สุด
ขั้นที่ 4 ออกแบบ และสร้างต้นแบบ
ขั้นที่ 5. ทดสอบการทำงานต้นแบบ
ขั้นที่ 6. ปรับปรุงแก้ไขต้นแบบให้ดีที่สุด แล้วนำไปสร้างจริง
ขั้นที่ 7. ประเมินผลผลงาน เพื่อนำไปใช้ในครั้งต่อไป

2. รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education ได้จากการวิจัยครั้งนี้ มีขั้นตอนการปฏิบัติ 8 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ศึกษาทำความเข้าใจสะเต็มศึกษา
ขั้นที่ 2 ศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
ขั้นที่ 3 ศึกษาความแตกต่างระหว่างกิจกรรมสะเต็มศึกษา กับ กิจกรรมเรียนรู้อื่นๆ
ขั้นที่ 4 ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบอิงปัญหา ตามขั้นตอนต่อไปนี้

4.1 กำหนดสถานการณ์ปัญหา พร้อมเงื่อนไขหรือข้อจำกัด
4.2 กำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้
4.3 กำหนดความรู้ใช้อธิบายสถานการณ์ปัญหา
4.4 วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการแก้ปัญหา
4.5 เขียนแผนผังความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่างปัจจัย
4.6 วิเคราะห์วิธีแก้ปัญหาวิธีต่างๆ ที่เป็นไปได้
4.7 วิเคราะห์เลือกวิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

ขั้นที่ 5 ออกแบบวิธีวัดประเมิน
ขั้นที่ 6 ทดลองแก้ปัญหา (ทดลองออกแบบชิ้นงาน) และทดลองประเมิน
ขั้นที่ 7 นำข้อมูลทั้งหมดจากข้อ 4-6 มาเขียนแผนจัดการเรียนรู้
ขั้นที่ 8 นำไปทดลองใช้สอน และปรับปรุง วนรอบซ้ำ

รายละเอียดวิธีปฏิบัติแต่ละขั้นตอน อยู่ในภาคผนวก 4 ของรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

3. ผลจากการให้ผู้สอนฟิสิกส์ 5 คน ทดลองใช้รูปแบบฯ ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษะอิงปัญหา (Problem based learning) ได้จำนวน 7 เรื่อง ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิประเมินว่าเกือบทุกกิจกรรมมีคุณภาพอยู่ในระดับ “ปานกลาง” และจะมีคุณภาพมาก ถ้ามีวิศวกรให้คำแนะนำ

4. ผลจากการนำกิจกรรมสะเต็มศึกษา 7 เรื่อง ไปทดลองสอนในชั้นเรียน พบว่าผู้เรียนทุกกลุ่มมีทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ และมีผลสัมฤทธิ์การเรียน (ความสามารถในการบูรณาการความรู้วิชาฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เพื่ออธิบายสถานการณ์ปัญหา) ดีขึ้นหรือสูงขึ้น รวมทั้งมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษาในระดับ “มาก”

5. พบว่าสิ่งที่ส่งผลต่อการพัฒนาสะเต็มศึกษาของประเทศไทย คือ ผู้สอนระดับอุดมศึกษามีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสะเต็มศึกษาไม่มาก เข้าใจว่าสะเต็มศึกษาเป็นกิจกรรมเฉพาะระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน รวมทั้งความไม่เข้าใจกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Process Design) และสถาบันอุดมศึกษายังไม่มีนโยบายและแนวปฏิบัติสะเต็มศึกษาไม่ชัดเจน

ผลผลิต (Output)

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ (รอบการตอบรับ)
2. การจดสิทธิบัตร
3. ผลงานเชิงพาณิชย์
4. ผลงานเชิงสาธารณะ (เน้นประโยชน์ต่อสังคม ชุมชน ท้องถิ่น)
   4.1 สถาบันอุดมศึกษาต่างๆ นำไปประยุกต์ใช้ได้ทันที
   4.2 ใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิจัยด้านสะเต็มศึกษาของประเทศไทย
   4.3. เมื่อสถาบันอุดมศึกษานำไปประยุกต์ใช้ จะส่งผลให้เกิดผลด้านต่างๆ ต่อไปนี้

4.3.1 ทำให้ทัศนคติของผู้เรียนต่อวิชาฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ดีขึ้น ส่งผลตามมาทำให้สนใจและตั้งใจเรียนมากขึ้น ทำให้ผลสัมฤทธิ์การเรียนสูงขึ้น

4.3.2 พัฒนาทักษะการคิดของผู้เรียน เช่น การคิดวิจารณญาณ การคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การคิดสังเคราะห์ การคิดเป็นระบบ และ การคิดเป็นเหตุผล ฯลฯ

4.3.3 พัฒนาคุณลักษณ์ด้านอื่นๆ ของผู้เรียน เช่น การทำงานเป็นทีม

ผลลัพท์ (Outcome)

1. ได้รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education (จัดทำเป็นคู่มือครูการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์) โดยเป็นรูปแบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้ทันทีกับสถาบันอุดมศึกษาต่างๆ ผู้สอนฟิสิกส์สามารถออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้ด้วยตนเอง และสามารถปรับปรุงกิจกรรมสะเต็มศึกษาของตนเองให้เหมาะสมกับวันเวลาและบริบทอื่นๆ ที่เปลี่ยนแปลง

2. ได้กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่เหมาะสมกับศักยภาพการเรียนรู้ของผู้เรียน และเหมาะสมกับบริบทของสถาบันอุดมศึกษาแต่ละแห่ง ส่งผลให้การเรียนการสอนแต่มีประสิทธิภาพ ประการสำคัญผู้สอนสามารถเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอนสะเต็มศึกษาจากวัสดุได้อย่างเหมาะสมโดยอาจหาในท้องถิ่น หาได้ง่าย ราคาประหยัด ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายของสถาบัน จึงสามารถจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้ต่อเนื่อง สอดคล้องปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

3. ผู้เรียนของสถาบันอุดมศึกษาต่างๆ ที่นำกิจกรรมสะเต็มศึกษาไปร่วมจัดการเรียนการสอนจะมีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงด้านต่างๆ ต่อไปนี้

3.1 มีทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ วิชาคณิตศาสตร์ และวิชาเทคโนโลยี ดีขึ้นกว่าเดิม เพราะเห็นความสำคัญ เห็นประโยชน์ และเห็นคุณค่า ของวิชาเหล่านี้อย่างแท้จริง ส่งผลให้มีพฤติกรรมความสนใจเรียนวิชาเหล่านี้ในชั้นเรียนมากขึ้นกว่าเดิม

3.2 มีการพัฒนาทักษะคิดด้านต่างๆ โดยเฉพาะ การคิดสร้างสรรค์ การคิดวิจารณญาณ การคิดวิเคราะห์ การคิดเชิงระบบ และการคิดเชิงเหตุผล เป็นต้น

4. ได้แนวทางหรือข้อมูลที่จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ต่อการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาวิชาอื่นๆ เช่น เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

5. ในระยะยาวจะเกิดทำให้เศรษฐกิจของประเทศพัฒนามากขึ้น เพราะเมื่อผู้เรียนอุดมศึกษาเข้าใจความเชื่อมโยงและเห็นประโยชน์ของศาสตร์ทั้ง 4 สาขา ย่อมนำไปสู่ความคิดสร้างสรรค์ใหม่และนวัตกรรมใหม่ ซึ่งจะต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ สร้างรายได้ให้แก่ประเทศอย่างมาก ในอนาคต รองรับการพัฒนาประเทศเข้าสู่ไทยแลนด์ 4.0

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาพัฒนารูปแบบการพัฒนาผู้สอนระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education วิชาอื่นๆ เช่น วิชาเคมีพื้นฐาน วิชาชีววิทยาพื้นฐาน และวิชาคณิตศาสตร์

2. พัฒนาเป็นรูปแบบเฉพาะของสถาบันอุดมศึกษาแต่ละแห่ง เพราะแต่ละแห่งมีบริบทและเอกลักษณ์แตกต่างกัน เช่น รูปแบบฯ เฉพาะของผู้สอนมหาวิทยาลัยบูรพา

3. ศึกษาพัฒนารูปแบบการพัฒนาผู้สอนระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education ตามบริบทของกลุ่มสถาบันอุดมศึกษา ต่างๆ เช่น กลุ่มมหาวิยาลัยราชภัฏ กลุ่มมหาวิทยาลัยราชมงคล และ กลุ่มมหาวิทยาลัยเอกชน เป็นต้น

4. ศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process) ที่เหมาะสมกับบริบทระดับการศึกษาอุดมศึกษาของประเทศไทย เพื่อให้ผู้สอนที่ไม่ใช่ด้านวิศวกรรมศาสตร์ รวมทั้งให้ผู้เกี่ยวข้อง นำไปประยุกต์ใช้

5. ศึกษาตัวบ่งชี้ลักษณะของกิจกรรมสะเต็มศึกษา ที่เหมาะสมกับบริบทการศึกษาในระดับอุดมศึกษา เพื่อให้ผู้สอนและผู้เกี่ยวข้องนำประกอบการพัฒนาสะเต็มศึกษา และใช้ตรวจสอบคุณภาพกิจกรรมสะเต็มศึกษา

6. ศึกษาพัฒนารูปแบบการพัฒนาผู้สอนระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education ในลักษณะโครงงาน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอนโครงงานชั้นปี 4 เฉพาะแต่ละสาขา เช่น รูปแบบพัฒนาโครงงานสะเต็มศึกษาสาขาฟิสิกส์ เป็นต้น

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. พัฒนา รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education โดยการศึกษาบทเรียน
2. ประเมินผล รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education ในด้านต่อไปนี้
   2.1 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนของผู้เรียน ระหว่างก่อนและหลังเรียน
   2.2 เปรียบเทียบทัศนคติของผู้เรียนต่อวิชาฟิสิกส์ ระหว่างก่อนและหลังทดลอง
   2.3 สอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน ต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้สอนและผู้เรียน วิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา
กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้สอนวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา 5 คน และ
นิสิตนักศึกษาจำนวน 295 คน

เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล คือ 1) แบบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียน 2) แบบสอบถามทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ และ 3) แบบสอบถามความพึงพอใจต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา ทุกฉบับมีค่าความเชื่อมั่นมากกว่า 0.80

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง โดยการศึกษาเอกสารและงานวิจัย สนทนากลุ่ม (Focus group) และสัมภาษณ์ผู้ทรงคุณวุฒิ

2. ออกแบบรูปแบบฯ และตรวจสอบปรับปรุงโดยการสนทนากลุ่ม (Focus Group) ผู้ทรงคุณวุฒิ จากนั้นนำรูปแบบฯ ให้ผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา 5 คน ทดลองใช้ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา แล้วนำมาทดลองสอนในชั้นเรียน 7 เรื่อง โดยใช้กระบวนการศึกษาบทเรียน (Lesson Study) พร้อมวัดและประเมินผล

ผลการวิจัย

1. ได้รูปแบบการพัฒนาครูฟิสิกส์มัธยมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีขั้นตอนการปฏิบัติ 8 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ศึกษาทำความเข้าใจสะเต็มศึกษา
ขั้นที่ 2 ศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
ขั้นที่ 3 ศึกษาความแตกต่างระหว่างกิจกรรมสะเต็มศึกษา กับ กิจกรรมเรียนรู้อื่นๆ

ขั้นที่ 4 ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบอิงปัญหา ตามขั้นตอนต่อไปนี้

4.1 กำหนดสถานการณ์ปัญหา พร้อมเงื่อนไขหรือข้อจำกัด

4.2 กำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้

4.3 กำหนดความรู้ใช้อธิบายสถานการณ์ปัญหา

4.4 วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการแก้ปัญหา

4.5 เขียนแผนผังความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่างปัจจัย

4.6 วิเคราะห์วิธีแก้ปัญหาวิธีต่างๆ ที่เป็นไปได้

4.7 วิเคราะห์เลือกวิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

ขั้นที่ 5 ออกแบบวิธีวัดประเมิน

ขั้นที่ 6 ทดลองแก้ปัญหา (ทดลองออกแบบชิ้นงาน) และทดลองประเมิน

ขั้นที่ 7 นำข้อมูลทั้งหมดจากข้อ 4-6 มาเขียนแผนจัดการเรียนรู้

ขั้นที่ 8 นำไปทดลองใช้สอน และปรับปรุง วนรอบซ้ำ

รายละเอียดวิธีปฏิบัติแต่ละขั้นตอน อยู่ในภาคผนวก 3

2. ผลจากการให้ผู้สอนฟิสิกส์ 5 คน ทดลองใช้รูปแบบฯ ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษะอิงปัญหา (Problem based learning) ได้จำนวน 7 เรื่อง ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิประเมินว่าเกือบทุกกิจกรรมมีคุณภาพอยู่ในระดับ “ปานกลาง” และจะมีคุณภาพมาก ถ้ามีวิศวกรให้คำแนะนำ

3. ผลจากการนำกิจกรรมสะเต็มศึกษา 7 เรื่อง ไปทดลองสอนในชั้นเรียน พบว่าผู้เรียนทุกกลุ่มมีทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ มีผลสัมฤทธิ์การเรียน (ความสามารถในการบูรณาการความรู้ฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เพื่ออธิบายสถานการณ์ปัญหา) ดีขึ้นหรือสูงขึ้น รวมทั้งมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษาในระดับ “มาก”

4. พบว่าสิ่งที่ส่งผลต่อการพัฒนาสะเต็มศึกษาของประเทศไทย คือ ผู้สอนระดับอุดมศึกษามีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสะเต็มศึกษาไม่มาก เข้าใจว่าสะเต็มศึกษาเป็นกิจกรรมเฉพาะระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน รวมทั้งความไม่เข้าใจกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Process Design) และสถาบันอุดมศึกษายังไม่มีนโยบายและแนวปฏิบัติสะเต็มศึกษาไม่ชัดเจน

Abstract

Research Objectives

1. To develop the development model for physics teachers at Higher Education to design the learning activities of STEM education with lesson study.

2. To evaluate the development model for physics teachers in Higher Education to design the learning activities of STEM education with lesson study is several aspects as follow:

2.1 Compare the student achievement before and after classes experiment.

2.2. Compare the students' attitudes towards physics before and after. experiment.

2.3. Ask students' satisfaction towards STEM learning activities.

Population and sample

The population is physics teachers at Higher Education.

The sample is consisted of 5 physics teachers at the Higher Education and 295 university students.

Data collection tools are included with 1) Achievement test, 2) Questionnaire of attitude toward physics, 3) Satisfaction questionnaire for the STEM Education. All of them have confidence values of more than 0.80.

Research Methodology

1. Collect relevant information, by studying the papers and research, focus group discussions and interviews with experts.

2. Design Model and revised by focus group discussion. Then 5 physics teachers. have a trial on Model and 7 STEM Education activities teach in classes.

3. Measure and evaluate experiment.

Research result

1. Have the development model for physics teachers at Higher Education to design the learning activities of STEM education. There are 8 steps as follow.

Step 1: Understand STEM Education.

Step 2: Study the engineering process design.

step3: Study the differences between STEM Education learning activities and other learning activities.

Step 4 Design the STEM Education learning activities based on
problem-based learning following these steps.

4.1 Define a problem-situation with conditions or restrictions.

4.2 Define learning objectives.

4.3 Define knowledge to explain problem situations.

4.4. Analyze the factors affecting the solution.

4.5 Write a logical relationship diagram between the factors.

4.6 Analyze possible solutions to possible problems.

4.7. Analyze the best chosen solution.

Step 5: Design Assessment Methods.

Step 6. Try to solve the problem (workpiece design) and evaluate experiment.

Step 7 Take all the information from 4-6 to write a learning plan.

Step 8: Try to teach and improve the loop.

Details of how each step is in Appendix 3

2. Having 5 teachers of physics experimented with the model and 7 problem-based learning problems, the results show that qualified experts estimate that almost all activities are of "medium" quality. It could be "good" quality and quality if there are recommended by engineer or the instructor has experience with the invention.

3. The result of 7 STEM Education activities in class. It was found that all students had more positive attitude toward physics, and learning achievement. The ability to integrate knowledge, physics, mathematics, and technology to explain problematic situations is better or higher. They are also satisfied with the "good"

4. What affects the development of Thailand's STEM education is the lack of understanding of the true purpose of the study. Failure to understand the engineering design process. Some university have unclear policies and practices.

สารบัญเรื่อง (Table of Contents)

	หน้า
คำนำ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ (Abstract)	ค
สารบัญเรื่อง (Table of Contents)	ช
สารบัญตาราง (List of tables)	ญ
สารบัญภาพ (List of illustrations)	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ(List of Abbreviations)	ฏ
(1) บทนำ (Introduction)	
1.1 การวิจัยเกี่ยวกับสะเต็มศึกษาเคยมีผู้ทำการวิจัยมาก่อน	1
1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	3
1.3 วัตถุประสงค์การวิจัยและขอบเขตการวิจัย	5
วัตถุประสงค์การวิจัย	5
ขอบเขตของโครงการวิจัย	5
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	5
นิยามศัพท์เฉพาะที่สำคัญ	6
กรอบความคิดการวิจัย	6
1.4 สรุปทฤษฎีและแนวคิดที่สำคัญ ที่นำมาใช้ในการวิจัย	7
1.4.1 พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ	7
1.4.2 ความหมายและความสำคัญของฟิสิกส์	8
1.4.3 แนวคิดของสะเต็มศึกษา (STEM Education)	10
1.4.4 การศึกษาผ่านบทเรียน (Lesson Study)	15
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	16
(2) เนื้อเรื่อง (Main Body)	
2.1 วิธีดำเนินการวิจัย (Materials & Method)	17
ระยะที่ 1 การพัฒนาเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล	17
ระยะที่ 2 ศึกษาแนวทางการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษา	19
ระยะที่ 3 ออกแบบรูปแบบฯ	19
ระยะที่ 4 นำรูปแบบฯ ไปให้ครูฟิสิกส์ทดลองใช้	20
4.1 ทดลองให้ผู้สอนออกแบบ	20
4.2 ทดลองสอนกับผู้เรียนในชั้นเรียน	20
ระยะที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผล	21

สารบัญเรื่อง(ต่อ)

	หน้า
2.2 ผลการวิจัย (Results)	21
2.2.1 แนวทางจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษา	21
1. กิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะอิงปัญหา	21
2. กิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะโครงงาน	22
2.2.2 รูปแบบการพัฒนาฯ	23
2.2.3 ผลการประเมินคุณภาพกิจกรรมสะเต็มศึกษา	24
2.2.4 ผลที่เกิดกับนักเรียน	25
1. กรณีทดลองในชั้นเรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 1	25
1.1 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้	25
1.2 ผลเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	25
1.3 ผลสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน	26
2. กรณีทดลองในชั้นเรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 2	26
2.1 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้	26
2.2 ผลเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	27
2.3 ผลสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน	27
3. กรณีทดลองในชั้นเรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 3	28
3.1 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้	28
3.2 ผลเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	28
2.3 ผลสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน	29
4. กรณีทดลองในชั้นเรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 4	29
4.1 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้	30
4.2 ผลเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	30
4.3 ผลสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน	31
5. กรณีทดลองในชั้นเรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 5	31
5.1 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้	32
5.2 ผลเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	32
5.3ผลสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน	32
6. กรณีทดลองในชั้นเรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 6	33
6.1 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้	33
6.2 ผลเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	33
6.3 ผลสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน	34
7. กรณีทดลองในชั้นเรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 7	34
7.1 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้	35
7.2 ผลเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	35
7.4 ผลสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน	35
8. ผลสังเกตพฤติกรรมผู้เรียน	36

สารบัญเรื่อง(ต่อ)

หน้า

(3.) อภิปรายผล (Discussion) 37

(4.) สรุปผล (Conclusion) 40
4.1 สรุปแนวทางจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษา 40
1. สรุปกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะอิงปัญหา 41
2. สรุปกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะโครงงาน 41
4.2 สรุปรูปแบบการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษา 41
4.3 สรุปผลการประเมินคุณภาพกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ครูออกแบบ 42
4.4 สรุปผลที่เกิดกับนักเรียน 43
4.5 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยในครั้งต่อไป 44
4.6 ประโยชน์ในทางประยุกต์ของผลการวิจัยที่ได้ 44

(5.) ผลผลิต (OUTPUT) 45

รายงานการเงิน 46
บรรณานุกรม 47

ผนวก 1 แบบสอบถามทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ 50
ผนวก 2 แบบสอบถามความพึงพอใจจ่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา 52
ผนวก 3 คู่มือ การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบอิงปัญหาวิชาฟิสิกส์ 53
ผนวก 4 แบบประเมินคุณภาพกิจกรรมสะเต็มศึกษา 83
ผนวก 5 กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างเรือ 84
ผนวก 6 กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง จรวดขวดน้ำ 90
ผนวก 7 กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องชั่งน้ำหนัก 98
ผนวก 8 กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง บันจี่จัมป์ 104

ประวัตินักวิจัย 114

สารบัญตาราง (List of Table)

หน้า

ตารางที่ 2-1 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 1 25
ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 1 25
ตารางที่ 2-3 ผลสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 1 26
ตารางที่ 2-4 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 2 27
ตารางที่ 2-5 เปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 2 27
ตารางที่ 2-6 ผลสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 2 27
ตารางที่ 2-7 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 3 28
ตารางที่ 2-8 เปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 3 28
ตารางที่ 2-9 ผลสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 3 29
ตารางที่ 2-10 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 4 30
ตารางที่ 2-11 เปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 4 30
ตารางที่ 2-12 ผลสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 4 31
ตารางที่ 2-13 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 5 32
ตารางที่ 2-14 เปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 5 32
ตารางที่ 2-15 ผลสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 5 32
ตารางที่ 2-16 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 6 33
ตารางที่ 2-17 เปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 6 33
ตารางที่ 2-18 ผลสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 6 34
ตารางที่ 2-19 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 7 35
ตารางที่ 2-20 เปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 7 35
ตารางที่ 2-21 ผลสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 7 35
ตารางที่ 4-1 สรุปเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน 43
ตารางที่ 4-2 สรุปเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ 43
ตารางที่ 4-3 สรุปผลสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน 43

สารบัญภาพ (List of illustrations)

	หน้า
ภาพที่ 1-1 กรอบความคิดของการวิจัย	6
ภาพที่ 1-2 กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	13
ภาพที่ 2-1 แนวคิดสะเต็มศึกษาลักษณะอิงปัญหา	22
ภาพที่ 4-1 แนวคิดสะเต็มศึกษาลักษณะอิงปัญหา	40

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย
(List of Abbreviations)

รูปแบบการพัฒนาฯ	หมายถึง	รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education
รูปแบบฯ	หมายถึง	รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education
ผู้สอน	หมายถึง	ครู อาจารย์ หรือ บุคคลที่รับมอบหมายจากสถานศึกษาให้ ดำเนินการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ระดับอุดมศึกษา
ผู้เรียน	หมายถึง	นิสิต นักศึกษา ที่เรียนวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา

(1)
บทนำ (Introduction)

1.1 งานวิจัยเกี่ยวกับสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ระดับอุดมศึกษา ที่เคยมีผู้ทำการวิจัยมาก่อน

จากการตรวจสอบงานวิจัยเกี่ยวกับสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ในประเทศไทย ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 ย้อนหลังไป 5 ปี ไม่พบงานวิจัยสะเต็มศึกษาเกี่ยวข้องกับการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ทั้งทุกระดับการศึกษา แต่พบงานวิจัยการพัฒนาแผนการเรียนรู้สะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์เพียงงานวิจัยเดียว คือ งานวิจัยของ วิชชาวุธ อุ่นสิม และ กาญจนา จันทร์ประเสริฐ. (2560). ที่ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษารายวิชาฟิสิกส์เรื่องไฟฟ้าสถิต ที่ส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนจุฬาภรณ์ราชวิทยาลัย ปทุมธานี ปีการศึกษา 2559 จำนวน 47 คน ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีพัฒนาการการคิดวิจารณญาณเพิ่มขึ้น จำนวน 38 คน (81%) ส่วนนักเรียนที่มีพัฒนาการลดลง 9 คน (19%) โดยค่าเฉลี่ยของคะแนนพัฒนาการที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 49 ค่าเฉลี่ยของคะแนนพัฒนาการที่ลดลงร้อยละ 44 ตามลำดับ แสดงว่าสะเต็มศึกษาสามารถใช้พัฒนาทักษะการคิดวิจารณญาณของนักเรียนให้สูงขึ้นได้ [1]

ส่วนการวิจัยด้านออกแบบแผนจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาวิชาอื่นๆ มีดังนี้

พลศักดิ์ แสงพรมศรี. (2558). ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และเจตคติต่อการเรียนวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษากับแบบปกติ โดยจัดทำแผนการเรียนรู้สะเต็มศึกษาเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 7 แผน นำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียน 2 ปีการศึกษา 2557 โรงเรียนพยัคฆภูมิวิทยาคาร จังหวัดมหาสารคาม จำนวน 2 ห้องเรียน รวม 102 คน แบ่งเป็นกลุ่มทดลองซึ่งจัดการเรียนการสอนด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา และกลุ่มควบคุมที่จัดการเรียนการสอนแบบเดิม(แบบปกติ) ผลการทดลองพบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์การเรียนกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และเจตคติต่อวิชาเคมี หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ .01 ด้วย [2]

ดารารัตน์ ชัยพิลา และ สกนธ์ชัย ชะนูนันท์. (2016). ศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงานตามแนวคิด STEM Education เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปฏิกิริยาเคมี ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 2 ภาคเรียน 1 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 28 คน พบว่า ความสามารถของนักเรียนในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ระหว่างเรียนร้อยละ 88.35 ซึ่งอยู่ในระดับดี

ส่วนงานวิจัยสะเต็มศึกษาด้านอื่นๆ ที่อาจนำมาใช้ประกอบการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้ มีดังนี้

นุชนภา ราชนิยม และ ภาวิณี โสธายะเพ็ชร. (2558). วิจัยศึกษาสภาพปัญหาและความพร้อมการจัดการเรียนการสอนสะเต็มศึกษาในระดับประถมศึกษา กรุงเทพมหานคร โดยรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม รวม 380 คน แยกเป็น กลุ่มครูโรงเรียนเครือข่ายสะเต็มศึกษา 8 โรงเรียน จำนวน 22 คน กลุ่มครูวิชาวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ ที่ไม่อยู่ในโรงเรียนเครือข่ายสะเต็ม กรุงเทพมหานคร จำนวน 128 คน โดยใช้แบบสอบถาม แบบสังเกต และแบบสัมภาษณ์ เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่า [4]

1. ครูมีระดับการปฏิบัติในการจัดการเรียนการสอนรูปแบบสะเต็มศึกษาในระดับปฏิบัติ “บางครั้ง” (ค่าเฉลี่ย = 2.89) โดยพบปัญหาคือ ครูขาดความรู้ความเข้าใจในการออกแบบการเรียนการสอนสะเต็มศึกษา เวลาในการจัดการเรียนการสอนไม่เพียงพอ และขาดงบประมาณสนับสนุน

2. ครูส่วนใหญ่มีความพร้อมในการจัดการเรียนการสอนรูปแบบสะเต็มศึกษาระดับ “น้อย” ทั้ง 3 ด้าน (ค่าเฉลี่ย=2.93) เมื่อจำแนกระดับความพร้อมในด้านต่างๆ พบว่า ครูส่วนใหญ่มีความพร้อมด้านการจัดการเรียนการสอนมากที่สุด(ค่าเฉลี่ย=2.96) รองลงมา คือ ด้านการวัดและประเมินผล (ค่าเฉลี่ย=2.94) และด้านการเตรียมการสอน (ค่าเฉลี่ย=2.89) เมื่อพิจารณาระดับความพร้อมในการจัดการเรียนการสอนรูปแบบสะเต็มศึกษาตามสังกัดของโรงเรียน พบว่า มีระดับความพร้อมระดับ “น้อย” (ค่าเฉลี่ย=2.96) โดยโรงเรียนที่สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษากรุงเทพมหานครมีระดับความพร้อมมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย=3.15) รองลงมา คือ สังกัดสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชน (ค่าเฉลี่ย=3.12) และสังกัดกรุงเทพมหานคร (ค่าเฉลี่ย= 2.62) เมื่อพิจารณาระดับความพร้อมครูผู้สอนทั้ง 3 วิชา พบว่า ครูส่วนใหญ่มีความพร้อมในการจัดการเรียนการสอนรูปแบบสะเต็มศึกษาระดับ “น้อย (ค่าเฉลี่ย = 2.90) พบว่า ครูวิทยาศาสตร์มีระดับความพร้อมในการจัดการเรียนการสอนมากที่สุด” (ค่าเฉลี่ย=3.03) รองลงมาคือ ครูคณิตศาสตร์ และ ครูคอมพิวเตอร์ (ค่าเฉลี่ย=2.85 และ 2.82) ตามลำดับ

จำรัส อินทลาภาพร มารุต พัฒผล วิชัย วงษ์ใหญ่ และ ศรีสมร พุ่มสะอาด. (2558) ศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาสำหรับผู้เรียนระดับประถมศึกษา โดยใช้การศึกษาสังเคราะห์เอกสารและงานวิจัยเกี่ยวข้อง และจัดประชุมสนทนากลุ่มผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ผลการวิจัย ได้แนวทางดังนี้ คือ 1) ศึกษาสาระสำคัญของสาระวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ การงานอาชีพและเทคโนโลยี และกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมในลักษณะของการบูรณาการ 2) ทดลองจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยตนเองก่อนที่จะจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้แก่ผู้เรียน 3) จัดการเรียนรู้ที่เน้นปัญหาเป็นฐาน (Problem-based Learning) 4) จัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน (Project-based Learning) 5) จัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียน ทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และให้ข้อมูลย้อนกลับแก่ผู้เรียน เพื่อตรวจสอบความรู้ความ เข้าใจของผู้เรียน และ 6) วัดและประเมินผลการเรียนรู้ตามสภาพจริง (Authentic Assessment) ซึ่งแนวทางในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาดังกล่าวเป็นการจัดการเรียนรู้ตามสภาพจริง [5]

ส่วนงานวิจัยต่างประเทศที่เกี่ยวกับการคล้ายกับโครงการวิจัยเรื่องนี้ไม่พบเช่นกัน จะพบงานวิจัยที่มีบริบทใกล้เคียงประเทศไทยบ้าง แต่ข้อมูลยังไม่น่าสนใจเพียงพอที่จะนำมาประกอบการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การพัฒนาประเทศจำเป็นต้องมีองค์ประกอบหลายด้าน องค์ประกอบด้านหนึ่งที่สำคัญ คือ องค์ประกอบด้านการศึกษา ซึ่งสามารถพัฒนากำลังคนของประเทศให้เข้มแข็งและมีศักยภาพ เพราะการศึกษาคือการพัฒนาและยกระดับให้คนมีความเจริญงอกงามในทุกด้าน ทั้งด้านร่างกาย จิตใจ สังคมและสติปัญญา แต่ปัจจุบันสภาพเศรษฐกิจและสังคมของประเทศเกิดการเปลี่ยนแปลงในทุกด้านอย่างรวดเร็ว โดยปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง คือ ความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เป็นไปอย่างรวดเร็ว ประเทศไทยจึงให้ความสำคัญกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างมาก เพราะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นเครื่องมือสำคัญ ที่ใช้ยกระดับมาตรฐานความเป็นอยู่ของประชากรให้ดีขึ้น หน่วยงานหลักคือกระทรวงศึกษาธิการซึ่งเป็นหน่วยงานด้านการศึกษาของประเทศ จึงกำหนดให้มีการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี ในทุกระดับชั้นตั้งแต่ประถมศึกษาจนถึงมัธยมศึกษาปลายและอุดมศึกษาในบางสาขา เพื่อสร้างพื้นฐานความรู้และความคิดทางวิทยาศาสตร์แก่เยาวชน (กระทรวงศึกษาธิการ. สำนักงานปลัดกระทรวง.)

พระราชบัญญัติการศึกษาชาติฉบับ 2542 มาตรา 7 กระบวนการเรียนรู้ต้องมุ่งปลูกฝังจิตสำนึกที่ถูกต้อง เกี่ยวกับการเมืองการปกครองในระบอบประชาธิปไตย อันมีพระมหากษัตริย์ทรงเป็นประมุข รู้จักรักษา และส่งเสริมสิทธิหน้าที่เสรีภาพ เคารพกฎหมาย ความเสมอภาคและศักดิ์ศรีความเป็นมนุษย์ ภาคภูมิใจในความเป็นไทย รู้จักรักษาผลประโยชน์ส่วนรวมและของประเทศชาติ รวมทั้งส่งเสริมศาสนา ศิลปวัฒนธรรมของชาติ การกีฬา ภูมิปัญญาท้องถิ่น ภูมิปัญญาไทย และความรู้อันเป็นสากล ตลอดจนอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มีความสามารถในการประกอบอาชีพ รู้จักพึ่งตนเอง มีความริเริ่มสร้างสรรค์ ใฝ่รู้ และเรียนรู้ด้วยตนเอง อย่างต่อเนื่อง [6]

องค์ประกอบของการจัดการเรียนรู้ที่ให้ผลสัมฤทธิ์สูงองค์ประกอบหนึ่ง คือ กระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ทำให้ได้มาซึ่งความรู้ความสามารถซึ่งนับว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งโดยผู้มีบทบาทสำคัญอันดับแรกคือผู้เรียน อันดับสองคือผู้สอน ที่ต้องวิเคราะห์ธรรมชาติการเรียนรู้ของผู้เรียน[7] โดยพระราชบัญญัติการ ศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 ได้กำหนดแนวการจัดการศึกษาโดยยึดหลักว่าผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้และถือว่าผู้เรียนสำคัญที่สุด กระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตามธรรมชาติและเต็มศักยภาพอย่างสอดคล้อง และเหมาะสม จนบรรลุจุดมุ่งหมายที่สำคัญของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ซึ่งไม่แค่สอนให้ผู้เรียนจดจำแต่เฉพาะข้อเท็จจริงตามเนื้อหาเท่านั้น แต่ต้องเข้าใจปัญหาและมองเห็นความสำคัญของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในการดำรงชีวิตอย่างมีความสุข ตลอดจนประโยชน์ต่อการพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังปรากฏในมาตรา 24 ของพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 และแก้ไขเพิ่มเติม(ฉบับที่ 2) พ.ศ. ที่กล่าวว่า ส่งเสริมสนับสนุนให้ผู้สอนสามารถจัดสภาพ บรรยากาศแวดล้อม สื่อการเรียน และอำนวยความสะดวกเพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และมีความรอบรู้ รวมทั้งสามารถใช้การวิจัยเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเรียนรู้ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2524) [6]

ฟิสิกส์เป็นสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ที่มีความสำคัญต่อการศึกษาวิทยาศาสตร์ทุกสาขา พื้นฐานฟิสิกส์ที่ดีจะทำให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นรากฐานที่ดีต่อการศึกษาทางวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ เช่น วิศวกรรม สถาปัตยกรรม แพทย์ศาสตร์ ฯลฯ สามารถประยุกต์ทำความเข้าใจแก้ปัญหาสถานการณ์และอธิบายสิ่งต่างๆ ทั้งที่เกิดในธรรมชาติและสถานการณ์ที่มนุษย์สร้างได้อย่างดี ฟิสิกส์จึงสำคัญในการสร้างรากฐานความเจริญด้านวิทยาศาสตร์

และเทคโนโลยีของประเทศ หลักสูตรการศึกษาระดับอุดมศึกษาจึงกำหนดให้นักเรียนวิทยาศาสตร์ต้องเรียนฟิสิกส์ แต่ด้วยเนื่องจากฟิสิกส์มีเนื้อหาซับซ้อน นักเรียนที่ไม่มีความถนัดจึงต้องใช้ระยะเวลาเรียนรู้ทำความเข้าใจมากกว่าวิทยาศาสตร์สาขาอื่น และต้องใช้เทคนิคการเรียนการสอนต่างๆ เข้าช่วย นักเรียนที่เรียนฟิสิกส์ไม่เข้าใจจึงมีสัดส่วนจำนวนมาก เกิดความเบื่อหน่าย มองไม่เห็นประโยชน์และความสำคัญ ทำให้เกิดทัศนคติทางลบ และเริ่มส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังการศึกษาระดับที่สูงขึ้นไป เช่น ในระดับอุดมศึกษา เพราะมีนักเรียนจำนวนมากมีความรู้ฟิสิกส์น้อยกว่าระดับที่ควรจะมี ขณะเข้าเรียนชั้นปีที่ 1 ในระดับอุดมศึกษา ผู้เรียนที่ไม่ถนัดจึงต้องใช้ระยะเวลาศึกษาเรียนรู้มากกว่าวิชาอื่นๆ จำนวนนักเรียนนิสิตนักศึกษาที่ไม่สามารถศึกษาเรียนรู้ฟิสิกส์ได้เข้าใจจึงมีจำนวนมาก และด้วยเหตุที่นักเรียนนิสิตนักศึกษาจำเป็นต้องเรียนฟิสิกส์เพราะเป็นวิชาบังคับตามที่กล่าวมา ทำให้เกิดทัศนคติทางลบ ไม่อยากเรียน คิดว่าแม้พยายามเรียนอย่างไรก็ไม่เข้าใจ จึงเรียนเพียงแค่ให้ผ่าน ไม่ตั้งใจทำความเข้าใจเพื่อหวังนำไปใช้ประโยชน์ จำนวนนิสิตนักศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาที่สอบไม่ผ่านหรือได้ผลการเรียนต่ำกว่า จึงมีจำนวนมากขึ้นๆ ผลกระทบที่อาจตามมาคือการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์กายภาพรวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมของประเทศจะไม่ทำได้

สะเต็มศึกษา (STEM Education) เป็นแนวทางการจัดการเรียนการสอนที่เกิดในสหรัฐอเมริกา เนื่องจากพบว่าขีดความสามารถของประเทศมีแนวโน้มลดลง ดังจะเห็นได้จาก ผลการทดสอบโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ (Program for International Student Assessment หรือ PISA) และ ทดสอบด้านคณิตวิทยาศาสตร์ระดับสากล (Trends in International Mathematics and Science Study หรือ TIMSS) ของสหรัฐอเมริกา นั้นต่ำกว่าหลายประเทศ นักเรียนนักศึกษาที่ให้ความสนใจและความสำคัญต่อการเรียนวิชาเหล่านี้มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ รวมถึงคนทำงานด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม ที่เป็นประชากรของอเมริกาเองก็มีจำนวนน้อยลงเช่นกัน สาเหตุหนึ่งเป็นเพราะผู้เรียนไม่เห็นความสำคัญและประโยชน์ของการเรียนวิชาเหล่านี้ เนื่องจากวิชาเหล่านี้แยกโดดเดี่ยวจากกัน ไม่แสดงให้ผู้เรียนเห็นการเชื่อมโยงผสมผสานกัน(บูรณาการ) เพื่อแก้ปัญหาและใช้ประโยชน์ที่เป็นรูปธรรมและสอดคล้องกับสถานการณ์จริง ส่งผลให้ผู้เรียนให้ความรักและเห็นคุณค่าของวิชาเหล่านี้ลดลง ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาความเจริญด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและนวัตกรรมของประเทศในอนาคต จึงคาดว่าสะเต็มศึกษาจะเป็นแนวทางการเรียนการสอนหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวของอเมริกาได้ (ยศวีร์ สายฟ้า, 2012) [8]

นวัตกรรมการศึกษาบทเรียน (Lesson study) เป็นนวัตกรรมหลักในการพัฒนาวิชาชีพครูของประเทศญี่ปุ่นมาประมาณมากกว่า 130 ปี ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง เพราะมีการปรับปรุงและพัฒนาตลอดเวลา (Lewis , & Perry, 2003) โดยครูจะรวมกลุ่มกันตั้งแต่ 3 คนขึ้นไปเพื่อพัฒนาบทเรียนร่วมกัน โดยอาจเป็นครูที่สอนในชั้นเรียนเดียวกัน โรงเรียนเดียวกันหรือต่างโรงเรียนกัน รวมกลุ่มกันเพื่อพัฒนาบทเรียนเรื่องเดียวกันหรือเนื้อหาเดียวกัน หรือเนื้อหาต่างกัน ซึ่งพิสูจน์ว่าสามารถพัฒนาการสอนของครูได้มาก เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยพัฒนาวิชาชีพครู ทำให้ครูปรับปรุงและพัฒนาการสอนของตัวเอง และผลักดันให้ครูเกิดความรู้สึกต้องการพัฒนาตัวเองตลอดเวลาโดยไม่ต้องมีบุคคลภายนอกมาดำเนินการ เพราะจุดประสงค์หลักคือประสิทธิภาพการเรียนรู้ของนักเรียน เหตุผลหลักที่การศึกษาผ่านบทเรียนเป็นที่ยอมรับและนิยมก็คือทำให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดของครูจากการสะท้อนผลของนักเรียน ทำให้ปรับเปลี่ยน

ความคิดวิธีสอนและการเรียนรู้ และเป็นวิธีการที่ครูช่วยเหลือสนับสนุนแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดและประสบการณ์กันและกันอย่างต่อเนื่อง เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของครูแต่ละคน [11][21-23]

ด้วยข้อมูลและเหตุผลตามที่กล่าวมาแต่ต้น ทำให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาและพัฒนา รูปแบบการพัฒนาผู้สอนวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาตามแนวคิด STEM Model โดยต้องการให้รูปแบบที่พัฒนา สอดคล้องกับบริบทของการเรียนการสอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาของประเทศไทย และสนองตอบบริบทการเรียนการสอนของสถาบันอุดมศึกษาต่างๆ ในประเทศไทย เช่น จุดมุ่งหมายการเรียน เนื้อหาวิชา พื้นฐานความรู้เดิมของผู้เรียน สไตล์การเรียนรู้ของผู้เรียน วิธีสอนและประสบการณ์ของผู้สอน ความพร้อมด้านอุปกรณ์การสอน ฯลฯ [7] [8] ซึ่งการที่จะได้รูปแบบที่มีลักษณะดังที่กล่าวมานี้นั้น ผู้วิจัยเห็นว่ากระบวนการศึกษาบทเรียน (Lesson Study) เป็นเครื่องมือหรือเป็นนวัตกรรมที่ทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ได้ ซึ่งผลตามมาจะมีประโยชน์ต่อการพัฒนาการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษามาก และย่อมส่งผลต่อเนื่องต่อการพัฒนาด้านเทคโนโลยีของประเทศได้มากในอนาคต เพื่อเป็นฐานของการพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านวิทยาศาสตร์สาขาฟิสิกส์ และสาขาอื่นที่จำเป็นต้องมีความรู้ฟิสิกส์เป็นฐานการเรียนรู้ ด้วยวัตถุประสงค์ปลายทางที่สำคัญยิ่ง คือ การพัฒนาประเทศไทยไปสู่ความเจริญที่ยั่งยืน รองรับวิสัยทัศน์ประเทศไทย 4.0

1.3 วัตถุประสงค์การวิจัยและขอบเขตการวิจัย

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาและพัฒนา รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education โดยการศึกษาบทเรียน
2. ประเมินผล รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education ในด้านต่อไปนี้
   - 2.1. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนของผู้เรียน ระหว่างก่อนและหลังเรียน
   - 2.2. เปรียบเทียบทัศนคติของผู้เรียนต่อวิชาฟิสิกส์ ระหว่างก่อนและหลังทดลอง
   - 2.3 สอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน ต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้สอนและผู้เรียน วิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้สอนวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาจำนวน 5 คน และนิสิตนักศึกษาจำนวน 295 คน ได้จากการเชิญชวนเข้าร่วมการวิจัย โดยทั้งนี้ได้รับการอนุมัติจากผู้บริหารสถาบันอุดมศึกษาต้นสังกัด แบ่งเป็น

ผู้สอนฟิสิกส์เข้าร่วม เฉพาะออกแบบ	จำนวน 5 คน
ผู้สอนฟิสิกส์เข้าร่วม ออกแบบและทดลองสอนในชั้นเรียน	จำนวน 2 คน
นิสิตนักศึกษาเข้าร่วม ทดลองโดยไม่มีการวัดประเมินผล	จำนวน 19 คน
นิสิตนักศึกษาเข้าร่วม ทดลองโดยมีการวัดประเมินผล	จำนวน 276 คน

2. นิยามศัพท์เชิงปฏิบัติการเฉพาะที่สำคัญ

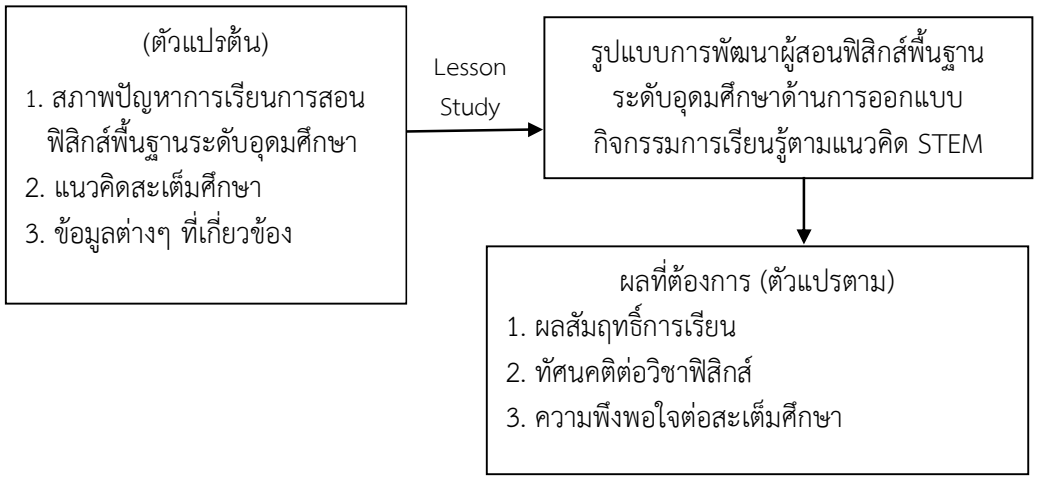
สะเต็มศึกษา (STEM Education) หมายถึง แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ที่ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และมีประสบการณ์การบูรณาการความรู้ด้าน วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เข้าด้วยกันโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering Process Design) เพื่อให้ได้ผลผลิต หรือผลงาน หรือชิ้นงาน ที่ดีที่สุดตามเงื่อนไขหรือข้อจำกัด ซึ่งอาจเป็นวิธีการแก้ปัญหา หรือคำอธิบาย หรือการออกแบบชิ้นงาน เช่น อุปกรณ์ หรือ สิ่งประดิษฐ์ เป็นต้น

รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education หมายถึง วิธีการหรือวิธีปฏิบัติอย่างเป็นลำดับขั้นตอน โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาใช้ศึกษาทำความเข้าใจ จนได้แนวทางและสามารถออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ที่เหมาะสมกับศักยภาพผู้เรียน และเหมาะสมกับบริบทการศึกษาของสถาบันอุดมศึกษาของผู้สอน แต่ละคน

3. กรอบความคิดการวิจัย

เพื่อให้ รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education มีประสิทธิภาพ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสถาบันอุดมศึกษาต่างๆ ในประเทศไทย กรอบความการวิจัยของการวิจัยครั้งนี้ แสดงในภาพที่ 1-1

ภาพที่ 1.1 กรอบความคิดของการวิจัย



1.4 สรุปทฤษฎีและแนวคิดที่สำคัญ ที่นำมาใช้ในการวิจัย

1.4.1 พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ

พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 และแก้ไขเพิ่มเติม(ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545 มาตรา 4 ให้ความหมายของ “การศึกษา” ว่า เป็นกระบวนการเรียนรู้เพื่อความเจริญงอกงามของบุคคลและสังคมโดยการถ่ายทอดความรู้ การฝึกอบรม การสืบสานวัฒนธรรม การสร้างสรรค์จรรโลงความก้าว หน้าทางวิชาการ การสร้างองค์ความรู้อันเกิดจากการจัดสภาพแวดล้อม สังคม การเรียนรู้และปัจจัยเกื้อหนุนให้บุคคลเรียนรู้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต [7]

ส่วนความมุ่งหมายและหลักการของพระราชบัญญัติอยู่ในมาตรา 6 กล่าวว่า “การจัดการศึกษาต้องเป็นไปเพื่อพัฒนาคนไทยให้เป็นมนุษย์ที่สมบูรณ์ทั้งร่างกาย จิตใจ สติปัญญา ความรู้ และคุณธรรม มีจริยธรรมและวัฒนธรรมในการดำรงชีวิต สามารถอยู่ร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีความสุข” มาตรา 7 ในกระบวน การเรียนรู้ต้องมุ่งปลูกฝังจิตใจสำนึกที่ถูกต้อง เกี่ยวกับการเมืองการปกครองในระบบประชาธิปไตยอันมีพระมหากษัตริย์ทรงเป็นประมุข ความเสมอภาค และศักดิ์ศรี ความเป็นมนุษย์ ภาคภูมิใจในความเป็นไทย รักษาผลประโยชน์ส่วนรวมและของประเทศ ส่งเสริมศาสนา ศิลปะวัฒนธรรมของชาติ อนุรักษ์ทรัพยากร ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มีความสามารถในการประกอบอาชีพ พึงตนเอง มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ใฝ่รู้ และเรียนรู้ด้วยตนเองอย่างต่อเนื่อง [6]

สำหรับแนวทางจัดการศึกษานั้น มาตรา 22 การจัดการศึกษาต้องยึดหลักว่า ผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ ถือว่าผู้เรียนสำคัญที่สุด กระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตามธรรมชาติและเต็มศักยภาพ มาตรา 23 ให้เน้นความสำคัญทั้งความรู้ คุณธรรม ให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับตนเอง ความสัมพันธ์ของตนเองกับสังคม ครอบครัว ชุมชน ชาติ ประวัติความเป็นมาของสังคมไทย ให้มีความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งความรู้ความเข้าใจและ ประสบการณ์เรื่องการจัดการ การบำรุงรักษาและการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างสมดุลยั่งยืน ให้มีความรู้เกี่ยวกับ ศาสนา ศิลปะ วัฒนธรรม ภูมิปัญญาไทย และการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญา ความรู้และทักษะด้านคณิตศาสตร์และภาษา เน้นการใช้ภาษาไทยถูกต้อง มีความรู้และทักษะในการประกอบอาชีพและการดำรงชีวิตอย่างมีความสุข [7]

การจัดกระบวนการเรียนรู้ในสถานศึกษาและหน่วยงานเกี่ยวข้อง อยู่ในมาตรา 24 ซึ่งระบุให้ดำเนินการดังนี้ [7]

1. จัดเนื้อหาสาระกิจกรรมให้สอดคล้องกับความสนใจและความถนัดของผู้เรียน โดยคำนึงความแตกต่างระหว่างบุคคล
2. ฝึกทักษะ กระบวนการคิด การจัดการ การเผชิญสถานการณ์และการประยุกต์ความรู้มาใช้เพื่อร่วมกันแก้ไขปัญหา
3. จัดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง ฝึกปฏิบัติให้ทำได้ คิดเป็น รักการอ่านและเกิดการใฝ่รู้อย่างต่อเนื่อง
4. จัดการเรียนการสอนโดยผสมผสานสาระความรู้ด้านต่างๆ อย่างได้สัดส่วนสมดุลกัน รวมทั้งปลูกฝังคุณธรรม ค่านิยมที่ดีงามและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ไว้ในทุกวิชา

5. ส่งเสริมสนับสนุนให้ผู้สอนสามารถจัดสภาพ บรรยากาศแวดล้อม สื่อการเรียน และอำนวยความสะดวกเพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และมีความรอบรู้ รวมทั้งสามารถใช้การวิจัยเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเรียนรู้

1.4.2 ความหมายและความสำคัญของฟิสิกส์

ฟิสิกส์(Physics) มาจากภาษากรีก มีความหมายว่า “ธรรมชาติ” ดังนั้นวิชาฟิสิกส์เป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติ(University Physic, Sear Zemansky, Young) เป็นวิชาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเกี่ยวกับอวกาศ เวลา สสาร พลังงาน และการเคลื่อนที่ (WEERN MECHANICS) เป็นวิทยาศาสตร์สาขาหนึ่งที่อาศัยวิธีการทดลอง (Principle of Physics, Frederick J, Bueche) เพื่อศึกษาธรรมชาติของสิ่งต่างๆ ซึ่งได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดรอบตัวเรา การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ทำโดยการสังเกต การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อสรุปเป็นทฤษฎีหลักการหรือกฎ ความรู้เหล่านี้สามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติหรือทำนายสิ่งที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต และความรู้นี้สามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการแสวงหาความรู้ใหม่เพิ่มเติมและพัฒนาคุณภาพชีวิต (Digital Library for schoolNet, ออนไลน์)

*พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542 ให้ความ*ความหมายฟิสิกส์ไว้ว่า “*ฟิสิกส์คือวิทยาศาสตร์กายภาพแขนงหนึ่งซึ่งกล่าวถึงสมบัติทางกายภาพของสารต่างๆและพลังงาน*”

นอกจากนี้ ยังมีความหมายในลักษณะอื่นๆ เช่น ฟิสิกส์คือการศึกษากฎธรรมชาติ ฟิสิกส์คือวิทยาศาสตร์ที่อธิบายวัตถุและพลังงาน ฟิสิกส์คือพื้นฐานของวิทยาศาสตร์ทั้งมวล และฟิสิกส์คือความรู้ที่ได้จากการศึกษาและรวบรวมจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ เป็นต้น

ด้วยเหตุนี้ทุกประเทศจึงจัดให้ฟิสิกส์เป็นวิชาหนึ่งในสาขาวิทยาศาสตร์กายภาพที่มีความสำคัญต่อการศึกษาตั้งแต่ระดับพื้นฐานเป็นต้นไป เพราะเป็นรากฐานความคิดและการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่สำคัญของประเทศ

วิชาฟิสิกส์พื้นฐาน(หรือฟิสิกส์ทั่วไป หรือ ฟิสิกส์เบื้องต้น) เป็นวิชาที่สถาบันอุดมศึกษากำหนดให้ต้องเรียนสำหรับสาขาวิชา/หลักสูตรทางวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์เพราะมีเนื้อหาเป็นพื้นฐานสำคัญของการเรียนวิชาต่างๆในสาขาวิชา/หลักสูตร รวมถึงการประกอบอาชีพ ดังนั้นการให้นิสิตนักศึกษามีความรู้ความเข้าใจมโนทัศน์และเนื้อหาฟิสิกส์พื้นฐานจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก เนื้อหาของฟิสิกส์พื้นฐานประกอบด้วยหลายเรื่อง ทั้งฟิสิกส์ยุคเก่า(Classical Physic) และฟิสิกส์ยุคใหม่(Modern Physic) โดยเนื้อหาจะเชื่อมโยงและต่อเนื่องจากฟิสิกส์ในระดับมัธยมปลาย โดยทั่วไปเนื้อหาของวิชาฟิสิกส์พื้นฐานแต่ละสาขาวิชา/แต่ละหลักสูตร/แต่ละคณะ/แต่ละมหาวิทยาลัย จะกำหนดไว้ในคำอธิบายรายวิชา(Course description) ซึ่งจะคล้ายคลึงกันหรืออาจแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ส่วนรายละเอียดของเนื้อหานั้นอยู่ในดุลยพินิจของผู้สอน/ภาควิชา/คณะ จะกำหนดว่ามีขอบเขตเพียงใดและครอบคลุมเพียงใด

เมื่อพิจารณาการเรียนการสอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาในประเทศไทย พบว่า แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

ลักษณะที่ 1 เป็นการเรียนการสอนเนื้อหาฟิสิกส์ผสมผสานกับการทดลอง(ปฏิบัติการ) อยู่ในรายวิชาเดียวกัน วัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้เนื้อหาผสมผสานกับการทดลองค้นคว้าจริง โดยระบุในคำอธิบายรายวิชาให้มีทั้งการบรรยายและการปฏิบัติ เช่น ให้บรรยายเนื้อหา 3 คาบเรียน/สัปดาห์ และทดลอง 1 คาบเรียน/สัปดาห์ การเรียนการสอนลักษณะนี้หลายสถาบันอุดมศึกษาใช้ในอดีต แต่ปัจจุบันหลายสถาบันยกเลิกไปแล้ว แต่มีบางสถาบันยังคงใช้การเรียนการสอนลักษณะนี้อยู่ ข้อดีของการเรียนการสอนลักษณะนี้ก็คือหากจัดการทดลองสอดคล้องและควบคู่กับการเรียนรู้เนื้อหาจะทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และทำความเข้าใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ข้อด้อยก็คือเวลาสำหรับให้ผู้เรียนทดลอง(ปฏิบัติการ)ซึ่งมีเพียง 1 คาบเรียนต่อสัปดาห์น้อยมากจนไม่สามารถทดลองในเรื่องที่สำคัญได้ และหากผู้สอนไม่เตรียมการอย่างดีพอ อาจจัดให้มีการทดลองเพียงบางเรื่องและเป็นเฉพาะเรื่องที่ง่ายหรือใช้เวลาไม่มาก ส่งผลให้ทักษะและประสบการณ์ด้านการทดลองค้นคว้าทางฟิสิกส์ของผู้เรียนน้อยลงไปมาก

ดังตัวอย่างคำอธิบายรายวิชา ต่อไปนี้

544121 ฟิสิกส์พื้นฐาน (Fundamental Physics) หน่วยกิต 3(3-1-6)

ให้ศึกษาและทดลองเรื่อง *หน่วยและระบบหน่วย เวกเตอร์และสเกลาร์ การเคลื่อนที่เชิงเส้นเชิงมุม แรง กฎของนิวตัน งานและพลังงาน โมเมนตัมและการชน คลื่น แสง เสียง ทัศนศาสตร์ ความร้อน สมบัติของของไหล ไฟฟ้าสถิตย์ ไฟฟ้ากระแสตรง แม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทฤษฎีสัมพันธภาพพิเศษ โครงสร้างอะตอม ฟิสิกส์ยุคใหม่*

ลักษณะที่ 2 เป็นการเรียนการสอนที่แยกเนื้อหาฟิสิกส์และการทดลอง(ปฏิบัติการ)ออกจากกัน (แยกรายวิชาหรือแยกคอร์ส) โดยให้เป็นรายวิชาที่มีการเรียนการสอนเฉพาะเนื้อหา 3 คาบเรียน/สัปดาห์ และรายวิชาที่มีเฉพาะการทดลอง(ปฏิบัติการ) 3 คาบเรียนต่อสัปดาห์ เพื่อให้ผู้เรียนมีเวลาทดลอง(ปฏิบัติการ)มากขึ้น การเรียนการสอนฟิสิกส์พื้นฐานในลักษณะเช่นนี้ มีในสถาบันอุดมศึกษาหลายแห่งของประเทศไทย เพราะการแยกการทดลองออกมาเป็นอีกรายวิชาจึงมีเวลามากขึ้น ผู้สอนสามารถจัดเตรียมการทดลองที่ครอบคลุมเรื่องหรือเนื้อหาฟิสิกส์ได้มาก ผู้เรียนสามารถฝึกฝนทักษะการทดลองค้นคว้าทางฟิสิกส์ได้มาก แต่ข้อด้อยก็คือผู้เรียนอาจไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้ความเข้าใจเนื้อหาฟิสิกส์และการทดลองเข้าด้วยกันได้ หรือเรื่องที่ทดลอง(ปฏิบัติการ)อาจไม่สอดคล้องกับเนื้อหาที่เรียนในขณะนั้น เพราะอยู่คนละรายวิชา

ดังตัวอย่าง คำอธิบายรายวิชา ต่อไปนี้

273141 ฟิสิกส์พื้นฐาน (Fundamental Physics) หน่วยกิต 3(3-0-6)

ศึกษาหลักการเบื้องต้นในเรื่องต่อไปนี้ คณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์ การเคลื่อนที่แบบต่างๆ งานและพลังงาน โมเมนตัมเชิงเส้นและเชิงมุม คลื่น เสียง แสง ไฟฟ้าสถิตย์ ไฟฟ้ากระแสตรง แม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การนำไฟฟ้าและสารกึ่งตัวนำ อิเล็กทรอนิกส์ สัมพัทธภาพพิเศษ ฟิสิกส์ยุคใหม่ และควอนตัมฟิสิกส์

273142 ปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐาน (Fundamental Physics Laboratory) 1(0-3-0)
ปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐาน ที่สอดคล้องกับเนื้อหาในวิชา 273141 ฟิสิกส์พื้นฐาน

การเรียนการสอนฟิสิกส์พื้นฐานทั้ง 2 ลักษณะที่กล่าวมาแต่ต้นนี้ จะเน้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และทำความเข้าใจมโนทัศน์ในเรื่องหรือเนื้อหาฟิสิกส์ เพื่อเป็นพื้นฐานต่อการเรียนรู้วิชาต่างๆ ใน สาขาวิชา/หลักสูตรเมื่อเรียนในชั้นปีที่ 2-3-4 รวมทั้งเป็นพื้นฐานในการประกอบอาชีพและศึกษาต่อในอนาคต ดังนั้นจึงมีปริมาณเนื้อหาและรายละเอียดค่อนข้างมาก จึงเป็นสาเหตุหนึ่งซึ่งอาจทำให้ผู้เรียนที่มีพื้นฐานฟิสิกส์จากระดับมัธยมศึกษาตอนปลายน้อย ไม่สามารถเรียนรู้ทำความเข้าใจได้

สรุปว่า ฟิสิกส์(Physics) เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ศึกษาธรรมชาติของสิ่งต่างๆ ซึ่งได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดรอบตัวเรา การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ทำได้โดยการสังเกต การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อสรุปเป็นทฤษฎี หลักการ หรือกฎ ความรู้เหล่านี้สามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติหรือทำนายสิ่งที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต และความรู้นี้สามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการแสวงหาความรู้ใหม่เพิ่มเติมและพัฒนาคุณภาพชีวิต

1.4.3 แนวคิดของสะเต็มศึกษา (STEM Education)

1. ความเป็นของสะเต็มศึกษา

สะเต็มศึกษา(STEM Education) แนวทางการจัดการเรียนการสอนแบบหนึ่ง ที่เกิดในสหรัฐอเมริกา เนื่องจากพบว่าขีดความสามารถของประเทศมีแนวโน้มลดลง ดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ (Program for International Student Assessment หรือ PISA) และ ทดสอบด้านคณิตวิทยาศาสตร์ระดับสากล(Trends in International Mathematics and Science Study หรือ TIMSS) ของสหรัฐอเมริกานั้นต่ำกว่าหลายประเทศ เนื่องจากมีปัญหาด้านทัศนคติต่อวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ทำให้นักเรียนนักศึกษาที่ให้ความสนใจและความสำคัญต่อการเรียนวิชาเหล่านี้มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ รวมถึงคนทำงานด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม ที่เป็นประชากรของอเมริกาเองมีจำนวนน้อยลงเช่นกัน สาเหตุหนึ่งเป็นเพราะผู้เรียนไม่เห็นความสำคัญและประโยชน์ของการเรียนวิชาเหล่านี้ ซึ่งเนื่องจากวิชาเหล่านี้แยกโดดเดี่ยวจากกัน ไม่แสดงให้ผู้เรียนเห็นการเชื่อมโยงผสมผสานกัน(บูรณาการ)เพื่อแก้ปัญหาและใช้ประโยชน์ที่เป็นรูปธรรมและสอดคล้องกับสถานการณ์จริง ส่งผลให้ผู้เรียนให้ความรักและเห็นคุณค่าของวิชาเหล่านี้ลดลง ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาความเจริญด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และนวัตกรรม ของประเทศในอนาคต จึงคาดว่าสะเต็มศึกษาจะเป็นแนวทางการจัดการเรียนการสอนหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวของอเมริกาได้ [19]

นอกจากนี้ ยังต้องการพัฒนาทักษะกระบวนการคิดที่เป็นพื้นฐานของการสร้างนวัตกรรม ซึ่งก็คือ กระบวนการคิดทางวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งนิยมเรียกกันว่า กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์(Engineering Process Design) หรือเรียกกันอื่นๆ ว่า กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม เป็นต้น เพราะจากการศึกษาพบว่า กระบวนการคิดเชิงวิศวกรรมนี้สามารถให้เรียนรู้ได้ทุกระดับการศึกษา ไม่ต้องเฉพาะระดับอุดมศึกษาเท่านั้น ดังที่เข้าใจมาก่อน

ดังนั้น วัตถุประสงค์ของกิจกรรมสะเต็มศึกษา จึงมีดังนี้

1. ให้ผู้เรียนเห็นความสำคัญ ประโยชน์ และคุณค่า (อย่างแท้จริง) ของวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี รวมทั้งเพิ่มความสนใจและตั้งใจเรียนวิชาเหล่านี้ในชั้นเรียนมากขึ้น

2. ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้กระบวนการคิดเชิงวิศวกรรมศาสตร์ หรือกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering design process)

2. ความหมายของสะเต็มสะศึกษา

มีผู้ให้ความหมายของสะเต็มศึกษา(STEM Education)ไว้หลายความหมาย ดังจะยกตัวอย่าง

สะเต็มศึกษา คือ แนวทางการจัดการศึกษาให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และสามารถบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี กระบวนการทางวิศวกรรม และคณิตศาสตร์ ไปใช้ในการเชื่อมโยงและแก้ปัญหาในชีวิตจริง รวมทั้งพัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่ ควบคู่ไปกับการพัฒนาทักษะการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21 (การประชุมคณะกรรมการพัฒนาหลักสูตรการจัดการเรียนการสอนสะเต็มศึกษา ในสถานศึกษา วันที่ 27 พฤษภาคม 2559) [10]

สะเต็มศึกษา คือ การจัดการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมหรือโครงงาน ที่บูรณาการการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ผนวกกับแนวคิดการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยนักเรียนได้ทำกิจกรรมพัฒนาความรู้ความเข้าใจ และฝึกทักษะด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี และได้นำความรู้มาออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการ เพื่อตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน เพื่อให้ได้เทคโนโลยีซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (สสวท.) [9]

สะเต็มศึกษา เป็นนวัตกรรมการเรียนรู้รูปแบบหนึ่ง ที่บูรณาการวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์เข้าด้วยกัน ให้ผู้เรียนนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง รวมทั้งการพัฒนากระบวนการผลิตหรือผลผลิตใหม่ ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตและการประกอบอาชีพ ผ่านประสบการณ์ในการทำกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงาน(Project based learning) หรือกิจกรรมการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem based learning) [19]

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ จะให้ความหมายของสะเต็มศึกษาเชิงปฏิบัติการ เพื่อเป็นหลักคิดของการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา ว่า

“สะเต็มศึกษา คือ แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ที่ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และมีประสบการณ์ การบูรณาการความรู้ด้าน วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เข้าด้วยกัน โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering Process Design) เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีที่สุดตามภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัด ซึ่งอาจเป็นวิธีการแก้ปัญหาหรือหาคำอธิบาย หรือการออกแบบชิ้นงาน เช่น อุปกรณ์ หรือ สิ่งประดิษฐ์ เป็นต้น”

3. กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

3.1 ความหมายกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

คำว่า “กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม” มีคำอื่นๆ มีความเดียวกัน เช่น การออกแบบทางวิศวกรรม หรือ กระบวนการคิดทางวิศวกรรม หรือ การคิดเชิงวิศวกรรม เป็นต้น

มีผู้ให้ความหมายของ “กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering design Process)” ไว้หลากหลาย ดังตัวอย่าง

The engineering design process was a methodical series of steps that engineers use in creating functional products and processes. The process is highly iterative - parts of the process often need to be repeated many times before another can be entered - though the part(s) that get iterated and the number of such cycles in any given project may vary. (en.wikipedia.org)

The **engineering design process** is a series of steps that guides engineering teams as they solve problems. The design process is **iterative**, meaning that engineers repeat the steps as many times as needed, making improvements along the way as they **learn from failure**. (www.teachengineering.org)

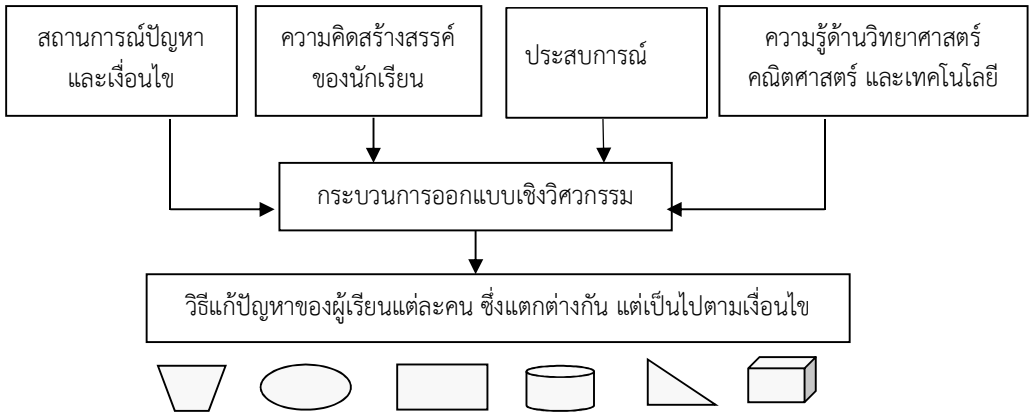
การออกแบบทางวิศวกรรม เป็นกระบวนการประยุกต์ใช้หลักการวิทยาศาสตร์และแนวปฏิบัติทางวิศวกรรม ให้เข้ากับความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ของผู้ออกแบบ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หรือกระบวน การผลิตหรือบริการใหม่ๆ โดยความสำเร็จนี้ขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความสะดวก ความปลอดภัย และการใช้ทรัพยากรที่มีประสิทธิภาพ (นิศากร สมสุข , วรลักษณ์ จันทร์กระจ่าง และ สมบัติ ทีฆทรัพย์. 2550)

การออกแบบทางวิศวกรรม เป็น กระบวนการในการคิดค้นกำหนด ระบบ ส่วนประกอบ หรือกระบวนการที่ตรงกับความต้องการการออกแบบ เป็นกระบวนการตัดสินใจที่อาศัยวิทยาศาสตร์พื้นฐาน คณิตศาสตร์ และ วิศวกรรม ในการเปลี่ยนทรัพยากรที่เหมาะสมให้ ตรงกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดให้ (Kanchit Malaivongs, 2005) [13]

สำหรับเอกสารฉบับนี้ ผู้เขียนจะให้ความหมายเชิงปฏิบัติการ ที่คาดว่าผู้สอนนำไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบกิจกรมการเรียนการสอนสะเต็มศึกษา ดังนี้

“กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering design Process)” *หมายถึง วิธีการคิดเพื่อจุดประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น ออกแบบอุปกรณ์หรือสิ่งประดิษฐ์ เพื่อหาวิธี หากระบวนการหรือหาคำอธิบายเรื่องใดเรื่องหนึ่ง โดยเป็นวิธีคิดที่นำความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีมาผสมผสานเข้าด้วยกัน ร่วมกับประสบการณ์ และทักษะการคิดต่างๆ เช่น การคิดเชิงเหตุผล การคิดสร้างสรรค์ การคิดวิจารณญาณ การคิดย้อนกลับ และการคิดเชิงระบบ ฯลฯ เพื่อแสวงหาสิ่งที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัด*

ภาพ 1-2 กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม



วิธีการคิดใดที่สอดคล้องกับนิยามหรือภาพ 1-2 จัดเป็นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้งสิ้น จึงมีกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้หลายกระบวนการหรือหลายวิธี แตกต่างกันไปตามสาขาวิชาต่างๆ

3.2 วิธีการของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีหลากหลายวิธีการ วิศวกรรมแต่ละสาขาจึงมีขั้นตอนวิธีการและเทคนิค ที่ใช้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมแตกต่างกัน อีกทั้งยังซับซ้อนมากน้อยแตกต่างกันตามสภาพปัญหาและเงื่อนไขและข้อจำกัด

มีผู้กำหนดขั้นตอนการคิดซึ่งยอมรับกันว่าเป็นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ไว้หลายแบบ ดังจะยกตัวอย่างต่อไปนี้

1. คณะกรรมการพัฒนาหลักสูตรและคณะกรรมการขับเคลื่อนการเรียนการสอนสะเต็มในสถานศึกษา กำหนดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน ดังนี้ [10]

1. ระบุสถานการณ์ปัญหาที่ต้องการพัฒนา
2. รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง
3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Science + Math + Technology)
4. วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Engineering)
5. ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุง (Engineering)
6. นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือผลพัฒนานวัตกรรม

2. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กำหนดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมไว้ 7 ขั้นตอน ดังนี้ (สุธีระ ประเสริฐสรรพ์, 2559) [9] [14-17]

1. Identify the problem, need, or preference (บอกปัญหาความต้องการ)
2. Information gathering to develop possible solution (ตรวจสอบความเป็นไปได้)
3. Selection of the best possible solution (สิ่งทั้งหลายต้องมีดีที่สุด)

4. Design and making (ผุดเป็นแบบเพื่อสร้าง)
5. Testing to see if it works (ตรวจตามอ้างใช้ได้ไหม)
6. Modifications and improvement (ปรับแก้ไขทำให้ดี)
7. Assessment (ประเมินผล)

เพื่อให้เหมาะสมและเข้าใจง่ายกับประยุกต์ใช้กับการศึกษาระดับขั้นพื้นฐาน จึงเสนอกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม หรือ การออกแบบตามหลักวิศวกรรม ตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นที่ 1. วิเคราะห์สถานการณ์ปัญหา ความต้องการ และเงื่อนไข

แนวปฏิบัติ ; หาคำตอบสิ่งต่อไปนี้ให้มากสุด เท่าที่จะทำได้

- ปัญหาคืออะไร สิ่งที่ ต้องการ/ต้องทำ/หรือสิ่งที่แก้ไข คืออะไร
- มีข้อกำจัดและเงื่อนไขที่ส่งผลต่อการดำเนินการหรือไม่ ถ้ามี...อะไรบ้าง

ขั้นที่ 2. รวบรวมข้อมูลต่างๆ

แนวปฏิบัติ ; หาคำตอบสิ่งต่อไปนี้ให้มากสุด เท่าที่จะทำได้

- ปัญหานั้นเกิดจากอะไร
- วิธีแก้ปัญหาเดียวกัน ที่มีผู้ทำมาก่อนแล้ว มีหรือไม่...ถ้ามี....ทำอย่างไร
- ความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และศาสตร์ด้านอื่นๆ ที่อธิบายเหตุการณ์นั้น มีอย่างไรหรืออธิบายอย่างไร ....

ขั้นที่ 3. วิเคราะห์ และออกแบบวิธีแก้ปัญหา

แนวปฏิบัติ ; ใช้ทักษะการคิดหรือเทคนิคต่างๆ เพื่อหาคำตอบสิ่งต่อไปนี้

- วิเคราะห์ปัจจัยหรือสิ่งที่ส่งผลต่อการแก้ปัญหาให้ครบคลุมมากสุด
- หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเหล่านั้น เพื่อดูว่าปัจจัยต่างๆ ส่งผลกระทบต่อกันหรือไม่ และส่งผลอย่างไร ...ปัจจัยใดเป็นปัจจัยต้นเหตุหรือปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบมากต่อปัจจัยอื่นๆ
- วิเคราะห์วิธีการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้...ว่ามีกี่วิธี แต่ละวิธีทำอย่างไร มีจุดเด่นและจุดด้อยอย่างไร
- เลือกวิธีการแก้ปัญหาใดวิธีหนึ่ง ที่ดีที่สุด
- ดำเนินการออกแบบ ตรวจสอบ ปรับปรุงให้ดีที่สุด

ขั้นที่ 4. วางแผนการทำงาน

แนวปฏิบัติ ; นำวิธีการแก้ปัญหาที่ออกแบบ มาวิเคราะห์ต่อไปนี้

- แบ่งวิธีการแก้ปัญหา ออกเป็นขั้นตอนการทำงานย่อยๆ
- แต่ละขั้นตอน มีรายละเอียดการปฏิบัติทำอะไร
- จัดลำดับการทำงาน ...ขั้นตอนใดต้องทำก่อน..ทำหลัง
- ใช้เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ ผู้เชี่ยวชาญ อะไรบ้าง..หาที่ได้ไหน
- กำหนดผู้รับผิดชอบ ตามความถนัด/ความเหมาะสม
- กำหนดระยะเวลาทำงานแต่ละขั้นตอน และระยะเวลารวม
- อื่นๆ เช่น งบประมาณที่ต้องใช้ ปัญหาอุปสรรค์ที่อาจพบ

ขั้นที่ 5. ลงมือแก้ปัญหา และปรับปรุงผลงาน ให้ดีที่สุด

แนวปฏิบัติ ; - ดำเนินการแก้ปัญหาตามแผนการทำงานที่กำหนดไว้
- ตรวจสอบผลดำเนินการ พร้อมเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- นำข้อมูลมาวิเคราะห์ หาวิธีการปรับปรุง
- ปรับปรุงวิธีแก้ปัญหา
- ดำเนินการวนซ้ำ จนได้ผลงานสุดท้าย (วิธีแก้ปัญหา) ที่ดีที่สุด

ขั้นที่ 6. ประเมินผลและสรุปเป็นความรู้

แนวปฏิบัติ ; นำความรู้และประสบการณ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาเรื่องนี้/ครั้งนี้ มาสังเคราะห์เป็นวิธีปฏิบัติหรือแนวปฏิบัติ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลสำหรับการดำเนินการแก้ปัญหา ที่เป็นกรณีคล้ายกัน ในครั้งต่อไป

1.4.4 การศึกษาบทเรียน (Lesson Study)

การศึกษาบทเรียน เป็นแนวคิดในการพัฒนาวิชาชีพครู เริ่มต้นที่ประเทศญี่ปุ่นมาตั้งแต่ปี 1900 (Nakatome 1984 อ้างถึงใน Femandez และ Yoshida, 2004) เป็นการพบปะกันของกลุ่มครูเพื่อออกแบบ ทดสอบ ตรวจสอบ และพัฒนาบทเรียน หรืองานเกี่ยวกับการเรียนการสอนร่วมกัน เป็นกิจกรรมที่นิยมมากในประเทศญี่ปุ่นโดยเฉพาะระดับประถมศึกษา คาดว่ามีครูประถมศึกษาญี่ปุ่นร้อยละ 99 และครูมัธยมร้อยละ 50 ร่วมกันในกลุ่มศึกษาผ่านบทเรียน โดยจะเฉลี่ยพบปะกันประมาณ 2-5 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ในช่วงเลิกเรียน นอกเวลางาน หรือการประชุม (Isoda, 2005) จึงเป็นกิจกรรมที่มีบทบาทมากต่อการพัฒนาหลักสูตร แบบเรียน และสื่อการสอน ของประเทศญี่ปุ่นมาก ปัจจุบันแนวคิดนี้ได้แพร่หลายในหลายรูปแบบในหลายประเทศ เช่น มาเลเซีย ฮ่องกง อินโดนีเซีย ออสเตรเลีย สิงคโปร์ และแพร่หลายมากในประเทศสหรัฐอเมริกา หลายประเทศใช้แนวคิดการศึกษาผ่านบทเรียนพัฒนาวิชาชีพครู เพื่อช่วยเหลือครูทั้งครูใหม่และครูเก่าให้สามารถจัดการเรียนการสอนได้อย่างมีคุณภาพ และมีความเข้าใจในการเรียนรู้ของนักเรียนได้ดียิ่งขึ้น [10-11] [20-22]

ขั้นตอนการศึกษาบทเรียน มีดังนี้ [10-11] [20-22]

1. กำหนดปัญหา
2. วางแผนบทเรียน
3. สอนจริงในชั้นเรียนและสังเกตการสอน
4. ประเมินผลบทเรียนและสะท้อนผล
5. ปรับปรุงแก้ไขบทเรียน
6. นำบทเรียนที่ปรับปรุงสอนจริงในชั้นเรียน พร้อมสังเกตการณ์สอน
7. ประเมินและสะท้อนผลอีกครั้ง
8. แลกเปลี่ยนเรียนรู้และขยายผลการศึกษา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education (จัดทำเป็นคู่มือครูการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์) โดยเป็นรูปแบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้ทันทีกับสถาบันอุดมศึกษาต่างๆ ผ้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาสามารถออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้ด้วยตนเอง และสามารถปรับปรุงกิจกรรมสะเต็มศึกษาของตนเองให้เหมาะสมกับวันเวลาและบริบทอื่นๆ ที่เปลี่ยนแปลง

2. ได้กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่เหมาะสมกับศักยภาพการเรียนรู้ของผู้เรียน และเหมาะสมกับบริบทของสถาบันอุดมศึกษาแต่ละแห่ง ส่งผลให้การเรียนการสอนแต่มีประสิทธิภาพ ประการสำคัญผู้สอนสามารถเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอนสะเต็มศึกษาจากวัสดุได้อย่างเหมาะสม โดยอาจหาในท้องถิ่น หาได้ง่าย ราคาประหยัด ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายของสถาบัน จึงสามารถจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้ต่อเนื่อง สอดคล้องปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

3. ผู้เรียนของสถาบันอุดมศึกษาต่างๆ ที่นำกิจกรรมสะเต็มศึกษาไปร่วมจัดการเรียนการสอนจะมีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงด้านต่างๆ ต่อไปนี้

3.1 มีทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ วิชาคณิตศาสตร์ และวิชาเทคโนโลยี ดีขึ้นกว่าเดิม เพราะเห็นความสำคัญ เห็นประโยชน์ และเห็นคุณค่า ของวิชาเหล่านี้อย่างแท้จริง ส่งผลให้มีพฤติกรรมความสนใจเรียนวิชาเหล่านี้ในชั้นเรียนมากขึ้นกว่าเดิม

3.2 มีการพัฒนาทักษะคิดด้านต่างๆ โดยเฉพาะ การคิดสร้างสรรค์ การคิดวิจารณญาณ การคิดวิเคราะห์ การคิดเชิงระบบ และการคิดเชิงเหตุผล เป็นต้น

4. ได้แนวทางหรือข้อมูลที่จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ต่อการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาวิชาอื่นๆ เช่น เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

5. ในระยะยาวจะเกิดทำให้เศรษฐกิจของประเทศพัฒนามากขึ้น เพราะเมื่อผู้เรียนอุดมศึกษาเข้าใจความเชื่อมโยงและเห็นประโยชน์ของศาสตร์ทั้ง 4 สาขา ย่อมนำไปสู่ความคิดสร้างสรรค์ใหม่และนวัตกรรมใหม่ ซึ่งจะต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ สร้างรายได้ให้แก่ประเทศอย่างมากในอนาคต รองรับการพัฒนาประเทศเข้าสู่ไทยแลนด์ 4.0

(2)
เนื้อเรื่อง (Main Body)

2.1 วิธีดำเนินการวิจัย (Materials & Method)

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การพัฒนาเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นที่ 2 ศึกษาแนวทางการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา

ขั้นที่ 3 ออกแบบ รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education (คู่มือครู การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษา)

ขั้นที่ 4 นำรูปแบบไปให้ครูฟิสิกส์ทดลองใช้และปรับปรุง

ขั้นที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

รายละเอียดการดำเนินการของแต่ละระยะ มีดังนี้

ขั้นที่ 1 การพัฒนาเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ จะใช้เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณ 5 รายการ คือ

1. แบบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียน

เป็นแบบทดสอบ 1 ฉบับต่อกิจกรรม/บทเรียน แต่ละฉบับจะทดสอบเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่นำมาบูรณาการกัน เพื่ออธิบายสถานการณ์ปัญหา แต่เนื่องจากกิจกรรมสะเต็มศึกษาของผู้สอนแต่ละคนต่างกัน จึงให้ผู้สอนแต่ละคนสร้างแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์การเรียนด้วยตนเอง โดยแบบทดสอบจะเป็นลักษณะใด และมีประสิทธิภาพเพียงใด ขึ้นกับผู้สอนแต่ละท่าน

เมื่อตรวจสอบวิธีสร้างแบบทดสอลผลสัมฤทธิ์การเรียนของผู้สอนแต่ละคน พบว่า มีขั้นตอนคล้ายกัน คือ ศึกษาเนื้อหา กำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้ ร่างแบบทดสอบหรือแบบวัด นำไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาตรวจสอบความสอดคล้อง (Consistency) ของคำถามกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ เพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Consistency ; IOC) จากนั้นคัดเลือก นำไปทดลองใช้ หาความเชื่อมั่น (Reliability) และปรับปรุงอีกครั้ง

2. แบบสอบถามทัศนคติของผู้เรียนต่อวิชาฟิสิกส์ และ แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียนต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา

ขั้นตอนการพัฒนาทั้ง 2 แบบสอบถาม เหมือนกัน ดังต่อไปนี้

1. กำหนดวัตถุประสงค์ กำหนดประเด็นหลัก แจกแจงประเด็นหลักเป็นประเด็นย่อยๆ กำหนดจำนวนข้อของแต่ละประเด็นหลักและแต่ละประเด็นย่อยๆ ให้มีสัดส่วนที่เหมาะสม กำหนดรูปแบบของคำถามเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check) แบบประมาณค่า 5 ระดับ (5 Rating Scale)

2. ร่างแบบสอบถาม และตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างคำถามแต่ละข้อ กับวัตถุประสงค์ของแบบสอบถาม และจัดทำส่วนต่างๆ ของแบบสอบถาม

3. นำแบบสอบถามไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ตรวจสอบหาค่าความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยพิจารณาความสอดคล้องของข้อคำถามกับจุดประสงค์ เกณฑ์คะแนนมีดังนี้

+ 1 มีความเห็นว่า ข้อคำถามนั้นสอดคล้องกับจุดประสงค์
0 มีความเห็นว่า ไม่แน่ใจว่าข้อคำถามนั้น สอดคล้องกับจุดประสงค์
- 1 มีความเห็นว่า ข้อคำถามนั้นไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์

บันทึกผลการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิในแต่ละข้อ แล้วนำไปหาดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยใช้สูตรดังนี้ (ไชยยศ เรืองสุวรรณ, 2533, หน้า 138)

$$IOC = \frac{\Sigma R}{N}$$

เมื่อ IOC = ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามแต่ละข้อกับจุดประสงค์
$\sum R$ = ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ
N = จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

โดยปรับปรุงและคัดเลือกคำถามที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.6 ขึ้นไป

4. นำแบบสอบถามทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ไปทดลองใช้กับนิสิตนักศึกษา ที่ผ่านการเรียนวิชาฟิสิกส์มาแล้วรวม 35 คน วิเคราะห์ความเชื่อถือ (Reliability) ได้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา(Coefficient Alpla) ตามวิธีการครอนบาคทั้งฉบับเท่ากับ 0.91 โดยสอบถามทัศนคติ 3 ด้าน คือ ด้านที่ 1 ความคิดเห็นและความรู้สึกต่อวิชาฟิสิกส์ มีค่าความเชื่อมั่น 0.77 ด้านที่ 2 พฤติกรรมการเรียนฟิสิกส์มีค่าความเชื่อมั่น 0.98 และด้านที่ 3 พฤติกรรมอื่นๆที่เปลี่ยนแปลง มีค่าความเชื่อมั่น 0.89 ตามลำดับ (ผนวก 1)

สำหรับเกณฑ์ประเมิน มีต่อไปนี้

1.00 – 1.49	ระดับทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	ต่ำมาก/น้อยมาก
1.50 –2.49	ระดับทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ๆ	ต่ำ/น้อย
2.50 – 3.49	ระดับทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	ปานกลาง
3.50 – 4.49	ระดับทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	ดี/มาก
4.50 – 5.00	ระดับทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	ดีมาก

สำหรับแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียนต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา ได้นำไปทดลองกับนักเรียนมัธยมปลายที่ผ่านการเรียนกิจกรรมสะเต็มศึกษาของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สสวท.) จำนวนมากกว่า 32 คน เมื่อนำมาวิเคราะห์ พบว่ามีค่าความเชื่อมั่น 0.88 (ผนวก 2)

สำหรับเกณฑ์ประเมิน มีต่อไปนี้

1.00 – 1.49	ระดับความพึงพอใจ	ต่ำมาก/น้อยมาก
1.50 –2.49	ระดับความพึงพอใจ	ต่ำ/น้อย
2.50 – 3.49	ระดับความพึงพอใจ	ปานกลาง
3.50 – 4.49	ระดับความพึงพอใจ	สูง/มาก
4.50 – 5.00	ระดับความพึงพอใจ	สูงมาก

ขั้นที่ 2 ศึกษา แนวทางการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา

รายละเอียดมีดังนี้

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับการเรียนการสอนสะเต็มศึกษา โดยเน้นสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ รวมทั้งวิชาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

2. จัดสนทนากลุ่ม(Focus group) ผู้เรียน (นิสิตนักศึกษา) จำนวน 3 ครั้ง/สถาบัน ครั้งละจำนวน 9-11 คน เพื่อหาข้อมูลสภาพปัญหาต่างๆ ของการเรียนการสอนสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ณ มหาวิทยาลัยบูรพาวิทยาเขตจันทบุรี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จันทบุรี

3. สัมภาษณ์ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการเรียนการสอนฟิสิกส์ วิศวกร และด้านสะเต็มศึกษา 7 ท่าน

จากนั้น ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลด้วยเทคนิค “สามเส้า(Data Triangulation)” แล้วนำไปวิเคราะห์และสรุป เพื่อนำไปใช้ประกอบการออกแบบ รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education

ขั้นที่ 3 ออกแบบ รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education ดังนี้

1. ออกแบบ (ร่าง)รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education

2. จัดประชุมกลุ่มสนทนา (Focus Group) ผู้ทรงคุณวุฒิ ประกอบด้วยผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา นักวิชาการ วิศวกร และผู้เชี่ยวชาญสะเต็มศึกษา รวม 11 คน เพื่อวิพากษ์และปรับปรุงรูปแบบฯ ให้มีความสมบูรณ์และถูกต้องมากขึ้น

3. ปรับปรุงรูปแบบฯ พร้อมทั้งจัดทำ “คู่มือการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์”

ขั้นที่ 4 นำรูปแบบฯ ไปให้ครูฟิสิกส์ทดลองใช้

4.1 ทดลองให้ผู้สอนออกแบบ

ประชาสัมพันธ์รับสมัครผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาที่สนใจ ได้จำนวน 5 คน เข้าร่วมทดลองใช้รูปแบบฯ ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา จากนั้นนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาของแต่ละคนที่ออกแบบมาวิเคราะห์และประเมินคุณภาพว่า (ผนวก 4) แต่ละกิจกรรมมีคุณภาพเพียงใด สอดคล้องกับแนวคิดสะเต็มศึกษาเพียงใด มีข้อบกพร่องเพียงใด เพื่อนำไปเป็นข้อมูลปรับปรุงรูปแบบฯ

4.2 ทดลองสอนกับผู้เรียนในชั้นเรียน

เพื่อตรวจสอบว่า เมื่อนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ออกแบบนั้น ไปทดลองใช้(สอน)จริงกับผู้เรียนจะเกิดผลกับผู้เรียนอย่างไรบ้าง เพื่อนำข้อมูลไปเป็นแนวทางการปรับปรุงรูปแบบฯ ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง มีลำดับดังต่อไปนี้

- ทดสอบผลสัมฤทธิ์ (เนื้อหา) ก่อนเรียน (Pre - test)
- สอบถามทัศนคติของนักเรียนต่อวิชาฟิสิกส์ ก่อนเรียน (Pre - test)
- จัดกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาตามที่ออกแบบ
- ทดสอบผลสัมฤทธิ์ (เนื้อหา) หลังเรียน (Post test)
- สอบถามทัศนคติของนักเรียนต่อวิชาฟิสิกส์ หลังเรียน (Post- test)
- สอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา

จากนั้น ประเมินผลโดยเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน เปรียบเทียบทัศนคติของผู้เรียนต่อวิชาฟิสิกส์ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน และประเมินความพึงพอใจ

จากนั้นให้ผู้สอนฟิสิกส์ทั้ง 3 คน ประชุมร่วมกัน เพื่อใช้กระบวนการศึกษาบทเรียน(Lesson Study) วิเคราะห์และปรับปรุงกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาแต่ละเรื่องให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ขณะเดียวกันผู้วิจัยจะรวบรวมข้อมูล/วิเคราะห์ และนำไปปรับปรุงรูปแบบฯ ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

หมายเหตุ เนื่องจากสถาบันอุดมศึกษาอื่นๆ ไม่สะดวกให้ทดลอง จึงนำทุกกิจกรรมมาทดลองกับนิสิตของมหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี ทดลองระหว่างปีการศึกษา 2558-2559 ดังนี้

กลุ่มนิสิตสาขาออกแบบอัญมณี ชั้นปี 1 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 19 คน (ไม่มีการวัดประเมินผล)
กลุ่มที่ 1 นิสิตสาขาเทคโนโลยีการเกษตร ปีการศึกษา 2558 จำนวน 17 คน
กลุ่มที่ 2 นิสิตสาขาเทคโนโลยีทางทะเล ปีการศึกษา 2558 จำนวน 47 คน
กลุ่มที่ 3 นิสิตสาขาเทคโนโลยีทางทะเล ปีการศึกษา 2558 จำนวน 45 คน
กลุ่มที่ 4 นิสิตสาขาเทคโนโลยีทางทะเล ปีการศึกษา 2558 จำนวน 49 คน
กลุ่มที่ 5 นิสิตสาขาเทคโนโลยีทางทะเล ปีการศึกษา 2559 จำนวน 42 คน
กลุ่มที่ 6 นิสิตสาขาเทคโนโลยีทางทะเล ปีการศึกษา 2559 จำนวน 39 คน
กลุ่มที่ 7 นิสิตสาขาเทคโนโลยีทางทะเล ปีการศึกษา 2559 จำนวน 37 คน

ขั้นที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผล

1. นำข้อมูลเชิงปริมาณมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบตามหลักสถิติ เพื่อดูผลความแตกต่าง ดังนี้

1.1 ใช้สถิติ Paired samples T-Test หรือ Paired Two Sample for Means เปรียบเทียบก่อนและหลังเรียนด้านผลสัมฤทธิ์การเรียน และทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์

1.2 ใช้สถิติค่าเฉลี่ย (Mean; $\overline{X}$) และเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation; *sd.*) กับข้อมูลจากแบบสอบถามความพึงพอใจ เพื่อประเมินและวิเคราะห์ระดับพึงพอใจ

2. นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ เพื่อสรุปว่า

2.1 รูปแบบฯ ที่พัฒนา มีประสิทธิภาพเพียงใด ผู้สอนฟิสิกส์สามารถใช้เป็นเครื่องมือพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาได้หรือไม่ เพียงใด

2.2 กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่พัฒนาได้จากรูปแบบฯ มีคุณภาพเพียงใด และสอดคล้องกับแนวคิดและวัตถุประสงค์ของสะเต็มศึกษาเพียงใด ทำให้ผู้เรียนเห็นความสำคัญ ประโยชน์ คุณค่าของวิชาฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี มากขึ้นหรือไม่

2.2 ผลการวิจัย (Results)

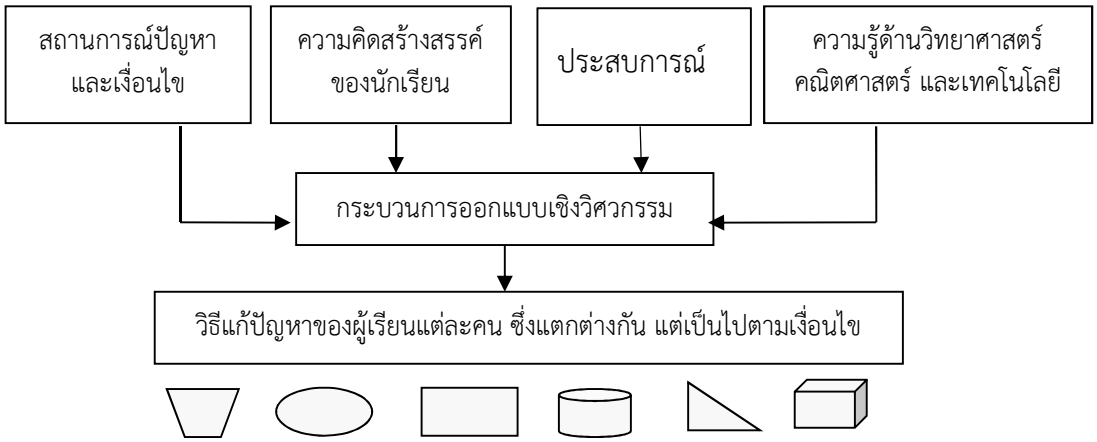
2.2.1 แนวทางจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่เหมาะกับบริบทการเรียนการสอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาของประเทศไทย มี 2 ลักษณะ คือ

1. กิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะอิงปัญหา

มีลักษณะเป็นการกำหนดสถานการณ์ปัญหาพร้อมด้วยเงื่อนไขหรือข้อจำกัด ที่ให้ผู้เรียนต้องนำความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ประสบการณ์ และความคิดสร้างสรรค์ มาผสมผสานกันโดยใช้กระบวนออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อออกแบบ(หาแนวทาง)วิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ดังภาพที่ 2-1 ข้อดีของกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะนี้ คือ ผู้สอนนำไปใช้สอนผู้เรียนได้หลายกลุ่ม และเมื่อสอนหลายครั้งผู้สอนจะเกิดความชำนาญ ลดภาระการเตรียมอุปกรณ์และเตรียมการสอน ซึ่งกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะนี้สอดคล้องกับแนวทางการเรียนการสอนแบบอิงปัญหา(Problem based learning ; PBL) แต่อาจมีข้อด้อยคือ ผู้เรียนอาจไม่สนใจหรือถนัดในสถานการณ์ปัญหาที่ครูให้

ภาพที่ 2-1 แนวคิดสะเต็มศึกษาลักษณะอิงปัญหา



กิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะอิงปัญหานี้ เหมาะกับบริบทการเรียนการสอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาของประเทศไทยมากที่สุด ด้วยเหตุผลต่อไปนี้

1. เพราะมีผู้เรียนแต่ละครั้งหรือแต่ละกลุ่มเรียนเป็นจำนวนมาก ยากที่ผู้สอนจะดูแลได้ทุกคน อีกทั้งผู้เรียนส่วนใหญ่จะเป็นชั้นปีที่ 1-2 ซึ่งมีตารางเรียนวิชาต่างๆ เกือบทุกวันและเกือบทั้งวัน เวลาในการค้นคว้าศึกษาเพิ่มเติมจึงมีจำกัด

2. เนื่องจากผู้เรียนเป็นนิสิตนักศึกษาจากหลากหลายสาขา หลายคณะ และหลายชั้นนปี ดังนั้นผู้เรียนแต่ละกลุ่มจึงมีความแตกต่างมากในเรื่องต่างๆ เช่น ศักยภาพการเรียนฟิสิกส์พื้นฐาน ทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ พื้นฐานความรู้เดิม และทักษะที่เกี่ยวข้อง เช่น ทักษะการคำนวณ เป็นต้น

2. กิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะโครงงาน

ข้อดีของกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะโครงงาน คือ ผู้เรียนจะมีความสนใจเพราะทำโครงงานในเรื่องที่ตนเองเลือก แต่ผู้สอนอาจต้องทำงานมาก เพราะต้องดูแลให้คำแนะนำเรื่องที่ผู้เรียนเลือกทำโครงงานซึ่งต่างกันหลายเรื่อง และอาจมีค่าใช้จ่ายมาก ซึ่งเมื่อสอนไปนานๆ อาจทำให้ผู้สอนท้อถอย

จากการวิจัยครั้งนี้สรุปได้ว่า รูปแบบการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะโครงงาน (project based learning : PjBL) มีลักษณะที่สำคัญ ดังนี้

1. เรื่องหรือสถานการณ์ปัญหาที่ผู้เรียนเลือกทำ ต้องเป็นปัญหาที่ผู้เรียนไม่สามารถทำสำเร็จได้ด้วยการเลียนแบบจากแหล่งต่างๆ หรือการลองผิดถูก เช่น เลียนแบบจากของที่มีอยู่เดิม หรือ เลียนแบบจากอินเทอร์เน็ต หรือเลียนแบบจากหนังสือ เป็นต้น เพราะผู้เรียนจะไม่สนใจและเห็นความสำคัญของวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ซึ่งไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ของสะเต็มศึกษา

2. เป็นสิ่งที่ผู้เรียนต้องนำความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี มาผสมผสานกันเพื่อใช้วิเคราะห์และแก้ปัญหา มิฉะนั้นจะไม่สำเร็จ หรือสำเร็จแต่ไม่ดีเพียงพอ

3. จะต้องไม่ง่ายหรือยากเกินไป ไม่ใช้เวลามากเกินไป และไม่ควรใช้งบประมาณใช้จ่ายมากเกินไป เพราะอาจจะเกิดปัญหาในระหว่างจัดกิจกรรมการเรียนการสอนตามมา

4. กระบวนการหรือขั้นตอนการทำโครงงานสะเต็มศึกษา จะต้องยึดตามขั้นตอนของกระบวนออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยจะมีกี่ขั้นตอนก็ได้ ตามแต่ผู้สอนเห็นสมควร (เนื่องจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีหลายแบบ) ดังตัวอย่าง 7 ขั้นตอน ดังนี้ [14-17]

ขั้นที่ 1 วิเคราะห์ปัญหาหรือความต้องการ พร้อมเงื่อนไขหรือข้อจำกัด
ขั้นที่ 2. รวบรวมข้อมูลและความรู้ที่ต้องใช้อธิบายสถานการณ์ปัญหา
ขั้นที่ 3. วิเคราะห์วิธีการแก้ปัญหาวิธีต่างๆ ที่เป็นไปได้ แล้วเลือกวิธีการที่ดีที่สุด
ขั้นที่ 4 ออกแบบ และสร้างต้นแบบ
ขั้นที่ 5. ทดสอบการทำงานต้นแบบ และปรับปรุง
ขั้นที่ 6. สร้างจริง
ขั้นที่ 7. ประเมินผลงาน สรุปเป็นองค์ความรู้เพื่อนำไปใช้ในครั้งต่อไป

สะเต็มศึกษาลักษณะโครงงานนี้ ไม่เหมาะกับบริบทการเรียนการสอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา เพราะต้องใช้เวลาการทำโครงงานมาก ใช้งบประมาณ ประกอบกับผู้เรียนมีความแตกต่างกันในหลายๆ ด้าน เช่น ศักยภาพการเรียนฟิสิกส์ ทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ พื้นฐานความรู้เดิม ประสบการณ์การทำโครงงานมาก่อน และประสบการณ์การดำเนินชีวิต เป็นต้น จึงอาจก่อให้เกิดปัญหาในระหว่างการดำเนินการโครงงานสะเต็มศึกษา

2.2.2 รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education

ดังที่กล่าวมาแต่ต้นว่า รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education หรือ รูปแบบการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาของการวิจัยครั้งนี้ จะเป็นลักษณะอิงปัญหา เพราะเหมาะสมกับบริบทการเรียนการสอนของฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษามากสุด รูปแบบฯ มีขั้นตอนการปฏิบัติของผู้ออกแบบ (ผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา) ทั้งหมด 8 ขั้นตอน คือ

(หน้าถัดไป)

ขั้นที่ 1 ศึกษาทำความเข้าใจสะเต็มศึกษา
ขั้นที่ 2 ศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
ขั้นที่ 3 ศึกษาความแตกต่างระหว่างกิจกรรมสะเต็มศึกษา กับ กิจกรรมเรียนรู้อื่นๆ
ขั้นที่ 4 ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบอิงปัญหา ตามขั้นตอนต่อไปนี้
4.1 กำหนดสถานการณ์ปัญหา พร้อมเงื่อนไขหรือข้อจำกัด
4.2 กำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้
4.3 กำหนดความรู้ใช้อธิบายสถานการณ์ปัญหา
4.4 ทดลองวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการแก้ปัญหา
4.5 ทดลองเขียนแผนผังความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่างปัจจัย
4.6 ทดลองวิเคราะห์วิธีแก้ปัญหาวิธีต่างๆ ที่เป็นไปได้
4.7 ทดลองวิเคราะห์เลือกวิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุด
ขั้นที่ 5 ออกแบบวิธีวัดประเมิน
ขั้นที่ 6 ทดลองแก้ปัญหา (ทดลองออกแบบชิ้นงาน) และทดลองประเมิน
ขั้นที่ 7 นำข้อมูลทั้งหมดจากข้อ 4-6 มาเขียนแผนจัดการเรียนรู้
ขั้นที่ 8 นำไปทดลองใช้สอน และปรับปรุง วนรอบซ้ำ

รายละเอียดรูปแบบฯ อยู่ในภาคผนวก 3 คู่มือการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์

2.2.3 ผลการประเมินคุณภาพกิจกรรมสะเต็มศึกษา

ผลจากการให้ผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา รวม 5 คน ทดลองใช้รูปแบบฯ ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษะอิงปัญหา ได้กิจกรรมสะเต็มศึกษาระดับอุดมศึกษาทั้งหมด 7 เรื่อง

เรื่องที่ 1 กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างเรือ (ผนวก 5)
เรื่องที่ 2 กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างจรวดขวดน้ำ (ผนวก 6)
เรื่องที่ 3 กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องยิงลูกหิน
เรื่องที่ 4 กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างร่ม
เรื่องที่ 5 กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องชั่ง(ผนวก 7)
เรื่องที่ 6 กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างบันจี่จัมป์(ผนวก 8)
เรื่องที่ 7 กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องร่อน

ซึ่งเมื่อนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาเหล่านี้ไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพ พบว่ากิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ออกแบบส่วนใหญ่มีผลประเมินระดับ “ปานกลาง” (มีบางกิจกรรมระดับ “ดี”) และจะมีคุณภาพมากขึ้นถ้าขณะออกแบบมีผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรให้คำแนะนำ หรือผู้สอนมีประสบการณ์เกี่ยวกับสิ่งประดิษฐ์มาก่อน นอกจากนี้ผู้ทรงคุณวุฒิยังมีความเห็นว่า กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ออกแบบมีคุณภาพและสอดคล้องกับแนวคิดและวัตถุประสงค์ของสะเต็มศึกษา

2.2.4 ผลที่เกิดกับผู้เรียน

1. กรณีทดลองกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 1

ทดลองกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างเรือ ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ใช้ได้ทั้งระดับมัธยมปลายถึงระดับอุดมศึกษา ทดลองกับนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีการเกษตร ชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยบูรพาวิทยาเขตจันทบุรี ปีการศึกษา 2558 จำนวน 17 คน ผลการทดลองมีดังนี้

1.1 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

ผลเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 2-1 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Wilcoxon Matched-pairs Signed rank test แบบจับคู่ พบว่าค่า Wilcxon Prob เท่ากับ .000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าการจัดกิจกรรม สะเต็มศึกษาครั้งนี้ ทำให้ผู้เรียนมีความสามารถในการบูรณาการความรู้วิชาวิทยาศาสตร์และวิชาคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายสถานการณ์ปัญหาได้ดีขึ้น กว่าเดิม

ตารางที่ 2-1 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 1

คะแนน (10 คะแนน)	จำนวน นักเรียน	Mean ($\overline{X}$)	SD.	Wilcoxon Value	Wilcoxon Prob
ก่อนเรียน	17	3.82	0.728	3.714	.000*
หลังเรียน	17	7.17	0.64		

* ที่ระดับนัยสำคัญ .05

1.2 ผลเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

ผลเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 2-2 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Wilcoxon Matched-pairs Signed rank test แบบจับคู่ พบว่าค่า Wilcxon Prob เท่ากับ .000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าการจัดกิจกรรม สะเต็มศึกษาครั้งนี้ ทำให้ผู้เรียนมีทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ดีขึ้น

ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 1

คะแนน (10 คะแนน)	จำนวน นักเรียน	Mean(ระดับ) ($\overline{X}$)	SD.	Wilcoxon Value	Wilcoxon Prob
ก่อนเรียน	17	2.76(ปานกลาง)	.436	3.729	.000*
หลังเรียน	17	4.29 (มาก)	.470		

* ที่ระดับนัยสำคัญ .05

1.3 ผลสอบถามความพึงพอใจต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 1

ตารางที่ 2-3 ความพึงพอใจของผู้เรียนต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องที่ 1

ข้อ	ประเด็นสอบถาม	$\overline{X}$	SD.	ระดับ
1	พัฒนาการคิดสร้างสรรค์	3.44	0.35	มาก
2	พัฒนาการคิดวิเคราะห์	3.76	0.33	มาก
3	พัฒนาทักษะ ในศตวรรษที่ 21	3..95	0.34	มาก
4	เรียนรู้การวางแผนการทำอย่างเป็นระบบ คำนึงปัจจัยรอบด้าน	3.78	0.18	มาก
5	ทำให้เรียนรู้ฝึกฝนการทำงานร่วมกันเป็นทีม	3.69	0.69	มาก
6	บรรยากาศการเรียนสนุกสาน ไม่เครียด	4.67	0.93	มากสุด
7	เห็นประโยชน์และความสำคัญของการเรียนวิชาฟิสิกส์	3.91	0.47	มาก
8	ได้เรียนรู้ และมีประสบการณ์ “การออกแบบเชิงวิศวกรรม”	3.66	0.37	มาก
9	เห็นความสำคัญการเรียนวิทยาศาสตร์ คณิต เทคโนโลยี เพิ่มขึ้น	3.89	0.82	มาก
10	อยากเรียนในลักษณะเช่นนี้ แต่เรื่องแตกต่างกันไป	3.67	0.16	มาก
	รวม	3.42	0.46	ปานกลาง

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 2-3 พบว่าผู้เรียนพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ โดยรวมในระดับ “มาก” ($\overline{X}$ =3.42 ; $SD.$ =0.46) โดยข้อที่มีพึงพอใจสูงสุดเรียงลำดับ คือ ข้อ 6 บรรยากาศการเรียนสนุกสนานไม่เครียด ข้อ 3 พัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 และข้อ 7 เห็นประโยชน์และความสำคัญของการเรียนวิชาฟิสิกส์ ตามลำดับ

2. กรณีทดลองกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 2

ทดลองกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างจรวดขวดน้ำ ทดลองกับนักศึกษาคณะเทคโนโลยีทางทะเล ชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี ปีการศึกษา 2558 จำนวน 47 คน ผลการทดลองมีดังนี้

2.1 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

ผลเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 2-4 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Paired samples T-Test หรือ Paired Two Sample for Means พบว่าผลสัมฤทธิ์การเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ ทำให้ผู้เรียนมีความสามารถในการบูรณาการความรู้วิชาฟิสิกส์และวิชาคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายสถานการณ์ปัญหาได้ดีขึ้นหรือสูงขึ้น

ตารางที่ 2-4 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน สะเต็มศึกษาเรื่องที่ 2

ผลสัมฤทธิ์ (10 คะแนน)	n	Mean	SD.	t	P-value
ก่อนเรียน	47	3.26	1.15	21.63	.000*
หลังเรียน	47	6.51	0.80		

* ที่ระดับนัยสำคัญ .05

2.2 ผลเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

ผลเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 2-5 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Paired samples T-Test หรือ Paired Two Sample for Means พบว่าทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ของผู้เรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ ทำให้ผู้เรียนมีทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ดีขึ้นหรือสูงขึ้น กว่าเดิม

ตารางที่ 2-5 เปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ สะเต็มศึกษาเรื่องที่ 2

ทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	n	Mean (ระดับ)	SD.	t	P-value
ก่อนเรียน	47	3.91 (มาก)	0.61	7.59	.000
หลังเรียน	47	4.51(มาก)	0.50		

* ที่ระดับนัยสำคัญ .05

2.3 ผลสอบถามความพึงพอใจต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องที่ 2

ตารางที่ 2-6 ความพึงพอใจของผู้เรียนต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องที่ 2

ข้อ	ประเด็นสอบถาม	$\overline{X}$	SD.	ระดับ
1	พัฒนาการคิดสร้างสรรค์	4.11	0.43	มาก
2	พัฒนาการคิดวิเคราะห์	4.13	0.28	มาก
3	พัฒนาทักษะ ในศตวรรษที่ 21	3.92	0.56	มาก
4	เรียนรู้การวางแผนการทำอย่างเป็นระบบ คำนึงปัจจัยรอบด้าน	3.69	0.76	มาก
5	ทำให้เรียนรู้ฝึกฝนการทำงานร่วมกันเป็นทีม	3.71	0.46	มาก
6	บรรยากาศการเรียนสนุกสาน ไม่เครียด	4.67	0.56	มากสุด
7	เห็นประโยชน์และความสำคัญของการเรียนวิชาฟิสิกส์	4.57	0.37	มากสุด
8	ได้เรียนรู้ และมีประสบการณ์ “การออกแบบเชิงวิศวกรรม”	3.74	0.26	มาก
9	เห็นความสำคัญการเรียนวิทยาศาสตร์ คณิต เทคโนโลยี เพิ่มขึ้น	3.77	0.45	มาก
10	อยากเรียนในลักษณะเช่นนี้ แต่เรื่องแตกต่างกันไป	4.43	0.76	มาก
	รวม	4.07	0.48	มาก

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 2-6 พบว่าผู้เรียนพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ โดยรวมในระดับ “มาก” ($\overline{X}$ =4.07 ; $SD.$ =.489) โดยข้อที่มีพึงพอใจสูงสุดเรียงลำดับ คือ ข้อ 6 บรรยากาศการเรียนสนุกสาน ไม่เครียด ข้อ 7 เห็นประโยชน์และความสำคัญของการเรียนวิชาฟิสิกส์ และข้อ 10 อยากเรียนในลักษณะเช่นนี้ แต่เรื่องแตกต่างกันไป ตามลำดับ

3. กรณีทดลองกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 3

ทดลองกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างร่ม(Parachute) ซึ่งทดลองกับนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีทางทะเล ชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 45 คน ผลการทดลองมีดังนี้

3.1 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

ผลเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 2-7 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Paired samples T-Test หรือ Paired Two Sample for Means พบว่าผลสัมฤทธิ์การเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ ทำให้ผู้เรียนมีความสามารถในการบูรณาการความรู้วิชาฟิสิกส์และวิชาคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายสถานการณ์ปัญหาได้ดีขึ้นหรือสูงขึ้น

ตารางที่ 2-7 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน สะเต็มศึกษาเรื่องที่ 3

ผลสัมฤทธิ์ (10 คะแนน)	n	Mean	SD.	t	df	P-value
ก่อนเรียน	45	3.53	0.830	40.71	44	.000*
หลังเรียน	45	7.67	0.67			

* ที่ระดับนัยสำคัญ .05

3.2 ผลเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

ผลเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 2-8 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Paired samples T-Test หรือ Paired Two Sample for Means พบว่าทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ของผู้เรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ ทำให้ผู้เรียนมีทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ดีขึ้นหรือสูงขึ้น กว่าเดิม

ตารางที่ 2-8 เปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ สะเต็มศึกษาเรื่องที่ 3

ทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	n	Mean (ระดับ)	SD.	t	df	P-value
ก่อนเรียน	45	3.80 (มาก)	0.54	9.32	44	.000
หลังเรียน	45	4.58 (มาก)	0.49			

* ที่ระดับนัยสำคัญ .05

3.3 ผลสอบถามความพึงพอใจต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา

ตารางที่ 2-9 ความพึงพอใจของผู้เรียนต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องที่ 3

ข้อ	ประเด็นสอบถาม	$\overline{X}$	SD.	ระดับ
1	พัฒนาการคิดสร้างสรรค์	3.87	0.13	มาก
2	พัฒนาการคิดวิเคราะห์	3.88	0.45	มาก
3	พัฒนาทักษะ ในศตวรรษที่ 21	3.78	0.32	มาก
4	เรียนรู้การวางแผนการทำอย่างเป็นระบบ คำนึงปัจจัยรอบด้าน	3.76	0.67	มาก
5	ทำให้เรียนรู้ฝึกฝนการทำงานร่วมกันเป็นทีม	3.68	0.56	มาก
6	บรรยากาศการเรียนสนุกสาน ไม่เครียด	4.46	0.55	มาก
7	เห็นประโยชน์และความสำคัญของการเรียนวิชาฟิสิกส์	4.14	0.67	มาก
8	ได้เรียนรู้ และมีประสบการณ์ “การออกแบบเชิงวิศวกรรม”	3.95	0.48	มาก
9	เห็นความสำคัญการเรียนวิทยาศาสตร์ คณิต เทคโนโลยี เพิ่มขึ้น	3.84	0.67	มาก
10	อยากเรียนในลักษณะเช่นนี้ แต่เรื่องแตกต่างกันไป	4.32	0.56	มาก
	รวม	3.96	0.50	มาก

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 2-9 พบว่าผู้เรียนพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ โดยรวมในระดับ “มาก” ($\overline{X}$ =3.96 ; $SD.$ =0.50) โดยข้อที่มีพึงพอใจสูงสุดเรียงลำดับ คือ ข้อ 6 บรรยากาศการเรียนสนุกสาน ไม่เครียด ข้อ 10 อยากเรียนในลักษณะเช่นนี้ แต่เรื่องแตกต่างกันไป และข้อ 7 เห็นประโยชน์และความสำคัญของการเรียนวิชาฟิสิกส์ ตามลำดับ

4. กรณีทดลองกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 4

ทดลองกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างจรวดขวดน้ำ ซึ่งทดลองกับนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีทางทะเล ชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 49 คน ผลการทดลองมีดังนี้

4.1 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

(หน้าถัดไป)

ผลเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 2-10 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Paired samples T-Test หรือ Paired Two Sample for Means พบว่าผลสัมฤทธิ์การเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ ทำให้ผู้เรียนมีความสามารถในการบูรณาการความรู้วิชาฟิสิกส์และวิชาคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายสถานการณ์ปัญหาได้ดีขึ้นหรือสูงขึ้น

ตารางที่ 2-10 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน สะเต็มศึกษาเรื่องที่ 4

ผลสัมฤทธิ์ (10 คะแนน)	n	Mean	SD.	t	df	P-value
ก่อนเรียน	49	4.98	0.77	18.78	48	.000*
หลังเรียน	49	7.77	0.62			

* ที่ระดับนัยสำคัญ .05

4.2 ผลเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

แสดงในตารางที่ 2-11 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Paired samples T-Test หรือ Paired Two Sample for Means พบว่าทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ของผู้เรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ ทำให้ผู้เรียนมีทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ดีขึ้นหรือสูงขึ้น กว่าเดิม

ตารางที่ 2-11 เปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ สะเต็มศึกษาเรื่องที่ 4

ทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	n	Mean (ระดับ)	SD.	t	df	P-value
ก่อนเรียน	49	3.69 (มาก)	0.58	10.39	48	.000*
หลังเรียน	49	4.55 (มาก)	0.50			

* ที่ระดับนัยสำคัญ .05

4.3 ผลสอบถามความพึงพอใจต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา

(หน้าถัดไป)

ตารางที่ 2-12 ความพึงพอใจของผู้เรียนต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องที่ 4

ข้อ	ประเด็นสอบถาม	$\overline{X}$	SD.	ระดับ
1	พัฒนาการคิดสร้างสรรค์	4.12	0.33	มาก
2	พัฒนาการคิดวิเคราะห์	4.06	0.23	มาก
3	พัฒนาทักษะ ในศตวรรษที่ 21	3.90	0.56	มาก
4	เรียนรู้การวางแผนการทำอย่างเป็นระบบ คำนึงปัจจัยรอบด้าน	3.88	0.67	มาก
5	ทำให้เรียนรู้ฝึกฝนการทำงานร่วมกันเป็นทีม	3.78	0.87	มาก
6	บรรยากาศการเรียนสนุกสาน ไม่เครียด	4.21	0.98	มาก
7	เห็นประโยชน์และความสำคัญของการเรียนวิชาฟิสิกส์	4.02	0.68	มาก
8	ได้เรียนรู้ และมีประสบการณ์ “การออกแบบเชิงวิศวกรรม”	3.78	0.76	มาก
9	เห็นความสำคัญการเรียนวิทยาศาสตร์ คณิต เทคโนโลยี เพิ่มขึ้น	3.99	0.59	มาก
10	อยากเรียนในลักษณะเช่นนี้ แต่เรื่องแตกต่างกันไป	4.23	0.54	มาก
	รวม	3.99	0.62	มาก

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 2-12 พบว่านักเรียนพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ โดยรวมในระดับ “มาก” ($\overline{X}$ =3.99; $SD.$ =0.62) โดยข้อที่มีพึงพอใจสูงสุด 3 ลำดับ คือ ข้อ 10 อยากเรียนในลักษณะเช่นนี้ เรื่องต่างกันไป ข้อ 6 บรรยากาศการเรียนสนุกสาน ไม่เครียด และข้อ 1 พัฒนาการคิดสร้างสรรค์ ตามลำดับ

5. กรณีทดลองกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 5

ทดลองกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องชั่ง ซึ่งทดลองกับนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีทางทะเล ชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 42 คน ผลการทดลองเป็นดังนี้

5.1 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

ผลเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 2-13 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Paired samples T-Test หรือ Paired Two Sample for Means พบว่าผลสัมฤทธิ์การเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ ทำให้ผู้เรียนมีความสามารถในการบูรณาการความรู้วิชาฟิสิกส์และวิชาคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายสถานการณ์ปัญหาได้ดีขึ้นหรือสูงขึ้น

ตารางที่ 2-13 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน สะเต็มศึกษาเรื่องที่ 5

ผลสัมฤทธิ์ (10 คะแนน)	n	Mean	SD.	t	df	P-value
ก่อนเรียน	42	3.79	1.33	20.81	41	.000*
หลังเรียน	42	7.64	0.79			

* ที่ระดับนัยสำคัญ .05

5.2 ผลเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

แสดงในตารางที่ 2-14 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Paired samples T-Test หรือ Paired Two Sample for Means พบว่าทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ของผู้เรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ ทำให้ผู้เรียนมีทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ดีขึ้นหรือสูงขึ้น กว่าเดิม

ตารางที่ 2-14 เปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ สะเต็มศึกษาเรื่องที่ 5

ทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	n	Mean (ระดับ)	SD.	t	df	P-value
ก่อนเรียน	42	3.83 (มาก)	0.53	8.36	41	.000*
หลังเรียน	42	4.54 (มาก)	0.50			

* ที่ระดับนัยสำคัญ .05

5.3 ผลสอบถามความพึงพอใจต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา

ตารางที่ 2-15 ความพึงพอใจของผู้เรียนต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องที่ 5

ข้อ	ประเด็นสอบถาม	$\overline{X}$	SD.	ระดับ
1	พัฒนาการคิดสร้างสรรค์	4.32	0.45	มาก
2	พัฒนาการคิดวิเคราะห์	4.11	0.85	มาก
3	พัฒนาทักษะ ในศตวรรษที่ 21	3.97	0.67	มาก
4	เรียนรู้การวางแผนการทำอย่างเป็นระบบ คำนึงปัจจัยรอบด้าน	3.65	0.95	มาก
5	ทำให้เรียนรู้ฝึกฝนการทำงานร่วมกันเป็นทีม	3.75	0.34	มาก
6	บรรยากาศการเรียนสนุกสาน ไม่เครียด	4.33	0.94	มาก
7	เห็นประโยชน์และความสำคัญของการเรียนวิชาฟิสิกส์	4.35	0.78	มาก
8	ได้เรียนรู้ และมีประสบการณ์ “การออกแบบเชิงวิศวกรรม”	3.79	0.87	มาก
9	เห็นความสำคัญการเรียนวิทยาศาสตร์ คณิต เทคโนโลยี เพิ่มขึ้น	3.77	0.99	มาก
10	อยากเรียนในลักษณะเช่นนี้ แต่เรื่องแตกต่างกันไป	4.22	0.88	มาก
	รวม	4.01	0.69	มาก

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 2-15 พบว่าผู้เรียนพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ โดยรวมในระดับ “มาก” ($\overline{X}$ =4.01; $SD.$ =0.69) โดยข้อที่มีพึงพอใจสูงสุดเรียงลำดับ คือ ข้อ 7 เห็นประโยชน์และความสำคัญของการเรียนวิชาฟิสิกส์ ข้อ 6 บรรยากาศการเรียนสนุกสาน ไม่เครียด และข้อ 1 พัฒนาการคิดสร้างสรรค์ ตามลำดับ

6. กรณีทดลองกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 6

ทดลองกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างบันจี่จัมป์ ซึ่งทดลองกับนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีทางทะเล ปีการศึกษา 2559 จำนวน 39 คน ผลการทดลองมีดังนี้

6.1 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 2-16 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Paired samples T-Test หรือ Paired Two Sample for Means พบว่าผลสัมฤทธิ์การเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ ทำให้ผู้เรียนมีความสามารถในการบูรณาการความรู้วิชาฟิสิกส์และวิชาคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายสถานการณ์ปัญหาได้ดีขึ้นหรือสูงขึ้น

ตารางที่ 2-16 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน สะเต็มศึกษาเรื่องที่ 6

ผลสัมฤทธิ์ (10 คะแนน)	n	Mean	SD.	t	df	P-value
ก่อนเรียน	39	3.26	1.14	26.03	38	.000*
หลังเรียน	39	6.64	.89			

* ที่ระดับนัยสำคัญ .05

6.2 ผลเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

ผลเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 2-17 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Paired samples T-Test หรือ Paired Two Sample for Means พบว่าทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ของผู้เรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ ทำให้ผู้เรียนมีทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ดีขึ้นหรือสูงขึ้น กว่าเดิม

ตารางที่ 2-17เปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ สะเต็มศึกษาเรื่องที่ 7

ทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	n	Mean (ระดับ)	SD.	t	df	P-value
ก่อนเรียน	39	3.39 (มาก)	0.48	7.01	38	.000*
หลังเรียน	39	4.48 (มาก)	0.50			

* ที่ระดับนัยสำคัญ .05

6.3 ผลสอบถามความพึงพอใจต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา

ตารางที่ 2-18 ความพึงพอใจของผู้เรียนต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องที่ 6

ข้อ	ประเด็นสอบถาม	$\overline{X}$	SD.	ระดับ
1	พัฒนาการคิดสร้างสรรค์	4.43	0.88	มาก
2	พัฒนาการคิดวิเคราะห์	3.74	0.79	มาก
3	พัฒนาทักษะ ในศตวรรษที่ 21	3.66	0.98	มาก
4	เรียนรู้การวางแผนการทำอย่างเป็นระบบ คำนึงปัจจัยรอบด้าน	3.87	0.87	มาก
5	ทำให้เรียนรู้ฝึกฝนการทำงานร่วมกันเป็นทีม	3.77	0.78	มาก
6	บรรยากาศการเรียนสนุกสาน ไม่เครียด	4.32	0.98	มาก
7	เห็นประโยชน์และความสำคัญของการเรียนวิชาฟิสิกส์	3.99	0.98	มาก
8	ได้เรียนรู้ และมีประสบการณ์ “การออกแบบเชิงวิศวกรรม”	3.87	0.88	มาก
9	เห็นความสำคัญการเรียนวิทยาศาสตร์ คณิต เทคโนโลยี เพิ่มขึ้น	3.78	0.77	มาก
10	อยากเรียนในลักษณะเช่นนี้ แต่เรื่องแตกต่างกันไป	4.16	0.85	มาก
	รวม	3.65	0.34	มาก

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 2-19 พบว่าผู้เรียนพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ โดยรวมในระดับ “มาก” ($\overline{X}$ =3.65 ; $SD.$ =0.34) โดยข้อที่มีพึงพอใจสูงสุด เรียงลำดับ คือ ข้อ 1 พัฒนาการคิดสร้างสรรค์ ข้อ 6 บรรยากาศการเรียนสนุกสาน ไม่เครียด และข้อ 10 อยากเรียนในลักษณะเช่นนี้ แต่เรื่องแตกต่างกันไป ตามลำดับ

7. กรณีทดลองกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องที่ 7

ทดลองกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องร่อน ซึ่งกับนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีทางทะเล ชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 37 คนผลการทดลองมีดังนี้

7.1 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

ผลเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 2-19 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Paired samples T-Test หรือ Paired Two Sample for Means พบว่าผลสัมฤทธิ์การเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ ทำให้ผู้เรียนมีความสามารถในการบูรณาการความรู้วิชาฟิสิกส์และวิชาคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายสถานการณ์ปัญหาได้ดีขึ้นหรือสูงขึ้น

ตารางที่ 2-19 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน สะเต็มศึกษาเรื่องที่ 7

ผลสัมฤทธิ์ (10 คะแนน)	n	Mean	SD.	t	df	P-value
ก่อนเรียน	37	3.27	1.26	16.94	36	.000*
หลังเรียน	37	6.51	0.80			

* ที่ระดับนัยสำคัญ .05

7.2 ผลเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 2-20 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Paired samples T-Test หรือ Paired Two Sample for Means พบว่าทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ของผู้เรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ ทำให้ผู้เรียนมีทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ดีขึ้นหรือสูงขึ้น กว่าเดิม

ตารางที่ 2-20 เปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ สะเต็มศึกษาเรื่องที่ 7

ทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์	n	Mean (ระดับ)	SD.	t	df	P-value
ก่อนเรียน	37	3.86 (มาก)	0.67	8.66	36	.000*
หลังเรียน	37	4.54 (มาก)	0.50			

* ที่ระดับนัยสำคัญ .05

7.3 ผลสอบถามความพึงพอใจต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา

ตารางที่ 2-21 ความพึงพอใจของผู้เรียนต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องที่ 7

ข้อ	ประเด็นสอบถาม	$\overline{X}$	SD.	ระดับ
1	พัฒนาการคิดสร้างสรรค์	4.14	0.77	มาก
2	พัฒนาการคิดวิเคราะห์	4.23	0.87	มาก
3	พัฒนาทักษะ ในศตวรรษที่ 21	4.11	0.85	มาก
4	เรียนรู้การวางแผนการทำอย่างเป็นระบบ คำนึงปัจจัยรอบด้าน	3.89	0.76	มาก
5	ทำให้เรียนรู้ฝึกฝนการทำงานร่วมกันเป็นทีม	4.05	0.79	มาก
6	บรรยากาศการเรียนสนุกสาน ไม่เครียด	4.33	0.80	มาก
7	เห็นประโยชน์และความสำคัญของการเรียนวิชาฟิสิกส์	4.41	0.97	มาก
8	ได้เรียนรู้ และมีประสบการณ์ “การออกแบบเชิงวิศวกรรม”	3.89	0.87	มาก
9	เห็นความสำคัญการเรียนวิทยาศาสตร์ คณิต เทคโนโลยี เพิ่มขึ้น	3.87	0.98	มาก
10	อยากเรียนในลักษณะเช่นนี้ แต่เรื่องแตกต่างกันไป	4.42	0.88	มาก
	รวม	4.08	0.81	มาก

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 2-19 พบว่าผู้เรียนพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาครั้งนี้ โดยรวมในระดับ “มาก” ($\overline{X}$ =4.08; $SD.$ =0.81) โดยข้อที่มีพึงพอใจสูงสุดเรียงลำดับ คือ ข้อ 10 อยากเรียนในลักษณะเช่นนี้ เรื่องต่างกันไป ข้อ 6 บรรยากาศการเรียนสนุกสาน ไม่เครียด และข้อ 3 พัฒนาการคิดวิเคราะห์ ตามลำดับ

8. ผลการสังเกตพฤติกรรมผู้เรียน

1. เนื่องจากทั้ง 7 กิจกรรม ไม่เคยทดลองกลุ่มเล็กมาก่อน ดังนั้นในการทดลองจริงในชั้นเรียน จึงประสบปัญหาพอสมควร ยกเว้นกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง “การออกแบบและสร้างเรือ” ที่มีปัญหาน้อย เพราะนำไปใช้กับระดับมัธยมมาแล้ว (ในระดับอุดมศึกษามีเงื่อนไขสร้างเรือซับซ้อนมากขึ้น)

2. นิสิตนักศึกษาส่วนใหญ่ สนใจ สนุกสนานกับการเรียน มากกว่าการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์และการเรียนในชั้นเรียน (Lecture) โดยให้เหตุผลว่าได้คิดได้ลงมือทำจริง ตามความคิดสร้างสรรค์ของตนเอง แต่มีนิสิตนักศึกษาจำนวนน้อยที่ไม่สนใจ โดยให้เหตุผลว่าไม่ชอบคิดไม่ชอบทำ

3. มีหลายกิจกรรม มีประสบปัญหาการหาวัสดุอุปกรณ์ รวมถึงการสร้างจริง เช่น กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องเครื่องยิงลูกหิน (หลายนำแบบที่ออกแบบไปจ้างทำ)

4. สังเกตพบว่า กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่นิสิตนักศึกษา คุ้นเคย หรือเคยทำมาแล้ว หรือเคยทำมาแล้ว จะไม่มีปัญหามาก

5. ได้ข้อสรุปหนึ่งว่า ชิ้นงาน ควรเป็นสิ่งที่สร้างได้ง่าย และหาวัสดุอุปกรณ์ได้ง่าย

6. ปัญหาหนึ่งที่พบมาก คือ นิสิตนักศึกษามีความรู้พื้นฐานฟิสิกส์และคณิตศาสตร์น้อย(ต่ำ) รวมทั้งมีทักษะการสร้าง/การประดิษฐ์ น้อย และที่ชัดเจนคือ ทักษะการคิดต่ำ โดยเฉพาะการคิดวิเคราะห์ และการคิดเชิงระบบ

(3.)
อภิปรายผล(Discussion)

รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education ที่พัฒนาได้จากการวิจัยครั้งนี้ สามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ที่ต้องการสร้าง(พัฒนา)กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์เพื่อนำไปใช้กับผู้เรียนของตนเอง ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาได้หลายประการ ประการสำคัญคือทำให้ทัศนคติของผู้เรียนต่อวิชาฟิสิกส์ดีขึ้น มีความสามารถในการบูรณาการความรู้ฟิสิกส์และคณิตศาสตร์เพื่อนำไปใช้อธิบายสถานการณ์ปัญหาได้ดีขึ้น รวมทั้งพัฒนาทักษะการคิด เช่น การคิดวิจารณญาณ และ การคิดสร้างสรรค์ ให้สูงขึ้น ดังจะนำเสนอผลการอภิปราย ดังนี้

1. เมื่อวิเคราะห์ขั้นตอนการปฏิบัติของรูปแบบฯ แต่ละขั้นตอนเปรียบเทียบกับผลการวิจัยสะเต็มศึกษาที่มีผู้ทำไว้แล้ว พบว่า

การที่รูปแบบฯ มีขั้นตอนการปฏิบัติที่เรียงลำดับชัดเจน และมีวิธีการปฏิบัติแต่ละขั้นตอนที่ชัดเจน พร้อมยกตัวอย่าง แนะนำเทคนิคและสิ่งที่ควรระวังในขณะใช้ จึงทำให้ผู้สอนสะดวกใช้เป็นแนวทางออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ นุชนภา ราชนิยม และ ภาวิณี โสธายะเพ็ชร. (2558). ที่สรุปไว้ว่า ปัญหาหนึ่งที่ส่งผลต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษาของครูในโรงเรียนสังกัดกรุงเทพมหานคร ก็คือ ครูขาดความรู้ความเข้าใจในการออกแบบการเรียนการสอนสะเต็มศึกษา [4]

การที่รูปแบบฯ มีขั้นตอนให้ผู้ออกแบบหรือผู้สอน ศึกษาทำความเข้าใจกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (ขั้นที่ 2) สอดคล้องกับผลการวิจัยของ จำรัส อินทลาภาพร, มารุต พัฒผล, วิชัย วงษ์ใหญ่, และ ศรีสมร พุ่มสะอาด. (2558) ที่สรุปไว้ว่า แนวทางการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาแนวทางหนึ่ง ก็คือ การศึกษาสาระสำคัญของสาระวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ การงานอาชีพและเทคโนโลยี และกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมในลักษณะของการบูรณาการ [5]

การที่รูปแบบฯ มีขั้นตอนให้ผู้ออกแบบหรือผู้สอนต้องออกแบบวิธีการวัดและประเมินที่สะท้อนสภาพจริง วิธีการประเมินชัดเจนและท้าทายความสามารถ(ขั้นที่ 5) และมีขั้นตอนให้ผู้ออกแบบต้องทดลองแก้ปัญหาและทดลองประเมินก่อนนำไปสอนจริง(ขั้นที่ 6) และมีคำแนะนำให้จัดผู้เรียนเป็นกลุ่ม สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ จำรัส อินทลาภาพร, มารุต พัฒผล, วิชัย วงษ์ใหญ่, และ ศรีสมร พุ่มสะอาด. (2558) ที่สรุปไว้ว่า แนวทางการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษา ก็คือ ควรเน้นให้ผู้เรียนทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และให้ข้อมูลย้อนกลับแก่ผู้เรียน เพื่อตรวจสอบความรู้ความ เข้าใจของผู้เรียน และมีการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ตามสภาพจริง (Authentic Assessment) [5]

การที่ขั้นที่ 1 ของรูปแบบฯ ให้ผู้ออกแบบหรือผู้สอนต้องศึกษาความเป็นมาและความสำคัญของสะเต็มศึกษา ทำให้ครูมีความรู้ความเข้าใจวัตถุประสงค์ของสะเต็มศึกษาได้ชัดเจนและถูกต้อง ไม่นำกิจกรรมสะเต็มศึกษาไปใช้ในกรณีอื่นซึ่งอาจเกิดผลทางลบตามมา สอดคล้องกับผลการวิจัยของ นุชนภา ราชนิยม และ ภาวิณี โสธายะเพ็ชร. (2558). ที่สรุปไว้ว่า ปัญหาหนึ่งของการจัดการกิจกรรมสะเต็มศึกษาในโรงเรียนสังกัดกรุงเทพมหานคร คือ ครูขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสะเต็มศึกษา [4]

การที่รูปแบบฯ มีลักษณะอิงปัญหา (Problem based Learning) สอดคล้องกับงานวิจัยของ จำรัส อินทลาภาพร, มารุต พัฒผล, วิชัย วงษ์ใหญ่ และ ศรีสมร พุ่มสะอาด. (2558) ซึ่งสรุปผลการวิจัยไว้ว่า ควรจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่เน้นปัญหาเป็นฐาน และเน้นโครงงาน

การที่ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าทักษะการคิดของผู้เรียนสูงขึ้น เช่น ทักษะการคิดวิจารณญาณ ทักษะการคิดสร้างสรรค์ ฯลฯ สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิชชาวุธ อุ่นสิม และ กาญจนา จันทร์ประเสริฐ. (2560). ซึ่งสรุปไว้ว่าสะเต็มศึกษาช่วยพัฒนาทักษะการคิดวิจารณญาณของนักเรียนได้ [1] และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ดารารัตน์ ชัยพิลา และ สกนธ์ชัย ชะนูนันท์. (2016). ที่สรุปได้ว่า นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ระหว่างเรียนร้อยละ 88.35 ซึ่งอยู่ในระดับดี [2]

การที่ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า ผลสัมฤทธิ์การเรียนของผู้เรียนสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของพลศักดิ์ แสงพรมศรี. (2558). [2] และสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ พลศักดิ์ แสงพรมศรี. (2558). ซึ่งสรุปไว้ว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์การเรียน และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ สูงขึ้น [2]

การที่ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า ความสามารถการบูรณาการความรู้วิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เพื่อใช้อธิบายสถานการณ์ปัญหาได้ดีขึ้น สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ ดารารัตน์ ชัยพิลา และ สกนธ์ชัย ชะนูนันท์. (2016). ที่สรุปได้ว่า นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ระหว่างเรียนร้อยละ 88.35 ซึ่งอยู่ในระดับดี

2. การที่รูปแบบฯ มีแนวคิดหรือกรอบความคิดว่า ต้องการให้ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่เน้นการใช้วัสดุอุปกรณ์ท้องถิ่น จึงช่วยประหยัดหรือลดค่าใช้จ่ายจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์เพื่อใช้จัดกิจกรรมสะเต็มศึกษา สอดคล้องกับงานวิจัยของ นุชนภา ราชนิยม และ ภาวิณี โสธายะเพ็ชร. (2558). [4] ที่สรุปไว้ว่า ปัญหาหนึ่งของกิจกรรมสะเต็มศึกษา คือ ขาดงบประมาณสนับสนุน เพราะการที่ผู้ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาด้วยตนเอง ครูจึงสามารถเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ในท้องถิ่น หรือราคาไม่แพง หลีกเลี่ยงวัสดุอุปกรณ์สิ้นเปลือง หายาก หรือราคาสูง เพราะเมื่อวิเคราะห์จุดประสงค์ของสะเต็มศึกษาแล้วจะพบว่า ไม่จำเป็นต้องเป็นกิจกรรมที่ยาก ซับซ้อน ใช้วัสดุอุปกรณ์หรือเทคโนโลยีทันสมัย แต่อย่างไรก็ตาม หากผู้ออกแบบสามารถจัดหาวัสดุหรือจัดหาเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาให้นักเรียนได้เรียนรู้ฝึกฝนได้ ก็ควรจัดหา เพราะจะส่งผลดีต่อการพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียนได้ยิ่งขึ้น

3. การที่รูปแบบฯ ทำให้ได้กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่เหมาะสมกับศักยภาพการเรียนรู้ของผู้เรียน และเหมาะสมกับวิถีชีวิตของผู้เรียน เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความสำเร็จ ของการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เพราะกิจกรรมสะเต็มศึกษาบางกิจกรรมอาจเหมาะสำหรับผู้เรียนในชุมชนเมือง แต่ไม่เหมาะกับผู้เรียนในชนบท หรืออาจเหมาะกับผู้เรียนในชนบทแต่ไม่เหมาะสมกับผู้เรียนในชุมชนเมือง หรือแม้กระทั่งผู้เรียนในชนบทต่างภูมิภาคกัน หรือผู้เรียนในชุมชนเมืองต่างกัน ยังมีความแตกต่างกัน

4. การที่ผู้ออกแบบกิจกรรมสะเต็มด้วยตนเอง ทำให้มีความยืดหยุ่นต่อการปรับเปลี่ยนวิธีการเรียนการสอนให้เหมาะสมกับปัจจัยต่างๆ เช่น คาบเรียน หรือช่วงเวลาเรียน และหากเกิดปัญหากับการจัดกิจกรรมการเรียนสอนแต่ละครั้ง ผู้สอนสามารถดำเนินการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาได้ต่อเนื่อง ไม่ใช่จัดเพียงช่วงแรกและหยุดหายไปเมื่อประสบปัญหา เหมือนนวัตกรรมการเรียนการสอนที่ผ่านๆ มา เพราะผู้สอน

สามารถสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษาใหม่หรือปรับเปลี่ยนกิจกรรมสะเต็มศึกษาเดิม ได้ด้วยตนเอง จึงได้กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่เหมาะสมกับบริบทของผู้เรียนที่เปลี่ยนแปลงตามสภาพการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะเศรษฐกิจและสังคม ปัญหาด้านช่วงเวลาที่ใช้จัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาจึงไม่มี สอดคล้องกับงานวิจัยของ นุชนภา ราชนิยม และ ภาวิณี โสธายะเพ็ชร. (2558). ที่สรุปไว้ว่า ปัญหาของการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษา ก็คือ เวลาในการจัดการเรียนการสอนไม่เพียงพอ [4]

อย่างไรก็ตาม รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education ยังมีข้อบกพร่องอีกหลายประการที่ต้องแก้ไขและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น บางขั้นตอนยังยากต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ และผู้สอนที่ร่วมการวิจัยยังสับสนระหว่างขั้นตอนการออกแบบและขั้นตอนการนำไปจัดการเรียนการสอนจริง เป็นต้น ดังนั้นการปรับปรุงรูปแบบฯ ให้ศึกษาทำความเข้าใจได้ง่าย และใช้ง่าย จึงเป็นสิ่งที่ควรดำเนินการวิจัยต่อเนื่องจากการวิจัยครั้งนี้

นอกจากนี้ระหว่างการวิจัย ยังพบปัจจัย/ปัญหา ที่ส่งผลต่อการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษา ดังนี้

1. ผู้บริหารและผู้สอนระดับอุดมศึกษาจำนวนหนึ่ง มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสะเต็มศึกษาน้อย และมีหลายท่านเข้าใจว่าสะเต็มศึกษาเป็นกิจกรรมสำหรับการศึกษาขั้นพื้นฐาน ไม่เหมาะกับการเรียนการสอนระดับอุดมศึกษา

2. ความไม่เข้าใจในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Process Design) ที่ดีเพียงพอ สำหรับผู้สอนระดับอุดมศึกษาที่ไม่ใช่ผู้สอนด้านวิศวกรรม ซึ่งนับว่าเป็นอุปสรรคมากสำหรับการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาระดับอุดมศึกษา

3. สถาบันอุดมศึกษาหลายแห่ง ยังไม่มีนโยบายการนำสะเต็มศึกษาเข้าไปจัดการเรียนรู้ หรือบูรณาการกับการเรียนรู้ที่มีอยู่เดิม ทำให้ผู้สอนที่สนใจสะเต็มศึกษาไม่กล้าดำเนินการ และไม่ทราบว่าจะนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาไปแทรกไว้รายวิชาใด อย่างไร และใช้ช่วงเวลาใด

4. ผู้เรียนส่วนใหญ่คิดว่าสะเต็มศึกษาเป็นกิจกรรมระดับมัธยมศึกษา จึงไม่สนใจและเห็นความสำคัญ รวมทั้งแสดงความคิดเห็นในทางไม่เห็นด้วยที่ผู้สอนจะนำมาให้เรียนรู้

5. ด้าน Learning Style โดยมีผู้เรียนจำนวนหนึ่ง ไม่ชอบคิด ไม่ชอบปฏิบัติ แต่ชอบฟังบรรยาย

6. ปัญหาด้านทักษะการปฏิบัติของผู้เรียนบางคน ที่มีทักษะไม่มาก จึงพบผู้เรียนบางคนไปให้คนอื่นสร้างชิ้นงานให้

7. ผู้เรียนจำนวนหนึ่ง มีความเห็นว่าการที่ต้องสร้างชิ้นงานจริงด้วยตนเอง ทำให้เบียดบังเวลาการเรียนรู้วิชาอื่น

(4.)
สรุปผล(Conclusion)

ข้อสรุปการวิจัยเรื่อง รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education มีดังนี้

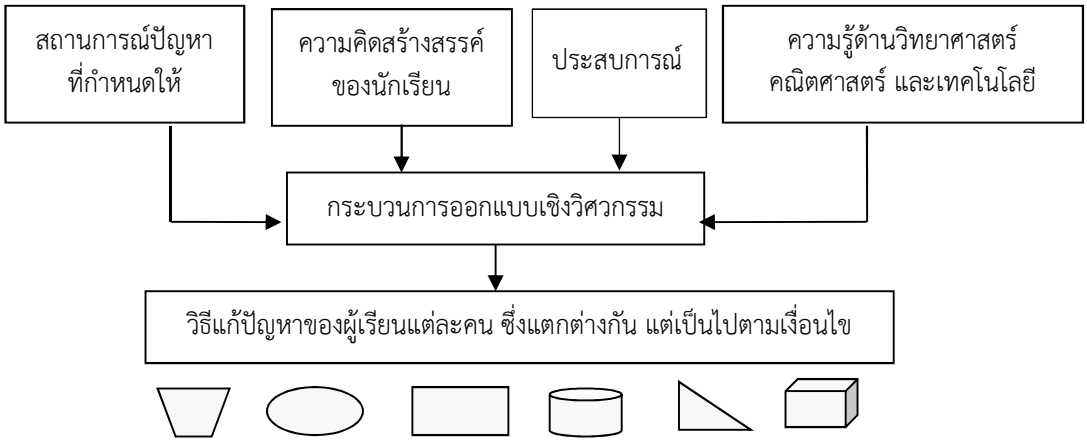
4.1 สรุปแนวทางจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่เหมาะกับบริบทการเรียนการสอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาของประเทศไทย มี 2 ลักษณะ คือ

1. กิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะอิงปัญหา

มีลักษณะเป็นการกำหนดสถานการณ์ปัญหาพร้อมด้วยเงื่อนไขหรือข้อจำกัด ที่ให้ผู้เรียนต้องนำความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ประสบการณ์ และความคิดสร้างสรรค์ มาผสมผสานกันโดยใช้กระบวนออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อออกแบบ(หาแนวทาง)วิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ดังภาพที่ 4-1 ข้อดีของกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะนี้คือ ผู้สอนนำไปใช้สอนผู้เรียนได้หลายกลุ่ม และเมื่อสอนหลายครั้งผู้สอนจะเกิดความชำนาญ ลดภาระการเตรียมอุปกรณ์และเตรียมการสอน ซึ่งกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะนี้สอดคล้องกับแนวการเรียนการสอนแบบอิงปัญหา(Problem based learning ; PBL)

ภาพที่ 4-1 แนวคิดสะเต็มศึกษาแบบอิงปัญหา



2. กิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะโครงงาน

รูปแบบการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะโครงงาน (project based learning : PjBL) มีวิธีการที่สำคัญ ดังนี้

1. เรื่องหรือสถานการณ์ปัญหาที่ให้ผู้เรียนเลือกทำโครงงานสะเต็มศึกษา ต้องเป็นปัญหาที่ผู้เรียนไม่สามารถทำสำเร็จได้ด้วยการเลียนแบบจากแหล่งต่างๆ หรือการลองผิดถูก เช่น เลียนแบบจากของที่มีอยู่เดิม หรือ เลียนแบบจากอินเทอร์เน็ต หรือเลียนแบบจาก เพราะผู้เรียนจะคิดว่าไม่มีความจำเป็นต้องนำความรู้วิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี เข้ามาช่วยแก้ปัญหา จึงไม่ก่อให้เกิดการเห็นความสำคัญ คุณค่าและประโยชน์ของวิชาเหล่านี้ ไม่บรรลุวัตถุประสงค์ของสะเต็มศึกษา

2. เป็นสิ่งที่ผู้เรียนต้องนำความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี มาผสมผสานกันเพื่อใช้ประกอบหรือช่วยวิเคราะห์และแก้ปัญหา มิฉะนั้นจะไม่สำเร็จ หรือสำเร็จแต่ไม่ดีเพียงพอ

3. จะต้องไม่ง่ายหรือยากเกินไป ไม่ใช้เวลามากเกินไป และไม่ควรใช้งบประมาณใช้จ่ายมากเกินไป เพราะอาจจะเกิดปัญหาด้านค่าใช้จ่ายในระหว่างจัดกิจกรรมการเรียนการสอนตามมา

4. กระบวนการทำโครงงานหรือขั้นตอนการทำโครงงาน ต้องเป็นไปตามขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยจะมีกี่ขั้นตอนก็ได้ ตามแต่ผู้สอนเห็นสมควร (เนื่องจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีหลายแบบ) ดังตัวอย่าง 7 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 วิเคราะห์ปัญหาหรือความต้องการ พร้อมเงื่อนไขหรือข้อจำกัด
ขั้นที่ 2. รวบรวมข้อมูลและความรู้ที่ต้องใช้ประกอบการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา
ขั้นที่ 3. วิเคราะห์วิธีการปัญหาวิธีต่างๆ ที่เป็นไปได้ แล้วเลือกวิธีการที่ดีที่สุด
ขั้นที่ 4 ออกแบบ และสร้างต้นแบบ
ขั้นที่ 5. ทดสอบการทำงานต้นแบบ
ขั้นที่ 6. ปรับปรุงแก้ไขต้นแบบให้ดีที่สุด แล้วนำไปสร้างจริง
ขั้นที่ 7. ประเมินผลผลงาน เพื่อนำไปใช้ในครั้งต่อไป

4.2 สรุป รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education ของการวิจัยครั้งนี้จะเป็นกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะอิงปัญหา เพราะเหมาะสมกับบริบทการเรียนการสอนของวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาของประเทศไทยมากสุด รูปแบบฯ มีขั้นตอนการปฏิบัติของผู้ออกแบบ(ผู้สอนฟิสิกส์) ทั้งหมด 8 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 ศึกษาทำความเข้าใจสะเต็มศึกษา
ขั้นที่ 2 ศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
ขั้นที่ 3 ศึกษาความแตกต่างระหว่างกิจกรรมสะเต็มศึกษา กับ กิจกรรมเรียนรู้อื่นๆ

ขั้นที่ 4 ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบอิงปัญหา ตามขั้นตอนต่อไปนี้

4.1 กำหนดสถานการณ์ปัญหา พร้อมเงื่อนไขหรือข้อจำกัด

4.2 กำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้

4.3 กำหนดความรู้ใช้อธิบายสถานการณ์ปัญหา

4.4 วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการแก้ปัญหา

4.5 เขียนแผนผังความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่างปัจจัย

4.6 วิเคราะห์วิธีแก้ปัญหาวิธีต่างๆ ที่เป็นไปได้

4.7 วิเคราะห์เลือกวิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

ขั้นที่ 5 ออกแบบวิธีวัดประเมิน

ขั้นที่ 6 ทดลองแก้ปัญหา (ทดลองออกแบบชิ้นงาน) และทดลองประเมิน

ขั้นที่ 7 นำข้อมูลทั้งหมดจากข้อ 4-6 มาเขียนแผนจัดการเรียนรู้

ขั้นที่ 8 นำไปทดลองใช้สอน และปรับปรุง วนรอบซ้ำ

รายละเอียดวิธีปฏิบัติแต่ละขั้นตอน อยู่ในภาคผนวก 4

4.3 สรุปผลการประเมินคุณภาพกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ออกแบบ

ผลจากการให้ผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา รวม 5 คน ทดลองใช้รูปแบบฯ ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษะอิงปัญหา ได้กิจกรรมสะเต็มศึกษาระดับมัธยมปลายทั้งหมด 7 เรื่อง ซึ่งเมื่อนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาเหล่านี้ไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพ ผลประเมินเกือบทุกทุกกิจกรรมอยู่ในระดับ “ปานกลาง” และบางกิจกรรมระดับ “ดี” และจะมีคุณภาพมากขึ้นถ้ามีวิศวกรให้คำแนะนำ หรือผู้สอนมีประสบการณ์เกี่ยวกับสิ่งประดิษฐ์มาก่อน นอกจากนี้ผู้ทรงคุณวุฒิยังมีความเห็นว่ามี กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ครูออกแบบเกือบทุกกิจกรรมมีคุณภาพและสอดคล้องกับแนวคิดและวัตถุประสงค์ของสะเต็มศึกษา

4.4 สรุปผลที่เกิดกับนักเรียน

ผลจากการนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ออกแบบ ทั้ง ๗ กิจกรรม ไปทดลองสอนจริงกับนิสิต รวม 7 กลุ่ม/ครั้ง พร้อมเปรียบเทียบด้านต่างๆ คือ ผลสัมฤทธิ์การเรียน (ความสามารถในการบูรณาการความรู้ฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เพื่อแก้ใช้แก้สถานการณ์ปัญหา) ทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ และความพึงพอใจต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา แสดงในตารางที่ 4-1 ตารางที่ 4-2 และตารางที่ 4-3 ตามลำดับ

(หน้าถัดไป)

ตารางที่ 4-1 สรุปเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียน ทั้ง 7 กลุ่ม

ครั้งที่	จำนวน	คะแนนเต็ม	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลสถิติ
1	17	10	$\overline{X}$=3.82	$\overline{X}$=7.17	Wilcoxon Value = 3.714 Wilcoxon Prob. = .000*
2	47	10	$\overline{X}$=3.26	$\overline{X}$=6.51	t= 21.63 ; P-Value=.000*
3	45	10	$\overline{X}$ =3.53	$\overline{X}$=7.67	t= 40.71 ; P-Value=.000*
4	49	10	$\overline{X}$ =4.98	$\overline{X}$=7.77	t= 18.78 ; P-Value=.000*
5	42	10	$\overline{X}$ =3.79	$\overline{X}$=7.64	t= 20.81 ; P-Value=.000*
6	39	10	$\overline{X}$ =3.26	$\overline{X}$=6.64	t= 20.03 ; P-Value=.000*
7	37	10	$\overline{X}$ =3.27	$\overline{X}$=6.51	t= 16.94 ; P-Value=.000*

* ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

ตารางที่ 4-2 สรุปเปรียบเทียบทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ ทั้ง 7 กลุ่ม

ครั้งที่	จำนวน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลสถิติ
1	17	$\overline{X}$=2.67 (ปานกลาง)	$\overline{X}$=4.29 (มาก)	Wilcoxon Value = 3.729 Wilcoxon Prob. = .000*
2	47	$\overline{X}$=3.91 (ปานกลาง)	$\overline{X}$=4.51 (มาก)	t= 7.59 ; P-Value=.000*
3	45	$\overline{X}$ =3.80 (มาก)	$\overline{X}$=4.58 (มาก)	t= 9.32 ; P-Value=.000*
4	49	$\overline{X}$ =3.69 (มาก)	$\overline{X}$=4.55 (มาก)	t= 10.39 ; P-Value=.000*
5	42	$\overline{X}$ =3.83 (มาก)	$\overline{X}$=4.52 (มาก)	t= 8.36 ; P-Value=.000*
6	39	$\overline{X}$ =3.39 (มาก)	$\overline{X}$=4.40 (มาก)	t= 7.01 ; P-Value=.000*
7	37	$\overline{X}$ =3.86 (มาก)	$\overline{X}$=4.54 (มาก)	t= 8.66 ; P-Value=.000*

* ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

ตารางที่ 4-4 สรุปความพึงพอใจต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา ทดลองกลุ่มเล็ก

ครั้งที่	จำนวน	เฉลี่ย ($\overline{X}$)	เบี่ยงเบน (*sd.*)	ระดับ
1	17	3.42	0.46	ปานกลาง
2	47	4.07	0.48	มาก
3	45	3.96	0.50	มาก
4	49	3.99	0.62	มาก
5	42	4.01	0.69	มาก
6	39	3.65	0.34	มาก
7	37	4.08	0.81	มาก

เมื่อวิเคราะห์ผลที่เกิดกับผู้เรียนที่ได้เรียนรู้กิจกรรมสะเต็มศึกษา จากการทดลองทั้งหมด 7 ครั้ง จะสรุปรวมได้ว่า รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษาด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education พัฒนาได้จากการวิจัยครั้งนี้ สามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับผู้สอนฟิสิกส์ฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ใช้พัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ที่เหมาะสมกับศักยภาพนักเรียน และบริบทการเรียนการสอนของสถานศึกษาของตัวผู้สอนเอง ซึ่งเมื่อนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่พัฒนาไปจัดการเรียนการสอนกับผู้เรียนของตัวผู้สอนเองแล้ว จะทำให้ความสามารถของผู้เรียนในการบูรณาการความรู้วิชาฟิสิกส์พื้นฐาน คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เพื่ออธิบายสถานการณ์ปัญหา (ผลสัมฤทธิ์การเรียน) และทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์ สูงขึ้นหรือดีกว่าเดิม รวมทั้งผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ผู้สอนพัฒนาในระดับมาก ตรงตามวัตถุประสงค์หรือแนวคิดของสะเต็มศึกษา

4.5 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยในครั้งต่อไป

1. ศึกษาพัฒนารูปแบบการพัฒนาผู้สอนระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education วิชาอื่นๆ เช่น วิชาเคมีพื้นฐาน วิชาชีววิทยาพื้นฐาน และวิชาคณิตศาสตร์ และตามบริบทของสถาบันอุดมศึกษาแต่ละแห่ง เช่น รูปแบบเฉพาะของมหาวิทยาลัยบูรพา เพราะแต่ละแห่งมีบริบทและเอกลักษณ์แตกต่างกัน

3. ศึกษาพัฒนารูปแบบการพัฒนาผู้สอนระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education ตามบริบทของกลุ่มสถาบันอุดมศึกษา ต่างๆ เช่น กลุ่มราชภัฏ กลุ่มราชมงคล และ กลุ่มเอกชน เป็นต้น

4. ศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process) ที่เหมาะสมกับบริบทการศึกษาระดับอุดมศึกษาของประเทศไทย ที่ไม่ใช่วิศวกรรมศาสตร์ เพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องนำไปประยุกต์ใช้

5. ศึกษาตัวบ่งชี้ลักษณะของกิจกรรมสะเต็มศึกษา ที่เหมาะสมกับบริบทการศึกษาระดับอุดมศึกษาสาขาอื่นๆ ที่ไม่ใช่สาขาวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องนำไปใช้ประกอบการพัฒนาสะเต็มศึกษา และใช้ตรวจสอบคุณภาพกิจกรรมสะเต็มศึกษา

6. ศึกษาพัฒนารูปแบบการพัฒนาผู้สอนระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education ในลักษณะโครงงาน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอนโครงงานชั้นปี 4 เฉพาะแต่ละสาขา เช่น รูปแบบพัฒนาโครงงานสะเต็มศึกษาสาขาฟิสิกส์ เป็นต้น

4.6 ประโยชน์ในทางประยุกต์ของผลการวิจัยที่ได้

สามารถนำไปเผยแพร่ให้หน่วยงานและผู้ที่ส่วนเกี่ยวข้อง นำไปประยุกต์ใช้พัฒนาผู้สอนฟิสิกส์ให้สามารถออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่เหมาะสมกับศักยภาพนักเรียน และบริบทการเรียนการสอนของโรงเรียนของตัวครู ซึ่งจะส่งผลต่อการพัฒนาคุณภาพการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ของประเทศไทย และส่งผลต่อเนื่องต่อการพัฒนานวัตกรรม ตามนโยบายไทยแลนด์ 4.0

(5.)
ผลผลิต (OUTPUT)

5.1 ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

(รอบการตอบรับ)

5.2 การจดสิทธิบัตร

-

5.3 ผลงานเชิงพาณิชย์

-

5.4 ผลงานเชิงสาธารณะ (เน้นประโยชน์ต่อสังคม ชุมชน ท้องถิ่น)

1. สถาบันอุดมศึกษาต่างๆ นำไปประยุกต์ใช้ได้ทันที
2. ใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิจัยด้านสะเต็มศึกษาของประเทศไทย
3. เมื่อสถาบันอุดมศึกษานำไปประยุกต์ใช้ จะส่งผลให้เกิดผลด้านต่างๆ ต่อไปนี้

3.1 ทำให้ทัศนคติของผู้เรียนต่อวิชาฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ดีขึ้น ส่งผลตามมาทำให้สนใจและตั้งใจเรียนมากขึ้น ทำให้ผลสัมฤทธิ์การเรียนสูงขึ้น

3.2 พัฒนาทักษะการคิดของผู้เรียน เช่น การคิดวิจารณญาณ การคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การคิดสังเคราะห์ การคิดเป็นระบบ และ การคิดเป็นเหตุผล ฯลฯ

3.3 พัฒนาคุณลักษณ์ด้านอื่นๆ ของผู้เรียน เช่น การทำงานเป็นทีม

รายงานการเงิน

เลขที่โครงการระบบบริหารงานวิจัย 2558A10802024 สัญญาเลขที่ 94/2558 โครงการวิจัย ประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อโครงการ รูปแบบการพัฒนาผู้สอนฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา ด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด STEM Education

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน ผศ. ดร. ฉลองชัย ธีวสุทรสกุล

รายงานในช่วงตั้งแต่ วันที่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2560

ระยะเวลาดำเนินการ 2 ปี 10 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2557

รายรับ

จำนวนเงินที่ได้รับ

งวดที่ 1 (50%)	261,250 บาท	เมื่อวันที่ - มีนาคม พ.ศ. 2558
งวดที่ 2 (40%)	209,000 บาท	เมื่อวันที่ - สิงหาคม พ.ศ. 2559
งวดที่ 3 (10%)	52,250 บาท	เมื่อวันที่ - กันยายน พ.ศ. 2560
รวม	522,500 บาท	

รายจ่าย

รายการ	งบประมาณที่ตั้งไว้	งบประมาณที่ใช้จริง	จำนวนเงินคงเหลือ(เกิน)
1. ค่าตอบแทน	90,000	90,000	-
2. ค่าจ้าง	-	-	-
3. ค่าวัสดุ	87,500	87,500	-
4. ค่าใช้สอย	345,000	345,000	-
5. ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
6. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	-	-	-
รวม	522,500	522,500	-

(.....)

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

บรรณานุกรม (Bibliography)

[1] วิชชาวุธ อุ่นสิม และ กาญจนา จันทร์ประเสริฐ. (2560). ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา รายวิชาฟิสิกส์ เรื่องไฟฟ้าสถิต ที่ส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, ครั้งที่ 4, วันที่ 10 มีนาคม 2560, 367-372.

[2] พลศักดิ์ แสงพรมศรี. (2558). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และเจคติต่อการเรียนวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษากับแบบปกติ. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีศึกษา, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

[3] ดารารัตน์ ชัยพิลา และ สกนธ์ชัย ชะนูนันท์. (2558). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงานตามแนวคิด STEM Education เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปฏิกิริยาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. วารสารศึกษาศาสตร์, ปีที่ 27, ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2559, 109-120.

[4] นุชนภา ราชนิยม และ ภาวิณี โสธายะเพ็ชร. (2558). การศึกษาสภาพปัญหาและความพร้อมของการจัดการเรียนการสอนรูปแบบสะเต็มศึกษาในระดับประถมศึกษา กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ (ค.ม.). ครุศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] จำรัส อินทลาภาพร มารุต พัฒผล วิชัย วงษ์ใหญ่ และ ศรีสมร พุ่มสะอาด. (2558). การศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาสำหรับผู้เรียนระดับประถมศึกษา. วารสารสาขามนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และศิลปะ. ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, เดือนมกราคม-เมษายน 2558. ISSN 1906-3431, 62-74.

[6] เกียรติศักดิ์ โคกลือชา และ ธรัช อารีราษฎร์. (2017). ผลการศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการสอนในรายวิชาไฟฟ้า โดยกระบวนการสะเต็มศึกษา. The 3rd National Conference on Technology and Innovation Management NCTIM 2017,2-3 March 2017. Rajabhat Maha Sarakham University; Maha Sarakam.

[7] สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ. (2524). พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 แก้ไขเพิ่มเติม(ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545. สืบค้นจาก http:// http://www.onec.go.th/index.php/book/BookView/10.

[8] ทิศนา แขมมณี. (2551). ศาสตร์การสอน : องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[9] สถาบันส่งเสริมการเรียนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (2557). ความรู้เบื้องต้นสะเต็มศึกษาช่วงชั้นที่ 1 – ช่วงชั้นที่ 4 (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

[10] กระทรวงศึกษาธิการ. (2559). การประชุมคณะกรรมการพัฒนาหลักสูตรการจัดการเรียนการสอนสะเต็มศึกษาในสถานศึกษา วันที่ 27 พฤษภาคม 2559. สืบค้นจาก http://www.moe.go.th/websm/2016/may/218.html; เข้าถึงเมื่อ 1 มกราคม 2560.

[11] นภาพร วรเนตรสุดาทิพย์. (2554). การศึกษาชั้นเรียน (Lesson Study) แนวคิดใหม่ในการพัฒนาวิชาชีพครู. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 : กรกฎาคม – กันยายน 2554, 86-9.

[12] นฤมล อินทร์ประสิทธิ์. (2552). การศึกษาชั้นเรียน (Lesson tudy): นวัตกรรมเพื่อพัฒนาครูและนักเรียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรดุษฎีบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552.

[13] Kanchit Malaivongs. (2005). Engineering design. สไลด์ประกอบบรรยาย. ออนไลน์ http://www.drkanchit.com/presentations/EngDesign01.pdf ; เข้าถึงเมื่อ 1 มกราคม พ.ศ. 2560.

[14] กฤลดา ชูสินคุณาวุฒิ. (2557). กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมคืออะไร. วารสาร สสวท. ปีที่ 42 ฉบับที่ 190 กันยายน-ตุลาคม 2557. ออนไลน์ http://physics.ipst.ac.th/wp-content/uploads/sites/2/2015/06/IPSTMag_EngineeringDesign.pdf ; เข้าถึงเมื่อ 1 มกราคม 2560.

[15] สุธีระ ประเสริฐสรรพ์. (2559). สะเต็มศึกษา: ปัญญาจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม : นำศิลป์โฆษณา จำกัด, 123 หน้า. ISBN 978-616-7739-91-5.

[16] สุธีระ ประเสริฐสรรพ์. (2558). สะเต็มศึกษา: ความท้าทายใหม่ของการศึกษาไทย : นำศิลป์โฆษณา จำกัด, 192 หน้า. ISBN 978-616-7739-80-9.

[17] นิศากร สมสุข, วรลักษณ์ จันทร์กระจ่าง และ สมบัติ ทีฆทรัพย์. (2550). การออกแบบทางวิศวกรรม. วารสารทันโลกวิทยาศาสตร์ ปีที่ 7 (2). ออนไลน์ http://sci.bsru.ac.th/sciweb/e- magazine/7-2/chapter-4.pdf ; เข้าถึงเมื่อ 1 มกราคม 2560.

[18] เผชิญ กิจระการ. (2546). ดัชนีประสิทธิผล. เอกสารประกอบการสอน. ภาควิชาเทคโนโลยีการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

[19] Breiner, J. M., C. J., Harkness, S. S. & Koehler. C.M. (2012). What is STEM? A discussion Conceptions of STEM in Education and Partnerships. School Science and Mathematics, 112(1), 3-11.

[20] Goodman, R. I., Fletcher, K. A., & Schneider, E. W. (1980). The effectiveness index as comparative measure in media product evaluation. Education technology, 20(9), 30-34.

[21] Akihiko, T. 2006. Implementing lesson study in North America schools, Paper presented *At the APEC International Symposium in Innovation and Good Practice for Teaching and Learning Mathematics through Lesson Study.* Khon-Kaen. Thailand. 13-17 June.

[22] Research for Better School. 2005. *Lesson study: Frequency asked questions* [Online]. Philadelphia: Research for Better School. Available from: www.rbs.org/lesson study. [2005, August 05].

[23] White, A. 2004. *The lesson study approach to implementing change.* Paper presented at SEAMEO-UNESCO Education Congress and EXPO Secretariat. Bangkok, Thailand.

ผนวก 1
แบบสอบถามทัศนคติต่อวิชาฟิสิกส์

คำแนะนำสำหรับผู้สอน

1. ให้ผู้เรียนตอบแบบสอบถามฉบับนี้ เมื่อสิ้นสุดการเรียนการสอนสะเต็มศึกษาแล้ว โดยอธิบายให้ผู้ตอบทราบว่าแตกต่างระหว่าง ก่อนเรียนสะเต็มศึกษา และ หลังเรียนสะเต็มศึกษา

2. ผู้สอนควรอธิบายแต่ละข้อและให้ผู้เรียนตอบทีละข้อๆ จนกระทั่งครบทุกข้อ เพราะจะช่วยผู้เรียนเข้าใจวิธีตอบ เข้าใจคำถามแต่ละข้อ รวมทั้งทำให้ผู้เรียนตั้งใจตอบ

3. วัตถุประสงค์หรือสิ่งที่ต้องการทราบ หรือคำตอบที่ต้องการได้จากแบบสอบถามฉบับนี้ คือ

3.1 กิจกรรมสะเต็มศึกษาทำให้ผู้เรียน ตระหนัก (เห็น) ความสำคัญ คุณค่า และประโยชน์ของวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และกระบวนการคิด มากกว่าเดิม หรือไม่

3.2 กิจกรรมสะเต็มศึกษาทำให้ผู้เรียน สนใจและตั้งใจเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ วิชาคณิตศาสตร์ วิชาเทคโนโลยี วิศวกรรม และกระบวนการคิด มากกว่าเดิม หรือไม่

3.3 กิจกรรมสะเต็มศึกษาทำให้ผู้เรียน ได้เรียนรู้หรือพัฒนาสิ่งต่างๆ ต่อไปนี้ หรือไม่

3.3.1 กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering process design)”

3.3.2 ประโยชน์ของการบูรณาการความรู้วิทยาสาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เข้าด้วยกัน

3.3.3 การพัฒนาทักษะการคิดที่สำคัญๆ โดยเฉพาะการคิดวิเคราะห์และการคิดสร้างสรรค์

ซึ่งผลจากการตอบแบบสอบถามทัศนคติครั้งนี้ จะนำไปการสรุปว่า กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องนี้ บรรลุวัตถุประสงค์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา หรือไม่ และเพียงใด

หมายเหตุ

หน้านี้เฉพาะผู้สอนหรือผู้ควบคุมการทดสอบ ไม่สำเนาให้ผู้เรียน

แบบสอบถามทัศนคติของผู้เรียนต่อวิชาฟิสิกส์

ข้อมูลทั่วไปของผู้ทดสอบ

1. วันที่(ทำแบบทดสอบ).....เดือน.....พศ. 255.....

2. ชื่อ สกุล ..... เลขประจำตัว.....เพศ ❑ ชาย ❑ หญิง อายุ.....ปี

3. กำลังศึกษาระดับ ❑ มัธยมต้น ❑ มัธยมปลาย ❑ ปริญญาตรี แผนการเรียน/สาขา .....ห้องเรียนที่/กลุ่มเรียนที่.....

4. ชื่อสถาบันที่ศึกษา .....ตำบล.....อำเภอ.....จังหวัด.....

ตอนที่ 1 เห็นความสำคัญ คุณค่า และประโยชน์ของวิชาฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และกระบวนการคิด

คำชี้แจง ให้พิจารณาคำถามแต่ละข้อต่อไปนี้ว่า ตรงกับความคิดเห็นของตัวท่าน ระดับใด แล้วทำเครื่องหมาย / หรือ X ลงในช่อง

5 = มากสุด 4= มาก 3 = ปานกลาง 2 = น้อย 1 = น้อยมาก

ข้อ	คำถาม	ก่อนเรียนสะเต็มศึกษา					หลังเรียนสะเต็มศึกษา				
		5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
1	ฟิสิกส์ มีความสำคัญต่อความเจริญก้าวหน้าของประเทศ เพียงใด										
2	คณิตศาสตร์ มีความสำคัญต่อความเจริญก้าวหน้าของประเทศ เพียงใด										
3	เทคโนโลยี มีความสำคัญต่อความเจริญก้าวหน้าของประเทศ เพียงใด										
4	วิศวกรรมศาสตร์ มีความสำคัญต่อความเจริญก้าวหน้าของประเทศ เพียงใด										
5	ถ้าคนมีทักษะคิดวิเคราะห์และสร้างสรรค์ จะส่งผลต่อการพัฒนานวัตกรรมของประเทศ เพียงใด										
6	ท่านคิดว่าอาชีพด้านสะเต็มศึกษา(นักวิทยาศาสตร์ นักคณิตศาสตร์ โปรแกรมเมอร์ วิศวกร แพทย์ สถาปนิก ฯลฯ) มีความสำคัญต่อความเจริญก้าวหน้าของประเทศ เพียงใด										
7	การเรียนวิชาฟิสิกส์ มีประโยชน์ต่อตัวท่านทั้งปัจจุบันและอนาคตเพียงใด										
8	การเรียนวิชาคณิตศาสตร์ มีประโยชน์ต่อตัวท่านทั้งปัจจุบันและอนาคตเพียงใด										
9	การเรียนวิชาด้านเทคโนโลยี เช่น คอมพิวเตอร์ สารสนเทศ ฯลฯ มีประโยชน์ต่อตัวท่านทั้งปัจจุบันและอนาคตเพียงใด										
10	การฝึกฝนทักษะการคิดวิเคราะห์และการคิดสร้างสรรค์ มีประโยชน์ต่อตัวท่านทั้งปัจจุบันและอนาคตเพียงใด										
11	โดยสรุป ท่านเห็นความสำคัญ คุณค่า และประโยชน์ ของ ฟิสิกส์/คณิต/เทคโน/วิศว/และทักษะการคิด เพียงใด										

ตอนที่ 2 ความสนใจ ตั้งใจ และพยายามเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และกระบวนการคิด

ข้อ	คำถาม	ก่อนเรียนสะเต็มศึกษา					หลังเรียนสะเต็มศึกษา				
		5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
1	ท่านให้ความสนใจและตั้งใจเรียนวิชาฟิสิกส์ในชั้นเรียน เพียงใด										
2	ท่านให้ความความสนใจและตั้งใจเรียนวิชาคณิตศาสตร์ในชั้นเรียน เพียงใด										
3	ท่านให้ความความสนใจและตั้งใจเรียนวิชาด้านเทคโนโลยีในชั้นเรียน เช่น คอมพิวเตอร์ สารสนเทศ ฯลฯ เพียงใด										
4	ท่านให้ความความสนใจและตั้งใจเรียนรู้ฝึกฝน ทักษะการคิดวิเคราะห์และการคิดสร้างสรรค์ ในชั้นเรียน เพียงใด										
5	ท่านสนใจศึกษาหาความรู้ด้านฟิสกส์ นอกเหนือจากการเรียนในห้องเรียน เพียงใด										
6	ท่านสนใจศึกษาหาความรู้ด้านคณิตศาสตร์ นอกเหนือจากการเรียนในห้องเรียน เพียงใด										
7	ท่านสนใจศึกษาหาความรู้ด้านเทคโนโลยี นอกเหนือจากการเรียนในห้องเรียน เพียงใด										
8	ท่านสนใจศึกษาหาความรู้ด้านวิศวกรรม นอกเหนือจากการเรียนในห้องเรียน เพียงใด										
9	ท่านให้ความสนใจและตั้งใจฝึกฝน ทักษะการคิดวิเคราะห์และสร้างสรรค์ นอกเหนือในชั้นเรียน เพียงใด										
10	โดยสรุป ท่านสนใจและตั้งใจเรียนรู้ ฟิสิกส์/คณิต/เทคโน/วิศว/และทักษะการคิด ทั้งในและนอกชั้นเรียน เพียงใด										

ตอนที่ 3 การได้เรียนรู้หรือพัฒนาด้านต่างๆ จากกิจกรรมสะเต็มศึกษา

ข้อ	คำถาม	ก่อนเรียนสะเต็มศึกษา					หลังเรียนสะเต็มศึกษา				
		5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
1	ท่านเข้าใจวิธีการและขั้นตอน “กระบวนการออกแบบตามหลักวิศวกรรม” (Engineering process design) เพียงใด										
2	กิจกรรมสะเต็มศึกษา ทำให้ท่านเรียนรู้ กระบวนออกแบบตามหลักวิศวกรรม เพียงใด										
3	การได้เรียนรู้วิธีการและขั้นตอน กระบวนการออกแบบตามหลักวิศวกรรม มีประโยชน์ต่อตัวท่าน เพียงใด										
4	สะเต็มศึกษา ช่วยพัฒนาตัวท่านด้านทักษะการคิด โดยเฉพาะการคิดวิเคราะห์และสร้างสรรค์ เพียงใด										
5	สะเต็มศึกษา ช่วยพัฒนาตัวท่านด้านทักษะในศตวรรษที่ 21 เพียงใด										
6	สะเต็มศึกษา ทำให้ท่านเรียนรู้การบูรณาการความรู้ด้าน วิทย์/คณิต/เทคโนโลยี เข้าด้วยกัน เพียงใด										
7	สะเต็มศึกษา ทำให้ท่านเห็นประโยชน์ของการบูรณาการความรู้ด้าน วิทย์/คณิต/เทคโนโลยี เข้าด้วยกัน เพียงใด										
8	ท่านเห็นด้วยเพียงใดว่า การแก้ปัญหาโดยใช้เพียงประสบการณ์และการลองผิดลองถูก เป็นวิธีที่ไม่มีประสิทธิภาพ										
9	ท่านเห็นด้วยเพียงใดว่า การแก้ปัญหาโดยอิงความรู้ วิทย์ คณิต และเทคโนโลยี เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ										
10	ท่านเห็นด้วยเพียงใดว่า การแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนออกแบบตามหลักวิศวกรรม เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ										

ผนวก 3

แบบสอบถามความคิดเห็น/พึงพอใจต่อ ต่อกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อบทเรียนสะเต็มที่ได้เรียน.....

1. วันที่ (ทำแบบทดสอบ) .....เดือน ..... พศ. 255 .....

2. ชื่อ สกุล ..... เลขประจำตัว.....

เพศ ❑ ชาย ❑ หญิง อายุ.....ปี

3. กำลังศึกษาระดับ ❑ มัธยมต้น ❑ มัธยมปลาย ❑ ปริญญาตรี

แผนการเรียน/สาขา .....ห้องเรียนที่/กลุ่มเรียนที่.....

4.ชื่อสถาบันที่ศึกษา .....

ตำบล.....อำเภอ.....จังหวัด.....

ตอนที่ 2 พิจารณาว่าคำถาม ตรงกับ ความคิดเห็นของท่านระดับใด แล้วทำเครื่องหมาย / หรือ X ลงในช่อง

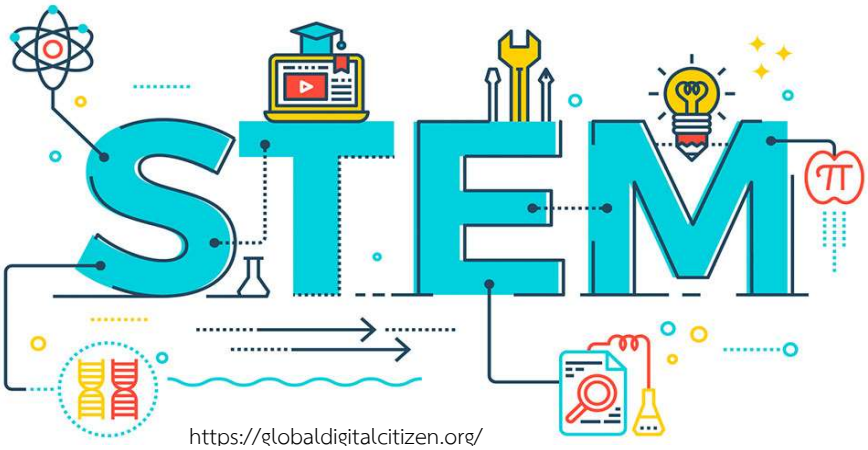
5 = มากสุด 4 = มาก 3 = ปานกลาง 2 = น้อย 1 = น้อยมาก

ข้อ	ประเด็นสอบถาม	5	4	3	2	1
1	กิจกรรมนี้ ทำให้ท่านพัฒนาการคิดสร้างสรรค์ เพียงใด					
2	กิจกรรมนี้ ทำให้ท่านพัฒนาการคิดวิเคราะห์ เพียงใด					
3	พัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะ ในศตวรรษที่ 21 เพียงใด					
4	พัฒนาผู้เรียนด้านการวางแผนการทำอย่างเป็นระบบ เพียงใด					
5	พัฒนาด้านทำงานร่วมกันเป็นทีม ตามความถนัดแต่ละคน เพียงใด					
6	บรรยากาศการเรียนสนุกสาน ไม่เครียด ไม่กดดัน เพียงใด					
7	กิจกรรมนี้ ทำให้ผู้เรียนพัฒนาทักษะการเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง เพียงใด					
8	กิจกรรมนี้ สนับสนุนวิธีการเรียนที่แตกต่างกันของผู้เรียนแต่ละคน เพียงใด					
9	ผู้เรียนได้รับความรู้ ประสบการณ์ ที่มีประโยชน์ จากกิจกรรมนี้ เพียงใด					
10	สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการเรียนรู้และดำรงชีวิตในอนาคต ได้เพียงใด					
11	ได้เรียนรู้ เข้าใจ และมีประสบการณ์ “การออกแบบเชิงวิศวกรรม” เพียงใด					
12	เห็นความสำคัญของการเรียนฟิสิกส์ คณิต เทคโนโลยี เพียงใด					
13	อยากเรียนกิจกรรมสะเต็มศึกษา แต่เรื่องแตกต่างกันไป เพียงใด					
14	ท่านพึงพอใจโดยรวม ต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ผ่านมานี้ ระดับใด					

ความคิดเห็นอื่นๆ .....

ผนวก 3

คู่มือการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาลักษณะอิงปัญหา วิชาฟิสิกส์ระดับอุดมศึกษา



ฉลองชัย ธีวสุทรสกุล

คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

เอกสารชุดนี้มีลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย
ท่านสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาการเรียนการสอนหรือการศึกษาได้
แต่ห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

คำนำ

คู่มือการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ ครู อาจารย์ ผู้สอน นักการศึกษา และผู้สนใจทั่วไป ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ ที่เหมาะสมกับศักยภาพของผู้เรียน และเหมาะสมกับบริบทการเรียนการสอนของสถานศึกษาของตนเอง โดยมุ่งหวังให้เกิดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้กับผู้เรียนสูงสุด

เอกสารฉบับนี้เป็นผลจากข้อสรุปจาการวิจัยเกี่ยวกับสะเต็มศึกษาและงานวิจัยเกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนฟิสิกส์หลายเรื่อง ที่ผู้เขียนดำเนินการต่อเนื่องหลายปี จึงผ่านการศึกษาและทดลองใช้กับสถานการณ์จริงมาแล้ว อย่างไรก็ตาม ผู้เขียนยังดำเนินการวิจัยและปรับปรุงเอกสารฉบับนี้ต่อเนื่องเพื่อให้มีความสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพมากขึ้น

หวังว่า เอกสารฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์พอสมควร ต่อผู้สอนและผู้ที่สนใจด้านการออกแบบและการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

ฉลองชัย ธีวสุทรสกุล
พฤษภาคม 2560

กิตติกรรมประกาศ

คู่มือการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนฟิสิกส์ ที่ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ระหว่างปีงบประมาณ พ.ศ. 2558-2560 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

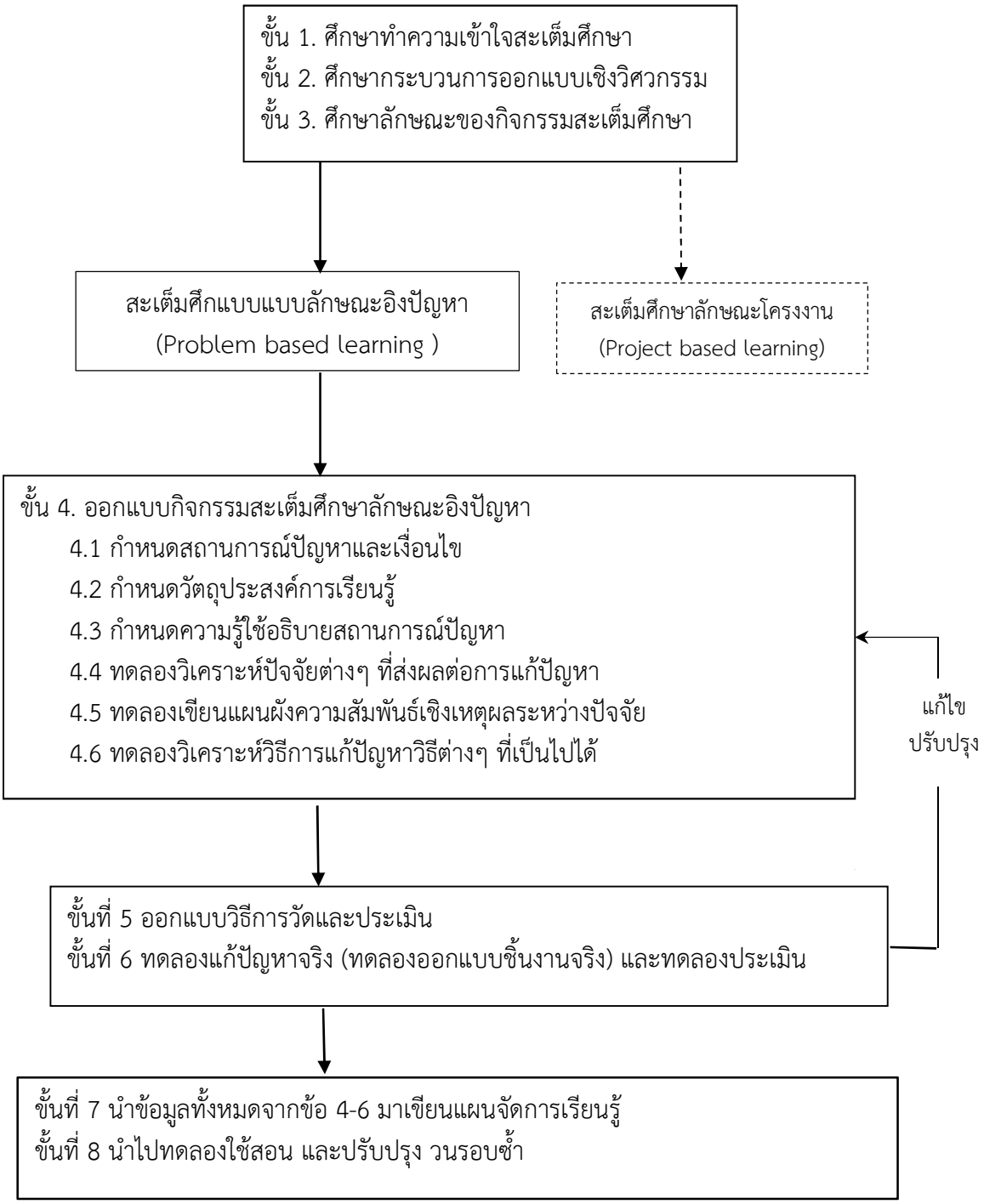
สารบัญ

หน้า

คำนำ
กิตติกรรมประกาศ

รูปแบบ(ขั้นตอน)การออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบอิงปัญหา
ขั้น 1. ศึกษาทำความเข้าใจสะเต็มศึกษา
ขั้น 2. ศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
ขั้น 3. ศึกษาลักษณะของกิจกรรมสะเต็มศึกษา
ขั้น 4. ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะอิงปัญหา
4.1 กำหนดสถานการณ์ปัญหาและเงื่อนไข
4.2 กำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้
4.3 กำหนดความรู้ใช้อธิบายสถานการณ์ปัญหา
4.4 ทดลองวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการแก้ปัญหา
4.5 ทดลองเขียนแผนผังความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่างปัจจัย
4.6 ทดลองวิเคราะห์วิธีการแก้ปัญหาวิธีต่างๆ ที่เป็นไปได้
ขั้นที่ 5 ออกแบบวิธีวัดประเมิน
ขั้นที่ 6 ทดลองแก้ปัญหา (ทดลองออกแบบชิ้นงาน) และทดลองประเมิน
ขั้นที่ 7 นำข้อมูลทั้งหมดจากข้อ 4-6 มาเขียนแผนจัดการเรียนรู้
ขั้นที่ 8 นำไปทดลองใช้สอน และปรับปรุง วนรอบซ้ำ

รูปแบบ(ขั้นตอน)การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะอิงปัญหา วิชาฟิสิกส์



ขั้นที่ 1 ศึกษาทำความเข้าใจสะเต็มศึกษา

1.1 ที่มาของสะเต็มศึกษา

สะเต็มศึกษา(STEM Education) แนวทางการจัดการเรียนการสอนแบบหนึ่ง ที่เกิดในสหรัฐอเมริกา เนื่องจากพบว่าขีดความสามารถของประเทศมีแนวโน้มลดลง ดังจะเห็นได้จาก ผลการทดสอบโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ (Program for International Student Assessment หรือ PISA) และ ทดสอบด้านคณิตวิทยาศาสตร์ระดับสากล(Trends in International Mathematics and Science Study หรือ TIMSS) ของสหรัฐอเมริกานั้นต่ำกว่าหลายประเทศ นักเรียนนักศึกษาที่ให้ความสนใจและความสำคัญต่อการเรียนวิชาเหล่านี้มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ รวมถึงคนทำงานด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม ที่เป็นประชากรของอเมริกาเองก็มีจำนวนน้อยลงเช่นกัน สาเหตุหนึ่งเป็นเพราะผู้เรียนไม่เห็นความสำคัญและประโยชน์ของการเรียนวิชาเหล่านี้ เนื่องจากวิชาเหล่านี้แยกโดดเดี่ยวจากกัน ไม่แสดงให้ผู้เรียนเห็นการเชื่อมโยงผสมผสานกัน(บูรณาการ)เพื่อแก้ปัญหาและใช้ประโยชน์ที่เป็นรูปธรรมและสอดคล้องกับสถานการณ์จริง ส่งผลให้ผู้เรียนให้ความรักและเห็นคุณค่าของวิชาเหล่านี้ลดลง ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาความเจริญด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และนวัตกรรมของประเทศในอนาคต จึงคาดว่าสะเต็มศึกษาจะเป็นแนวทางการจัดการเรียนการสอนหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวของอเมริกาได้

ต่อมามีหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทย นำแนวคิดสะเต็มศึกษาไปประยุกต์ใช้กับระบบการศึกษาของตนเอง โดยมีวัตถุประสงค์แตกต่างกันไป

1.2 ความหมายของสะเต็มสะศึกษา

มีผู้ให้ความหมายของสะเต็มศึกษา(STEM Education)ไว้หลายความหมาย ดังจะยกตัวอย่าง

สะเต็มศึกษา คือ แนวทางการจัดการศึกษาให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และสามารถบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี กระบวนการทางวิศวกรรม และคณิตศาสตร์ ไปใช้ในการเชื่อมโยงและแก้ปัญหาในชีวิตจริง รวมทั้งพัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่ ควบคู่ไปกับการพัฒนาทักษะการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21 (การประชุมคณะกรรมการพัฒนาหลักสูตรการจัดการเรียนการสอนสะเต็มศึกษาในสถานศึกษา วันที่ 27 พฤษภาคม 2559)

สะเต็มศึกษา คือ การจัดการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมหรือโครงงาน ที่บูรณาการการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ผนวกกับแนวคิดการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยนักเรียนจะได้ทำกิจกรรมเพื่อพัฒนาความรู้ความเข้าใจ และฝึกทักษะด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี และได้นำความรู้มาออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการ เพื่อตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน เพื่อให้ได้เทคโนโลยีซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (สสวท.)

สำหรับเอกสารฉบับนี้ จะให้ความหมายของสะเต็มศึกษา เพื่อเป็นหลักคิดของการออกแบบกิจกรรมการเรียนการสอน(บทเรียน)สะเต็มศึกษา ที่ใช้เฉพาะเอกสารฉบับนี้ ว่า

“สะเต็มศึกษา คือ แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ที่ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และมีประสบการณ์การบูรณาการความรู้ด้าน วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เข้าด้วยกัน โดยใช้ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์(Engineering Process Design) เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีที่สุดตามภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัด ซึ่งอาจเป็นวิธีการแก้ปัญหาหรือหาคำอธิบาย หรือการออกแบบชิ้นงาน เช่น อุปกรณ์ หรือ สิ่งประดิษฐ์ เป็นต้น”

ปัจจุบันมีกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาหลากหลายรูปแบบ ให้ผู้สอนเลือกประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องกับบริบทการเรียนการสอนของตนเอง เช่น แบบโครงงาน(Project based learning) หรือ แบบแก้ปัญหา(Problem based learning) เป็นต้น

ขั้นที่ 2 ศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

2.1 ความหมายของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

คำว่า “กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม” ยังมีคำอื่นๆ ที่มีความเช่นเดียวกัน เช่น การออกแบบทางวิศวกรรม หรือ กระบวนการคิดทางวิศวกรรม หรือ การคิดเชิงวิศวกรรม เป็นต้น

มีผู้ให้ความหมายของ “กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม(Engineering design Process)” หรือ การออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ หรือ การออกแบบทางวิศวกรรม ไว้หลากหลาย ดังตัวอย่าง

The engineering design process was a methodical series of steps that engineers use in creating functional products and processes. The process is highly iterative - parts of the process often need to be repeated many times before another can be entered - though the part(s) that get iterated and the number of such cycles in any given project may vary. (en.wikipedia.org)

The **engineering design process** is a series of steps that guides engineering teams as they solve problems. The design process is **iterative**, meaning that engineers repeat the steps as many times as needed, making improvements along the way as they **learn from failure**. (www.teachengineering.org)

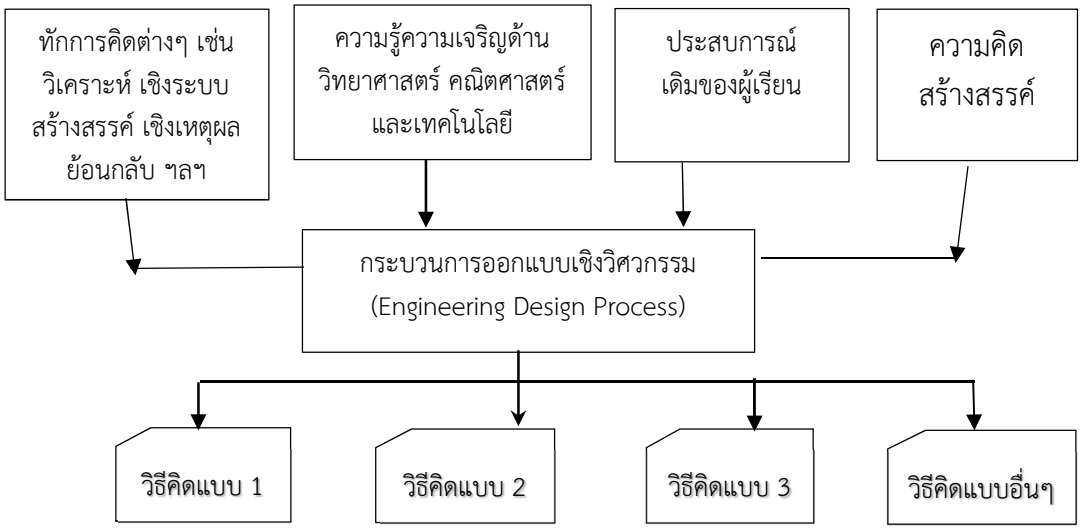
การออกแบบทางวิศวกรรม เป็นกระบวนการประยุกต์ใช้หลักการวิทยาศาสตร์และแนวปฏิบัติทางวิศวกรรม ให้เข้ากับความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ของผู้ออกแบบ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หรือกระบวน การผลิตหรือบริการใหม่ๆ โดยความสำเร็จนี้ขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความสะดวก ความปลอดภัย และการใช้ทรัพยากรที่มีประสิทธิภาพ (นิศากร สมสุข , วรลักษณ์ จันทร์กระจ่าง และ สมบัติ ทีฆทรัพย์. 2550)

กระบวนการในการคิดค้นกำหนด ระบบ ส่วนประกอบ หรือกระบวนการที่ตรงกับความต้องการ การออกแบบ เป็นกระบวนการตัดสินใจที่อาศัยวิทยาศาสตร์ พื้นฐาน คณิตศาสตร์ และ วิศวกรรม ในการเปลี่ยนทรัพยากรที่เหมาะสมให้ ตรงกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดให้ (Kanchit Malaivongs, 2005)

สำหรับเอกสารฉบับนี้ ผู้เขียนจะให้ความหมายที่คาดว่าผู้สอนสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย และนำไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบกิจกรมการเรียนการสอนสะเต็มศึกษา ได้อย่างเหมาะสมกับช่วงวัยและความรู้พื้นฐานของผู้เรียน เพื่อเป็นหลักคิดของการออกแบบกิจกรรมการเรียนการสอน(บทเรียน)สะเต็มศึกษา ที่ใช้เฉพาะเอกสารฉบับนี้ ว่า ดังนี้

" กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering design Process)" *หมายถึง วิธีการคิดเพื่อจุดประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น ออกแบบอุปกรณ์หรือสิ่งประดิษฐ์ หรือเพื่อหาวิธี/กระบวนการ/หรือคำอธิบายเรื่องใดเรื่องหนึ่ง โดยเป็นวิธีคิดที่นำความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีมาผสมผสานเข้าด้วยกัน ร่วมกับประสบการณ์และทักษะการคิดต่างๆ เช่น การคิดเชิงเหตุผล การคิดสร้างสรรค์ การคิดย้อนกลับ และ การคิดเชิงระบบ ฯลฯ เพื่อแสวงหาสิ่งที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัด*

เขียนแทนความหมาย ได้ดังรูปล่าง



ดังนั้น วิธีการคิดใด ที่สอดคล้องกับนิยามหรือรูปบน จะจัดเป็นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จึงมีกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้หลายกระบวนการหรือหลายวิธี แตกต่างกันไปตามบริบทด้านต่างๆ ที่มาเกี่ยวข้อง เช่น สาขาวิชาต่างๆ

2.2 วิธีการของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีหลากหลายวิธีการ วิศวกรรมแต่ละสาขา จึงมีขั้นตอน วิธีการ และเทคนิค ที่ใช้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมแตกต่างกัน อีกทั้งยังซับซ้อนมากน้อยแตกต่างกันตามสภาพปัญหาและเงื่อนไขและข้อจำกัด

คณะกรรมการพัฒนาหลักสูตรและขับเคลื่อนการเรียนการสอนสะเต็มใสถานศึกษา กำหนดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. ระบุสถานการณ์ปัญหาที่ต้องการพัฒนา
2. รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง
3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Science+Math+Technology)
4. วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Engineering)
5. ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุง (Engineering)
6. นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือผลพัฒนานวัตกรรม

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กำหนดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมไว้ 7 ขั้นตอน ดังนี้ (สุธีระ ประเสริฐสรรพ์, 2559)

1. Identify the problem, need, or preference (บอกปัญหาความต้องการ)
2. Information gathering to develop possible solution (ตรวจสอบความเป็นไปได้)
3. Selection of the best possible solution (สิ่งทั้งหลายต้องมีดีที่สุด)
4. Design and making (ผุดเป็นแบบเพื่อสร้าง)
5. Testing to see if it works (ตรวจตามอ้างใช้ได้ไหม)
6. Modifications and improvement (ปรับแก้ไขทำให้ดี)
7. Assessment (ประเมินผล)

ยังมีกระบวนออกแบบเชิงวิศวกรรม แบบอื่นๆ หลากหลาย ซึ่งผู้อ่านสามารถค้าหาได้ทั่วไป

2.3 กระบวนออกแบบเชิงวิศวกรรมในสะเต็มศึกษา

แม้ว่ากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจะมีขั้นตอนที่ดูแล้วไม่ยุ่งยาก แต่เมื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง จะมีรายละเอียดการปฏิบัติในแต่ละขั้นตอนค่อนข้างซับซ้อน และแตกต่างกันสำหรับวิศวกรรมแต่ละสาขา อีกทั้งยังต้องใช้เวลาศึกษาและสะสมประสบการณ์การประยุกต์ใช้ค่อนข้างยาวนาน จึงจะมีความเข้าใจเพียงพอ ทำให้เกิดปัญหาค่อนข้างมากกับผู้ออกแบบและผู้สอนสะเต็มศึกษา ซึ่งผู้สอนและผู้ออกแบบส่วนใหญ่ไม่เคยผ่านการเรียนรู้ทางวิศวกรรมมาก่อน และคงไม่มีเวลามากพอที่จะศึกษาจนมีความเข้าใจ ภายในระยะเวลาจำกัด

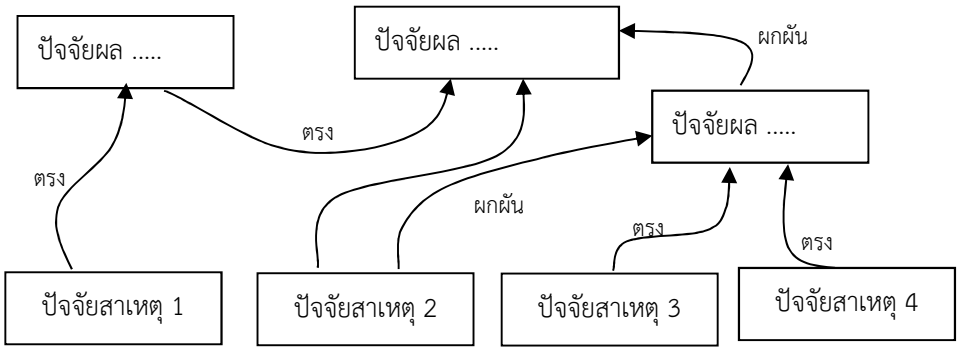
จากความหมายดังกล่าว สามารถวิเคราะห์เป็น ลักษณะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในสะเต็มศึกษา ดังนี้

1. เป็นกระบวนการคิดที่เชื่อมโยงผสมผสานความรู้และความถูกต้องด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี รวมทั้งประสบการณ์ และความคิดสร้างสรรค์ของผู้ออกแบบเข้าด้วยกัน ดังนั้น การคิดใดที่ใช้เพียงประสบการณ์หรือการลองผิดลองถูก โดยไม่อิงความรู้และความถูกต้องด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี การคิดนั้นจะไม่จัดว่าเป็นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

2. ส่วนมากจะเป็นกระบวนการคิดที่นำ เทคนิค ทักษะ และกระบวนการคิดต่างๆ มาผสมผสานกัน เช่น การคิดเชิงเหตุผล การคิดเชิงระแบบ การคิดย้อนกลับ การคิดสร้างสรรค์ การคิดวิจารณญาณ และการคิดวิเคราะห์ เป็นต้น เพราะการใช้กระบวนการคิดเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งมักจะไม่สามารถให้คำตอบและความเชื่อถือพอ

3. เป็นกระบวนการคิดที่ให้ผลผลิต คือวิธีการแก้ปัญหาหลายวิธีการ ส่วนจะเลือกวิธีการใดนั้นขึ้นกับผู้ออกแบบแต่ละคนจะวิเคราะห์และตัดสินใจ เพื่อหาวิธีการที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัด ดังนั้นการคิดใดที่ให้ผลผลิตเพียงแบบเดียวหรือวิธีเดียว จะไม่จัดเป็นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

4. กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในสะเต็มศึกษา แบบที่ 2 ...เป็นการ*วิเคราะห์ว่ามี*ปัจจัยต่างๆ อะไรบ้างที่ส่งผลต่อการออกแบบ และปัจจัยเหล่านั้นส่งผลต่อกันอย่างไร แล้วาดเป็นแผนผังโดยใช้กระบวนการคิดเชิงเหตุผล (สุธีระ ประเสริฐสรรพ์) ดังรูปล่าง ซึ่งเมื่อวิเคราะห์แผนผังจะเห็นแนวทางการออกแบบได้หลายวิธี โดยแต่ละวิธีจะมีข้อเด่นข้อด้อยแตกต่างกัน ผู้เรียนเลือกแนวทางการออกแบบวิธีหนึ่ง ที่พิจารณาเห็นว่าดีที่สุด และตรงตามเงื่อนไขและข้อกำหนด



หมายเหตุ ตรง หมายถึง ถ้าปัจจัยสาเหตุและปัจจัยผล จะเพิ่มลดทิศทางเดียวกัน
ผกผัน หมายถึง ถ้าปัจจัยสาเหตุและปัจจัยผล จะเพิ่มลดทิศทางตรงข้ามกัน

2.4 ขั้นตอนกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในสะเต็มศึกษา

เพื่อให้เหมาะสมและเข้าใจง่ายกับประยุกต์ใช้กับการศึกษาขั้นพื้นฐาน จึงขอเสนอกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม หรือ การออกแบบตามหลักวิศวกรรม ตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นที่ 1. วิเคราะห์สถานการณ์ปัญหา ความต้องการ และเงื่อนไข

แนวปฏิบัติ ; หาคำตอบสิ่งต่อไปนี้ให้มากสุด เท่าที่จะทำได้

- ปัญหาคืออะไร
- มีข้อกำจัดและเงื่อนไขที่ส่งผลต่อการดำเนินการหรือไม่ ถ้ามี...อะไรบ้าง

ขั้นที่ 2. รวบรวมข้อมูลต่างๆ

แนวปฏิบัติ ; หาคำตอบสิ่งต่อไปนี้ให้มากสุด เท่าที่จะทำได้

- ปัญหานั้นเกิดจากอะไร
- วิธีแก้ปัญหาเดียวกัน ที่มีผู้ทำมาก่อนแล้ว มีหรือไม่...ถ้ามี....ทำอย่างไร และวิธีนั้นมีข้อเด่นข้อด้อย อย่างไร
- ความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และศาสตร์ด้านอื่นๆ ที่อธิบายเหตุการณ์นั้น มีอย่างไรหรืออธิบายอย่างไร ....

ขั้นที่ 3. วิเคราะห์ออกแบบวิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

แนวปฏิบัติ ; ใช้ทักษะการคิดหรือเทคนิคต่างๆ เพื่อหาคำตอบสิ่งต่อไปนี้

- วิเคราะห์ปัจจัยหรือสิ่งที่ส่งผลต่อการแก้ปัญหาให้ครบคลุมมากสุด
- หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเหล่านั้น เพื่อดูว่าปัจจัยต่างๆ ส่งผลกระทบต่อกันหรือไม่ และส่งผลอย่างไร ...ปัจจัยใดเป็นปัจจัยต้นเหตุหรือปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบมากต่อปัจจัยอื่นๆ
- วิเคราะห์วิธีการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้...ว่ามีกี่วิธี แต่ละวิธีทำอย่างไร มีจุดเด่นและจุดด้อยอย่างไร
- เลือกวิธีการแก้ปัญหาใดวิธีหนึ่ง ที่ดีที่สุด

ขั้นที่ 4. วางแผนการทำงาน

แนวปฏิบัติ ; นำวิธีการแก้ปัญหา(จากข้อ 3) มาวางแผน/จัดหา/เตรียมการ สิ่งต่อไปนี้

- แบ่งวิธีการแก้ปัญหา ออกเป็นขั้นตอนการทำงานย่อยๆ กี่ขั้น
- แต่ละขั้นตอน มีรายละเอียดการปฏิบัติทำอะไร
- จัดลำดับการทำงาน ...ขั้นตอนใดต้องทำก่อน..ทำหลัง
- ใช้เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ ผู้เชี่ยวชาญ อะไรบ้าง..หาที่ได้ไหน
- กำหนดผู้รับผิดชอบ ตามความถนัด/ความเหมาะสม
- กำหนดระยะเวลาทำงานแต่ละขั้นตอน และเวลารวม
- อื่นๆ เช่น งบประมาณที่ต้องใช้ ปัญหาอุปสรรค์ที่อาจพบ

ขั้นที่ 5. ลงมือแก้ปัญหา

แนวปฏิบัติ ; - ดำเนินการแก้ปัญหาตามแผนการทำงาน
- ตรวจสอบผลดำเนินการ พร้อมเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ขั้นที่ 6. ปรับปรุงให้ดีที่สุด

แนวปฏิบัติ ; - นำข้อมูลมาวิเคราะห์ หาวิธีการปรับปรุง
- ปรับปรุงวิธีแก้ปัญหา
- ดำเนินการวนซ้ำ จนได้ผลงานสุดท้าย(วิธีแก้ปัญหา) ที่ดีที่สุด
- นำผลงานไปใช้จริง

ขั้นที่ 7. ประเมินผล

แนวปฏิบัติ ; นำความรู้และประสบการณ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาเรื่องนี้/ครั้งนี้ มาสังเคราะห์เป็นวิธีปฏิบัติหรือแนวปฏิบัติ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลสำหรับการดำเนินการแก้ปัญหา ที่เป็นกรณีคล้ายกัน ในครั้งต่อไป

ขั้นที่ 3 ศึกษาความแตกต่างระหว่างกิจกรรมสะเต็มศึกษา กับ กิจกรรมเรียนรู้อื่นๆ

3.1 ลักษณะกิจกรรมการเรียนรู้ (บทเรียน) สะเต็มศึกษา

1. เป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียน ได้เรียนรู้และฝึกฝนกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม หรือผู้เรียนต้องใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจึงจะสำเร็จ

2. เป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียน ได้เรียนรู้การบูรณาการความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี หรือผู้เรียนต้องนำ 3 ศาสตร์มาผสมผสานกันจึงจะสำเร็จ

3. เป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับศักยภาพและความสนใจกับกลุ่มผู้เรียน ทำให้นักเรียนต้องการคิดเอง ทำเอง ไม่ลอกเลียนกัน

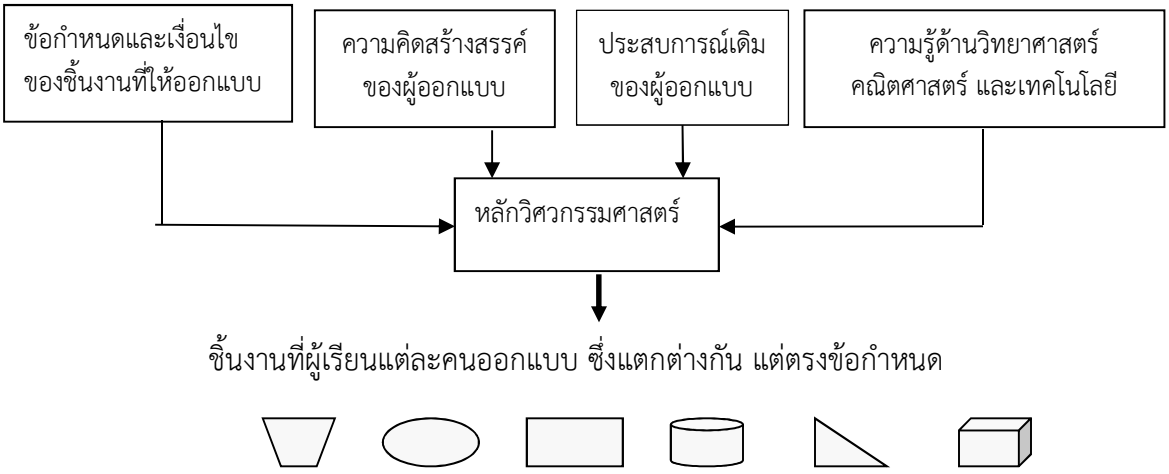
3.3 รูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

ถ้ายึดวัตถุประสงค์ของสะเต็มศึกษา จะสามารถออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาได้หลากหลายลักษณะ ขึ้นกับปัจจัยและบริบทต่างๆ เช่น ระดับการศึกษา แต่ละวิชา และควรคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น วิถีชีวิต ความสนใจ งบประมาณ บริบทสถานศึกษา เป็นต้น ซึ่งจะพบมาก 2 รูปแบบ คือ รูปแบบสะเต็มศึกษาลักษณะโครงงาน (Project-based learning) และรูปแบบสะเต็มศึกษาลักษณะอิงปัญหา (problem based learning)

1. สะเต็มศึกษาแบบโครงงาน (Project-based learning) หมายถึงกิจกรรมการเรียนการสอน ที่ให้ผู้เรียนทำโครงงานเรื่องใดเรื่องหนึ่งที่มีข้อกำกัดและเงื่อนไข ซึ่งอาจเป็น สิ่งประดิษฐ์ หรือ คำอธิบาย/กระบวนการ ฯลฯ โดยสิ่งสำคัญต้องดำเนินโครงงานตามขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ข้อดี....ผู้เรียนจะสนใจและพยายามทำให้สำเร็จ เพราะเป็นเรื่องผู้เรียนเลือก ข้อด้อย....ผู้สอนมีงานค่อนหนัก เพราะถ้าเรื่องที่ผู้เรียนเลือก..ผู้สอนมีความรู้น้อย ผู้สอนต้องไปศึกษาค้นคว้าเพื่อนำมาให้ปรึกษาผู้เรียน ซึ่งหากโครงงานที่ทำแต่ละครั้งมีจำนวนมาก ผู้สอนจะค่อนข้างเป็นภาระมาก อีกทั้งต้องใช้งบประมาณค่อนข้างมากเพื่อจัดซื้อจัดหาวัสดุอุปกรณ์ ....

2. สะเต็มศึกษาแบบอิงปัญหา (problem based learning) เป็นกิจกรรม ในรูปแบบที่ให้ผู้เรียนใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ ผสมผสานความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ร่วมกับประสบการณ์และความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียน เพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุดในการออกแบบชิ้นงานที่เป็นไปข้อกำหนด ซึ่งชิ้นงานที่ผู้เรียนออกแบบนั้น ควรจะแตกต่างกันตามความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียน แต่ทุกชิ้นงานเป็นไปข้อกำหนดและเงื่อนไข ดังภาพล่าง

ภาพ แนวคิดของสะเต็มศึกษาแบบอิงปัญหา



ข้อดี 1. เรื่องเดียวกัน แต่ชิ้นงานแตกต่างกัน ลดภาระการเตรียมการของครูได้ค่อนข้างมาก

2. สามารถนำไปบทเรียนเรื่องเดียวกัน ไปใช้กับผู้เรียนต่างห้องเรียน ต่างกลุ่มเรียน หรือต่างปีการศึกษาได้ โดยไม่ลอกชิ้นงานกัน เพราะผู้เรียนแต่ละคนจะใส่ความคิดสร้างสรรค์ของตนเองเข้าไป และที่สำคัญช่วยลดภาระการเตรียมการสอนและเตรียมอุปกรณ์ของผู้สอนได้มาก

3. สามารถปรับให้เหมาะสมกับศักยภาพของผู้เรียนแต่ละกลุ่ม และบริบทการเรียนการสอนแต่ละแห่ง ช่วยประยัดค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์

ข้อด้อย .. ถ้าเรื่องที่ให้นักเรียนทำ ...เป็นเรื่องที่นักเรียนไม่สนใจ ซึ่งอาจเป็นเพราะ... ไม่เหมาะกับช่วงวัยหรือบริบทการดำรงชีวิต ของผู้เรียน อาจส่งผลต่อความตั้งใจได้มาก

ขั้นที่ 4 ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาลักษณะอิงปัญหา ตามขั้นตอนต่อไปนี้

4.1 กำหนดสถานการณ์ (ชิ้นงาน)

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า ลักษณะสะเต็มศึกษาแบบอิงปัญหา จะกำหนดสถานการณ์ปัญหา(ชิ้นงาน) ให้ผู้เรียนออกแบบ(ไม่ต้องสร้างจริง) หรือทั้งออกแบบและสร้างจริง ซึ่งจะเป็นแบบใดนั้น ตามที่ผู้ออกแบบเห็นสมควร

สถานการณ์ปัญหาหรือชิ้นงาน ที่จะให้ผู้เรียนปฏิบัตินี้มีความสำคัญมากต่อความสนใจและความสำเร็จของการเรียนการสอนสะเต็มศึกษา ผู้ออกแบบบทเรียนสะเต็มศึกษาควรพิถีพิถันในการกำหนดสถานการณ์ปัญหาให้มาก โดยควรมีลักษณะเหมาะสมกับบริบทของผู้เรียน ดังต่อไปนี้

1. ควรเป็นชิ้นงานที่ผู้เรียนเคยเห็นหรือเคยใช้งานมาก่อน และอยู่ในบริบทการดำรงชีวิตของผู้เรียน เพราะหากผู้เรียนไม่เคยพบเห็นมาก่อน จะประสบปัญหาค่อนข้างมากต่อการเรียนการสอน

2. เป็นสิ่งที่กลุ่มผู้เรียนสนใจหรือกำลังได้รับความนิยม

3. มีความยากง่าย ซับซ้อน พอเหมาะ ไม่ยากเกินไป และไม่ง่ายเกินไป

4. แฝงความท้าทายและการแข่งขัน ระหว่างกัน

5. ใช้เวลาปฏิบัติเหมาะสมกับช่วงวัย ไม่นานเกินไป และไม่น้อยเกินไป

6. ไม่สามารถทำชิ้นงานให้สำเร็จ หากใช้ประสบการณ์หรือการลองผิดถูกเพียงอย่างเดียว

.....ข้อนี้สำคัญมาก เพราะหากผู้เรียนใช้เพียงประสบการณ์ทำได้ จะไม่สนใจและให้ความสำคัญของการสอนในขั้นต่อไป

7. ถ้าให้ผู้เรียนลงมือสร้างจริงหรือทำจริง ควรคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้ประกอบด้วย

7.1 ผู้จัดหาวัสดุ (ผู้เรียนหรือผู้สอน เป็นผู้จัดหา)

7.2 ความยากง่ายของการจัดหาวัสดุ

7.3 ราคาของวัสดุ

7.4 อันตรายของวัสดุ เช่น เป็นสิ่งของมีคม หรือมีพิษ เป็นต้น

7.5 ทักษะการปฏิบัติของผู้เรียน เช่น การตัด การติด การเจาะ เป็นต้น

7.5 สถานที่ ที่จะให้ผู้เรียนลงมือสร้าง เช่น ห้องหรือโรงฝึกงาน เป็นต้น

7.6 ความพร้อมของเครื่องมือ เช่น มีดตัด ค้อน เลื่อย เป็นต้น

หากผู้ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา สามารถกำหนดสถานการณ์ปัญหาให้สอดคล้องกับสิ่งที่กล่าวมานี้ จะส่งผลต่อความสำเร็จเป็นอย่างมากต่อความสนใจ กระตือรือร้น และตั้งใจ ของผู้เรียน

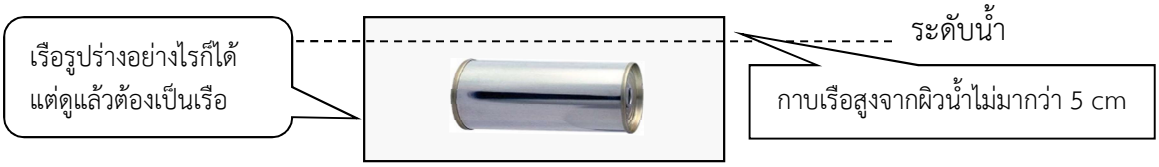
อย่างไรก็ตาม หลังกำหนดสถานการณ์ปัญหาแล้ว และเมื่อดำเนินการออกแบบในขั้นตอนต่อเนื่องไปแล้ว ผู้ออกแบบอาจพบว่าสถานการณ์ปัญหานั้นๆ ไม่เหมาะสม สามารถกลับมาออกแบบใหม่ ได้

ตัวอย่างที่ 1

1. ชิ้นงาน คือ.....*ออกแบบและสร้างเรือบรรทุกกระป๋องน้ำอัดลมบรรจุทราย* ดังรูปล่าง
2. เงื่อนไขและข้อจำกัด ของชิ้นงาน

ให้ผู้เรียนจัดกลุ่มๆ ละ 3-4 คน ร่วมกันออกแบบเรือ และสร้างเรือตามรูปแบบที่ตนเองออกแบบไว้ โดยมีเงื่อนไข ว่า

- เรือมีขนาดและรูปร่างอย่างไรก็ได้ แต่ดูแล้วต้องเป็นเรือ และควรสวยงาม ลอยน้ำได
- ต้องไม่มีทุนพยุงเรือ หรืออุปกรณ์ใดๆ ช่วยพยุงการทรงตัวของเรือ
- เรือสามารถบรรทุกของได้มากสุด คือ กระป๋องน้ำอัดลมบรรจุทราย.จำนวน 1 กระป๋อง วางนอน โดยขณะนั้นเรือต้องไม่จม การทรงตัวของเรือต้องสมดุลทั้ง 4 ด้าน และ ขณะนั้นกาบเรือ (ขอบบน) สูงกว่าผิวไม่มากกว่า 0.2 เซนติเมตร



ตัวอย่างที่ 2

1. ชิ้นงาน คือ.....*ออกแบบและสร้างบันจี้จัมป์*
2. เงื่อนไขและข้อจำกัด ของชิ้นงาน

ให้ผู้เรียนจัดกลุ่มๆ ละ 3-4 คน ร่วมกันออกแบบบันจี่จัมป์ ใช้ถุงทรายแทนคนโดด และสร้างบันจี่จัมป์ตามที่ตนเองออกแบบไว้ โดยมีเงื่อนไข ว่า

- ใช้วัสดุใดก็ได้ ยาวเท่าใดก็ได้
- เมื่อปล่อยเพียงครั้งเดียวจาก...ขั้น 3 อาคารเรียน.... ซึ่งสูงจากพื้น 8 เมตร จะตกต่ำสุดสูงจากพื้น น้อยกว่า 30 cm โดยไม่กระแทกพื้น

4.2 กำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้

ผู้ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา ควรกำหนดสิ่งที่ต้องการให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อะไรบ้างจากกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่กำลังจะออกแบบ เช่น ผลสัมฤทธิ์การเรียนเนื้อหา(ความรู้ จำ เข้าใจ ฯลฯ) ทักษะการคิด การทำงานร่วมกัน เป็นต้น

ผู้ออกแบบสามารถกำหนดจำนวนข้อของวัตถุประสงค์ ไว้หลายข้อได้ตามความเหมาะสม แต่ควรมีวัตถุประสงค์จำนวนหนึ่งที่สอดคล้องกับตามแนวคิดของสะเต็มศึกษา ซึ่งมีดังนี้

1. สะเต็มศึกษาต้องการให้ผู้เรียนตระหนักถึงประโยชน์และความสำคัญ ของการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ต่อตนเองทั้งปัจจุบันและอนาคต โดยความตระหนักนั้นต้องเกิดจากภายในจิตใจจริง มิใช่เพียงคำพูด (หมดความสงสัยว่าเรียนไปทำไม)

2. ต้องการให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ การใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ ผสมผสาน (บูรณาการ) ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เพื่อออกแบบหรือหาวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัด

การกำหนดวัตถุประสงค์จึงต้องมีวัตถุประสงค์หลัก ตามแนวคิดของสะเต็มศึกษาไว้เสมอ และอาจจะมีวัตถุประสงค์การเรียนรู้อื่นๆ เพิ่มเติม แต่ต้องระมัดระวังไม่ให้มากเกินไป หรือเบี่ยงเบนวัตถุประสงค์หลักของสะเต็มศึกษา

ตัวอย่างการกำหนดวัตถุประสงค์กิจกรรมสะเต็มศึกษา

วัตถุประสงค์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

1. เพื่อให้ผู้เรียนเห็นประโยชน์และความสำคัญวิชา วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และวิชาด้านเทคโนโลยี เพิ่มขึ้น

2. เพื่อให้ผู้เรียนเพิ่มความสนใจเรียน วิชาวิทยาศาสตร์ วิชาคณิตศาสตร์ และวิชาด้านเทคโนโลยี เพิ่มขึ้น

วัตถุประสงค์เพิ่มเติม

3. เพื่อให้ผลสัมฤทธิ์การเรียนของผู้เรียน เฉพาะความรู้เนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ ที่เกี่ยวข้องกับแก้ปัญหาครั้งนั้นๆ ให้สูงขึ้น

4. เพื่อพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียน ให้สูงขึ้น

ประการสำคัญ ขณะออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา จะต้องยึดวัตถุประสงค์นี้ไว้เสมอ

4.3 กำหนดความรู้ใช้อธิบายสถานการณ์ปัญหา

4.3.1 ออกแบบชุดคำอธิบายสถานการณ์ปัญหา

เนื่องจากการออกแบบชิ้นงานหรือแก้ปัญหาตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมนั้น จำเป็นต้องอิงความรู้ที่ใช้อธิบายชิ้นงาน ซึ่งเป็นความรู้ที่เกิดจากการเชื่อมโยงความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงานนั้นเข้าด้วย จึงมีความจำเป็นที่ผู้เรียนต้อง ทราบ/หรือ วิเคราะห์หา/หรือสร้าง ความรู้ที่ใช้อธิบายชิ้นงานนี้มาให้ได้ แต่เนื่องจากความรู้วิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่มีในบทเรียนตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานนั้น แยกกันเป็นรายวิชา แยกเป็นแต่ละเรื่อง โดยแต่ละวิชาจะเน้นหลักการ/กฎ/ทฤษฎี และตัวอย่างโจทย์เฉพาะวิชาตนเอง แต่การอธิบายชิ้นงานต่างๆ นั้นต้องนำความรู้วิชาต่างๆ เหล่านี้มาเชื่อมโยงผสมผสานกัน ประกอบตัวอย่างในบทเรียนกรณีการผสมผสานความรู้วิชาต่างๆ มีน้อย และผู้เรียนส่วนใหญ่ยังมีความรู้ความเข้าใจแม่นยำลึกซึ้งไม่เพียงพอ จึงไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้วิชาต่างๆ เหล่านี้ได้ด้วยตนเอง อาจมีเฉพาะผู้เรียนบางคนที่มีศักยภาพและเวลาเพียงพอเพียงไม่กี่คนที่สามารถวิเคราะห์ หา/เชื่อมโยง/สร้าง ความรู้เหล่านี้ได้

ดังนั้น หากให้ผู้เรียนศึกษาและหาวิธีการเชื่อมโยงผสมผสานความรู้วิชาต่างๆ เพื่ออธิบายชิ้นงานด้วยตนเอง อาจทำให้ผู้เรียนเกิดความท้อถอย ล้มเลิกการเรียน ผู้สอนจึงควรวิเคราะห์และจัดเตรียมรายละเอียดความรู้ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอธิบายชิ้นงาน ที่เห็นว่าเหมาะสมกับผู้เรียนไว้ล่วงหน้า <u>ส่วนการที่ผู้สอนจะนำไป บอก/แนะนำ ผู้เรียนอย่างไรนั้น ขึ้นกับดุลยพินิจของผู้สอน</u> นอกจากนี้การที่ผู้สอนวิเคราะห์และจัดเตรียมความรู้เหล่านี้ไว้ก่อน ยังช่วยให้ผู้สอนหรือผู้ออกแบบประเมินได้ว่า กิจกรรมสะเต็มเรื่องนี้ยากง่ายเหมาะสมกับนักเรียนของตนเองหรือไม่

อย่างไรก็ตาม ผู้สอนพึงระลึกเสมอว่า ความรู้หรือวิทยาการที่ใช้อธิบายชิ้นงานนั้นมีได้หลายวิธี นอกความรู้และวิธีอธิบายที่ผู้สอนวิเคราะห์และจัดเตรียมไว้แล้ว ยังมีความรู้และวิธีการอธิบายชิ้นงานเดียวกันนี้ด้วยวิธีการอื่นๆ ซึ่งในสถานการณ์การเรียนการสอนจริง ผู้เรียนบางคนที่ศักยภาพอาจนำเสนอความรู้หรือวิธีอื่นๆ ซึ่งผู้สอนควรเปิดใจกว้างรับฟัง

ความรู้และวิธีการอธิบายที่มีความยากง่ายซับซ้อนเหมาะสมกับศักยภาพการเรียนของผู้เรียน เป็นสิ่งสำคัญที่ผู้สอนและผู้ออกแบบต้องให้ความสำคัญ เพราะหากความรู้ที่ใช้อธิบายชิ้นงานยุ่งยาก ซับซ้อนเกินศักยภาพของผู้เรียน จะส่งผลให้ผู้เรียนลดความสนใจการเรียนอย่างรวดเร็ว เกิดความเบื่อหน่าย และมองว่าสะเต็มศึกษาไม่แตกต่างจากการเรียนเนื้อหาวิชาต่างๆ ในชั้นเรียนที่ตนเองประสบปัญหามาก่อนแล้ว ดังนั้นผู้สอนและผู้ออกแบบจึงต้องวิเคราะห์และเลือกวิธีการอธิบายชิ้นงานให้พอเหมาะ

ขั้นนี้มีความสำคัญต่อกิจกรรมสะเต็มศึกษามาก ผู้ออกแบบและผู้สอนไม่ควรข้ามหรือละเลย เพราะเป็นขั้นตอนที่จะทำให้ผู้เรียนมีประสบการณ์จริงว่า ถ้าไม่นำความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี มาผสมผสานกัน ตนเองจะปฏิบัติภารกิจ(ชิ้นงาน)ไม่ประสบความสำเร็จ ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดความตระหนักถึงความสำคัญ และเพิ่มความสนใจเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

แต่ขณะเดียวกัน ขั้นนี้เป็นขั้นที่ท้าทายผู้ออกแบบและผู้สอนสะเต็มศึกษามาก เพราะทันทีที่ผู้เรียนรู้ว่าตนเองจะต้องเรียนรู้ กฎ/หลัก/ทฤษฎี ผู้เรียนจำนวนหนึ่ง(อาจเป็นส่วนใหญ่)ที่มีทัศนคติทางลบมาก่อนแล้ว อาจแสดงพฤติกรรมไม่อยากเรียนรู้หรือต่อต้านก็เป็นได้

ผู้ออกแบบหรือผู้สอนวิเคราะห์ว่า ถ้าจะอธิบายการทำงานของชิ้นงานหรือการออกแบบชิ้นงานภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดนั้น จะต้องใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง และอาจรวมทั้งความรู้ด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องเรื่องใดบ้าง และอธิบายอย่างไร ซึ่งลักษณะการอธิบายอาจแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบคำอธิบายผสมสมการคณิตศาสตร์ หรือในรูปแบบเฉพาะคำบรรยาย *ทั้งนี้ทั้ง 2 รูปแบบที่กล่าวมา จะต้องนำเสนอรายละเอียดการอธิบาย ในระดับที่ทำให้ผู้เรียนเห็นสิ่งที่เป็นปัจจัยต้นเหตุ เพื่อนำใช้ในการวิเคราะห์ตามหลักกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม(Engineering process design) ในขั้นตอน 7 ต่อไป* ซึ่งจะเลือกรูปแบบใดนั้น มีคำแนะนำดังนี้

1. ถ้าความรู้เรื่องต่างๆ ที่นำมาอธิบายชิ้นงานนั้น ผู้เรียนได้เรียนรู้มาแล้ว รวมทั้งผู้สอนเห็นว่าผู้เรียนมีศักยภาพเรียนรู้ได้ ควรใช้รูปแบบคำอธิบายผสมสมการความสัมพันธ์ เช่น วิชาคณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ และวิชาเคมี เพราะเมื่อนำไปใช้ประกอบการวิเคราะห์และออกแบบชิ้นงาน ตามกระบวนออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ และได้ผลการออกแบบและวิธีการแก้ปัญหาที่ชัดเจน

ตัวอย่าง เช่น กิจกรรมสะเต็มเรื่องบันจี่จัมป์ทำจากเชือก 2 เส้น เส้นบนยืดไม่ได้ยาว x มีมวล m_x เส้นล่างยืดได้ยาว l มีมวล m_l มีค่าคงที่การยืด k คนกระโดดสูง y มีมวล m_M จุดกระโดดสูง H ซึ่งความรู้ที่ใช้อธิบายบันจี่จัมป์นั้น แยกได้ดังนี้

- วิทยาศาสตร์ (ฟิสิกส์) คือ พลังงานจลน์ พลังงานศักย์โน้มถ่วง ความยืดหยุ่น พลังงานศักย์ยืดหยุ่น และกฎคงตัวพลังงาน
- คณิตศาสตร์ คือ คณิตศาสตร์พื้นฐาน (บวก ลบ คูณ หาร รากที่สอง) สมการกำลังสอง
- เทคโนโลยี คือ การสืบค้นข้อมูล การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณ

อธิบาย(ย่อ)ได้ว่า ก่อนกระโดดเชือกทั้ง 2 เส้นและคนกระโดดมีเฉพาะพลังงานศักย์โน้มถ่วง หลังกระโดดพลังงานศักย์โน้มถ่วงของเชือก 2 เส้นและคนกระโดดจะลดลง พลังงานจลน์เพิ่มขึ้น และเชือกเส้นที่ 2 จะยืดยาวขึ้น พลังงานศักย์ยืดหยุ่นของเชือกเส้นที่ 2 จะเพิ่มขึ้น ณ.จุดต่ำสุดทั้งหมดจะหยุดนิ่งชั่วขระก่อนที่จะเด้งกลับ ณ จุดต่ำสุดจึงมีพลังงานจลน์เป็นศูนย์ พลังงานศักย์โน้มถ่วงน้อยสุด พลังงานศักย์ยืดหยุ่นมากสุด แต่ผลรวมพลังงานก่อนกระโดด ขณะกระโดด และที่จุดต่ำสุด จะเท่ากันตามกฎคงตัวพลังงาน (รายละเอียดความรู้อยู่ในภาคผนวก.....) เหตุการณ์ทั้งหมดเขียนแทนด้วยสมการหลายลักษณะ ทั้งไม่ซับซ้อนมาก จนถึงระดับซับซ้อนมาก ดังตัวอย่างสมการ(1) ไม่ซับซ้อนมาก และสมการ(2) ซับซ้อนมาก (สุธีระ ประเสร็ฐสรรพ์, 2559)

กรณีไม่ซับซ้อนมาก ; $mgh = \frac{1}{2}kd^2$ .....(1)

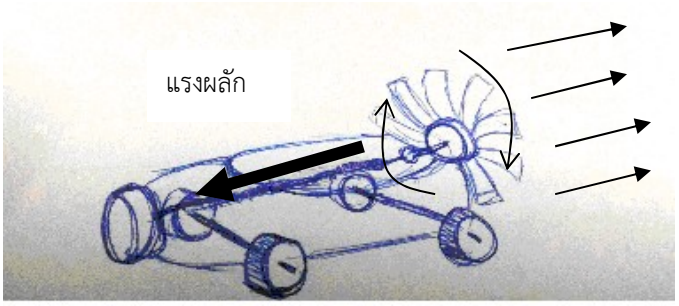
กรณีซับซ้อนมาก ; $(m_x + m_l + m_M)gH = m_x g\left(H - \frac{x}{2}\right) + m_l g\left[H - \left(x + \frac{l+d}{2}\right)\right] +$

$+ m_M g\left[H - \left(x + l + d + \frac{y}{2}\right)\right] + \left(\frac{1}{2}kd^2\right)$ .....(2)

แม้ว่าสมการที่(2) จะอธิบายได้แม่นยำกว่า แต่หากผู้สอนเห็นว่าไม่เหมาะกับศักยภาพผู้เรียน ก็อาจเลือกใช้สมการ(1)ได้ แต่ควรหาโอกาสชี้แจงให้ผู้เรียนทราบว่ายังมีสมการ(2) ที่ให้ผลแม่นยำกว่า

2. ถ้าความรู้วิชาต่างๆ ที่นำมาอธิบายชิ้นงานนั้น ผู้เรียนไม่เคยเรียนรู้มาก่อน หรือเคยเรียนรู้มาแล้วบางส่วนและมีบางส่วนที่ไม่เคยเรียนรู้มาก่อน หรือเห็นว่าซับซ้อนเกินศักยภาพผู้เรียน กรณีเช่นนี้ควรเป็นรูปแบบเฉพาะมีคำบรรยาย ไม่ควรมีสมการ

ตัวอย่าง ให้ผู้เรียนออกแบบและสร้างรถรูปร่างใดก็ได้ ขับเคลื่อนด้วยยาง กรณีเช่นนี้มีวิธีการอธิบายได้หลายวิธี ดังตัวอย่างต่อไปนี้

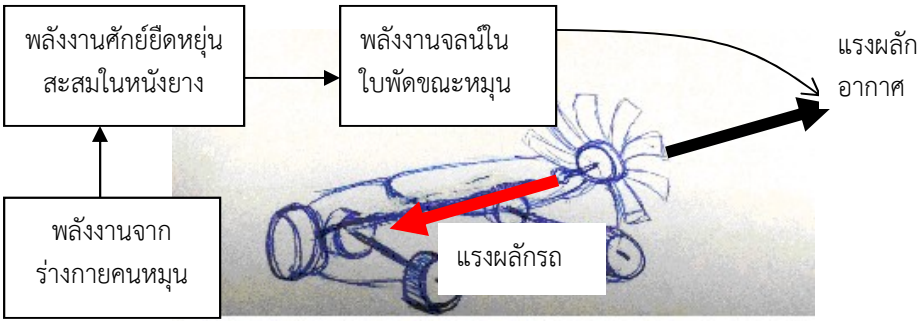


ขณะออกแรงหมุนใบพัดจะทำให้หนังยางบิดเกลียว พลังงานที่สะสมในร่างกายของคนจะส่งผ่านไปสะสมในหนังยางในรูปของพลังงานศักย์ยืดหยุ่น

เมื่อปล่อยมือ หนังยางจะพยายามหมุนคลายตัวเพื่อเข้าสู่สภาพหนังยางปกติ ขณะนี้พลังงานศักย์ยืดหยุ่นที่สะสมในหนังยางจะปล่อยออกมาและส่งผ่านไปให้ใบพัดหมุนในรูปพลังงานจลน์

พลังงานจลน์จากการหมุนของใบพัดจะผลักให้อากาศรอบๆ เคลื่อนตัวไปทางหลังรถ ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยากระทำต่อรถ ทำให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ตามกฎข้อที่ 3 ของนิวตัน ที่กล่าวว่า “ทุกแรงกระทำ จะมีแรงต้านที่มีขนาดเท่ากันแต่ทิศตรงข้าม”

กระบวนการทั้งหมด ถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงานให้แก่สิ่งอื่นๆ พลังงานที่ร่างกายคนเสียไปเพื่อหมุนใบพัด จะเท่ากับพลังงานศักย์ที่สะสมในหนังยาง จะเท่ากับพลังงานจน์ขณะใบพัดหมุน เพื่อเปลี่ยนเป็นแรงกระทำให้รถเคลื่อนที่ ดังภาพ



4.3.2 กำหนดวิธีการที่เป็นไปได้ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ความรู้ชุดนี้

ผู้ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา วิเคราะห์วิธีการที่จะให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ชุดความรู้หรือคำอธิบายว่ามีวิธีต่างๆ ที่เป็นไปได้...กี่วิธี โดยมีหลักดังนี้

1. ควรมีวิธีการให้ผู้สอนเลือก หลายวิธี
2. วิธีการต่างๆ ควรมีทั้งวิธีที่เหมาะสมกับกรณีผู้เรียนมีศักยภาพการเรียนสูง ปานกลาง และต่ำ
3. เปิดโอกาสให้ผู้สอน คิดวิธีการที่เหมาะสมกับนักเรียนของตนเอง

ตัวอย่าง

1. ถ้าผู้เรียนมีศักยภาพการเรียนค่อนข้างสูง และมีเวลาให้ผู้เรียนศึกษาค้นคว้ามากพอ ควรใช้วิธีให้ผู้เรียนศึกษาค้นคว้าหาวิธีการผสมผสานความรู้ด้วยตนเอง โดยผู้สอนชี้แนะหรือแนะนำ เพราะอาจได้วิธีผสมผสานความรู้แตกต่างกัน ได้แลกเปลี่ยนกัน เกิดมุมมองใหม่ๆ

2. ถ้าผู้เรียนมีศักยภาพการเรียนไม่สูงมาก หรือมีช่วงเวลาให้ผู้เรียนศึกษาค้นคว้าไม่มากพอ ผู้สอนควรใช้วิธีการ บอกหรือบรรยาย ความรู้เหล่านี้ให้ผู้เรียนโดยตรง เพราะจะช่วยลดระยะเวลาเรียนรู้ ทำความเข้าใจของผู้เรียนให้น้อยลง อีกทั้งไม่ทำให้ผู้เรียนท้อถอยเบื่อหน่ายถ้าต้องศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง นอกจากนี้ ถ้าผู้สอนนำเทคนิคการสอนที่น่าสนใจมาใช้ด้วยแล้ว จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ความรู้เหล่านี้ได้รวดเร็วและเข้าใจดียิ่งขึ้น

สิ่งสำคัญ ไม่ว่าละเลือกวิธีการใด ต้องพึงระลึกเสมอว่า อย่าให้ผู้เรียนเสียเวลากับขั้นตอนนี้มากเกินไป จนความตื่นเต้นจางหาย ผู้เรียนเกิดความเบื่อหน่าย ดังนั้นผู้สอนต้องสังเกตพฤติกรรมผู้เรียนตลอดเวลาว่า ความสนใจ ความตื่นเต้น ยังคงอยู่เหมือนเดิมหรือไม่ ผู้เรียนเบื่อหน่ายกับการหาความรู้/คำอธิบายหรือไม่ ซึ่งหากเห็นว่าผู้เรียนเริ่มเบื่อหน่าย ผู้สอนต้องรีบแก้ไขโดยใช้วิธีการอย่างใดอย่างหนึ่งให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ความรู้ชุดนี้ แม้ว่าผลการเรียนรู้จะไม่ได้ตามที่ผู้สอนคาดหวังก็ตาม

ตัวอย่าง กรณีบทเรียนเรื่อง *ออกแบบและสร้างเรือบรรทุกกระป๋องน้ำอัดลมบรรจุทราย*

วิธีการให้ผู้เรียนได้เรียนรู้

(.....) ให้ผู้เรียนค้นหาและเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยผู้สอนแนะนำช่วยเหลือ

(.....) ผู้สอนจัดเตรียมเอกสารความรู้เรื่องนี้ (ใบความรู้ที่ 1) ให้ผู้เรียนศึกษา

(.....) ผู้สอนอธิบายความรู้ทั้งหมด อย่างละเอียด จนผู้เรียนส่วนใหญ่เข้าใจ

คำแนะนำสำหรับผู้ออกแบบและผู้สอน

สิ่งที่ค่อนข้างยากสำหรับผู้สอน ก็คือ จะทำอย่างไรให้ผู้เรียนสนใจปฏิบัติตามขั้นที่ 4.4 - 4.7 เพราะเป็นขั้นที่จะฝึกทักษะกระบวนการทางวิศวกรรมให้แก่ผู้เรียน แต่ด้วยธรรมชาติและวัยของผู้เรียนอาจส่งผลให้ผู้เรียนส่วนใหญ่ไม่สนใจออกแบบวิธีการแก้ปัญหาตามกระบวนการเชิงวิศวกรรม โดยมองว่ามีขั้นตอนยุ่งยากและไม่จำเป็น หากผู้สอนปล่อยให้ผู้เรียนคิดหาวิธีการออกแบบแก้ปัญหาด้วยตนเอง จะพบว่าผู้เรียนจะใช้การลองผิดลองถูก ลอกเลียน ....ผลการออกแบบจึงเสี่ยงต่อความล้มเหลว ซึ่งเมื่อจบกิจกรรมการเรียนการสอน ผู้เรียนจะไม่เห็นความสำคัญของวิทยาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และไม่ได้ฝึกกระบวนการคิดเชิงวิศวกรรม

4.4 ทดลองวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการแก้ปัญหา

เนื่องจากการออกแบบเชิงวิศวกรรม จำเป็นต้องนำสิ่งต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลงาน (นิยมเรียกว่า “ปัจจัย”) มาวิเคราะห์ร่วมกัน เพื่อให้ผลงานบรรลุตามวัตถุประสงค์และมีประสิทธิภาพ ลดความเสี่ยงต่อการล้มเหลว เพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด ดังนั้นการได้ตัวปัจจัยที่ครอบคลุมและมากเพียงพอ จะส่งให้ประสบความสำเร็จในการออกแบบ แต่เนื่องจากผู้เรียนส่วนใหญ่อยู่ในวัยเด็กจึงไม่มีประสบการณ์เพียงพอ ที่จะสามารถวิเคราะห์หาปัจจัยได้ครอบคลุมและมากเพียงพอได้ด้วยตนเอง ด้วยเหตุนี้ ในการเรียนการสอนสะเต็มศึกษาครั้งแรกๆ ผู้สอนจึงควรแนะนำเทคนิควิธีการวิเคราะห์หาปัจจัยต่างๆ ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้เป็นพื้นฐานก่อน หลังจากนั้นเมื่อมีการเรียนสะเต็มศึกษาครั้งต่อไป ผู้เรียนจะสามารถวิเคราะห์ปัจจัยด้วยตนเองได้มากขึ้นๆ จนกระทั่งทำได้ด้วยตนเองทั้งหมด ....

ประการสำคัญ ผู้ออกแบบและผู้สอนต้องระลึกเสมอว่า ผู้เรียนแต่ละคนอาจวิเคราะห์ได้ปัจจัยไม่เหมือนกัน และได้จำนวนปัจจัยไม่เท่ากัน ขึ้นกับความรู้และประสบการณ์ของแต่ละคน

4.4.1 แนวทางการวิเคราะห์หาปัจจัยให้ครอบคลุม

ใช้แนวทางวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

1. ปัจจัยที่ได้จาก ความรู้ที่ใช้อธิบายและแก้ปัญหา (จากขั้น 4.3)

โดยการนำความรู้ที่จัดเตรียมไว้ตามขั้นที่ 4.3 มาวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบ ซึ่งจะวิเคราะห์ได้ค่อนข้างง่าย และปัจจัยที่วิเคราะห์ได้จะเป็นปัจจัยที่ส่งผลมาก เช่น กรณีมีสมการความสัมพันธ์ ตัวแปรแต่ละตัวในสมการจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบด้วย

2. ปัจจัยตามเงื่อนไขหรือข้อจำกัด

โดยการนำเงื่อนไขและข้อจำกัดมาวิเคราะห์ จะพบปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการออกแบบ ซ่อนไว้จำนวนมาก และแต่ละปัจจัยส่งผลต่อการออกแบบมากด้วยเช่นกัน ซึ่งหากละเลยปัจจัยชุดนี้ อาจทำให้ผลงานการออกแบบล้มเหลวหรือด้อยประสิทธิภาพ

3. ปัจจัยอื่นๆ เช่น ปัจจัยส่งผลต่อความปลอดภัย ปัจจัยส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

ตัวอย่าง กรณีกิจกรรมสะเต็มเรื่อง *ออกแบบและสร้างเรือบรรทุกกระป๋องบรรจุทราย ทำจากวัสดุใดก็ได้ แต่ขณะบรรทุกกระป๋องทราย ขอบบนเรือต้องสูงกว่าผิวน้ำไม่มากกว่า 0.5 cm*

1. ปัจจัยที่ได้จาก ความรู้ที่ใช้อธิบายและแก้ปัญหา คือ
   น้ำหนักเรือทั้งลำ(m); น้ำหนักขวดบรรจุทราย(M); ปริมาตรเรือทั้งลำ(V)
2. ปัจจัยตามเงื่อนไขหรือข้อจำกัด คือ
   - ชนิดวัสดุใช้ทำเรือ; รูปร่างเรือ; ขนาดเรือ; น้ำหนักเรือ
   - ความสมดุลของการออกแบบ; รูปร่างขวดบรรจุทราย
   - ตำแหน่งวางขวดบรรจุทรายบนเรือ; ความแข็งแรงวัสดุที่ใช้ทำเรือ ฯลฯ
3. ปัจจัยอื่นๆ เช่น
   3.1 ปัจจัยส่งผลต่อความปลอดภัย คือ
   - ความแข็งแรงวัสดุที่ใช้ทำเรือ; ขั้นตอนการสร้าง ฯลฯ
   3.2 ปัจจัยส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม คือ ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเรือ ฯลฯ

(หมายเหตุ แต่ละคนอาจวิเคราะห์ได้ปัจจัยแตกต่างกัน)

4.4.2 ผู้สอนวิเคราะห์หาวิธี ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้

จากนั้น ผู้ออกแบบต้องวิเคราะห์ว่า จะใช้วิธีการที่ทำผู้เรียนสามารถวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ได้ ซึ่งควรจะมีหลายวิธีการ เพื่อให้ผู้สอนเลือกใช้วิธีที่เหมาะกับผู้เรียนเป้าหมายมากที่สุด

4.5 ทดลองเขียนแผนผังความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่างปัจจัย

ขั้นนี้เป็นขั้นที่สำคัญขั้นหนึ่งของการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา เป็นขั้นที่ผู้เรียนจะได้ฝึกทักษะการคิดอย่างมาก

4.5.1 ทดลองวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

ในการออกแบบ ผู้ออกแบบต้องนำปัจจัยต่างๆ ที่ได้ตามขั้นที่ 7 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ต่อกัน ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ได้หลายวิธี หลายเทคนิค เช่น แผนภาพก้างปลา แผนภาพเชิงระบบ เป็นต้น เพื่อตรวจสอบความยากง่ายว่าเหมาะสมกับศักยภาพผู้เรียนหรือไม่ ซึ่งยากเกินศักยภาพผู้เรียน...ผู้ออกแบบอาจต้องวนกลับไปเริ่มออกแบบในขั้นแรกใหม่

ตัวอย่าง วิธีวิเคราะห์วิธีหนึ่งที่เหมาะกับระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน ก็คือ การหาความสัมพันธ์ในลักษณะที่ถ้าปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลง(เหตุ) จะทำให้อีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงอย่างไร(ผล) ซึ่งมี 2 กรณี

กรณีที่ 1 ความสัมพันธ์ทางตรง ซึ่งมีลักษณ์ที่ถ้าปัจจัยที่เป็นเหตุเพิ่ม → ปัจจัยที่เป็นผลจะเพิ่มตาม หรือถ้าปัจจัยที่เป็นเหตุลดลง → ปัจจัยที่เป็นผลจะลดลงตาม

ตัวอย่าง ถ้ามวลมาก(เหตุ) → น้ำหนักจะมาก(ผล)
ถ้าความดันน้อย(เหตุ) →แรงดันจะน้อย(ผล)

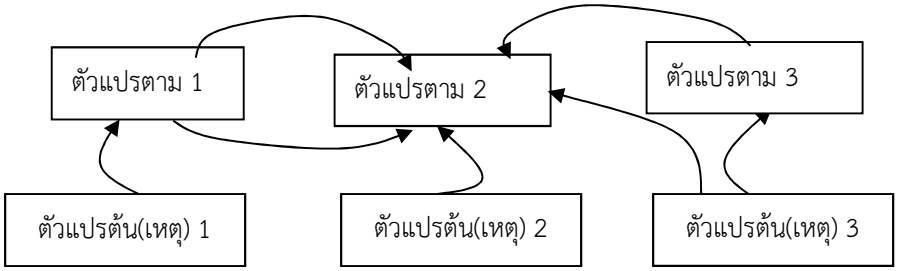
กรณี 2 ความสัมพันธ์ผกผัน ซึ่งมีลักษณ์ที่ถ้าปัจจัยที่เห็นเหตุเพิ่ม→ปัจจัยที่เป็นผลลดลง หรือ ถ้าปัจจัยที่เป็นเหตุลด → ปัจจัยที่เป็นผลจะเพิ่มขึ้น

ตัวอย่าง ถ้าอุณหภูมิในอากาศเพิ่ม → ความชื้นในอากาศจะลดลง
ถ้ามวลเพิ่มขึ้น → ความเร่งจะลดลง

จากนั้น ผู้ออกแบบต้องทดลอง นำผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ มาเขียนเขียนเป็นแผนผังลูกศรแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย โดยให้ปลายลูกศรออกจากปัจจัยที่เป็นต้นเหตุหัวลูกศรอยู่ที่ปัจจัยที่ได้รับผลกระทบ ทั้งนี้ปัจจัยแต่ละตัวอาจส่งผลกระทบต่อปัจจัยอื่นๆ พร้อมกันหลายตัวก็เป็นได้ ซึ่งจะพบว่าบางปัจจัยเป็นส่งผลกระทบต่อปัจจัยอื่น(เหตุ) แต่ขณะเดียวกันก็ได้รับผลกระทบมาจากปัจจัยอื่น(ผล) เมื่อวิเคราะห์ไปเรื่อยๆ จะเห็นการรับส่งการเป็นสาเหตุและผลกระทบกันเป็นทอดๆ ....เกิดเป็นแผนผังความสัมพันธ์เชิงเหตุผล ตามแนวการคิดอย่างเป็นระบบ (System thinking) ซึ่งอาจใช้เวลานานสมควรจึงจะเขียนแผนผังได้สมบูรณ์และครบทุกปัจจัย ดังภาพถัดไป

ทั้งนี้ ผู้ออกแบบต้องเข้าใจว่า สำหรับปัจจัยชุดหนึ่งๆ สามารถเขียนแผนผังได้หลายรูปแบบตามแต่วิธีคิด/มุมมอง/และประสบการณ์ ของผู้เรียนแต่ละคน

ภาพตัวอย่างแผนผังความสัมพันธ์แบบเหตุผลของปัจจัยต่างๆ

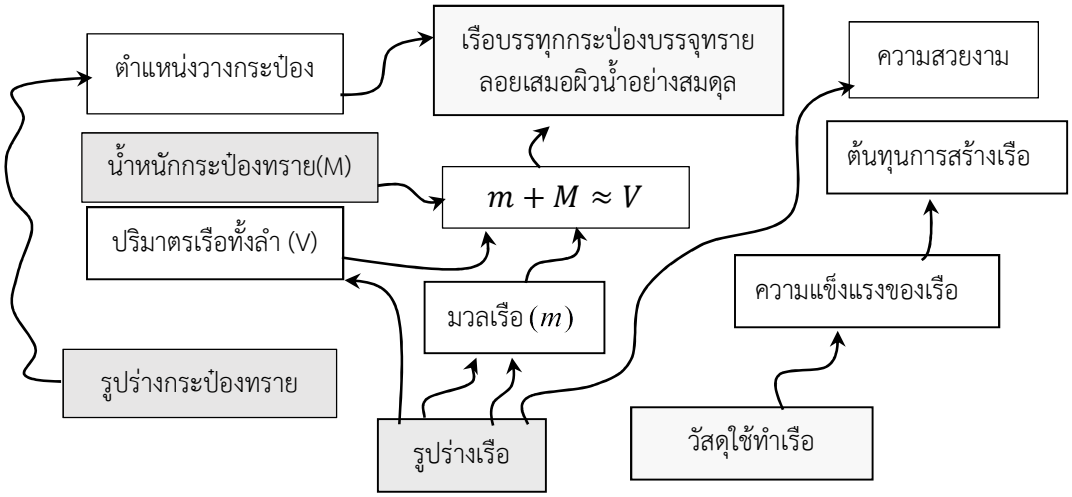


ตัวอย่าง..การวิธีวิเคราะห์โดยใช้แผนผังแสดงความสัมพันธ์เชิงเหตุผล

อย่างไรก็ตาม ผู้ออกแบบต้องระลึกว่า การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้น มีหลากหลายเทคนิค/หลายวิธี ตั้งแต่วิธีที่ใช้ทักษะคิดพื้นฐาน จนถึงวิธีที่ต้องเรียนรู้และฝึกฝนระดับวิชาชีพ จึงมีวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะกับวิศวกรรมศาสตร์แต่สาขา แตกต่างกัน

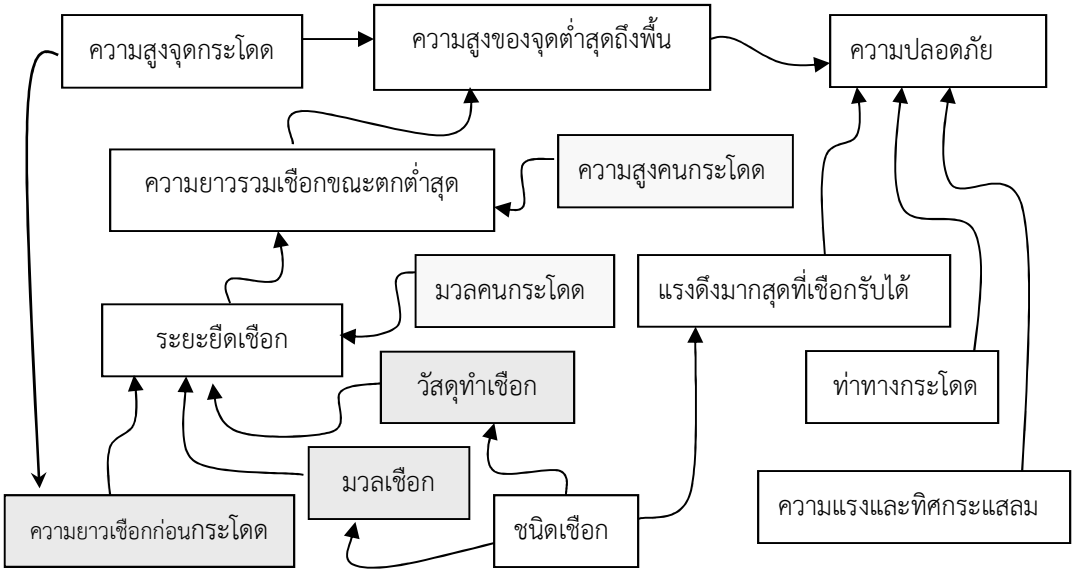
ตัวอย่าง กรณีออกแบบและสร้างเรือบรรทุกกระป๋องบรรจุทราย จมเสมอขอบเรือ ซึ่งเมื่อนำปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบทั้งหมด มาวิเคราะห์หาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย แล้ววาดเป็นแผนผัง จะได้ดังตัวอย่างภาพล่าง ซึ่งเป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้น

ภาพ ตัวอย่างการเขียนแผนผังความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย



หรือกรณี แผนผังความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย กรณีบันจี่จัมป์เชือกเส้นเดียว ที่ยืดได้ ตามภาพล่าง

ภาพ แผนผังความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบบันจี่จัมบ์ เชือกเส้นเดียว



4.5.2 ผู้สอนวิเคราะห์หาวิธี ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้

จากนั้น ผู้ออกแบบต้องวิเคราะห์ว่า จะใช้วิธีการที่ทำผู้เรียนสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ได้ ซึ่งควรจะมีหลายวิธีการ เพื่อให้ผู้สอนเลือกใช้วิธีที่เหมาะกับผู้เรียนเป้าหมายมากที่สุด

4.6 ทดลองวิเคราะห์วิธีแก้ปัญหาวิธีต่างๆ ที่เป็นไปได้

เป็นอีกขั้นหนึ่งที่ผู้เรียนจะได้เรียนรู้ฝึกฝนทักษะการคิด โดยเฉพาะการคิดเชิงวิศวกรรม ที่โดดเด่น คือ ผู้เรียนจะได้เรียนรู้ว่า วิธีการแก้ปัญหานั้นมีได้หลายวิธีการ หรืออาจมีหลายคำตอบ มิใช่มีเพียงวิธีการเดียวหรือคำตอบเดียวดังที่ผู้เรียนเข้าใจ ดังนั้นผู้สอนและผู้ออกแบบควรให้ความสำคัญ และพยายามออกแบบกิจกรรมเรียนการสอนให้น่าสนใจและเหมาะสมกับศักยภาพผู้เรียนให้มากสุด ซึ่งจากการทดลองกิจกรรมสะเต็มศึกษาผ่านมา ผู้เขียนพบว่าในการจัดการเรียนการสอนสะเต็มศึกษากับผู้เรียนที่เพิ่งเรียนรู้สะเต็มศึกษาครั้งแรก ผู้สอนควรแนะนำหรือสอนและควบคุมให้ผู้เรียนปฏิบัติตามขั้นนี้ให้มากที่สุด อย่าปล่อยให้ผู้เรียนปฏิบัติเอง (ถ้าปล่อย...ผู้เรียนมักจะละเลยไม่ปฏิบัติ หรือปฏิบัติไม่จริงจัง..เพื่อเห็นว่าไม่มีความจำเป็น) เพื่อให้ผู้เรียนเห็นความสำคัญของขั้นที่ 9 ต่อเมื่อการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาในรอบต่อๆ มา จึงค่อยให้ผู้เรียนดำเนินการเอง

4.6.1 ทดลองวิเคราะห์ว่า วิธีแก้ปัญหาหรือวิธีออกแบบ มีได้กี่วิธี

ดังที่กล่าวมาแล้วแต่ต้นว่า ในสถานการณ์และเงื่อนไขหนึ่ง ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการคิดเชิงวิศวกรรมจะไม่มีเพียงวิธีการเดียวหรือชนิดเดียว แต่มีได้หลายวิธีการหรือหลายชนิด ส่วนการจะตัดสินใจเลือกวิธีการใดนั้น ผู้ออกแบบหรือเจ้าของผลผลิตจะต้องวิเคราะห์และตัดสินใจ

มีเทคนิคและวิธีการที่หลากหลาย ที่ใช้ในการวิเคราะห์ว่าวิธีการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ (วิธีแก้ปัญหามีกี่วิธี) บางวิธีใช้ได้กับหลายปัญหา แต่บางวิธีการเหมาะกับลักษณะปัญหาแบบหนึ่งแต่ไม่เหมาะกับปัญหาอีกลักษณะหนึ่ง บางวิธีการมีขั้นตอนการวิเคราะห์ และบางวิธีการไม่มีขั้นตอนการวิเคราะห์ แต่สิ่งหนึ่งที่จำเป็นก็คือ ประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์

สำหรับในสะเต็มศึกษาซึ่งผู้เรียนยังมีวัยวุฒิ ความรู้ และประสบการณ์ยังไม่มาก วิธีการที่นำมาให้ผู้เรียนใช้ ต้องเหมาะสมกับศักยภาพและบริบทด้านต่างๆ ของผู้เรียน ไม่ใช้ใช้วิธีการซับซ้อนมากหรือใช้เวลามาก เพราะอาจจะทำให้ผู้เรียนลดความตื่นเต้นและสนใจกิจกรรมสะเต็มศึกษาลดลง

มีวิธีการวิเคราะห์วิธีหนึ่ง ที่ผู้เขียนเคยทดลองใช้มาแล้ว พบว่าได้ผลน่าพอใจระดับหนึ่ง ใช้เวลาไม่มาก และเหมาะสมกับผู้เรียนระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน ดังมีขั้นตอนต่อไปนี้

1. พิจารณาแผนผังความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (จากขั้นที่ 4.5) หาปัจจัยที่เป็นเหตุมาก (มีหางของหลายลูกศรอยู่ที่ปัจจัยนี้ หรือมีลูกศรหลายลูกศรพุ่งออกจากปัจจัยนี้) ปัจจัยที่มีลักษณะเช่นนี้(ปัจจัยหลัก) จะเป็นต้นเหตุหรือส่งผลกระทบต่อปัจจัยอื่นๆ หลายปัจจัย ดังนั้นการออกแบบที่เริ่มจากปัจจัยนี้จะส่งผลกระทบต่อเนื่องต่อปัจจัยอื่นๆ หรือส่งผลต่อระบบการทำงานรวม

2. วิเคราะห์เส้นทางความสัมพันธ์โดยเริ่มปัจจัยหลัก ไปยังปัจจัยอื่นๆ จนไปสิ้นสุดที่เป้าหมายของการออกแบบ ซึ่งเราจะเห็นเส้นทางได้มากกว่า 1 เส้นทาง ซึ่งหมายถึงวิธีการออกแบบได้หลายวิธี นั่นเอง

3. นำเส้นทางต่างๆ มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน เพื่อเลือกเส้นทางที่ดีที่สุด โดยนำปัจจัยด้านอื่นๆ ที่ควรคำนึงถึงมาร่วมพิจารณาด้วย เช่น ความยากง่ายแต่ละเส้นทาง ความสามารถของผู้ออกแบบ ระยะเวลา งบประมาณ ความปลอดภัย ฯลฯ

ตัวอย่าง การออกแบบและสร้างเรือบรรทุกกระป๋องทราย จากแผนผังความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร(จากขั้น 4.4) เมื่อวิเคราะห์แผนผัง จะเห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัจจัยอื่นๆ หลายปัจจัย คือ รูปร่างกระป๋องทราย นำหนักกระป๋องทราย และ ชนิดวัสดุที่ทำเรือ และวิธีการแก้ปัญหาหรือวิธีการออกแบบที่เป็นไปได้ มีดังนี้

วิธีออกแบบเรือ วิธีที่ 1

วัดขนาดกระป๋องทราย → ชั่งน้ำหนักกระป๋องทราย(M) → ออกแบบรูปร่างเรือและขนาดลำเรือ(V) → เลือกวัสดุทำเรือ → คำนวณปริมาตรลำเรือ(V) → คำนวณมวลเรือ(m) →เปรียบเทียบ m+M ≈ V หรือไม่ ... ถ้าไม่...วนกลับออกแบบรูปร่างเรือและขนาดเรือซ้ำ กันกระทั่งได้ → กำหนดตำแหน่งวางกระป๋องให้สมดุล →พิจารณาความยากง่ายการจัดหาวัสดุและต้นทุนการสร้าง

วิธีออกแบบเรือ วิธีที่ 2

วัดขนาดกระป๋องทราย → ชั่งน้ำหนักกระป๋องทราย(M) → ออกแบบรูปร่างเรือและขนาดลำเรือ(V) → กำหนดตำแหน่งวางกระป๋องให้สมดุล →เลือกวัสดุทำเรือ → คำนวณปริมาตรลำเรือ(V) → คำนวณมวลเรือ(m) →เปรียบเทียบ m+M ≈ V หรือไม่ ... ถ้าไม่...วนกลับออกแบบรูปร่างเรือและขนาดเรือซ้ำ กันกระทั่งได้ → พิจารณาความยากง่ายการจัดหาวัสดุและต้นทุนการสร้าง

วิธีออกแบบเรือ วิธีที่ 3

เลือกวัสดุใช้ทำเรือ→ พิจารณาความยากง่ายในการจัดหาวัสดุ→วัดขนาดกระป๋องทราย → ชั่งน้ำหนักกระป๋องทราย(M) → ออกแบบรูปร่างเรือและขนาดลำเรือ(V) → กำหนดตำแหน่งวางกระป๋องให้สมดุล → คำนวณปริมาตรลำเรือ(V) → คำนวณมวลเรือ(m) →เปรียบเทียบ m+M ≈ V หรือไม่ ... ถ้าไม่...วนกลับออกแบบรูปร่างเรือและขนาดเรือซ้ำ กันกระทั่งได้—ต้นทุนสร้าง

นอกจากวิธีการออกแบบเรือ ทั้ง 3 วิธีที่กล่าวมาแล้ว ยังมีวิธีอื่นๆ อีก (ผู้อ่านควรทดลองหาวิธีอื่นๆ เพิ่มเติม ให้มากสุด) ซึ่งจะเลือกใช้จริงวิธีการใดนั้น ขึ้นกับผู้ออกแบบหรือผู้เรียนแต่ละคน ซึ่งเราจะไม่สามารถตัดสินได้ว่า วิธีการใดดีที่สุด เพราะขึ้นกับความสามารถ ทักษะ และบริบทการดำเนินชีวิตของผู้เรียนแต่ละคน เช่น ผู้เรียนบางคนอาจมองว่า การเลือกวัสดุเป็นสิ่งสำคัญต้องเริ่มก่อน..จะเลือกใช้วิธี 3 ขณะที่บางคนเห็นว่า การเลือกวัสดุทำเรือไว้เป็นอันดับสุดท้าย..จะเลือกวิธีที่ 1 หรือ 2 เป็นต้น

4.6.2 ผู้สอนวิเคราะห์หาวิธี ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้

จากนั้น ผู้ออกแบบต้องวิเคราะห์ว่า จะใช้วิธีการที่ทำผู้เรียนสามารถวิเคราะห์หาวิธีการออกแบบเหล่านี้ได้ ซึ่งควรจะมีหลายวิธีการ เพื่อให้ผู้สอนเลือกใช้วิธีที่เหมาะกับผู้เรียนเป้าหมายมากที่สุด

ขั้นที่ 5 ออกแบบวิธีการวัดและประเมิน

สำหรับแนวทางการออกแบบวิธีการวัดและประเมินผลกิจกรรมสะเต็มศึกษา มีดังนี้

1. ควรมีการวัดและประเมินว่า *หลังเสร็จสิ้นกิจกรรมสะเต็มศึกษาแต่ละเรื่องหรือแต่ละครั้งแล้ว ผู้เรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงในด้าน เห็นความสำคัญ ประโยชน์ และ(จะ)สนใจเรียนวิชา วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เพิ่มขึ้นหรือมากกว่าเดิมที่เป็นมา หรือไม่* ซึ่งวิธีการและเครื่องมือที่ใช้วัดประเมินมีได้หลายลักษณะ เช่น การสังเกต การสุ่มถามโดยผู้เรียนไม่รู้ว่าถามไปเพื่ออะไร(ผู้เรียนจะตอบตามที่รู้สึกจริงมากสุด) และการใช้แบบสอบถาม เป็นต้น ส่วนจะเลือกวิธีการและเครื่องมือใดนั้น ขึ้นกับดุลพินิจของผู้สอน เช่น ถ้าต้องการทำการวิจัยในชั้นเรียนอาจต้องใช้วิธีการและเครื่องมือที่มีมาตรฐาน แลดำเนินการวัดประเมินอย่างจริงจัง แต่ถ้าต้องการทราบเพื่อปรับปรุงการเรียนการสอนนครั้งต่อไป..อาจใช้เพียงการสังเกตหรือการสุ่มสอบถาม ก็เพียงพอ

2. ควรประเมินผลงานหรือชิ้นงานของผู้เรียน โดยมีแนวทางดังนี้

2.1 ประเมินการออกแบบชิ้นงานที่ผู้เรียนออกแบบ (ในกระดาษหรือคอมพิวเตอร์) โดยควรประเมินชิ้นงานที่ผู้เรียนออกแบบ ทุกครั้ง/ทุกชิ้น เพื่อให้เห็นพัฒนาการด้านความคิดของผู้เรียน

2.2 ประเมินชิ้นงานที่ผู้เรียนสร้างจริง ทุกครั้ง/ทุกชิ้น เพื่อให้เห็นพัฒนาการด้านทักษะการปฏิบัติของผู้เรียน

2.3 ประเมินประสิทธิภาพของชิ้นงาน โดยผู้สอนควรกำหนดวิธีการ หา/คำนวณ/ประเมินหาประสิทธิภาพของชิ้นงาน เพื่อนำมาให้ผู้เรียนใช้ประเมินประสิทธิภาพชิ้นงานของผู้ตนเองตลอดระยะเวลาการเรียนการสอน ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนทราบความก้าวหน้าการออกแบบและการทำงานของตนเอง นำไปสู่การปรับปรุงให้ดีขึ้นพัฒนาขึ้น

3. ประเมินความรู้ที่ใช้อธิบายหรือออกแบบชิ้นงาน (อาจเรียกว่า ประเมินผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้) ซึ่งเป็นความรู้จากการผสมผสานเชื่อมโยงด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เข้าด้วยกัน แต่ทั้งนี้ผู้สอนไมควรให้ความสำคัญ(น้ำหนักคะแนน)การประเมินความรู้มากเกินไป เพราะไม่ใช่วัตถุประสงค์ของสะเต็มศึกษา เพราะอาจทำให้ผู้เรียนเครียดกับผลการประเมิน ส่งผลให้ทัศนคติต่อทั้ง 3 วิชาไม่ดีขึ้นกว่าเดิม หรืออาจทำให้มีทัศนคติลบมากขึ้น

4. ประเมินด้านอื่นๆ ตามความต้องการของผู้สอน เช่น ประเมินทักษะต่างๆ ที่สอดคล้อง กับทักษะในศตวรรษที่ 21 เช่น ทักษะการคิด ทักษะการทำงานร่วมกัน ทักษะการสื่อสาร และทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ เป็นต้น

ขั้นที่ 6 ทดลองแก้ปัญหาจริงและทดลองประเมิน

เพื่อให้ผู้ออกแบบมั่นใจว่า เมื่อนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ออกไปจัดการเรียนการสอนจริงกับผู้เรียนในชั้นเรียน จะประสบความสำเร็จ หรือมีปัญหาน้อย ผู้ออกแบบจึงควรสมมุติตัวเองเป็นผู้เรียนและทดลองสร้างชิ้นงานจริงด้วยตนเอง โดยเฉพาะสถานการณ์หรือชิ้นงานที่ค่อนข้างซับซ้อนหรือผู้เรียนไม่คุ้นเคยมาก่อน เพื่อเตรียมการป้องกันและช่วยเหลือผู้เรียนในชั้นเรียน เพราะเมื่อเกิดปัญหาในชั้นเรียนแล้วทั้งผู้เรียนและผู้สอนไม่สามารถแก้ปัญหาได้ จะส่งผลลบอย่างมาก

อย่างไรก็ตาม กรณีที่ผู้ออกแบบมั่นใจว่า สถานการณ์หรือชิ้นงานที่จะให้ผู้เรียนออกแบบ(และสร้าง)จริงนั้น เหมาะสมกับศักยภาพผู้เรียน และมีปัญหาน้อย หรืออาจมีแต่สามารถแก้ไขได้ ... กรณีเช่นนี้ผู้ออกแบบไม่ต้องทดลองสร้างชิ้นงานก็ได้

หลังจากทดลองสร้างชิ้นงานจริงแล้ว ถ้าพบปัญหามากหรือแก้ไขไม่ได้ ผู้ออกแบบสามารถบนกลับไปเริ่มออกแบบในขั้นแรกๆ ใหม่ได้

ผู้ออกแบบควรทดลองใช้วิธีการและแบบวัดประเมินผลที่สร้างเตรียมไว้ในขั้นที่ 5 ไปทดลองประเมินชิ้นงานที่สร้างจริงตามขั้นที่ 6 เพื่อตรวจสอบและปรับปรุงแบบประเมินให้บกพร่องน้อยสุด ก่อนนำไปจัดการเรียนการสอนกับผู้เรียนในชั้นเรียนจริง

ขั้นที่ 7 นำข้อมูลทั้งหมดไปออกแบบขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ (แผนการสอน)

เมื่อผู้ออกแบบดำเนินการผ่านขั้นตอนต่างๆ จาก 4-6 มาครบแล้ว เห็นว่ากิจกรรมสะเต็มที่กำลังออกแบบมีความเหมาะสม สามารถนำไปจัดการเรียนการสอนจริงในชั้นเรียนได้ ผู้ออกแบบและผู้สอนจะต้องนำข้อมูลต่างๆ ที่ได้ดำเนินการทั้งหมด มาวางแผนการสอน และควรเขียนแผนสอนหรือแผนจัดการเรียนรู้ เพื่อให้การเรียนการสอนที่จะเกิดมีประสิทธิภาพมากสุด

สำหรับแผนการสอนนั้น ควรดำเนินการตามกระบวนออกแบบเชิงวิศวกรรม(engineering process design)ให้ได้ทุกขั้นตอนเท่าที่จะทำได้หรือเห็นว่าเหมาะสม หรือนำขั้นตอนการออกแบบเชิงวิศวกรรมไปประยุกต์ออกแบบแผนจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ทักษะกระบวนการทางวิศวกรรมมากสุด และไม่ควรนำ วิธีสอน/รูปแบบการสอน/ทฤษฎีการสอน/ฯลฯ ต่างๆ เข้ามาใช้ในการเรียนการสอน เพราะอาจทำให้ผู้เรียนสับสนหรืออาจทำให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และฝึกฝนกระบวนการคิดทางวิศวกรรมน้อยลง แต่หากนำมาผสมผสานควรระมัดระวังให้มาก

ตัวอย่าง กรณีออกแบบและสร้างเรือบรรทุกกระป๋องทราย อาจประกอบด้วยการสอน 3 ครั้ง ครั้งละไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง โดยแต่ละครั้งมีขั้นตอนการเรียนการสอน ที่สอดคล้องกับกระบวนการทางวิศวกรรม ดังนี้

กิจกรรมการเรียนการสอน ครั้งที่ 1 มีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างความสนใจแก่ผู้เรียน
2. แจ้งภารกิจ การออกแบบเรือ พร้อมด้วยเงื่อนไข และการวัดประเมินผล
3. แนะนำผู้เรียนวิเคราะห์สถานการณ์ปัญหา ความต้องการ และเงื่อนไข
   3.2 ปัญหาและความต้องการ = ออกแบบและสร้างเรือให้บรรทุกกระป๋องทราย
   3.2 เงื่อนไข = เรือต้องจมน้ำ ขอบเรือสูงพื้นผิวน้ำน้อยกว่า 0.2 cm
4. ให้ผู้เรียนทดลองออกแบบและสร้างเรือด้วยประสบการณ์เดิม พร้อมประเมินผลเรือ
5. แนะนำผู้เรียนรวบรวมข้อมูลต่างๆ
   5.1 ให้ผู้เรียนสืบค้นรูปร่างเรือต่างๆ
   5.2 ให้ผู้เรียนสืบค้นว่า ปัญหาเช่นนี้มีใครทำมาก่อนแล้ว...และทำอย่างไร และสิ่งใดสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้บ้าง
   5.3 ผู้สอนอธิบายหรือให้ผู้เรียนค้นหาความรู้ที่อธิบายการสร้างเรือ (ใบความรู้)

กิจกรรมการเรียนการสอน ครั้งที่ 2 มีขั้นตอนดังนี้

1. แนะนำการวิเคราะห์และออกแบบเรือ
   1.1 ผู้สอนอธิบาย/แนะนำ วิธีวิเคราะห์หาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการสร้างเรือ แล้วให้ผู้เรียนทดลองปฏิบัติจริง
   1.2 ผู้สอนอธิบาย/แนะนำ วิธีวิเคราะห์และเขียนแผนผังความสัมพันธ์เชื่อมโยงเชิงเหตุผลระหว่างปัจจัยต่างๆ แล้วให้ผู้เรียนทดลองปฏิบัติจริง

1.3 ผู้สอนอธิบาย/แนะนำ...วิธีวิเคราะห์การออกแบบเรือวิธีต่างๆ ที่เป็นไปได้ แล้วให้ผู้เรียนทดลองปฏิบัติจริง

1.5 ผู้สอนอธิบาย/แนะนำ...วิธีวิเคราะห์การเลือกวิธีออกแบบเรือที่ดีที่สุด

2. ให้ผู้เรียนออกแบบเรือจริงในกระดาษ ตามวิธีการเลือกตามข้อ 1.5 พร้อมตรวจสอบและปรับปรุงให้มีความถูกต้อง

3. ให้ผู้เรียนนำเรือที่ออกแบบในกระดาษ มานำเสนอแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างกัน

4. ให้ผู้เรียนปรับปรุงเรือที่ออกแบบในกระดาษ เป็นครั้งสุดท้าย

กิจกรรมการเรียนการสอน ครั้งที่ 3 มีขั้นตอนดังนี้

1. ผู้สอนแนะนำผู้เรียน...วิธีวิเคราะห์เพื่อสร้างแผนการทำงานสร้างเรือจริง ซึ่งอย่างน้อยควรมีรายละเอียดต่อไปนี้

   1.1 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้สร้างเรือจริงมีอะไรบ้าง จัดหาได้อย่างไร

   1.2 การสร้างเรือจริง มีลำดับขั้นตอนอย่างไร อะไรต้องทำก่อน อะไรทำภายหลัง

2. ให้ผู้เรียนลงมือสร้างเรือจริงตามแผนการทำงานที่เขียนไว้ พร้อมประเมินประสิทธิภาพเรือที่สร้างจริงด้วยตนเอง และปรับปรุง จนได้เรือตามที่ออกแบบและดีที่สุด

2. ผู้สอนประเมินประสิทธิภาพเรือที่สร้างจริงของผู้เรียน

3. ผู้สอนวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

4. ผู้สอนและผู้เรียน ร่วมกันสรุปกิจกรรมการเรียนการสอนครั้งนี้

ขั้นที่ 8 นำไปทดลองสอน และปรับปรุง วนรอบ

ผู้สอนนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ออกแบบ ไปทดลองสอนจริงกับนักเรียน พร้อมปรับปรุงกิจกรรมวนรอบซ้ำ ซึ่งจะทำให้กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

บรรณานุกรม

กระทรวงศึกษาธิการ. (2559). การประชุมคณะกรรมการพัฒนาหลักสูตรการจัดการเรียนการสอนสะเต็มศึกษา ในสถานศึกษา วันที่ 27 พฤษภาคม 2559 , http://www.moe.go.th/websm/2016/may/218.html ; เข้าถึงเมื่อ 1 มกราคม 2560.

นิศากร สมสุข , วรลักษณ์ จันทร์กระจ่าง และ สมบัติ ทีฆทรัพย์. 2550) วารสารทันลกวิทยาศาสตร์ ปีที่ 7 (2). , ออนไลน์ http://sci.bsru.ac.th/sciweb/e-magazine/7-2/chapter-4.pdf เข้าถึงเมื่อ 1 มกราคม 2560

Engineering design, 2005 Kanchit Malaivongs, 2005) สไลด์ประกอบบรรยาย http://www.drkanchit.com/presentations/EngDesign01.pdf, เข้าถึงเมื่อ 1 มกราคม 2560

กฤลดา ชูสินคุณาวุฒิ. 2557. กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม คืออะไร 2557. วรสาร สสวท. ปีที่ 42 ฉบับที่ 190 กันยายน-ตุลาคม 2557. ออนไลน์ http://physics.ipst.ac.th/wp-content/uploads/sites/2/2015/06/IPSTMag_EngineeringDesign.pdf เข้าถึงเมื่อ 1 มกราคม 2560

สถาบันส่งเสริมการเรียนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สสวท.). 2557. ความรู้เบื้องต้นสะเต็มศึกษา ช่วงชั้นที่ 1 – ช่วงชั้นที่ 4 พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2558 โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว

สุธีระ ประเสริฐสรรพ์. (2559). สะเต็มศึกษา: ปัญญาจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม: นำศิลป์โฆษณา จำกัด, 123 หน้า. ISBN 978-616-7739-91-5.

สุธีระ ประเสริฐสรรพ์. (2558). สะเต็มศึกษา: ความท้าทายใหม่ของการศึกษาไทย: นำศิลป์โฆษณา จำกัด, 192 หน้า. ISBN 978-616-7739-80-9.

ผนวก 4
แบบประเมินคุณภาพกิจกรรมสะเต็มศึกษา

คำชี้แจง แบบประเมินคุณภาพกิจกรรมสะเต็มศึกษาฉบับนี้ แบ่งเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ฟอร์มบันทึกข้อมูลทั่วไป

ตอนที่ 2 ประเมินความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของสะเต็มศึกษา ในด้านต่อไปนี้

2.1 ทำให้ผู้เรียนเห็นคุณค่า ความสำคัญ และประโยชน์ ของวิชาวิทยาศาสตร์ วิชาคณิตศาสตร์ และวิชาเทคโนโลยี

2.2 ทำให้ผู้เรียนสนใจและตั้งใจเรียน วิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

2.3. ทำให้ผู้เรียนเรียนรู้ การออกแบบตามหลักวิศวกรรมศาสตร์

2.4 การพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ และการคิดอื่นๆ

2.5 การพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21

2.6 การพัฒนาคุณลักษณ์พึงประสงค์

ตอนที่ 3 ประเมินความเหมาะสมด้านต่างๆ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

1. ชื่อกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ประเมิน .....

.....

ระดับชั้นหรือช่วงชั้น .....

2. ชื่อเจ้าของผลงาน (กิจกรรมสะเต็มศึกษา).....
สังกัด/สถานศึกษา.....

ตำบล.....อำเภอ.....จังหวัด.....

3. ชื่อผู้ประเมิน .....

สังกัด/สถานศึกษา.....

ตำบล.....อำเภอ.....จังหวัด.....

4. ประเมินวันที่ ..... เดือน..... พ.ศ. 2560

ตอนที่ 2 ประเมินความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของสะเต็มศึกษา

ให้ท่านวิเคราะห์ว่ากิจกรรมสะเต็มศึกษา ทำให้ผู้เรียน **เกิด/มี/พัฒนา** ในแต่ละข้อเพียงใดหรือระดับใด แล้วทำเครื่องหมาย X หรือ / ในช่องที่ตรงกับความเห็นของท่าน

5 = มากสุด 4 = มาก 3 = ปานกลาง 2 = น้อย 1 = น้อยมาก

ข้อ	สิ่งที่ประเมิน	5	4	3	2	1
1	เห็นความสำคัญ คุณค่า และประโยชน์ ของวิชาวิทยาศาสตร์					
2	เห็นความสำคัญ คุณค่า และประโยชน์ ของวิชาคณิตศาสตร์					
3	เห็นความสำคัญ คุณค่า และประโยชน์ ของวิชาเทคโนโลยี					
	เห็นความสำคัญ คุณค่า และประโยชน์ ของวิศวกรรมศาสตร์					
4	ได้เรียนรู้การออกแบบวิธีแก้ปัญหา ด้วยกระบวนการเชิงวิศวกรรม					
5	ได้เรียนรู้การบูรณาการความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เข้าด้วยกัน เพื่ออธิบายหรือแก้ปัญหาต่างๆ					
6	เห็นประโยชน์และความสำคัญของการบูรณาการวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เข้าด้วยกัน					
7	ให้ความสนใจและตั้งใจเรียนวิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น					
8	ให้ความสนใจและตั้งใจเรียนวิชาคณิตศาสตร์เพิ่มขึ้น					
9	ให้ความสนใจและตั้งใจเรียนวิชาเทคโนโลยีเพิ่มขึ้น					
10	การพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์					
11	การพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์					
12	การพัฒนาทักษะการคิดอื่นๆ เช่น วิจารณญาณ เชิงระบบ ฯลฯ					
13	การพัฒนาทักษะแห่งศตวรรษที่ 21					
14	ได้เรียนรู้การวางแผนการทำอย่างเป็นระบบ คำนึงปัจจัยรอบด้าน					
15	ได้เรียนรู้ฝึกฝนการทำงานร่วมกันเป็นทีม					
16	ผู้เรียนต้องนำความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี มาบูรณาการร่วมกับประสบการณ์ของตนเอง จึงจะแก้ปัญหาสำเร็จ					

ตอนที่ 3 ประเมินด้านต่างๆ

ให้ท่านวิเคราะห์ว่ากิจกรรมสะเต็มศึกษา **มีความเหมาะสม** ในแต่ละข้อเพียงใดหรือระดับใด แล้วทำเครื่องหมาย X หรือ / ในช่องที่ตรงกับความเห็นของท่าน

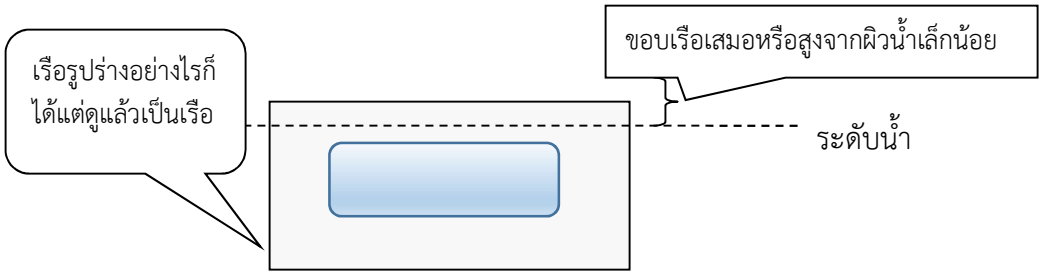
ข้อ	สิ่งที่ประเมิน	5	4	3	2	1
1	ความเหมาะสมกับบริบทการศึกษาของประเทศไทย					
2	สามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับบริบทการศึกษาของโรงเรียนต่างๆ					
3	ความเหมาะสมกับ ความสนใจในช่วงวัยของผู้เรียน					
4	ความเหมาะสมกับศักยภาพของผู้เรียน					
5	ความเหมาะสมของระยะเวลาการเรียนการสอน					
6	ความสะดวกในการเตรียมการสอนของผู้สอน					
7	ความสะดวกในการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ของผู้สอน					
8	ประหยัดค่าใช้จ่าย (ของโรงเรียน ของผู้สอน และของผู้เรียน)					
9	ทำให้ผู้เรียนเกิดความประทับใจ(อยากเรียนสะเต็มศึกษาอีก)					
10	สร้างบรรยากาศและความสัมพันธ์ที่ดี ระหว่างที่มีการเรียนการสอน					

ผนวก 5
กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องการออกแบบและสร้างเรือ

ใบงานที่ 1
ออกแบบ สร้างและทดสอบเรือจริง ด้วยความรู้และประสบการณ์เดิม

ภารกิจ ให้ออกแบบและสร้างเรือจริง ด้วยวัสดุที่กำหนดให้ ตามข้อกำหนดและเงื่อนไข ต่อไปนี้

1. ต้องใช้วัสดุที่จัดเตรียมไว้ให้เท่านั้น
2. เรือขนาดและรูปร่างอย่างไรก็ได้ แต่ต้องไม่มีทุนพยุงเรือ ควรสวยงาม สามารถนำไปใช้จริง
3. เรือสามารถบรรทุกของได้มากสุด คือ กระป๋องบรรจุทราย 1 ใบ วางนอน เรือไม่คว่ำ ซึ่งขณะนั้นการทรงตัวของเรือต้องสมดุลทุกด้าน ทั้งด้านข้าง หัวเรือและท้ายเรือ และขณะนั้นกาบเรือเสมอผิวน้ำหรือสูงกว่าผิวน้ำเล็กน้อย แต่เรือไม่จม



4. ระยะเวลาออกแบบและสร้างจนแล้วเสร็จ ไม่เกิน 30 นาที (หัก 1 คะแนนทุกช่วง 5 นาที)

การประเมินเรือ

สิ่งที่ประเมิน	คะแนนที่ได้
1. ดูแล้วเป็นเรือเพียงใด* (2=มาก 1=ปานกลาง 0=น้อย)	
2. ขนาดและความสวยงามของเรือ (2=มาก 1=ปานกลาง 0=น้อย)	
3. เมื่อลอยเรือเปล่า สมดุลเพียงใด (2=ทั้ง 4 ด้าน 1=เพียง 2 ด้าน 0=ไม่สมดุล)	
4. การสมดุลเมื่อบรรทุกกระป๋องบรรจุทราย (2=ทั้ง 4 ด้าน 1= เพียง 2 ด้าน 0=ไม่สมดุล)	
5. ระยะสูงกาบเรือกับผิวน้ำ ขณะบรรทุกกระป๋องบรรจุทราย 10= น้อยกว่า 0.2 cm 7= ระหว่าง 0.2 cm แต่ไม่ถึง 0.5 cm 5= ระหว่าง 0.5 cm แต่ไม่ถึง 1.5 cm 0=มากกว่า 1.5 cm	
6. ขณะบรรทุกกระป๋องบรรจุทราย ลอยนานเพียงใด(ไม่รั่ว ไม่ซึม ไม่จม) 2=มากกว่า 3 นาที 1=มากกว่า 2 นาทีแต่ไม่ถึง 3 นาที 0=น้อยกว่า 2 นาที	
รวม	

คำแนะนำสำหรับผู้สอน

1. ควรปล่อยให้ผู้เรียนออกแบบและสร้างด้วยความคิดของตนเอง ผู้สอนต้องไม่แนะนำหรือชี้นำใดๆ เพราะจุดประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนทราบว่า การออกแบบและสร้างเรือโดยอาศัยเพียงประสบการณ์เดิมโดยไม่นำหลักความรู้วิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เข้าไปช่วยออกแบบ จะประสบความล้มเหลวสูงมาก เกือบ 100% ผู้เรียนจะตระหนักว่างานที่มองว่าง่ายๆ แต่ความจริงไม่ง่ายดังที่คิด

2. เมื่อประเมินผลงานการออกแบบและสร้างเรือในครั้งนี้ จะพบว่าเกือบทุกกลุ่มจะประสบความล้มเหลว แต่อาจจะมีเรือของผู้เรียนบางกลุ่ม/บางคนที่ผลประเมินดีมาก ซึ่งแสดงว่าผู้เรียนคนนั้นมีศักยภาพหรือ “มีหัว” ด้านวิศวกรรม

ผลจากความล้มเหลวครั้งนี้ ทำให้ผู้เรียนมองหาวิธีคิดออกแบบใหม่ๆ ที่ไม่ทำให้ล้มเหลวเหมือนครั้งที่ผ่านมา ซึ่งเมื่อผู้สอนอธิบายและแนะนำการออกแบบตามหลักวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ ผู้เรียนจะตั้งใจมาก

3. ระยะเวลาในกิจกรรมครั้งนี้ไม่ควรนานเกินไป เพราะถ้าผู้เรียนมีเวลามากเพียงพอ อาจออกแบบและสร้างเรือที่ผลประเมินค่อนดีหรือใกล้ประสบความสำเร็จ ส่งผลให้ผู้เรียนคิดว่าไม่จำเป็นต้องนำหลักวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ มาใช้ออกแบบและสร้างเรือ

ผนวก 5 (ต่อ)

กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องการออกแบบและสร้างเรือ

ใบงานที่ 2

เรียนรู้การอธิบายการลอยจมของเรือ และออกแบบเรือ

คำสั่ง ให้แต่ละกลุ่มดำเนินการ ต่อไปนี้

1. ศึกษาความรู้ที่อธิบายการลอยการจอมของเรือ จากใบความรู้ที่ 1 และ 2
2. วิเคราะห์หาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการสร้างเรือ ว่ามีปัจจัยอะไรบ้าง เขียนแนบส่ง
3. วิเคราะห์และเขียนแผนผังการเชื่อมโยงความสัมพันธ์เชิงเหตุผล เขียนแนบส่ง
4. วิเคราะห์และเขียนวิธีการออกแบบเรือที่เป็นไปได้ ว่ามีได้กี่วิธี เขียนแนบส่ง
5. วิเคราะห์ เลือกวิธีการออกแบบเรือที่ดีที่สุดสำหรับกลุ่มตนเอง เขียนแนบส่ง พร้อมเหตุผล
6. ออกแบบเรือ (บนกระดาษ) อีกครั้ง โดยมีเงื่อนไขต่อไปนี้
   - ต้องระบุสัดส่วน ระยะความกว้างยาวของส่วนต่างๆ ของเรือโดยละเอียด
   - ต้องระบุชนิดของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สร้างเรือโดยละเอียด และอยู่ในวิสัยที่ผู้เรียนสามารถจัดหาวัสดุอุปกรณ์เหล่านี้ได้ด้วยตนเอง

7. แสดงวิธีการพิสูจน์ ให้เห็นชัดเจนว่า เมื่อนำเรือที่ออกแบบไปสร้างจริง จะใช้งานได้จริง จะได้เรือเป็นไปตามข้อกำหนดและเงื่อนไข ไม่ประสบความล้มเหลว (แน่นอน)

การประเมินเรือที่ออกแบบและสร้างจริง จะใช้เกณฑ์ประเมินดังนี้

สิ่งที่ประเมิน	คะแนนที่ได้
1. การระบุวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สร้างเรือ 1=ระบุโดยละเอียด 0.5=ระบุแต่ไม่ละเอียด 0=ไม่ระบุหรือน้อยมาก	
2. การระบุสัดส่วนของเรือ 1=ระบุโดยละเอียด 0.5=ระบุแต่ไม่ละเอียด 0=ไม่ระบุหรือน้อยมาก	
3. ดูแล้วเป็นเรือเพียงใด* 2=มาก 1=ปานกลาง 0=น้อย	
4. ขนาดและความสวยงามของเรือ 2=มาก 1=ปานกลาง 0=น้อย	
5. การคำนวณเพื่อออกแบบเรือ มีความเชื่อถือ เพียงใด 5=มากสุด 4= มาก -=ปานกลาง 2=น้อย 1=น้อยมาก	
รวม	

** บางครั้งออกแบบได้ตามข้อกำหนด แต่รูปร่างไม่เป็นเรือ*

ผนวก 5 (ต่อ)

กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องการออกแบบและสร้างเรือ

ใบงานที่ 3

สร้างเรือ และทดสอบจริง และปรับปรุง

คำสั่ง

1. แต่ละกลุ่มสร้างเรือจริงด้วยวัสดุ และมีขนาดตามแบบที่ออกแบบเรือ (บนกระดาษ) แล้วนำมาทดสอบ
2. การประเมินเรือที่สร้างจริง ใช้เกณฑ์ประเมินดังนี้

สิ่งที่ประเมิน	คะแนนที่ได้
1. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สร้างเรือ (1=ตามแบบระบุ 0.5=แตกต่างบางอย่าง 0=แตกต่างมาก)	
2. สัดส่วนของเรือ (1=ตามแบบระบุ 0.5=แตกต่างบางอย่าง 0=แตกต่างมาก)	
3. ดูแล้วเป็นเรือเพียงใด* (2=มาก 1=ปานกลาง 0=น้อย)	
4. ขนาดและความสวยงามของเรือ (2=มาก 1=ปานกลาง 0=น้อย)	
5. เมื่อทดสอบ ลอยเรือเปล่า สมดุลเพียงใด 2=สมดุลทั้ง 4 ด้าน 1=สมดุลเพียง 2 ด้าน 0=ไม่สมดุลทุกด้าน	
6. เมื่อทดสอบ การสมดุล เมื่อบรรทุกกระป๋องบรรจุทราย 2=สมดุลทั้ง 4 ด้าน 1= สมดุลเพียง 2 ด้าน 0=ไม่สมดุลทุกด้าน	
7. ระยะสูงกาบเรือกับผิวน้ำ ขณะบรรทุกกระป๋องบรรจุทราย 5= น้อยกว่า 0.5 cm 4= ระหว่าง 0.5 cm แต่ไม่ถึง 1 cm 3= ระหว่าง 1 cm แต่ไม่ถึง 1.5 cm 0=มากกว่า 1.5 cm	
8. ขณะบรรทุกกระป๋องบรรจุทราย ลอยนานเพียงใด(ไม่รั่ว ไม่ซึม ไม่จม) 2=มากกว่า 3 นาที 1=มากกว่า 2 นาทีแต่ไม่ถึง 3 นาที 0=น้อยกว่า 2 นาที	
รวม	

** บางครั้งออกแบบได้ตามข้อกำหนด แต่รูปร่างไม่เป็นเรือ*

3. วิเคราะห์และอภิปราย

3.1 สิ่งที่ทำสำเร็จ หรือ ทำได้ดี มีอะไรบ้าง

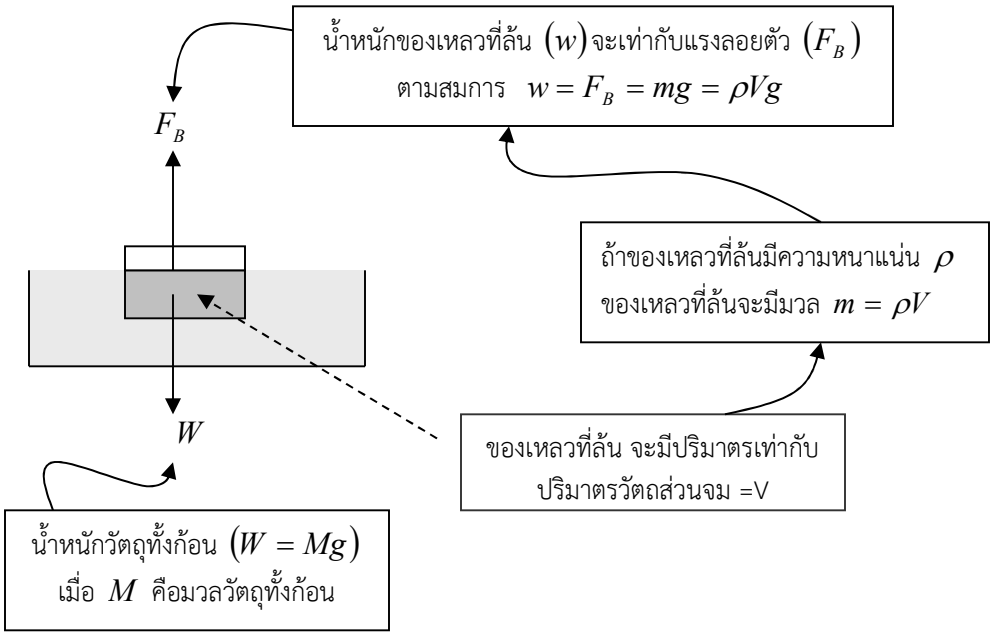
3.2 สิ่งที่ทำไม่สำเร็จ หรือ ทำได้ไม่ดี ต้องแก้ไข มีอะไรบ้าง

3.3 ถ้าตัวท่านเป็นวิศวกรออกแบบและสร้างเรือขนาดใหญ่ ใช้งบประมาณมาก ท่านคิดว่าท่านต้องมีความรู้ด้านใดบ้าง จึงจะทำภารกิจนี้ได้สำเร็จ

ใบความรู้ที่ 1

ความรู้ที่ใช้ประกอบการออกแบบเรือ

จากหลักวิทยาศาสตร์เรื่อง แรงลอยตัว(F_B) ซึ่งกล่าวว่า “เมื่อวัตถุจมในของเหลว ของเหลวจะออกแรงพยุงวัตถุ โดยขนาดแรงพยุงจะเท่ากับน้ำหนักของเหลวที่วัตถุแทนที่ เรียกแรงพยุงว่า แรงลอยตัว”

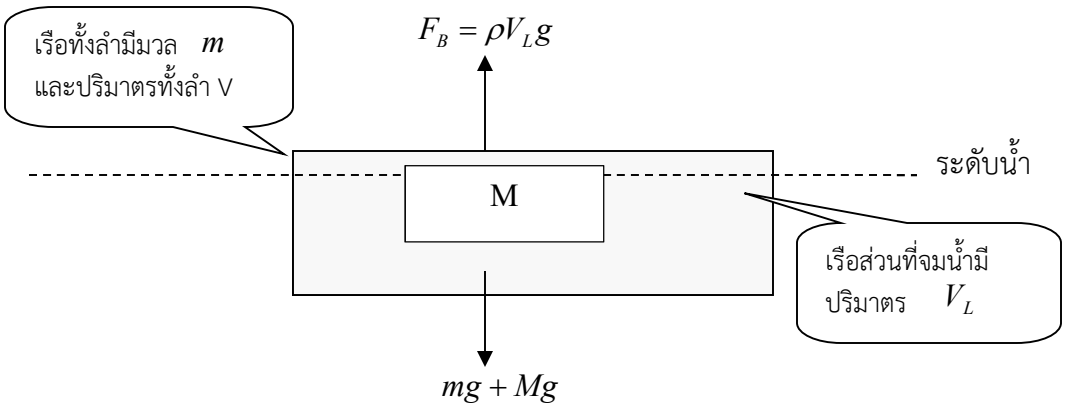


ถ้า m เป็นมวลของเรือเปล่า ในหน่วยกิโลกรัม ดังนั้นน้ำหนักเรือเปล่า = mg

ถ้า M เป็นมวลของกระป๋องบรรจุทราย ในหน่วยกิโลกรัม น้ำหนักกระป๋องบรรจุทราย = Mg

ถ้า V เป็นปริมาตรเรือทั้งลำ ในหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร(cm^3)

ในกรณีนี้ สมมติว่าขณะที่เรือบรรทุกกระป๋องบรรจุทรายและกาบเรือสูงกว่าผิวน้ำเล็กน้อยนั้น ปริมาตรเรือส่วนที่จมน้ำ(แทนที่น้ำ)เท่ากับ V_L ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นแรงลอยตัวหรือแรงพยุง(F_B) ขณะนั้น เท่ากับ น้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับ V_L เขียนเป็นสมการได้ว่า ดังรูป



โดยหลักแรงลอยตัว ;

F_B = น้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับ V_L

= $m_L g$; เมื่อ m_L คือ มวลของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับ V_L

= $(\rho_L V_L)g$ หมายเหตุ ใช้หลักความหนาแน่น; $\rho = \frac{m}{V}$ หรือ $m = \rho V$

การที่เรือลอยน้ำนิ่งอยู่ได้(ขณะนั้นเรืออยู่ในสมดุล) แสดงว่าแรงดึงลงล่าง(น้ำหนักเรือรวมกับน้ำหนักกระป๋องบรรจุทราย) จะเท่าแรงดึงขึ้นบน(แรงลอยตัว) เขียนได้ว่า

$$mg + Mg = \rho_L V_L g$$

หรือ $(m + M)g = \rho_L V_L g$ ดังแสดงรูปข้างบน

เมื่อตัด g ออกทั้ง 2 ข้าง ; $m + M = \rho_L V_L$ .....(1)

เนื่องจากขณะนั้นกาบสูงจากผิวน้ำเล็กน้อย แสดงว่าปริมาตรเรือทั้งลำ (V) จะเท่าหรือใกล้เคียงกับปริมาตรเรือที่แทนที่น้ำขณะบรรทุกกระป๋องทราย (V_L) หรือ $V \approx V_L$

ดังนั้น สมการ(1) เขียนใหม่เป็น $m + M = \rho_L V$ .....(2)

สรุปว่า เราสามารถใช้สมการ (2) ออกแบบเรือ เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไข

หมายเหตุ นอกจากวิธีการอธิบายดังที่แสดงมานี้แล้ว ยังมีวิธีการอธิบายแบบอื่นๆ ที่อธิบายได้ดีกว่าวิธีนี้ หลายวิธีการ ผู้เรียนที่มีความสนใจสามารถศึกษาวิธีอธิบายอื่นได้จากความรู้ทั่วไป

ผนวก 6
กิจกรรมสะเต็มศึกษา จรวดขวดน้ำ

ภาระกิจ ให้ออกแบบวิธียิงจรวดขวดน้ำ ที่มีคุณสมบัติต่อไปนี้

1. ระยะยิงไกลสุดที่ทำได้
2. เมื่อทราบเป้าหมายที่ต้องการให้ยิง(ระยะยิง) จะต้องบอกรายละเอียดวิธียิงที่ดีที่สุดได้ เช่น มุมยิง แรงอัดอากาศ ฯลฯ
3. การเคลื่อนที่มีความเสถียร ไม่ส่าย หมุน

ผลการออกแบบ

1. วาดรูปจรวดที่จะออกแบบ ระบุวัสดุที่ใช้และสัดส่วนต่างๆ ให้ละเอียด (แนบส่ง)
2. แนวคิด/หลักการ ที่ใช้ในการออกแบบ (แนบส่ง)

ผลการทดสอบจริง

1. จรวดที่ออกแบบยิงได้ไกลสุด.....เมตร โดยต้องกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

1.1 ใส่น้ำในขวด..... ml

1.2 ใช้ความดันอากาศยิง = ... psi

1.3 มุมยิง ..... องศา (แนบกระดาษแสดงการคำนวณ)

1.4 ทดสอบจริงได้..... เมตร ลักษณะการเคลื่อนที่ดังนี้ .....

.....

คะแนนที่ได้ .....

2. ถ้าต้องการให้ตกระยะไกล ..... เมตร ต้องกำหนดค่าต่างๆ ต่อไปนี้

2.1 ใส่น้ำในขวด..... ml

2.2 ใช้ความดันอากาศยิง = ... psi

2.3 มุมยิง ..... องศา (แนบกระดาษแสดงการคำนวณ)

2.4 ทดสอบจริงได้..... เมตร ลักษณะการเคลื่อนที่ดังนี้ .....

.....

คะแนนที่ได้ .....

ข้อผิดพลาดที่ต้องแก้ไข .....

.....

.....

ใบความรู้เรื่อง การออกแบบจรวดขวดน้ำ

ความรู้ที่ใช้ประกอบการออกแบบ

การออกแบบวิธียิงจรวดขวดน้ำ จะต้องพิจารณาครอบคลุมไปถึงเครื่องยิง(ไม่ต้องออกแบบ) ที่สามารถปรับมุมยิงได้และปรับแรงดันอากาศได้ และพิจารณารวมไปถึงการเคลื่อนที่ของจรวดขวดน้ำในอากาศ ตั้งแต่เริ่มยิงจนตกพื้น

รูปที่ 1 ตัวอย่างเครื่องยิงหรือฐานยิงจรวดขวดน้ำ

วิธียิงจรวดน้ำ ซึ่งต้องพิจารณารวมไปถึงการเคลื่อนที่ของจรวดขวดน้ำ ตั้งแต่เริ่มยิงจนตกพื้น

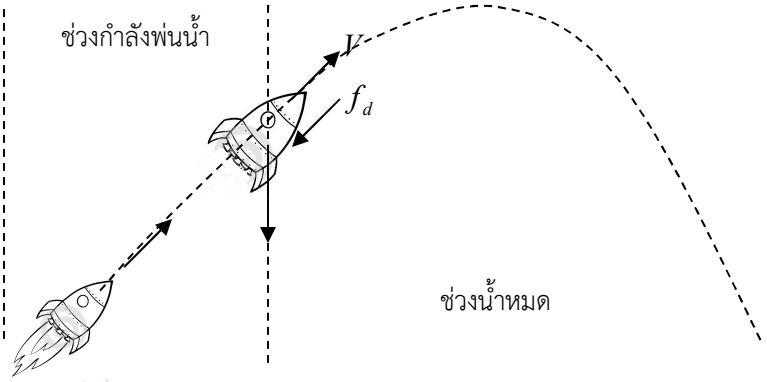
เมื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของจรวด จะแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ

ช่วงแรก....ซึ่งเกิดระหว่างจากช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มยิง จรวดเคลื่อนที่ น้ำกำลังพุ่นออกจากปากขวด จนหมดขวด ช่วงนี้จรวดจะเคลื่อนที่ด้วยแรงดันอากาศภายในขวดซึ่งมีค่ามาก จนแรงต้านอากาศและแรงดึงดูดของโลกส่งผลน้อยมาก จรวดจะเคลื่อนด้วยความเร่ง จากเริ่มต้นยิงซึ่งมีความเร็วศูนย์จนมีความเร็วค่าหนึ่งที่จะมากสุด

ช่วงหลัง... ซึ่งเกิดตั้งแต่ระหว่างน้ำหมดขวด จรวดจะเคลื่อนที่เป็นวิธีโค้ง(Projectile) ภายใต้แรงดึงดูดของโลก จนตกพื้น

ในการยิงแต่ละครั้ง ต้องกำหนดปริมาณน้ำที่จะใส่เข้าไปในขวด จากนั้นต้องอัดอากาศที่เข้าไปขวดจนได้ความดันตามที่กำหนด อากาศที่ในขวดจะสร้างพลังงานสะสมไว้ในจรวด เมื่อปล่อยขวด(ยิง) พลังงานในจรวดจะสร้างแรงขับดันให้น้ำพุ่งออกจากปากขวดด้านหลังจรวด เกิดแรงดันจรวดไปข้างหน้า ซึ่งมีทิศตรงข้ามกับทิศการพุ่งออกของน้ำ แรงทั้ง 2 นี้มีขนาดเท่ากันตามกฎข้อ 3 นิวตัน ช่วงนี้จรวดจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง

ขณะเคลื่อนที่ในอากาศ ครีบของจรวดจะช่วยการทรงตัวของจรวด ขณะเดียวกันจะเกิดแรงต้านของอากาศ(f_d) กระทำต่อจรวดในทิศตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ และมีแรงดึงดูดของโลก (mg) ที่ดึงจรวดลง จรวดจะช้าลงและต่ำลง จนตกพื้น ซึ่งถ้าการยิงครั้งนั้น กำหนดประมาณน้ำในขวดเหมาะสม มุมยิงเหมาะสม และแรงดันอากาศเหมาะสม รวมทั้งทิศทางการยิงถูกต้อง มีการคำนวณชดเชยแรงแรงลมจรวด จะไปตกที่เป้าหมายใกล้เคียงมาก



วิธีการยิงจรวดขวดน้ำ จะได้จากการคำนวณ จากสมการที่ได้จากผสมผสานความรู้ทางวิทยาศาสตร์(ฟิสิกส์) ซึ่งในที่นี้จะไม่กล่าวที่มาของสมการ จะเน้นที่การนำมาใช้

สมการที่ใช้คำนวณ ประกอบด้วยสมการต่างๆ ดังนี้

ระยะยิงสุดท้าย R_F = RD

เมื่อ D = 1 - D_c โดย D_c คือ Factor การต้าน ซึ่งกรณีขวดจะมีค่า D_c = 0.15

R คือระยะยิงเมื่อไม่คิดแรงต้านอากาศ = $\left(V^2\right)\left(\frac{\sin 2\theta}{g}\right)$

V = ความเร็วจรวดเมื่อน้ำหมด คำนวณได้จาก $V = U + at$

โดย U = ความเร็วต้นของจรวดซึ่ง= 0

t = เวลาเริ่มยิงจนน้ำหมดขวด

= (มวลน้ำในจรวดก่อนยิง) / (อัตราสูญเสียมวล;m)

a = ความเร่งจรวด = $\frac{F}{m_{ave}}$

โดย F = แรงลัพธ์ที่กระทำจรวด = $F_t - F_d - \left(m_{avg}\right)g$

F_t = (อัตราการสูญเสียมวลของน้ำ) x (ความเร็วของน้ำ)

f_d = สปส. แรงต้านอากาศ ซึ่งน้อยมาก

m = อัตราการสูญเสียมวลของน้ำโดยเฉลี่ยที่ออกจากปากขวด (Average mass f;ow rate ; m) = $A\left(C_d\right)\left(\sqrt{2\rho\Delta P}\right)$

A = พื้นที่ปากขวด = πr^2

C_d = แฟตเตอร์ แรงต้านอากาศ ขึ้นกับรูปทรง กรณีขวดจะประมาณ 0.98

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ

$$\Delta P = \frac{P_i + P_f}{2}$$

P_i = ความดันอากาศในขวดก่อนยิง

V_i = ปริมาตรอากาศในขวดก่อนยิง = ปริมาตรขวด - ปริมาตรน้ำ

P_f = ความดันอากาศในขวดหลังยิง $= \frac{P_i V_i}{V_f}$

V_f = ปริมาตรอากาศในขวดหลังยิง = ปริมาตรขวด

M_{ave} = มวลของจรวดขวดน้ำ + มวลของน้ำ

ตัวอย่าง ถ้าขวดมีปริมาตร 2 ลิตร ใส่น้ำในขวด 700 ml ความหนาแน่นน้ำ = 998 kg/m^3 ใช้ความดันอากาศยิง = 40 psi มุมยิง 45 องศา ปากขวดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 21 cm จะไปตกไกลเท่าใด

กำหนด C_d = สปส. แรงต้านอากาศ ขึ้นกับรูปทรง กรณีขวดจะประมาณ 0.98

f_d = สปส. แรงต้านอากาศ ซึ่งกรณีนี้น้อยมาก =0

D_c คือ เฟตเตอร์การต้าน ซึ่งกรณีขวดจะมีค่า D_c น้อยมาก ประมาณ = 0.15

วิธีคำนวณ

1. คำนวณความเร่งของจรวด

1.1 ใช้ความดันอากาศยิง = 40 psi

1.2 ปริมาณน้ำในขวด 700 ml ดังนั้นมวลของน้ำในขวด(M) หาได้ดังนี้

V = ปริมาตรน้ำ = 700ml = 700 cm^3 = 0.000700 m^3

ρ = ความหนาแน่นน้ำ = 998 kg/m^3

M ของน้ำในขวด = ρV = (998)(0.0007) = 0.6986 kg

1.3 คำนวณ อัตราการสูญเสียมวลของน้ำโดยเฉลี่ยที่ออกจากปากขวด (Average mass f;ow rate ; m) ด้วยสมการ

$$m = A(C_d)\left(\sqrt{2\rho\Delta P}\right)$$

ขวดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 21 cm หรือ 0.021 เมตร จะมีรัศมี = $0.021/2$ = 0.0105 เมตร

ดังนั้นพื้นที่ปากขวด ; A = $\pi r^2 = \frac{22}{7}(0.0105)^2$ = 0.0003462 m^3 ตารางเมตร

C_d = สปส. แรงต้านอากาศ ขึ้นกับรูปทรง กรณีขวดจะประมาณ 0.98

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ = 998 kg/ m^3

P_i = ความดันอากาศในขวดก่อนยิง = 40 psi

V_i = ปริมาตรอากาศในขวดก่อนยิง = 2ลิตร – 0.7ลิตร = 1.3 ลิตร

V_f = ปริมาตรอากาศในขวดหลังยิง = ปริมาตรขวด = 2 ลิตร

P_f = ความดันอากาศในขวดหลังยิง $= \frac{P_i V_i}{V_f} = \frac{(40)(1.3)}{2}$ = 26 psi

ดังนั้น $\Delta P = \frac{P_i + P_f}{2} = \frac{40+26}{2}$ = 33 psi

แปลงหน่วย psi ไปเป็น N/m^2 โดยใช้การเทียบ 14.7 psi = 101,353.56 N/m^2

ดังนั้น 33 psi $= \frac{(101353.56)(33)}{14.7}$ = 227528.4 N/m^2

ดังนั้น $m = A(C_d)\left(\sqrt{2\rho\Delta P}\right) = (0.0003462)(0.98)\sqrt{2}(998)(227528.4)$

= 7.2302 kg/s

1.4 คำนวณความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากปากขวด $V = \frac{m}{\rho A}$

$= \frac{7.2302}{(998)(0.0003462)}$ = 20.926 m/s

1.5 คำนวณแรงดันจรวด ; F_t = อัตราการสูญเสียมวลของน้ำ x ความเร็วของน้ำ

= mV = (7.2302)(20.926) = 151.3 นิวตัน

1.6 คำนวณแรงลัพธ์ จากสมการ $F = F_t - F_d - (m_{avg})g$

เมื่อ M_{ave} = มวลของจรวดขวดน้ำ + มวลของน้ำ

= (300 g หรือ 0.3kg) + (700g หรือ 0.7lg)

f_d = สปส. แรงต้านอากาศ ซึ่งกรณีนี้น้อยมาก =0

แทนค่า F = (151.3) – 0 - $\left(\frac{0.3+0.7}{2}\right)9.81$

= 146.4 นิวตัน

1.7 คำนวณความเร่งของจรวด

จาก $F = ma$ → $a = \frac{F}{m_{ave}} = \frac{146.4}{\left(\frac{0.3+0.7}{2}\right)}$ = 292.8 m/s^2

2. คำนวณระยะยิงที่ได้จริง

2.1 คำนวณหาระยะยิง(range ; R) โดยไม่คิดผลกระทบจากแรงต้านอากาศ

t = มวลน้ำในจรวด / อัตราสูญเสียมวล (m) = $\frac{0.7}{7.2302}$ = 0.097 วินาที

ความเร็วปลายของจรวด v = (292.8)(0.077) = 28.4 m/s

ระยะยิง R = $\left(V^2\right)\left(\frac{\sin 2\theta}{g}\right)$ ซึ่งถ้าเลือกมุมยิง θ = 45 องศา จะได้ระยะยิง

R = $(28.4)^2\left(\frac{\sin 2(45)}{9.81}\right)$ = 82.3 เมตร

2.2 คำนวณระยะยิงที่ได้จริง

ระยะยิงที่ได้จริง ; R_F = RD เมื่อ D = 1 - D_c โดย D_c คือ เฟตเตอร์การต้าน ซึ่งกรณีขวดจะมีค่า D_c = 0.15

ดังนั้น R_F = (82.3)(1-0.15) = (82.3)(0.85) = 69.96 เมตร

ที่กล่าวมา เป็นการคำนวณกรณีเราทราบมวลจรวด ปริมาณน้ำ ฯลฯ แล้วคำนวณหาระยะยิง แต่ในการแข่งขันความแม่นยำระยะตกจะถูกกำหนดมาให้ เราจะต้องคิดคำนวณแบบย้อนกลับ(คิดเอง)

วิเคราะห์หาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผล

3.1 ปัจจัยที่ได้จากทฤษฎี หรือ จากสูตรหรือสมการที่นำมาอธิบาย

- มุมยิง / ปริมาตรขวดเปล่า / ปริมาตรน้ำในขวด / แรงดันอากาศในขวดก่อนยิง รูปทรงขวด / เส้นผ่าศูนย์กลางปากขวด / ความหนาแน่นของเหลวที่ใส่ขวด(น้ำ) /น้ำหนักขวดเปล่า/ฯลฯ

3.2 ปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อความสำเร็จตามเงื่อนไข

- ความมั่นคงของฐานยิง / การเล็งศูนย์ยิงที่แม่นยำ / กระแสลม /เกจวัดความดันที่มั่นยำ

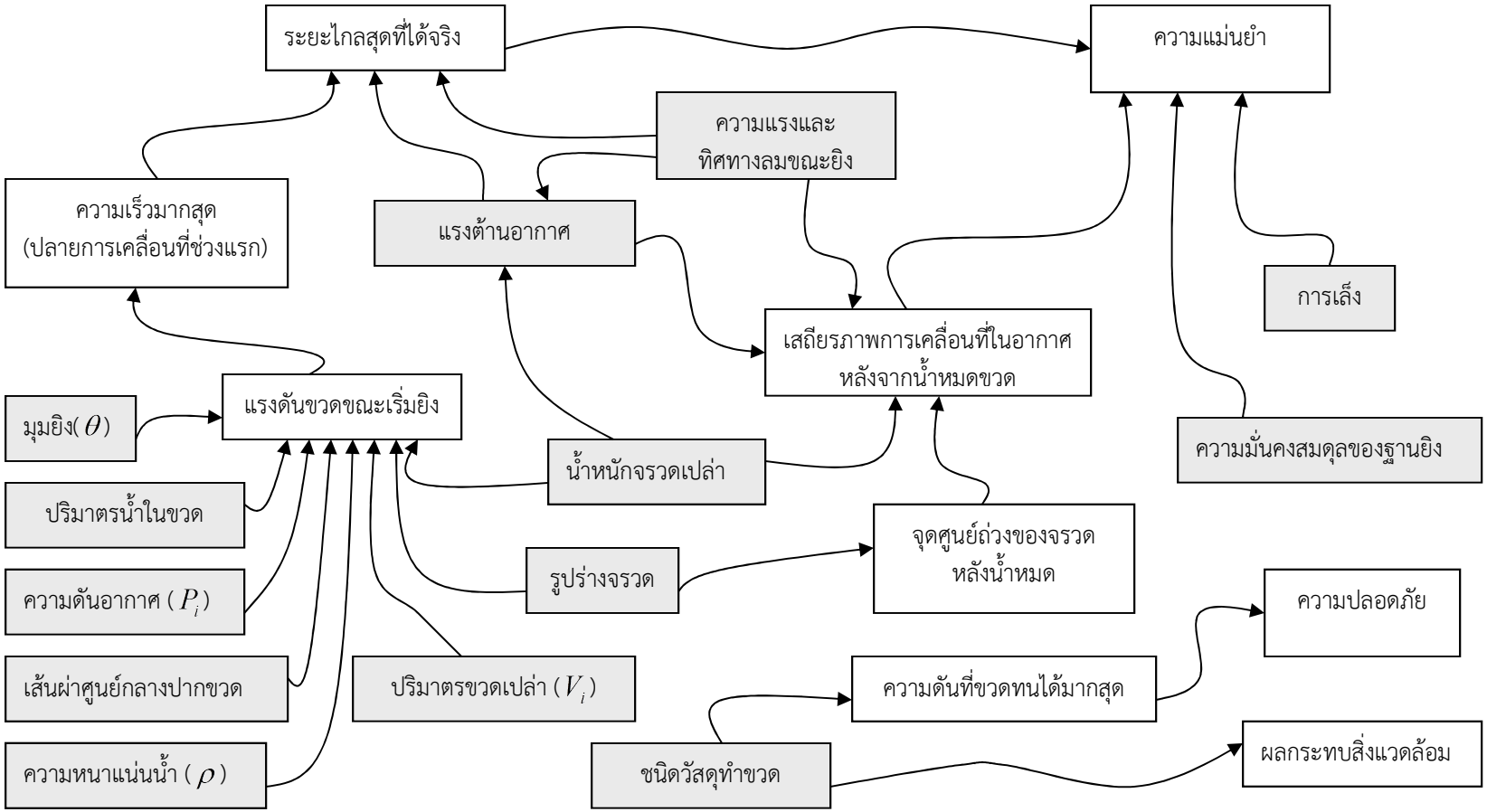
3.3 ปัจจัยส่งผลต่อความปลอดภัย

- ความแข็งแรงของวัสดุทำขวด / ความแหลมคมของครีบ /ความดันมากสุดที่ขวดน้ำทนได้โดยไม่ระเบิด / ฯลฯ

3.4 ปัจจัยอื่นๆ

เลือกใช้วัสดุที่ย่อยสลายได้

ตัวอย่างแผนผังความสัมพันธ์เหตุผล เขียนได้รูปร่าง (แต่ละคนอาจได้แผนผังต่างกัน)



จากแผนผังความสัมพันธ์เหตุผล จะพบว่า สิ่งที่เป็นเหตุ ส่งผลต่อความแม่นยำของการยิงจรวดขวดน้ำ แบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ควบคุมได้ คือ มุมยิง ปริมาณน้ำในขวด ความดันอากาศ เส้นผ่าศูนย์กลางปากขวด ความหนาแน่นน้ำ รูปร่างขวด วัสดุทำขวด ปริมาตรขวดเปล่า น้ำหนักขวดเปล่า ตามลำดับ แต่เนื่องจากในที่นี้จะออกแบบวิธียิง ตัวจรวดยังเหมือนเดิม ดังนั้น ความหนาแน่นของน้ำ รูปร่างขวด วัสดุทำขวด ปริมาตรขวดเปล่า น้ำหนักขวดเปล่า และเส้นผ่าศูนย์กลางปากขวด จึงเป็นค่าคงที่ จึงเหลือที่เป็นตัวแปรต้นเหตุ เพียง 3 ตัวเท่านั้น คือ มุมยิง ปริมาณน้ำในขวด ความดันอากาศ

กลุ่มที่ควบคุมได้ คือ ความแรงและทิศทางลมพัด

ตัวอย่างการออกแบบวิธียิง

ในการออกแบบวิธียิง จะต้องใช้วิธีการคิดแบบย้อนหลัง ซึ่งมีหลายวิธี เช่น

วิธีที่ 1 เมื่อทราบระยะยิง(R) ให้กำหนดมุมยิง (θ) → คำนวณหาความเร็ว (V)
→ แล้วกำหนดน้ำในขวด และคำนวณแรงดันอากาศ

วิธีที่ 2 เมื่อทราบระยะยิง(R) ให้กำหนดมุมยิง (θ) → คำนวณหาความเร็ว (V)
→ แล้วกำหนดแรงดันอากาศ และคำนวณน้ำในขวด

วิธีอื่นๆ

ผนวก 7
กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องชั่งน้ำหนัก

คำสั่ง ให้ออกเครื่องชั่งน้ำหนัก ในกระดาษ โดยมีเงื่อนไขต่อไปนี้

1.1 ทำด้วยวัสดุใดก็ได้ ขนาดเท่าใดก็ได้ รูปทรงใดก็ได้

1.2 สามารถชั่งน้ำหนักวัตถุได้ไม่น้อยกว่า 500 กรัม

1.3 มีความละเอียดไม่น้อยกว่า ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

1.4 แบบที่ออก ต้องวาดบนกระดาษขนาดใหญ่ เป็นแบบ 3 มิติ แสดงโครงสร้าง ย่อส่วนได้สัดส่วน และระบุวัสดุที่ใช้ทำส่วนต่างๆ อย่างชัดเจน (ทางช่างนิยมเรียก “พิมพ์เขียว”)

1.5 แสดงให้เห็นความเชื่อมั่นว่า ออกแบบได้มีความแม่นยำ ถูกต้อง เช่น แสดงการคำนวณอย่างละเอียด หรือ การอธิยาย หรือทั้งคำนวณและอธิบาย (เขียนแนบส่ง)

1.6 (ถ้ามีเวลา) นำเสนอแลกเปลี่ยนระหว่างกัน

เครื่องชั่งลักษณะต่างๆ (ค้นหาเพิ่มเติมแบบอื่นๆ จาก internet)

ผลการออกแบบ วาดรูปเครื่องชั่งที่ออกแบบ พร้อมแสดงการคำนวณและอธิบายหลักกการออกแบบ

.....

.....

.....

.....

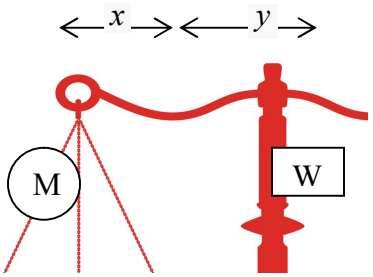
ใบความรู้ที่ 1

ความรู้ที่ใช้ประกอบการออกแบบเครื่องชั่ง

เนื่องจากเครื่องชั่งมีหลายแบบ จึงมีความรู้ที่ใช้ออกแบบเครื่องชั่งหลายแบบเช่นกัน ดังนี้

1. เครื่องชั่งที่ใช้หลักคานและโมเมนต์ (ยกตัวอย่าง)

1.1 แบบที่ 1 คานยาวเท่ากันทั้ง 2 ข้าง กรณีนี้จุดหมุนอยู่กึ่งกลางคาน น้ำหนักคาน 2 ด้านเท่ากัน ไม่มีผลต่อการคำนวณโมเมนต์(ตัดออกไปได้)



ถ้าคานสมดุล วัตถุจะมีน้ำหนัก เท่ากับ น้ำหนักมาตรฐานที่อยู่ในจานอีกด้านหนึ่ง ดังการพิสูจน์

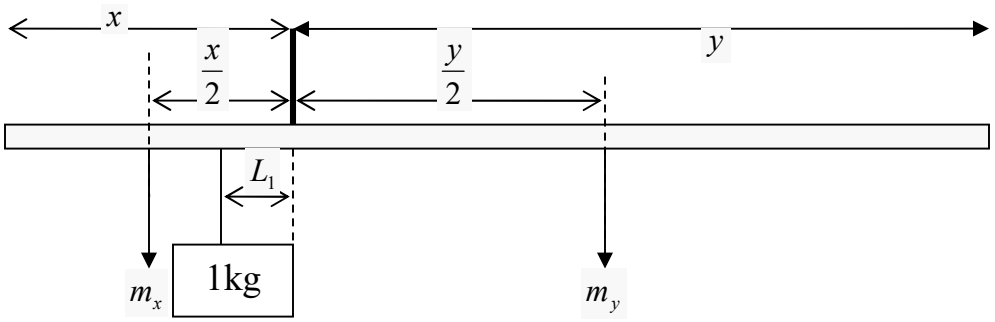
โมเมนต์ซ้าย = โมเมนต์ขวา

$Mx = Wy$

แต่ระยะ x = y แสดงว่า M = W

1.2 แบบที่ 2 คานยาวไม่เท่ากัน และไม่มีน้ำหนักมาตรฐานถ่วง ถ้าคานมีขนาดสม่ำเสมอทุกๆระยะ 1 cm มีมวล m กรัม โดยจุดหมุนไม่อยู่กึ่งกลางคาน จะส่งให้คานทั้ง 2 ด้านมีนำหนักไม่เท่ากัน คานด้านซ้าย = m_x ($m_x = mx$) ส่วนคานด้านขวามีน้ำหนัก= m_y ($m_y = my$) กรณีนี้น้ำหนักของคานแต่ละด้านส่งผลต่อการคำนวณโมเมนต์ (ตัดออกไม่ได้)

ถ้าน้ำหนัก 1000g หรือ 1 kg แขวนที่ระยะห่างจากจุดสมดุล L_1 แล้วคานสมดุล

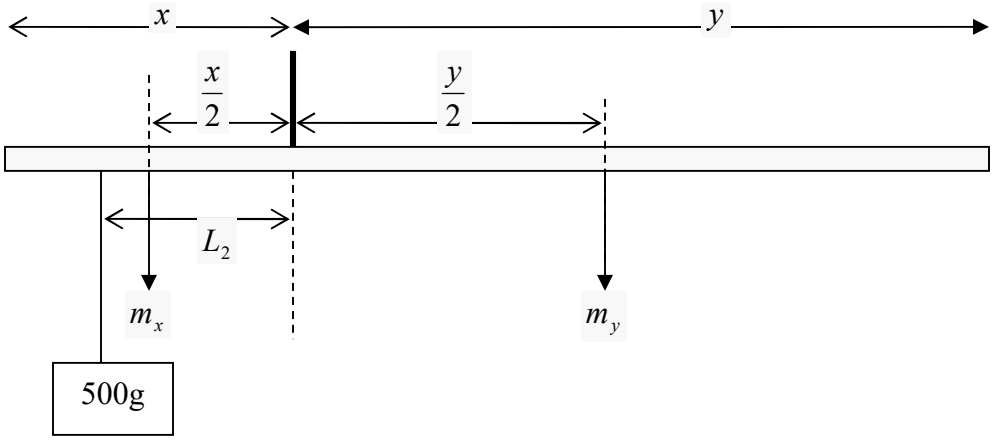


ผลรวมโมเมนต์ซ้าย = ผลรวมโมเมนต์ขวา

$$m_x\left(\frac{x}{2}\right) + 1000L_1 = m_y\left(\frac{y}{2}\right)$$

แก้สมการหาตำแหน่งหรือระยะ L_1 ได้

ถ้าน้ำหนัก 500g แขวนที่ระยะห่างจากจุดสมดุล L_2 แล้วคานสมดุล

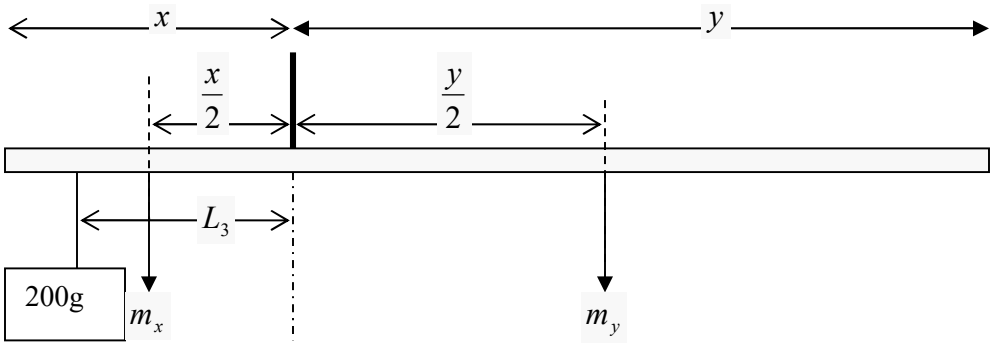


ผลรวมโมเมนต์ซ้าย = ผลรวมโมเมนต์ขวา

$$m_x\left(\frac{x}{2}\right) + 500L_2 = m_y\left(\frac{y}{2}\right)$$

แก้สมการหาตำแหน่งหรือระยะ L_2 ได้

ถ้าน้ำหนัก 200g แขวนที่ระยะห่างจากจุดสมดุล L_3 แล้วคานสมดุล



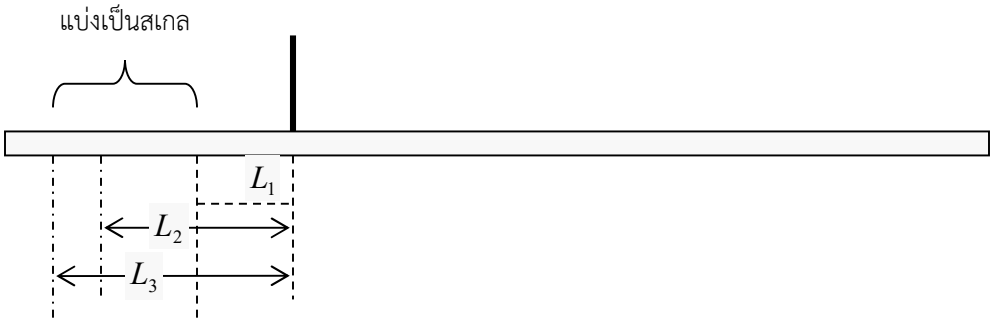
ผลรวมโมเมนต์ซ้าย = ผลรวมโมเมนต์ขวา

$$m_x\left(\frac{x}{2}\right) + 200L_3 = m_y\left(\frac{y}{2}\right)$$

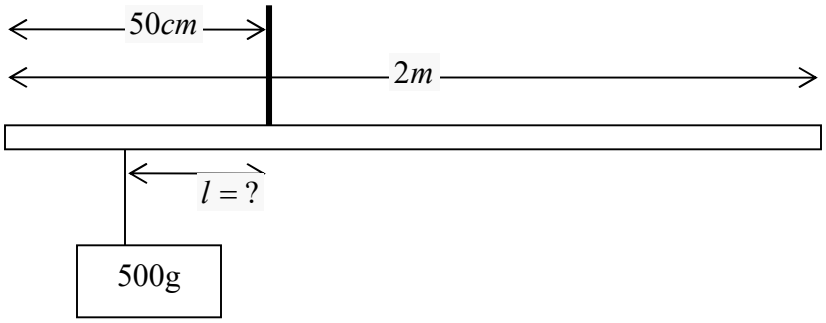
แก้สมการหาตำแหน่งหรือระยะ L_3 ได้

ทำนองเดียวกัน หากเราใช้น้ำหนักค่าอื่นๆ จะหาระยะบนคานขณะสมดุลได้

เราสามารถแบ่งระยะระหว่าง L_1 กับ L_2 และระหว่าง L_2 กับ L_3 เป็นสเกลต่างๆ เพื่อใช้เป็นมาตรวัดน้ำหนักอื่นๆ ที่นำมาถ่วงบนคานนี้ได้ ดังรูป



ตัวอย่าง ถ้าคานยาว 2 เมตร ขนาดสม่ำเสมอมีน้ำหนักรวม 400 กรัม จุดหมุนอยู่ปลายคานด้านซ้าย 50 cm ถ้านำน้ำหนัก 500 กรัมมาห้อยซ้ายขวามือ ต้องห้อยที่ระยะห่างจากจุดหมุนเท่าใด

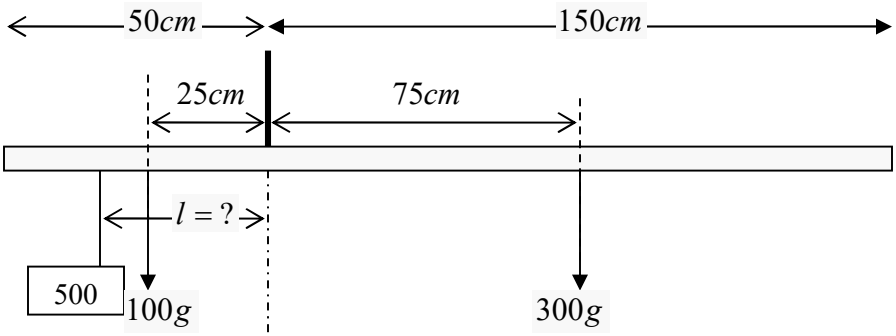


วิธีคิด แสดงว่าทุกระยะ 1 cm จะมีน้ำหนักของคาน = 400g/200cm = 2g

ดังนั้น คานซ้ายมีน้ำหนัก = (50cm)(2g) = 100g

คานขวามีน้ำหนัก = (150cm)(2g) = 300g

วาดรูปแสดงน้ำหนักต่างๆ ที่กระทำต่อคาน ได้ดังรูปล่าง

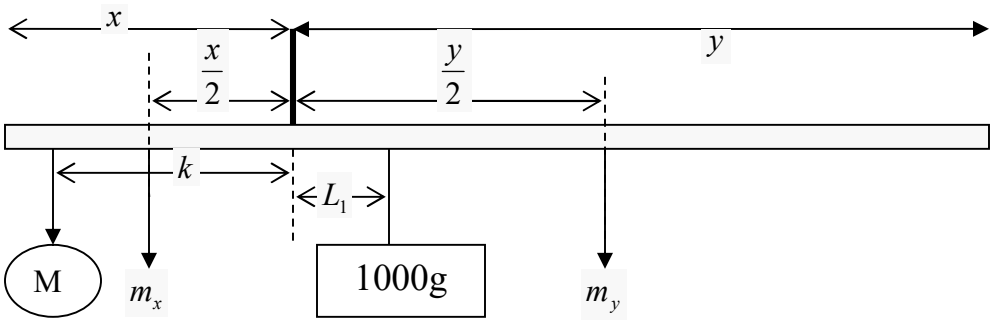


โมเมนต์ 2 ข้างเท่ากัน ; (100g)(25cm) + (500g)(l) = (300g)75cm)

L = 40 cm

1.3 แบบที่ 3 คานยาวไม่เท่ากัน และมีน้ำหนักมาตรฐานถ่วง ถ้าคานมีขนาดสม่ำเสมอ ทุกๆ ระยะ 1 cm มีมวล m กรัม โดยจุดหมุนไม่อยู่กึ่งกลางคาน จะส่งให้คานทั้ง 2 ด้านมีนำหนักไม่เท่ากัน คานด้านซ้าย = m_x ($m_x = mx$) ส่วนคานด้านขวามีน้ำหนัก= m_y ($m_y = my$) ถ้ามีน้ำหนักถ่วงมาตรฐาน M ที่คานซ้าย กรณีนี้น้ำหนักของคานแต่ละด้านส่งผลต่อการคำนวณโมเมนต์(ตัดออกไม่ได้)

ถ้าน้ำหนัก 1000g หรือ 1 kg แขวนที่ระยะห่างจากจุดสมดุล L_1 แล้วคานสมดุล

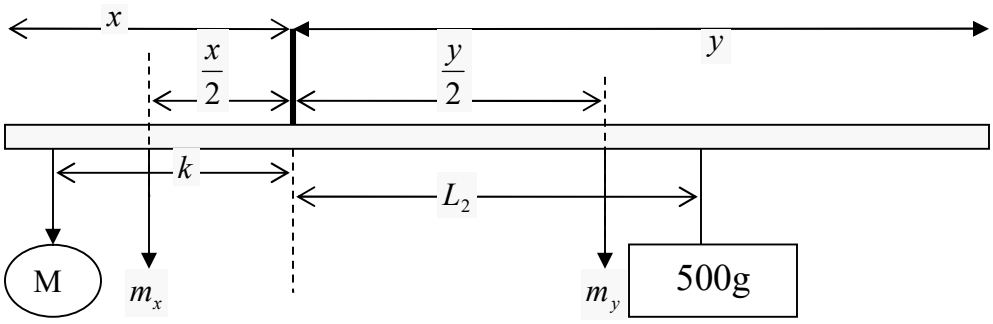


ผลรวมโมเมนต์ซ้าย = ผลรวมโมเมนต์ขวา

$$m_x\left(\frac{x}{2}\right) + Mk = m_y\left(\frac{y}{2}\right) + 1000L_1$$

แก้สมการหาตำแหน่งหรือระยะ L_1 ได้

ถ้าน้ำหนัก 500g แขวนที่ระยะห่างจากจุดสมดุล L_2 แล้วคานสมดุล

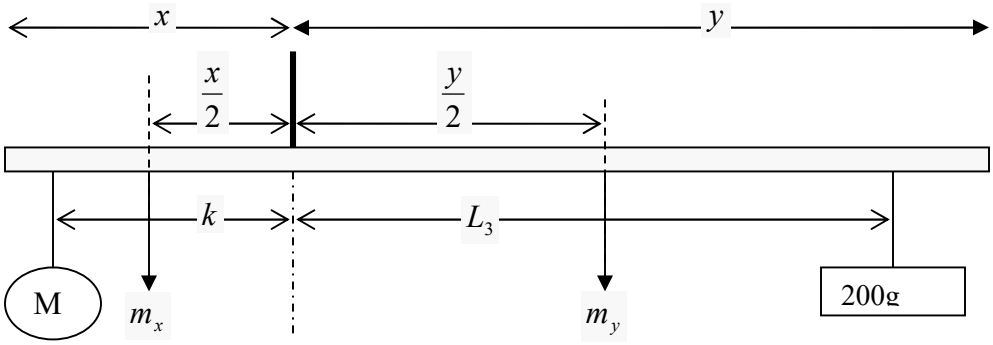


ผลรวมโมเมนต์ซ้าย = ผลรวมโมเมนต์ขวา

$$m_x\left(\frac{x}{2}\right) + Mk = m_y\left(\frac{y}{2}\right) + 500L_2$$

แก้สมการหาตำแหน่งหรือระยะ L_2 ได้

ถ้าน้ำหนัก 200g แขวนที่ระยะห่างจากจุดสมดุล L_3 แล้วคานสมดุล



ผลรวมโมเมนต์ซ้าย = ผลรวมโมเมนต์ขวา

$$m_x\left(\frac{x}{2}\right) + Mk = m_y\left(\frac{y}{2}\right) + 200L_3$$

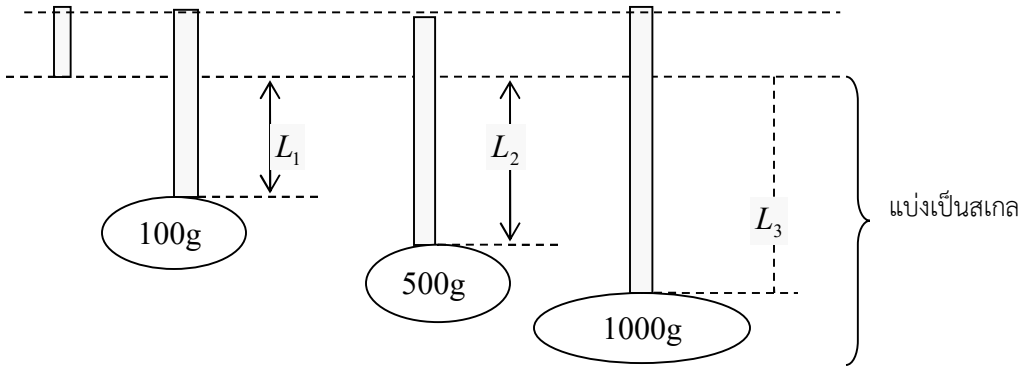
แก้สมการหาตำแหน่งหรือระยะ L_3 ได้

ทำนองเดียวกัน หากเราใช้น้ำหนักค่าอื่นๆ จะหาระยะบนคานขณะสมดุลได้

เช่นเดียวกันกับกรณีก่อนนี้ เราสามารถแบ่งระยะระหว่าง L_1 กับ L_2 และระหว่าง L_2 กับ L_3 เป็นสเกลต่างๆ เพื่อใช้เป็นมาตรวัดน้ำหนักอื่นๆ ที่นำมาถ่วงบนคานนี้ได้

2. เครื่องชั่งที่ใช้หลักการ <u>ยืด</u> ของวัสดุที่มีความยืดหยุ่น (เช่น สปริง)

เมื่อนำน้ำหนัก 100g , 500g และ 1000g (อาจเป็นค่าอื่นได้) มาถ่วงปลายวัสดุที่ยืดได้ที่มีค่าคงที่การยืดเท่ากับ k จะทำให้ยืดออกเป็นระยะ L_1 ระยะ L_2 และระย L_3 ตามลำดับ



โดยใช้สมการของ hook ; $F = kx$ แทนค่าในกรณีต่างๆ

กรณีมวล 100g ; $100 = kL_1$ → จะรู้ตำแหน่งหรือระยะ L_1

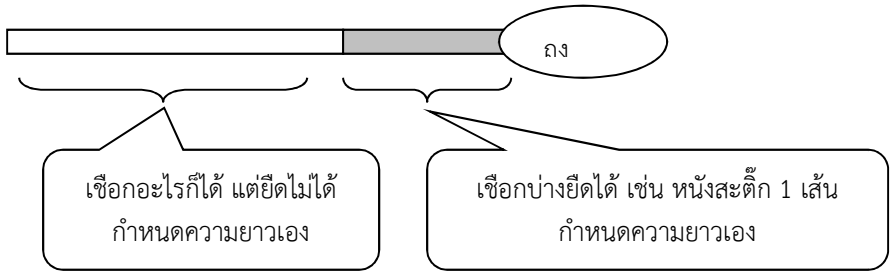
กรณีมวล 500g ; $500 = kL_2$ → จะรู้ตำแหน่งหรือระยะ L_2

กรณีมวล 1000g ; $1000 = kL_{31}$ → จะรู้ตำแหน่งหรือระยะ L_3

จากนั้น เราจะสามารถสเกลวัดน้ำหนักค่าอื่นๆ ได้

ผนวก 8
กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง Bungee Jump
ใบงานที่ 1
ตอน ออกแบบ/สร้าง/และทดลอง ด้วยประสบการณ์เดิม

คำสั่ง 1. ให้ออกแบบและสร้าง Bungee Jumb ด้วยอุปกรณ์ที่จัดเตรียมให้ (เชือก หนังสะติ๊ก ถุงทราย) โดยใช้ความรู้/ความคิด/ทักษะ/และประสบการณ์เดิมของตนเอง โดยมีโครงสร้างดังรูป



2. ทดลองปล่อยตกที่ชั้น 2 อาคารเรียนรวม ลงพื้นล่างซึ่งสูงจากพื้นล่าง โดยให้ทดลองปล่อยเพียง 1 ครั้งเท่านั้น โดยไม่ให้ทดลองสุ่มก่อน และถุงทรายต้องตกใกล้พื้นน้อยกว่า 30 เซนติเมตร

3. ให้เวลาคิด ออกแบบ สร้าง และทดลองเสร็จสิ้นภายใน 30. นาที ถ้าเกินจะหัก ทุกๆ 10 นาที จะหัก 1 คะแนน เว้นแต่ผู้สอนอนุโลม

ผลการทดลอง

ความยาวเชือกที่ใช้(เมตร) ก่อนปล่อย		ระยะสูงจากพื้นโดยประมาณ(cm) เมื่อปล่อยให้ตก และขณะอยู่ต่ำสุด
เชือกบน	เชือกล่าง(หนังสะติ๊ก)	

ผลการประเมิน ได้คะแนน ..... คะแนน

น้อยกว่า 10 cm =10 คะแนน / 10 cm - 30cm = 5 คะแนน / 30 cm – 60cm =3 คะแนน

มากกว่า 60cm =1 คะแนน / กระแทกพื้น = - 5 คะแนน

คะแนนที่ถูกหัก(กรณีต่างๆ)..... คะแนน

คำแนะนำสำหรับผู้สอน

1. นำสู่การเรียน(ทำนอง) ให้ความหมายของสะเต็มศึกษา ประโยชน์สะเต็มศึกษาต่อผู้เรียน โดยเฉพาะตัว E คือวิศวกรรม โดยชี้ให้เห็นว่าผู้เรียนจะได้เรียนรู้หลักการคิดทางวิศวกรรม

2. อธิบายวิธีการประกอบ bumgy jumb โดยย่อๆ โดยให้ถุงทรายแทนคนโดดจริง

3. เน้นว่า ความยาวเชือก 2 เส้นต้องวัดขณะปกติ หรือขณะอยู่จุดโดด ไม่ใช่วัดหลังกระโดด

4. เน้นให้ทำงานตามกรอบเวลา ต้องทดลองและเขียนส่งก่อนหมดเวลา ไม่ใช่หมดเวลาจึงเลิกทดลองแล้วจึงมาเขียนสรุปการทดลอง (ฝึกการทำงานเป็นทีม เสร็จตามกรอบเวลา) เทคนิคหนึ่งที่ใช้ได้ดีคือ ถ้าส่งช้าทุก 5 นาที จะถูกหัก 1 คะแนน จากคะแนนที่ได้

5. เน้นผู้เรียนระวังเรื่องความปลอดภัย ระวังพลัดตก

6. ถ้าให้ผู้เรียนมีการอภิปราย อาจใช้แนวทางดังนี้

6.1 ให้แต่ละกลุ่ม อ่านวิธีการกำหนดความยาวเชือกของกลุ่มตนเอง ให้ทุกคนฟัง

6.2 อาจพบบางกลุ่มใส่หน่วยผิด เช่น ใส่หน่วยเป็นเมตร จุดต่ำสุด 70 เมตร

6.3 ชี้ให้เห็นว่าแต่ละกลุ่มใช้วิธีการไม่ต่างกันมาก คือ มั่ว เดา ถ้าเป็นคนโดดจริง คงตายหลายศพ เกิดปัญหา เจ้าของบันจี่จัมบ์ติดคุก และเสียเงิน ..... ในการทำงานจริง จะทำแบบนี้ไม่ได้ (โดด 5 ครั้ง/คน ตาย 3 คน แสดงว่า บันจี้จัมบ์ของผู้เรียน มีโอกาสตาย $(100/5)\times 3 = 60\%$ คิดดู คุณกล้าเสี่ยงไหม)

7. ถ้าส่งช้า ให้อภิปรายว่าต่อไปต้องทำงานเป็นทีม ต้องช่วยกัน แบ่งงานรับผิดชอบ ไม่ดูดาย

ใบงานที่ 2

ตอน การออกแบบด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

คำสั่ง

1. ศึกษาความรู้ที่ใช้อธิบาย bungee jump ตามใบความรู้ที่ 1
2. ศึกษาวิธีการออกแบบ ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ตามใบงานที่ 2
3. ในกรณีต้องการหาค่าคงที่การยืด(k) ให้ศึกษาวิธีการ ตามใบงานที่ 3
4. ออกแบบในกระดาษ ตามเงื่อนไขต่อไปนี้
   - เลือกวัตถุด้วยตนเอง
   - เมื่อปล่อยจาก..... ซึ่งสูงจากพื้นล่าง ..... เมตร จะต้องมีจุดต่ำสุดสูงจากพื้นไม่เกิน 30 cm
   - ในการทดสอบ จะกำหนดปล่อยได้เพียง 1 ครั้งเท่านั้น (เหมือนกระโดดจริง)
5. การทดสอบ จะสุ่มถุงทราย(300g / 500g / 700g) ให้ทดสอบ 1 ครั้ง และกำหนดค่าอื่นๆ อีก 2 ครั้ง โดยให้เวลาคำนวณวางแผนแต่ละครั้งไม่เกิน 5 นาที

ผลการออกแบบ

1. เลือกบันจี่จัมป์โครงสร้างที่ .....เหตุผลการเลือก .....

2. ให้แสดงการคำนวณ กรณีต่อไปนี้

กรณี 1. ถ้าผู้สอนให้ใช้ถุงทราย 300 กรัม จะออกแบบโครงสร้างอย่างไร (ใช้อะไรบ้าง ยาวเท่าใด) วาดรูป เขียนอธิบาย และแสดงการคำนวณอย่างละเอียด เขียนในกระดาษแนบส่ง)

กรณี 2. ถ้าผู้สอนให้ใช้ถุงทราย 500 กรัม จะออกแบบโครงสร้างอย่างไร (ใช้อะไรบ้าง ยาวเท่าใด) วาดรูป เขียนอธิบาย และแสดงการคำนวณอย่างละเอียด (เขียนในกระดาษแนบส่ง)

กรณี 3 เลือกเอง

ผลประเมินคุณภาพการเขียนการออกแบบโครงสร้าง

กรณี 1 ได้คะแนน .....คะแนน

กรณี 2 ได้คะแนน .....คะแนน

กรณี 3 ได้คะแนน .....คะแนน

กรณี 4 ได้คะแนน .....คะแนน

เกณฑ์ประเมินการเขียน

มีรูปแสดงโครงสร้าง และระบุวัสดุครบถ้วน = 3

ความละเอียด เป็นขั้นตอน ในการเขียน = 3

แสดงการเห็นความเชื่อมั่นและความถูกต้อง ไม่เกิดอันตราย = 3

ความสะอาด เรียบร้อย เป็นระเบียบ = 3

ผลการทดสอบ

ครั้งที่	น้ำหนักถุงทราย	ระยะต่ำสุดสูงจากพื้น	คะแนนที่ได้
1			
2			
3			

น้อยกว่า 10 cm = 10 / 10 - 30cm =5 / 30 – 60cm = 3 / มากกว่า 60cm = 1/กระแทกพื้น = -5

คำแนะนำสำหรับผู้สอน

1. นำสู่บทเรียนว่า การสร้างหรือทดลองบันจี่จัมบ์ ต้องมั่นใจว่าปลอดภัย จะคาดเดาหรือทดลองผิดถูกไม่ได้ เพราะคงไม่มีใคร “ลองตาย” ดังนั้นต้องมั่นใจว่าการออกแบบไม่พลาด
2. อธิบายว่า การออกแบบ bungy jumb ต้องใช้หลักการวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายกับคนโดด
3. ทบทวนกฎอนุรักษ์พลังงาน “ ถ้ามีเฉพาะแรงอนุรักษ์ ผลรวมพลังงานจะคงที่เสมอ “
4. ทบทวน พลังงานแยกเป็นพลังงานศักย์ และพลังงานจลน์ ดังนี้

   4.1 พลังงานศักย์ แยกเป็น

   พลังงานศักย์โน้มถ่วง $PE. = mgh$ พลังงานศักย์ยืดหยุ่น $KD. = \frac{1}{2}kx^2$

   4.2 พลังงานจลน์เกิดขณะวัตถุกำลังเคลื่อน $KE. = \frac{1}{2}mv^2$

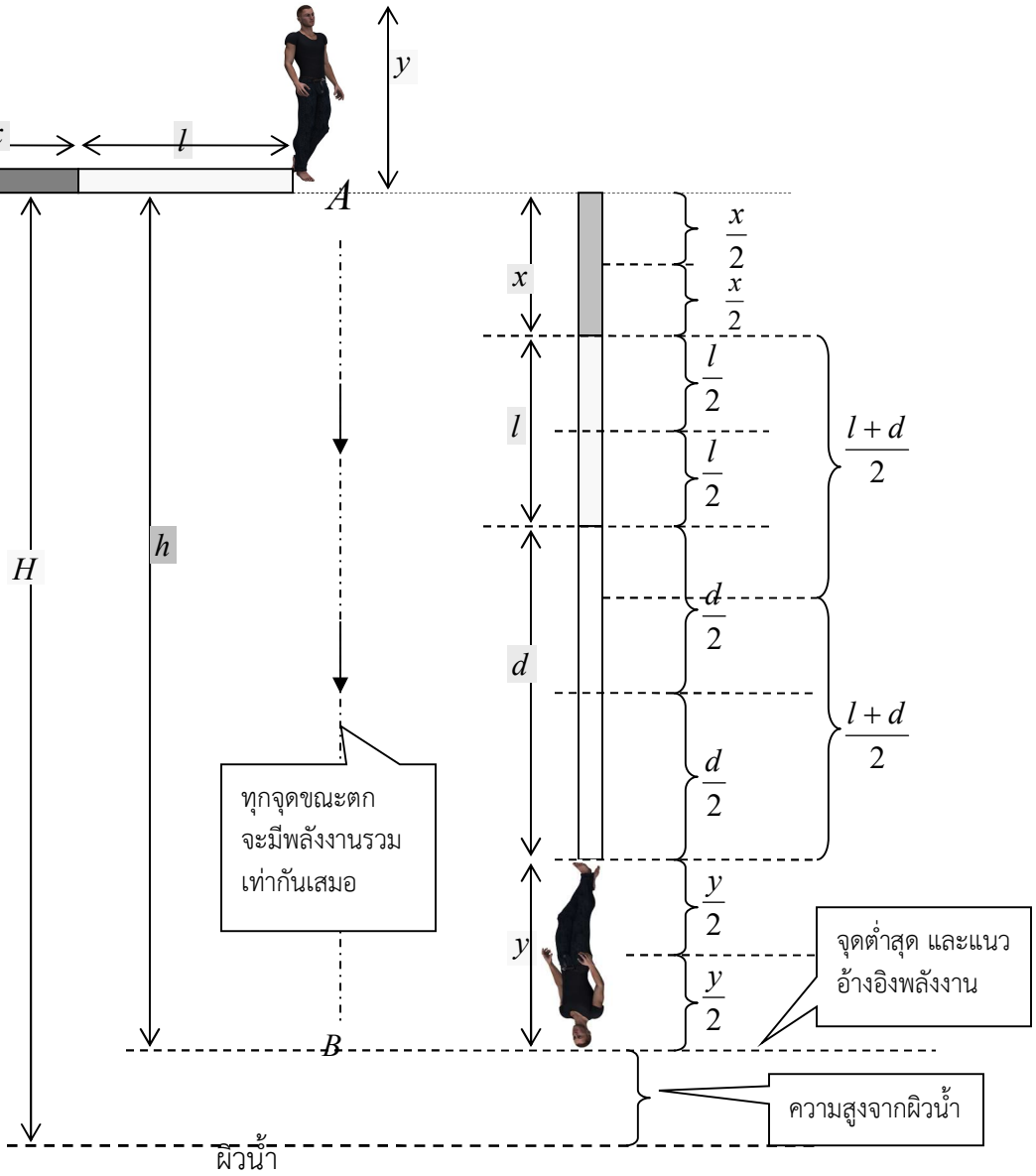
5. อธิบายที่มาขอสมการ (2) และเทคนิคการแทนค่าคำนวณ
6. ผู้เรียนเมื่อเห็นสมการ (2) ครั้งแรกจะกลัว ท้อ เพราะสมการยาว คิดว่ายาก ตนเองทำไม่ได้ ผู้สอนต้องบอกว่า ไม่ต้องกังวล ไม่ยากดังที่คิด ขอเพียงคำนวณใจเย็น ละเอียด รอบคอบ ช้าแต่ชัวร์ มีเครื่องคิดเลข ถูกต้องเสมอ โดยแนะนำว่าที่คำนวณผิดเป็นส่วนใหญ่ เกิดจากการแทนหน่วยไม่ถูกต้อง และหาค่า k ไม่ถูกต้อง อาจยกตัวอย่างกลุ่มแล้วๆ มา ซึ่งพบว่าปกติเรียนไม่เก่ง แต่คำนวณเสร็จเร็วและถูกต้องกว่าคนเรียนเก่ง
6. ถ้าผู้เรียนไม่มีทักษะคำนวณมาก ควรให้ผู้เรียนแทนค่าสมการ (2) แล้วนำมาให้ผู้สอนตรวจสอบก่อนเป็นขั้นแรก แล้วจึงให้กลับไปคำนวณ
7. ใช้เทคนิคตรวจสอบว่า ผู้เรียนคำนวณถูกต้องหรือไม่ คือ เทอม สปส. H ทั้งสองข้างต้องเท่ากัน
8. ถ้าเห็นว่าผู้เรียนกลุ่มใด คำนวณช้า ให้เรียนมาดู และให้คำแนะนำ อย่าปล่อยให้ทำเอง
9. เมื่อผู้เรียนนำผลการคำนวณไปทดลองจริง และได้ผลตามการทดลอง ผู้เรียนจะตื่นเต้นภูมิใจ
10. ควรแต่ละกลุ่มส่งตัวแทน รายงานผลการคำนวณและผลการทดลองจริงว่า สอดคล้องกันหรือไม่ และมีปัจจัยหรือสาเหตุใดบ้างที่ส่งผลต่อการทดลอง

ใบความรู้ที่ 1
การอธิบายบันจี่จัมบ์ (Bungee Jumping)

บันจี่จัมบ์มีหลายลักษณะหรือหลายแบบ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึง 3 แบบ คือ บันจี่จัมบ์ที่สร้าง ด้วยเชือกเส้นเดียวและยืดได้ บันจี่จัมบ์ที่สร้างด้วยเชือก 2 เส้นโดยเส้นบนยืดไม่ได้แต่เส้นล่างยืดได้ และบันจี่จัมบ์ที่สร้างด้วยเชือก 2 เส้นโดยเส้นบนยืดได้แต่เส้นล่างยืดไม่ได้

บันจี่จัมบ์ที่สร้างด้วยเชือก 2 เส้น โดยเส้นบนยืดไม่ได้ แต่เส้นล่างยืดได้

ขณะตกต่ำสุด เชือด l จะยืดออก d ความยาวเปลี่ยนเป็น l+d ส่วนเชือก x ยาวเท่าเดิม



โดยใช้การพิจารณากฎอนุรักษ์พลังงาน จะได้

$$E_A \quad = \quad E_B$$

เมื่อวิเคราะห์พลังงานรวมของระบบที่จุด A (E_A) เชือกทั้ง 2 เส้นและคนโดดยืนนิ่ง โดยเชือก l ยังไม่ยืด จุด A จึงมีเฉพาะพลังงานศักย์โน้มถ่วงเท่านั้น ซ้ายมือของสมการ(1) จึงเป็น

E_A = (ศักย์โน้มถ่วงเชือก x) + (ศักย์โน้มถ่วงเชือก l) + (ศักย์โน้มถ่วงเชือกคนโดด)

$$= \left[(m_x gh)+(m_y gh)+(m_M gh)\right]$$

$$= (m_x + m_y + m_M)gh$$

เมื่อวิเคราะห์พลังงานรวมของระบบที่จุดจุด B ทั้งหมดนิ่งชั่วขณะ เชือก l ยืดจากเดิมมากสุดเป็นระยะ d จุด B จึงพลังงานพลังงานศักย์โน้มถ่วง และพลังงานศักย์ยืดหยุ่นในเชือกเส้นบน l ขวามือของสมการ(1)

E_B = (ศักย์โน้มถ่วงเชือก x) + (ศักย์โน้มถ่วงเชือก l) + (ศักย์โน้มถ่วงเชือกคนโดด)

+ (ศักย์ยืดหยุ่นในเชือก l)

$$= m_x g\left(y + d + l + \frac{x}{2}\right) + m_l g\left(y + \frac{l+d}{2}\right) + m_M g\left(\frac{y}{2}\right) + \left(\frac{1}{2}kd^2\right)$$

$$= m_x g\left(h - \frac{x}{2}\right) + m_l g\left(h - \left(x + \frac{l+d}{2}\right)\right) + m_M g\left(h - \left(x + l + d + \frac{y}{2}\right)\right) + \left(\frac{1}{2}kd^2\right)$$

หรือเขียน เป็นสมการ รวมได้ดังนี้

$$(m_x + m_y + m_M)gh = m_x g\left(h - \frac{x}{2}\right) + m_l g\left[h - \left(x + \frac{l+d}{2}\right)\right] +$$

$$+ m_M g\left[h - \left(x + l + d + \frac{y}{2}\right)\right] + \left(\frac{1}{2}kd^2\right) \text{.....สมการ(2)}$$

ตัวอย่างที่ 1 ถ้า เชือก X ยาว x = 5m มีมวลต่อความยาว = 2kg/m เชือก l ยาว =10m มีมวลต่อความยาว = 2kg/m เช่นกัน และมีค่าคงที่การยืด k=45 N/m คนโดด y สูง = 1.80m มีมวล m_M = 60kg จงหาว่าจุดโดดต้องมีความสูง(H) จากพื้นล่าง อย่างน้อยเท่าใด จุดต่ำสุดจึงจะสูงจากพื้นน้ำหรือพื้นดินประมาณ 30 cm

วิธีคิด เชือก x มีมวล m_x = (2)(5) = 10 kg และเชือก l มีมวล m_l = (2)(10)=20kg

แทนค่าในสมการ(2)

$$(10+20+60)(9.81)h = (10)(9.81)\left(h-\frac{5}{2}\right) + (20)(9.81)\left[h-\left(5+\frac{10+d}{2}\right)\right] +$$

$$+ (60)(9.81)\left[h-\left(5+10+d+\frac{1.8}{2}\right)\right] + \left(\frac{1}{2}(45)d^2\right)$$

$$882.9h = (98.1h-245.25) + (196.2h-1962-98.1d) + (588.6h-9358.74-588.6d) + 22.5d^2$$

$$882.9h = (98.1h+196.2h+588.6h) + (-245.25-1962-9358.74) + (-98.1d-588.6d) + 22.5d^2$$

$$882.9h = 882.9h + (-11565.99) + (-686.7d) + 22.5d^2$$

ปรับสมการ เป็น $22.5d^2 - 686.7d - 11565.99 = 0$

หรือ $d^2 - 30.52d - 514.044 = 0$ .....สมการ (3)

$$d = \frac{-(-30.52)\pm\sqrt{(-30.52)^2-4(1)(-514.044)}}{2(1)}$$

$$= \frac{30.52\pm 54.66}{2}$$

ใช้เฉพาะค่าเป็นบวก $d = \frac{30.52+54.66}{2} = \frac{85.18}{2} = 42.59$

ดังนั้นระยะ h = $x+l+d+y$ = 5+10+42.59+1.80 = 59.39 เมตร

ถ้าต้องการจุดต่ำสุดเหนือผิวน้ำ 30 cm หรือ 0.3 m จะต้องโดดที่ความสูง

$H = h+0.3$ = 59.39 + 0.3 = 59.69 เมตร

คำถามชวนคิด ถ้าเหตุการณ์ตรงข้าม เช่น เมื่อต้องโดดที่ความสูง 80 เมตร ต้องให้เชือก x และ l ยาวเท่าใดตามลำดับ จึงจะต่ำสุดเหนือผิวน้ำ 30 cm (อาจใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณ เพื่อให้เร็ว)

ใบความรู้ที่ 2

การวิเคราะห์ออกแบบ บันจี่จัมบ์ (Bungee Jumping)

วิเคราะห์ปัจจัยส่งผลต่อการออกแบบ กรณีบันจี่จัมบ์สร้างด้วยเชือก 2 เส้นบนยืดไม่ได้ เส้นล่างยืดได้

1. ปัจจัยที่ได้จากทฤษฎี หรือ จากสูตรหรือสมการที่นำมาอธิบาย

$$(m_x + m_y + m_M)gh = m_x g\left(h - \frac{x}{2}\right) + m_l g\left[h - \left(x + \frac{l+d}{2}\right)\right] + m_M g\left[h - \left(x + l + d + \frac{y}{2}\right)\right] + \left(\frac{1}{2}kd^2\right)$$

เมื่อวิเคราะห์สมการข้างบน จะได้ปัจจัยดังต่อไปนี้

- มวลเชือกเส้นบน (m_x) / ความยาวเชือกเส้นบน (x)
- มวลเชือกเส้นล่าง(m_y) / ความยาวเชือกล่างก่อนยืด(l)
- ค่าคงที่การยืดเชือกเส้นล่าง(k) / ระยะยืดเชือกเส้นล่างขณะตกต่ำสุด(d)
- มวลคนโดด(m_M) / ความสูงคนโดด(y) / ความยาวทั้งหมดเมื่อตกต่ำสุด(h)

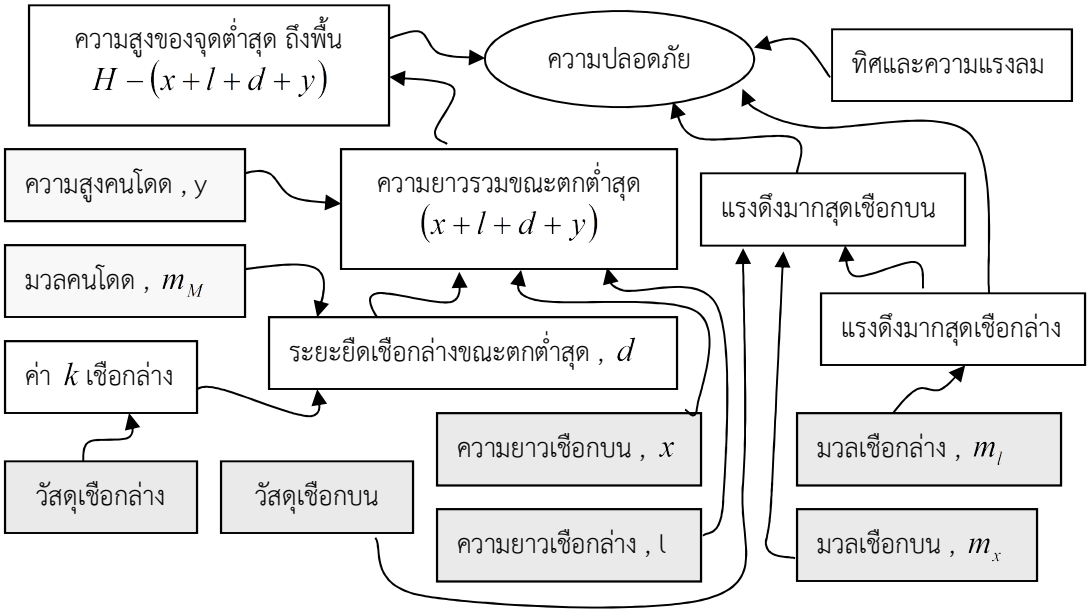
2.2 ปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อความสำเร็จตามเงื่อนไข

- การคำนวณอย่างรอบคอบ แม่นยำ (อาจต้องใช้คอมพิวเตอร์)
- การประมาณค่าความผิดพลาดจากการคำนวณกับเหตุการณ์จริง
- ฯลฯ

2.3 ปัจจัยส่งผลต่อความปลอดภัย

- ชนิดเชือกเส้นบน(วัสดุทำเชือก) / ความเหนียวของเชือกเส้นบน(ทนแรงดึงมากสุด)
- ชนิดเชือกเส้นล่าง(วัสดุทำเชือก) / ความเหนียวของเชือกเส้นล่าง(ทนแรงดึงมากสุด)
- การมัดหรือวิธีมัดเชือกที่ข้อเท้าคนโดด / ชุดที่คนโดดสวมใส่
- ทิศทางและความแรงกระแสลม / วิธีการกระโดด(ไม่ให้เชือกพันลำตัวหรือลำคอ)
- ฯลฯ

เมื่อนำปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มาสร้างเป็นแผนผังการส่งผลกระทบในลักษณะเหตุผล จะได้ดังตัวอย่างรูปล่าง (แต่ละคนอาจเขียนแผนผังได้แตกต่างกัน)



รูปที่ 2 ตัวอย่างแผนผังความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อบันจี่จัมป์
กรณีเชือก 2 เส้น เส้นบนยืดไม่ได้ เส้นล่างยืดได้

วิธีการออกแบบที่เป็นไปได้ กรณีเชือก 2 เส้น เส้นบนยืดไม่ได้ เส้นล่างยืดได้ มีดังนี้

วิธีที่ 1 หา(ชนิด)เชือกเส้นบนและเส้นล่างที่เหนียวและไม่เป็นอันตราย(ไม่มีคม)→หาค่า k ของเชือกเส้นล่าง→วัดความสูงจุดกระโดด→ชั่งน้ำหนักคนโดด→วัดความสูงคนโดด→กำหนดความยาวเชือกบนและเชือกล่างก่อนกระโดด→คำนวณระยะยืดเชือกเส้นล่างขณะตกต่ำสุด→คำนวณความยาวเชือกขณะตกต่ำสุด →คำนวณความสูงจุดตกต่ำสุดถึงพื้นถ้ามากเกินไปวนกลับไปกำหนดความยาวเชือก วนซ้ำจนพอใจ

วิธีที่ 2 วัดความสูงจุดกระโดด→เลือกหา(ชนิด)เชือกเส้นบนและเส้นล่างที่ยาวเหมาะสมกับจุดกระโด มีความเหนียว และไม่เป็นอันตราย(ไม่มีคม)→หาค่า k ของเชือกเส้นล่าง→น้ำหนักคนโดด→วัดความสูงคนโดด→กำหนดความยาวเชือกเส้นบนและเชือกเส้นล่างก่อนกระโดด→คำนวณระยะยืดเชือกเส้นล่างขณะตกต่ำสุด→คำนวณความยาวเชือกรวมขณะตกต่ำสุด →คำนวณความสูงจุดตกต่ำสุดถึงพื้นถ้ามากเกินไปวนกลับไปกำหนดความยาวเชือก วนซ้ำจนพอใจ

วิธีอื่นๆ .....

หมายเหตุ เพื่อไม่ให้ใช้เวลาการคำนวณมากและได้ค่าคำนวณแม่นยำ ควรนำคอมพิวเตอร์มาช่วยคำนวณ หรือคำนวณกรณีน้ำหนักและความสูงของคนโดดที่เป็นไปได้ แล้วทำเป็นตารางความยาวเชือกเส้นบนและเส้นล่างที่เหมาะสม ไว้ล่วงหน้า

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ; นายฉลองชัย ธีวสุทรสกุล
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. CHALONGCHAI TEEVASUTHORNSAKUL
2. ตำแหน่งปัจจุบัน ; ผู้ช่วยศาสตราจารย์
3. หน่วยงานสังกัด ; มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี ตำบลโขมง อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี
4. วุฒิการศึกษา
   ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปรด.) สาขาเทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา
   วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
   การศึกษาบัณฑิต (กศ.บ.) สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน