รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัย และนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5

หัวข้อ

“สู่วิจัยรับใช้สังคม ด้วยนวัตกรรมสร้างสรรค์”

เล่ม 1

วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

วันที่ 6 – 8 ธันวาคม 2561

ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

โดยความร่วมมือของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพายัพ
มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่ มหาวิทยาลัยพิษณุโลก และวิทยาลัยนอร์ทเทิร์น

ทักษะการคิดแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และวิศวกรรมของนักศึกษา : การสืบค้นเชิงคุณภาพเบื้องต้น จากรายวิชาพลศาสตร์วิศวกรรม และเครื่องจักรกลและการออกแบบ

Students' Problem Solving Skill in Physics and Engineering Problem: Preliminary Qualitative Investigation from the courses of Dynamics and Machinery and Design

อนุศิษฏ์ อันมานะตระกูล* และ พิเชษฐ์ พินิจ
Anusit Aunmanatrakul* and Pichet Pinit

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ประชาอุทิศ บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
Department of Mechanical Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology,
King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Prachauthit Bangmod Thungkru Bangkok, 10140
*anusit.anm@kmutt.ac.th, 02-470-8526

บทคัดย่อ

ทักษะการคิดแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และวิศวกรรมเป็นทักษะสำคัญและสะท้อนความสามารถในการคิดเชิงระบบ การคิดวิเคราะห์ และการใช้เหตุผล บทความฉบับนี้รายงานผลการสืบค้นทักษะการคิดแก้ปัญหาทางฟิสิกส์/วิศวกรรมของนักศึกษาในสองรายวิชา คือ พลศาสตร์วิศวกรรม และเครื่องจักรกลและการออกแบบ ในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาคการศึกษา 1-2561 นักศึกษาได้เรียนรู้ขั้นตอนการคิดแก้ปัญหาและฝึกฝนอย่างเป็นระบบผ่านโจทย์ปัญหาและแบบฟอร์มที่ใช้บันทึกการคิดแก้ปัญหา และการให้ผลป้อนกลับระหว่างผู้สอนกับนักศึกษา ระดับทักษะการคิดแก้ปัญหาของนักศึกษาวัดได้โดยรูบริกซึ่งได้รับการออกแบบให้มีคุณลักษณะและเกณฑ์ความสามารถสอดคล้องกับขั้นตอนการคิดแก้ปัญหา ผลการสืบค้นในเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า ผู้เรียนส่วนมากยังเข้าใจคลาดเคลื่อนว่า ทักษะการคำนวณ คือ ทักษะการคิดแก้ปัญหา และในภาพรวมนักศึกษามีทักษะอยู่ที่ระดับที่มีความสามารถในคุณลักษณะนั้น ๆ พอควรหรือแสดงให้เห็นได้บางส่วน ซึ่งต่ำกว่าระดับที่คาดหวัง ข้อค้นพบแสดงให้เห็นทิศทางที่ผู้วิจัยจะดำเนินการต่อไปโดยเฉพาะเรื่องฝึกฝนซ้ำ การแนะนำให้ผู้เรียนนำผลการป้อนกลับไปใช้ประโยชน์ และการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างผู้สอน

คำสำคัญ: ทักษะการคิดแก้ปัญหา, ทักษะการคำนวณ, การประเมินและการวัด

Abstract

Problem solving skills in physics and engineering are essential and reflect the systematic, analytical, and reasoning thinking skills. This article reports the preliminary investigation of results of students' physics/engineering problem solving skills who enrolled in the first semester of 2018 academic year for two courses of Engineering Dynamics and Machinery and design in the undergraduate program of Mechanical Technology Education in the field of Mechanical Engineering. Students learned and practiced the problem-solving skills through the problem provided with the in-house developed worksheet and feedback that played between the instructors and students. The skills were measured by the in-house developed rubrics designed to be consistent with the problem-solving process. The preliminary results show the common students' misconception between the computational skills and problem solving skills. In overall, the students' problem solving skills are at the level of 'the student demonstrates the moderate effectiveness of the skills' which is below the expected level. The finding points to the value of practice and use of feedback by students, and also to the need for sharing and supportive relationships of the instructors.

Keywords: Physics/Engineering problem solving skill, Computational skill, Assessment and measurement

1. บทนำ

ทักษะการคิดแก้ปัญหาเป็นทักษะสำคัญในการทำงานในศตวรรษที่ 21 รายงานของเวทีประชุมเศรษฐกิจโลก (World Economic Forum - WEF) ได้คาดการณ์ว่าความต้องทักษะในบุคคลมีหลากหลายและหนึ่งในนั้นจนถึงปี 2020 คือ ทักษะการคิดแก้ปัญหาที่ซับซ้อน (complex problem solving) [1] และได้ให้ความหมายไว้ว่า การระบุปัญหาที่ซับซ้อนและทบทวนสารสนเทศที่เกี่ยวข้องและสัมพันธ์เพื่อค้นหาและประเมินผลทางเลือกภายใต้เงื่อนไขชุดหนึ่งและการนำทางเลือกนั้นไปปฏิบัติเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบที่เหมาะสม การปฏิบัติดังกล่าวจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของสาขาความเชี่ยวชาญหรือศาสตร์

ในทางฟิสิกส์/วิศวกรรม นักศึกษาได้ฝึกทำโจทย์ปัญหามากมาย อย่างไรก็ตามความยาก (difficulties) ที่ค้นพบในการฝึกคิดแก้ปัญหาของนักศึกษาที่สำคัญ คือ นักศึกษามักจะมุ่งเน้นเฉพาะการคำนวณ (computation) เพื่อหาคำตอบโดยเร็วพลันหรือวิธีการคิดเชิงพีชคณิต (algebraic thinking) โดยอาศัยแบบฝึกหัดท้ายบทของตำราที่ใช้ประกอบการเรียน นักศึกษาไม่สามารถเริ่มต้นการคิดแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง เมื่อพบปัญหาใหม่นักศึกษามักจะเริ่มต้นด้วยการใช้เวลาค้นหาตัวอย่างจากตำราและเทียบเคียงเพื่อใช้ประกอบการคิดแก้ปัญหาที่ตนเองกำลังทำอยู่ นักศึกษาใช้วิธีวิเคราะห์คำตอบ (answer analysis) และเป็นส่วนมากที่นักศึกษาบอกว่า เข้าใจมโนทัศน์สำคัญของรายวิชาหรือศาสตร์แต่ก็ยังไม่สามารถเริ่มต้นคิดแก้ปัญหาได้ [2-8] ความยากดังกล่าวยังปรากฏให้เห็นในด้านคณิตศาสตร์ [9] ซึ่งถือว่าเป็นเครื่องมือสำคัญในการคำนวณหรือการดำเนินการทางพีชคณิต สภาพการณ์โดยรวมเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า นักศึกษายังไม่สามารถคิดแก้ปัญหาได้อย่างแท้จริงหรืออาจกล่าวได้โดยง่ายว่านักศึกษาไม่สามารถข้ามพ้นหนังสือหรือตำราไปได้ และขาดทักษะการคิดแก้ปัญหาที่แท้จริง

แม้ว่าปัญหาทางฟิสิกส์/วิศวกรรมในโลกอนาคตอาจจะแตกต่างไม่มากนักจากแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนในตำรา การมีทักษะการคิดแก้ปัญหาและกระบวนการที่ถูกต้องย่อมเป็นเรื่องสำคัญที่จะทำให้นักศึกษามีความมั่นใจในการคิดแก้ปัญหาของตนเอง เห็นความสำคัญและสามารถเชื่อมโยงหลักการ กฎ และทฤษฎีต่าง ๆ ที่ได้เรียนเพื่อใช้ประโยชน์จริง และมีแรงจูงในการเรียนมากยิ่งขึ้น

ด้วยความจำเป็นข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจและมุ่งหวังที่จะสร้างเสริมทักษะการคิดแก้ปัญหาทางฟิสิกส์/วิศวกรรมให้กับนักศึกษาระดับปริญญาตรีในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ชั้นปีที่ 2 ในรายวิชาพลศาสตร์วิศวกรรม จำนวน 30 คน และชั้นปีที่ 4 ในรายวิชาเครื่องจักรกลและการออกแบบ จำนวน 38 คน รวม 68 คน โดยให้ความสำคัญกับแนวทางและวิธีการคิดแก้ปัญหามากกว่าคำตอบ [9] เนื่องด้วยมีความเชื่อที่ตั้งอยู่บนหลักที่ว่า หากแนวทางและวิธีคิดรวมทั้งวิธีการคำนวณมีความถูกต้องแล้วคำตอบที่ได้ก็ย่อมจะถูกต้องแน่นอน

2. ความแตกต่างระหว่างทักษะการคิดแก้ปัญหาและการคิดแก้แบบฝึกหัด

ผู้เชี่ยวชาญหรือผู้สอน (expert) จะใช้แนวทางและกระบวนการที่แตกต่างกับผู้มีประสบการณ์น้อยหรือนักศึกษา (novice) เพื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์/วิศวกรรม [2] ด้วยเหตุที่ต้องการเพิ่มประสบการณ์ให้กับผู้มีประสบการณ์น้อยการเรียนการสอนจึงมุ่งเน้นให้นักศึกษาได้ฝึกทำโจทย์ปัญหาเป็นจำนวนมาก

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาสภาพจริงก็จะพบว่านักศึกษาต้องตกอยู่ในภาวะของการแข่งขันกับนักศึกษาอื่นอยู่ตลอดเวลา ทั้งการแข่งขันเพื่อการสอบเข้า และการแข่งขันเพื่อให้ได้เกรดที่ดีทั้งนี้เนื่องด้วยมีปัจจัยหรือผลประโยชน์อื่นที่จะได้รับตามมา เช่น เกียรตินิยม การยอมรับนับถือ ทุนการศึกษา ฯ ด้วยเหตุนี้นักศึกษาส่วนใหญ่จึงต้องติวเพื่อที่ตนเองจะสามารถทำคะแนนในการสอบให้ได้ดีซึ่งโดยทั่วไปแล้วข้อสอบก็จะมุ่งเน้นการคำนวณและคำตอบ ผู้วิจัยเชื่อว่า สภาพการณ์นี้เป็นรากของปัญหาอย่างหนึ่งที่นำมาซึ่งสภาพจำกัดของการคิดแก้ปัญหาของนักศึกษาดังที่กล่าวแล้วข้างต้น

ช่องว่างสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับผู้มีประสบการณ์น้อยก็คือ การใช้ทักษะการคิดแก้ปัญหากับการคิดแก้แบบฝึกหัด แม้ว่าแบบฝึกหัดจะเป็นสภาพจำลองจากสภาพในปัญหาจริง แบบฝึกหัดก็ยังมีความแตกต่างอย่างมีนัยกับปัญหาในสภาพจริง (ตารางที่ 1) ดังนั้น การเสริมสร้างทักษะการคิดแก้ปัญหาให้กับนักศึกษาจึงสามารถทำได้โดยให้นักศึกษาได้มีโอกาสคิดและใช้กระบวนการเหมือนกันกับผู้เชี่ยวชาญในระยะเวลาที่ยาวนานเพียงพอโดยอาศัยแบบฝึกหัดเป็นจุดเริ่มต้น ซึ่งสรุปเป็นหลักการสำคัญเพื่อเป็นแนวปฏิบัติได้ดังนี้ คือ

1) เริ่มต้นด้วยแบบฝึกหัดและเพิ่มความซับซ้อนเพื่อไปสู่ปัญหาในสภาพจริงบนช่องว่างระหว่างแบบฝึกหัดกับโจทย์ปัญหา (exercise-to-problem spectrum)
2) เปิดโอกาสให้นักศึกษาได้ฝึกทักษะซ้ำ ๆ จนเกิดความคล่องหรือชำนาญ

ตารางที่ 1 ความแตกต่างระหว่างการคิดแก้แบบฝึกหัดกับการคิดแก้ปัญหา [5]

เกี่ยวข้องกับกระบวนการให้ได้มาซึ่งคำตอบเดียวสำหรับโจทย์หนึ่ง ๆ	เกี่ยวข้องกับกระบวนการให้ได้มาซึ่งคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสิ่งที่ไม่รู้หรือชัดเจนพร้อมเงื่อนไขชุดหนึ่ง
มีความชัดเจนในสถานการณ์หรือโจทย์	มีความไม่(ค่อย)ชัดเจนหรือข้อมูลบางส่วนขาดหายไป
พบหรือเผชิญกับสภาพการณ์ที่คล้ายคลึงหรือใกล้เคียงกัน	พบหรือเผชิญกับสถานการณ์อาจคล้ายคลึงกับแบบฝึกหัดหรือสถานการณ์ใหม่โดยสิ้นเชิง
มีสมมติฐานและหลักการที่ใช้เพื่อการคิด และอาจมีคำบอกใบ้	ไม่มีข้อความที่ชัดเจนที่สื่อถึงสมมติฐาน หลักการ และคำบอกใบ้
มีแนวทางเดียวที่นำไปสู่คำตอบ	ใช้หลากหลายแนวทาง
เกี่ยวข้องกับหนึ่งรายวิชาและหลาย ๆ กรณีจะอยู่ในหัวเรื่องเดียว	บูรณาการความรู้หรือศาสตร์ที่หลากหลาย
ไม่เน้นทักษะการสื่อสาร หากแต่มุ่งเน้นการร่างภาพและทักษะการคำนวณ	ต้องการทักษะการสื่อสารเพื่อสื่อสารแนวคิดและกระบวนการคิดแก้ปัญหาและคำตอบ รวมทั้งเหตุและผลที่ทำเช่นนั้น

3. แนวทางการเสริมสร้างทักษะการคิดแก้ปัญหา

แนวทางการคิดแก้ปัญหาโดยทั่วไปที่ผู้เชี่ยวชาญเกือบทุกสาขาใช้ [2,10] มีองค์ประกอบสำคัญ คือ การสร้างความเข้าใจปัญหาให้ถ่องแท้ การวางกลยุทธ์และแผน การนำไปปฏิบัติ และการทบทวนหรือมองย้อนกลับ ทั้งสามองค์ประกอบข้างต้นมีขั้นตอนย่อย [5] ซึ่งผู้วิจัยได้ปรับเปลี่ยนเพิ่มเติมโดยอาศัยอนุกรมวิธานทางการศึกษา (educational taxonomy) ขั้นที่สี่หรือขั้นสูงสุดว่าด้วย ‘การประยุกต์ใช้ความรู้ให้เกิดประโยชน์’ ของ Marzano และ Kendall [11] และผลการประยุกต์ใช้อนุกรมวิธานทางการศึกษาดังกล่าวในการศึกษาทางฟิสิกส์ [12] ดังนี้

1) การมีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างนักศึกษากับโจทย์ปัญหา (engagement)
2) ความเข้าใจในโจทย์หรือปัญหา (problem understanding)
3) ความเข้าใจและประยุกต์ใช้หลักการ กฎ และทฤษฎีทางฟิสิกส์และวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง (Understanding and Application of Related Physics/Engineering Principles/Laws/Theories)
4) การวางแผนเพื่อการหาคำตอบ (Planning for Solution)
5) การดำเนินการทางคณิตศาสตร์/ฟิสิกส์/วิศวกรรม (Action on Mathematics, Physics, and Engineering)
6) การตอบคำถาม (Answering the Problem)
7) การแปลความ (Interpretation of Answers)
8) การคาดการณ์สิ่งที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อสภาพโจทย์/กลยุทธ์หรือแนวทางเปลี่ยนไป (Prediction...what would happen if...)

ผู้วิจัยได้นำขั้นตอนทั้งแปดข้อไปเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องมือประกอบการเรียนรู้และการประเมินต่อไป ทั้งนี้ขั้นตอนที่หนึ่งจะนำไปอยู่ในการนำเสนอโจทย์ปัญหาซึ่งอาจนำมาจากแบบฝึกหัดหรือปัญหาในสภาพจริง ดังนั้นขั้นตอนการคิดแก้ปัญหาที่นักศึกษาจะต้องปฏิบัติจึงเริ่มตั้งแต่ขั้นที่สองจนถึงแปด

4. การประเมินทักษะการคิดแก้ปัญหาและการป้อนกลับ และการดำเนินงาน

การประเมิน (assessment) คือ แผนการหรือกิจกรรมที่ใช้กลยุทธ์ เทคนิค เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการเก็บรวบรวมข้อมูลหรือหลักฐานที่สามารถระบุได้ว่านักศึกษามีความสามารถหรือบรรลุผลลัพธ์การเรียนรู้ที่กำหนด ซึ่งในที่นี้ก็คือ ทักษะการคิดแก้ปัญหาทางฟิสิกส์/วิศวกรรม ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบต่าง ๆ ในการออกแบบหลักฐานการเรียนรู้และประเมินที่สอดคล้องกัน ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดขึ้นเพื่อติดตามพัฒนาการในทักษะการคิดแก้ปัญหา

ผู้วิจัยได้กำหนดองค์ประกอบในการพัฒนาการเรียนรู้ดังนี้ หลักฐานสำคัญ (learning evidence) ที่แสดงถึงการมีทักษะของนักศึกษา คือ แบบฟอร์มบันทึกร่องรอยการคิดแก้ปัญหาตามแปดขั้นตอนของกระบวนการคิดแก้ปัญหา เครื่องมือวัด (measurement tool) เป็นรูบริก ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบไว้ตามหลักการและแนวทางการออกแบบรูบริก [13,14] และกิจกรรม (activity) เพื่อให้นักศึกษาได้แสดงทักษะ คือ การปฏิบัติงานแก้โจทย์ปัญหาร่วมกันโดยทำงานเป็นกลุ่มโดยนักศึกษาแต่ละคนในกลุ่มจะต้องทำลงในแบบฟอร์มบันทึกของตนเองด้วย

ตารางที่ 2 การออกแบบหลักฐานการเรียนรู้และการประเมิน

ประเด็น	รายละเอียด
ทักษะ (**ผลลัพธ์การเรียนรู้ : นักศึกษาสามารถคิดแก้ปัญหาที่ซับซ้อนทางฟิสิกส์/วิศวกรรม**)	การคิดแก้ปัญหาทางฟิสิกส์/วิศวกรรมตามแนวทางการวิเคราะห์ (analytic approach)
งาน	การปฏิบัติงาน (performance task) ซึ่งก็คือแบบฝึกหัดและหรือปัญหาการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล
การป้อนกลับหรือการสื่อสารกับนักศึกษา	การมุ่งเน้น • กระบวนการหรือกลไกการคิดแก้ปัญหา (process or mechanics of problem solving) และหลักการสำคัญเบื้องหลัง (underlying related principles) มิใช่คำตอบ • กลยุทธ์เชิงอภิปัญญา (metacognitive strategy) : วางแผน กำกับ และประเมินผลการเรียนรู้ของตนเองได้
กลยุทธ์	• การตั้งคำถาม • การทำงานเป็นกลุ่ม
เทคนิค/วิธีการ	• กลุ่มหรือทีมและได้รับโจทย์ปัญหาเดียวกัน • แต่ละคนคิดแก้ปัญหาตามขั้นตอน
เครื่องมือประเมิน	รูบริกการคิดแก้ปัญหา

ผู้วิจัยใช้รูปแบบการให้ผลป้อนกลับที่เสริมสร้างการเรียนรู้ (feedback model) ของ Hattie [15] โดยมุ่งเน้นที่ระดับงาน (task) กระบวนการ (process) และการกำกับตนเอง (self-regulation) การให้ผลป้อนกลับของผู้สอนจะสะท้อนกลับหรือเชื่อมโยงไปยังผลลัพธ์การเรียนรู้ของรายวิชาเสมอ (ตารางที่ 2) และจะมีทั้งระหว่างการทำงานและหลังการทำงานแล้วเสร็จ การให้ผลป้อนกลับระหว่างการทำงานจะแฝงอยู่ในแบบฟอร์มบันทึกร่องรอย (รูปที่ 1ก) และการตั้งคำถามของผู้วิจัยในฐานะผู้สนับสนุนการเรียนรู้ (facilitator) และหลังจากการทำงานแล้วเสร็จจะอยู่ในรูปของคำอธิบายบนด้านหลังของแบบฟอร์ม (รูปที่ 1ข) ซึ่งอาจมีครบทั้งสามระดับหรืออย่างใดอย่างหนึ่ง ทั้งนี้ผู้วิจัยอาจเขียนคำอธิบายลงในแต่ละส่วนรูปที่ 1ก โดยตรงก็ได้

ผู้วิจัยดำเนินงานโดยเริ่มแนะนำขั้นตอนการคิดแก้ปัญหาและแบบฟอร์ม (รูปที่ 1) ให้นักศึกษาได้รับรู้และย้ำถึงเป้าหมายสำคัญ คือ การบรรลุผลลัพธ์การเรียนรู้ทั้งสองรายวิชาซึ่งมีทักษะการคิดแก้ปัญหาทางฟิสิกส์/วิศวกรรมเป็นจุดร่วม (common skills) ทั้งนี้ผู้วิจัยมีความเป็นอิสระต่อกันในการวางแผนการสอน อย่างไรก็ตาม แนวทางที่ผู้วิจัยได้ยึดถือร่วมกันและต้องประเมินอย่างน้อย 3 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กรอบการดำเนินการวิจัย

ระยะเวลา (โดยประมาณ) และลักษณะโจทย์	เป้าหมายและวิธีการ	การให้ผลป้อนกลับและเครื่องมือ
สัปดาห์ 1-2	นักศึกษารู้จักขั้นตอนการคิดแก้ปัญหา	แบบฟอร์มการคิดแก้ปัญหา และรูบริก
สัปดาห์ที่ 3-11 โจทย์ตามตัวอย่างและแบบฝึกหัดท้ายบทของตำรา	นักศึกษาเริ่มใช้แบบฟอร์มทั้งงานในชั้นเรียนและงานมอบหมาย	แบบฟอร์มการคิดแก้ปัญหา รูบริก และการให้ผลป้อนกลับ
สัปดาห์ที่ 12-16 โจทย์ประยุกต์ที่ข้ามพ้นตำรา	นักศึกษาใช้แบบฟอร์มทั้งงานในชั้นเรียนและงานมอบหมาย	แบบฟอร์มการคิดแก้ปัญหา รูบริก และการให้ผลป้อนกลับ

รูบริกสำหรับประเมินทักษะการคิดแก้ปัญหาแสดงอยู่ในรูปที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยสามส่วนสำคัญ คือ คุณลักษณะ เกณฑ์ความสามารถ และระดับความสามารถในการคิดแก้ปัญหาที่สอดคล้องกับขั้นตอนการคิดแก้ปัญหาในหัวข้อที่ 3 ในกรณีที่ต้องการแสดงภาพรวมระดับทักษะการคิดแก้ปัญหา ผู้วิจัยจะใช้ค่าสถิติมัธยฐานหรือค่ากลาง (median)

5. ผลลัพธ์เชิงคุณภาพและการอภิปราย

5.1 ผลลัพธ์จากการสังเกต การสนทนา และตั้งคำถาม

ด้วยช่วงเวลาของการดำเนินงานตามแนวทางในตารางที่ 3 ยังอยู่ในช่วงที่สอง คือ สัปดาห์ที่ 3-11 ผู้วิจัยได้ค้นพบปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการคิดแก้ปัญหาของนักศึกษาโดยอาศัยการสังเกต การสนทนา และการตั้งคำถามเมื่อนักศึกษามีข้อสงสัยหรือเมื่อผู้วิจัยเห็นว่านักศึกษาใช้การคิดแก้ปัญหาในลักษณะการวิเคราะห์คำตอบ โดยแบ่งแหล่งที่นำมาซึ่งข้อผิดพลาดดังตารางที่ 4

ขณะที่นักศึกษากำลังคิดแก้ปัญหาโจทย์ (รูปที่ 3) ผู้สอนจะทำหน้าที่คอยให้คำแนะนำตามการร้องขอจากนักศึกษาหรือจากการสังเกตของผู้สอนเอง ข้อค้นพบที่

สำคัญและเห็นได้อย่างชัดเจน ก็คือ นักศึกษาจะแสดงให้เห็นข้อผิดพลาดจากเรื่องการคิดมากที่สุด ถัดมาคือ การอ่าน และลำดับสุดท้ายก็คือ การคำนวณทางคณิตศาสตร์/ฟิสิกส์/วิศวกรรม ข้อค้นพบนี้ยืนยันว่า นักศึกษามีทักษะการคำนวณ แต่ยังขาดทักษะการคิดแก้ปัญหา นอกจากนี้ยังยืนยันได้อีกว่า นักศึกษามีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (misconception) ที่ว่า การคำนวณ คือ การคิดแก้ปัญหา หากพิจารณาตามอนุกรมวิธานการศึกษาที่ว่าด้วยเรื่องการจำแนกระดับการเรียนรู้ เราก็จะพบว่าความแตกต่างระหว่างทักษะทั้งสองได้อย่างชัดเจน เช่น ในอนุกรมวิธานการศึกษา SOLO (Structure of Observed Learning Outcomes Taxonomy) ที่ได้จัดแบ่งระดับการเรียนรู้ไว้ 5 ระดับ [16-18] ทักษะการคำนวณจะอยู่ในระดับพหุโครงสร้าง (SOLO-3 multi-structural) ซึ่งต่ำกว่าทักษะการคิดแก้ปัญหาที่ถูกจัดไว้ที่ระดับความสัมพันธ์ (SOLO-4 rational) และ/หรือระดับสูงสุด ขยายนามธรรม (SOLO-5 extended abstract) และในอนุกรมวิธานการศึกษาของ Marzano และ Kendall [11] ที่ได้จัดให้การแก้คิดปัญหาอยู่ในระดับสูงสุดของระบบแห่งปัญญา (cognitive system) กล่าวคือ การประยุกต์ใช้ความรู้ให้เกิดประโยชน์ ดังนั้น ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักศึกษาที่กล่าวถึงข้างต้นเป็นเรื่องที่ต้องเร่งแก้ไขเพราะว่าจะส่งผลกระทบต่อการเรียนรู้ในรายวิชาอื่น ๆ ต่อไป ต้องใช้เวลา และต้องร่วมมือกันอย่างแข็งขันและจริงจังระหว่างผู้สอนด้วยกัน

ผู้วิจัยจะตั้งคำถามกับนักศึกษาเพื่อกระตุ้นให้เกิดการการคิดและเรียนรู้อย่างลึกซึ้ง (deep learning) โดยคำนึงถึงกระบวนการคิดแก้ปัญหาในหัวข้อที่ 3 เช่น ในส่วนการอ่าน ‘เธอเห็นอะไรในโจทย์ปัญหานี้บ้างที่โจทย์ไม่ได้บอกหรือระบุไว้?’ ‘เมื่อเห็นหรืออ่านโจทย์แล้ว เธอนึกอะไรออกได้บ้างในสิ่งที่ได้เรียนมาแล้ว และสิ่งเหล่านั้นเชื่อมโยงอย่างไรกับโจทย์ปัญหานี้?’ ในด้านการคิด ผู้สอนพบว่า นักศึกษามักจะเริ่มด้วยการนำสูตรมาคำนวณเพื่อหาคำตอบ และตั้งคำถามในหลาย ๆ แบบ เช่น ‘เธอรู้ได้อย่างไรว่าเธอต้องใช้สูตรนั้น?’ ‘เธอมีแนวทางหรือเกณฑ์ในการเลือกใช้สูตรอย่างไร?’ ‘เธอรู้ได้อย่างไรว่าคำตอบที่เธอได้มามีความถูกต้อง? หรือเธอจะยืนยันได้อย่างไรว่าคำตอบนั้นถูกต้อง?’ ในด้านการคำนวณ ผู้วิจัยมักจะพบว่าเรื่องการจัดเรียงลำดับเป็นสิ่งที่สับสนมากที่สุด ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วนักศึกษาสามารถปรับแก้ได้ทันที อย่างไรก็ตามนักศึกษาส่วนหนึ่งยังขาดหรือลืมมโนทัศน์และวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่สำคัญ เช่น พีชคณิต เรขาคณิต ตรีโกณมิติ ฯ รวมทั้งทางฟิสิกส์และวิศวกรรม เช่น ปริมาณทางฟิสิกส์และระบบหน่วย กฎพื้นฐาน และการอ่านค่าจากกราฟหรือตาราง

ตารางที่ 4 ข้อผิดพลาดที่ค้นพบ

แหล่งข้อผิดพลาด	ปรากฏการณ์	ขั้นตอนในการคิดแก้ปัญหาในหัวข้อที่ 3
การอ่าน	• การเริ่มต้นคิดแก้ปัญหาโดยไม่อ่านโจทย์ให้ครบถ้วน • การอ่านโจทย์โดยข้ามส่วนที่ไม่เข้าใจ • การอ่านโจทย์โดยขาดความใส่ใจ	ขั้นตอนที่ 2
การคิด	• การเริ่มต้นด้วยการค้นหาตัวอย่างจากตำราหรืออินเทอร์เนต	ขั้นตอนที่ 3 4 5 และ 6
	• การที่ไม่สามารถระบุหลักการ กฎ และทฤษฎีได้ • การขาดการเชื่อมโยงกับองค์ความรู้เดิมที่เกี่ยวข้องและสัมพันธ์ • การขาดการแสดงสิ่งที่ไม่ชัดเจนจากโจทย์ออกมาเป็นภาพที่จะช่วยให้เข้าใจยิ่งขึ้น	ขั้นตอนที่ 3
	• การด่วนสรุปคำตอบ	ขั้นตอนที่ 6 และ
	• การยุติการคิดแก้ปัญหาเมื่อได้คำตอบ	ขั้นตอนที่ 7 และ 8
การคำนวณทางคณิตศาสตร์/ฟิสิกส์/วิศวกรรม	• การคำนวณโดยไม่แสดงหน่วยให้ชัดเจน (หากจำเป็น) • การจัดเรียงลำดับที่สับสน • การขาดทักษะทางคณิตศาสตร์หรือหลงลืมวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่สำคัญและจำเป็น	ขั้นตอนที่ 5

5.2 ผลลัพธ์จากรูบริกและการให้ผลป้อนกลับจากผู้วิจัย

ผู้วิจัยวัดผลงานของนักศึกษาโดยใช้รูบริก (รูปที่ 2) ทั้งนี้เป้าหมายสำคัญของการประเมินก็เพื่อการพัฒนา (formative assessment) หรือเสริมสร้างทักษะการคิดแก้ปัญหาของนักศึกษา ผลการวัดโดยผู้วิจัยชี้ให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว นักศึกษาในรายวิชาพลศาสตร์ วิศวกรรมและเครื่องจักรกลและการออกแบบจะมีทักษะการคิดแก้ปัญหาอยู่ในระดับ 2 พื้นฐาน (basic level)

กล่าวคือ ‘นักศึกษาแสดงให้เห็นถึงความรอบรู้โดยเข้าใจเนื้อหารายวิชาและทักษะได้อย่างครบถ้วนในระดับง่าย และสามารถประยุกต์ใช้เนื้อหาและทักษะได้ในบางสถานการณ์ตามที่ได้เรียนในชั้นเรียน’ ซึ่งอยู่ต่ำกว่าระดับที่ผู้วิจัยคาดหวังไว้ คือ ระดับ 3 ชำนาญ (proficient level) ‘นักศึกษาแสดงให้เห็นถึงความรอบรู้ในเนื้อหารายวิชาและทักษะได้อย่างครบถ้วนทั้งในระดับง่ายและซับซ้อนตามที่คาดหวัง และสามารถประยุกต์ใช้เนื้อหาและทักษะได้ในหลากหลายสถานการณ์ตามที่ได้เรียนในชั้นเรียน’ หรือระดับ 4 ล้ำหน้า (advancing level) ‘นักศึกษาแสดงให้เห็นถึงความรอบรู้ (mastery) ที่เหนือหรือสูงกว่าระดับที่คาดหวังในเนื้อหารายวิชาและทักษะได้อย่างครบถ้วนทั้งในระดับง่ายและซับซ้อน สามารถประยุกต์ใช้เนื้อหาและทักษะได้ในหลากหลายสถานการณ์นอกเหนือจากที่ได้เรียนในชั้นเรียน และสามารถสอนแนะนำ หรือเป็นตัวอย่างให้ผู้อื่นได้’

รูปที่ 4 และ 5 แสดงตัวอย่างแบบฟอร์มบันทึกการคิดแก้ปัญหาของนักศึกษาในรายวิชาพลศาสตร์วิศวกรรม และเครื่องจักรกลและการออกแบบ ตามลำดับ ผู้วิจัยกำหนดให้นักศึกษาช่วยกันแก้โจทย์เป็นกลุ่ม และบันทึกสิ่งที่คิดลงไปในแต่ละช่อง (รูปที่ 3) ผู้วิจัยเขียนข้อความการให้ผลป้อนกลับทั้งแบบเขียนลงในหน้าแรก (รูปที่ 4 และ 5ก) และหน้าหลัง (รูปที่ 5ข) ผลป้อนกลับในครั้งนี้มุ่งเน้นกระบวนการที่จำเป็นต้องใช้ในการทำงานหรือการให้มีหลักการ และอาจอยู่ในรูปแบบของข้อความอธิบายหรือคำถามชวนคิด เช่น ‘อนุภาคทั้งสองเคลื่อนที่เป็นอิสระต่อกันหรือไม่ อย่างไร?’ ‘(เธอ)จะเลือกใช้ระบบพิกัดใดจึงจะเหมาะสม?’ ‘(เธอ)มีแนวทางในการกำหนดทิศทางของภาระภายในอย่างไร?’ ‘หากมีแรงภายนอกกระทำทั้งผ่านและไม่ผ่านเส้นศูนย์ถ่วงของวัตถุจะเกิดผลอย่างไรต่อภาระภายใน ณ หน้าตัดของชิ้นงาน?’ สำหรับการเขียนด้านหลัง (รูปที่ 5ข) ผู้วิจัยมุ่งเน้นส่วนที่ d ว่าด้วยสิ่งที่นักศึกษาน่าจะทำได้ดียิ่งขึ้นเมื่อนักศึกษานำข้อแนะต่อไปนี้ไปปรับใช้ เช่น การวาดรูปแผนภาพอิสระที่เกิดจากการตัด section การมีแนวทางในการกำหนดแกนอ้างอิงและทิศทางของภาระภายในเพื่อการสมดุล การวาดรูปหรือแผนภาพอื่นใดที่จะช่วยทำให้เราเข้าใจโจทย์หรือเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ กับสิ่งที่โจทย์ต้องการ

5.3 ผลสะท้อนจากนักศึกษา

นักศึกษาได้ให้ผลสะท้อนกลับมายังผู้วิจัยในกรณีรายวิชาพลศาสตร์วิศวกรรมผ่านการประเมินในชั้นเรียน (classroom assessment) โดยกลยุทธ์ 3-2-1 คือ 3 สิ่งที่ได้เรียนรู้ 2 สิ่งที่ยังไม่รู้ และ 1 สิ่งที่จะต้องไปทำต่อ (รูปที่ 6) และการประเมินความเข้าใจด้วยตนเองในรายวิชาเครื่องจักรกลและการออกแบบ (รูปที่ 5ข)

รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างข้อความบางส่วนที่ได้จากการสะท้อนของนักศึกษาผ่านโปรแกรมแสดงความคิดเห็นออนไลน์ ชื่อ mentimeter ในข้อความแสดงให้เห็นว่านักศึกษาตระหนักรู้ในความสำคัญและเข้าใจความหมายของทักษะการคิดแก้ปัญหา (ในมิติที่แตกต่างจากทักษะการคำนวณ) เช่น ‘ได้การคิดวิเคราะห์โจทย์’ ‘ได้เรียนรู้ในการตีความโจทย์’ ซึ่งตรงกับขั้นตอนแรกในรูปที่ 1 และ ‘รู้ว่าการคิดแก้ปัญหาต้องทำอย่างไรบ้าง’ ซึ่งตรงกับขั้นตอนการคิดแก้ปัญหาทั้งหมด

รูปที่ 5ข ด้านซ้ายเป็นตัวอย่างผลการประเมินความเข้าใจด้วยตนเองในรายวิชาเครื่องจักรกลและการออกแบบ จากรูปนักศึกษาประเมินให้ตนเองอยู่ระดับ 2 ซึ่งมีคำจำกัดความว่า ‘ฉันเข้าใจ/ทำเรื่องนั้น ๆ ได้ทั้งหมดด้วยความช่วยเหลือหรือจากตัวอย่างที่เห็นอยู่ตรงหน้า และยังแสดงให้เห็นข้อผิดพลาด’ โดยมีเหตุผลประกอบคือ ‘หลงลืมความรู้เก่า ๆ ไป จึงต้องใช้เวลาในการทำความเข้าใจและให้เพื่อนสอน’ ทั้งนี้ภาพโดยรวมของการสะท้อนกลับจากนักศึกษาสอดคล้องกับผลการประเมินจากผู้วิจัย (หัวข้อที่ 5.2) และแสดงให้เห็นถึงการตระหนักรู้ในการกำกับตนเอง อย่างไรก็ตามสภาพดังกล่าวยังเป็นเพียงการเริ่มต้นที่ผู้สอนจะต้องเฝ้าติดตามและกระตุ้นให้เกิดขึ้นในตัวนักศึกษาจนกลายเป็นอุปนิสัย

6. สรุปและงานในอนาคต

ทักษะการคิดแก้ปัญหาทางฟิสิกส์/วิศวกรรมต้องการหรืออาศัยทักษะอื่น ๆ ประกอบ เช่น การคิดวิเคราะห์ การตัดสินใจ ฯ และเป็นสิ่งที่ลึกซึ้งมากกว่าจะเป็นเพียงแค่ทักษะการคำนวณ การเริ่มต้นคิดแก้ปัญหาเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งที่นักศึกษาจะต้องฝึกฝนเนื่องด้วยเมื่อสำเร็จการศึกษาไปแล้วนักศึกษาจะต้องพบกับสภาพปัญหาและคิดแก้ปัญหานั้นด้วยตนเอง ภายใต้สถานการณ์นี้ จึงเป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่งที่นักศึกษาจะต้องฝึกฝนทักษะการคิดแก้ปัญหาอย่างจริงจัง

บทความฉบับนี้รายงานการสืบค้นในเบื้องต้นเกี่ยวกับการฝึกทักษะการคิดแก้ปัญหาฟิสิกส์/วิศวกรรมของนักศึกษาระดับปริญญาตรี ข้อค้นพบ (ในช่วงเวลาสัปดาห์ที่ 3-11 ตารางที่ 3 และการประเมินที่ยังไม่ครบตามที่กำหนดไว้) แสดงให้เห็นว่า นักศึกษาส่วนมากในทั้งสองรายวิชามีทักษะการคิดแก้ปัญหาอยู่ในระดับพื้นฐาน ซึ่งถือว่ายังไม่บรรลุระดับที่คาดหวังที่ได้กำหนดไว้โดยทั้งรายวิชาและหลักสูตร และประเด็นนี้เป็นเรื่องที่ผู้สอนจะต้องรีบดำเนินการพัฒนาทักษะของนักศึกษาโดยเร็ว

อย่างไรก็ตาม ข้อค้นพบก็แสดงให้เห็นโอกาสที่ผู้สอนจะร่วมกันประเมินทักษะของนักศึกษาได้

เอกสารอ้างอิง

[1] World Economic Forum - WEF. (2016) . **The future of jobs: Employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution** [On-line]. Available: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf.

[2] Heller, K. and Heller, P. (2010). **Cooperative problem solving in physics a user's manual** [On-line]. Available: https://www.aapt.org/Conferences/newfaculty/upload/Coop-Problem-Solving-Guide.pdf.

[3] Schwieger, R. (2003). Why is teaching problem solving so difficult? and How to make it easier. In **Proceedings of the 2003 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition**: 6071-6077.

[4] Whimbey, A. and Lochhead, J. (1999). **Problem solving and comprehension**. 6th ed. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

[5] Mourtos, N.J., Okamoto, N.D. and Rhee, J., (2004). Open-ended problem-solving skills in thermal fluids engineering. **Global Journal of Engineering Education** 8: 189–200.

[6] Mourtos, N.J. (2010). Challenges students face when solving open - ended problems. **International Journal of Engineering Education** 26(4): 846-859.

[7] Mourtos, N.J. (2012). Defining, teaching, and assessing engineering design skills. **International Journal for Quality Assurance in Engineering and Technology Education** 2(1): 14-30.

[8] ธันยากร ช่วยทุกข์เพื่อน. (2559). การศึกษาข้อบกพร่องของกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยใช้กลวิธีแก้ปัญหาเชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี: กรณีศึกษานักศึกษามหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์. **วารสารวิจัยทางการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ** 11(1): 26-35.

[9] วาสุกรี แสงป้อม. (2560). การคิดขั้นสูงทางคณิตศาสตร์ของนักศึกษาในกระบวนการแก้ปัญหา. **วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี** 28(8): 95-108.

[10] Polya, G.. (1985). **How to solve it: A new aspect of mathematical method**. (2nd ed.). Princeton University Press.

[11] Marzano, R. J. and Kendall, J.S. (2007). **The new taxonomy of educational objectives**. (2nd ed.). Thousand Oaks: Corwin Press.

[12] Teodorescu, R.E., Bennhold, C., Feldman, G., and Medsker, L. (2013). New approach to analyzing physics problems: A taxonomy of introductory physics problems. **Physical Review Special Topics – Physics Education Research** 9(1): 010103-1 - 20.

[13] Brookhart, S. M. (2013). **How to create and use rubrics for formative assessment and grading**. Alexandria, VA: ASCD.

[14] Robin, T. and Simon, M. (2004). What's still wrong with rubrics: focusing on the consistency of performance criteria across scale levels. **Practical Assessment, Research and Evaluation** 9(2): 1-7.

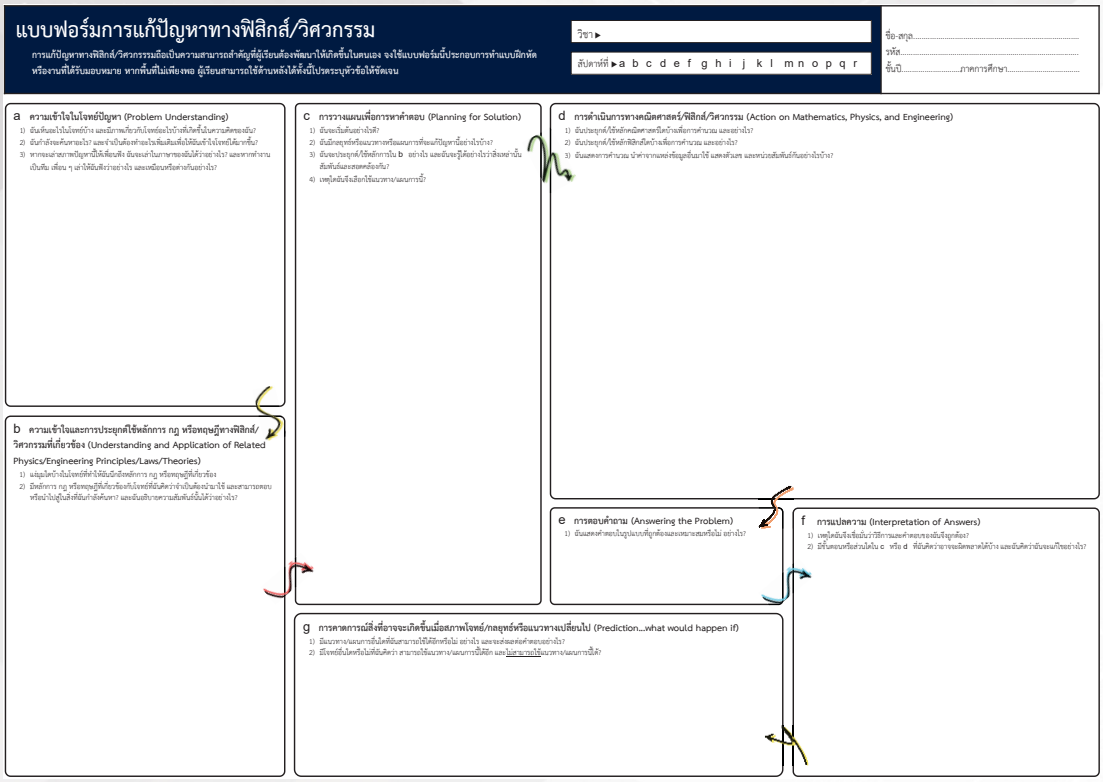
[15] Hattie, J. and Timperley, H. (2007). The Power of feedback. **Review of Educational Research** 77(1): 81-112.

[16] Biggs, J.B., and Collis, K.F. (1982). **Evaluating the quality of learning - the SOLO Taxonomy**. New York: Academic Press.

[17] Biggs, J.B. (1995). Assessing for learning: Some dimensions underlying new approaches to educational assessment. **The Alberta Journal of Educational Research** 41(1): 1-17.

[18] Biggs, J. and Tang, C. (2007). **Teaching for quality learning at university, The society of research into higher education**. 4th ed. London: McGraw-Hill.

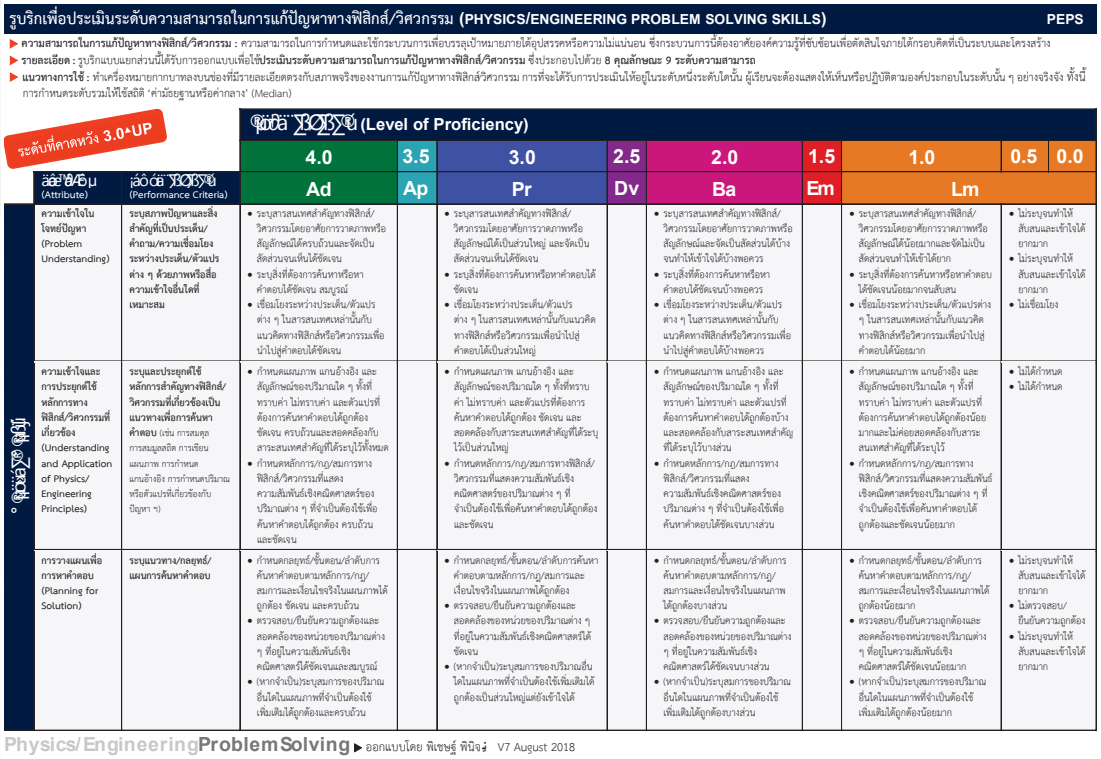
(ก)



(ข)

รูปที่ 1 แบบฟอร์มบันทึกการคิดแก้ปัญหา (ก) ด้านหน้าเพื่อฝึกการคิดแก้ปัญหาทางฟิสิกส์/วิศวกรรม ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3 และ (ข) ด้านหลังเพื่อการประเมินตนเองโดยนักศึกษาและการให้ผลป้อนกลับจากผู้สอน

(ก)



(ข) รูบริกเพื่อประเมินระดับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์/วิศวกรรม (PHYSICS/ENGINEERING PROBLEM SOLVING SKILLS) PEPS

▶ **ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์/วิศวกรรม :** ความสามารถในการกำหนดและใช้กระบวนการเพื่อบรรลุเป้าหมายภายใต้อุปสรรคหรือความไม่แน่นอน ซึ่งกระบวนการนี้ต้องอาศัยองค์ความรู้ที่ซับซ้อนเพื่อตัดสินใจภายใต้กรอบคิดที่เป็นระบบและโครงสร้าง

▶ **รายละเอียด :** รูบริกแบบแยกส่วนนี้ได้รับการออกแบบเพื่อ**ใช้ประเมินระดับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์/วิศวกรรม** ซึ่งประกอบไปด้วย **8 คุณลักษณะ 9 ระดับความสามารถ**

▶ **แนวทางการใช้ :** ทำเครื่องหมายกากบาทลงบนช่องที่มีรายละเอียดตรงกับสภาพจริงของงานการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์วิศวกรรม การที่จะได้รับการประเมินให้อยู่ในระดับหนึ่งระดับใดนั้น ผู้เรียนจะต้องแสดงให้เห็นหรือปฏิบัติตามองค์ประกอบในระดับนั้น ๆ อย่างจริงจัง ทั้งนี้ การกำหนดระดับรวมให้ใช้สถิติ 'ค่ามัธยฐานหรือค่ากลาง' (Median)

ระดับที่คาดหวัง 3.0+UP

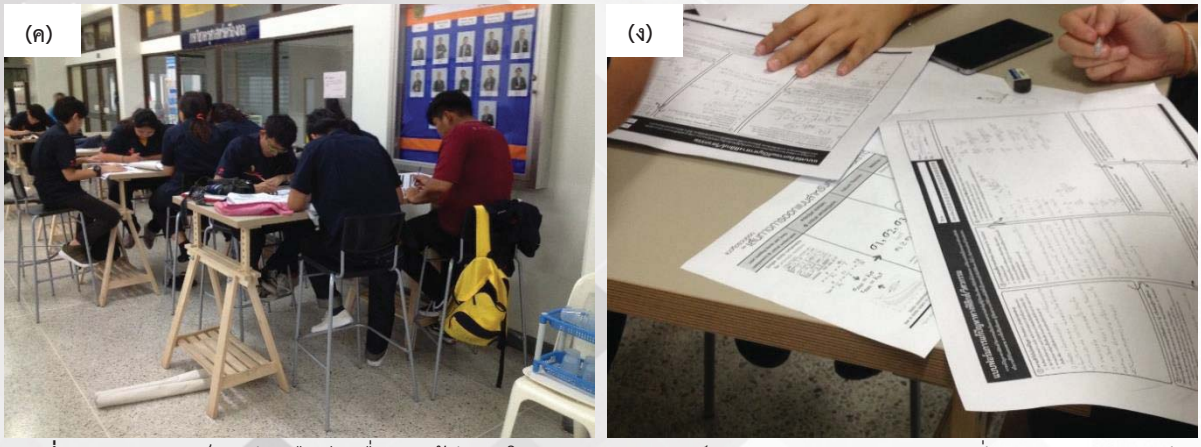
		ระดับความชำนาญ (Level of Proficiency)								
		4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0
	คุณลักษณะ (Attribute)	Ad	Ap	Pr	Dv	Ba	Em	Lm		
ปัญหาที่ซับซ้อน	การคำนวณการทางคณิตศาสตร์ฟิสิกส์ และวิศวกรรม (Action on Mathematics, Physics, and Engineering)	**แสดงแนวทางหรือวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์** (เช่น ตรีโกณมิติ พีชคณิต เวกเตอร์ แคลคูลัส) **ฟิสิกส์** (เช่น ปริมาณ กฎการเคลื่อนที่ ฯ) **และวิศวกรรม** (เช่น ค่าแรง นิยามสำคัญ การอ่านค่าสารสนเทศจากตารางหรือกราฟ ฯ) **อย่างเป็นระบบ ชัดเจน ต่อเนื่อง และสอดคล้องกับแนวทางหรือแผนการค้นหาคำตอบ**	• คำนวณเชิงตัวเลขอย่างเป็นระบบโดยใช้แผนภาพที่เกี่ยวข้องได้อย่างชัดเจนโดยไม่มีข้อผิดพลาดเชิงตัวเลข และสามารถทวนสอบย้อนกลับไปมาได้โดยง่ายมากและทันที • ใช้ความสัมพันธ์และสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์/ฟิสิกส์/วิศวกรรมได้อย่างถูกต้องและสมบูรณ์ และไม่มีข้อผิดพลาด • อ่านค่าหรือสารสนเทศจากตาราง และกราฟได้อย่างถูกต้องโดยไม่มีข้อผิดพลาด • ใช้หน่วยได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์และคงเส้นคงวา		• คำนวณเชิงตัวเลขอย่างเป็นระบบโดยใช้แผนภาพที่เกี่ยวข้องได้อย่างชัดเจนโดยมีข้อผิดพลาดเชิงตัวเลขเล็กน้อยแต่ไม่มีนัยสำคัญทางวิศวกรรมและสามารถทวนสอบย้อนกลับไปมาได้โดยง่าย • ใช้ความสัมพันธ์และสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์/ฟิสิกส์/วิศวกรรมได้อย่างถูกต้องโดยมีข้อผิดพลาดเล็กน้อย • อ่านค่าหรือสารสนเทศจากตารางและกราฟ ได้อย่างถูกต้องโดยมีข้อผิดพลาดเล็กน้อย แต่ไม่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญทางวิศวกรรม • ใช้หน่วยได้อย่างถูกต้องและคงเส้นคงวาเป็นส่วนใหญ่		• คำนวณเชิงตัวเลขค่อนข้างเป็นระบบโดยใช้แผนภาพที่เกี่ยวข้องโดยมีข้อผิดพลาดเชิงตัวเลขพอควรอย่างมีนัยสำคัญทางวิศวกรรม และทวนสอบย้อนกลับไปมาได้ง่ายพอควร • ใช้ความสัมพันธ์และสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์/ฟิสิกส์/วิศวกรรมได้โดยมีข้อผิดพลาดพอควร • อ่านค่าหรือสารสนเทศจากตารางและกราฟได้อย่างถูกต้องโดยมีข้อผิดพลาดพอควร และมีนัยสำคัญทางวิศวกรรม • ใช้หน่วยได้ถูกต้องพอควรและค่อนข้างขาดความคงเส้นคงวา		• คำนวณเชิงตัวเลขไม่เป็นระบบ มีข้อผิดพลาดเชิงตัวเลขมาก และทวนสอบย้อนกลับไปมาได้ยากมาก • ใช้สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์/ฟิสิกส์/วิศวกรรม และหน่วยได้อย่างถูกต้องน้อยมากหรือมีข้อผิดพลาดมาก • อ่านค่าหรือสารสนเทศจากตารางและกราฟได้โดยมีข้อผิดพลาดมาก และทำให้การคำนวณเกิดข้อผิดพลาดอย่างชัดเจน • ใช้หน่วยได้ถูกต้องน้อยมากและขาดความคงเส้นคงวา	• ไม่สามารถทวนสอบย้อนได้ • ไม่มีความคงเส้นคงวา • ไม่สามารถอ่านค่าหรือสารสนเทศได้ • ใช้หน่วยไม่ถูกต้องและสอดคล้อง	
	การตอบคำถาม (Answering the Problem)	**ตอบคำถามของโจทย์ปัญหา**	ตอบคำถามของโจทย์ปัญหาได้ถูกต้องครบถ้วน และชัดเจน		ตอบคำถามของโจทย์ปัญหาได้ตรงและถูกต้อง		ตอบคำถามของโจทย์ปัญหาได้ตรงและถูกต้องบางส่วน		ตอบคำถามที่ไม่สอดคล้องหรือตรงกับโจทย์ปัญหา	ไม่ตอบคำถาม
	การแปลความ (Interpretation of Answers)	**อภิปรายความสอดคล้องระหว่างคำตอบที่ได้กับโจทย์ปัญหาบนหลักการและเหตุผล**	อภิปรายความสมเหตุสมผลระหว่างคำตอบที่ได้กับโจทย์ปัญหาบนฐานของหลักการ/ทฤษฎี/กฎ/กระบวนการที่เกี่ยวข้องได้ชัดเจนและเหมาะสม ซึ่งสามารถยืนยันความถูกต้องของคำตอบได้		อภิปรายความสมเหตุสมผลระหว่างคำตอบที่ได้กับโจทย์ปัญหาบนฐานของหลักการ/ทฤษฎี/กฎ/กระบวนการที่เกี่ยวข้องได้ชัดเจน ซึ่งสามารถยืนยันความถูกต้องของคำตอบได้		อภิปรายความสมเหตุสมผลระหว่างคำตอบที่ได้กับโจทย์ปัญหาบนฐานของหลักการ/ทฤษฎี/กฎ/กระบวนการที่เกี่ยวข้องได้ค่อนข้างชัดเจน ซึ่งสามารถยืนยันความถูกต้องของคำตอบได้บ้าง		อภิปรายความสมเหตุสมผลระหว่างคำตอบที่ได้กับโจทย์ปัญหาบนฐานของหลักการ/ทฤษฎี/กฎ/กระบวนการที่เกี่ยวข้องได้ชัดเจนน้อยมากจนทำให้คลุมเครือ สับสน	อภิปรายแต่ยืนยันความถูกต้องของคำตอบไม่ได้ หรือไม่อภิปราย
	การคาดการณ์สิ่งที่อาจจะเกิดขึ้น (Prediction)	**คาดการณ์ถึงสิ่งที่จะเกิดขึ้นต่อคำตอบ แผนการกระบวนการ และวิธีการเมื่อสถานการณ์ หรือปริมาณต่าง ๆ เปลี่ยนไป**	อธิบายสภาพที่อาจจะเกิดขึ้นต่อคำตอบหรือโจทย์ปัญหาได้เมื่อสถานการณ์เหตุการณ์ หรือปริมาณหนึ่ง ๆ ในโจทย์ปัญหาเปลี่ยนแปลงไปได้ชัดเจน และสมเหตุสมผลบนพื้นฐานของหลักการ/ทฤษฎี/กฎ/กระบวนการที่เกี่ยวข้อง		อธิบายสภาพที่อาจจะเกิดขึ้นต่อคำตอบหรือโจทย์ปัญหาได้เมื่อสถานการณ์เหตุการณ์ หรือปริมาณหนึ่ง ๆ ในโจทย์ปัญหาเปลี่ยนแปลงไปได้อย่างสมเหตุสมผลบนพื้นฐานของหลักการ/ทฤษฎี/กฎ/กระบวนการที่เกี่ยวข้อง		อธิบายสภาพที่อาจจะเกิดขึ้นต่อคำตอบหรือโจทย์ปัญหาได้เมื่อสถานการณ์เหตุการณ์ หรือปริมาณหนึ่ง ๆ ในโจทย์ปัญหาเปลี่ยนแปลงไปได้ค่อนข้างสมเหตุสมผลบนพื้นฐานของหลักการ/ทฤษฎี/กฎ/กระบวนการที่เกี่ยวข้อง		อธิบายสภาพที่อาจจะเกิดขึ้นต่อคำตอบหรือโจทย์ปัญหาได้สถานการณ์เหตุการณ์ หรือเมื่อปริมาณหนึ่ง ๆ ในโจทย์ปัญหาเปลี่ยนแปลงไปได้สมเหตุสมผลน้อยมาก	อธิบายโดยไม่มีเหตุผลใด ๆ มารองรับหรือไม่อธิบาย
	การนำเสนอภาพรวม (Overall Presentation)	**นำเสนอการแก้ปัญหาในภาพรวม**	นำเสนอการแก้ปัญหาในภาพรวมได้อย่างเป็นระเบียบและสมบูรณ์ จนทำให้อ่านและเข้าใจได้ง่ายมาก		นำเสนอการแก้ปัญหาในภาพรวมได้อย่างเป็นระเบียบจนเป็นส่วนใหญ่จนทำให้อ่านและเข้าใจได้ง่าย		นำเสนอการแก้ปัญหาในภาพรวมได้อย่างเป็นระเบียบพอควรจนทำให้อ่านและเข้าใจได้ยาก		นำเสนอการแก้ปัญหาในภาพรวมได้ไม่ค่อยเป็นระเบียบจนทำให้อ่านและเข้าใจได้ยากมาก	นำเสนอไม่เป็นระเบียบจนทำให้ไม่เข้าใจ

Physics/EngineeringProblemSolving ▶ ออกแบบโดย พิเชษฐ์ พินิจ ; V7 August 2018

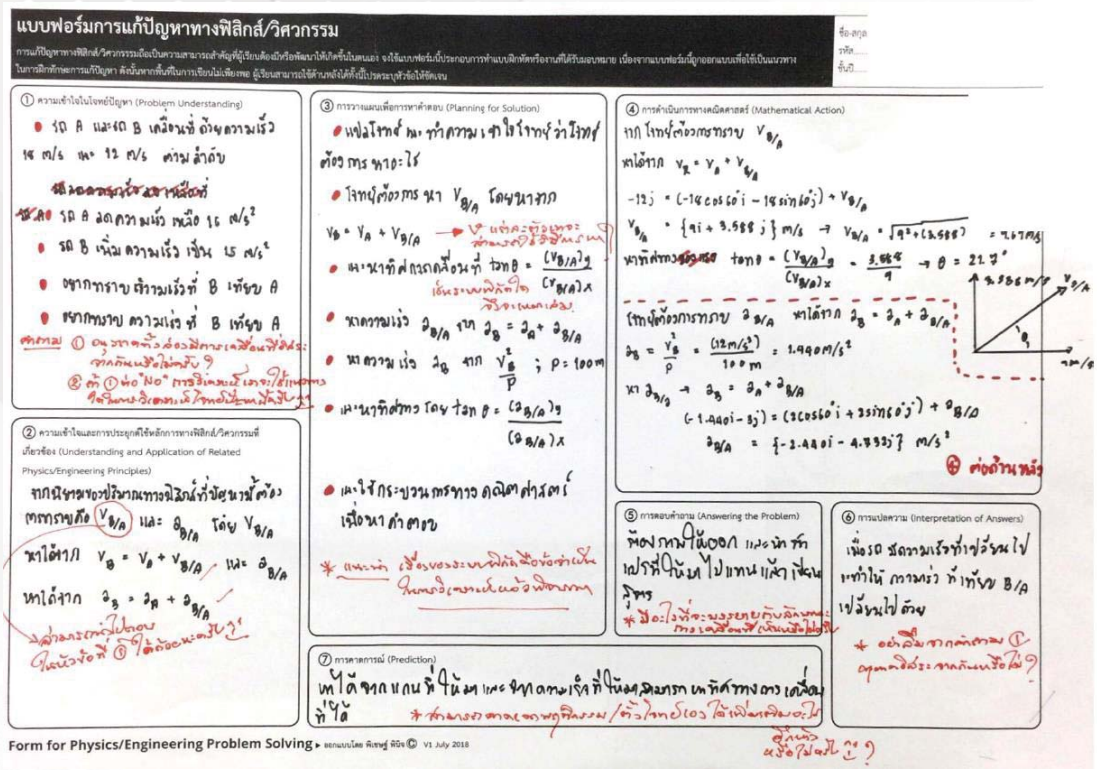
รูปที่ 2 รูบริกประเมินทักษะการคิดแก้ปัญหาทางฟิสิกส์/วิศวกรรม (ก) หน้าที่ 1 และ (ข) หน้าที่ 2 ซึ่งคุณลักษณะจะสอดคล้องกับขั้นตอนการคิดแก้ปัญหาในหัวข้อที่ 3

(ก)

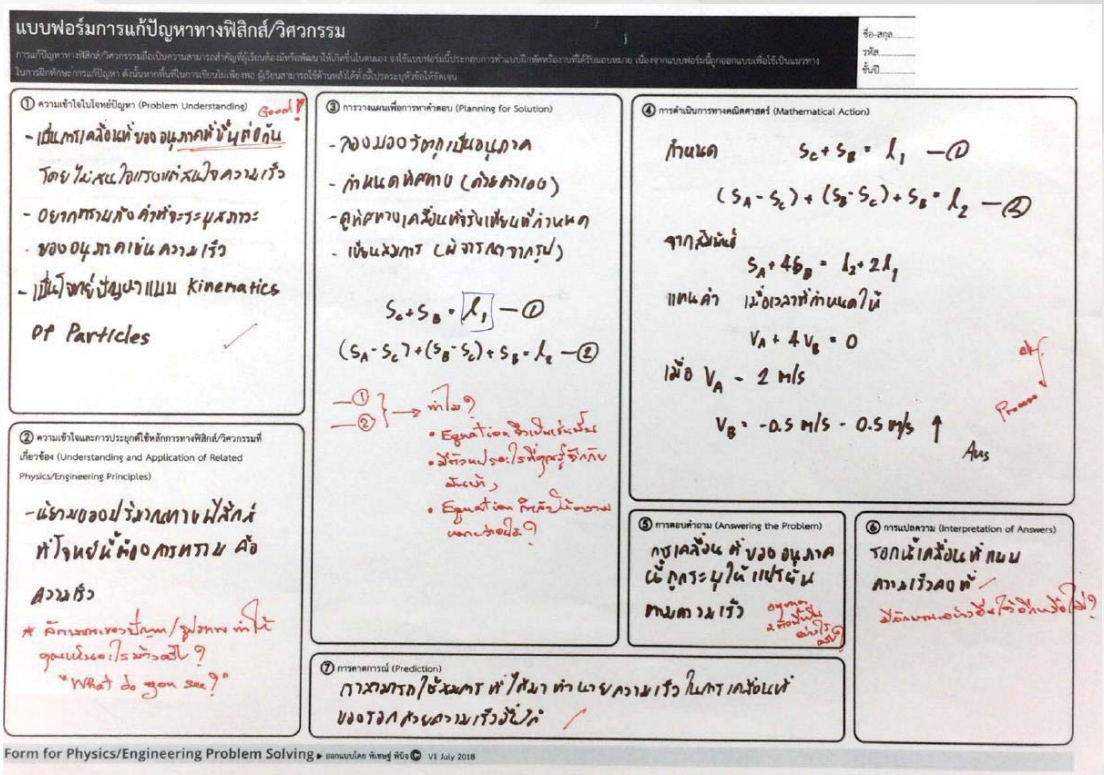
(ข)



รูปที่ 3 การทำงานเป็นกลุ่มหรือทีมเพื่อคิดแก้ปัญหาในรายวิชาพลศาสตร์วิศวกรรม (ก) และ (ข) การนั่งและทำงานตามกลุ่ม และบันทึกการคิดแก้ปัญหาลงในแบบฟอร์มด้านหน้า (รูปที่ 1ก) และในรายวิชาเครื่องจักรกลและการออกแบบ (ค) การนั่งและทำงานตามกลุ่ม และ (ง) การบันทึกการคิดแก้ปัญหาลงในแบบฟอร์มด้านหน้าเป็นรายบุคคล



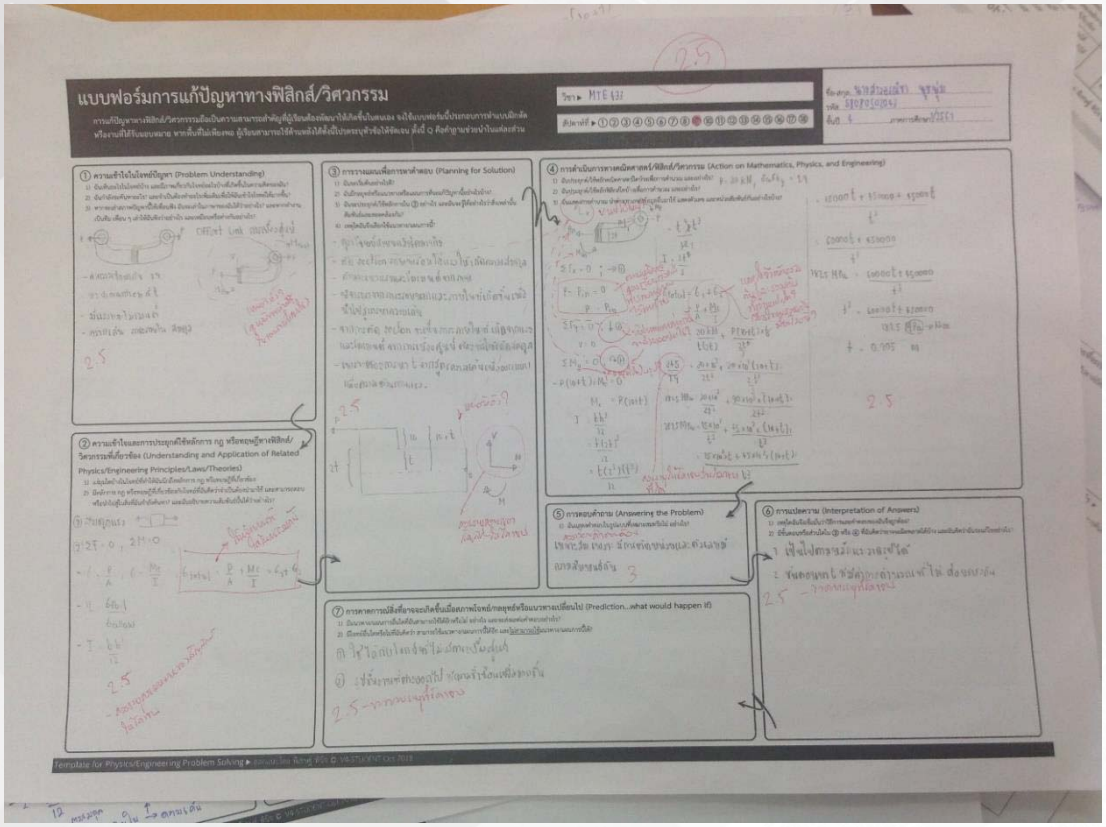
(ก)



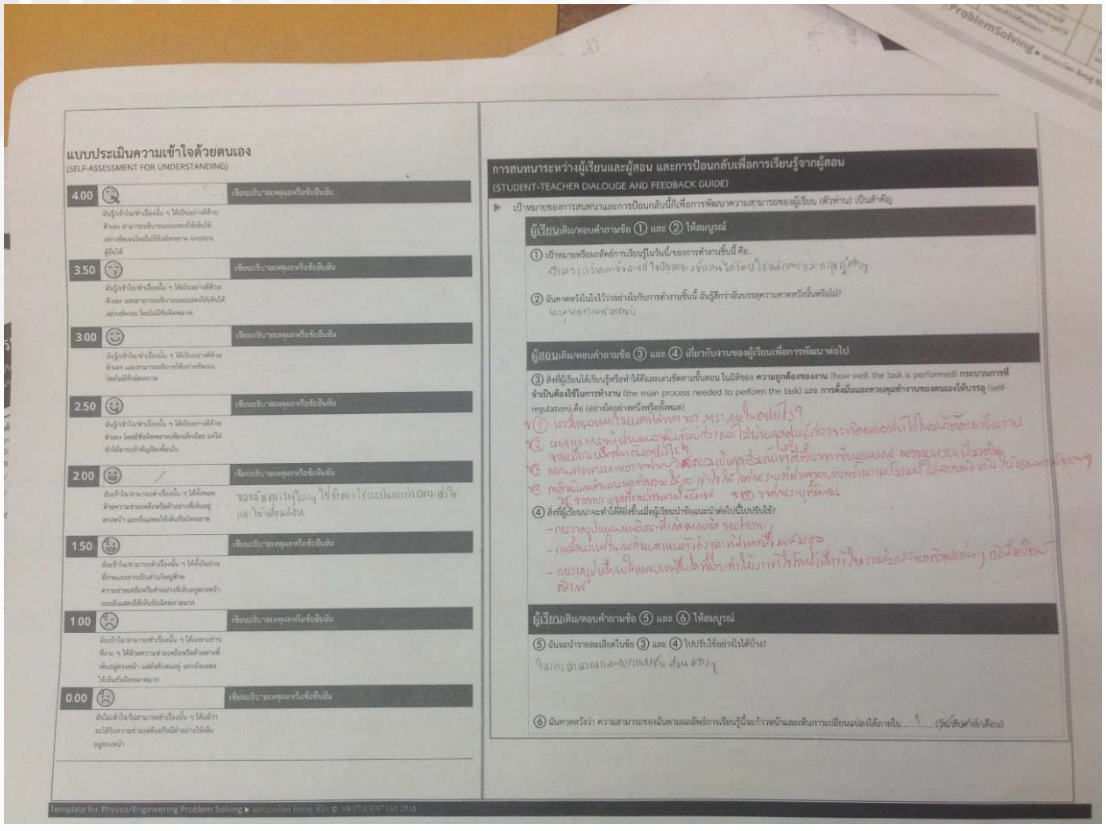
(ข)

รูปที่ 4 การให้ผลป้อนกลับและผลการวัดด้วยรูบริกในรูปที่ 2 ของรายวิชาพลศาสตร์วิศวกรรม ทั้งสองรูปแสดงการทำโจทย์ที่ต่างกัน

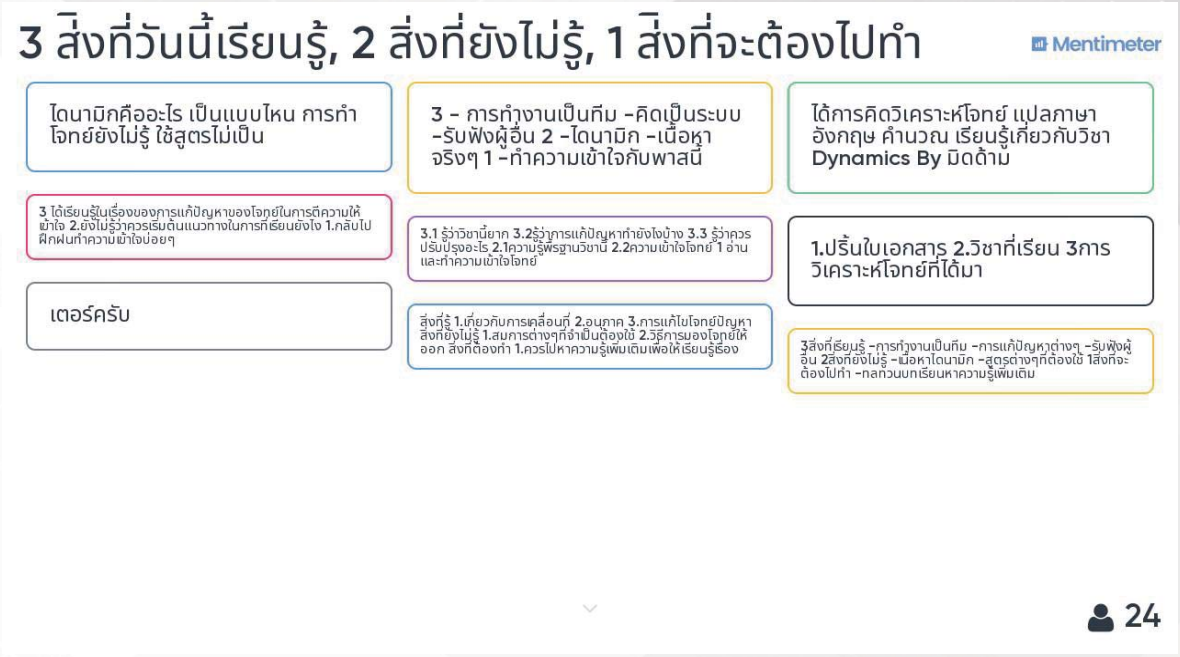
(ก)



(ข)



รูปที่ 5 การให้ผลป้อนกลับและผลการวัดด้วยรูบริกในรูปที่ 2 ของรายวิชาเครื่องจักรกลและการออกแบบ (ก) ด้านหน้า และ (ข) ด้านหลัง (ดูรูปที่ 1 ประกอบ)



รูปที่ 6 ตัวอย่างผลสะท้อนกลับจากนักศึกษาในรายวิชาพลศาสตร์วิศวกรรม

“สู่วิจัยรับใช้สังคม
ด้วยนวัตกรรมสร้างสรรค์”

2018
The 5th Conference
on Research and Creative Innovations

สถาบันวิจัยและพัฒนา
โทรศัพท์ : 0 5326 6516 #1011 , โทรสาร : 0 5326 6522