การออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ

Design and Efficiency Evaluation of Single Plane Balancing Laboratory

ฤทธิรงค์ อริยธนพล[1] วินัย เศรษฐโชตินันท์[2] วัฒนา น้อยทอง[3] และ ปิจิราวุช เวียงจันดา[4]

Rittirong Ariyatanapol[1] Vinai Sathatachotinun[2] Watana Noithong[3] and

Pijirawuch Wiengchanda[4]

Received : February 1, 2022
Revised : February 16, 2022
Accepted : February 22, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและประเมินประสิทธิภาพชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ โดยชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ นี้ ประกอบด้วย เครื่องฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ และเอกสารประกอบการสอน ได้แก่ ใบเนื้อหา ใบงาน ใบประลอง แบบฝึกหัด และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระเบียบวิธีวิจัยได้กำหนดให้ใช้แบบสอบถามชนิดมาตรวัดชนิด 5 ระดับ แบบมาตรวัดเจตคติแบบลิเคิร์ท (Likert Rating Scales) เพื่อสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ จำนวน 6 ท่าน ผลการประเมินด้านคุณภาพในภาพรวม มีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.31 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.31 และนำชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ไปหาประสิทธิภาพจากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 32 นาย มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 4.01 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.62 และมีผลการประเมินประสิทธิภาพ พบว่า ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของกระบวนการ (E1) คิดเป็น ร้อยละ 84.06 และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E2) คิดเป็นร้อยละ 86.52 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์สมมติฐาน (80/80) ที่ได้กำหนดไว้ สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนได้

คำสำคัญ: การถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ, การสั่นสะเทือน, มาตรวัดเจตคติแบบลิเคิร์ท

[1]อาจารย์, กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
Lecturer, Marine Engineering Department, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy
E-mail: ariyatanapol@hotmail.com
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์, กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
Assistant Professor, Marine Engineering Department, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy
E-mail: tmovinai22@gmail.com
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์, กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
Assistant Professor, Marine Engineering Department, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy
E-mail: wnoithong@hotmail.com
[4]ผู้ช่วยศาสตราจารย์, กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
Assistant Professor, Marine Engineering Department, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy
E-mail: pijirawuch.w@navy.mi.th

Abstract

The objectives of this research aimed to design and evaluate the efficiency of Single Plane Balancing Laboratory. The laboratory set includes the Single Plane Balancing Laboratory, information sheet, worksheet, laboratory sheet, exercise sheet and examination sheet. The research methodology was designed to five levels questionnaire with Likert rating scales to investigate 6 experts' opinion for quality of Single Plane Balancing Laboratory. The quality evaluation results show that the overall quality was in the highest quality level with average score of 4.31 (S.D. = 0.31). The satisfaction and efficiency evaluation of Single Plane Balancing Laboratory performed the experiment with 32 students of sampling group. The average satisfaction with Single Plane Balancing Laboratory was at a high level. The mean was 4.01 and the standard deviation was 0.62. The efficiency analysis reveals that the process efficiency (E1) about 84.06% and outcome efficiency (E2) about 86.52% are higher than expectation (80/80). It can be concluded that the single plane balancing laboratory is qualified for teaching.

Keyword: Single Plane Balancing Laboratory, Vibration, Likert Rating Scales

1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางการศึกษามีความเจริญก้าวหน้าและได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว การเรียนการสอนที่ใช้เทคโนโลยีทางการศึกษาได้มีบทบาทสำคัญอย่างสูงในสังคมการศึกษาทั้งในระบบการศึกษาและนอกระบบการศึกษา ทุกประเทศต่างก็มีการพัฒนาสื่อการศึกษาของตนเองให้มีความหลากหลายและทันสมัยอยู่เสมอ ความเจริญก้าวหน้าทางด้านวิชาการส่งผลให้ครูผู้สอนต้องผลิตสื่อการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดกับสภาพการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนได้รับรู้และเข้าใจในเนื้อหาวิชาของครูผู้สอนได้เป็นอย่างดี ในการศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตร์นั้น การปฏิบัติการทดลองถือเป็นองค์ประกอบหนึ่งของกระบวนการศึกษาที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างมากเพราะการปฏิบัติการทดลองช่วยให้นักเรียนนายเรือ (นนร.) สามารถเข้าใจหลักการทางทฤษฎีได้มากขึ้น อีกทั้งยังเป็นอีกช่องทางหนึ่งในการเพิ่มทักษะในการปฏิบัติงานการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ให้กับ นนร.

ผู้วิจัยได้ทำการสอนในรายวิชาการสั่นสะเทือนทางกล พบปัญหาที่สำคัญ คือ การสอนวิชานี้ในหัวข้อเรื่อง การควบคุมการสั่นสะเทือนทางกล จำเป็นที่จะต้องใช้สื่อการเรียนการสอน เช่น ใบงาน ชุดทดลอง มาประกอบการเรียนการสอน เพื่อให้ผู้เรียนได้พิสูจน์หลักการต่าง ๆ ทางทฤษฎีด้วย และได้ประสบการณ์ตรงในการค้นคว้าหาข้อเท็จจริงจากการลงมือปฏิบัติจริง นอกจากนี้ยังมุ่งให้ผู้เรียนได้คุ้นเคยกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม แต่การจัดหาชุดทดลองที่มีประสิทธิภาพ

ต่อการเรียนการสอนในปัจจุบันนั้นได้ประสบปัญหาที่สำคัญ คือ ชุดปฏิบัติการถ่วงสมดุลของเครื่องจักรหมุนมีราคาแพง อีกทั้งยังขาดความยืดหยุ่นในการประยุกต์ใช้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาชุดทดลองฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลของเครื่องจักรหมุนจำลองแบบหนึ่งระนาบที่มีราคาต่ำ แต่มีความยืดหยุ่นสำหรับการประยุกต์ใช้สูง สามารถสร้างความรู้ความเข้าใจพฤติกรรมของกระบวนการและฝึกฝนทักษะในการควบคุมการสั่นสะเทือนทางกลให้แก่ นนร. ได้เป็นอย่างดี

การจัดการสอนที่ใช้โครงงานเป็นฐาน (Project – Based Learning) ในปัจจุบันได้มีการนำมาใช้ในงานวิศวกรรมมากขึ้น ซึ่งการสอนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน มีข้อเด่นในด้านช่วยให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการแก้ปัญหา ทักษะในการสืบค้นข้อมูล การร่วมมือกันทำงาน ตลอดจนกระตุ้นให้ผู้เรียนอยากที่จะเรียนรู้ [1] ซึ่งสอดคล้องกับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 [2] ทั้งนี้การจัดหลักสูตรให้สอดคล้องกับการสอนที่ใช้โครงงานเป็นฐาน จะต้องรวมหลักสูตรให้วิชาทฤษฎีและปฏิบัติเป็นหนึ่งเดียวกัน [3] กล่าวคือ ในรายวิชาใด ๆ ก็ตาม จะต้องมีทั้งทฤษฎีและปฏิบัติหลอมรวมอยู่ในวิชานั้น ๆ

ในการวิจัยนี้ ประชากรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิชาการสั่นสะเทือนทางกลและผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการถ่วงสมดุลของเครื่องจักรหมุน จำนวน 6 ท่าน เพื่อใช้ประเมินหาคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ และ นักเรียนนายเรือ ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ จำนวน 32 นาย ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาการสั่นสะเทือนทางกล และ รายวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลเรือ 2 ในปีการศึกษา 2564 เพื่อใช้ประเมินความพึงพอใจต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ โดยใช้แบบสอบถามชนิดมาตรวัด 5 ระดับ แบบมาตรวัดเจตคติแบบลิเคิร์ท (Likert Rating Scales)

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเริ่มต้นจากการออกแบบ และสร้างชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ การทดสอบการทำงานของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ จนได้ผลถูกต้องตามทฤษฎี จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินหาคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ แล้วจึงนำไปใช้ในการเรียนการสอนกับผู้เรียนที่เรียนในรายวิชาการสั่นสะเทือนทางกล และรายวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลเรือ 2 ในปีการศึกษา 2564 ซึ่งผู้เรียนจะต้องทำการฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลตามโจทย์ที่ผู้สอนกำหนด ให้มีความถูกต้องตามทฤษฎี จากนั้นก็ทำการประเมินความพึงพอใจในการใช้ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

2.1 การออกแบบ และสร้างชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

2.1.1 หลักการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ [4 – 7]

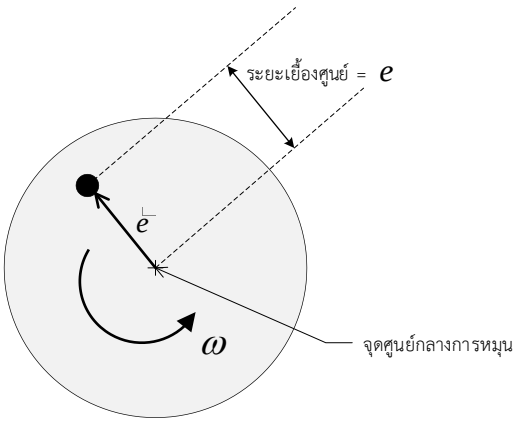
จากรูปที่ 1 แผ่นจานหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม (ω) รอบจุดหมุน สมมติว่าจุดศูนย์กลางมวลของแผ่นจานอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางการหมุนของแผ่นจานเท่ากับระยะเยื้องศูนย์ (e) จากรูปที่ 2 กำหนดให้จุดศูนย์กลางการหมุนของแผ่นจานอยู่ที่ตำแหน่งจุดกำเนิด (Origin) ของแกนพิกัด $x-y$ ดังนั้นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลแสดงได้ด้วยเวกเตอร์ $\check{e}$ ที่หมุนด้วยความเร็วเชิงมุม (ω) โดยประกอบด้วย

จำนวนเชิงซ้อน ซึ่งแกน x แทนด้วยจำนวนจริง และแกน y แทนด้วยจำนวนจินตภาพ แรงหนีศูนย์กลางเนื่องจากมวลเยื้องศูนย์ คือ เวกเตอร์ที่มีทิศทางพุ่งออกจากจุด e และมีขนาดของแรงไม่สมดุล (f_0) เท่ากับ

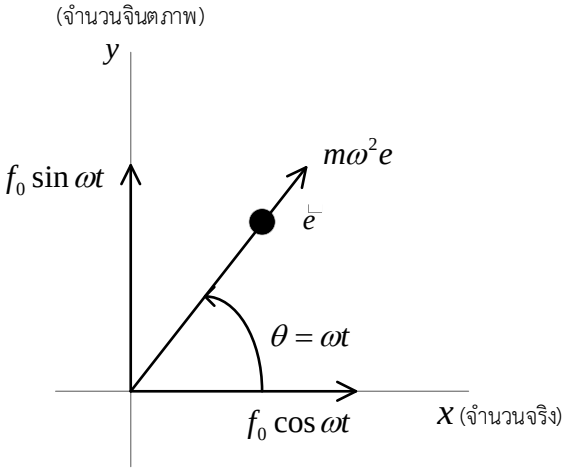
$$f_0 = m\omega^2 e \tag{1}$$

เมื่อ m คือ มวลที่ทำให้เกิดแรงไม่สมดุล (kg) ω คือ ความเร็วเชิงมุม (rad/s) และ e คือ ระยะเยื้องศูนย์ (m)

โดยแรงไม่สมดุล (f_0) มีส่วนประกอบฮาร์โมนิกในแนวแกน x และ y มีค่าเท่ากับ $f_{0,x} = f_0 \cos\theta$ และ $f_{0,y} = f_0 \sin\theta$ ตามลำดับ เมื่อ θ คือ มุมที่แสดงทิศทางของแรงหนีศูนย์เทียบกับแกน x มีค่าเท่ากับ ωt ดังนั้น การทำให้แผ่นจานสมดุลจะสามารถกระทำได้ด้วยการเพิ่มมวล m ที่ตำแหน่งเวกเตอร์ $-\check{e}$ นั้นคือขนาดมวล m และตำแหน่งของเวกเตอร์ $\check{e}$ ต้องสามารถวิเคราะห์ได้



รูปที่ 1 การไม่สมดุลของแผ่นจานของมวลเยื้องศูนย์



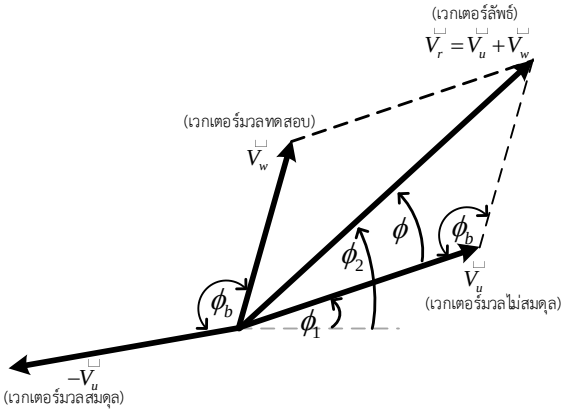
รูปที่ 2 แรงหนีศูนย์กลางเนื่องจากมวลที่ไม่สมดุล

การวิเคราะห์เพื่อหาค่ามวล m และตำแหน่งของเวกเตอร์ $\check{e}$ จำเป็นต้องนำเครื่องมือวัดมาช่วยวิเคราะห์ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ใช้เซ็นเซอร์วัดการสั่นสะเทือนในการเก็บข้อมูล หรือสัญญาณการสั่นที่เกิดขึ้นที่เพลาของชุดทดลอง ขั้นตอนการวิเคราะห์สมดุลจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงเรขาคณิต ซึ่งมีขั้นตอนการตรวจสอบ และวิเคราะห์ผลดังนี้ แสดงดังรูปที่ 3

• วัดความไม่สมดุลเริ่มต้น ทำได้โดยวัดขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือน (V_u) และมุมเฟส ϕ_1 ของแรงหนีศูนย์กลางเนื่องจากมวลเยื้องศูนย์ m โดยมุมเฟส จะวัดเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง

• การเพิ่มมวลทดสอบ ทำได้โดยนำมวลทดสอบ m_b ที่ทราบขนาด ไปติดตั้งบนแผ่นจานในตำแหน่งที่กำหนดไว้ ซึ่งมวลที่เพิ่มเข้าไปจะทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง $\check{V}_w$ และแรงลัทธ์ที่เกิดขึ้นกับจานหมุน คือ $\check{V}_r$ ซึ่งเป็นแรงหนีศูนย์กลางที่เป็นผลรวมของมวลไม่สมดุลเริ่มต้น และมวลทดสอบที่เพิ่มเข้าไป

• ขนาดความไม่สมดุลรวมของมวล m และ m_b และตำแหน่งของ $\check{V}_r$ สามารถวัดได้โดยวัดจากขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือน $(\check{V}_r)$ และ มุมเฟส ϕ_2 ซึ่งวัดเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงเดียวกันกับมุมเฟส ϕ_1



รูปที่ 3 ผังเวกเตอร์ของสมดุลหนึ่งระนาบ

จากผังเวกเตอร์ดังรูปที่ 3 แรงหนีศูนย์กลาง $\check{V}_u$ และ $\check{V}_w$ เกิดจากมวลไม่สมดุลเริ่มต้น และมวลทดสอบตามลำดับ ผลของความไม่สมดุลจากมวลทั้งสอง คือ $\check{V}_r = \check{V}_u + \check{V}_w$ ดังนั้น การถ่วงสมดุลมวลเพื่อให้จานหมุนอย่างสมดุลกระทำได้ด้วยการหาค่าขนาด และทิศทางของเวกเตอร์ $-\check{V}_u$ ซึ่งถ้าทราบค่ามุม ϕ_b จะทำให้ทราบทิศทางของเวกเตอร์ $-\check{V}_u$ สมมติให้มวลถ่วงที่เพิ่มเพื่อให้เกิดสมดุลมีค่าเท่ากับ m_b และเพิ่มเข้าไปที่ระยะเยื้องศูนย์เท่ากับตำแหน่งของมวลทดสอบ มวลถ่วง m_b คำนวณได้จากสมการ

$$\frac{m_b}{m_t} = \frac{V_u}{V_w} \tag{2}$$

เมื่อ m_b คือ มวลไม่สมดุลเริ่มต้น (kg) m_t คือ มวลทดสอบ (kg) $\vec{V}_u$ และ $\vec{V}_w$ คือ เวกเตอร์ของแรงหนีศูนย์กลางเกิดจากมวลไม่สมดุลเริ่มต้น และมวลทดสอบ (N) ตามลำดับ

ดังนั้น การคำนวณหามวลถ่วง m_b จำเป็นต้องทราบอัตราส่วน $\vec{V}_u/\vec{V}_w$ ซึ่งขนาดของ $\vec{V}_w$ (รูปที่ 4) สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$\phi = \phi_2 - \phi_1 \tag{3}$$

$$V_w^2 = V_u^2 + V_r^2 - 2V_uV_r\cos\phi \tag{4}$$

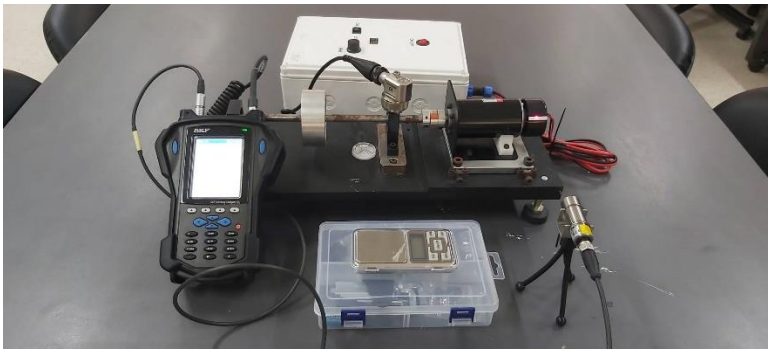
จากสมการที่ (3) และ (4) ทำให้ทราบค่า $\vec{V}_w$ ส่วนมุม ϕ_b (รูปที่ 3) คำนวณได้จาก

$$V_r^2 = V_u^2 + V_w^2 - 2V_uV_w\cos\phi_b \tag{5}$$

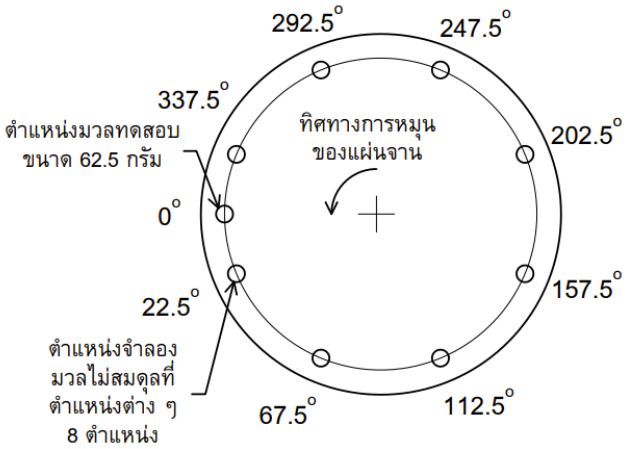
$$\phi_b = \cos^{-1}\frac{V_w^2 + V_u^2 - V_r^2}{2V_uV_w} \tag{6}$$

มุม ϕ_b ที่คำนวณจากสมการที่ (6) อาจจะหาค่าได้จากผังเวกเตอร์ดังรูปที่ 3 โดยการวัดมุมระหว่างเวกเตอร์ $-\vec{V}_u$ และ $\vec{V}_w$ ดังนั้น ตำแหน่งของมวลไม่สมดุลเริ่มต้น (Original Unbalance) จะวัดจากตำแหน่งของมวลทดสอบออกไปเท่ากับ ϕ_b และมีขนาดเท่ากับมวลที่คำนวณได้ตามสมการที่ (1) ถ้าต้องการใช้วิธีแก้ไขด้วยการเพิ่มมวลจะต้องบวกมุมเพิ่มอีก 180^o จากตำแหน่งของมวลไม่สมดุลเริ่มต้นที่คำนวณได้

2.1.2 เครื่องฝึกถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ

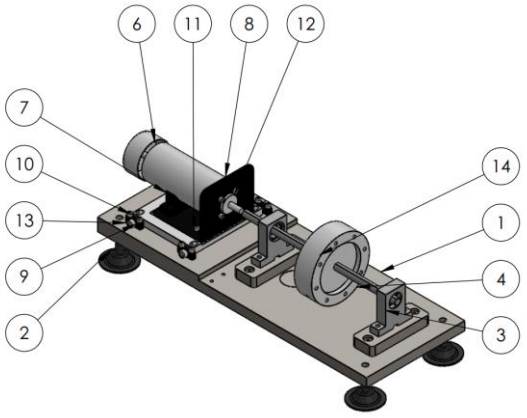


รูปที่ 4 ชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ



รูปที่ 5 ตำแหน่งการจำลองมวลไม่สมดุล และตำแหน่งมวลทดสอบ

ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ นี้ ประกอบด้วยเครื่องฝึกถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ ประกอบด้วยแผ่นอลูมิเนียมหนา 20 มม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 9 ซม. ติดอยู่บนเพลาอลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มม. ยาว 250 มม. รองรับด้วยบอลแบริ่งทั้งสองข้างห่างกัน 200 มม. โดยเพลานี้ถูกขับด้วยดีซีมอเตอร์ขนาด 12 โวลต์ สามารถปรับความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 0 – 3000 รอบต่อนาที ทั้งหมดถูกติดตั้งอยู่บนฐานเหล็กขนาด 300 มม. X 150 มม. โดยฐานนี้มีน้ำหนัก 25 กิโลกรัม เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนในขณะที่แผ่นจานหมุน ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ สามารถประยุกต์ใช้กับชุดเครื่องวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน SKF Microlog พร้อม Vibration Sensor และ Tacho Sensor ได้ โดยเซ็นเซอร์วัดการสั่นสะเทือนจะติดตั้งที่โครงแบริ่งตัวหน้าที่ติดกับแผ่นจาน ส่วนเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบจะติดตั้งที่ด้านท้ายของมอเตอร์ ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ จะมีความเร็วรอบที่ใช้ทดสอบสามารถทดสอบได้ที่ไม่เกิน 2,800 รอบต่อนาที การทดลองการสมดุลหนึ่งระนาบบนแผ่นจานทำได้จากการจำลองความไม่สมดุลของแผ่นจานด้วยมวลขนาด 5 - 25 กรัม ซึ่งถูกติดตั้งบนแผ่นจาน ณ ตำแหน่งดังรูปที่ 5 โดยมีไดอะแกรมและรายละเอียดอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ไดอะแกรมของชุดฝึกถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ

จากไดอะแกรม หมายเลข 1 เป็นฐานของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ หมายเลข 2 เป็นแท่นรองรับชนิดลดการสั่นสะเทือน หมายเลข 3 เป็นแท่นรองรับร่องลื่น หมายเลข 4 เป็นเพลา หมายเลข 6 เป็นมอเตอร์กระแสตรง หมายเลข 7 เป็นฐานของมอเตอร์ หมายเลข 8 เป็นแท่นรองงรับมอเตอร์กระแสตรง หมายเลข 9 เป็นสลักปรับ Alignment หมายเลข 10 11 12 และ 13 เป็นสลักยึดฐานของมอเตอร์ หมายเลข 14 เป็นจานหมุน

2.2 การประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

2.2.1 การประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

ดำเนินการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์สอนด้านการสอนวิชาการสั่นสะเทือนทางกลและผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการถ่วงสมดุลของเครื่องจักรหมุน จำนวน 6 ท่าน โดยใช้แบบประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ชนิดมาตรวัด 5 ระดับ แบบมาตรวัดเจตคติแบบลิเคิร์ท (Likert Rating Scales) เนื่องจากมีความง่ายในการสร้างแบบทดสอบ มีความเชื่อขั้นสูง และสามารถพัฒนาเพื่อวัดทางด้านความรู้สึกได้หลายอย่าง โดยแบบประเมินประกอบด้วยหัวข้อการประเมินจำนวน 18 หัวข้อ ใน 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความเหมาะสมและการออกแบบ ด้านใบงาน ใบประลอง และแบบฝึกหัด และ ด้านใบเนื้อหา โดยการประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เพื่อแสดงให้เห็นว่าชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการเรียนการสอนนั้น มีความเหมาะสมหรือไม่ โดยใช้แบบสอบถาม

2.2.2 การประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

ดำเนินการประเมินผู้เรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 32 นาย โดยใช้ใบงาน และแบบฝึกหัดและแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพในการเรียนการสอนตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่มากกว่า 80/80 (E_1/E_2) [8] หรือไม่

กระบวนการ E_1 หมายถึง คะแนนที่ผู้เรียนได้จากแบบทดสอบท้ายการฝึกปฏิบัติ เรื่อง การถ่วงสมดุลของเครื่องจักรหมุนแบบหนึ่งระนาบ ซึ่งต้องได้คะแนนเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 80

ผลลัพธ์ E_2 หมายถึง คะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผู้เรียน ได้จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การถ่วงสมดุลของเครื่องจักรหมุนแบบหนึ่งระนาบ ซึ่งต้องได้คะแนนเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 80

2.2.3 การหาความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

ดำเนินการโดยใช้ผู้เรียนกลุ่มตัวอย่างที่เรียนในรายวิชาการสั่นสะเทือนทางกล (Mechanical Vibration) และ รายวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลเรือ 2 (Marine Engineering Laboratory 2) ด้วยการใช้รูปแบบการเรียนการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน (Project – Based Learning) จำนวน 32 คน โดยใช้แบบความพึงพอใจของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ชนิดมาตรวัด 5 ระดับ แบบ มาตรวัดเจตคติแบบลิเคิร์ท (Likert Rating Scales) จำนวน 17 หัวข้อ เกี่ยวกับด้านการใช้งาน อาทิเช่น ชุดฝึกปฏิบัติการที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียน ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จนมีทักษะในการแก้ปัญหาจากสภาพจริง และ ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ เป็นการบูรณาการรายวิชามากกว่า 2 รายวิชาเข้าด้วยกัน เป็นต้น

2.2.4 การประเมินผลด้วยมาตรวัดเจตคติแบบลิเคิร์ท (Likert Rating Scales) [9]

ผู้วิจัยได้กำหนดระดับมาตราส่วนของคำตอบที่เป็นความคิดเห็น 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด ให้เป็นค่าน้ำหนักตัวเลข เพื่อประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยประยุกต์การวัดคะแนนตามแบบมาตราวัดของลิเคิร์ท (Likert Scale) เรียกว่า วิธีการประเมินแบบรวมค่า (Method of Summated Rating) โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน 5 ระดับ ดังนี้

คะแนนความคิดเห็น	**คะแนน**
มากที่สุด	5
มาก	4
ปานกลาง	3
น้อย	2
น้อยที่สุด	1

ผู้วิจัยได้แปลผลคะแนนเฉลี่ยของความคิดเห็นต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ซึ่งแบ่งระดับคะแนนเฉลี่ยออกเป็น 5 ระดับ ตามการแบ่งคะแนนแบบถ่วงน้ำหนักเฉลี่ย ดังสมการที่ (7)

$$\text{ค่าเฉลี่ย } (\bar{x}) = \frac{\sum fx}{n} \tag{7}$$

เมื่อ f = ความถี่ของแต่ละคะแนน

x = ระดับความสำคัญ

n = จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง

การจัดระดับค่าคะแนนถ่วงน้ำหนักเฉลี่ยใช้เกณฑ์การแบ่งระดับคะแนนตามช่วงความคิดเห็นต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับเท่า ๆ กัน และมีการแปลผลค่าเฉลี่ย [8] ดังสมการที่ (8)

$$\text{ความกว้างของแต่ละอัตรภาคชั้น} = \frac{\text{คะแนนสูงสุด - คะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}} \tag{8}$$

$$= \frac{5 - 1}{5} = 0.8$$

ระดับคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการแบ่งระดับข้างต้น สามารถแบ่งระดับความคิดเห็นต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ได้ดังนี้

คะแนนความคิดเห็น	คะแนน
มากที่สุด	4.21 – 5.00
มาก	3.41 – 4.20
ปานกลาง	2.61 – 3.40
น้อย	1.81 – 2.60
น้อยที่สุด	1.00 – 1.80

3. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยเป็นการประเมินของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ส่วนที่ 2 การประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ และ ส่วนที่ 3 ผู้เรียนทำการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ มีรายละเอียดผลการวิจัย ดังนี้

3.1 ผลประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

ตารางที่ 1 – 3 เป็นผลการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิชาการสั่นสะเทือนทางกลและผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการถ่วงสมดุลของเครื่องจักรหมุน ประเมินผ่านแบบประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ จำนวน 6 ท่าน

ตารางที่ 1 ผลการประเมินระดับความคิดเห็นโดย ผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบด้านความเหมาะสม และการออกแบบ

ข้อ	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1.	เหมาะสมกับระดับผู้เรียน	4.18	0.26	มาก
2.	สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียน	4.52	0.17	มากที่สุด
3.	มีความสะดวกในการต่ออุปกรณ์เพิ่ม	4.44	0.25	มากที่สุด
4.	อุปกรณ์การสอนให้ประสบการณ์ในการเรียนรู้	3.96	0.42	มาก
5.	การจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์สามารถทำการทดลองได้สะดวก	4.18	0.23	มาก
6.	ความสะดวกในการใช้ประกอบการเรียนการสอน	3.52	0.11	มาก
7.	ง่ายต่อการบำรุงรักษาและการซ่อมแซม	3.93	0.28	มาก
8.	มีความปลอดภัยต่อการใช้งาน	4.43	0.27	มากที่สุด
9.	มีความสัมพันธ์การใช้งานร่วมกับใบงาน	4.63	0.14	มากที่สุด
10.	มีขนาดและน้ำหนักที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยผู้ใช้	3.45	0.29	มาก
	เฉลี่ย	**4.12**	**0.24**	**มาก**

จากตารางที่ 1 ผลจากการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 6 คน ซึ่งแสดงเป็นค่าเฉลี่ยการประเมินด้านความเหมาะสม และการออกแบบ โดยมีแบบประเมินจำนวน 10 ข้อ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.52 – 4.52 แสดงว่า ผลการประเมินคุณภาพด้านความเหมาะสม และการออกแบบ อยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด และค่าเฉลี่ยรวมมีค่าเท่ากับ 4.12 แสดงว่า ผลการประเมินคุณภาพโดยรวมด้านความเหมาะสม และการออกแบบ อยู่ในระดับมาก

ตารางที่ 2 ผลการประเมินระดับความคิดเห็นโดย ผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบด้านใบงาน ใบประลอง และแบบฝึกหัด

ข้อ	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
11.	มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้	4.58	0.26	มากที่สุด
12.	มีลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้องตามคู่มือของอุปกรณ์	4.78	0.36	มากที่สุด
13.	การจัดวางรูปภาพ ภาษา และตัวอักษรเป็นระเบียบเข้าใจง่าย	4.14	0.38	มาก
14.	มีการกำหนดกิจกรรมก่อให้เกิดทักษะพิสัยตรงตามมาตรฐาน	4.28	0.28	มากที่สุด
	เฉลี่ย	**4.45**	**0.32**	**มากที่สุด**

ตารางที่ 3 ผลการประเมินระดับความคิดเห็นโดย ผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบด้านใบเนื้อหา

ข้อ	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
15.	เนื้อหามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	4.48	0.36	มากที่สุด
16.	ใช้ภาษาถูกต้อง และเข้าใจง่าย	4.26	0.35	มากที่สุด
17.	เรียงลำดับจากง่ายไปหายากมีความละเอียดชัดเจน	4.56	0.28	มากที่สุด
18.	มีการกำหนดกิจกรรมก่อให้เกิดทักษะพิสัย สอดคล้องกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4.18	0.45	มาก
	เฉลี่ย	**4.37**	**0.36**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 2 ผลจากการประเมินด้านใบงาน ใบประลอง และแบบฝึกหัด โดยมีแบบประเมิน จำนวน 4 ข้อ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.14 – 4.78 แสดงว่า ผลการประเมินคุณภาพด้านใบงาน ใบประลอง และแบบฝึกหัดอยู่ในระดับ มากถึงมากที่สุด และค่าเฉลี่ยรวมมีค่าเท่ากับ 4.45 แสดงว่า ผลการประเมินคุณภาพโดยรวมด้านความด้านใบงาน ใบประลอง และแบบฝึกหัด อยู่ในระดับมากที่สุด

จากตารางที่ 3 ผลจากการประเมินด้านใบเนื้อหา โดยมีแบบสอบถาม จำนวน 4 ข้อ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.18 – 4.56 แสดงว่า ผลการประเมินคุณภาพด้านใบเนื้อหา อยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด และค่าเฉลี่ยรวม

มีค่าเท่ากับ 4.37 แสดงว่า ผลการประเมินคุณภาพโดยรวมด้านใบเนื้อหา อยู่ในเกณฑ์ระดับมากที่สุด

จากผลจากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 6 ท่าน ประเมินคุณภาพโดยภาพรวมทั้ง 3 ด้าน มีคะแนนประเมินเฉลี่ยเท่ากับ 4.31 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.31 มีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ดังนั้น แสดงให้เห็นว่าคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบที่ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญว่ามีคุณภาพสำหรับใช้ในการเรียนการสอนได้

3.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง ในการทดลองจำนวน 32 นาย ทำคะแนนแบบฝึกหัด และใบงาน ได้ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 84.06 ของคะแนนรวมทั้งหมด ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 ของประสิทธิภาพของกระบวนการที่ตั้งไว้ และทำคะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ ได้ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 86.52 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 ของประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ตั้งไว้ ซึ่งแสดงว่า ชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบที่ผู้วิจัยออกแบบและพัฒนาขึ้นมานั้น มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่มากกว่า 80/80

ตารางที่ 4 ผลการประเมินหาประสิทธิภาพชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ

รายการ	***N***	**คะแนนเต็ม**	$\sum x$	$\sum y$	**ร้อยละ**
คะแนนแบบฝึกหัด และใบงาน (E_1)	32	50	1,345	-	84.06
คะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ (E_2)	32	16	-	443	86.52

3.3 ผลประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

จากตารางที่ 5 ผลจากการประเมินความพึงพอใจของ ผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ โดยมีคำถาม จำนวน 17 ข้อ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.98 – 4.88 ซึ่งสามารถแปลผลได้ว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด และค่าเฉลี่ยรวมมีค่าเท่ากับ 4.01 สามารถแปลผลได้ว่าความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ

ข้อ	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1.	สอดคล้องกับวัตถุประสงค์	3.86	0.49	มาก
2.	เหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	4.15	0.55	มาก
3.	ส่งเสริมให้ผู้เรียนเป็นผู้สร้างการเรียนรู้ด้วยตนเอง	4.59	0.49	มากที่สุด
4.	ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาจากสภาพจริง	4.65	0.38	มากที่สุด
5.	เหมาะสมกับผู้เรียนเป็นกลุ่ม (3 คน)	3.36	1.06	ปานกลาง
6.	ส่งเสริมผู้เรียนให้เข้าใจเนื้อหามากขึ้น	4.19	0.67	มาก
7.	มีความน่าสนใจและท้าทายในการใช้งาน	3.21	0.60	ปานกลาง

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ (ต่อ)

8.	ส่งเสริมให้ผู้เรียนอาศัยข้อผิดพลาดมาเป็นบทเรียนในการเรียนรู้	4.88	0.45	มากที่สุด
9.	มีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อความปลอดภัย	3.18	0.98	ปานกลาง
10.	ใบงานสอดคล้องกับชุดทดลอง	3.57	0.48	มาก
11.	ส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติ	3.97	0.49	มาก
12.	ดูแลรักษาง่าย	4.77	0.35	มากที่สุด
13.	ช่วยลดเวลาในการสื่อความหมายกับผู้สอน	4.00	0.46	มาก
14.	มีอะไหล่และหาซื้อง่าย	2.98	1.16	ปานกลาง
15.	เป็นการบูรณาการรายวิชามากกว่า 2 วิชาเข้าด้วยกัน	4.59	0.46	มากที่สุด
16.	ผู้เรียนมั่นใจว่าสามารถใช้งานได้ดี	4.10	0.95	มาก
17.	เหมาะสมกับการเรียนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน	4.71	0.57	มากที่สุด
	เฉลี่ย	**4.01**	**0.62**	**มาก**

4. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบเพื่อใช้ในการเรียนแบบโครงงานเป็นฐาน จากการทดสอบการใช้งาน พบว่า สามารถฝึกการใช้งานอุปกรณ์ได้ถูกต้อง ตรงตามทฤษฎี ซึ่งการใช้ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ควบคู่กับรูปแบบการเรียนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน ช่วยเพิ่มทักษะในด้านต่าง ๆ ให้แก่ผู้เรียน อาทิเช่น ทักษะปฏิบัติ ทักษะการค้นหาข้อมูล ทักษะ การเรียนรู้ร่วมกัน ทักษะการแก้ปัญหา เป็นต้น ซึ่งมีความจำเป็นในการทำงานหลังจากผู้เรียนจบการศึกษาไปแล้ว นอกจากนี้ยังช่วยพัฒนาการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Creative Thinking) ซึ่งเป็นการคิดขั้นสูง ให้แก่ผู้เรียนอีกด้วย

จากผลการประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ พบว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินคุณภาพโดยรวมด้านความเหมาะสม และการออกแบบ อยู่ในระดับมาก ด้วยคะแนนประเมินเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 4.12 ด้านความด้านใบงาน ใบประลอง และแบบฝึกหัด อยู่ในระดับมากที่สุด ด้วยคะแนนประเมินเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 4.45 และด้านความด้านใบเนื้อหา อยู่ในระดับมากที่สุด ด้วยคะแนนประเมินเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 4.37 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีคุณภาพในระดับที่สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนได้ และจากผลการประเมินความพึงพอใจโดยให้ผู้เรียนที่ใช้รูปแบบการสอนโครงงานเป็นฐานได้ทดลองใช้ และประเมินความพึงพอใจที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ผลการประเมินโดยผู้เรียนพบว่า มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ในระดับมาก เฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 4.28 ซึ่งหากพิจารณาในรายข้อที่ผู้เรียนทดลองใช้ชุดประลอง ประเมิน ความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด (มากกว่า 4.21 ขึ้นไป) พบว่ามี 6 หัวข้อจาก 17 หัวข้อ ได้แก่ ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเป็นผู้สร้างการเรียนรู้ด้วยตนเอง ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาจากสภาพจริง ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ส่งเสริมให้ผู้เรียนอาศัยข้อผิดพลาดมาเป็นบทเรียนในการเรียนรู้ ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ดูแลรักษาง่าย ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ เป็นการบูรณาการรายวิชา

มากกว่า 2 วิชาเข้าด้วยกัน และชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ เหมาะสมกับการเรียนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนในกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ สามารถใช้ประกอบการเรียนการสอนได้ ขณะที่มีผลการประเมินมีค่าต่ำสุด อยู่ในระดับพึงพอใจปานกลาง (เกณฑ์ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.61–3.40) คือ หัวข้ออุปกรณ์ของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ มีอะไหล่หาซื้อยาก มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 2.98 ซึ่งอาจเป็นเพราะผู้เรียนไม่คุ้นเคยกับอุปกรณ์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมมากนักจึงอาจจะยังไม่ทราบร้านค้าที่จำหน่ายอุปกรณ์ดังกล่าว

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการอุดหนุนทุนการวิจัย จาก สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพเรือ (สวพ.ทร) ในโครงการการพัฒนางานประจำสู่งานวิจัย (Routine to Research หรือ R to R) ประจำปีงบประมาณ 2564 (1 ต.ค.63 – 30 ก.ย.64)

เอกสารอ้างอิง

[1] Lasauskiene J, Rauduvaite A. Project-Based Learning at University: Teaching Experiences of Lecturers. Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2015 Jul;(197):788-92.

[2] Hosseinzadeh N, Hesamzadeh MR, Senini S. A Curriculum for Electrical Power Engineering based on Project Based Learning Philosophy. IEEE International Conference on Industrial Technology. 2009 Mar.

[3] Bell S. Project-Based Learning for the 21st Century: Skills for the Future. The Clearing House. 2010 Jan;83(2):39-43.

[4] De Silva CW. Vibration: Fundamentals and Practice. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2010.

[5] De Silva CW. Vibration and Shock Handbook. Boca Raton: Taylor & Francis; 2005.

[6] Singiresu SR. Mechanical Vibrations. 5th ed. Harlow, United Kingdom: Prentice Hall; 2005.

[7] Girdhar P. Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance: Practical Professional. Burlington: Elsevier; 2004.

[8] ชัยยงค์ พรหมวงศ์. การทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน. วารสารศิลปากรศึกษาศาสตร์วิจัย. ม.ค.-มิ.ย 2556;5(1):7-20.

[9] สุมิตรา ศรีชูชาติ. สถิติธุรกิจ. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่; 2550.