

กลุ่มที่ 3

บทความระดับชาติ

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ห้องที่ 1:

วิศวกรรมศาสตร์ (1)

การวิเคราะห์ความเค้นของเพลาช้อเหวี่ยงในรถปิกอัพ

STRESS ANALYSIS OF A CRANKSHAFT IN A PICKUP CAR

วทัณญ นาสิทธิ

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

E-mail: Wtayo4478@gmail.com

ธรรมบุญ วิเศษทักษิณ

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

E-mail: robby44130@gmail.com

ยุทธพิชัย พัยคมา

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

E-mail: yuttapichai9090@gmail.com

ปฐวิติ โภคชาย

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

E-mail: patiwat.ccng.ft@gmail.com

นาคินทร์ พรหมนุช

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

E-mail: Nakin1340@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงสาเหตุของความเสียหายของเพลาช้อเหวี่ยงในเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้จากรถปิกอัพ เพลาทำมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่ผ่านการชุบแข็ง JIS-S55C การทดลองได้แบ่งการออกเป็น 2 วิธีคือ การวิเคราะห์ความเค้นสลับและความเค้นเฉลี่ยตามหลักเกณฑ์การออกแบบของกู๊ดแมน และการวิเคราะห์ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้ค่าของแรงบิดเท่ากับ 245 N-m ผลของการวิเคราะห์สรุปได้ว่าค่าความเค้นสลับและความเค้นเฉลี่ยสูงสุดที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐานของกู๊ดแมน (Goodman) มีค่าเท่ากับ 31.83 MPa และค่า Safety factor เท่ากับ 2.44 ส่วนผลของการจำลองเชิงตัวเลขได้ค่าความเค้นวอนมิสเสส (Von Mises) เท่ากับ 34.35 MPa และค่า Safety factor เท่ากับ 2.5 ซึ่งผลของทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน และผลของการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ค่าความเค้นวอนมิสเสส (Von Mises) ที่เกิดขึ้นในเพลาช้อเหวี่ยงจะสังเกตได้ว่าการเสียรูปสูงสุดอยู่ที่จุดเชื่อมต่อระหว่าง Crankpin และ Web ของเพลาช้อเหวี่ยง ทั้งนี้ผลของการศึกษาจะสามารถระบุจุดที่มีความเสียหายซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้

คำสำคัญ: เพลาช้อเหวี่ยง ความเค้น รถปิกอัพ

ABSTRACT

This research investigates the causes of crankshaft failure in diesel engines operating in pickup trucks. The crankshaft is made from JIS-S55C hardened of steel. The experiments were divided into 2 methods: Stress analysis using Goodman's equations and finite element analysis using a torque value of 245 N-m. The results of the analysis concluded that the maximum stress calculated by Goodman's equations was 31.83 MPa and the safety factor was 2.44, the results of the numerical simulations the Von Mises stress of 34.35 MPa and the safety factor of 2.5 which the results of both methods were similar, the von-mises stresses occurring in the crankshaft is observed that the maximum deformation is at the junction between the crankpin and the crankshaft web. The results of the study will be able to identify the mechanism of the damage which is consistent with the assumption of this research.

Keywords: Crankshaft, Stress, Pickup Car

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

เพลาช้อเหวี่ยงเป็นชิ้นส่วนสำคัญในเครื่องยนต์ ซึ่งเพลาช้อเหวี่ยงทำหน้าที่เป็นจุดหมุน ให้การเคลื่อนที่ขึ้นลงของลูกสูบ กลายเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุน โดยจะหมุนรอบตัวเองในตำแหน่งเดิมในกระบอกสูบของเครื่องยนต์การเผาไหม้ของก๊าซจะทำให้เกิดแรงที่กระทำกับเพลาช้อเหวี่ยงซึ่งจะทำให้เกิดภาระกระทำสองประเภทบนชิ้นส่วนของเพลาช้อเหวี่ยงคือแรงบิดและโมเมนต์ดัดที่เป็นสาเหตุหลักของความเสียหายที่พบบ่อยของเพลาช้อเหวี่ยงในระหว่างใช้งาน และความล้าก็เป็นเหตุการณ์พบมากที่สุดอย่างหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นภายใต้การทำงานปกติที่ความเค้นสลับมีค่าต่ำกว่าความเค้นที่ก่อให้เกิดความเสียหาย ความเสียหายเนื่องจากความล้ามักเริ่มเกิดที่บริเวณจุดวิกฤตซึ่งมีความบกพร่องทางโครงสร้างจุลภาคของวัสดุ

การทดลองนี้มุ่งศึกษาหาความเค้นที่เกิดขึ้นของเพลาช้อเหวี่ยง ในรถปิกอัพของเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะที่มีกำลังขับ 120 Hp และผ่านการใช้งานมา 15 ปี 8 เดือนโดยมีการบำรุงรักษาตามระยะที่ถูกต้อง เพลาช้อเหวี่ยงจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ที่ได้รับการออกแบบและผ่านกระบวนการผลิต การอบชุบผิวแข็งที่เหมาะสมวิธีการทดลองจะเน้นการวิเคราะห์ความเค้นสลับและความเค้นเฉลี่ยทางทฤษฎีตามหลักเกณฑ์การออกแบบของกู๊ดแมน และวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลของการศึกษานี้จะเป็นส่วนหนึ่งในเครื่องมือที่สามารถระบุกลไกความเสียหายรวมทั้งการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ในการนำไปปรับปรุงในด้านการออกแบบเพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันเหตุความเสียหายของเพลาช้อเหวี่ยงได้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์โดยการคำนวณตามหลักเกณฑ์การออกแบบของกู๊ดแมนกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎีเพลลา

ในการออกแบบเพลลาหมุนใด ๆ ที่รับโหลดการดัดและโมเมนต์บิดจะได้รับความเค้นดัดสลับไปมาอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากการหมุนของเพลลา แต่ได้รับความเค้นเนื่องจากโมเมนต์บิดคงที่ โดยใช้สัญลักษณ์ σ_a แสดงองค์ประกอบของความเค้นสลับ และสัญลักษณ์ τ_{xym} แสดงองค์ประกอบของความเค้นเฉือน จะได้

$$\sigma_a' = (\sigma_a)^{1/2} + (\tau_{xym})^{1/2} \quad (1)$$

σ_a' คือ ค่าความเค้นสลับและความเค้นเฉือน

เมื่อ σ_a คือ ความเค้นเนื่องจากโมเมนต์บิดคงที่ (MPa)

τ_{xym} คือ ความเค้นเฉือน (N.m)

แฟกเตอร์แก้ไขพิคัดความล้า

Martin ได้กำหนดแฟกเตอร์แก้ไขพิคัดความล้าที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจริงดังนี้

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' \quad (2)$$

โดยที่ S_e = พิกัดการล้าของชิ้นงานจริง k_a = แฟกเตอร์แก้ไขผิว
 k_b = แฟกเตอร์แก้ไขขนาด k_c = แฟกเตอร์แก้ไขโหลด
 k_d = แฟกเตอร์แก้ไขอุณหภูมิขณะใช้งาน k_e = แฟกเตอร์แก้ไขระดับความน่าเชื่อถือ
 k_f = แฟกเตอร์แก้ไขค่าอิทธิพลอื่น ๆ ที่เหลือ
 S_e' = พิกัดการล้าของชิ้นงานทดสอบการหมุนดัดมาตรฐานของ Moore

แฟกเตอร์แก้ไขผิว (k_a) เมื่อกำหนดให้ผิวขัดมันของชิ้นงานทดสอบการหมุนดัดมาตรฐานของ Moore ซึ่งรับโหลดแบบกระทำซ้ำสองทิศทาง มีค่า $k_a = 1$

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของเหล็ก JIS-S55C

(อ้างอิงมาจาก <https://www.steelgr.com/Steel-Grades/Carbon-Steel/s55c.html>)

สมบัติทางกล	หน่วย
Tensile strength, ultimate	880 MPa
Tensile strength, yield	550 MPa
Modulus of elasticity	200 GPa
Density	7700 kg/m ³

แฟกเตอร์แก้ไขขนาด (k_b) ข้อมูลค่าแฟกเตอร์แก้ไขขนาด k_b อยู่อย่างจำกัดโดยแยกเงื่อนไขการรับโหลดเป็น

- โหลดการดัดและการบิดให้ใช้ค่าแฟกเตอร์แก้ไขขนาดดังนี้

$$k_b = \begin{cases} (d/3)^{-0.107} = 0.876d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ in} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ in} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (3)$$

แฟกเตอร์แก้ไขการกระทำ (k_c) ในการทดสอบความล้าด้วยภาระกระทำที่เป็น โมเมนต์ดัด แรงกระทำตามแนวแกนและโมเมนต์บิด พบว่าค่าพิกัดการล้าจะแตกต่างกัน ดังนั้นจึงกำหนดค่าเฉลี่ยเป็นค่าคงที่ดังนี้

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{การดัด} \\ 0.85 & \text{ภาระกระทำในแนวแกน} \\ 0.59 & \text{การบิด} \end{cases} \quad (4)$$

แฟกเตอร์แก้ไขระดับความน่าเชื่อถือ (k_e) โดยทั่วไปแฟกเตอร์แก้ไขระดับความน่าเชื่อถือ k_e จะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 50% (ค่าเฉลี่ย $S'_e / S_{ut} = 0.5$) แต่ถ้าต้องการให้มีระดับความน่าเชื่อถือมากกว่า 50% จะสามารถคำนวณหา k_e ได้จาก

$$k_e = 1 - 0.08 z_a \quad (5)$$

เมื่อ z_a = Standardized variable ที่ระดับความน่าเชื่อถือต่างๆ ซึ่งหาได้จากตารางที่ 3 จะแสดงค่า k_e สำหรับระดับความน่าเชื่อถือที่มักนิยมใช้เป็นมาตรฐาน

ตารางที่ 2 ค่า k_e ระดับความน่าเชื่อถือ (ได้มาจาก นอ.รศ.ภาณุฤทธิ์ ยุทธะทัต. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2)

Reliability, %	Transformation Variate z_a	Reliability Factor k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

ตารางที่ 3 แฟกเตอร์แก้ไขอิทธิพลอื่น (อ้างอิงมาจาก นอ.รศ.ภาณุฤทธิ์ ยุทธะทัต. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2)

อิทธิพลต่างๆ	ค่า k_f โดยประมาณ
(ก) ความเค้นตกค้างในชิ้นงานเนื่องจาก	
- การรีดเย็น หรือตีอัดขึ้นรูป	$k_f > 1$
- การทำ Short Penning	$k_f = 1.25$
(ข) การกัดกร่อนเนื่องจากการเสียดสี หรือผิวของชิ้นงานขูดกัน	$k_f < 1$
(ค) การเคลื่อนผิวของโลหะด้วยไฟฟ้า	
เช่น การเคลือบ Ni, Pt หรือ Cd	$k_f \approx 0.5$
(ง) การฉีดพ่นโลหะ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการร้าว	$k_f \approx 0.86$
(จ) การกัดกร่อนระหว่างหน้าสัมผัสของคู่ชิ้นงาน	
- ข้อต่อสลักเกลียว สลักและคูล็อก	$k_f \approx 0.24-0.9$
- หน้าสัมผัสระหว่างเบรค	
(ฉ) การเกิด Fretage corrosion โดยเริ่มด้วย Surface discoloration	k_f ขึ้นอยู่กับชนิด

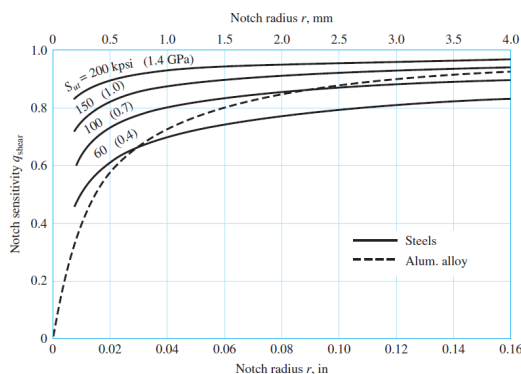
ความเค้นหนาแน่นและความไวของรอยบาก

ในชิ้นส่วนเครื่องจักรกลส่วนมากที่ขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่ไม่เท่ากัน เช่น มีการเจาะรู รอยบาก ร่องลิ้ม หรือรอยต่อระหว่างเพลลา 2 ขนาด เมื่อรับโหลดชนิดต่างๆ โดยทั่วไป q = ค่าความไวของรอยบาก จะเป็น

ตัวเลขที่อธิบายถึงอิทธิพลของรอยบาก รูเจาะ หรือรอยตำหนิ ที่มีผลต่อความเค้นสูงสุด ในการวิเคราะห์และออกแบบจำเป็นที่จะต้องเริ่มจากการหาค่า K_t จากนั้นก็หาค่าความไวของรอยบาก แล้วจึงหาค่า K_f จาก

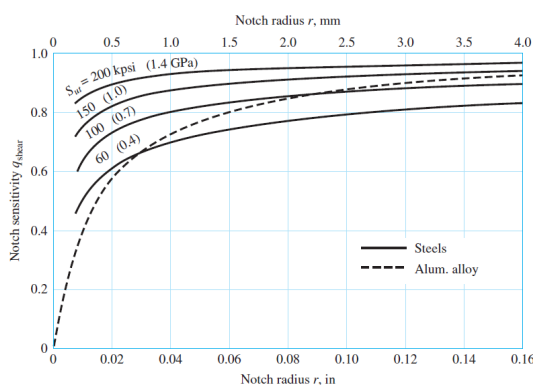
$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad \text{หรือ} \quad K_{fs} = 1 + q_{shear}(K_{ts} - 1) \quad (6)$$

สำหรับเหล็กกล้าและอะลูมิเนียมอัลลอยด์ให้ใช้แผนภาพที่ 1 ในการหาค่า q สำหรับการรับโหลดในแนวแกน และโหลดโมเมนต์ดัด ส่วนโหลดแรงเฉือนให้ใช้แผนภาพที่ 2 สำหรับวัสดุเปราะ



แผนภาพที่ 1 ความไวรอยบากของเหล็กกล้าและอะลูมิเนียมอัลลอยด์ UNSA92024-T

(อ้างอิงมาจาก นอ.รศ.ภาณุฤทธิ์ ยุคตะทัต. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2)



แผนภาพที่ 2 ความไวรอยบากสำหรับวัสดุที่รับโหลดโมเมนต์บิด

(อ้างอิงมาจาก นอ.รศ.ภาณุฤทธิ์ ยุคตะทัต. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2)

ตารางที่ 4 ค่าประมาณความเข้มข้นของความเค้น K_t และ K_{ts} (อ้างอิงมาจาก นอ.รศ.ภาณุฤทธิ์ ยุคตะทัต.

การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2)

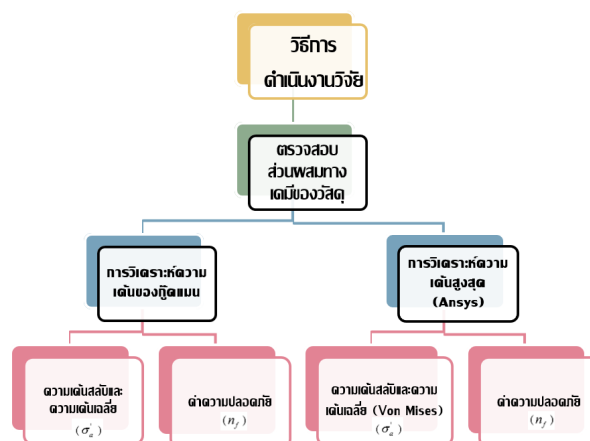
	Bending	Torsional	Axial
Shoulder fillet-sharp (r/d = 0.02)	2.7	2.2	3.0
Shoulder fillet-well rounded(r/d = 0.1)	1.7	1.5	1.9
End-mill keyseat (r/d = 0.02)	2.14	3.0	-
Sled runner keyseat	1.7	-	-
Retaining ring groove	5.0	3.0	5.0

3.2 การทบทวนผลงานวิจัย

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมา Pratiksha M. Nargolkar (2015) ได้สร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม PRO-E และนำไปแปลงเป็นโปรแกรม Ansys R15 ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์เพลาคือเหวี่ยงแบบสถิตซึ่งใช้แรงบิดที่ปลายเพล การวิเคราะห์จะดำเนินการโดยมีการใส่แรงบิดเข้าไปที่ปลายเพลาคือเหวี่ยง ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความเค้นจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลการคำนวณในทางทฤษฎีและข้อมูลเชิงลึก Lucjan และคณะ (2017) ได้ทำการวิเคราะห์ความเสียหายและความเค้นของเพลาคือเหวี่ยงในเครื่องยนต์ดีเซล ในการทดลองมีหลายวิธีคือ การตรวจสอบด้วยสายตา การทดสอบความแข็ง และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นแสดงให้เห็นว่าในระหว่างการทำงานของเครื่องยนต์ด้วยกำลังสูงสุดบริเวณที่มีความเค้นสูงจะอยู่ในจุดเริ่มต้นของรอยแตก จากผลการตรวจสอบพบว่าสาเหตุเกิดจากความล้าในขณะความเร็วรอบสูงที่ผิวด้านนอกของข้อเหวี่ยงซึ่งออกแบบให้มีรัศมีโค้งน้อยเกินไป J. Mateus และคณะ (2019) ได้ทำการวิเคราะห์ความเสียหายของเพลาคือเหวี่ยงในเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบ 1900 cc. ให้กำลังสูงสุดที่ 81 kW ผลิตในปี 1999 และใช้งานมา 120,000 km รอยแตกเกิดขึ้นบริเวณด้านข้างของ Crankpin เป็นวงกว้าง มีการวิเคราะห์ทางโลหะวิทยาและวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อทำความเข้าใจใหม่ลดความล้าเพลาคือเหวี่ยงและกลไกทางกล ผลการทดลองแสดงให้เห็นความเสียหายที่เกิดจากความล้าโดยความเค้นที่เกิดขึ้นโดยกระบวนการที่เป็นไปได้สองขั้นตอน ได้แก่ รอยแตกเล็กๆ ในจุดกำเนิดของรอยแตกหรือการติดตั้งเพลาคือเหวี่ยงไม่ตรงแนว Anyuan Jiao และคณะ (2020) ได้ทำการวิเคราะห์ความเสียหายของเพลาคือเหวี่ยงของเครื่องยนต์ดีเซลในรถบรรทุก มีการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีและการวิเคราะห์ความล้าโดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS Workbench ผลของการทดลองสรุปได้ว่าสาเหตุหลักของความเสียหายในเพลาคือเหวี่ยงคือความล้าที่เกิดจากการใช้โหลดเกินกำลัง

4. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยสามารถจำแนกได้ 2 วิธีดังแสดงในรูปที่ 3 ตามลักษณะ ดังนี้



แผนภาพที่ 3 แผนผังแสดงขั้นตอนในการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์ความเค้นตามหลักเกณฑ์การออกแบบของกู๊ดแมน (DE-Goodman)

สมการความเค้นสลับและความเค้นเฉลี่ย

$$\sigma'_{\max} = \left[\left(\frac{32K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

ค่า Safety factor

$$n_f = \frac{S_e}{\sigma'_{\max}} \quad (8)$$

4.2 การวิเคราะห์ความเค้นสูงสุดของ Von Mises ในข้อเหวี่ยงด้วยโปรแกรม Ansys Workbench

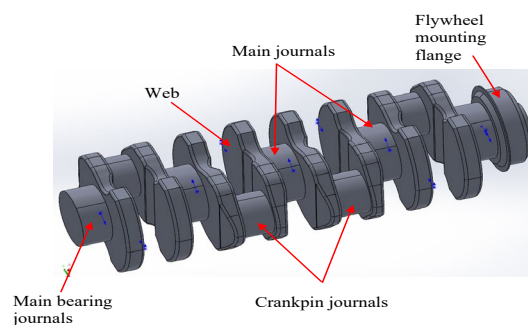
การวิเคราะห์ความเค้นสูงสุดโดยพิจารณาจากความเค้นวอนมิสเสสโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเค้นที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐานของ DE-Goodman จะเริ่มจากการใช้โปรแกรม SolidWorks 2016 ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ แล้วนำแบบที่ได้ไปแปลงในโปรแกรม Ansys Workbench โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตต่างๆ รวมทั้งกำหนดชนิดของวัสดุเพลาค้อนเหวี่ยง กำหนดชนิดและขนาดของตาค้ำ และแรงบิด หลังจากนั้นทำการประมวลผลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลาค้อนเหวี่ยง เมื่อได้ผลของค่าความเค้นที่ได้จากการคำนวณและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แล้วก็นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่า Ultimate tensile strength ของวัสดุที่ใช้ทำเพลาค้อนเหวี่ยง

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ความเค้นสลับและความเค้นเฉลี่ยตามหลักเกณฑ์การออกแบบของกู๊ดแมน และการวิเคราะห์ความเค้นสลับและความเค้นเฉลี่ยของวอนมิสเสส ซึ่งมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

5.1 หลักเกณฑ์การออกแบบของกู๊ดแมน (DE-Goodman)

ขนาดและมิติของเพลาค้อนเหวี่ยงรวมทั้งชื่อส่วนประกอบต่างๆ ดังแสดงในแผนภาพที่ 3 พารามิเตอร์หลักที่อธิบายถึงลักษณะของเพลาค้อนเหวี่ยง เช่น ความยาวของ Crankpin และกำลังอัด สามารถใช้เป็นพารามิเตอร์ในการกำหนดขนาดของเพลาค้อนเหวี่ยงดังแสดงในตารางที่ 5



แผนภาพที่ 3 ลักษณะของข้อเหวี่ยงในเครื่องยนต์ 4 สูบ

ตารางที่ 5 มิติและขนาดของเพลาคือเหวี่ยง

Parameter	Value
Crank pin radius	52 mm
Shaft diameter	70 mm
Thickness of the crank web	20 mm
Length of the crank pin	155 mm
Bore x Stroke	95.4 mm x 104.5 mm
Maximum pressure	32 bar

$$\text{หาแรง } F \text{ ได้จากกำลังอัด } F = \frac{\pi \times 0.0954^2 \times 32}{4} = 22.87 \text{ kN}$$

$$\text{โมเมนต์ดัดสูงสุด } M_a = 22.87 \times 10^3 \text{ N} \times 0.0775 \text{ m} = 1772 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\text{โมเมนต์บิดสูงสุดรอบแกนเพลาคือ } T_m = 245 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (\text{ได้มาจากคู่มือของรถรุ่นนี้})$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของ Crankpin} = 104 \text{ mm} \quad (\text{ได้มาจากการวัดขนาดของเพลาคือเหวี่ยง})$$

จากตารางที่ 4 ประมาณความเข้มข้นของความเค้นสำหรับ end-milled keyseat ได้ค่า $K_t = 2.14$ และ $K_{ts} = 3$ สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ JIS-S55C ได้ค่า $S_{ut} = 880 \text{ MPa}$ และค่า $S_y = 550 \text{ MPa}$ จากตารางที่ 1 นำค่าที่ได้ทั้งหมดไปเปิดแผนภาพที่ 1 และ 2 เพื่อหาค่า $q = 0.84$ และ $q_s = 0.83$ ตามลำดับ

$$\text{จากสมการที่ 6} \quad K_f = 1 + q(K_t - 1), \quad K_f = 1 + 0.84(2.14 - 1) = 1.958$$

$$\text{จากสมการที่ 6} \quad K_{fs} = 1 + q_{shear}(K_{ts} - 1), \quad K_{fs} = 1 + 0.83(3 - 1) = 2.66$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาคือ } 20 \text{ mm} \text{ แทนค่า } M_a = 1772 \text{ N}\cdot\text{m} \text{ และ } T_m = 245 \text{ N}\cdot\text{m} \text{ ในสมการที่ 7}$$

$$\sigma'_{\max} = \left[\left(\frac{32 \times 1.958 \times 1772}{\pi \times 0.104^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16 \times 2.66 \times 245}{\pi \times 0.104^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma'_{\max} = 3.183 \times 10^7 \text{ N/mm}^2 = 31.83 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{แฟกเตอร์แก้ไข } k_a = 1$$

$$\text{แฟกเตอร์แก้ไขขนาด } k_b = 1.51d^{-0.157} = 1.51 \times 104^{-0.157} = 0.73$$

จากสมการที่ 3

$$\text{แฟกเตอร์แก้ไขโหลด } k_c = 0.59$$

จากสมการที่ 4

$$\text{แฟกเตอร์แก้ไขอุณหภูมิใช้งาน } k_d = 1$$

$$\text{แฟกเตอร์แก้ไขระดับความน่าเชื่อถือ } k_e = 1 - 0.08 z_a$$

$$k_e = 1 - (0.08 \times 2.326) = 0.82$$

จากสมการที่ 5

$$\text{แฟกเตอร์แก้ไขค่าอิทธิพลอื่น ๆ ที่เหลือ } k_f = 0.5$$

จากตารางที่ 3

$$\text{พิสัยการล้าของชิ้นงานทดสอบการหมุนดัด } S'_e = 0.5 S_{ut} = 0.5 \times 880 = 440 \text{ MPa}$$

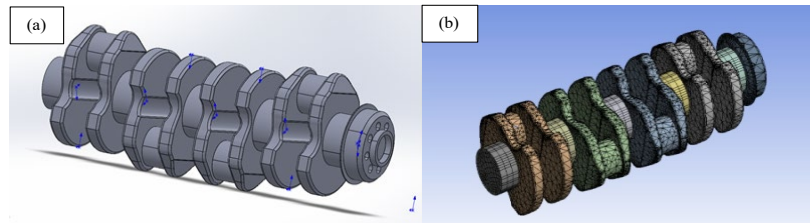
$$\text{พิสัยการล้าของชิ้นงานจริงจากสมการที่ 2, } S_e = 1 \times 0.73 \times 0.59 \times 1 \times 0.82 \times 0.5 \times 440 = 77.70 \text{ MPa}$$

$$\text{หาค่า Safety factor จากสมการที่ 8}$$

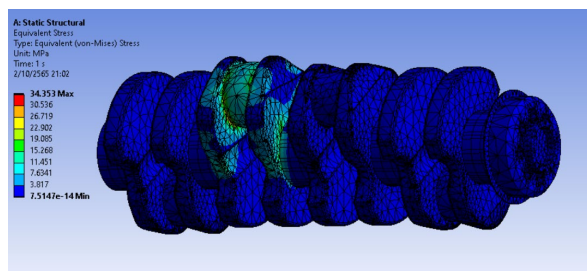
$$n_f = \frac{S_e}{\sigma'_{\max}} = \frac{77.70}{31.83} = 2.44$$

5.2 การวิเคราะห์ความเค้นด้วยโปรแกรม Ansys Workbench

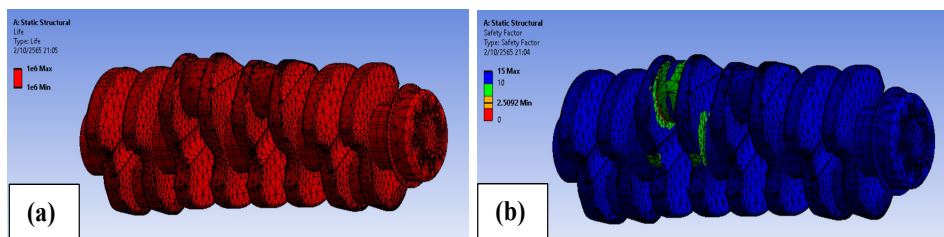
การวิเคราะห์ความเค้น โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเค้นที่ได้จากการคำนวณตามหลักเกณฑ์การออกแบบของก๊าดแมน จะเริ่มจากการใช้โปรแกรม SolidWorks 2016 เขียนแบบจากชิ้นงานจริงที่เสียหายดังแผนภาพที่ 4(a) แล้วนำไปจำลองโปรแกรม Ansys Workbench ดังแผนภาพที่ 4(b) ผลที่ได้ของการจำลองแสดงดังแผนภาพที่ 5 เป็นค่าความเค้นวอนมิสเสส (Von mises) ที่เกิดขึ้นในเพลลาข้อเหวี่ยง จะสังเกตได้ว่าการเสียรูปสูงสุดอยู่ที่จุดเชื่อมต่อระหว่าง Crankpin และ Web ของเพลลาข้อเหวี่ยง แผนภาพที่ 6(a) เป็นค่าพิสัยความล้า Endurance Limit และแผนภาพที่ 6(b) เป็นค่าความปลอดภัย (Safety Factor) ที่เกิดขึ้นในเพลลาข้อเหวี่ยง



แผนภาพที่ 4 (a) แบบสามมิติของเพลลาท้ายที่ได้จาก Solidwork 2016 (b) แบบที่แปลมาเป็น Ansys



แผนภาพที่ 5 ค่าความเค้นวอนมิสเสส (Von Mises Stress) ที่ได้จากการจำลอง



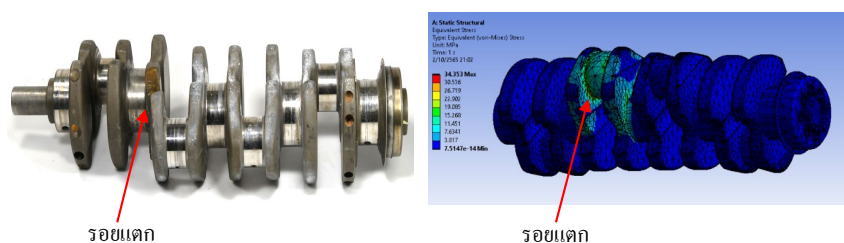
แผนภาพที่ 6 (a) ค่าพิสัยความล้า และ (b) ค่าความปลอดภัย ที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลข

ผลของการจำลองเชิงตัวเลขเพลลาข้อเหวี่ยง โดยใช้ค่าของแรงบิดเท่ากับ 245 N-m ตามสเป็คของรถยนต์รุ่นนี้ แบบจำลองการทำงานของเมชที่สร้างขึ้นด้วยเอลิเมนต์ชนิดรูปทรงสี่หน้า มีจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมด 77,616 เอลิเมนต์ จำนวนโหนดเท่ากับ 130,767 โหนด และองศาความเป็นอิสระในการเคลื่อนที่ (Degrees of Freedom, DOF) เท่ากับ 387,084 ถูกเลือกสำหรับการควบคุมเมช แต่ละโหนดมีความเป็นอิสระในการเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของแกน x, y และ z เท่านั้น โดยนำการวิเคราะห์ไปใช้กับเพลลาข้อเหวี่ยงที่ต้องรับแรงบิด หลังจากนั้นจะได้รับการกระจายความเค้นเป็นตัวเลขแล้วนำเข้าในโปรแกรม Ansys Workbench ดังในแผนภาพที่ 5 แสดงให้เห็นการกระจายของความเค้นในเพลลาข้อเหวี่ยงตั้งแต่ค่าความเค้นต่ำสุดไปจนถึงค่าความเค้นสูงสุด และแผนภาพที่ 6(a)

เป็นค่าขีดจำกัดความทนทาน (Endurance limit) มีค่าเท่ากับ 10^6 รอบ และ แผนภาพที่ 6(b) เป็นค่าความปลอดภัย = 2.5 จะเห็นว่าผลลัพธ์ของวิธีการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับผลของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

6. สรุปผลการทดลอง

ความเค้นสูงสุดที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐานของกู๊ดแมน (Goodman) เท่ากับ 31.83 MPa และค่าความปลอดภัย (Safety factor) คือ 2.44 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลข ได้ค่าความเค้นวอนมิสเสส (Von mises) คือ 34.35 MPa และค่าความปลอดภัย (Safety factor) คือ 2.5 และจากผลของการจำลองโดยใช้โปรแกรม Ansys Workbench และจากผลของการจำลองดังแผนภาพที่ 7 ค่า Equivalent stress (Von-mises) ที่เกิดขึ้นในเพลาช้อเหวี่ยงจะสังเกตได้ว่าการเสียรูปสูงสุดอยู่ที่จุดเชื่อมต่อระหว่าง Crankpin และ Web ของเพลาช้อเหวี่ยงซึ่งคล้ายกับลักษณะของรอยแตกของเพลาช้อเหวี่ยงที่เกิดจากความล้าในการใช้งานมา 15 ปี สรุปคือสาเหตุที่ทำให้เพลาช้อเหวี่ยงเกิดความเสียหายจากการล้าตัวของวัสดุเพล



แผนภาพที่ 7 ภาพเปรียบเทียบลักษณะรอยแตกและค่าความเค้นที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Ansys

7. เอกสารอ้างอิง

- ปราโมทย์ เดชะอำไพ. (2555). ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภาณุฤทธิ์ ยุทธะทัต. (2554). การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป.
- เสกศักดิ์ อัสวะวิสิทธิ์ชัย. (2554). การวิเคราะห์ความเสียหายทางโลหะการ. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Anyuan Jiao, Binghong Liu, Xiaomei Chen, Xiaobin Zou and Fenghui Wang. (2020). Fracture failure analysis of KL crankshaft. *Engineering Failure Analysis*, 20(112), 104498.
- J. Mateus, V. Anes, I. Galvão and L. Reis. (2019). Failure mode analysis of a 1.9 turbo diesel engine crankshaft. *Engineering Failure Analysis*, 19(101), 394-406.
- K. Sandya, M Keerthi and K. Srinivas. (2016). Modeling and Stress Analysis of Crankshaft using FEM Package Ansys. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 16(3), 678-693.
- Lucjan Witeka, Michal Sikorab, Feliks Stachowicza and Tomasz Trzepieciniskia. (2017). Stress and failure analysis of the crankshaft of diesel engine. *Engineering Failure Analysis*, 17(82), 703-712.
- Momin Muhammad and Zia Muhammad. (2013). Crankshaft Strength Analysis Using Finite Element Method. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 13(3), 1694-1698.
- Pratiksha M. Nargolkar. 2015. "Analysis of Crankshaft." *International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)*, 5(4), 122-127.

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแขนควบคุมบนภายใต้แรงสถิต

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF UPPER CONTROL ARM

UNDER STATIC LOADING

วัชร เครือรัฐติกา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fengwkr@ku.ac.th

ชาญเวช สีสพิพัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fengchse@ku.ac.th

อดุลย์ พัฒนภักดิ์

ภาควิชาวิศวกรรมระบบเครื่องกลและนวัตกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: adual.pa@spu.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบกันสะเทือนรองรับตัวถังของรถยนต์และส่งผ่านแรงระหว่างตัวรถและถนน แขนควบคุมบนเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญของระบบกันสะเทือน งานวิจัยนี้เน้นวิเคราะห์ความเค้นของแขนควบคุมบนภายใต้แรงสถิต การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ให้ค่าความเค้นวอนมิสเสสสูงสุด 17.005 เมกะปาสกาล ที่จุดสัมผัสระหว่างแขนบนและท่อ ระยะการเสียดรูปสูงสุด 0.0131 มิลลิเมตร ที่รูของแขนบน ค่าความเค้นวอนมิสเสสสูงสุดไม่เกินค่าความเค้นครากหมายความว่าแขนควบคุมบนไม่ได้เสียหายขณะที่มีแรงสถิตกระทำ

คำสำคัญ: แขนควบคุมบน การวิเคราะห์ความเค้น ไฟไนต์เอลิเมนต์

ABSTRACT

The suspension system carries the vehicle body and transmit forces between the body and the road. The upper control arm is one of the most effective parts in the suspension systems. In this research work focused on stress analysis of upper control arm under static loading. Finite element analysis gives maximum Von-Misses stress was 17.005 MPa at contact point between arm upper and pipe, maximum deformation was 0.0131 mm at hole of arm upper. The value of maximum Von-Misses stress not exceed to yield strength that mean the upper control arm do not failure during static force was applied.

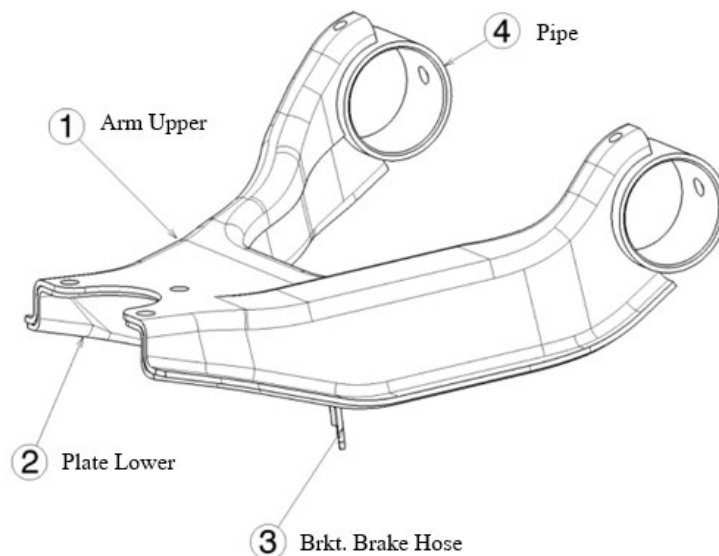
Keywords: Upper Control Arm, Stress Analysis, Finite Element

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการนำเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ และ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการทดสอบมาประยุกต์ใช้ ปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพสูง ทำให้การประมวลผลเป็นไปอย่างรวดเร็ว สามารถวิเคราะห์ชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้ การนำระเบียบวิธีทางคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบนั้น ทำให้สามารถช่วยลดระยะการออกแบบและทดสอบลง รวมทั้งลดค่าใช้จ่ายได้มาก

ชิ้นส่วนที่สำคัญชิ้นหนึ่งของรถยนต์คือ แขนควบคุมบน (Upper Control Arm) และแขนควบคุมล่าง (Lower Control Arm) เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญในการรองรับน้ำหนักบรรทุกรวมของรถ มีสปริงและโช้คอัพช่วยในการรองรับน้ำหนัก แขนควบคุมบน และ แขนควบคุมล่าง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จับยึดล้อหน้าเข้ากับรถยนต์ โดยล้อทั้งสองด้านไม่เกี่ยวพันกัน คือ การยึดล้อแต่ละล้อเข้ากับตัวรถแยกจากกัน ทำให้ขณะที่ล้อเคลื่อนที่ขึ้นลง หรือ ขณะล้อป็นก้อนหินหรือตกหลุม จะมีผลต่อการไถของตัวรถน้อยมาก จึงทำให้การทรงตัวของรถดีขึ้น แขนควบคุมล่าง ยังเป็นส่วนที่ติดตั้งโช้คอัพหน้า เพื่อรับการสั่นสะเทือนจากสภาพท้องถนน อีกทั้งยังมีการติดตั้งลูกหมากที่ แขนควบคุมบน และลูกหมากที่ แขนควบคุมล่าง ทำหน้าที่แทนสลักคิงพิน เพื่อใช้เป็นแกนหมุนเลี้ยวล้อของรถยนต์ ดังนั้นการออกแบบจึงจำเป็นต้องคำนึงความแข็งแรงและความทนทานที่สูง โดยแขนควบคุมบนเป็นส่วนบนของปีกนกบนที่เชื่อมต่อระหว่างล้อกับตัวรถ

ลักษณะของ แขนควบคุมบน แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งมีประกอบด้วย ชิ้นส่วนทั้งหมด 4 ชิ้นส่วน หน้าที่ของส่วนต่างๆ ของแขนควบคุมบน มีดังนี้ ชิ้นงานทั้งหมดต้องนำมาเชื่อมยึดติดกัน ส่วนของรู 3 รูของชิ้นงานที่ 1 แขนบน (Arm Upper) และชิ้นงานที่ 2 แผ่นล่าง (Plate Lower) ยึดเข้ากับลูกหมากซึ่งยึดเข้ากับชุดเคลื่อนที่ของล้อ ส่วนบริเวณชิ้นงานที่ 3 ขายึดสายเบรก (Brkt. Brake Hose) ยึดเข้ากับสายเบรกของรถ และส่วนบริเวณชิ้นงานที่ 4 ท่อ (Pipe) ต้องสวมด้วยบูช แล้วยึดเข้ากับแชสซีของรถ



รูปที่ 1 ชิ้นส่วนของแขนควบคุมบน

M. Sadiq A. Pachapuri และคณะ (2021) คำนวณหาแรงที่กระทำต่อแขนควบคุมล่างของรถยนต์ขับเคลื่อนสี่ล้อมีระบบกันสะเทือนแบบแมคเฟอร์สันสตรัท ผลการคำนวณได้แสดงถึงการกระจายตัวของความเค้น ระยะการเสียดรูปสูงสุดของแขนควบคุมล่าง Ayman E. Nabawy และคณะ (2019) คำนวณหาผลกระทบต่อการระบบช่วงล่าง

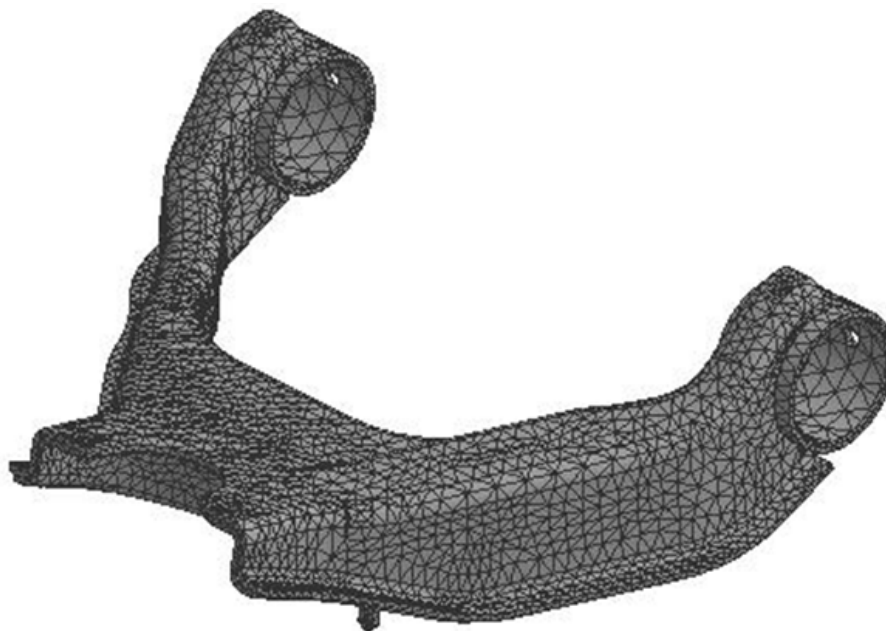
ของรถยนต์จากถนนในรูปแบบต่างๆ K. Vikranth Reddy และคณะ (2016) คำนวณเปรียบเทียบการการเสียรูปของระบบช่วงล่างแบบปีกนกคู่ (Double wishbone) และแมคเฟอร์สันสตรัท (MacPherson strut) A. M. Patil และคณะ (2013) คำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นกับปีกนกกลางจากขนาดของภาระแรงกระทำที่ส่งผ่านจาก ปีกนกบน โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ B. Gadade และ R. G. Todkar (2015) ใช้ระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ คำนวณหาความเค้นและระยะการเสียรูปที่เกิดขึ้นกับปีกนกกลางแบบรูปทรงเอ ขนาดของภาระที่กระทำกับล้อ 5,000 นิวตันในแนวดิ่ง โดยผลที่ได้สอดคล้องกับการทดสอบจริง M. Sridharan และ S. Balamurugan (2016) ได้สร้างแบบจำลองคำนวณหาการ โกงของแกนควบคุมล่างเพื่อหาขนาดที่เหมาะสม โดยการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ U. A. Ramesh และคณะ (2017) วิเคราะห์ความแข็งแรงแกนควบคุมล่างที่ทำจากวัสดุคอมโพสิตและเหล็ก Dehkordi, H. Banitalebi (2014) วิเคราะห์หาความเค้นที่เกิดขึ้นกับแกนควบคุมบนที่เกิดจากแรงพลศาสตร์เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความเสียหาย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการความเค้นที่เกิดขึ้นกับแกนควบคุมบนของรถยนต์ภายใต้แรงสถิตที่กระทำในแนวระดับ โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์คำนวณหาความเค้นวอนมิสเสส ความเค้นเฉือน และระยะการเสียรูปของแกนควบคุมบน

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

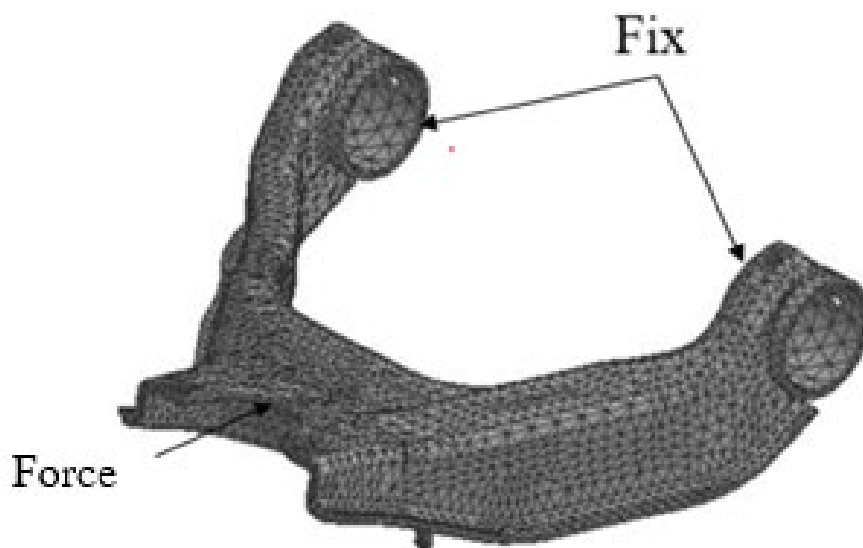
สร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแกนควบคุมบน แสดงดังรูปที่ 2 โดยแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วย 49480 โหนด 29457 เอลิเมนต์



รูปที่ 2 แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแกนควบคุมบน

การกำหนดขอบเขตและเงื่อนไข

การกำหนดขอบเขตและเงื่อนไขของ แขนควบคุมบน แสดงดังรูปที่ 3 โดยขอบเขตเงื่อนไขของแขนควบคุมบนของรถยนต์ มีแรงกระทำที่รูยึดของลูกหมากในแนวระดับกับท่อ และไม่ยอมให้มีการเคลื่อนที่บริเวณท่อทั้งสองด้าน



รูปที่ 3 การกำหนดขอบเขตเงื่อนไขของแขนควบคุมบน

คุณสมบัติของวัสดุ

ชิ้นส่วนที่ประกอบขึ้นเป็นแขนควบคุมบน มีทั้งหมด 4 ชิ้นส่วน โดยที่คุณสมบัติของวัสดุของชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นแขนควบคุมบน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุของชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นแขนควบคุมบนของรถยนต์

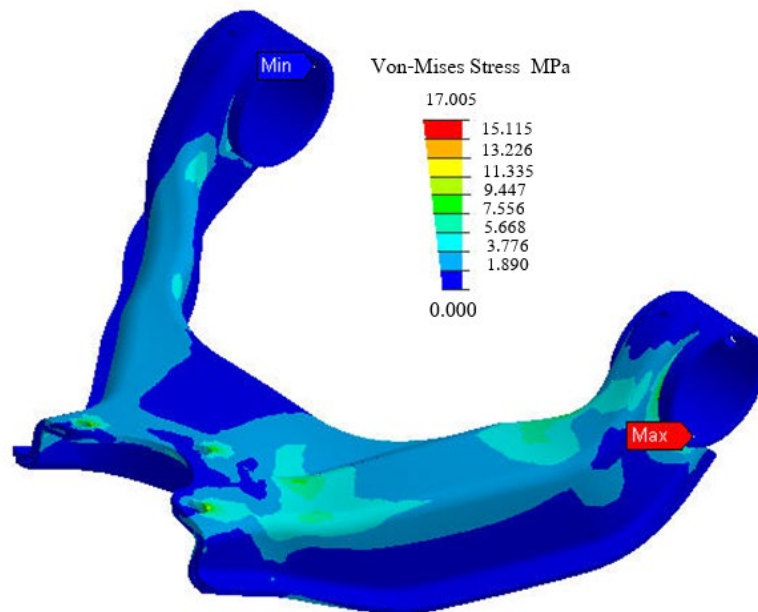
NO.	Part Name	Young's Modulus (E)	Poisson's Ratio	Yield Strength (σ_y)
		GPa	(ν)	MPa
1	แขนบน	200	0.33	225
2	แผ่นล่าง	200	0.33	225
3	ขายึดสายเบรก	200	0.37	205
4	ท่อ	200	0.35	280

3. ผลการคำนวณและอภิปราย

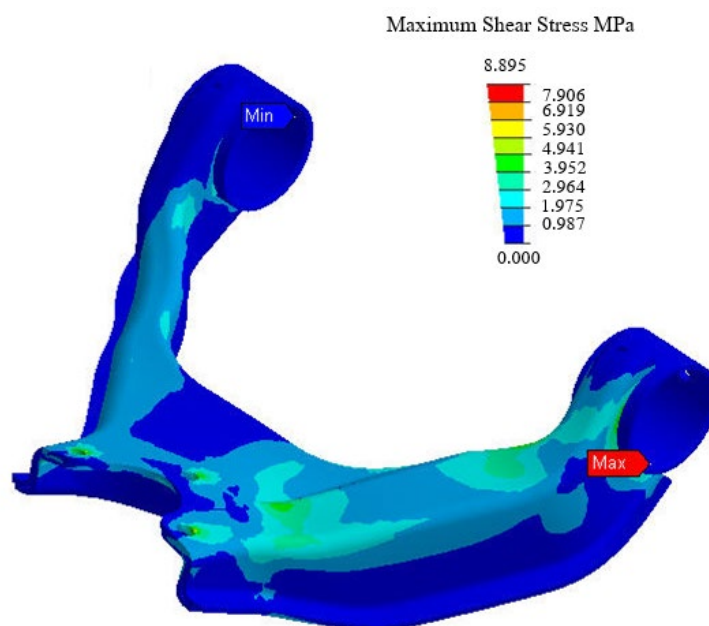
จากการคำนวณโดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ค่าความเค้นวอนมิสเสส (Von-Mises Stress) ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum Shear Stress) และระยะการเสียรูป (Deformation) ของแขนควบคุมบน ที่มีแรงขนาดต่างๆ กระทำแสดงตามตารางที่ 2 การกระจายความเค้นวอนมิสเสส ความเค้นเฉือนสูงสุด และระยะการเสียรูป ที่เกิดจากมีแรงขนาด 650 นิวตันกระทำ แสดงดังรูปที่ 4 - 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณตามแรงขนาดต่างๆ ที่กระทำต่อแขนควบคุมบน

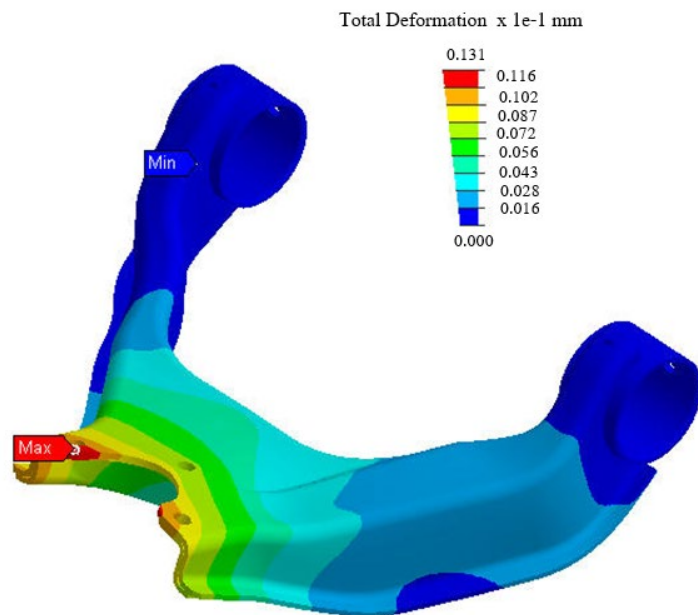
ขนาดแรง	ความเค้นวอนมิสเสส	ความเค้นเฉือนสูงสุด	ระยะการเสียรูป
N	MPa	MPa	$\times 10^{-3}$ mm
350	9.165	4.859	7.11
450	11.877	6.185	9.12
550	14.398	7.625	11.04
650	17.005	8.895	13.11



รูปที่ 4 ค่าความเค้นวอนมิสเสสของแขนควบคุมบน

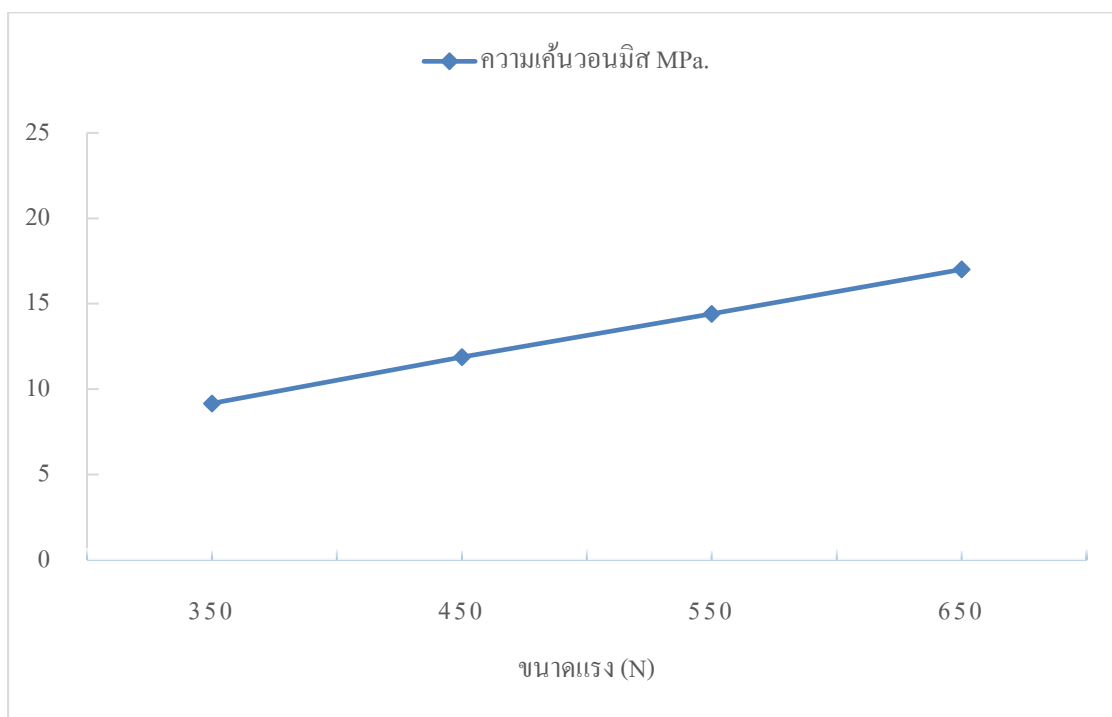


รูปที่ 5 ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดของแขนควบคุมบน

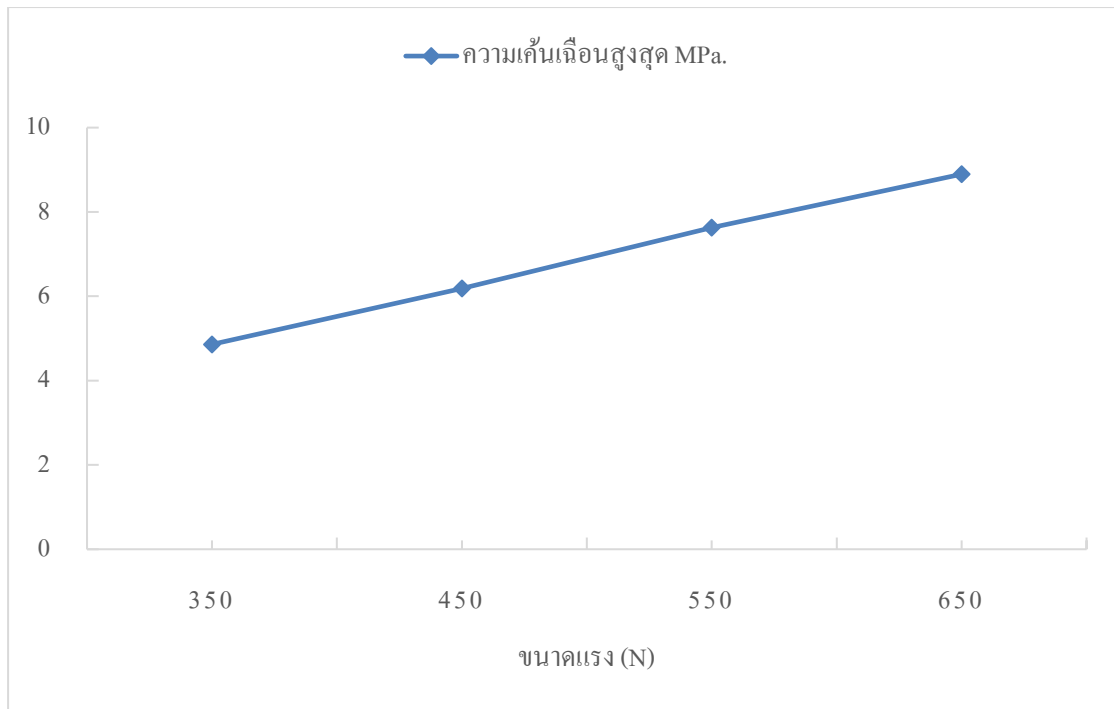


รูปที่ 6 ค่าระยะการเสียรูปของแขนควบคุมบน

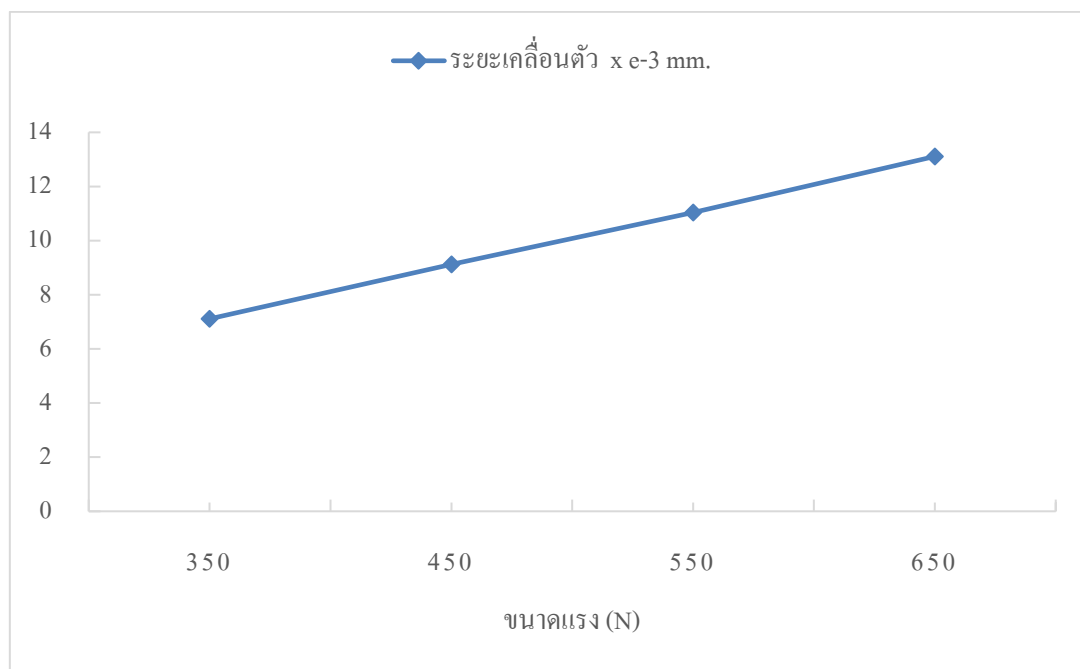
เมื่อนำค่าตามตารางที่ 2 มาสร้างกราฟ ได้ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงกับความเค้นวอนมิสเสส ความเค้นเฉือนสูงสุด และระยะการเสียรูป ตามรูปที่ 7 - 9 ตามลำดับ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงที่กระทำกับแขนควบคุมบนกับความเค้นวอนมิสเสสที่เกิดขึ้น

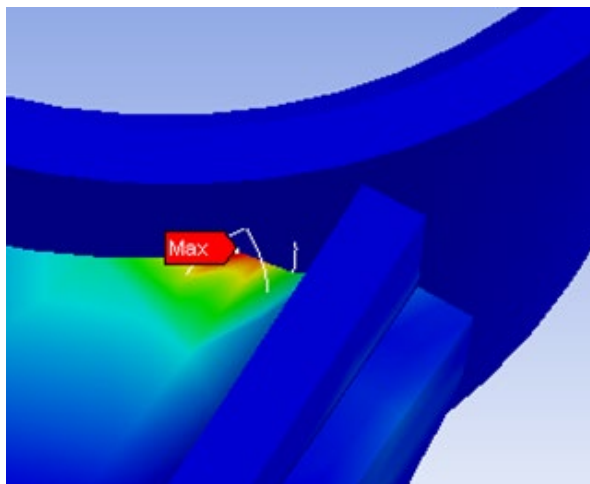


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงที่กระทำกับแกนควบคุมบนกับความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้น



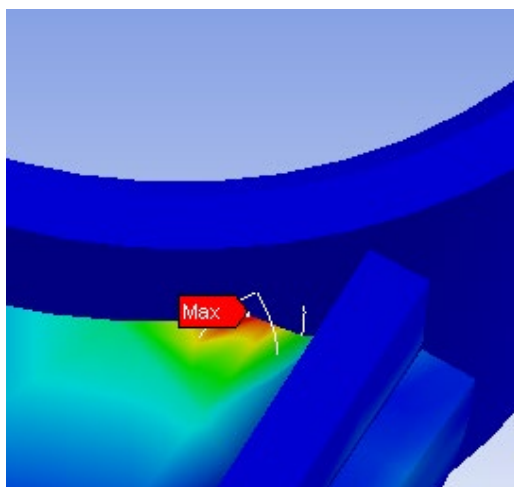
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงที่กระทำกับแกนควบคุมบนกับระยะการการเสียรูปที่เกิดขึ้น

จากผลการคำนวณค่าความเค้นวอนมิสเสสของแกนควบคุมบน แสดงตามรูปที่ 4 มีค่าความเค้นวอนมิสเสสสูงสุดเท่ากับ 17.005 MPa ซึ่งไม่เกินค่าความเค้นครากของชิ้นงานตามตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานยังไม่เกิดความเสียหาย บริเวณที่เกิดความเค้นวอนมิสเสสสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างแกนบนกับท่อ แสดงดังรูปที่ 10



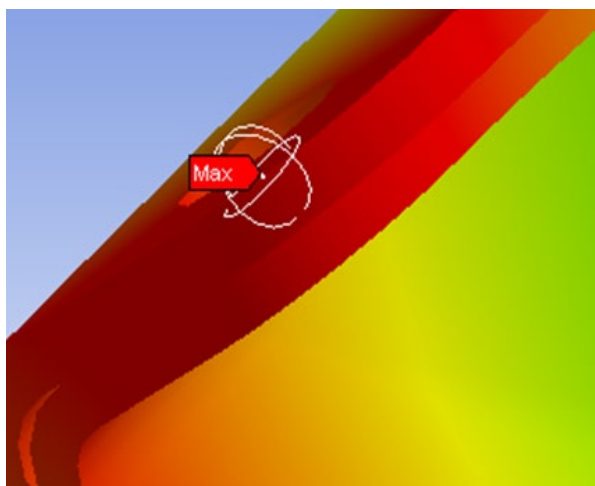
รูปที่ 10 บริเวณที่เกิดค่าความเค้นวอนมิสเสตสูงสุดของแขนควบคุมบนที่บริเวณรอยต่อระหว่างแขนบนกับท่อ

จากผลการคำนวณค่าความเค้นเฉือนของแขนควบคุมบน แสดงตามรูปที่ 5 มีค่าความเค้นเฉือนสูงสุดเท่ากับ 8.895 MPa ซึ่งไม่เกินค่าความเค้นเฉือนครากของชิ้นงาน แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานยังไม่เกิดความเสียหาย บริเวณที่เกิดความเค้นเฉือนสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่าง แขนบนกับท่อ แสดงดังรูปที่ 11 ซึ่งบริเวณนี้ต้องมีการเชื่อมชิ้นงานทั้งสองให้ติดกัน ทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นจริงมีค่าลดลง เนื่องจากมีพื้นที่รับความเค้นเพิ่มขึ้น



รูปที่ 11 บริเวณที่เกิดค่าความเค้นเฉือนสูงสุดของแขนควบคุมบนที่บริเวณรอยต่อระหว่างแขนบนกับท่อ

จากผลการคำนวณค่าระยะการเสียรูปของแขนควบคุมบน แสดงตามรูปที่ 6 มีค่าระยะการเสียรูปสูงสุดเท่ากับ 0.0131 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าน้อยมาก บริเวณที่เกิดระยะการเสียรูปสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณส่วนรูที่ใช้ยึดลูกหมากของชิ้นส่วนที่เป็นแขนบนและแผ่นล่าง แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 บริเวณที่เกิดระยะการเสียรูปสูงสุดบริเวณส่วนรูที่ใช้ยึดลูกหมากของแขนควบคุมบน

4. สรุปผล

จากผลการคำนวณหาค่าความเค้นวอนมิตเสส ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด และระยะการเสียรูปของโครงสร้าง แขนควบคุมบน ดังรูปที่ 11 12 และ 13 แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่เกิดค่าความเค้นสูงสุดคือ บริเวณแขนบนด้านที่สัมผัสกับท่อ ซึ่งค่าความเค้นวอนมิตเสส มีค่า 17.005 MPa และค่าความเค้นเฉือนสูงสุด มีค่า 8.895 MPa สำหรับบริเวณที่เกิดค่าระยะการเสียรูปสูงสุดคือตัว แขนบนตรงบริเวณรูที่ยึดกับลูกหมาก มีค่า 0.0131 mm โดยค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นของแขนควบคุมบนยังอยู่ในค่าที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานเมื่อรับภาระแบบภาระสถิต

5. เอกสารอ้างอิง

- Ayman E. Nabawy, Alaa A. Abdelrahman, Ayman M. Abdelhaleem, Soliman. S. Alieldin. (2019). Finite Element Analysis of Double Wishbone Vehicle Suspension System. *The Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology*, 27, 12–22.
- A. M. Patil, A. S. Todkar, R. S. Mithari, and V. V. Patil. (2013). Experimental & Finite Element Analysis of Left Side Lower Wishbone Arm of Independent Suspension System. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 7, 43-48.
- B. Gadade and R. G. Todkar. (2015). Design, analysis of A-type front lower suspension arm in commercial vehicle. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2, 759-766.
- Dehkordi. H. Banitalebi. (2014). *Vibration and force analysis of lower arm of suspension system*. Doctoral dissertation. Université du Québec à Chicoutimi.
- K. Vikranth Reddy, Madhu Kodati, Kishen Chatra, Sandipan Bandyopadhyay. (2016). A comprehensive kinematic analysis of the double wishbone and MacPherson strut suspension systems. *Mechanism and Machine Theory*, 105, 441-470.
- M. Sadiq A. Pachapuri, Ravi G. Lingannavar, Nagaraj K. Kelageri, Kritesh K. Phadate. (2021). Design and analysis of lower control arm of suspension system. *Materials Today*, 47(11), 2949-2956.

- M. Sridharan and S. Balamurugan (2016) Design and Analysis of Lower Control ARM. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5, 6510-6528.
- U. A. Ramesh, D. Siddhartha, R. A. Sethu, N. Ramanan, and V. Karthi (2017) Modeling and Analysis of Lower Wishbone for Independent Suspension System for Commercial Vehicles. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 2, 166-168.

**การถ่ายเทความร้อนและอิทธิพลต่อคุณลักษณะการแห้งของมะพร้าวที่คั่วด้วย
เครื่องคั่วแบบถังหมุนที่ใช้หัวเผาแบบกลมกับแบบท่อ**

**HEAT TRANSFER AND EFFECT OF ROASTED COCONUT DRYING
CHARACTERISTICS WHICH USED ROTATING DRUM MACHINE
HEATING WITH CONVENTIONAL AND PIPE BURNERS**

นิโอะ ปุซุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

E-mail: nioh.p@pnu.ac.th

พรรณเพ็ญ ถาวรประสิทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

E-mail: Phanpen.p@pnu.ac.th

สัبری สะนอ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

E-mail: sabree.s@pnu.ac.th

อารักษ์ คงเพชร

วิทยาลัยการอาชีพตากใบ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

E-mail: arak098671@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลการถ่ายเทความร้อนของถังคั่วมะพร้าวที่ใช้หัวเผาแบบกลมซึ่งเป็นแบบที่
วิสาหกิจชุมชนนิยมใช้กับแบบท่อกับคุณลักษณะการแห้งของมะพร้าว การศึกษาการถ่ายเทความร้อนจะใช้วิธีการ
วัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันภายในถังขณะที่หมุน สำหรับการศึกษาคุณลักษณะการแห้งจะทำการทดลองคั่ว
มะพร้าวโดยใช้เครื่องคั่วแบบถังหมุนและเก็บตัวอย่างมะพร้าวมาหาความชื้นคงเหลือเป็นระยะ ตัวแปรที่
ทำการศึกษา ได้แก่ 1. ระยะห่างระหว่างหัวเผากับถังหมุน โดยกำหนดให้เท่ากับ 4, 5, 6, 8 และ 10 cm และ
2. ความเร็วรอบของถังหมุนเท่ากับ 10, 20 และ 30 rpm ผลการทดลองพบว่าหัวเผาทั้ง 2 แบบ มีอัตราการถ่ายเท
ความร้อนสูงสุดเมื่อระยะหัวเผาห่างจากถังหมุนน้อยที่สุด ระยะห่างหัวเผามีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อน
มากกว่าความเร็วรอบ ระยะเวลาก่อนการทดลองคั่วมะพร้าวพบว่าสอดคล้องกับผลการถ่ายเทความร้อนโดยที่เงื่อนไข
ระยะห่างหัวเผากับถังหมุน 4 cm ระยะหัวเผาใกล้ที่สุดจะใช้เวลาในการคั่วน้อยที่สุด และที่เงื่อนไขนี้ หัวเผาแบบ
ท่อสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงแอลพีจีได้สูงสุด 50 % เมื่อเทียบกับหัวเผาแบบกลม ดังนั้นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนจะ
สามารถลดการใช้แก๊สแอลพีจีอย่างน้อยครึ่งหนึ่งเมื่อใช้หัวเผาแบบท่อทดแทนการใช้หัวเผาแบบกลม

คำสำคัญ: การคั่ว อบแห้ง เครื่องคั่วแบบถังหมุน

ABSTRACT

This research aims to present the experimentally study of coconut roasting drum heat transfer results that employ a round burner, which popularly used by entrepreneur, and a pipe burner types. Heat transfer study was conducted using measurement of oil temperature inside the drum technique while rotating. For the study of drying characteristics, coconut roasting was conducted using a rotating drum roasting machine and roasted coconut samples were collected periodically for testing of remaining moisture. Two main variables were tested; 1. The burner-drum distances equal to 4, 5, 6, 8 and 10 cm, and 2. The drum speed were set at 10, 20 and 30 rpm. The results showed that both types of burners had the highest heat transfer rate for shortest burner-drum distance. The burner-drum distances exhibited a greater influence on the increase in heat transfer than that drum speed. For roasting coconut results, the experiment founded that drying characteristic coincided to the heat transfer rate. Then, at the closest the burner-drum distance 4 cm, the minimum roasting time is obtained. This condition of pipe burner position could reduce LPG fuel consumption by up to 50% to compare with conventional burner. Therefore, community entrepreneur would be able to reduce at least half of their LPG consumption by using pipe burner instead of conventional burner.

Keywords: Roasted Coconut, Processed Coconut, Roasted Rotating Drum Machine

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ผลิตภัณฑ์มะพร้าวคั่วเกือบทั้งหมดมาจากการแปรรูปของวิสาหกิจชุมชนหรือผู้ประกอบการรายย่อยในท้องถิ่น กระบวนการผลิตที่มีเครื่องมือทั่วไปช่วยทำงานยังคงเป็นกระบวนการแบบดั้งเดิมตั้งแต่การปอกเปลือกมะพร้าว การผ่า การชุบ การคั่ว และการบรรจุ ที่ใช้แรงงานในชุมชนเป็นหลัก (Petpradub, 2018) ถึงแม้ว่ากระบวนการผลิตมะพร้าวคั่วของแต่ละที่จะเหมือนกัน แต่จากการสำรวจข้อมูลนั้นพบว่ารายละเอียดในแต่ละขั้นตอนนั้นแตกต่างกัน ส่งผลให้ความนิยมของผู้บริโภคมะพร้าวคั่วจากแต่ละสถานประกอบการไม่เท่ากันและส่งผลต่อเนื่องโดยตรงต่อราคาจำหน่าย ดังนั้นการส่งเสริมผู้ประกอบการโดยการควบคุมคุณภาพ การลดต้นทุนจากกระบวนการเพิ่มอัตราการผลิต หรือเครื่องมือช่วยในการจัดการหรือตัดสินใจในการกระบวนการผลิต จะมีส่วนสำคัญในการช่วยให้วิสาหกิจชุมชนหรือผู้ประกอบการรายย่อยเกิดความเข้มแข็ง และเป็นแหล่งรายได้ในระดับชุมชนที่ยั่งยืน (Anyarat *et al.*, 2018, Phosee *et al.*, 2013)

จากการสำรวจข้อมูลการแปรรูปมะพร้าวของวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่จังหวัดนราธิวาสและจังหวัดใกล้เคียงพบว่ามีสถานประกอบการแปรรูปมะพร้าวคั่วหลายแห่ง (ข้อมูลจากการสำรวจเชิงพื้นที่โดยผู้เขียน) เนื่องจากมะพร้าวคั่วเป็นที่นิยมบริโภคและเป็นส่วนประกอบของอาหารท้องถิ่น รายละเอียดกระบวนการผลิตที่สำคัญของแต่ละที่ใกล้เคียงกัน โดยมีขั้นตอนที่สำคัญ คือ 1. ปอกเปลือกและผ่า 2. ชุบ 3. คั่ว และ 4. บรรจุเตรียมจำหน่าย ขั้นตอนการคั่วเป็นกระบวนการที่สำคัญเนื่องจากส่งผลต่อต้นทุนด้านเชื้อเพลิงแก๊ส ไฟฟ้า และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เครื่องมือที่นิยมใช้ในการคั่วมะพร้าวจะเป็นเครื่องคั่วแบบถาดประจักษ์แบบถาดหมุนที่มีจำหน่ายทั่วไปให้ความร้อนโดยหัวเผาแก๊สที่ด้านล่างในขณะที่หมุน จากการสำรวจข้อมูลจากสถานประกอบการพบว่าเครื่องมือดังกล่าวนี้มาจากผู้ผลิตต่างกัน ทำให้ความเร็วรอบในการหมุนและระยะห่างของหัวเผาต่างกันไปด้วย และจาก

การค้นคว้าข้อมูลเพื่อจะใช้ในการปรับตั้งความเร็วรอบและระยะห่างของหัวเผาที่เหมาะสมก็พบว่าไม่มีข้อมูลแนะนำและไม่ปรากฏการศึกษาประเด็นดังกล่าวนี้มาก่อน

สรุปจากการสำรวจเอกสารพบว่ามีจำนวนจำกัดที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของความเร็วรอบในการหมุนและระยะห่างที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของถังหมวน ดังนั้นงานวิจัยจึงได้ทำการศึกษาโดยการทดลองเพื่อประเมินการถ่ายเทความร้อนจากหัวเผาแบบกลมและท่อแก้งถังหมวน โดยใช้น้ำมันเป็นตัวกลางในการรับความร้อนภายในถัง ตัวแปรที่ศึกษาได้ การให้ความร้อนแบบหัวเผากับแบบท่อ ความเร็วรอบของถัง 10, 20 และ 30 rpm ระยะห่างระหว่างหัวเผากับถังหมวนเท่ากับ 4, 6, 8, และ 10 cm นอกจากนี้ ได้ทำการทดลองด้วยมะพร้าวเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรข้างต้นที่มีผลต่อการแห้งของมะพร้าว

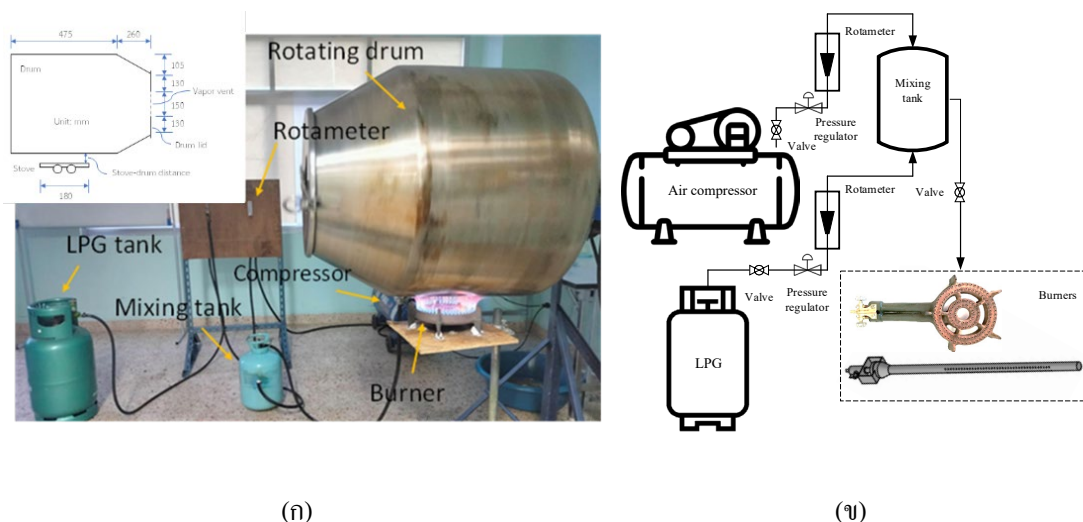
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) ศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างหัวเผากับถังหมวนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน
- (2) เปรียบการถ่ายเทความร้อนระหว่างหัวเผาแบบกลมซึ่งเป็นแบบที่วิสาหกิจชุมชนนิยมใช้กับแบบท่อ
- (3) ศึกษาพฤติกรรมการลดลงของความชื้นมะพร้าวในระหว่างการคั่วด้วยเครื่องคั่วแบบถังหมวน

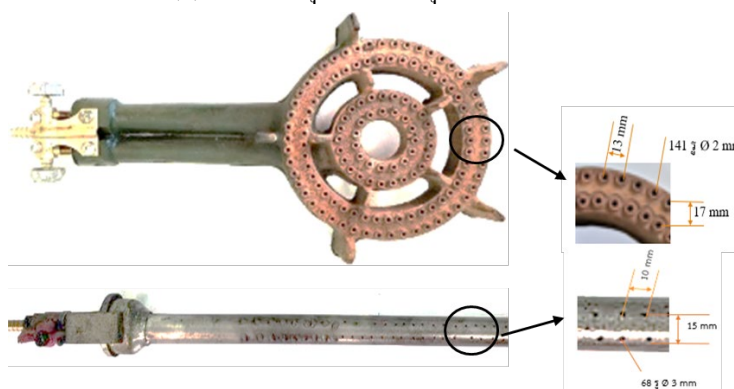
3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ถึงแม้ว่าการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของเครื่องคั่วมะพร้าวแบบถังหมวนโดยตรงมีข้อมูลน้อย โดยมี Wasan *et al.*, (2020) ได้การศึกษาที่ใช้เครื่องคั่วแบบถังหมวนสำหรับการคั่วผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยได้ทำการออกแบบระบบอบแห้งมะพร้าวโดยใช้ลมร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าร่วมกับไซโคลน ผลการศึกษาพบว่าสามารถอบแห้งมะพร้าวได้แต่มีจุดด้อยคือใช้พลังงานไฟฟ้าสูง

สำหรับการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของถังหมวนที่ใกล้เคียงนั้นจะเป็นการศึกษาจากต่างประเทศ Xu *et al.*, (2020) ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนของวัสดุเส้นใยภายในถังทรงกระบอกหมวนโดยการจำลองด้วยวิธีวิเคราะห์อนุภาคเส้นใยยืดหยุ่นแบบไม่ต่อเนื่อง (flexible fiber Discrete Element Method, DEM) จากการวิเคราะห์ผลการจำลองพบว่า การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำจากการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคจะสูงกว่าการนำจากการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคกับอากาศมาก ดังนั้นอนุภาคที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงจะมีการนำความร้อนลดลงเนื่องจากอนุภาคเคลื่อนที่ได้น้อยทำให้ลดจำนวนการสัมผัสกันระหว่างอนุภาค แต่สำหรับอนุภาคที่มีค่า aspect ratio น้อยจะทำให้อนุภาคมีการสัมผัสมากขึ้น ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น Dubé *et al.*, (2013) ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของแคปซูลโซเดียมไบคาร์บอเนตลักษณะกลมกับไม่กลมภายในถังหมวนที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที โดยใช้เทคนิคการตรวจจับการเคลื่อนที่ของแคปซูลด้วยวิธี radioactive particle tracking technique (RPT) จากผลการทดลองพบว่า แคปซูลมีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (Aspect ratio, AR) มากกว่า 2 จะมีการเคลื่อนที่ภายในถังแตกต่างจากกรณีแคปซูลกลมค่อนข้างมาก ทำให้เมื่อใช้โมเดลของแคปซูลกลมในการทำนายการเคลื่อนที่และบริเวณที่หยุดนิ่งไม่แม่นยำ ในกรณีแคปซูลกลมจะพบว่ามีความเร็วในแนวแกนสูงกว่ากรณีอื่น Hou and Zhao (2020) ได้ศึกษาโดยการจำลองและทดลองพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของวัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันภายใต้เงื่อนไขความเร็วรอบและอัตราส่วนปริมาตรต่างๆ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการแยกตัวจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วถึงสูงกว่า



รูปที่ 1 รายละเอียดชุดทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนของถังแก้วแบบหมุน (ก) การเตรียมชุดทดลอง (ข) ผังการต่ออุปกรณ์ของชุดทดลอง



รูปที่ 2 รายละเอียดหัวเผาแบบกลมและแบบท่อ

ความเร็ววิกฤต และระดับการแยกตัวของวัสดุจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบ ในขณะที่อัตราส่วนปริมาตรจะมีอิทธิพลต่อการแยกตัวแตกต่างกันโดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่ภายในถัง Liao *et al.*, (2020) ได้ทำการศึกษาผลจากปัจจัยการทดลองผสมผงแป้งและปัจจัยความเร็วในการหมุนของถังต่อคุณสมบัติทางพลศาสตร์และคุณสมบัติการแยกตัวภายในถังโดยใช้วิธีการทดลองด้วยวิธีการตรวจจับอนุภาคโดยใช้กล้องร่วมกับวิธีประมวลผลเพื่อหาความเร็ว อุณหภูมิและการแยกตัวของเม็ดวัสดุทดลอง จากผลทดลองพบว่า การเพิ่มผงแป้งเพียงเล็กน้อยสามารถส่งผลต่อคุณสมบัติทางพลศาสตร์และคุณสมบัติการแยกตัวภายในถังอย่างชัดเจน โดยคุณสมบัติดังกล่าวนี้จะยิ่งเพิ่มขึ้นหากเพิ่มปริมาณผงแป้งเนื่องจากส่งผลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุทดลอง

4. วิธีดำเนินการวิจัย

กิจกรรมการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้ 1. ศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างหัวเผากับถังหมุนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน 2. เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนของถังหมุนที่ให้ความร้อนด้วยหัวเผาแบบกลมกับแบบท่อ และ 3. ศึกษาพฤติกรรมการลดลงของความชื้นมะพร้าวที่แก้วโดยใช้เครื่องแก้วแบบถังหมุน รายละเอียดการศึกษาดังแสดงต่อไปนี้

4.1 ชุดทดลอง

รายละเอียดและส่วนประกอบสำคัญของชุดทดลองเครื่องกั้วมะพร้าวแบบถังหมุนสำหรับการศึกษาที่แสดงในรูปที่ 1(ก) ซึ่งอ้างอิงมิติจากถังหมุนของวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่ เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนที่เป็นทรงกระบอกของถังหมุนมีขนาด 50 cm ด้านหน้าที่เป็นส่วนกรวยยาว 30 cm ปากถังมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm และมีฝาปิด ตำแหน่งกึ่งกลางของฝาปิดจะเจาะ 15 cm (ไม่ได้แสดงในรูป) สำหรับระบายความชื้นและเก็บตัวอย่างมะพร้าวในระหว่างทดลอง ด้านท้ายของถังจะเชื่อมกับเพลาคู่กับเกียร์ทดรอบ ใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าเป็นต้นกำลังขับเคลื่อน ระยะแฉกของถังขณะหมุนเท่ากับ ± 1 cm ความเร็วรอบของถังหมุนสามารถควบคุมได้โดยใช้อินเวอร์เตอร์ ความเร็วรอบที่ทำการทดลองเท่ากับ 10, 20 (เท่ากับความเร็วรอบของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนน้ำร่อง) และ 30 rpm ระยะห่างระหว่างหัวเผาถังกับถังหมุนเท่ากับ 4, 6, 8, และ 10 cm

4.2 หัวเผา

รายละเอียดหัวเผาสำหรับให้ความร้อนแก่ถังหมุนมี 2 ชนิดดังแสดงในรูปที่ 1(ข) หัวเผาแบบกลมเป็นหัวเผาที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและกลุ่มวิสาหกิจนิยมใช้สำหรับให้ความร้อนแก่ถัง ส่วนอีกแบบเป็นหัวเผาแบบท่อ หัวเผาแบบกลมเป็นรุ่น C30 มีช่องรูให้แก๊สออกทั้งหมด 141 รู มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm มีพื้นที่รูจ่ายแก๊สรวม 443 mm^2 ระยะห่างแต่ละรูตามแนวเส้นรอบวง 13 mm ช่องอากาศที่ตำแหน่งวาล์วปรับอัตราการไหลจะถูกปิด สำหรับหัวเผาแบบกลมมีความยาวส่วนที่เป็นรูแก๊สเท่ากับ 380 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 25 mm รูแก๊สมีจำนวน 2 แถว ทั้งหมด 68 รู มีพื้นที่รูจ่ายแก๊สรวม 480.7 mm^2 แต่ละแถวห่างกัน 15 mm ตามแนวผิวท่อ ด้านนอก แต่ละรูห่างกัน 10 mm เส้นผ่านศูนย์กลางรูแก๊ส 3 mm ช่องอากาศที่ตำแหน่งวาล์วปรับอัตราการไหลจะถูกปิดเช่นกัน การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของถังหมักกำหนดอัตราการไหลของแก๊สของหัวเผาแบบกลมและแบบท่อเท่ากับ 0.01 kg/min สำหรับการศึกษาพฤติกรรมการลดลงของความชื้นมะพร้าวจะกำหนดอัตราการไหลของแก๊สของหัวเผาแบบกลมเท่ากับ 0.01 kg/min และแบบท่อ 0.005 kg/min กำหนดอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 1.05 โดยคำนวณจากอัตราการไหลของอากาศกับเชื้อเพลิง

4.3 การวัดอุณหภูมิ

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของถังหมักจะใช้วิธีวัดอุณหภูมิน้ำมันมวล 2 kg ภายในถัง ด้วยหัววัดอุณหภูมิ type K ที่ผ่านการสอบเทียบกับปรอทมาตรฐาน ASTM 10 C-86 โดยการวัดอุณหภูมิน้ำมันในบีกเกอร์ ในช่วงที่อุณหภูมิลดลงจาก 230°C ถึง 30°C และบันทึกค่าทุกๆ 4°C ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของหัววัดจากการสอบเทียบเท่ากับ -2.6°C ค่านี้จะนำไปชดเชยกับค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากการทดลอง การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่แช่อยู่ในน้ำมันจะห่างจากผิวถังด้านล่าง 2 cm การทดลองเริ่มต้นที่อุณหภูมิน้ำมัน 35°C เมื่อเริ่มจุดหัวเผาให้ความร้อนจะเริ่มจับเวลา ถึงเริ่มหมุนและข้อมูลอุณหภูมิจะเริ่มบันทึกด้วยคอมพิวเตอร์ทุกๆ 1 s เมื่ออุณหภูมิน้ำมันเท่ากับ 220°C ซึ่งเริ่มระเหยหรือเกิดควันหรืออุณหภูมิเริ่มคงที่ก็จะหยุดทดลอง มวลของน้ำมันจะถูกชั่งอีกครั้งหลังจากการทดลองในแต่ละครั้งเพื่อเติมชดเชยปริมาณที่ระเหยไป มวลน้ำมันที่ชดเชยแต่ละครั้งไม่เกิน 5 กรัม ดังนั้นความร้อนทั้งหมดที่น้ำมันได้รับถือว่าใช้สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิเท่านั้นและอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสามารถนำมาประเมินการถ่ายเทความร้อนในแต่ละกรณี

ถึงแม้ว่าวิธีการประเมินอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันเพื่อประเมินการถ่ายเทความร้อนของถังจะเกิดขึ้นภายใต้ความดันป่วนของน้ำมันที่อยู่ในถังที่ต่างกัน เนื่องจากการกระเพื่อมของน้ำมันรุนแรงขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบ แต่จากผลการวัดอุณหภูมิในกรณีที่เปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อถัดไปนั้นพบว่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเร็วรอบนั้นส่งผลต่อการคายความร้อนของน้ำมัน

ให้กับอากาศภายในถึงอย่างไม่มีนัยสำคัญต่อการลดลงของอุณหภูมิ สาเหตุเนื่องจากอุณหภูมิของอากาศภายในถึงขณะทดลองนั้นใกล้เคียงกับอุณหภูมิน้ำมัน และความปั่นป่วนที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวถึงด้านในกับน้ำมันเพิ่มขึ้น เพราะข้อจำกัดของการพาความร้อนอยู่ที่เปลวไฟกับผิวถึงด้านนอก ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันเพื่อประเมินการถ่ายเทความร้อนในกรณีที่ความเร็วรอบต่างกันนั้นสามารถยอมรับได้

4.4 การวิเคราะห์ความชื้น

การทดลองแต่ละครั้งเพื่อศึกษาคุณลักษณะการแห้งจะใช้มะพร้าวหูดฝอยเท่ากับ 20 กิโลกรัม ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ $102 \pm 12\%$ db (Wasan *et al.*, 2020) ตัวอย่างมะพร้าวในระหว่างการทดลองจะเก็บทุกๆ 30 นาทีเพื่อคำนวณความชื้นที่เหลือ โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนและหลังจากการอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และแทนค่าในสมการที่ (1) รายละเอียดการวัดและเครื่องมือสามารถดูเพิ่มได้จาก อารักษ์ คงเพชร และคณะ (2564)

$$M_t (\%wb) = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1} \right) \times 100 \% \quad (1)$$

โดย W_1 คือ น้ำหนักก่อนอบแห้ง (g) และ W_2 คือ น้ำหนักหลังอบแห้ง (g) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตัวแปรที่ใช้แสดงผลเพื่อแสดงถึงค่าความชื้นที่เหลืออยู่ในขณะที่เก็บตัวอย่างเทียบกับความชื้นตอนเริ่มต้น คือค่าอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 โดยที่ 0 หมายถึงมะพร้าวหั่วไม่มี ความชื้นเหลืออยู่ และ 1 คือความชื้นมะพร้าวตอนเริ่มต้นค่า ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการที่ (2)

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} \quad (2)$$

โดย M_0 และ M_t คือความชื้นตั้งต้นของมะพร้าวและความชื้น ณ เวลาเก็บตัวอย่าง (%db) ตามลำดับ สำหรับค่า M_{eq} ในการศึกษาที่กำหนดเท่ากับศูนย์ ซึ่งเป็นความชื้นสมดุลและมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความชื้นตั้งต้นหรือความชื้นตามระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง

4.5 ค่าความไม่แน่นอน

ค่าความไม่แน่นอนของผลทดลองสำหรับกรณีอัตราส่วนความชื้นเกิดขึ้นจากเครื่องมือชั่งน้ำหนัก ตัวอย่างก่อนและหลังจากการอบแห้งกับการจับเวลาเพื่อเก็บตัวอย่าง ถึงแม้ว่าตัวอย่างที่เก็บมาอบแห้งมีน้ำหนักน้อย ก่อนอบประมาณ 20 กรัม และน้ำหนักหลังอบที่น้อยที่สุดประมาณ 8 กรัม ซึ่งเป็นตัวอย่างของมะพร้าวก่อนการหั่ว แต่การทดลองนี้ใช้เครื่องชั่งดิจิตอลมีความละเอียดสูง ± 0.01 กรัม ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนของค่า MR จึงมีค่าน้อยกว่า ± 1 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของค่าความไม่แน่นอนจากการจับเวลานั้นถือว่าน้อยมากเนื่องจากอัตราการลดลงของความชื้นเป็นไปอย่างช้าๆ และการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งใช้เวลาจนถึง 30 นาที ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนในส่วนนี้จึงไม่พิจารณาถึง สำหรับค่าความไม่แน่นอนของปริมาณแก๊สแอลพีจีที่ใช้แต่ละการทดลองนั้นเกิดขึ้นจากเครื่องชั่งน้ำหนักเช่นเดียวกัน น้ำหนักของแก๊สที่ใช้ได้จากผลต่างของน้ำหนักถังแก๊สก่อนและหลังการทดลอง กรณีที่ถังมีน้ำหนักน้อยที่สุดประมาณ 20 kg น้ำหนักแก๊สที่ลดลงประมาณ 1.5 kg เครื่องชั่งที่ใช้เป็นแบบดิจิตอลละเอียด ± 0.01 kg ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนของปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้มีค่าน้อยกว่า ± 2 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

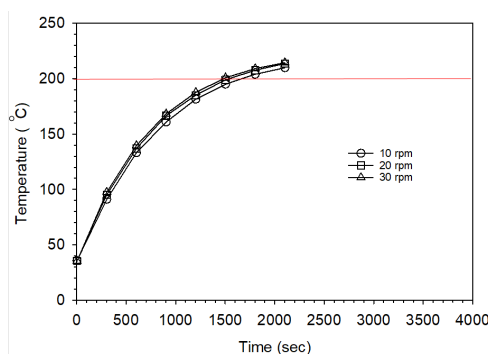
5. ผลและการวิจารณ์ผล

ประเด็นที่ศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้คือ 1. ศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบกับระยะห่างของหัวเผากับถังหมุนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของหัวเผาแบบกลมกับแบบท่อ และ 2. การทดลองหัวมะพร้าวเพื่อศึกษาพฤติกรรมการลดความชื้นของมะพร้าวชุดฝอยในระหว่างการคั่ว ดังนั้นผลและการวิจารณ์ผลจึงแบ่งออกตามประเด็นที่ศึกษา

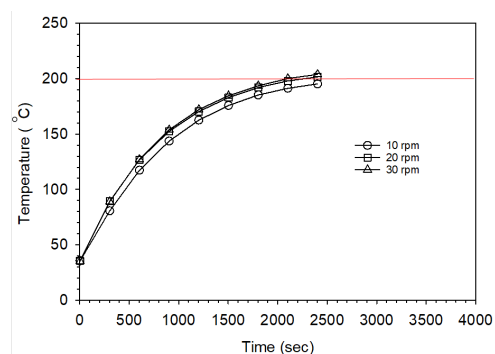
5.1 อิทธิพลของความเร็วรอบกับระยะห่างของหัวเผากับถังหมุน

รูปที่ 4 (ก) (ข) และ (ค) แสดงผลการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันที่ความเร็วรอบ 10 20 และ 30 rpm ตามลำดับโดยที่ระยะห่างของหัวเผากับถังหมุนเท่ากับ 4 cm 6 cm 8 cm และ 10 cm

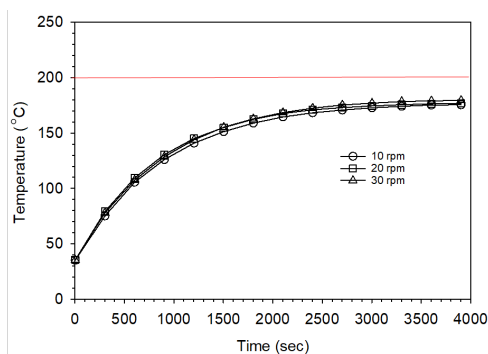
การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในกรณีระยะห่างน้อยที่สุดเท่ากับ 4 cm ดังแสดงในรูปที่ 4(ก) นั้นพบว่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเร็วรอบไม่ส่งผลต่อการเย็นตัวของน้ำมันมากนักจากการถ่ายเทความร้อนของน้ำมันให้กับอากาศภายในถังที่มีความปั่นป่วนมากขึ้นเพราะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมา เมื่อเพิ่มระยะห่างของถังจากหัวเผามากขึ้นเป็น 6 และ 8 cm ดังแสดงในรูปที่ 4(ข) และ 4(ค) ก็ยังคงพบว่าความเร็วรอบนั้นยังคงไม่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ แต่ประเด็นที่สังเกตพบคืออุณหภูมิน้ำมันมีแนวโน้มจะคงที่ที่ระดับอุณหภูมิต่ำลง สาเหตุเนื่องมาจากปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทนั้นลดลง อิทธิพลของความเร็วรอบจะสังเกตเห็นได้ชัดที่ระยะห่างเท่ากับ 10 cm ดังแสดงในรูปที่ 4(ง) กรณีที่การถ่ายเทความร้อนน้อยที่สุดกลับพบว่าเกิดขึ้นที่ความเร็วรอบถึงต่ำสุดเท่ากับ 10 rpm จากผลดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่าพลศาสตร์การถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟจะสูงขึ้นจากการเพิ่มความเร็วรอบในกรณีที่ระยะห่างของหัวเผากับถังหมุนเพิ่มขึ้น



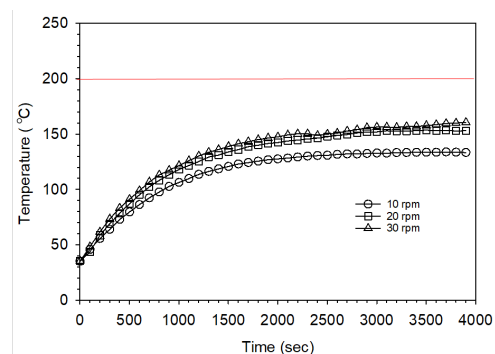
(ก)



(ข)

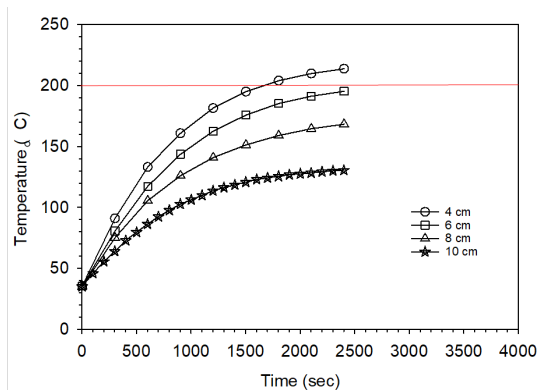


(ค)

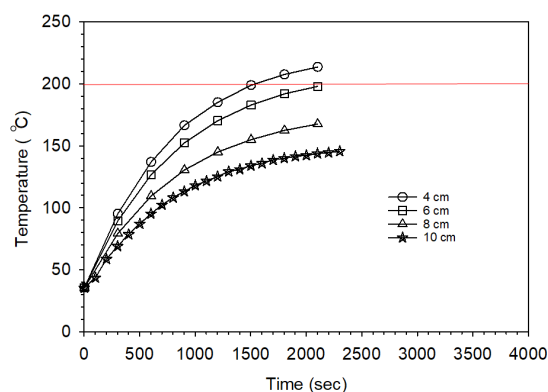


(ง)

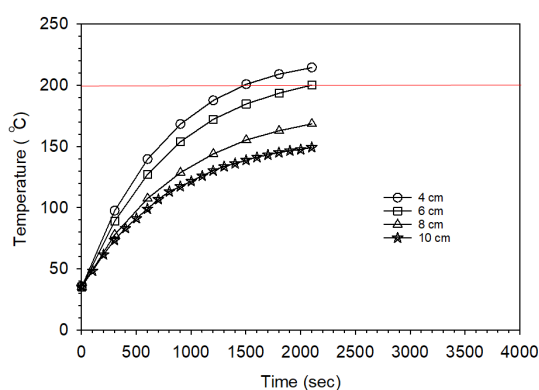
รูปที่ 4 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันที่ระยะห่างของหัวเผากับถังหมุน (ก) 4 (ข) 6 (ค) 8 และ (ง) 10 cm



(ก)



(ข)



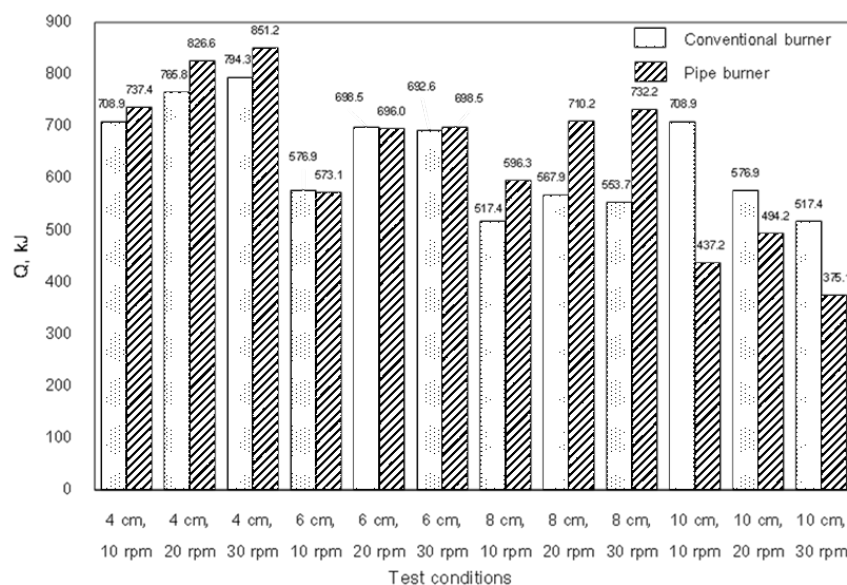
(ค)

รูปที่ 5 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันที่ความเร็วรอบ (ก) 10 rpm (ข) 20 rpm และ (ค) 30 rpm

เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันที่ความเร็วรอบ 10 rpm ดังแสดงในรูปที่ 5(ก) พบว่าลักษณะของแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันเหมือนกัน แต่ในกรณีที่ระยะห่างของหัวเผากับถังหมวนน้อยกว่าจะมีอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิสูงกว่าสูงกว่าในช่วงเริ่มต้น แต่เมื่อการทดลองผ่านไปประมาณ 2,000 s ความชันของเส้นอุณหภูมิจะมีค่าใกล้เคียงกัน ส่งผลให้น้ำมันเข้าสู่สภาวะสมดุลความร้อนที่ระดับอุณหภูมิคงที่ ที่ลดหลั่นตามระยะห่างของหัวเผากับถังหมวน

รูปที่ 5(ข) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันที่ความเร็วรอบ 20 rpm ซึ่งพบว่าใกล้เคียงกับกรณี 10 rpm จุดสังเกตที่ยังสามารถเห็นความแตกต่างจะเป็นความชันของเส้นอุณหภูมิในช่วงเริ่มต้นที่สูงกว่าเล็กน้อย ผลดังกล่าวนี้ทำให้กรณีที่ความเร็วรอบมากขึ้นมีอุณหภูมิน้ำมันสูงกว่า

รูปที่ 5(ค) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันที่ความเร็วรอบ 30 rpm ซึ่งพบว่าใกล้เคียงกับกรณี 10 และ 20 rpm เช่นกัน จากรายละเอียดจะสังเกตได้ว่าที่ระยะห่าง 8 และ 10 cm นั้นจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณี 4 และ 6 cm อย่างชัดเจน ลักษณะดังกล่าวนี้อาจกล่าวได้ว่าความเร็วรอบที่สูงขึ้นจะส่งผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนในกรณีที่ระยะห่างของหัวเผากับถังหมวนมาก



รูปที่ 6 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทในช่วง 5 นาทีแรกของการทดลอง

จากรูปที่ 6 แสดงปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับถังหมุนในช่วง 5 นาทีแรกของการทดลอง ที่เงื่อนไขระยะห่างระหว่างหัวเผากับถังหมุน 4 cm ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่มีถ่ายเทความร้อนสูงสุด ส่วนความเร็วรอบถังหมุนที่ 30 rpm เป็นเงื่อนไขที่มีถ่ายเทความร้อนสูงสุด ในขณะที่การถ่ายเทความร้อนกรณี 20 rpm ซึ่งเป็นความเร็วรอบเท่ากับเครื่องคั่วของวิสาหกิจชุมชนมีค่าสูงสุดรองลงมา (ลดลงเพียง 2.9 เปอร์เซ็นต์จากค่าสูงสุด) ดังนั้นผลการศึกษาการคั่วมะพร้าวจะมุ่งเน้นนำเสนอที่เงื่อนไขระยะห่างระหว่างหัวเผากับถังหมุนที่ 4 cm เพื่อให้วิสาหกิจชุมชนสามารถนำไปประยุกต์ใช้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องคั่วที่ใช้งานอยู่

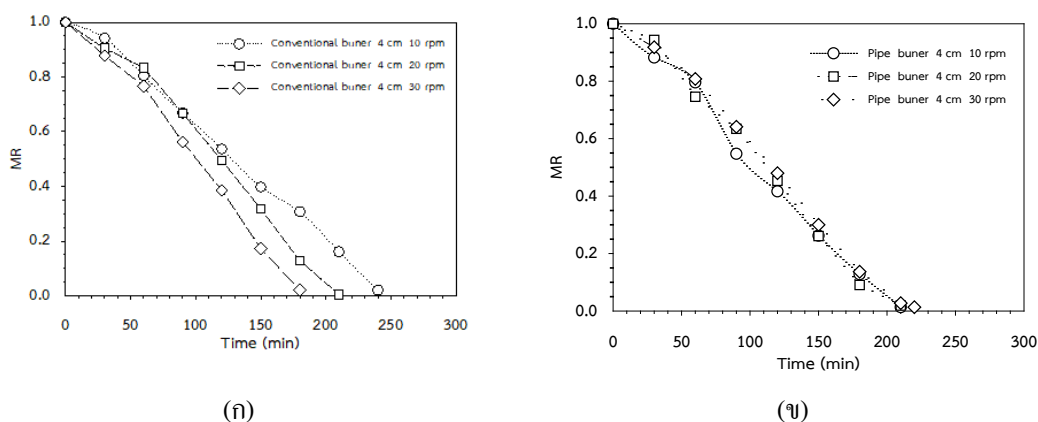
5.2 การทดลองคั่วมะพร้าว

รูปที่ 7 (ก) แสดงคุณลักษณะการแห้งของมะพร้าวคั่วที่ใช้หัวเผาแบบกลม ด้วยตัวแปร MR ที่เงื่อนไขระยะ 4 cm ที่ความเร็วรอบ 10, 20 และ 30 rpm อัตราการไหลของแก๊สแอฟีจีเท่ากับ 0.01 kg/min ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบ ระยะเวลาในการคั่วจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการถ่ายเทความร้อนที่อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ในประเด็นนี้อาจอธิบายได้ว่าการเพิ่มความเร็วรอบทำให้การเคลื่อนที่ของมะพร้าวในถังหมุนปั่นป่วนมากขึ้น มะพร้าวที่อยู่ด้านข้างมีโอกาสเคลื่อนที่มาสัมผัสกับความร้อนบริเวณตรงกลางที่เป็นตำแหน่งของหัวเผาได้มากขึ้น ในทางกลับกัน เมื่อลดความเร็วรอบลง โอกาสที่มะพร้าวที่อยู่ด้านข้างจะสัมผัสความร้อนบริเวณกึ่งกลางถึงกลางถึงจะลดลง เพราะลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุในถังหมุนที่อยู่ในแนวนอนจะเคลื่อนที่ในแนวรัศมีมากกว่าตามแนวยาว (Dubé *et al.*, 2013)

รูปที่ 7 (ข) แสดงคุณลักษณะการแห้งของมะพร้าวคั่วของหัวเผาแบบท่อ ด้วยตัวแปร MR ที่เงื่อนไขระยะ 4 cm ที่ความเร็วรอบ 10, 20 และ 30 rpm อัตราการไหลของแก๊สแอฟีจีเท่ากับ 0.005 kg/min ผลการทดลองพบว่าทุกความเร็วรอบใช้เวลาในการคั่วเท่ากัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนตามแนวยาวที่มะพร้าวทุกตำแหน่งในถังสามารถรับความร้อนได้ จะใช้เวลาในการคั่วได้ไม่ต่างจากหัวเผาแบบกลมในขณะที่ใช้เชื้อเพลิงเพียงครั้งเดียว ดังนั้นวิสาหกิจชุมชนจะสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงได้ครึ่งหนึ่งถ้าทดแทนหัวเผาแบบกลมด้วยหัวเผาแบบท่อโดยไม่ต้องปรับความเร็วรอบของถังหมุน

5.3 ลักษณะทางกายภาพของมะพร้าวคั่ว

รูปที่ 9 เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ของมะพร้าวคั่วระหว่างหัวเผาแบบกลมและหัวเผาแบบท่อกับผลิตภัณฑ์มะพร้าวคั่วที่จำหน่ายในพื้นที่ ผลการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเนื้อมะพร้าวและสีที่ได้จากการคั่วโดย



รูปที่ 7 คุณลักษณะการแห้งของมะพร้าวคั่ว (ก) หัวเผาแบบกลม (ข) หัวเผาแบบท่อ



มะพร้าวคั่วจากตลาดสดเทศบาลเมืองจังหวัด
นราธิวาส



หัวเผาแบบกลม
ระยะ 4 cm ความเร็ว 20 rpm



หัวเผาแบบท่อ
ระยะ 4 cm ความเร็ว 20 rpm

รูปที่ 9 เปรียบเทียบมะพร้าวคั่วระหว่างหัวเผาแบบกลมและหัวเผาแบบท่อกับผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในพื้นที่

ใช้เครื่องคั่วแบบถ้งหมุนในห้องปฏิบัติการไม่พบว่าความแตกต่างที่อาจส่งผลต่อการตัดสินใจของผู้บริโภค หรือกล่าวอีกนัยว่ารูปแบบการให้ความร้อนแก่ถ้งหมุนนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพของมะพร้าวคั่วอย่างมีนัยสำคัญ

6. สรุป

จากการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและระยะห่างของถ้งหมุนกับหัวเผาที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของถ้งคั่วมะพร้าวด้วยวิธีการวัดการเพิ่มของอุณหภูมิน้ำมันปาล์มภายในถ้งหมุนนั้น และการทดลองคั่วมะพร้าวด้วยเครื่องคั่วแบบถ้งหมุน สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1. ระยะระหว่างหัวเผากับถ้งหมุนเป็นตัวแปรสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนทั้งหัวเผาแบบกลมและแบบท่อ การลดระยะห่างจะช่วยให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มความเร็วรอบจะช่วยให้การถ่ายเทความร้อนเฉพาะในกรณีที่มีระยะห่างน้อยที่สุด

2. หัวเผาแบบท่อสามารถให้ความร้อนแก่ถ้งหมุนได้สูงกว่าหัวเผาแบบกลม ดังนั้นหากวิสาหกิจชุมชนใช้หัวเผาแบบท่อทดแทนหัวเผาแบบกลมจะช่วยให้สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงได้

3. วิสาหกิจชุมชนสามารถลดการใช้แก๊สแอลพีจีได้สูงสุด 50 % เมื่อใช้หัวเผาแบบท่อทดแทนหัวเผาแบบกลมที่ใช้อยู่ และ ไม่ต้องปรับความเร็วปรับของถังหมวน โดยให้วางหัวเผ่าห่างจากถังหมวน 4 cm

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) กลุ่มวิสาหกิจชุมชนสามารถลดปริมาณเชื้อเพลิงแอลพีจีอย่างน้อยครึ่งหนึ่งในการต้มมะพร้าว โดยการเปลี่ยนมาใช้หัวเผาแบบท่อทดแทนหัวเผาแบบกลมที่ใช้อยู่ (ข้อจำกัดคือ มิติของถังหมวนต้องเหมือนกัน)

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ศึกษาวิธีลดความชื้นมะพร้าวก่อนนำมาคั่วที่มีศักยภาพและไม่กระทบต่อต้นทุนการผลิต เพื่อลดระยะเวลาและการใช้เชื้อเพลิงแอลพีจี

(2) ผลจากการนำไปใช้งานจริงของวิสาหกิจชุมชน

8. เอกสารอ้างอิง

อารักษ์ คงเพชร, รอชัย หลีอาดัม, พรศักดิ์ อูมา และนิโอะ ปุชู (2564). อิทธิพลของความเร็วรอบและระยะห่างของเตาต่อการถ่ายเทความร้อนของถังต้มมะพร้าว. *การประชุมวิชาการ “การถ่ายทอดผลงานความรู้และมรดก ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 20), วันที่ 18-19 มีนาคม 2564 ณ โรงแรม บีพี สมิทลา บีช รีสอร์ท จังหวัดสงขลา, 223-229*

Anyarat, W., Krongtip, C., &Supawadee, M. (2018). Cultivators Participation Process in Cost Reduction of Rice Production: A Case Study of Hindad Sub-District, Huay-Talang District, Nakhon Ratchasima Province. *Journal of Community Development Research (Humanities and Social Sciences)*, 11(2), 81-89 (in Thai)

Dubé, O., Alizadeh, E., Chaouki, J. and Bertrand, F. (2013), Dynamics of non-spherical particles in a rotating drum, *Chemical Engineering Science*, 101, 486–502

Hou, Z. and Zhao, Y. (2020), Numerical and experimental study of radial segregation of bi-disperse particles in a quasi-two-dimensional horizontal rotating drum, *Particuology*, 51, pp. 109-119

Liao, C-C., Ou, S-F., Chen, S-L. and Chen, Y-R. (2020), Influences of fine powder on dynamic properties and density segregation in a rotating drum, *Advanced Powder Technology*, 31(4), 1702-1707

Petpradub, N. (2018). Profitability Analysis of Coconut Products to Invest in Product development A Case Study of Arman Community Enterprise, A Processed Coconut Entrepreneur Group in Khok Kian Sub-District, Narathiwat Province. *Princess of Naradhiwas University Journal of Humanities and Social Science*, 5(2), pp. 87-95. (in Thai)

Phosee, N., Khongbutr P, Uttamating K., & Assawarachan, R. (2013). Effect of temperature on moisture ratio and color changes of mint leaves during hot air drying process, *RMUTSB Academic Journal*, 1(2), 103-114. (in Thai)

Wasan, P., Ni-oh, P. and Isara, C. (2020). Development of Drying Process Combining Hot Air with Drying Cyclone for High Moisture Content Materials, *International Journal of Science and Innovative Technology*, 3(2), pp. 51-58.

Xu, D., Yang, F., Jin, H., Curtis., S. J. and Guo, Yu. (2020). An investigation of heat transfer of flexible fibers in a rotating drum dryer using the Discrete Element Method, *Powder Technology*, 364, 494-506.

การทดสอบใช้ค็อพสำหรับการปรับแต่งระบบรองรับน้ำหนัก

A TESTING OF SHOCK ABSORBER FOR ADAPTING SUSPENSION SYSTEM

อดุลย์ พัฒนภักดี

หลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: adual.pa@spu.ac.th

พันธกานต์ รัมปาน

หลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: pantakan.ram@spumail.net

เผชิญ จันทรสา

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: pachern.ja@spu.ac.th

บทคัดย่อ

โช้คอัพ (Shock Absorber) เป็นอุปกรณ์ทางกลที่ได้รับการออกแบบเพื่อช่วยในการรองรับแรงกระแทก ลดแรงสั่นสะเทือนของรถ โดยการกระจายพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้น และทำหน้าที่หน่วงการเคลื่อนที่ขึ้นลงของรถยนต์อันเนื่องมาจากสภาพพื้นผิวของถนนตลอดเวลาขณะขับขี่ ลดการโคลงตัวของรถ ทำให้รถทรงตัวได้ดี เกิดความนุ่มนวลในการขับขี่ การศึกษาในครั้งนี้จะเป็นการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติที่สำคัญของโช้คอัพ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การหน่วง (Damping Coefficient) ของโช้คอัพสามรูปแบบ ประกอบด้วย โช้คอัพมาตรฐานที่ติดตั้งมากับรถยนต์ฮอนด้า ซิตี้ โช้คอัพดัดแปลงรุ่น GAB He และ โช้คอัพดัดแปลงรุ่น H.Drive S spec ผลการทดสอบโช้คอัพโดยใช้เครื่องทดสอบ Shock Dynos Test พบว่า สำหรับโช้คอัพมาตรฐานค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงแรงอัดด้านบวกมีค่าเฉลี่ยเป็น 4.226 kg.s/in และค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงแรงหน่วงด้านลบมีค่าเฉลี่ยเป็น 4.636 kg.s/in สำหรับโช้คอัพดัดแปลงรุ่น GAB He ค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงแรงอัดด้านบวกมีค่าเฉลี่ยเป็น 5.023(kg.s/in) และค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงแรงหน่วงด้านลบมีค่าเฉลี่ยเป็น 8.659 kg.s/in และสำหรับโช้คอัพดัดแปลงรุ่น H.Drive S spec ค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงแรงอัดด้านบวกมีค่าเฉลี่ยเป็น 6.489 kg.s/in และค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงแรงหน่วงด้านลบมีค่าเฉลี่ยเป็น 10.149 kg.s/in

คำสำคัญ: โช้คอัพ ค่าสัมประสิทธิ์การหน่วง ระบบรองรับน้ำหนัก ความนุ่มนวลในการขับขี่

ABSTRACT

Shock absorber is a mechanical device designed to smooth out or damp shock impulse, and dissipate kinetic energy. It reduces the effect of traveling over rough ground, leading to improved ride comfort ability. In this study, the most important characteristics of shock absorber, the damping coefficient, is investigated. The three type of shock absorber (Standard Honda City shock absorber, GAB He shock absorber, H.Drive Spec

shock absorber) were tested by Shock Dynos Testing machine. The testing result are as list. For the standard Honda City shock absorber, the average damping coefficient is 4.226 kg.s/in with a compression force and the average damping coefficient is 4.636 kg.s/in with a rebound force. And also, For the GAB He shock absorber, the average damping coefficient is 5.023 kg.s/in with a compression force and the average damping coefficient is 8.659 kg.s/in with a rebound force. Finally, the average damping coefficient is 6.489 kg.s/in with a compression force and the average damping coefficient is 10.149 kg.s/in with a rebound force for H.Drive S spec shock absorber.

Keywords: Shock-Absorber Damping-Coefficient Suspension System Ride Comfort Ability

1. บทนำ

ระบบรองรับน้ำหนัก (Suspension System) ของรถยนต์นั้นมีหลายหลายองค์ประกอบที่ทำงานร่วมกัน แต่ชิ้นส่วนสำคัญที่สุดนั้นจะประกอบไปด้วยโช้คอัพ (Shock-absorber) และสปริงหรืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แทนสปริง โดยอุปกรณ์ทั้งสองชิ้นจะทำหน้าที่รับแรงกระแทกและหน่วงการสั่นสะเทือนให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดเพื่อให้เกิดความเสถียรและความนุ่มนวลในการขับขี่ โดยทั่วไปบริษัทผู้ผลิตรถยนต์จะติดตั้งระบบรองรับน้ำหนักมาตรฐานมากับรถยนต์แต่ละรูปแบบที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานรถยนต์แต่ละประเภท แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการดัดแปลงรถ หรือจำเป็นต้องเปลี่ยนระบบรองรับน้ำหนัก การเลือกติดตั้งโช้คอัพที่เหมาะสมกับสภาพการขับขี่ก็จะเป็นสิ่งจำเป็นที่ผู้ขับขี่รถยนต์ต้องคำนึงถึง ในปัจจุบัน โช้คอัพดัดแปลงนั้นมีหลากหลายรูปแบบ หลากหลายราคา ซึ่งทำให้ผู้ขับขี่รถยนต์มีตัวเลือกในการเปลี่ยนโช้คอัพให้เหมาะสมกับรถยนต์ รูปแบบการขับขี่และสภาพการใช้รถของตนเอง ทั้งนี้คุณสมบัติที่สำคัญของโช้คอัพที่ส่งผลต่อการลดการสั่นสะเทือนและเพิ่มความนุ่มนวลในการขับขี่คือค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงของโช้คอัพรถยนต์ จึงเป็นที่มาของการศึกษาครั้งนี้เพื่อทำการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงของโช้คอัพรถยนต์เพื่อเป็นข้อมูลประกอบสำหรับผู้ใช้ในการเลือกติดตั้งระบบรองรับน้ำหนักรถยนต์

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงของโช้คอัพรถยนต์สำหรับระบบรองรับน้ำหนักของรถยนต์นั่งขนาดเล็ก

2.2 เพื่อจำลองผลตอบสนองการสั่นสะเทือนของระบบรองรับน้ำหนักของรถยนต์ สำหรับรถยนต์นั่งขนาดเล็ก

3. วิธีการศึกษาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 โช้คอัพ (Shock Absorber)

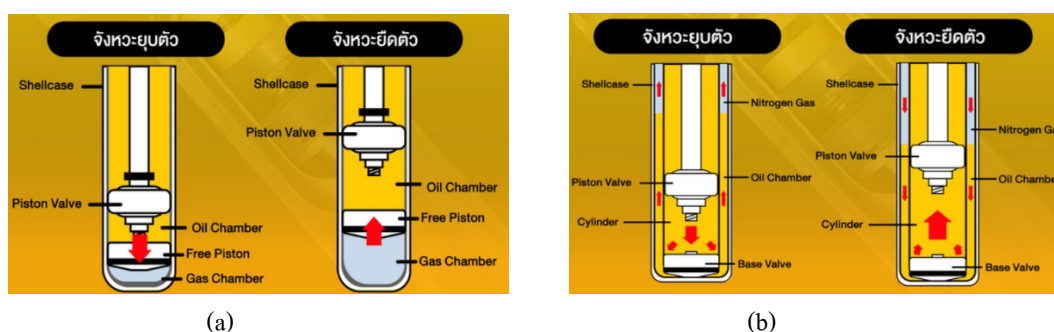
โช้คอัพ (Shock Absorber) เป็นอุปกรณ์ทางกลที่ได้รับการออกแบบเพื่อช่วยในการรองรับแรงกระแทกลดแรงสั่นสะเทือนของรถ โดยการกระจายพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้น และทำหน้าที่หน่วงการเคลื่อนที่ขึ้นลงของตัวถังรถยนต์อันเนื่องมาจากสภาพพื้นผิวของถนนตลอดเวลาขณะวิ่ง ทำให้เกิดความนุ่มนวลขณะขับขี่ และลดการโคลงของตัวรถ ทำให้รถทรงตัวได้ดี (Pinjarla Poornamohan & Lakshmana Kishore, 2018) โช้คอัพในปัจจุบัน

นั้นมีหลากหลายรูปแบบทั้งที่เป็นรูปแบบมาตรฐานติดตั้งมาพร้อมกับรถยนต์ หรือเป็น โช้คอัพดัดแปลงเพื่อความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างของโช้คอัพรถยนต์รูปแบบต่างๆ

โช้คอัพโดยทั่วไปจะแบ่งประเภทตามโครงสร้างของกระบอกสูบได้เป็น 2 แบบคือ โช้คอัพกระบอกเดี่ยว (Mono-Tube Shock Absorber) และโช้คอัพกระบอกคู่ (Twin-Tube Shock Absorber) สำหรับโช้คอัพกระบอกเดี่ยว การทำงานของน้ำมัน แก๊ส วาล์วลูกสูบ และการทำงานต่างๆ ทั้งหมดจะอยู่ในกระบอกเดี่ยว โดยห้องน้ำมันและแก๊สจะแยกกันโดยลูกสูบ ห้องที่บรรจุน้ำมันจะอยู่ด้านบน ส่วนห้องที่บรรจุแก๊สจะอยู่ด้านล่าง สำหรับโช้คอัพกระบอกคู่จะประกอบด้วยกระบอก 2 ชั้นซ้อนกัน ซึ่งห้องด้านในจะเป็นตัวลูกสูบที่มีน้ำมันบรรจุอยู่ภายใน ส่วนห้องด้านนอกจะบรรจุด้วยแก๊สในโตรเจน ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้น-ลงภายในกระบอกสูบชั้นในเท่านั้น เมื่อโช้คอัพเคลื่อนที่ขึ้นลงตามการเคลื่อนที่ของล้อลูกสูบจะดันน้ำมัน โช้คขึ้นลงมาไหลผ่านทางเบสวาล์วเข้าออกไปห้องแก๊สด้านนอก จึงเกิดเป็นความหนืดเพื่อช่วยลดแรงสั่นสะเทือนของรถยนต์ (B Quik, 2022)

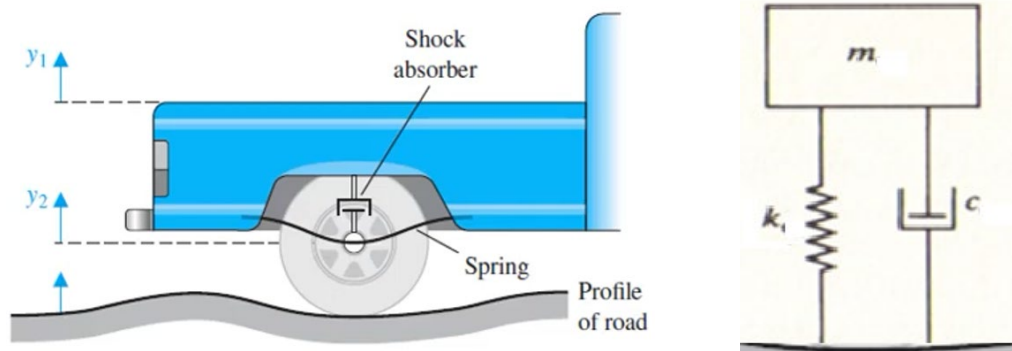


รูปที่ 2 หลักการทำงานของโช้คอัพกระบอกเดี่ยว (a) และโช้คอัพกระบอกคู่ (b)

(ที่มา <https://www.b-quik.com/th/advice/shock>)

3.2 แบบจำลองระบบรองรับน้ำหนัก

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายของระบบรองรับน้ำหนักรถยนต์แบบหนึ่งส่วนสี่ (quarter car suspension model) สามารถแทนได้ด้วยระบบมวลสปริง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 3 แบบจำลองอย่างง่ายของระบบรองรับน้ำหนักรถยนต์ (Dorf, & Bishop ,2017)

จากแบบจำลองอย่างง่ายของระบบรองรับน้ำหนักรถยนต์ตามรูปที่3. ถ้ารถยนต์มีมวล (m) ค่าคงที่ของคอยล์สปริง (k) และค่าสัมประสิทธิ์การหน่วง (c) สมการการเคลื่อนที่ที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

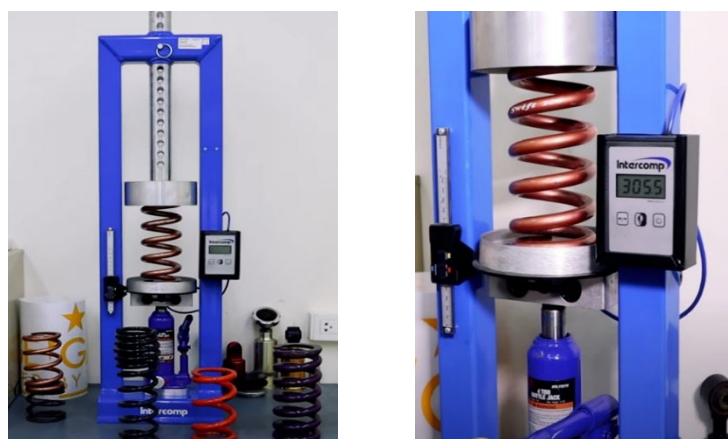
$$m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + c \frac{dy(t)}{dt} + ky(t) = u(t) \quad (1)$$

เมื่อ $u(t)$ แทนสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าระบบอันเนื่องมาจากการสภาพพื้นผิวของถนน จากสมการที่ (1) เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ได้เป็น

$$T(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{ms^2 + cs + k} \quad (2)$$

3.3 วิธีการทดสอบ

3.3.1ทดสอบหาค่าคงที่ของคอยล์สปริง โดยใช้เครื่อง Spring Tester ทั้งนี้เครื่องทดสอบจะใส่แรงอัดสปริงให้ยุบตัว โดยวัดค่าคงที่ของคอยล์สปริงในหน่วยนิวตันต่อเมตร (N/m)



รูปที่ 4 การทดสอบค่าคงที่ของคอยล์สปริง

3.3.2 ทดสอบหาค่าแรงหน่วงและค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงของโช้คอัพ โดยใช้เครื่อง Shock Dynos Test ทั้งนี้เครื่องทดสอบจะอ่านค่าแรงหน่วงในหน่วยเทียบเท่ามวล (kg) โดยที่เครื่องทดสอบสามารถปรับค่าความเร็วที่กระทำต่อโช้คอัพได้โดยอ่านค่าความเร็วในหน่วยนิ้วต่อวินาที (in/s)



รูปที่ 5 การทดสอบหาค่าแรงหน่วงและค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงของโช้คอัพ

3.3.3 จำลองการสั่นสะเทือนของระบบรองรับน้ำหนักรถยนต์โดยใช้สมการถ่ายโอนดังแสดงในสมการที่ 2 โดยใช้ข้อมูลของรถยนต์ Honda City และข้อมูลที่ได้จากข้อ 3.3.1-3.3.2

4. ผลการทดสอบและการอภิปรายผล

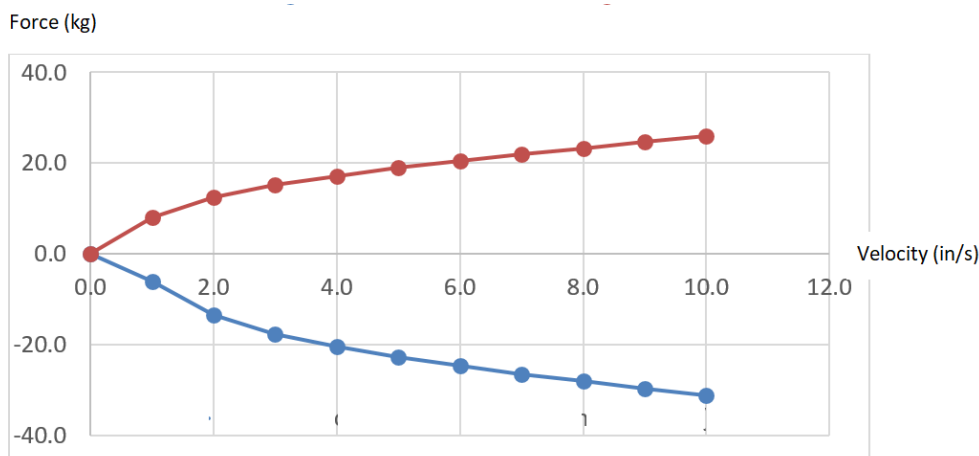
สำหรับการศึกษาในครั้งนี้จะทำการทดสอบคอยล์สปริงและโช้คอัพ 3 รูปแบบ คือ โช้คอัพมาตรฐาน (S.AB) โช้คอัพดัดแปลงรุ่น GAB He (G.AB) และโช้คอัพดัดแปลงรุ่น H.Drive S spec (H.AB)

4.1 ผลทดสอบค่าคงที่ของคอยล์สปริง

รูปแบบของโช้คอัพ	ค่าคงที่ของคอยล์สปริง (N/m)
โช้คอัพมาตรฐาน	25510
โช้คอัพดัดแปลงรุ่น GAB He	42180
โช้คอัพดัดแปลงรุ่น H.Drive S spec	34340

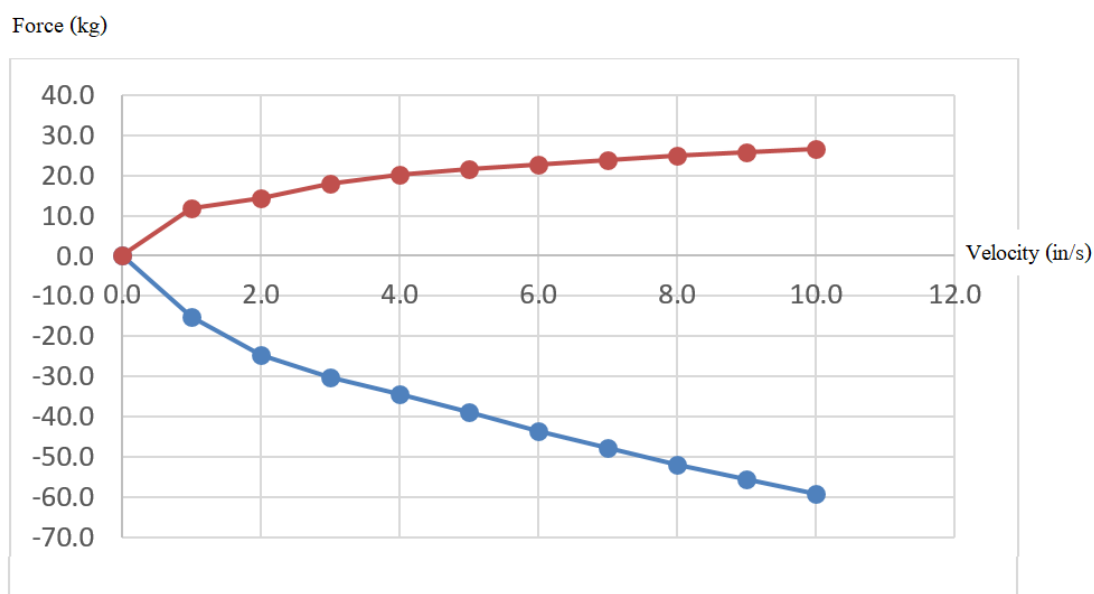
4.2 ผลทดสอบค่าแรงหน่วงของโช้คอัพ

สำหรับผลการทดสอบค่าแรงหน่วงของโช้คอัพมาตรฐาน โช้คอัพดัดแปลงรุ่น GAB He และโช้คอัพดัดแปลงรุ่น H.Drive S spec แสดงดังรูปที่ 6 - รูปที่ 8



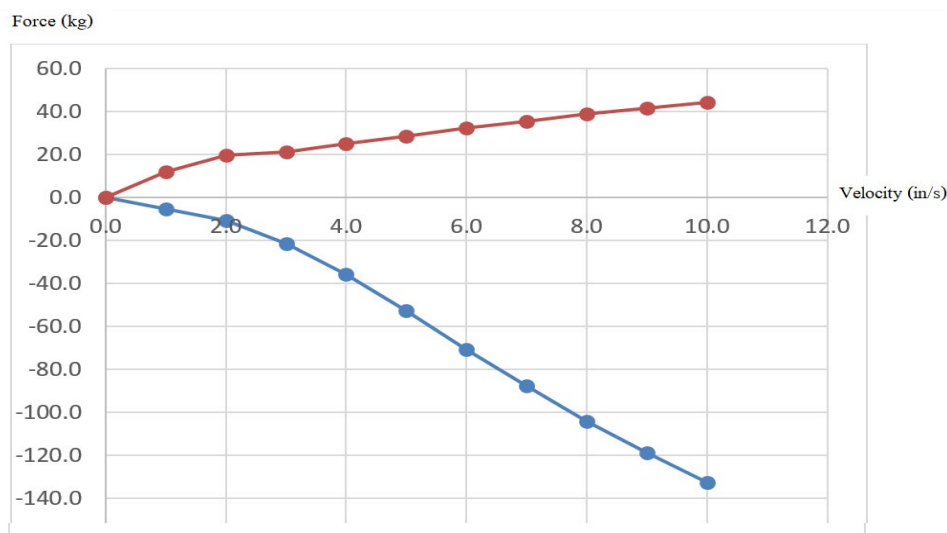
รูปที่ 6 ค่าแรงหน่วยของโฟมมาตรฐาน

พิจารณาจากรูปที่ 6 แสดงค่าแรงอัดด้านบวก (Compression Force) และค่าแรงหน่วยด้านลบ (Rebound Force) ที่กระทำต่อโฟมมาตรฐาน ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงแต่ละค่าความเร็วสามารถหาได้จากอัตราส่วนของแรงหารด้วยความเร็ว สำหรับโฟมมาตรฐานที่ทำการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงแรงอัดด้านบวกมีค่าเฉลี่ยเป็น 4.226 kg.s/in และค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงแรงหน่วยด้านลบมีค่าเฉลี่ยเป็น 4.636 kg.s/in



รูปที่ 7 ค่าแรงหน่วยของโฟมอัดดัดแปลงรุ่น GAB He

พิจารณาจากรูปที่ 7 แสดงค่าแรงอัดด้านบวก และค่าแรงหน่วยด้านลบที่กระทำต่อโฟมอัดดัดแปลงรุ่น GAB He สำหรับโฟมอัดดัดแปลงรุ่น GAB He ที่ทำการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงแรงอัดด้านบวกมีค่าเฉลี่ยเป็น 5.023 kg.s/in และค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงแรงหน่วยด้านลบมีค่าเฉลี่ยเป็น 8.659 kg.s/in

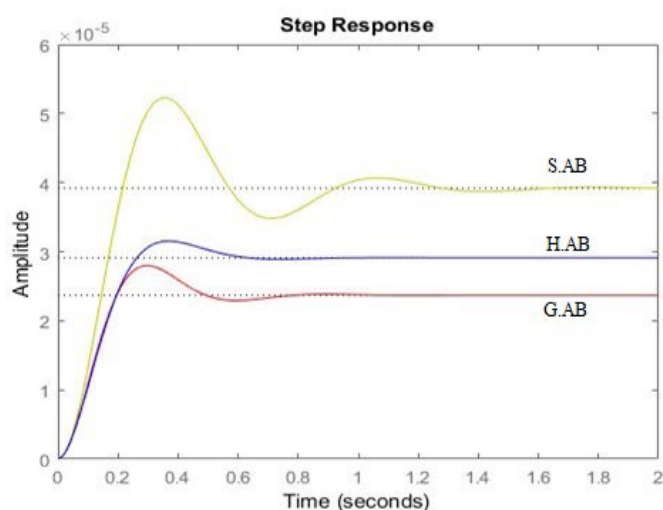


รูปที่ 8 ค่าแรงหน่วงของโช้คอัพดัดแปลงรุ่น H.Drive S spec Level 0

พิจารณาจากรูปที่ 8 แสดงค่าแรงอัดด้านบวก และค่าแรงหน่วงด้านลบที่กระทำต่อโช้คอัพดัดแปลงรุ่น H.Drive S spec Level 0 สำหรับโช้คอัพดัดแปลงรุ่น H.Drive S spec ที่ทำการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงแรงอัดด้านบวกมีค่าเฉลี่ยเป็น 6.489 kg.s/in และค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงแรงหน่วงด้านลบมีค่าเฉลี่ยเป็น 10.149 kg.s/in

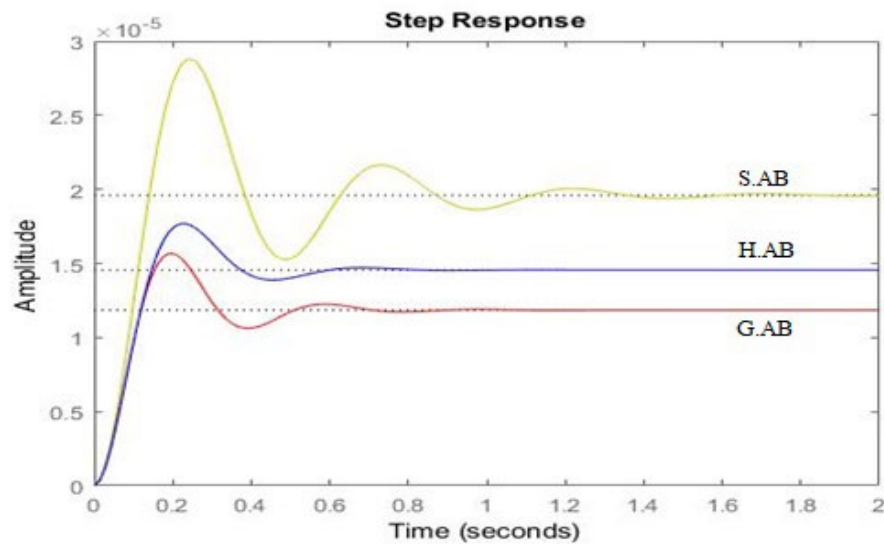
4.3 ผลการจำลองการสั่นสะเทือนโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายของระบบรองรับน้ำหนักรถยนต์ โดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนในสมการที่ (2) และมีข้อมูลในการจำลองการสั่นสะเทือนประกอบด้วย

4.3.1 มวลจำลอง 290 kg (เศษหนึ่งส่วนสี่ของมวลรถยนต์ 1100kg และมวลคนขับ 60 kg) ค่าคงที่ของสปริงมีค่าเป็น 25510N/m, 42180N/m และ 34340 N/m ค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงมีค่าเป็น 1790.51 N.s/m (4.636 kg.s/in), 3344.12 N.s/m (8.659 kg.s/in) และ 3919.59 N.s/m (10.149 kg.s/in) สำหรับโช้คอัพมาตรฐาน (S.AB) โช้คอัพดัดแปลงรุ่น GAB He (G.AB) และโช้คอัพดัดแปลงรุ่น H.Drive S spec (H.AB) ตามลำดับ สำหรับสัญญาณทดสอบแบบ unit step signal ได้ผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลตอบสนองของระบบจำลองสำหรับสัญญาณทดสอบแบบ unit step signal

4.3.2 มวลจำลอง 290 kg ค่าคงที่ของสปริงมีค่าเป็น 51020 N/m, 84360 N/m และ 68680 N/m ค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงมีค่าเป็น 1790.51 N.s/m, 3344.12 N.s/m และ 3919.59 N.s/m สำหรับโช้คอัพมาตรฐาน (S.AB) โช้คอัพตัดแปลงรุ่น GAB He (G.AB) และโช้คอัพตัดแปลงรุ่น H.Drive S spec (H.AB) ตามลำดับ สำหรับสัญญาณทดสอบแบบ unit step signal ได้ผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลตอบสนองของระบบจำลองสำหรับสัญญาณทดสอบแบบ unit step signal

พิจารณาจากรูปที่ 9 จะพบว่าค่าเวลาคงตัวสำหรับโช้คอัพมาตรฐาน (S.AB) มีค่าประมาณ 1.4 วินาที ในขณะที่ค่าเวลาคงตัวสำหรับโช้คอัพตัดแปลงรุ่น GAB He (G.AB) และโช้คอัพตัดแปลงรุ่น H.Drive S spec (H.AB) มีค่าประมาณ 0.8 วินาที และจากรูปที่ 10 เมื่อทำการเพิ่มค่าคงที่ของสปริงสำหรับกรณีที่รถยนต์ต้องการรับน้ำหนักมากขึ้นค่าเวลาคงตัวก็แทบไม่เปลี่ยนแปลง เพียงแต่ค่าความถี่ในการสั่นสะเทือนจะเพิ่มขึ้น

5. สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบโช้คอัพโดยใช้เครื่องทดสอบ Shock Dynos Test พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงแรงอัดด้านบวกมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันกล่าวคือ สำหรับโช้คอัพมาตรฐานมีค่าเฉลี่ยเป็น 4.226 kg.s/in สำหรับโช้คอัพตัดแปลงรุ่น GAB He มีค่าเฉลี่ยเป็น 5.023 kg.s/in และสำหรับโช้คอัพตัดแปลงรุ่น H.Drive S spec มีค่าเฉลี่ยเป็น 6.489 kg.s/in ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงแรงหน่วงด้านลบมีค่าค่อนข้างแตกต่างกันกล่าวคือมีค่าเฉลี่ยเป็น 4.636 kg.s/in, 8.659 kg.s/in และ 10.149 kg.s/in ตามลำดับ สำหรับโช้คอัพมาตรฐาน โช้คอัพตัดแปลงรุ่น GAB He และ โช้คอัพตัดแปลงรุ่น H.Drive S spec สำหรับโช้คอัพที่มีค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงมากค่าเวลาคงตัวที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ก็จะมีค่าน้อยกว่า ในส่วนค่าคงที่ของสปริงผู้ใช้รถสามารถเลือกให้เหมาะสมกับสภาพน้ำหนักบรรทุกของรถโดยที่ค่าคงที่ของสปริงมีผลต่อเวลาคงตัวน้อย อย่างไรก็ตามในการจำลองการสั่นสะเทือนของระบบรองรับน้ำหนักของศึกษาในครั้งนี้จำกัดเฉพาะการสั่นสะเทือนในแนวตั้งตามสมการของฟังก์ชันถ่ายโอนในสมการที่ 2 เพื่อเป็นแนวทางในการเก็บรวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงเพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับผู้ใช้ในการพิจารณาเลือกใช้โช้คอัพ หากพิจารณาการสั่นสะเทือนในแนวแกว่งอื่นเพิ่มเติมการเลือกใช้แบบจำลองระบบรองรับน้ำหนักรถยนต์แบบเต็ม (Full car suspension model) ในการจำลองการสั่น

สะท้อนของระบบรองรับน้ำหนัก รวมทั้งตำแหน่งและรูปแบบการติดตั้งโช้คอัพก็จะให้ผลการจำลองที่มีรายละเอียดใกล้เคียงกับสภาพการไ้รถยนต์จริงมากขึ้น (Qiping Chen et al.,2021)

6. เอกสารอ้างอิง

B Quik. (2565). โช้ค อัฟ [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 28 สิงหาคม 2565, จาก: <https://www.b-quik.com/th/advice/shock>

Pinjarla Poornamohan & Lakshmana Kishore (2018), Design and analysis of a shock absorber, *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 1(4), 578-592.

Qiping Chen, Zhihui Xu, Mingming Wu, Yuan Xiao & Hao Shao. (2021). Study on dynamic characteristic analysis of vehicle shock absorbers based on bidirectional fluid–solid coupling, *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 15(1), 426-436

Richard C. Dorf, & Robert H. Bishop (2017), *Modern Control Systems*, (13th ed.). Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall.

การจำลองวิธีลดทอนฮาร์โมนิกของโรงงานอุตสาหกรรมด้วยโปรแกรม ETAP HARMONIC MITIGATION TECHNIQUES SIMULATION APPLIED TO INDUSTRIAL PLANT USING ETAP PROGRAM

วิชชากร เสงศรีธวัช

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: vichchakorn.he@spu.ac.th

รุจิพรรณ สัมปันณา

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

E-mail: rujipan.s@bu.ac.th

วงศ์กร คล่องคดีรัฐ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: vongsagon.klo@pea.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางวิธีลดทอนปัญหาฮาร์โมนิกของโรงงานอุตสาหกรรม โดยการจำลองผลด้วยโปรแกรม ETAP จากกรณีศึกษาของบริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด ซึ่งมีการใช้ชุดปรับความถี่แบบ 6 พัลส์ สำหรับควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส จำนวน 6 ตัว ขนาดกำลังรวม 311 kW ทำให้เกิดปัญหากระแสฮาร์โมนิกที่มีคุณลักษณะของอันดับ 5 และอันดับ 7 ก่อนข้างสูง รวมถึงมีค่าผลรวมความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกเกินมาตรฐาน ผลการจำลองแสดงให้เห็นแนวทางการแก้ปัญหาฮาร์โมนิกสามารถทำได้หลายกรณี โดยที่ระดับการทำงานของโหลดมีค่า 75% ของพิกัด ควรเลือกใช้วิธีการติดตั้งตัวกรองฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 และ 7 ณ ตำแหน่งบัสเดียวกับชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์ สำหรับการทำงานเต็มพิกัด 100% ควรติดตั้งตัวกรองฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 และ 7 ณ ตำแหน่งเดียวกับชุดคาปาซิเตอร์สำหรับปรับค่าตัวประกอบกำลังของโรงงาน ทั้งนี้โดยพิจารณาจากค่าต่ำสุดของผลรวมความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกไม่เกิน 5% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ

คำสำคัญ: ชุดปรับความถี่แบบ 6 พัลส์ ฮาร์โมนิก ตัวกรองฮาร์โมนิก

ABSTRACT

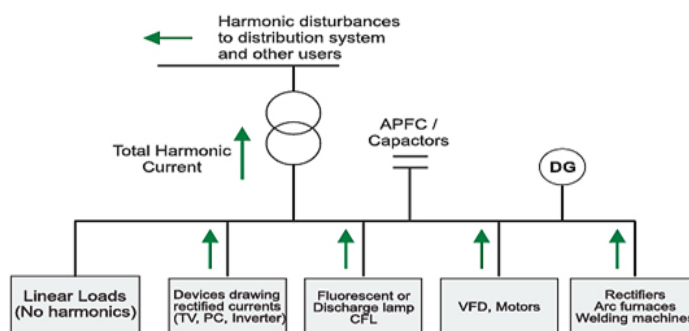
This article presents an approach to reduce the harmonics problem of industrial plants by simulating the results with the ETAP program. Case study of Thai Ethoxylate Co., Ltd. which uses a 6-pulse frequency adjuster to control the speed of 6 three-phase induction motors with a total power of 311 kW. This causes problems with high harmonic currents of 5th and 7th order characteristics, as well as exceeding the limits of the total harmonic voltage distortion (THDv). The simulation results show that harmonic solutions can be implemented in many

cases. The results shown that at 75% of the load operating level, the 5th and 7th harmonic filters should be installed at the same bus location as the motor speed regulator. While the 5th and 7th harmonic filters should be installed at the same location as the factory power factor correction capacitor for the 100% of full-load operation. This is determined by the minimum value of the total harmonic voltage distortion of not more than 5% compared to other methods.

Keywords: 6-Pulse Variable Frequency Drive, Harmonics, Harmonics Filter

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมยังคงมีการนำอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์กำลัง หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่เป็นเชิงเส้นเข้ามาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้า (Power Converter) เตาหลอมโลหะแบบไฟฟ้า (Electric Arc Furnace) แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง (UPS) หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent Lamp) และชุดปรับความถี่สำหรับควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (VFD) เพื่อช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า หรือช่วยในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นต้น ดังตัวอย่างโครงสร้างระบบไฟฟ้าทั่วไปของโรงงานอุตสาหกรรมในภาพที่ 1 แต่ผลกระทบที่ตามมาจากคุณลักษณะของการใช้อุปกรณ์ดังกล่าวนี้คือการเกิดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า โดยถ้าทำการวิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ จะพบว่ารูปคลื่นกระแสหรือแรงดันของอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดอาจมีลักษณะที่แตกต่างไปจากรูปคลื่นไซน์ซึ่งถูกจ่ายด้วยกระแสและแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นไซน์ ซึ่งเป็นผลจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีคุณลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น หรืออาจเกิดจากการไหลของกระแสเป็นช่วงๆ ที่ไม่ต่อเนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์กำลัง



ภาพที่ 1 โครงสร้างระบบไฟฟ้าทั่วไปของโรงงานอุตสาหกรรม

ทั้งนี้ หากฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ามีปริมาณมากจนเกินมาตรฐาน อาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อระบบไฟฟ้าและเครื่องจักรกลไฟฟ้า เช่น การตัดตอนโดยไม่ทราบสาเหตุของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เกิดความร้อนสะสมของเครื่องจักรกลไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ และหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น ทำให้มีอายุการใช้งานและประสิทธิภาพลดลง นอกจากนี้ยังอาจทำให้ชุดคาปาซิเตอร์ซึ่งทำหน้าที่ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังเกิดความเสียหายจากกรณีสภาวะเรโซแนนซ์ได้ อย่างไรก็ตาม การแก้ปัญหาหรือการลดทอนฮาร์มอนิกในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถกระทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับคุณลักษณะคุณภาพไฟฟ้าของโรงงานนั้นๆ ซึ่งจำเป็นต้องทำการตรวจสอบให้ชัดเจน

ก่อน หลังจากนั้นจึงออกแบบวิธีแก้ปัญหารวมถึงการประเมินผลสัมฤทธิ์ก่อนด้วยการใช้โปรแกรมช่วยคำนวณหรือจำลองเหตุการณ์ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าจะสามารถแก้ปัญหาฮาร์มอนิกได้จากวิธีการที่ออกแบบไว้ตามความเหมาะสมทั้งด้านทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์

ดังนั้น บทความนี้จะนำเสนอการใช้โปรแกรม ETAP [3] เพื่อจำลองวิธีลดทอนฮาร์มอนิกของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีการใช้งานแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับด้านประสิทธิภาพในการคำนวณและการจำลองทั้งระบบไฟฟ้ากำลังและภาคอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพื่อให้อุตสาหกรรมฮาร์มอนิกได้รับการแก้ไขหรือลดทอนลงอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดของการไฟฟ้าหรือตามมาตรฐานสากล โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์และเครื่องจักรกลไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงไม่เกิดการไหลย้อนกลับของกระแสฮาร์มอนิกเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่อร่วม (Point of Common Coupling: PCC)

2. แรงดันและกระแสฮาร์มอนิก

เมื่อกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากการทำงานของอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบจะส่งผลทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าด้วยเรียกว่าแรงดันฮาร์มอนิก ซึ่งในกรณีโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้คาปาซิเตอร์ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง อาจทำให้ขนาดแรงดันฮาร์มอนิกมีการขยายตัวมากขึ้นจากสถานะเรโซแนนซ์แบบขนานระหว่างคาปาซิเตอร์ และรีแอคแตนซ์ของระบบหรือหม้อแปลง โดยเมื่อพิจารณาให้โหลดไม่เป็นเชิงเส้นเป็นแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกถ้าเรโซแนนซ์แบบขนานเกิดที่ความถี่เดียวกันหรือใกล้เคียงกับความถี่ฮาร์มอนิกของโหลดไม่เป็นเชิงเส้นจะทำให้เกิดกระแสจำนวนมากไหลผ่านระหว่างรีแอคแตนซ์ของระบบ และรีแอคแตนซ์ของตัวเก็บประจุ ส่งผลให้แรงดันฮาร์มอนิก ณ จุดที่มีกระแสฮาร์มอนิกไหลผ่านมีค่าสูงขึ้นมาก

2.1 ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม

มาตรฐาน IEEE [1] ได้ให้ความหมายของความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion: THD) คือค่าที่บอกถึงปริมาณฮาร์มอนิกที่มีอยู่ทั้งหมด โดยเปรียบเทียบกับค่าอาร์เอ็มเอสของส่วนประกอบความถี่มูลฐาน โดยมีทั้งความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม (THD_v) ตามสมการที่ (1) และความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม (THD_i) ซึ่งมีข้อกำหนดตามมาตรฐานเพื่อใช้สำหรับการพิจารณาค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวมในระบบ โดยถูกแบ่งตามระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ ณ จุดต่อร่วม (PCC) ดังตารางที่ 1

$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n V_{h,rms}^2}}{V_{1,rms}} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ THD_v = ผลรวมความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิก

V_h = แรงดันฮาร์มอนิกอันดับที่ h

V_1 = แรงดันที่ความถี่มูลฐาน (50 Hz)

ตารางที่ 1 ขีดจำกัดความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม [2]

ระดับแรงดันไฟฟ้าของบัสที่ PCC	ความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม (THD _v)
69 kV และต่ำกว่า	5.0
มากกว่า 69 kV ถึง 161 kV	2.5
มากกว่า 161 kV	1.5

2.2 ฮาร์โมนิกคุณลักษณะ

หมายถึงฮาร์โมนิกที่สร้างโดยเครื่องแปลงผันทางไฟฟ้าโดยใช้สารกึ่งตัวนำ เช่น ไดโอด เอสซีอาร์ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อกระแสในการทำงาน ซึ่งชุดปรับความถี่แบบ 6 พัลส์ จะมีกระแสฮาร์โมนิกคุณลักษณะของอันดับ 5 และ 7 ตามสมการที่ (2)

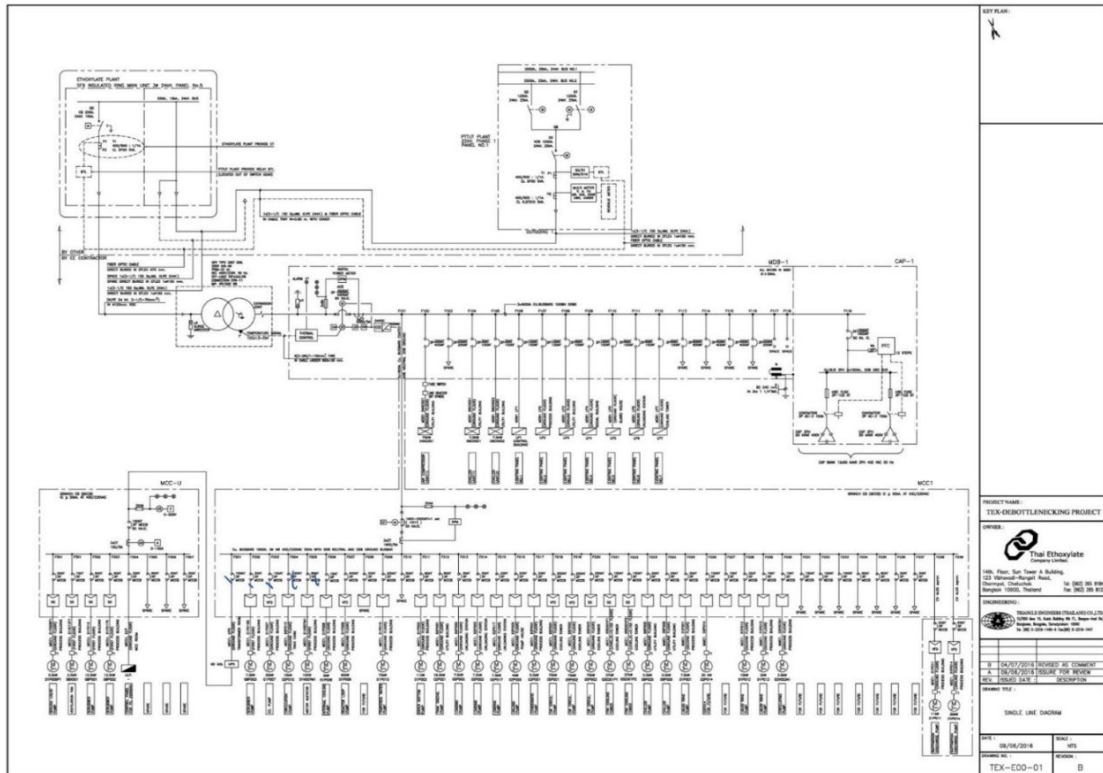
$$h = kp \pm 1 \quad (2)$$

โดยที่ h = อันดับฮาร์โมนิก k = เลขจำนวนเต็มบวก p = จำนวนพัลส์ของเครื่องแปลงผันไฟฟ้า

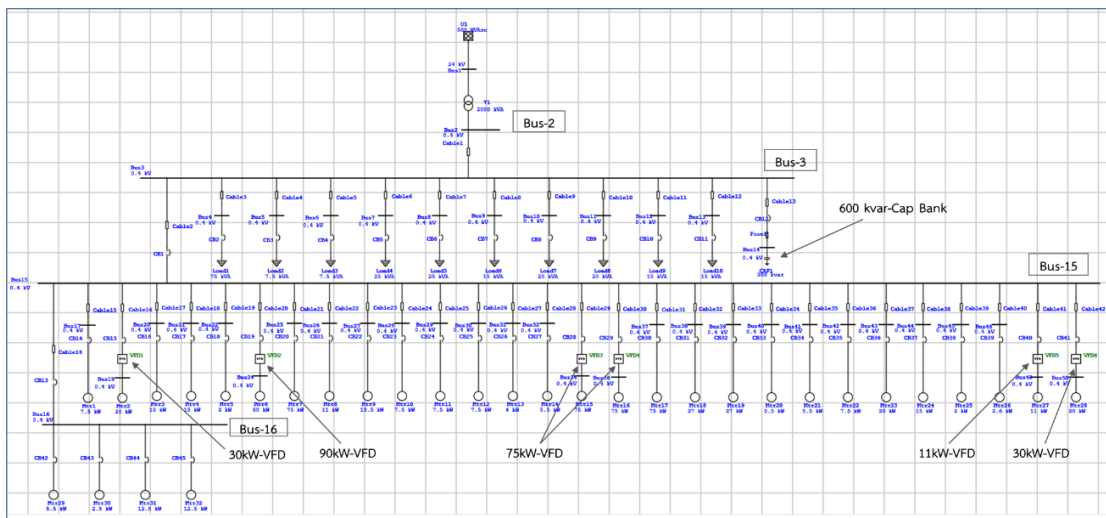
3. คุณลักษณะของกรณีศึกษา

บริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด ประกอบกิจการด้านการผลิตวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์เพื่อสุขอนามัยส่วนบุคคล เช่น แชมพู ครีมนวดน้ำ รวมถึงผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดในครัวเรือน โดยโรงงานมีการใช้หม้อแปลงขนาดพิกัด 2000 kVA, แรงดัน 22 kV/400 V, 6 %Z, 50 Hz และมีการใช้กำลังงานของโหลดรวมขนาด 1450 kVA ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีการใช้ชุดปรับความถี่แบบ 6 พัลส์ (Six-Pulse VFD) สำหรับควบคุมความเร็วรอบ จำนวน 6 ตัว ขนาดกำลังรวม 311 kW รวมถึงมีการใช้ชุดคาปาซิเตอร์สำหรับปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังขนาด 600 kVar ดังแสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบไฟฟ้าตามภาพที่ 2 ซึ่งผลจากการตรวจวัดกระแสฮาร์โมนิกเบื้องต้น ณ ตำแหน่งกลุ่มมอเตอร์ที่มีการใช้ชุดปรับความเร็วรอบ พบปริมาณกระแสฮาร์โมนิกที่มีคุณลักษณะตามสมการที่ (2) ของอันดับ 5 และ 7 ค่อนข้างสูง เป็นเหตุให้อุปกรณ์ตัดตอนบางตัวทำงานโดยไม่ได้ตั้งใจ

การสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าของโรงงานด้วยโปรแกรม ETAP แสดงตามภาพที่ 3 ซึ่งจะมีตำแหน่งการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำคัญ คือ ตำแหน่งบัส 2 จะเป็นจุดเชื่อมต่อของหม้อแปลงไฟฟ้า โหลดแสงสว่างทั่วไป และชุดคาปาซิเตอร์สำหรับปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังจะติดตั้ง ณ ตำแหน่งบัส 3 กลุ่มมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสจำนวน 28 ตัว (697.1 kW) ซึ่งมีการใช้ชุดปรับความเร็วรอบจำนวน 6 ตัว (311 kW) ถูกต่อใช้งานที่ตำแหน่งบัส 15 และกลุ่มมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสจำนวน 4 ตัว (33 kW) ซึ่งไม่มีการใช้ชุดปรับความเร็วรอบ ถูกต่อใช้งาน ณ ตำแหน่งบัส 16



ภาพที่ 2 โค้ดแอมระบบไฟฟ้าเส้นเดียวของ บริษัท ไทยอีทอลชีเลท จำกัด



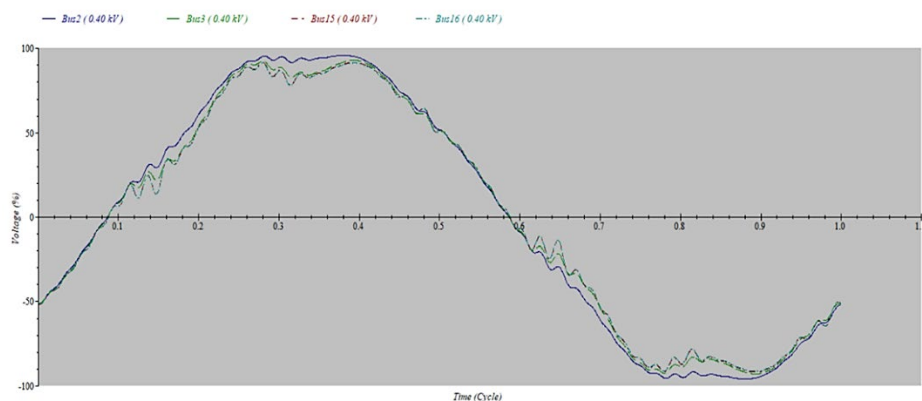
ภาพที่ 3 แบบจำลองระบบไฟฟ้าของโรงานที่สร้างด้วยโปรแกรม ETAP

4. ผลจำลองการแก้ปัญหาฮาร์มอนิก

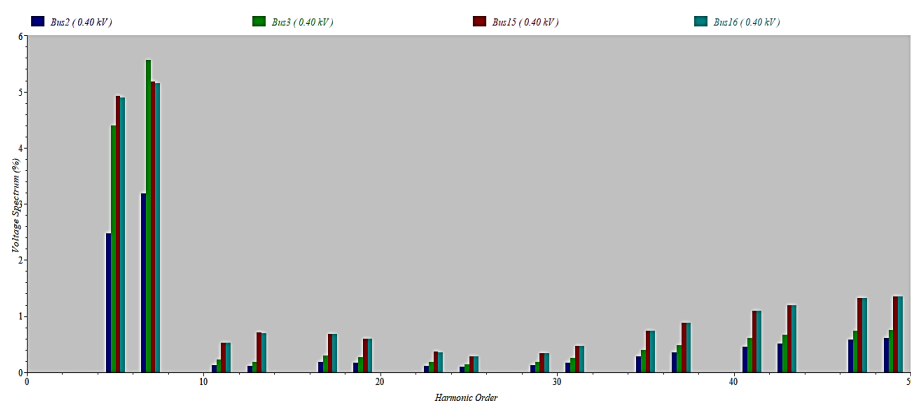
การจำลองผลของระบบที่ใช้เป็นกรณีศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหาฮาร์มอนิกที่มีความเป็นไปได้และมีความเหมาะสม โดยคำนึงถึงค่า THDv ที่จุดต่อรวมไม่เกิน 5% ตามมาตรฐานและมีค่าต่ำสุด การพิจารณาจะแบ่งระดับการใช้งานของโหลดเป็น 2 ระดับ คือ ระดับ 75% และ 100% ของค่าพิกัด โดยจะพิจารณาแนวทางลดทอนปัญหาฮาร์มอนิก 3 วิธี ได้แก่

- การต่อไอส์ค (Choke) ขนาด 3% อนุกรมกับ VFD
- การเปลี่ยนชุดปรับความถี่เป็น 12-Pulse VFD
- การใช้ตัวกรองฮาร์มอนิก (Harmonic Filter) อันดับ 5 และอันดับ 7

ผลจำลองเบื้องต้นกรณีฐานซึ่งยังไม่มีมาตรการแก้ไขใดๆ แสดงให้เห็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ณ บัสต่างๆ ที่มีความผิดเพี้ยนมาก รวมถึงมีค่าแรงดันฮาร์มอนิกอันดับ 5 และอันดับ 7 ค่อนข้างสูง ดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการพิจารณาที่ระดับโหลด 100% สำหรับผลรวมค่า THDv แสดงไว้ในตารางที่ 2



ภาพที่ 4 ความผิดเพี้ยนของสัญญาณดันไฟฟ้ากรณีฐานที่ระดับโหลด 100%



ภาพที่ 5 สเปกตรัมแรงดันฮาร์มอนิกที่ตำแหน่งบัสต่างๆ กรณีฐานที่ระดับโหลด 100%

ตารางที่ 2 ค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวมที่บัสกรณีฐาน

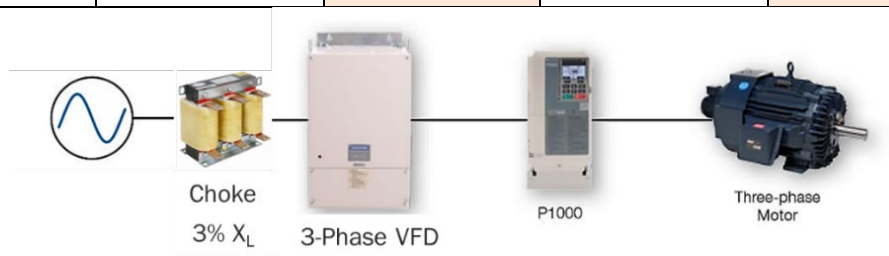
ค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวมที่บัส (%THDv)		
ตำแหน่ง	ระดับโหลด 75%	ระดับโหลด 100%
บัส 2	2.99	4.29
บัส 3	5.42 > 5.0	7.82 > 5.0
บัส 15	5.71 > 5.0	8.15 > 5.0
บัส 16	5.69 > 5.0	8.49 > 5.0

4.1 ผลจำลองการต่อใช้ขนาด 3% อนุกรมกับ VFD

โดยทั่วไปการต่อใช้ที่มีค่ารีแอคแตนซ์ขนาด 3-5% ในลักษณะอนุกรมกับ VFD ตามภาพที่ 6 อาจช่วยให้ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิกลดลงได้ แต่อย่างไรก็ตาม ผลการจำลองของกรณีศึกษาพบว่าค่า %THDv มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงในบางตำแหน่งเล็กน้อย แต่ส่วนใหญ่จะยังมีค่าที่เกินมาตรฐานอยู่ ดังตารางที่ 3 และเมื่อพิจารณาจากสัญญาณแรงดันไฟฟ้ายังคงมีลักษณะผิดเพี้ยนคล้ายกับก่อนติดตั้งใช้ แสดงว่าวิธีการติดตั้งใช้ 3% ไม่เหมาะสำหรับการลดทอนฮาร์มอนิกของกรณีศึกษา

ตารางที่ 3 ค่า %THDv ที่บัสก่อนและหลังการติดตั้งใช้

ค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกที่บัส (%THDv)				
ตำแหน่ง	ระดับโหลด 75%		ระดับโหลด 100%	
	ก่อนติดตั้งใช้	หลังติดตั้งใช้	ก่อนติดตั้งใช้	หลังติดตั้งใช้
บัส 2	2.99	2.91	4.29	4.77
บัส 3	5.42	5.2 > 5.0	7.82	8.11 > 5.0
บัส 15	5.71	5.77 > 5.0	8.15	8.51 > 5.0
บัส 16	5.69	5.76 > 5.0	8.49	5.49 > 5.0



ภาพที่ 6 การต่อใช้คอนูกรมกับชุดปรับความถี่เพื่อควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

4.2 ผลจำลองการเปลี่ยนชุดปรับความถี่เป็น 12-Pulse VFD

การเปลี่ยนชนิด VFD จาก 6 พัลส์ เป็น 12 พัลส์ จะทำให้ฮาร์มอนิกคุณลักษณะเปลี่ยนไปตามสมการที่ (2) และทำให้เกิดผลดีต่อค่า THDv ที่ลดลง โดยผลการจำลองจะแบ่ง 3 กรณีดังนี้

กรณี A : เปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD ของมอเตอร์ทั้งหมดจำนวน 6 ตัว (311 kW)

กรณี B : เปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD เฉพาะมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่สุดจำนวน 1 ตัว (90 kW)

กรณี C : เปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD เฉพาะมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่สุดจำนวน 2 ตัว (90 kW และ 75 kW)

ผลการจำลองแสดงให้เห็นชัดเจนว่า การเปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD ของมอเตอร์ทั้งหมดนั้น (กรณี A) ส่งผลให้ค่า THDv ลดลงต่ำกว่าเกณฑ์มากทั้ง 2 ระดับโหลด ตามตารางที่ 4 แต่อาจไม่คุ้มค่าในแง่ของการลงทุน เนื่องจากมีราคาแพง ดังนั้น การเลือกเปลี่ยนแค่บางตำแหน่งอาจเหมาะสมกว่า ซึ่งผลการจำลองในกรณี B และ C แสดงไว้ในตารางที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ค่า %THDv ที่บัสก่อนและหลังเปลี่ยนชนิด VFD กรณี A

ค่า %THDv ก่อนและหลังเปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD กรณี A				
ตำแหน่ง	ระดับโหลด 75%		ระดับโหลด 100%	
	6-Pulse	12-Pulse	6-Pulse	12-Pulse
บัส 2	2.99	0.488	4.29	1.00
บัส 3	5.42	0.731	7.82	1.38
บัส 15	5.71	1.54	8.15	2.66
บัส 16	5.69	1.53	8.49	2.65

ตารางที่ 5 ค่า %THDv ที่บัสก่อนและหลังเปลี่ยนชนิด VFD กรณี B

ค่า %THDv ก่อนและหลังเปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD กรณี B				
ตำแหน่ง	ระดับโหลด 75%		ระดับโหลด 100%	
	6-Pulse	12-Pulse	6-Pulse	12-Pulse
บัส 2	2.99	2.09	4.29	2.93
บัส 3	5.42	3.27	7.82	5.24 > 5.0
บัส 15	5.71	4.21	8.15	6.09 > 5.0
บัส 16	5.69	4.19	8.49	6.07 > 5.0

ตารางที่ 6 ค่า %THDv ที่บัสก่อนและหลังเปลี่ยนชนิด VFD กรณี C

ค่า %THDv ก่อนและหลังเปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD กรณี C				
ตำแหน่ง	ระดับโหลด 75%		ระดับโหลด 100%	
	6-Pulse	12-Pulse	6-Pulse	12-Pulse
บัส 2	2.99	1.44	4.29	2.11
บัส 3	5.42	2.55	7.82	3.67
บัส 15	5.71	3.04	8.15	4.54
บัส 16	5.69	3.03	8.49	4.53

จากตารางที่ 5 อาจกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD ที่ตำแหน่งมอเตอร์ขนาด 90 kW ตัวเดียว จะทำให้ค่า THDv อยู่ในเกณฑ์ทุกบัสสำหรับการทำงานที่ระดับโหลด 75% แต่จะมีค่าเกินมาตรฐานหลายตำแหน่ง หากโหลดทำงานที่ระดับ 100% ในขณะที่ผลจำลองในตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD ที่ตำแหน่งมอเตอร์ขนาด 90 kW และ 75 kW จะทำให้ค่า THDv ต่ำกว่าเกณฑ์ทั้งหมดทุกระดับโหลด ดังนั้น การแก้ปัญหาฮาร์มอนิกด้วยวิธีนี้จึงมีความเหมาะสม ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางแก้ไขได้

4.3 ผลจำลองการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกอันดับ 5 และ 7

การแก้ปัญหาฮาร์มอนิกด้วยการใช้ตัวกรอง เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ตรงจุดและนิยมใช้กันโดยทั่วไป แต่เนื่องจากฮาร์มอนิกคุณลักษณะที่พบในกรณีศึกษานี้มีทั้งอันดับ 5 และ 7 ดังนั้น การจำลองผลส่วนนี้จะพิจารณาการใช้ตัวกรองแต่ละอันดับ รวมถึงตำแหน่งติดตั้งตัวกรองในระบบ ซึ่งอาจส่งผลต่อค่า THDv ที่มีความต่างกัน อย่างมีนัย โดยแบ่งเป็น 3 กรณี ดังนี้

กรณี D : ใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกแต่ละอันดับ โดยติดตั้งที่บัสเดียวกับชุดคาปาซิเตอร์ (บัส 3)

กรณี E : ใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกแต่ละอันดับ โดยติดตั้งที่บัสเดียวกับกลุ่มมอเตอร์ที่มีการใช้ VFD (บัส 15)

กรณี F : ใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกแต่ละอันดับ โดยติดตั้งขนานกับมอเตอร์ทุกตัวที่มีการใช้ VFD

ผลการจำลองแสดงให้เห็นถึงเงื่อนไขและตำแหน่งติดตั้งตัวกรองฮาร์โมนิกที่ไม่เหมือนกัน จะส่งผลให้ THDv มีค่าแตกต่างกันด้วย โดยในระดับการใช้โหลด 100% การติดตั้งตัวกรองฮาร์โมนิกบางอันดับ ไม่สามารถทำให้ค่า THDv ต่ำกว่าเกณฑ์ได้ทุกกรณี จึงควรใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกทั้ง 2 อันดับ ซึ่งจะทำให้ THDv มีค่าไม่สูงเกินมาตรฐาน ตามตารางที่ 8 ในขณะที่การใช้งานโหลดระดับ 75% การติดตั้งตัวกรองในบางอันดับสามารถทำให้ค่า THDv ต่ำกว่าเกณฑ์ได้ในกรณี D และกรณี F อย่างไรก็ตาม การใช้ตัวกรองทั้ง 2 อันดับ ยังคงมีประสิทธิผลในการทำให้ THDv มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ทุกกรณี ตามตารางที่ 7

ทั้งนี้ หากพิจารณาถึงลักษณะการทำงานจริงซึ่งมีระดับโหลดประมาณ 75% โดยคำนึงถึงค่า THDv ที่ต่ำสุด พบว่าควรมีการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกทั้งอันดับ 5 และ 7 โดยการติดตั้งที่บัส 15 ซึ่งเป็นบัสเดียวกับกลุ่มมอเตอร์ที่มีการใช้ชุดขับเคลื่อน VFD ในกรณี E ตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่า %THDv ก่อนและหลังติดตั้งตัวกรองฮาร์โมนิกที่ระดับโหลด 75%

ค่า %THDv ก่อนและหลังติดตั้งตัวกรองฮาร์โมนิกที่ระดับโหลด 75%									
กรณี	ตัวกรองฮาร์โมนิกอันดับที่	บัส 2		บัส 3		บัส 15		บัส 16	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
D	5	2.99	2.50	4.42	3.47	5.71	4.61	5.69	4.60
	7	2.99	1.92	4.42	3.50	5.71	4.24	5.69	4.23
	5 และ 7	2.99	0.59	4.42	0.96	5.71	2.03	5.69	2.02
E	5	2.99	2.46	4.42	4.42	5.71	4.43	5.69	4.10
	7	2.99	2.42	4.42	4.43	5.71	5.20 > 5	5.69	5.17 > 5
	5 และ 7	2.99	0.48	4.42	0.74	5.71	1.59	5.69	1.59
F	5	2.99	4.60	4.42	4.70	5.71	4.83	5.69	4.81
	7	2.99	1.96	4.42	3.56	5.71	4.24	5.69	4.23
	5 และ 7	2.99	1.27	4.42	2.27	5.71	2.91	5.69	2.90

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่า %THDv ก่อนและหลังติดตั้งตัวกรองฮาร์โมนิกที่ระดับโหลด 100%

ค่า %THDv ก่อนและหลังติดตั้งตัวกรองฮาร์โมนิกที่ระดับโหลด 100%									
กรณี	ตัวกรองฮาร์โมนิกอันดับที่	บัส 2		บัส 3		บัส 15		บัส 16	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
D	5	4.29	3.62	7.82	6.56 > 5	8.51	6.99 > 5	8.49	6.97 > 5
	7	4.29	3.30	7.82	6.05 > 5	8.51	7.11 > 5	8.49	7.09 > 5
	5 และ 7	4.29	0.96	7.82	1.34	8.51	2.89	8.49	2.88
E	5	4.29	3.36	7.82	6.05 > 5	8.51	6.05 > 5	8.49	6.26 > 5
	7	4.29	2.78	7.82	5.04 > 5	8.51	6.18 > 5	8.49	6.16 > 5
	5 และ 7	4.29	1.27	7.82	1.90	8.51	3.32	8.49	3.31
F	5	4.29	3.63	7.82	6.56 > 5	8.51	6.88 > 5	8.49	6.87 > 5
	7	4.29	2.94	7.82	5.32 > 5	8.51	6.52 > 5	8.49	6.50 > 5
	5 และ 7	4.29	1.59	7.82	2.66	8.51	3.80	8.49	3.79

5. สรุปและอภิปรายผล

แนวทางการแก้ปัญหาระดับฮาร์โมนิกสำหรับกรณีศึกษา นี้ ไม่สามารถใช้วิธีการต่อโวลต์ได้ ทั้งนี้การแก้ปัญหาดังกล่าวจะขึ้นกับระดับการใช้งานของโหลด โดยสภาพการทำงานจริงจะมีระดับโหลดประมาณ 75% ซึ่งจากการจำลองที่ทำให้ค่า THD_v ต่ำสุด คือการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกทั้งอันดับ 5 และ 7 ติดตั้งที่ตำแหน่งบัสเดียวกับกลุ่มมอเตอร์ที่มีการใช้ VFD (บัส 15) จากกรณี E ในตารางที่ 7 แต่หากพิจารณาการใช้โหลดเต็มพิกัด 100% ควรเลือกใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกทั้ง 2 อันดับเช่นกัน แต่ติดตั้ง ณ ตำแหน่งบัสเดียวกับชุดคาปาซิเตอร์ (บัส 3) จากกรณี D ในตารางที่ 8 ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวจะมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนักหากเทียบกับวิธีการอื่น

นอกจากนี้ การใช้ VFD แบบ 12 พัลส์ ก็สามารถทำให้ค่า THD_v ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานได้ทุกกรณีที่ระดับการใช้โหลด 75% โดยการใช้กับมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่สุด (90kW) เพียงตัวเดียวจากตารางที่ 5 และต้องใช้กับมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ 2 ตัว (90kW, 75kW) สำหรับระดับการใช้โหลด 100% จากตารางที่ 6 แต่วิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวอาจไม่เหมาะสมและมีค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้น แนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ทั้งทางเทคนิคและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วย จึงจะได้ประสิทธิผลสูงสุด อย่างไรก็ตาม ผลการจำลองที่ได้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นเท่านั้นซึ่งยังไม่ได้มีการนำมาใช้จริง จึงอาจมีความคลาดเคลื่อนของผลได้จากหลายปัจจัย

6. เอกสารอ้างอิง

ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิกเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม PRC-PQG-01/199, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (1998).

ETAP Demo Getting Started, Operation Technology, Inc.

IEEE STD. 519-1992, IEEE Recommended Practices and Requirement for Harmonics Control in Electrical Power System, American National Standard (ASNI), USA, April 12, 1993.

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้งานทางเท้า ย่านสถานีรถไฟหัวหิน

THE STUDY OF FACTORS AFFECTING THE SELECTION OF THE FOOTPATHS USAGE : HUAHIN TRAIN STATION AREA

นายกัณตวิษฐ์ วงษ์สกุล, รศ.ดร.สุพรชัย อุทัยนฤมล

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: kantawitcivil@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันปัญหาการจราจรติดขัด นับเป็นปัญหาทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของอำเภอหัวหิน ดังนั้นทางเท้าจึงเป็นพื้นที่สาธารณะที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อจุดตั้งต้นไปสู่จุดหมายปลายทาง อย่างไรก็ตามบทบาทการใช้งานทางเท้านั้นหลากหลาย และสะท้อนถึงความเข้าใจของสังคม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาพฤติกรรมการใช้งานทางเท้า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้งานทางเท้า ย่านสถานีรถไฟหัวหิน เพื่อแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาว่าพื้นที่ทางกายภาพของทางเท้านั้นมีประสิทธิภาพเพียงพอหรือไม่ และเสนอแนวทางปรับปรุงพัฒนาทางเท้าในลำดับต่อไป การเก็บข้อมูลงานวิจัยแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสังเกตการณ์ และสัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมายด้วยแบบสอบถาม ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้งานทางเท้า 3 ลำดับแรกคือ ความปลอดภัยในการใช้งานทางเท้า สภาพอากาศฝนตก และสภาพอากาศร้อน ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางเท้าย่านสถานีรถไฟหัวหินพบว่า ทางเท้าอยู่ในระดับการให้บริการที่ดี แต่เนื่องด้วยปัญหาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ทำให้ผู้เดินทางเลือกใช้การเดินทางด้วยวิธีอื่นๆ ดังนั้นการปรับปรุงทางเท้าให้สอดคล้องกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้งานทางเท้า จึงมีแนวโน้มที่จะจูงใจให้ผู้เดินทางเลือกใช้งานทางเท้ามากขึ้น

คำสำคัญ: ทางเท้า ระดับการให้บริการทาง การปรับปรุงพัฒนาทางเท้า สถานีรถไฟ

ABSTRACT

Traffic congestion is a currently problem affecting an economic, social, and environmental issue in the Hua Hin District. As a consequence, the footpath is a public space that connects the starting point to the destination. However, the functional role of the footpath is diverse and reflects society's understanding. The aim of this research is to study the behavior of people who use the footpath. The factors that influence their decision to use the footpath in the Hua Hin Railway Station area are determined in order to show whether the physical area of the footpath is effective enough. The guidelines for improving the footpath can be proposed in the next step. The research data collection is divided into two parts: data collection by observation method and questionnaire with the target group. According to the study's findings, the top three factors influencing the decision of using a footpath are safety, rainy weather, and hot weather. In accordance with an analysis of footpath data in the Hua Hin Railway Station area, the footpath is in good condition. However, due to problems caused by other related factors, travelers prefer to travel by other means. As a result, improving the footpath in conformance with the

factors influencing the decision of using the footpath tends to motivate travelers to use the footpath more frequently.

Keywords: Footpath, Level of Footpath Service, Footpath improvement, Railway Station

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในปัจจุบันปัญหาการจราจรติดขัด นับเป็นปัญหาทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของอำเภอหัวหิน โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นแหล่งชุมชน ย่านการค้า และสถานที่ท่องเที่ยวต่างๆ การเพิ่มความจุถนนนั้นอาจจะไม่ใช่วิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมกับพื้นที่ที่เป็นเขตเมืองด้วยข้อจำกัดในการขยายพื้นที่ แต่การลดปริมาณยานพาหนะบนท้องถนนจึงมีความเหมาะสมมากกว่าในพื้นที่ที่เป็นเขตเมือง ดังนั้นทางเท้าจึงเป็นพื้นที่สาธารณะที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อจากจุดตั้งต้นไปสู่จุดหมายปลายทาง อย่างไรก็ตามบทบาท และการใช้งานทางเท้าที่หลากหลายและสะท้อนถึงความเข้าใจของสังคมที่ซับซ้อนเกี่ยวกับความเป็นสาธารณะของสาธารณูปโภคของชุมชน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาบทบาท และการใช้งานของทางเท้า โดยศึกษาการตอบสนองทางพฤติกรรมของผู้ใช้งานทางเท้า บริเวณพื้นที่ย่านสถานีรถไฟหัวหิน เพื่อแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาว่าพื้นที่เชิงกายภาพของทางเท้าในบริเวณพื้นที่ศึกษานั้นมีประสิทธิภาพเพียงพอ เหมาะสมในการรองรับคนเดินเท้าหรือไม่ ดังนั้นการที่จะดึงดูดให้ผู้คน และนักท่องเที่ยวเลือกใช้ทางเท้าเหล่านั้นจึงเป็นเรื่องสำคัญ จึงควรทำการศึกษาพฤติกรรมการเดินทางของผู้อยู่อาศัย และนักท่องเที่ยวบริเวณย่านสถานีรถไฟหัวหินเพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรม และทัศนคติเกี่ยวกับการใช้งานทางเท้า สามารถนำข้อมูลที่ได้ประกอบการเสนอแนะแนวทางการพัฒนาการใช้ทางเท้าของชุมชน ให้มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมการเดินทางของผู้อยู่อาศัย และนักท่องเที่ยวบริเวณนั้น เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาชุมชนในการช่วยลดปริมาณการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล ประหยัดพลังงาน ลดมลภาวะสิ่งแวดล้อมของชุมชน และเพื่อเพิ่มความน่าอยู่อาศัยสำหรับผู้อยู่อาศัย เพิ่มความน่าท่องเที่ยวสำหรับนักท่องเที่ยวต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาพฤติกรรม ปัญหา และอุปสรรคการใช้งานทางเท้าของนักท่องเที่ยว และผู้อยู่อาศัยบริเวณพื้นที่ศึกษา
- (2) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกใช้ทางเท้าของนักท่องเที่ยว และผู้อยู่อาศัยบริเวณพื้นที่ศึกษา
- (3) เพื่อเสนอแนวทางการพัฒนาการเดินทางของนักท่องเที่ยว และผู้อยู่อาศัยบริเวณพื้นที่ศึกษา

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 แนวคิด Transit-Oriented Development (TOD)

ตันสนีย์ แสงศิลา (2555) แนวคิดในการพัฒนาพื้นที่โดยรอบบริเวณสถานีขนส่งมวลชนโดยเฉพาะระบบราง การสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาพื้นที่บริเวณใกล้จุดขึ้นลงระบบรถขนส่งมวลชนนี้ อาศัยแรงจูงใจจากความสะดวกในการเดินทางที่เอื้อประโยชน์ต่อผู้คนให้สามารถสัญจรไปมาได้สะดวก พื้นที่โดยรอบสถานีจะประกอบไปด้วยที่พักอาศัย สำนักงาน ร้านค้าหรือย่านการค้ารูปแบบอื่นๆ รวมถึงสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งทางเท้าและทางจักรยานที่เอื้อให้ผู้อยู่อาศัยสามารถใช้ชีวิตได้โดยไม่ต้องพึ่งรถยนต์ส่วนตัว แนวคิด TOD เป็นการพัฒนา

พื้นที่โดยใช้โครงข่ายเส้นทางขนส่งมวลชนร่วมกับการกำหนดรูปแบบใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อสร้างพื้นที่รอบสถานี
ที่นำใช้งาน เพื่อต่อการเดินเท้า โดยมีศูนย์กลางอยู่ที่สถานีล้อมรอบด้วยพื้นที่กิจกรรมที่มีความหนาแน่น ภายในเขต
รัศมีจากตัวสถานีประมาณ 800 เมตร หรือในเขตที่ใช้ระยะเวลาเดินประมาณ 10 นาที

3.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกรูปแบบการเดินทาง

ระยะทาง มีอิทธิพลต่อการเลือกรูปแบบการเดินทางสูงมาก คือถ้าในระยะทางใกล้ๆ จะสามารถใช้
วิธีการเดินเท้าหรือจักรยานเพื่อเชื่อมต่อกับระบบขนส่งสาธารณะได้ แต่ถ้าในระยะทางไกลมากๆ มีแนวโน้มที่จะ
เลือกเดินทางโดยรถยนต์ ส่วนความหนาแน่นและการใช้ที่ดินแบบ Mix used ในละแวกบ้าน จะช่วยให้แนวโน้ม
ในการใช้รถยนต์ส่วนตัวลดลง และมีความสัมพันธ์กับการเดินทางในระยะสั้นมากขึ้น

ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง กลุ่มประชากรที่มีรายได้ต่ำนิยมใช้การเดินเท้า รถจักรยาน รถจักรยานยนต์
และระบบขนส่งมวลชน เนื่องจากมีราคาถูก และค่าบำรุงรักษาไม่แพง ส่วนกลุ่มผู้มีรายได้สูงนิยมใช้รถยนต์ส่วนบุคคล
ที่มีราคาและค่าบำรุงรักษาสูงที่สุด เนื่องจากมีความสะดวกสบายในการเดินทางมากกว่า

วัตถุประสงค์ของการเดินทาง ได้กำหนดวัตถุประสงค์การเดินทางเป็น 2 ประเภท คือ วัตถุประสงค์
เดียว และหลายวัตถุประสงค์ การเดินทางแบบวัตถุประสงค์เดียวมักเกิดจากรูปแบบกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่
กระจุกกระจาย ส่วนการเดินทางแบบหลายวัตถุประสงค์จะพบในย่านที่มีการรวมกิจกรรมทางเศรษฐกิจเข้า
ด้วยกัน เช่น ศูนย์การค้าในย่านใจกลางเมืองเป็นต้น โดยการเดินทางวัตถุประสงค์เดียวมีโอกาสที่จะพบการใช้
รถยนต์มากกว่า การเดินทางแบบหลายวัตถุประสงค์ เนื่องจากการเดินทางแบบหลายวัตถุประสงค์จะพบในย่านที่
มีการรวมกิจกรรมทางเศรษฐกิจ ซึ่งจะมีระยะทางการเดินที่สามารถเดินได้ และมักมีทางเท้ารองรับการเดินเท้า
อยู่แล้ว

ความสะดวกสบาย ผู้สัญจรส่วนใหญ่จะเลือกการเดินทางที่มีความสะดวกสบาย ซึ่งอาจจะต้องแลก
มาด้วยค่าใช้จ่ายในการเดินทาง และระยะเวลาที่ผู้สัญจรยอมรับได้

ความปลอดภัยในการเดินทาง จากการศึกษา ผู้สัญจรทางเท้า ผู้ขับขี่รถจักรยาน และจักรยานยนต์ มี
อัตราเสี่ยงสูงถึงร้อยละ 56-74 ของผู้ประสบอุบัติเหตุถึงแก่ชีวิตทั้งหมด ส่วนความปลอดภัยด้านอาชญากรรมก็เป็น
อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเลือกรูปแบบ การสัญจร เนื่องจากการเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะมี
ความเสี่ยงสูงกับการสูญเสีย ชีวิตและทรัพย์สิน

3.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการใช้ทางเท้า

พื้นผิวของทางเดิน พื้นผิวของทางเดินเป็นองค์ประกอบของภูมิทัศน์ถนน ที่มีความเด่นชัดและรับรู้
ได้ง่ายที่สุด ทางเท้า ควรมีพื้นผิวเรียบต่อเนื่อง ไม่มีการเปลี่ยนระดับโดยไม่จำเป็น และควรอยู่ในสภาพดี
ไม่มีชำรุดเสียหาย วัสดุผิวทางที่ใช้ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและการใช้งาน พื้นผิวที่ขรุขระเพื่อกันลื่น
ในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงต้นทุนในการบำรุงรักษา และการติดตั้งใหม่หรือปรับปรุงพื้นที่ทางเท้าในอนาคตด้วย

ความร่มรื่นของทางเดินเท้า ต้นไม้และวัสดุประกอบอื่นๆ อาจเพิ่มให้เป็นสีต้นและชีวิตชีวาให้กับ
ทางเท้า ทำให้น่าสนใจและมีผลต่อการรับรู้ลักษณะพื้นผิวของถนน การตกแต่งด้วยต้นไม้จะช่วยลดความแข็ง
กระด้างของ พื้นทางเท้า และช่วยทำให้สภาพอากาศดีขึ้น ช่วยลดอุณหภูมิที่พื้นผิวทางเท้า

ความปลอดภัยในการเดินเท้า การเดินเท้าต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการเดินเท้ารวมถึง
การสัญจรประเภทอื่นๆด้วย ซึ่งส่วนประกอบต่างๆของทางเท้า ไม่ว่าจะเป็นบริเวณจุดที่เป็นทางแยก ทางข้าม ร้วกัน
ระหว่างถนนกับทางเท้า สัญญาณไฟจราจร รวมไปถึงเรื่องของแสงสว่าง ไฟฟ้าที่ส่องสว่างเป็นสิ่งที่พบได้ทั่วไปตาม
ท้องถนน

สิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ เป็นส่วนประกอบของทางเท้าเพื่อให้ผู้สัญจรได้ใช้ประโยชน์ในฐานะของบริการสาธารณะ อีกทั้งยังเป็นส่วนหนึ่งของภูมิทัศน์ถนน ตำแหน่งที่ตั้งก็ขึ้นอยู่กับการใช้งานและความจำเป็นของพื้นที่นั้นๆ

3.1.4 ระดับการให้บริการของทางเท้า(Level of service on sidewalk)

ฉัตรคนัย เลือดสกุล.(2555). ระดับการให้บริการ เป็นมาตรวัดในเชิงคุณภาพ (Qualitative Measure) ซึ่งบ่งบอกถึง คุณภาพในการให้บริการของทางเท้าโดยแสดงเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ 6 ตัว ได้แก่ A ,B, C, D, E และ F ซึ่งค่าแต่ละค่าจะแสดงถึงลักษณะและสภาพการจราจรบนทางเท้าที่แตกต่างกัน โดยระดับการให้บริการ A หรือ LOS A จะแสดงสภาพการจราจรบนทางเท้าที่ดีที่สุดเดินได้อย่างสะดวก และในทางตรงกันข้าม ระดับการให้บริการ F หรือ LOS F จะแสดงสภาพการจราจรบนทางเท้าที่แย่ที่สุดการจราจรบนทางเท้าติดขัด

ตารางที่ 1 หลักเกณฑ์ประเมินระดับการให้บริการของทางเท้า

ระดับการให้บริการ ของทางเท้า	ความเร็วคนเดินเท้า (เมตร/นาที)	อัตราการไหล (คน/ นาที/เมตร)	พื้นที่ว่างคนเดินเท้า (ตร.ม./คน)	อัตราส่วนปริมาณ ความจุ
A	> 78	≤ 16	> 5.60	≤ 0.21
B	> 76 - 78	> 16 - 23	> 3.70 - 5.60	> 0.21 - 0.31
C	> 73 - 76	> 23 - 33	> 2.20 - 3.70	> 0.31 - 0.44
D	> 68 - 73	> 33 - 49	> 1.40 - 2.20	> 0.44 - 0.65
E	> 45 - 68	> 49 - 75	> 0.75 - 1.40	> 0.65 - 1.00
F	≤ 45	-	≤ 0.75	-

ที่มา : Highway Capacity Manual (2010)

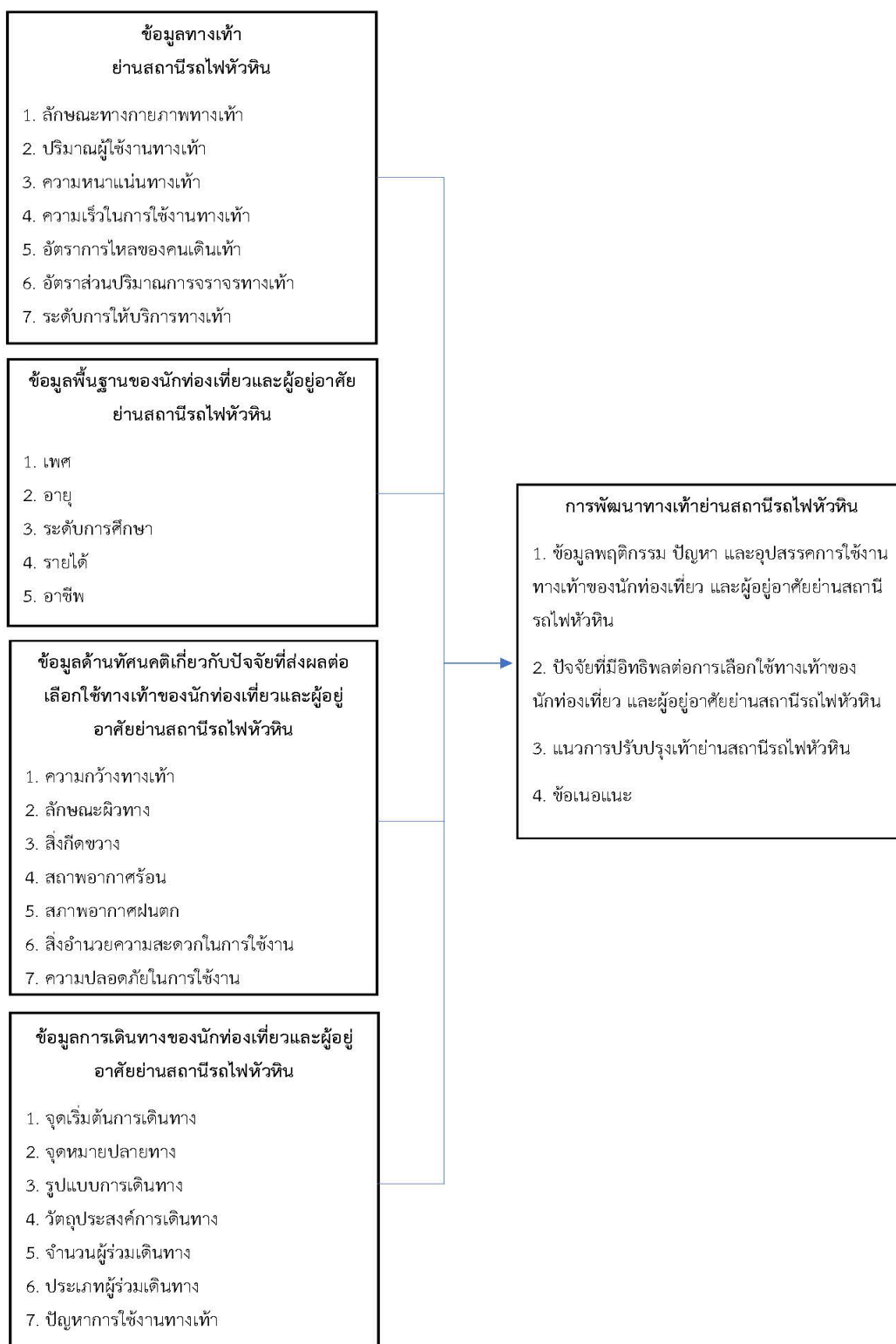
3.1.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor analysis)

กัลยา วานิชย์บัญชา (2559) การวิเคราะห์หลายตัวแปรเทคนิคหนึ่งเพื่อการสรุปรายละเอียดของตัวแปรหลายตัว หรือเรียกว่าเป็นเทคนิคที่ใช้ในการลดจำนวนตัวแปรเทคนิคหนึ่ง โดยการศึกษาถึงโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร และสร้างตัวแปรใหม่เรียกว่า องค์ประกอบ โดยองค์ประกอบที่สร้างขึ้นจะเป็นการนำตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันหรือมีความร่วมกันสูงมารวมกันเป็นองค์ประกอบเดียวกัน ส่วนตัวแปรที่อยู่คนละองค์ประกอบมีความสัมพันธ์กันน้อย หรือ ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย สามารถใช้ได้ทั้งการพัฒนาทฤษฎีใหม่ หรือ การทดสอบหรือยืนยันทฤษฎีเดิม

3.1.6 ทฤษฎีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างเพื่อการวิจัย

ยุทธ ไกยวรรณ.(2555). ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (Sample size) เป็นสิ่งสำคัญที่ผู้วิจัยต้องกำหนดให้เหมาะสม และมีความเป็นตัวแทนที่ดีของประชากรที่ทำการศึกษา เพื่อจะช่วยให้ผลการวิจัยมีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นจึงเกิดคำถามว่า ขนาดของกลุ่มตัวอย่างเท่าไรจึงจะทำให้ผลการวิจัยมีความเชื่อถือได้ ซึ่งความจริงแล้วไม่มีกฎเกณฑ์แน่นอน ดาขตัวว่าต้องใช้ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวนเท่าใด ได้มีผู้เสนอวิธีการกำหนดของตัวอย่างไว้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การกำหนดเกณฑ์ร้อยละของประชากร การใช้ตารางสำเร็จรูป หรือการใช้สูตรคำนวณ ซึ่งผู้วิจัยสามารถ เลือกตามความเหมาะสม

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้ทางเท้ามีขั้นตอนการดำเนินการศึกษา คือ ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้มาตรฐานทางเท้า พฤติกรรมเกี่ยวกับการเลือกการเดินทาง พฤติกรรมเกี่ยวกับการใช้ทางเท้า การวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา และการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) จากนั้นทำการกำหนดพื้นที่ศึกษา โดยในการศึกษานี้ครอบคลุมพื้นที่บริเวณสถานีรถไฟหัวหิน กำหนดกลุ่มประชากรเป้าหมายคือผู้ใช้ทางเท้าและผู้โดยสารที่อยู่บริเวณพื้นที่ศึกษา จัดทำแบบสำรวจ โดยกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้งานทางเท้า จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

จากข้อมูลสำนักงานบริหารทะเบียน กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย พบว่ามีข้อมูลประชากรทั้งหมด 98,787 คนตามชื่อในสำมะโนประชากร และมีประชากรแฝง ประมาณ 100,000 คน ดังนั้นพื้นที่อำเภอหัวหินมีประชากรประมาณ 200,000 คน การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างจะเลือกใช้สูตรคำนวณกรณีทราบขนาดของประชากร โดยจะใช้สูตรของ ทาโร ยามาเน่ (Yamane) ขนาดประชากรประมาณ 200,000 คน ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้คือ 0.05 ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ได้คือ 400 ชุด เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการตอบแบบสอบถามอย่างไม่สมบูรณ์ จึงได้สำรองแบบสอบถามเพิ่มอีก 20 ชุด รวมแบบสอบถามทั้งสิ้น 420 ชุด

4.3 เครื่องมือวิจัย

1. แบบสอบถาม โดยแบบสอบถามประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ข้อมูลพื้นฐานของผู้ตอบแบบสอบถาม ข้อมูลด้านการเดินทาง และข้อมูลทัศนคติเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้งานทางเท้า
2. เครื่องมือวัดระยะ (Distance Meter) ใช้ในเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของทางเท้า
3. นาฬิกาจับเวลา ใช้ในการเก็บข้อมูล ปริมาณจราจร และความเร็วในการใช้งานทางเท้า

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล 2 วิธี คือ 1) การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจพื้นที่ 2) การเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสัมภาษณ์ การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจพื้นที่ ได้แก่ ความยาวทางเท้า ความกว้างทางเท้า ลักษณะผิวพื้นทางเท้า สภาพแวดล้อมต่างๆ ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่รอบข้าง รวมไปถึงข้อมูลปริมาณผู้ใช้งานทางเท้า และข้อมูลการใช้งาน อีกส่วนคือการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีการสัมภาษณ์ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลคือ แบบสอบถาม

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลลักษณะทางกายภาพทางเท้า ปริมาณการจราจรทางเท้า และความเร็วการใช้งานทางเท้า วิเคราะห์หาระดับการให้บริการทางเท้า ใช้สถิติเชิงพรรณนาวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้งานทางเท้า เพื่อหาค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบน ค่าความเบ้ ค่าความโด่งของข้อมูล และใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) เพื่อดูความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร ตรวจสอบว่าตัวแปรมีความเหมาะสมในการใช้งานหรือไม่

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการสำรวจด้วยวิธีสังเกตการณ์

จากการเก็บข้อมูลด้วยวิธีสังเกตการณ์ บริเวณพื้นที่ศึกษา พบว่ามีเส้นทางที่ใช้เป็นเส้นทางสัญจรที่สำคัญ มีทั้งหมด จำนวน 6 เส้นทาง ได้แก่ ถนนหัวหิน 61, ถนนหัวหิน 72, ถนนหัวหิน 74, ถนนหัวหิน 76, ถนนสระสง

และถนนเพชรเกษม ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลลักษณะทางกายภาพของถนน และทางเท้า ประกอบด้วย ความยาวเส้นทาง ความกว้างเส้นทาง และสภาพแวดล้อมสองข้างทาง นำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางเท้าในแต่ละเส้นทาง หาความยาวของทางเท้า ความกว้างทางเท้าประสิทธิผล เพื่อหาพื้นที่ทางเท้าที่สามารถใช้งานได้จริง และเก็บข้อมูลปริมาณการจราจรทางเท้า จำนวนผู้ใช้งานทางเท้า และเก็บข้อมูลด้านประสิทธิภาพการใช้งานทางเท้า การวัดประสิทธิภาพของทางเดินเท้า และพื้นที่ทางเท้า จะแปรผกผันกับความหนาแน่นของพื้นที่ เกณฑ์ในการวิเคราะห์ทางเดินหรือทางเท้า จะใช้หน่วยอัตราการไหลของคนเดินเท้าที่นำมาใช้วัด จะทำโดยใช้ช่วงที่มีการไหลสูงสุด 15 นาที รวมกับความกว้างของทางเท้าประสิทธิผล วิเคราะห์ข้อมูลหาอัตราส่วนปริมาณความจุ (V/C Ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณผู้คนที่ใช้ทางเท้าต่อความจุทางเท้า จากการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาระดับการให้บริการทางเท้าบริเวณย่านสถานีรถไฟหัวหิน พบว่ามีทางเท้าที่มีระดับการให้บริการ A หรือ LOS A จำนวน 5 เส้นทาง ถนนหัวหิน 61, ถนนหัวหิน 74, ถนนหัวหิน 76, ถนนสระสง, ถนนเพชรเกษม และระดับการให้บริการ E จำนวน 1 เส้นทาง คือ ถนนหัวหิน 72

5.2 ผลการสำรวจข้อมูลด้วยวิธีการสัมภาษณ์

5.2.1 ข้อมูลพื้นฐานของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากการเก็บข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 55.47 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วง 20-29 ปี คิดเป็นร้อยละ 40.00 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น คิดเป็นร้อยละ 31.90 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีรายได้ 15,001–20,000 ต่อเดือน จำนวน 231 คน คิดเป็นร้อยละ 55.00 ผู้ตอบแบบสอบถามประกอบด้วยอาชีพ ครอบงำ/ลูกจ้าง คิดเป็นร้อยละ 24.28,

5.2.2 ข้อมูลปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้ทางเท้า

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ ค่าความโด่งของข้อมูลปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้ใช้งานทางเท้า

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกการเลือกใช้ทางเท้า	$\bar{X}$	SD	Sk	Ku
1. ความกว้างทางเท้า	2.5833	0.5699	0.252	-0.748
2. ความเรียบร้อยของวัสดุผิวทางเท้า ความราบเรียบของผิวทาง	2.5690	0.5634	0.329	-0.843
3. สิ่งกีดขวางบนทางเท้า (เสาไฟฟ้า ตู้โทรศัพท์ ร้านค้า และอื่นๆ)	2.5214	0.5755	0.482	-0.648
4. สภาพอากาศร้อน	2.8786	0.6532	0.128	-0.678
5. สภาพอากาศฝนตก	3.1024	0.7255	-0.158	-1.088
6. สิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งานทางเท้า	2.8333	0.5084	-0.363	0.613
7. ความปลอดภัยในการใช้งานทางเท้า	3.4738	0.5367	-0.268	-1.156

จากการวิเคราะห์สถิติพบว่าตัวแปรที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ ความปลอดภัยในการใช้งานทางเท้า มีค่าเท่ากับ 3.4738 รองลงมา คือ สภาพอากาศฝนตก มีค่าเท่ากับ 3.1024 และปัจจัยที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ สิ่งกีดขวางบนทางเท้า มีค่าเท่ากับ 2.5214 ข้อมูลค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ในภาพรวมนั้นพบว่ามีความอยู่ระหว่าง 0.5084 ถึง 0.7255 ซึ่งถือว่าข้อมูลมีการกระจายตัวที่น้อย และมีความใกล้เคียงกัน จากการพิจารณาข้อมูลการแจกแจงความเบ้ (Sk) ของตัวแปรต่างๆ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง -0.363 ถึง 0.482 ซึ่งมีค่าไม่เกิน ± 2 ถือว่าข้อมูลอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 และข้อมูลค่าความโด่ง (Ku) ของตัวแปรต่างๆ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง -1.156 ถึง 0.613 ซึ่งมีค่าไม่เกิน ± 2 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.3 ข้อมูลด้านการเดินทาง

จากการสัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมาย โดยใช้แบบสอบถาม พบว่าการเดินทางของผู้ตอบแบบสอบถามจะมีการเดินทางเกี่ยวข้องกับสถานที่สำคัญๆ ย่านสถานีรถไฟหัวหิน ซึ่งเป็นสถานที่ที่มีนักท่องเที่ยวเดินทางไปเป็นจำนวนมาก ประกอบด้วย สถานีรถไฟหัวหิน ตลาดใต้รุ่งหัวหิน วัดหัวหิน และหาดหัวหิน โดยจะเก็บข้อมูลจุดเริ่มต้นการเดินทาง จุดหมายปลายทาง วัตถุประสงค์ในการเดินทาง จำนวนผู้ร่วมเดินทาง ประเภทผู้ร่วมเดินทาง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะจำแนกตามวิธีการเดินทางของผู้ตอบแบบสอบถาม ซึ่งจากการเก็บข้อมูลสามารถจำแนกวิธีการเดินทางของกลุ่มเป้าหมาย โดยแบ่งเป็น 3 วิธีการเดินทาง คือ การเดินเท้า จำนวน 110 คน คิดเป็นร้อยละ 26.19 รถรับจ้างทั่วไป จำนวน 131 คิดเป็นร้อยละ 31.19 และรถส่วนตัว จำนวน 179 คิดเป็นร้อยละ 42.62 วัตถุประสงค์การเดินทางที่พบมากที่สุดคือ ท่องเที่ยว จำนวน 278 คน คิดเป็นร้อยละ 66.19 จำนวนผู้ร่วมเดินทางที่พบมากที่สุด คือ การเดินทาง 4 คน จำนวน 123 คน คิดเป็นร้อยละ 29.28 และประเภทผู้ร่วมเดินทางที่พบมากที่สุดคือ การเดินทางกับเพื่อน จำนวน 192 คน คิดเป็นร้อยละ 45.71

6. อภิปรายผล

จากข้อมูลระดับการให้บริการทางเท้าย่านสถานีรถไฟหัวหิน พบว่ามีความเพียงพอต่อการใช้งาน มีระดับการให้บริการอยู่ในเกณฑ์ที่ดี สามารถเดินเท้าได้อย่างสะดวก ซึ่งปัญหาในการใช้งานทางเท้าไม่ได้อยู่ที่ลักษณะทางกายภาพเพียงอย่างเดียว แต่ด้วยปัจจัยสภาพแวดล้อมในด้านอื่นๆ ที่ส่งผลให้ผู้เดินทางเลือกการเดินเท้าน้อยกว่ารูปแบบการเดินทางประเภทอื่นๆ การจะดึงดูดให้ผู้เดินทางเลือกใช้วิธีการเดินเท้ามากขึ้น จะต้องมีการปรับปรุงทางเท้าให้มีความสอดคล้องกับผู้ใช้งาน และความต้องการของผู้ใช้งานบริเวณพื้นที่นั้นๆ

ตารางที่ 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้งานทางเท้า และแนวทางการปรับปรุงทางเท้า

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้งานทางเท้า	แนวทางการปรับปรุงทางเท้า
1. ความปลอดภัยในการใช้งานทางเท้า	- ติดตั้งไฟฟ้าส่องสว่างที่ให้แสงสว่างเพียงพอบริเวณทางเท้า - ติดตั้งกล้องวงจรปิด (CCTV) ในจุดเสี่ยงต่ออันตราย - ปรับปรุงและพัฒนาจุดเปลี่ยน จุดอับ ให้เกิดความปลอดภัย - ปลูกต้นไม้ ตลอดแนวทางเท้าฝั่งด้านที่ติดกับถนนเพื่อเป็นแนวป้องกันรถยนต์ที่อาจเสียหลักมาชนผู้ใช้งานทางเท้า
2. สภาพอากาศร้อน	- ปลูกต้นไม้ เพื่อสร้างความร่มรื่น และร่มเงาให้กับผู้ใช้งานทางเท้า - ติดตั้งหลังคาเพื่อป้องกันแสงแดด
3. สภาพอากาศฝนตก	- ติดตั้งหลังคาเพื่อป้องกันฝนตก

7. ข้อเสนอแนะ

การที่จะจูงใจให้นักท่องเที่ยว และผู้อาศัยอยู่ในชุมชนหันมาใช้วิธีการเดินเท้ามากขึ้น จะต้องมีการปรับปรุงทางเท้าให้มีความสอดคล้องกับความต้องการของนักท่องเที่ยว และผู้อาศัยอยู่ในชุมชน การเดินเท้าเป็นการช่วยลดการใช้น้ำมัน ลดปัญหาการจราจรที่ติดขัด ส่งผลให้สภาพแวดล้อมของอำเภอหัวหินมีความน่าอยู่ยิ่งขึ้น ดึงดูดให้นักท่องเที่ยวเดินทางมาท่องเที่ยวอำเภอเมืองหัวหิน เป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจการท่องเที่ยวภายในอำเภอเมืองหัวหินให้ดียิ่งขึ้น และการปรับปรุงทางเท้ารอบๆ สถานีรถไฟหัวหินยังเป็นการชักจูงให้นักท่องเที่ยวหันมาใช้

การเดินทางด้วยระบบขนส่งทางราง ช่วยในเรื่องการประหยัดพลังงาน และยังเป็นการช่วยลดยานพาหนะบนท้องถนนอีกด้วย สอดคล้องกับโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ารางคู่สายใต้ ของกรมการขนส่งทางราง ซึ่งเป็นการพัฒนาศักยภาพในการเดินทางด้วยระบบรางให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้ในอนาคตมีแนวโน้มที่นักท่องเที่ยวจะเลือกใช้วิธีการเดินทางด้วยรถไฟฟ้าท่องเที่ยวอำเภอหัวหินมากขึ้น การปรับปรุงพัฒนาทางเท้าที่เชื่อมต่อระหว่างสถานีรถไฟหัวหินกับสถานที่ท่องเที่ยว จึงมีความเหมาะสมที่จะปรับปรุงพัฒนา เพื่อให้อำเภอเมืองหัวหินมีความน่าท่องเที่ยวต่อไป

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] กัลยา วาณิชบัญชา. (2559). *การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows*. กรุงเทพฯ: ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] จัตรณัย เลือดสกุล. (2555). *การศึกษาค่าดัชนีการเดินทาง กรณีศึกษาภายในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมขนส่ง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี*
- [3] พงศธร ตันอริย์. (2550). *การพัฒนาทางเท้าเพื่อส่งเสริมการสัญจรแบบไม่ใช้เครื่องยนต์ กรณีศึกษาพื้นที่โดยรอบสถานีรถไฟฟ้ามหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาการวางผังเมืองและสภาพแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.*
- [4] พิสิทธิ์ จงไกรจักร. (2550). *แนวทางการปรับปรุงพื้นที่เพื่อการสัญจรทางเท้า บริเวณพื้นที่สีลม กรณีศึกษาพื้นที่บริเวณรอบสถานีศาลาแดง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาการวางผังเมืองและสภาพแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.*
- [5] ยุทธ ไกยวรรณ. (2555). *หลักการและการใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกสำหรับการวิจัย. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 4(1), 3-12.*
- [6] ศันสนีย์ แสงศิลา. (2555). *พฤติกรรมการเดินทางเพื่อเข้ามาใช้งานรถไฟฟ้าของชุมชนรอบสถานีรถไฟขนส่งมวลชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม. มหาวิทยาลัยศิลปากร.*
- [7] Transport Research Board (TRB). (2010). *HCM2101 Highway Capacity Manual*, Transportation Research Board, Washington, D.C, U.S.A : National Research Council.

การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรในสายการผลิตปั๊มชิ้นส่วนยานยนต์ INCREASING THE OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS IN AUTO PART PRESS MACHINE

สิรภพ บุญคง¹, ยศมงคล โนน้อย¹, ณกรณ์ ธนาโอฬาร¹, ภูษิต ทองวิเศษ¹,

ผศ.ดร.สมโชค สอนิแก้ว² และ ผศ.นพดล คุ้มอนุวงศ์²

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: siraphop.srp@mail.kmutt.ac.th¹, yotmongkon.ar@mail.kmutt.ac.th¹,

nagorn.remove@mail.kmutt.ac.th¹, phusit.kmutt@mail.kmutt.ac.th¹,

somchoke.son@kmutt.ac.th²

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรในสายการผลิตปั๊มชิ้นส่วนยานยนต์ โดยทางบริษัทมาห์เล สยาม ฟิลเตอร์ ซิสเต็มส์ มีแผนที่จะปรับปรุงการผลิตของเครื่องจักรในสายการผลิตปั๊มชิ้นส่วนยานยนต์ โดยพบว่าการปรับปรุงค่าประสิทธิภาพโดยรวมต่ำกว่าเป้าหมายที่ต้องการ ซึ่งในการปรับปรุงนี้มุ่งเน้นเพิ่มอัตราการเดินเครื่องโดยใช้เครื่องมือแผนภูมิพาเรโต และ Why-Why Analysis เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางแก้ไขของปัญหา ใช้เทคนิค SMED (Single Minute Exchange of Die) เพื่อลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องปั๊ม และใช้เทคนิค ECRS (Eliminate Combine Rearrange Simplify) กำจัดเวลาสูญเปล่าจากการรอคอย หลังจากการแก้ไขปรับปรุงการปรับตั้งเครื่องจักรแล้ว พบว่าเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรลดลงโดยเฉลี่ยจาก 51.89 นาทีเป็น 18.14 นาทีต่อครั้ง ทำให้สามารถเพิ่มอัตราการเดินเครื่องเฉลี่ยจากร้อยละ 62.1 เป็นร้อยละ 72.3 ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 58.7 เป็นร้อยละ 69.2

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร, การปรับตั้งเครื่องจักร, อัตราการเดินเครื่อง

ABSTRACT

This research aims to increase the overall efficiency of the machinery in the automotive parts stamping production line. Mahle Siam Filter Systems Co., Ltd. has a plan to improve the machinery in the production of automotive parts. Before the improvement, it was found that the overall performance improvement was lower than the desired target. The improvement focus on increasing the availability rate by using Pareto chart tools and Why-Why Analysis to analyze causes and remedy the problems, SMED (Single Minute Exchange of Die) technique to reduce the setup time of the press machine, and ECRS (Eliminate Combine Rearrange Simplify) technique to eliminate wasted waiting time. After improvement in the machine set up, it was found that the machine setup time decreased on average from 51.89 minutes to 18.14. minutes. As a result, the average

availability rate increased from 62.1% to 72.3%, and overall equipment effectiveness increased from 58.7% to 69.2%.

Keywords: Overall Equipment Effectiveness, Setup Time, Availability, Single Minute Exchange of Die

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

อุตสาหกรรมยานยนต์นั้นเป็นตลาดที่มีการแข่งขันสูงและเติบโตอย่างรวดเร็วตามวิวัฒนาการของเทคโนโลยี แม้ว่าในปัจจุบันจะมีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ต่ำลงเนื่องจากสถานการณ์ทางโรคระบาดและเศรษฐกิจ แต่ก็ยังคงเป็นอุตสาหกรรมที่มีการคาดการณ์ว่าจะขยายตัวในอนาคตอย่างรวดเร็ว รวมถึงอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศไทยที่ยังคงมีปริมาณความต้องการสินค้าที่สูงและเติบโตอย่างต่อเนื่อง จากความต้องการในตลาด OEM ที่คาดว่าจะขยายตัวตามปริมาณการผลิตยานยนต์ ส่งผลให้ผู้ประกอบการและโรงงานผลิตชิ้นส่วนมีความต้องการที่ปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร และกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และตัวชี้วัดสมรรถนะในการผลิตหนึ่งที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในการผลิตได้อย่างครอบคลุม กว้างขวาง และมีประสิทธิภาพสูง คือค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) (ศรัณย์ นวลจิน, 2551)

เนื่องด้วยในปัจจุบันบริษัท มาห์เล สยาม ฟิวเจอร์ ชิสเต็มส์ จำกัด มีนโยบายที่จะผลักดันและเตรียมความพร้อมให้ทุกสายการผลิตมีประสิทธิภาพและกำลังการผลิตมากยิ่งขึ้น เพื่อให้สามารถรับมือกับแผนการผลิตในอนาคตได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยเฉพาะชิ้นงาน Oil Warmer ซึ่งเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ของทางบริษัท ที่มีการผลิตชิ้นงานจำนวนมาก และมีรุ่นในการผลิตหลากหลาย ซึ่งตัวชิ้นงานจะประกอบไปด้วยแผ่นเพลตหลายชั้นที่ผลิตมาจากกระบวนการปั๊มขึ้นรูป โดยใช้เครื่องปั๊มขึ้นรูป ขนาด 200 ตัน รุ่น KOMATSU ในการผลิต ซึ่งในสถานการณ์ปัจจุบันของบริษัทกระบวนการผลิตนี้ยังมีค่าประสิทธิภาพโดยรวม (OEE) ไม่ถึงเป้าหมายที่กำหนด ส่งผลให้การผลิตชิ้นงานไม่เพียงพอต่อแผนการผลิตในอนาคต งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรให้สูงขึ้น โดยมุ่งเน้นการจำกัดเวลาสูญเสียที่เกิดจากปัญหาต่างๆ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อเพิ่มค่าประสิทธิภาพโดยรวมเฉลี่ยของเครื่องจักรขึ้น 10%
- (2) เพื่อลดเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนปรับตั้งเครื่องจักร

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Why-Why Analysis เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หาสาเหตุหรือปัจจัยที่เป็นต้นเหตุให้เกิดปัญหาหรือปรากฏการณ์อย่างเป็นระบบ เพื่อแก้ไขปัญหาและป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นอีก (บริษัท บิ๊กคิว เทรนนิง จำกัด, 2565)

3.2 เทคนิค ECRS (Eliminate Combine Rearrange Simplify) หลักการปรับปรุงงานเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ประกอบด้วย E-Eliminate: กำจัดงานที่ไม่จำเป็นออก C-Combine: รวมการทำงานที่คล้ายคลึงเข้าด้วยกัน R-Rearrange: เปลี่ยนลำดับขั้นตอนการทำงานใหม่ S-Simplify: การทำให้การทำงานที่จำเป็นง่ายขึ้น (นิพนธ์ บัวแก้ว, 2551)

3.3 การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE–Overall Equipment Effectiveness) เป็นตัววัดผลที่ชี้ให้เห็นว่า เครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดพิจารณาพร้อมกับปัจจัยทางการผลิตที่เกี่ยวข้องค่า OEE จะนำค่าวัดในการผลิต 3 ค่ามารวมในการคำนวณ (ทวิชย์ อวยพรกชกร, 2554) ดังนี้

$$OEE = \text{Performance Rate} \times \text{Availability Rate} \times \text{Quality Rate} \quad (1)$$

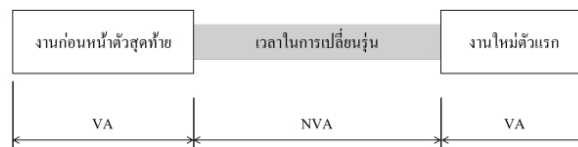
3.3.1. อัตราการเดินเครื่อง (Availability Rate, A) เป็นค่าประสิทธิภาพที่พิจารณาความพร้อมผลิต (เวลาเดินเครื่องจริงหรือ Operating Time)

3.3.2 อัตราสมรรถนะ (Performance Rate, P) เป็นค่าประสิทธิภาพที่พิจารณาจากจำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้เทียบกับขีดความสามารถในการผลิตตาม Specification ของเครื่องจักร

3.3.3 อัตราคุณภาพ (Quality Rate, Q) เป็นค่าประสิทธิภาพที่พิจารณาจากจำนวนชิ้นงานที่ได้จากการผลิตโดยพิจารณาจากชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบว่าเป็นชิ้นงานที่ใช้ได้เทียบกับจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ผลิตได้

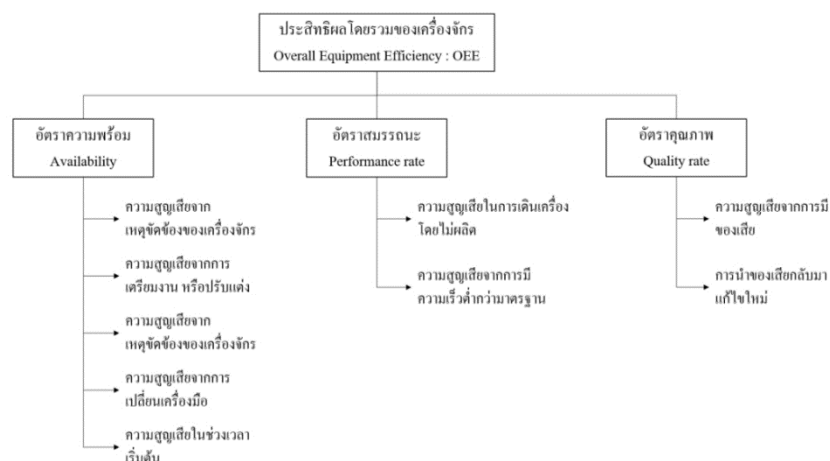
3.4 หลักในการปรับปรุงเพื่อลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร

SMED (Single Minute Exchange of Die) คือ หลักการในการปรับปรุงการปรับตั้งเครื่องจักรให้ใช้เวลาในการปรับตั้งเพียงตัวเลขเดียวในหน่วยนาที (ไม่เกิน 10 นาที) โดยเป็นหลักการที่มุ่งเน้นการปรับปรุงและการพัฒนาการปรับตั้งทั้งในกิจกรรมการผลิต (Internal Setup) และการปรับตั้งนอกกิจกรรมการผลิต (External Setup) (บุญสิน นาคอนดู, 2565)



รูปที่ 3.4 หลักในการปรับปรุงเพื่อลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร

3.5 การปรับปรุง OEE ในการปรับปรุง OEE นั้นควรทำการปรับปรุงตัวประกอบที่มีค่าต่ำที่สุดก่อน เพราะมีผลมากที่สุดในการ ทำให้ OEE มีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนั้น ยังทำได้ง่ายกว่า การทำให้ตัวแปรที่มีค่าสูงอยู่แล้วปรับให้สูงขึ้นกว่าเดิม โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการพิจารณาเครื่องจักรกับ OEE ดังรูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการพิจารณาเครื่องจักรกับ OEE (ไพฑูรย์ จักรรุ่งโรจน์, 2553)



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการพิจารณาเครื่องจักรกับ OEE

4. วิจัยดำเนินการวิจัย

4.1 ข้อมูลการทำงานปัจจุบันของสายการผลิต

จากการเก็บข้อมูลการทำงานปัจจุบัน (เดือนเมษายน 2565) ของสายการผลิตบ่มชิ้นรูปขึ้นส่วนยานยนต์ของเครื่องจักรบ่มชิ้นรูป ขนาด 200 ตัน จำนวน 2 เครื่องสามารถนำข้อมูลเวลาสูญเสียและเวลาในการผลิตของเครื่องจักรมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพโดยรวมได้ดังนี้ (เรื่องลักษณะ บุตรเพชร และคณะ, 2560)

ตารางที่ 4.1 (ก) รายละเอียดเวลาสูญเสีย (Downtime) ของเครื่องจักรในเดือนเมษายน 2565

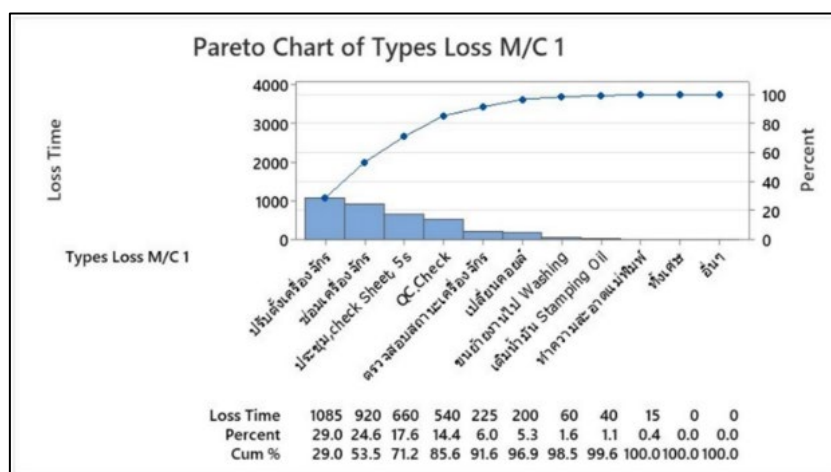
ลำดับ	กิจกรรม	เวลาสูญเสีย			
		MC1		MC2	
		เวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์	เวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์
1	ประชุม, 5ส, Check Sheet	660	17.62	400	14.79
2	ตรวจสอบสถานะเครื่องจักร	225	6.01	150	5.55
3	ปรับตั้งเครื่องจักร	1085	28.97	755	27.91
4	ทำความสะอาดแม่พิมพ์	15	0.40	95	3.51
5	เปลี่ยนคอยล์	200	5.34	195	7.21
6	เติมน้ำมัน	40	1.07	40	1.48
7	ทิ้งเศษ	-	-	30	1.11
8	ขนย้ายงานไปล้าง	60	1.60	40	1.48
9	QC Check	540	14.42	440	16.27
10	เวลาซ่อมเครื่องจักร	920	24.57	140	5.18
11	อื่นๆ	-	-	420	15.53
รวม		3,745 นาที		2,705 นาที	

ตารางที่ 4.1 (ข) อัตราการเดินเครื่อง (A) ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (P) อัตราคุณภาพ (Q) และประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรเฉลี่ยเดือนเมษายน 2565 ของเครื่องจักรที่ 1 และ 2 ก่อนปรับปรุง

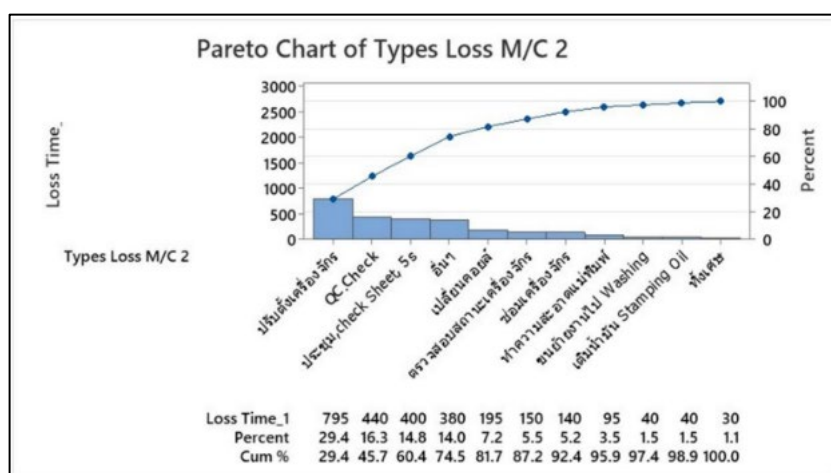
	MC1	MC2
อัตราการเดินเครื่อง (Availability Rate, A) $\text{อัตราการเดินเครื่อง} = \frac{\text{เวลาเดินเครื่อง}}{\text{เวลารับภาระงาน}}$	66.9%	57.3%
อัตราสมรรถนะ (Performance Rate, P) $\text{อัตราสมรรถนะ} = \frac{\text{เวลามาตรฐาน} \times \text{ชิ้นงานที่ผลิตได้}}{\text{เวลาเดินเครื่อง}}$	95.5%	93.9%
อัตราคุณภาพ (Quality Rate, Q) $\text{อัตราคุณภาพ} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมด} - \text{จำนวนชิ้นงานเสียและซ่อม}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมด}}$	99.8%	99.5%
ค่าประสิทธิภาพโดยรวม (Overall Equipment Effectiveness, OEE) $\text{OEE} = A \times P \times Q$	63.8%	53.6%

4.2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภูมิพาเรโต

การประเมินเวลาสูญเสียจะพิจารณาจากเวลาสูญเสียมากที่สุดที่เกิดจากจำนวนกิจกรรมเพียงไม่กี่กิจกรรมตามกฎ 80:20 ในหลักการของพาเรโต โดยนำข้อมูลเวลาสูญเสียในเดือนเมษายน ดังที่ได้แจกแจงไว้ในตารางที่ 4.1 (ก) มาจัดทำแผนภูมิพาเรโตโดยการจำแนกสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อจัดลำดับความสำคัญสาเหตุของกิจกรรมที่ทำให้เกิดความสูญเสียล่าช้าที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร โดยสามารถนำข้อมูลมาสร้างเป็นแผนภูมิพาเรโตได้ดังนี้



รูปที่ 4.2 (ก) แผนภาพพาเรโตแสดงกิจกรรมหลักที่ทำให้เครื่องจักรเกิดเวลาสูญเสียของเครื่องจักรที่ 1



รูปที่ 4.2 (ข) แผนภาพพาเรโตแสดงกิจกรรมหลักที่ทำให้เครื่องจักรเกิดเวลาสูญเสียของเครื่องจักรที่ 2

จากแผนภูมิพาเรโตของเครื่องจักรทั้งสองเครื่อง ดังรูปที่ 4.2 (ก) และ 4.2 (ข) จะเห็นได้ว่าการปรับตั้งเครื่องจักรนั้น ทำให้เกิดเวลาสูญเสียมากที่สุดรวม 1,085 และ 755 นาที หรือคิดเป็น 29.60% และ 27.91% ของเวลาสูญเสียทั้งหมด ตามลำดับ รองลงมาเป็นกิจกรรมการประชุมและทำ 5s ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ตั้งใจหยุด หรือหยุดตามแผน จึงไม่จำเป็นต้องมีการปรับลดเวลา ส่วนเวลาสูญเสียที่เกิดจากการซ่อมเครื่องจักรนั้นไม่แน่นอน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การปรับตั้งเครื่องจักรนั้นเป็นกิจกรรมที่ทำให้เกิดเวลาสูญเสียมากที่สุดในกระบวนการผลิต

และสามารถนำมาแจกแจงเป็นขั้นตอนย่อยที่เป็นปัญหาเพื่อวิเคราะห์สาเหตุและหาแนวทางแก้ไขด้วย Why-Why Analysis ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์หาสาเหตุของการปรับตั้งเครื่องจักรนาน

ปัญหา	Why 1	Why 2	Why 3	แนวทางแก้ไข
ติดตั้งแม่พิมพ์นาน	ภาระงานของพนักงาน ต่างกันมากเกินไป	ไม่มีการแบ่งหน้าที่ ที่ชัดเจน	ไม่มีเอกสารขั้นตอน การทำงานระบุ (WI)	จัดทำเอกสารขั้นตอน การทำงาน (WI)
	ทำความสะอาดแม่พิมพ์ ก่อนทำการผลิต	มีเศษชิ้นงานติดที่ แม่พิมพ์		ทำความสะอาดและ บำรุงรักษาก่อนจัดเก็บ
ขนย้ายแม่พิมพ์และ คอยล์นาน	พื้นที่จัดเก็บแม่พิมพ์อยู่ ไกลและคอยล์จาก เครื่องจักร	ไม่มีพื้นที่จัดเก็บแม่พิมพ์ และคอยล์บริเวณ เครื่องจักร	ไม่มีการกำหนด จุดวางแม่พิมพ์ และคอยล์	เพิ่มจุดวางแม่พิมพ์และ คอยล์ชั่วคราวก่อนทำ การเปลี่ยนแม่พิมพ์ บริเวณเครื่องจักรและ จัดทำ Visual Board
	ค้นหาแม่พิมพ์นาน	แม่พิมพ์มีจำนวนมาก และป้ายชี้บ่งอ่านได้ไม่ ชัดเจน	ป้ายชี้บ่งมีขนาดเล็ก	จัดทำป้ายที่สามารถ มองเห็นได้ชัดเจนจาก ระยะไกล
	กะตำแหน่งจุดจุดเครื่องบิน ได้ยาก	ไม่มีระยะกำหนดใน การยกแม่พิมพ์ OK		
QC Check	เครื่องจักรหยุดทำงานเพื่อ นำชิ้นงานไปตรวจสอบ	พนักงานประจำเครื่อง นำชิ้นงานไปตรวจสอบ	ต้องผ่านการอนุมัติ จาก QC เพื่อทำ การผลิตต่อ	กำหนดตำแหน่งที่ สำคัญในการวัดและ ให้พนักงานบันทึกเอง

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างการทำ Single Minute Exchange of Die, SMED ของขั้นตอนการทำงานก่อนปรับปรุง

พนักงานปรับตั้ง				พนักงานประจำเครื่อง			
กิจกรรม	รายละเอียด	เวลา (วินาที)		กิจกรรม	รายละเอียด	เวลา (วินาที)	
		In	Ex			In	Ex
A	ตัด MATERIAL	3		H	ถอด CLAMP ด้านบนออก	9	
B	ดึง STRIPPER ออก	5		K	ถอด CLAMP ด้านล่างออก	9	
C	บันทึกข้อมูลลงแผ่น STRIPPER	5		M	ยกแขนรองแม่พิมพ์ขึ้น		25
...	...	...	...	...	...	...	...
รวม		2569	25	รวม		2134	70

4.3 การดำเนินการปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน

หลังจากได้แนวทางแก้ไขปัญหามาจากการวิเคราะห์ด้วย Why-Why Analysis แล้วจึงได้ทำการปรับปรุงกิจกรรมต่างๆ ตามที่ได้แจกแจงไว้ให้เร็วขึ้นซึ่งเป็นขั้นตอนที่ 3 ของหลักการ SMED รวมถึงนำหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้ด้วยการดำเนินการต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.3.1 การติดตั้งแม่พิมพ์

จากการวิเคราะห์ความสูญเสียระหว่างการปรับตั้งเครื่องจักรพบว่าการติดตั้งแม่พิมพ์นั้น ใช้เวลานานซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ส่งผลให้การปรับตั้งเครื่องจักรใช้เวลานานไปด้วย โดยพบว่ามีสาเหตุได้แก่

1) พนักงานไม่ได้ทำตามหน้าที่และอยู่ในตำแหน่งของตัวเองเนื่องจากไม่มีการแบ่งหน้าที่ของพนักงาน

2) มีเศษชิ้นงานติดค้างอยู่ที่แม่พิมพ์เนื่องจากไม่ได้มีการทำความสะอาดและบำรุงรักษาก่อนนำไปจัดเก็บซึ่งกลุ่มผู้วิจัยได้ทำการดำเนินการปรับปรุงลดเวลาสูญเสียตามหลักการของ SMED และการกำจัด (Eliminate) การรอคอย โดยการเปลี่ยนกิจกรรมทำความสะอาดแม่พิมพ์และเตรียมคอยล์สำหรับผลิตต่อเนื่องต่อไป

4.3.2 การขนย้ายแม่พิมพ์และคอยล์

จากพื้นที่จัดเก็บแม่พิมพ์ นั้นอยู่ในตำแหน่งที่ไกลจากเครื่องจักรและยังทำการค้นหาแม่พิมพ์รุ่นที่ต้องการนำมาผลิตได้ยากเพราะ ป้ายชี้บ่งรายละเอียดของแม่พิมพ์มีขนาดเล็กและมองเห็นได้ไม่ชัดเจน อีกทั้งมีชั้นวางแม่พิมพ์หลายจุดทำให้ต้องใช้เวลาในการค้นหาและต้องทำการขนย้ายหลายรอบ ทำให้เกิดเวลารอคอยอีกทั้งยังสามารถจะตำแหน่งจุดจอดครนได้ยากเนื่องจากความไม่ชำนาญของพนักงานและไม่มีระยะกำหนดในการยกแม่พิมพ์ซึ่งทางกลุ่มผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงและหาแนวทางการ แก้ไขไว้ดังนี้

1) เพิ่มจุดวางแม่พิมพ์ชั่วคราวก่อนทำการเปลี่ยนแม่พิมพ์บริเวณเครื่องจักร

2) เพิ่มจุดวางคอยล์สำหรับรอการผลิตเนื่องจากพนักงานต้องเสียเวลาไปนำคอยล์

4.3.3 จัดทำ Visual board ให้พนักงานเขียนรุ่นที่จะผลิตในวันนั้นๆ และตรวจสอบสถานะความพร้อมของแม่พิมพ์และคอยล์ที่ต้องเตรียมขนย้ายมาผลิต

4.3.4 จัดทำป้ายบ่งชี้รุ่นของแม่พิมพ์ ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถมองเห็นได้จากระยะไกลเป็นการทำให้พนักงานทำงานได้ง่ายขึ้น (Simplify) ซึ่งมีผลช่วยลดเวลาในการดำเนินการขนย้ายได้

4.3.5 ทำการปรับปรุงสถานที่และกิจกรรมต่างๆ ในสายการผลิต จัดทำเอกสารขั้นตอนการทำงาน (Work Instruction) ใหม่ที่มีการแบ่งหน้าที่ของพนักงานแต่ละคนอย่างชัดเจน และปรับปรุงขั้นตอนการทำงานแล้วโดยแยกกิจกรรมในออกจากกิจกรรมภายนอกให้ชัดเจนรวมทั้งการจัดลำดับขั้นตอนการทำงานใหม่ (Rearrange) เพื่อกระจายภาระงานของพนักงานให้มีความสมดุลมากขึ้น (ธานี อ่วมอ้อ, 2547)

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการปรับปรุงกระบวนการขั้นตอนการทำงานทำให้ได้ขั้นตอนการทำงานใหม่ ซึ่งแสดงก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ดังตารางที่ 4.5 (ก) และตารางที่ 4.5 (ข)

ตารางที่ 4.5 (ก) เวลาในการปรับตั้งภายในและภายนอกกิจกรรมการผลิตหลังการปรับปรุง

ลำดับ	ประเภท	Internal	External	รวม
1	พนักงานปรับตั้ง	930	250	1180
%		78.81	21.19	
2	พนักงานประจำเครื่อง	618	1265	1883
%		32.82	67.18	

ตารางที่ 4.5 (ข) เปรียบเทียบอัตราการเดินเครื่อง (A) ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (P) อัตราคุณภาพ (Q) และประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) ก่อนและหลังการปรับปรุง

รายการ	เครื่องจักรที่ 1		เครื่องจักรที่ 2	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
	เมษายน 65	พฤษภาคม 65	เมษายน 65	พฤษภาคม 65
%A	66.9%	73.2%	57.3%	71.4%
%P	95.5%	95.8%	93.9%	95.8%
%Q	99.8%	99.9%	99.5%	99.9%
%OEE	63.8%	70.1%	53.6%	68.3%

จากตารางที่ 4.5 (ก) และตารางที่ 4.5 (ข) แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุง กระบวนการขั้นตอนการทำงานรวมในขั้นตอนทำให้ %OEE ของ MC1 เพิ่มขึ้นจาก 63.8% เป็น 70.1% และ %OEE ของ MC2 เพิ่มขึ้นจาก 53.6% เป็น 68.3%

5. ผลการวิจัย

จากการประยุกต์ใช้หลักการ ECRS มาปรับปรุงการทำงานพบว่าหลังการปรับปรุงตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 ใช้เวลาการทำงานที่ลดลง เปรียบเทียบเวลาการทำงานที่ลดลงก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรก่อนและหลังการปรับปรุง

กิจกรรม	เวลาปรับตั้งเครื่องจักร (วินาที)					
	ก่อน		หลัง		เปลี่ยนไป	
					IN	EX
	Internal	External	Internal	External	ลด	เพิ่ม
พนักงานปรับตั้ง	2569	25	930	250	1639	225
พนักงานประจำเครื่อง	2134	70	617	1265	1516	1195
เวลาปรับตั้งทั้งหมด	2524		1180		1344	

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าเวลาก่อนการปรับปรุงของพนักงานปรับตั้งและพนักงานประจำเครื่องมีเวลาที่เป็น งานใน มากและพนักงานปรับตั้งมีการะงานที่มากกว่าทำให้เกิดความสูญเสีย แต่เมื่อหลังทำการปรับปรุงแล้วพบว่าเวลาที่ เป็น งานใน จะลดลงโดยมีการแบ่งแยกกิจกรรมไปเป็น งานนอก ส่งผลให้มีเวลาความสูญเสียที่ลดลงทำให้ค่าประสิทธิผลโดยรวมเพิ่มขึ้น

6. อภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายการปรับปรุง คือ ต้องการให้ประสิทธิภาพโดยรวมเฉลี่ย ของเครื่องจักรในสายการผลิต บั้มขึ้นรูปเพิ่มสูงขึ้น 10% ในการเริ่มโครงการวิศวกรรมนั้น ได้มีการนำหลักการ PDCA มาประยุกต์ใช้เพื่อในการวางแผนการปรับปรุงและดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และมีการวิเคราะห์ข้อมูลเวลาสูญเสียด้วยหลักการของพาเรโตสามารถระบุได้ว่าความสูญเสียในกระบวนการผลิตเกิดมาจากการใช้เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรมากที่สุด จึงมีแนวทางการดำเนินงานมุ่งเน้นไปยังการปรับปรุงอัตราการเดินเครื่องของเครื่องจักร (Availability) เนื่องจากเป็นดัชนีที่มีค่าต่ำที่สุดและมีผลต่อค่าประสิทธิภาพโดยรวมมากที่สุดอันเกิดมาจากเวลาสูญเสียที่ใช้ไปกับการปรับตั้งเครื่องจักร ดำเนินการหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาและแนวทางแก้ไขด้วย Why-Why Analysis จากนั้น จึงประยุกต์ใช้หลักการ SMED (Single Minute Exchange of Die) และ ECRS ในการแบ่งกิจกรรมที่ทำภายใน และภายนอกการผลิตออกจากกัน แล้วทำการปรับปรุงสายการผลิตและขั้นตอนการทำงานตามแนวทางที่ได้วิเคราะห์ไว้ ทำให้สามารถลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรโดยเฉลี่ยทั้ง 2 เครื่องได้จาก 51.89 นาที ลดลงเหลือ 33.74 นาทีโดยจะเห็นได้ว่า เวลาเฉลี่ยในการปรับตั้งเครื่องจักรนั้น กิจกรรมที่ทำการผลิตใช้เวลาลดลงทั้งหมด 18.14 นาทีและเวลาที่ใช้ทำกิจกรรมนอกการผลิตเพิ่มขึ้น 23 นาทีส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมเฉลี่ยทั้ง 2 เครื่องเพิ่มขึ้นจากเดิม 58.7% เป็น 69.2% จากตารางที่ 4.5 (ข) นั่นคือเพิ่มขึ้น 10.5% คิดเป็นมูลค่าที่ได้กลับมาจากความสูญเสียได้เท่ากับ 436,800 บาทต่อปีซึ่งเป็นค่าที่คำนวณมาจากผลประกอบารของทางบริษัทมาห์เล่ สยาม ฟिलเตอร์ ซิสเต็มส์ จำกัด ในผลประกอบการในปีที่ พ.ศ. 2564 ทำให้งานวิจัยนี้เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งเอาไว้

7. ข้อเสนอแนะ

เวลาสูญเสียที่เกิดจากการซ่อมเครื่องจักรของเครื่องบั้มขึ้นรูปชิ้นส่วนยานยนต์และเครื่อง Stacking ในปัจจุบันมีส่วนของการเกิดที่ค่อนข้างมาก และมีสาเหตุของอาการชำรุดที่ไม่เหมือนกันส่งผลให้บางกรณีนั้นพนักงานหน้าเครื่องสามารถทำการแก้ไขได้เองในหน้างาน และสามารถเดินเครื่องจักรผลิตต่อได้ทันที แต่บางกรณีต้องมีการแจ้งไปที่แผนกซ่อมบำรุงให้มาทำการตรวจสอบและแก้ไข ทำให้สูญเสียเวลาในการแก้ไขเครื่องจักรมาก จึงจำเป็นต้องมีแผนการบำรุงรักษาที่เป็นมาตรฐาน (PM)

8. กิตติกรรมประกาศ

โครงการงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากคุณปิยศักดิ์ ช่วงถึก ผู้ให้คำแนะนำโครงการงานวิศวกรรม แผนก PRODUCTION ENGINEER และผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่ให้คำปรึกษาแนะนำแก้ไขและให้แนวทางในการศึกษาค้นคว้าข้อมูลการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร จากบริษัท มาห์เล่ สยาม ฟिलเตอร์ ซิสเต็มส์ จำกัด และภาควิชาเครื่องมือและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ปรึกษาโครงการงานวิจัยที่ร่วมให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการงานวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณบริษัท มาห์เล่ สยาม ฟिलเตอร์ซิสเต็มส์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนในด้านข้อมูล คำแนะนำ ต่างๆ ตลอดจนโครงการงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

ทวีชัย อวยพรกชกร. (2554). Spy OEE: กระบวนการหาค่าประสิทธิภาพโดยรวม (OEE) ด้วยพฤติกรรมเวลา.

วารสารร่วมพฤษ มหาวิทยาลัยเกริก, 30(1), 5-8.

ธานี อ่วมอ้อ. (2547). การบำรุงรักษาที่ผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ บริษัท
พิศบลูส์.

นิพนธ์ บัวแก้ว. (2551). รู้จักระบบการผลิตแบบลีน (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริม
เทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 57-62.

บริษัท บิ๊กคิว เทรนนิง จำกัด. (2565). หลักสูตรการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา Root Cause Analysis (RCA)

ด้วย Why Why Analysis & Cause and Effect Diagram[Online]. ค้นเมื่อ 29 พฤษภาคม 2565,

จาก: <https://www.bigqtraining.net/why-why-analysis-cause-and-effect-diagram/>

บุญสิน นาดอนอู่. (2565). การลดเวลาในการปรับตั้งแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมชิ้นส่วน
ยานยนต์. โครงการวิศวกรรมปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
มหาวิทยาลัยบูรพา, 4-6.

ไพฑูรย์ จักรรุ่งโรจน์. (2553). การปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรสายการผลิตปั๊มขึ้นรูป ชิ้นส่วน
รถยนต์. โครงการวิศวกรรมปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 10-15.

เรืองลักษณ์ บุตรเพชร และคณะ. (2560). เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด [Online]. ค้นเมื่อ 29 เมษายน 2565,

จาก: http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/02_13_-7-.pdf

ศรัณย์ นวลจัน. (2551). การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์. โครงการวิศวกรรมปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี, 15.

กำลังอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้หินพัมมิสเป็นวัสดุมวลรวม
ULTIMATE STRENGTH OF LIGHT-WEIGHT CONCRETE USING
PUMICE AS AGGREGATES

ปฐมทัศน์ โพธิ์เงิน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

pathomtas.po@spu.ac.th

คมวุธ วิศวะไพศาล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

komwut.wi@spu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้หินพัมมิสเป็นมวลรวมหยาบ ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในงานนี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 หินพัมมิส น้ำ สารผสมเพิ่มชนิดลดน้ำพิเศษ และสารเร่งการก่อตัว ด้วยการควบคุมสัดส่วนสารผสมเพิ่มและสารเร่งการก่อตัวให้คงที่ กำลังอัดประลัยและความหนาแน่นของคอนกรีตจะถูกทดสอบภายใต้การแปรผันสัดส่วนซีเมนต์ต่อหินพัมมิส และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ผลการวิจัยพบว่า (1) อัตราส่วนซีเมนต์ต่อหินพัมมิสที่ 1 ต่อ 1.1 ให้ค่ากำลังอัดประลัยสูงสุด และ (2) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 1 ต่อ 1.1 ให้ค่ากำลังอัดประลัยสูงสุด

คำสำคัญ: คอนกรีตมวลเบา หินพัมมิส กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ABSTRACT

The main objective of this research is to determine the ultimate compressive strength of light-weight concrete using pumice as coarse aggregates. Concrete mixtures in this study included Type I Portland Cement, pumice, water, water-reducing and retarding admixtures. By keeping proportions of the water-reducing and retarding admixtures constant, ultimate compressive strengths and density of concrete samples were tested by varying cement-to-pumice and water-to-cement ratios. Experiment results shows that concrete samples with cement-to-pumice proportion at 1 to 1.1 give highest ultimate compressive strengths and (2) concrete samples with 0.55 water-to-cement ratio give highest ultimate compressive strengths as well.

Keywords: Light-Weight Concrete, Pumice, Compressive Strength of Concrete

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ประเทศไทยมีการพัฒนาสาธารณูปโภคพื้นฐานเพิ่มมากขึ้นทุกปี ซึ่งทำให้ความต้องการคอนกรีตสูงขึ้นไปด้วย การผลิตคอนกรีตในปัจจุบันได้มีความเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว โดยมีทั้งการพัฒนาในด้านการออกแบบวิธีการก่อสร้าง รวมทั้งวัสดุที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้าง รวมไปถึงงานวิจัย และการพัฒนาวัสดุผสมคอนกรีตเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านต่างๆ ของคอนกรีตให้ดีขึ้น ในขณะที่วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตซึ่งมีอยู่ตามธรรมชาติมีปริมาณจำกัด ดังนั้นการนำวัสดุที่หลากหลายมาใช้ทดแทนวัสดุเดิมจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถชะลอการใช้วัสดุจากธรรมชาติลงได้ ในปัจจุบันมีการพัฒนาและการเลือกสรรวัตถุดิบที่จะนำมาใช้งานคอนกรีตที่มีมวลเบามากขึ้น ซึ่งพบว่าวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น หินพัมมิส มีคุณสมบัติที่เหมาะสมบางประการที่น่าสนใจ เช่น มีน้ำหนักเบาและเป็นฉนวนความร้อน พัมมิสเป็นหินที่มีเส้นใย และช่องว่างจำนวนมากซึ่งเกิดจากการถูกรดขณะที่เป็นของเหลว และเคลื่อนตัวผ่านภูเขาไฟ ซึ่งช่องว่างนั้นก็คือรูพรุนของโพรงก๊าซต่างๆ และไอน้ำที่หนีหายไป โดยส่วนที่เป็นเส้นใยก็คือเนื้อหินซึ่งประกอบขึ้นด้วยแก้วภูเขาไฟที่มีรูเป็นท่อขนาดเล็กอยู่ภายในเนื้อวัสดุที่พูนทำให้มีการนำความร้อนต่ำ ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนสูงกว่าคอนกรีต หินพัมมิสเป็นวัตถุดิบที่หาได้ภายในประเทศ มีการใช้งานของหินพัมมิสในอุตสาหกรรมฟอกเสื้อผ้า และกางเกงยีนส์ อุตสาหกรรมเพาะปลูก และไม้ดอก ไม้ประดับ ใช้เป็นวัสดุสำหรับเตาอย่างเตาเผาหรือบาร์บีคิว แต่ยังไม่มีการนำมาใช้ในวงการก่อสร้างอย่างแพร่หลาย ด้วยคุณสมบัติอันพึงประสงค์ที่กล่าวมาแล้วนั้น ทางผู้วิจัยจึงมุ่งศึกษาความเป็นไปได้ในการนำหินพัมมิส มาพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาในการวิจัยครั้งนี้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมการใช้หินพัมมิสที่เหมาะสมสำหรับนำมาทำคอนกรีตมวลเบา
- 2.2 เพื่อศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพคอนกรีตมวลเบาในการรับกำลังอัดประลัย

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยมและเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดแทนอิฐมวลเบา อิฐบล็อก และแผ่นพื้นสำเร็จรูปที่เป็นวัสดุก่อสร้างแบบดั้งเดิม คอนกรีตมวลเบามีส่วนผสมที่ทำให้มีฟองอากาศเล็กๆ เป็นรูพรุนไม่ต่อเนื่องในเนื้อวัสดุถึงร้อยละ 75 ทำให้มีน้ำหนักเบา ฟองอากาศเหล่านี้เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ทำให้ป้องกันความร้อนได้มากกว่าวัสดุก่อสร้างชนิดอื่นๆ

เอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตมวลเบาที่ผ่านมา พบว่ามีผู้วิจัยพยายามศึกษาค้นคว้า นำวัสดุธรรมชาติ วัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติ และวัสดุเหลือทิ้งทางด้านอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในงานก่อสร้างอาคารอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการใช้หินภูเขาไฟเป็นส่วนผสมในคอนกรีตมวลเบา อย่างไรก็ตามงานวิจัยเรื่องการใช้หินพัมมิสในงานคอนกรีตมวลเบายังมีจำนวนน้อยมาก ตัวอย่างเช่น ดนุพล ตันนโยภาส และวีรศักดิ์ วรรณโสภะ (2545) ทำการศึกษาผลกระทบของมวลรวมหินพัมมิสที่มีต่อสมบัติของงานก่อฉาบคอนกรีต ดนุพล ตันนโยภาส และสุรเดช อุดระชล (2551) ทำการศึกษาอิทธิพลของเส้นใยเซลลูโลสที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตมวลเบาน้ำหนักเบา หินพัมมิส อบีเต็ง ฮาวา และดนุพล ตันนโยภาส (2551) ศึกษาอิทธิพลของเส้นใยแก้วที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตมวลรวมพัมมิส การวิจัยดังกล่าวข้างต้นยังขาดจุดเน้นบางประการในการเพิ่มกำลังของคอนกรีตมวลเบาเพื่อรับ

แรงอัดในเนื้อคอนกรีตโดยตรง อาทิเช่น ขนาดของหินปัมมิส สารผสมเพิ่ม และสารเร่งการก่อตัว ซึ่งเป็นประเด็นที่จะนำมาพัฒนาต่อยอดในการศึกษานี้ให้สอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรมก่อสร้างในปัจจุบันได้

3.2 ขอบเขตในการวิจัย

3.2.1 ศึกษาขนาดที่เหมาะสมของหินปัมมิสที่นำมาผสมเป็นคอนกรีตมวลเบา ให้มีประสิทธิภาพรับกำลังอัดประลัยสูงสุด

3.2.2 ทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของหินปัมมิสในอัตราส่วนคละที่แตกต่างกัน

3.2.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยและอัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 หินปัมมิส น้ำ น้ำยาผสมเพิ่มชนิดลดน้ำพิเศษ และสารเร่งการก่อตัว

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 วิธีดำเนินการวิจัย

4.1.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา

4.1.2 เตรียมหินปัมมิสเบอร์ 02 (ขนาด 1 cm) และหินปัมมิสเบอร์ 01 (ขนาด 0.5 cm) นำมาผสมปูนซีเมนต์สด ให้ปูนซีเมนต์เคลือบผิวของหินปัมมิส

4.1.3 เตรียมอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาตามที่กำหนด โดยมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 หินปัมมิส น้ำประปา สารผสมเพิ่มชนิดลดน้ำพิเศษ (Type F) และสารเร่งการก่อตัว (Type C) นำมาหล่อเป็นก้อนทรงลูกบาศก์มาตรฐาน แล้วทำการบ่มแห้งในแบบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.1.4 นำก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่หล่อเตรียมไว้มาทดสอบหาค่าความหนาแน่นและทดสอบกำลังอัดประลัยที่ 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM C495

4.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม

ส่วนผสมที่ใช้ในการวิจัยการใช้หินปัมมิสเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพคอนกรีตมวลเบานี้จะใช้ส่วนผสม 5 ชนิดคือ (1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (2) หินปัมมิส (3) น้ำ (4) สารผสมเพิ่มชนิดลดน้ำพิเศษ และ (5) สารเร่งการก่อตัว ผู้วิจัยจะแบ่งตัวอย่างทดสอบเป็น 3 ชุด ในแต่ละชุดมี 4 mix design ในแต่ละ mix design มี 2 ตัวอย่างโดยแปรผันสัดส่วนโดยน้ำหนักของหินปัมมิสที่ 1.00, 1.10, 1.20 และ 1.30 และแปรผันอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water Cement Ratio, W/C) ที่ 0.5, 0.55 และ 0.6 ดังตารางที่ 1 และคงอัตราส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ สารผสมเพิ่มชนิดลดน้ำพิเศษ และสารเร่งการก่อตัวในคอนกรีตให้คงที่ในอัตราส่วน 1 : 0.07 : 0.15 ตามลำดับ อัตราส่วนของสารผสมเพิ่มนี้เป็นไปตามมาตรฐานการใช้งานของผู้ผลิต

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา

ส่วนผสม	ตัวอย่างที่	อัตราส่วนผสม				
		ซีเมนต์	หินฟิมมิส	น้ำ (W/C)	สารผสมเพิ่ม ชนิดลดน้ำพิเศษ	สารเร่ง การก่อตัว
ชุดที่ 1	1-1	1.00	1.00	0.50	0.07	0.15
	1-2	1.00	1.10	0.50	0.07	0.15
	1-3	1.00	1.20	0.50	0.07	0.15
	1-4	1.00	1.30	0.50	0.07	0.15
ชุดที่ 2	2-1	1.00	1.00	0.55	0.07	0.15
	2-2	1.00	1.10	0.55	0.07	0.15
	2-3	1.00	1.20	0.55	0.07	0.15
	2-4	1.00	1.30	0.55	0.07	0.15
ชุดที่ 3	3-1	1.00	1.00	0.60	0.07	0.15
	3-2	1.00	1.10	0.60	0.07	0.15
	3-3	1.00	1.20	0.60	0.07	0.15
	3-4	1.00	1.30	0.60	0.07	0.15

5. ผลการวิจัย

การทดสอบการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำมาผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยการแปรผันสัดส่วน หินฟิมมิส และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 2 สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของน้ำที่แตกต่างกัน พบว่าชุดตัวอย่างจะให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตสูงที่สุดเมื่อมีค่า W/C เท่ากับ 0.55 (ตัวอย่างชุดที่ 2) โดยมีค่าเฉลี่ยของกำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 67.47 kg/cm^2 ตามด้วยชุดตัวอย่างที่มีค่า W/C เท่ากับ 0.50 และ 0.60 ที่ให้ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 48.52 kg/cm^2 และ 43.43 kg/cm^2 ตามลำดับ

5.2 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของน้ำที่แตกต่างกัน พบว่าชุดตัวอย่างจะให้ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตต่ำที่สุดเมื่อมีค่า W/C เท่ากับ 0.50 โดยมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 987 kg/m^3 ตามด้วยชุดตัวอย่างที่มีค่า W/C เท่ากับ 0.60 และ 0.55 ที่ให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 992 kg/m^3 และ $1,139 \text{ kg/m}^3$ ตามลำดับ

5.3 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างในชุดเดียวกัน ที่มีการควบคุมอัตราส่วนของน้ำ (W/C) ให้คงที่ พบว่าตัวอย่างที่มีสัดส่วนของซีเมนต์ต่อหินฟิมมิส 1 ต่อ 1.1 ให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตสูงที่สุด ส่วนตัวอย่างที่มีสัดส่วนของซีเมนต์ต่อหินฟิมมิส 1 ต่อ 1.3 ให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตต่ำที่สุด

ตารางที่ 2 กำลังอัดประลัยและความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมหินพัมมิส

ส่วนผสม	ตัวอย่างที่	กำลังอัดประลัย (kg/cm ²)	ความหนาแน่น (kg/m ³)
ชุดที่ 1	1-1	43.67	963
	1-2	58.77	1059
	1-3	47.89	985
	1-4	43.78	940
		เฉลี่ย 48.52	เฉลี่ย 987
ชุดที่ 2	2-1	63.08	1104
	2-2	77.45	1237
	2-3	67.89	1141
	2-4	61.45	1074
		เฉลี่ย 67.47	เฉลี่ย 1139
ชุดที่ 3	3-1	43.91	1000
	3-2	52.23	1074
	3-3	43.11	993
	3-4	34.45	904
		เฉลี่ย 43.43	เฉลี่ย 992

6. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อน้ำ (W/C) 0.55 ให้ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตสูงที่สุด เมื่อพิจารณาตามการใช้งานจริง คอนกรีตมวลเบาควรรับน้ำหนักได้ประมาณ 30 -50 kg/cm² ดังนั้นไม่ว่าจะใช้สัดส่วนซีเมนต์ต่อหินพัมมิสเป็นเท่าใด หากใช้ W/C ที่ระดับ 0.55 จะทำให้ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตผ่านเกณฑ์การใช้ได้ และหากพิจารณาค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตตามสัดส่วนซีเมนต์ต่อหินพัมมิส พบว่าค่าสัดส่วนที่ 1 ต่อ 1.1 ให้ค่ากำลังอัดประลัยสูงที่สุด ในประเด็นนี้สรุปได้ว่าหากควบคุมอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อน้ำที่ 0.55 และสัดส่วนซีเมนต์ต่อหินพัมมิสที่ 1 ต่อ 1.1 ให้ค่ากำลังอัดประลัยสูงที่สุด ดังตัวอย่างชุดที่ 2-2 (77.45 kg/cm²)

ผลการวิจัยยังให้ข้อสังเกตว่าชุดตัวอย่างที่มีค่ากำลังอัดประลัยสูงจะมีค่าความหนาแน่นสูงตามไปด้วย ทั้งนี้พบว่าความหนาแน่นของคอนกรีตที่มีสัดส่วนซีเมนต์ต่อหินพัมมิส ที่ 1 ต่อ 1.1 ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดในทั้ง 3 ชุดตัวอย่างที่มีค่า W/C แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปที่มีค่าความหนาแน่น 2,400 kg/m³ โดยประมาณแล้วพบว่าตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาในงานวิจัยครั้งนี้มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของคอนกรีตทั่วไปซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติอันพึงประสงค์ของคอนกรีตมวลเบา

เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติด้านกำลังอัด และความหนาแน่น สรุปได้ว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตคอนกรีตมวลเบา คืออัตราส่วนผสม 1 : 1.1 : 0.55 : 0.07 : 0.15 เรียงตามอัตราส่วนคือ ปูนซีเมนต์ : หินพัมมิส : น้ำ : สารผสมเพิ่มชนิดลดน้ำพิเศษ : สารเร่งการก่อตัว มีกำลังอัดเท่ากับ 77.45 kg/cm² และมีค่าความหนาแน่น 1,237 kg/m³

7. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

7.1 ควรทำการทดลองหาอัตราส่วนผสมในการสร้างคอนกรีตมวลเบาเพิ่มเติม ยกตัวอย่างเช่น ทำการลดปริมาณปูนซีเมนต์ลง หรือลดปริมาณหินพัมมิสลง และปรับสารผสมเพิ่มในสัดส่วนที่แตกต่างกันแล้วทำการศึกษาค่ากำลังอัดประลัยและความหนาแน่น

7.2 ควรทำการศึกษากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาในระยะยาว หรือในสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ริมฝั่งทะเล บริเวณที่ถูกกัดกร่อนด้วยสารเคมี หรือในบริเวณที่มีสภาวะอากาศแปรปรวนเป็นต้น

7.3 ควรทำการศึกษาคุณสมบัติด้านอื่นๆ เช่น คุณสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนและเสียง เป็นต้น

8. เอกสารอ้างอิง

دنوفل دننن یوگاس و ویرتکدی ویررنن سوغا (2545). การประเมินและผลกระทบของมวลรวมหินพัมมิชที่มีต่อสมบัติของงานก่อฉาบคอนกรีต. *หนังสือประมวลบทความการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8*, วันที่ 23-25 ตุลาคม 2545, ขอนแก่น, 18-23.

دنوفل دننن یوگاس و سوره اوتوره (2551). อิทธิพลของเส้นเชื่อมเหล็กปาล์มน้ำมันที่มีต่อสมบัติคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาหินพัมมิช. *หนังสือประมวลบทความการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6*, วันที่ 8-9 พฤษภาคม 2551, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 13-18.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2556). *คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ*. มอก. 2601-2556.

อาบีเด็ง ฮาวา และ دنوفل دننن یوگاس (2551). อิทธิพลของเส้นเกลบที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตมวลรวมพัมมิช. *หนังสือประมวลบทความการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13*, วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2551, ชลบุรี, 13-18.

**การวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษในก๊าซไอเสีย
ที่เกิดจากการขาดการบำรุงรักษาเครื่องยนต์**

**A COMPARISON ANALYSIS OF FUEL CONSUMPTION AND EXHAUSTED
EMISSION DUE TO AN IMPROPERLY PREVENTIVE MAINTENANCE OF
THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE**

เผชิญ จันทรธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: pachern.ja@spu.ac.th

อดุลย์ พัฒนภักดี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: adual.pa@spu.ac.th

วิทยา พันธุ์เจริญศิลป์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: vitthaya.ph@spu.ac.th

บทคัดย่อ

รถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน จำเป็นต้องได้รับการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างราบรื่น ไม่เกิดปัญหาขัดข้องระหว่างการใช้งาน นอกจากนั้นการขาดการบำรุงรักษาที่ดียังจะส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าปกติและมีการปลดปล่อยมลพิษทางไอเสียมากขึ้น บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์กรณีศึกษาของการขาดการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน โดยจำลองสถานการณ์การขาดการบำรุงรักษาเป็น 3 กรณี ได้แก่ 1. การขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศ 2. การขาดการบำรุงรักษาระบบจุดระเบิด และ 3. การขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศและการขาดการบำรุงรักษาระบบจุดระเบิดในเวลาเดียวกัน เปรียบเทียบกับกรณีที่เครื่องยนต์ได้รับการบำรุงรักษาที่ดีอย่างสม่ำเสมอ โดยแต่ละกรณีศึกษาได้มีการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานของเครื่องยนต์จากกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) ของรถยนต์ ผ่านอุปกรณ์ต่อเชื่อมข้อมูล (OBD-II) แบบไร้สาย และการตรวจวัดค่ามลพิษไอเสียจากเครื่องวัดของสถานตรวจสภาพรถเอกชน (ตรอ.) จากการเปรียบเทียบกับกรณีที่เครื่องยนต์มีการทำงานที่สมบูรณ์จากการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ พบว่าการขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศมีผลต่ออัตราสิ้นเปลืองเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.67 การขาดการบำรุงรักษาระบบจุดระเบิดมีผลต่ออัตราสิ้นเปลืองเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.85 และ การขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศและการขาดการบำรุงรักษาระบบจุดระเบิดในเวลาเดียวกันมีผลต่ออัตราสิ้นเปลืองเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 18.52 สำหรับผลการวิเคราะห์มลพิษจากก๊าซไอเสียได้มีการวัดค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) เปรียบเทียบกับกรณีที่เครื่องยนต์มีการทำงานที่สมบูรณ์จากการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ พบว่าการขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศ มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.21 และมีการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 9.14 ppm การขาดการบำรุงรักษาระบบจุดระเบิดมีการปลดปล่อยก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.08 และมีการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 5.40 ppm และ การขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศและการขาดการบำรุงรักษาระบบจุดระเบิดในเวลาเดียวกันมีผลให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.31 และการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 17.75 ppm ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถสรุปได้ว่ากรณีการขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศไม่ได้ส่งผลให้อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัย แต่การขาดการดูแลรักษาระบบจุดระเบิดจะมีผลต่ออัตราสิ้นเปลืองที่เพิ่มขึ้นมากกว่าอย่างชัดเจน และในส่วนของมลพิษจากไอเสียนั้น การขาดการบำรุงรักษาทุกกรณีจะส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นน้อยมาก แต่ปริมาณการเพิ่มขึ้นของการปล่อยไฮโดรคาร์บอนในก๊าซไอเสียนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

คำสำคัญ: การบำรุงรักษาเครื่องยนต์ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง มลพิษในก๊าซไอเสีย กล้องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) ช่องต่อเชื่อมข้อมูลกล้องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (OBD-II)

ABSTRACT

The internal combustion engine vehicles have to be received a good preventive maintenance for every day used with no trouble. Otherwise, it may affect to fuel consumption and exhausted gas emissions problem. This paper presents the analysis of three cases study of an improperly preventive maintenance of the gasoline engine. The first is a lacking of preventive maintenance of the intake air filter system, the second is a lacking of preventive maintenance of the ignition system, and the third is a lacking preventive maintenance of both the filter of air intake system and the ignition system in the same time. The results of those three cases are compared with that of a good preventive maintenance. In each case of study, the engine operation data are collected from the vehicle's electronic control unit (ECU) by a wireless OBD-II scanner and the exhaust gas emissions are measured by the exhaust gas meter of a private inspection facility. In comparison to a good preventive maintenance, a lacking of preventive maintenance of the intake air filter system affects the average fuel consumption rate increased about 0.67 %. A lacking of preventive maintenance of the ignition system affects the average fuel consumption rate increased about 14.85 %. And a lacking of preventive maintenance of both the intake air filter system and the ignition system, affects the average fuel consumption rate increased about 18.52 %. In case of the exhaust gas emission compared with that of a good preventive maintenance, a lacking of preventive maintenance of the intake air filter system affects the increasing of carbon dioxide (CO₂) is about 0.21 % and the hydrocarbon (HC) increases about 9.14 ppm. A lacking of preventive maintenance of the ignition system affects the increasing of carbon dioxide (CO₂) is about 0.08 % and the hydrocarbon (HC) increases about 5.40 ppm. And a lacking of preventive maintenance of both the intake air filter system and the ignition system, affects the increasing of carbon dioxide (CO₂) is about 0.31 % and the hydrocarbon (HC) increases about 17.75 ppm. It can be concluded that a lacking of preventive maintenance of the intake air filter system has little effect on both fuel consumption and exhausted gas emissions. But a lacking of preventive maintenance of the ignition system has more effect on both fuel consumption and exhausted gas emissions.

Keywords: Preventive Maintenance of Engine, Fuel Consumption, Exhausted Gas Emissions, Vehicle's Electronic Control Unit (ECU), On-Board Diagnostics – II Connector (OBD-II)

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

เป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ติดตั้งใช้งานอยู่ในรถยนต์นั้น จำเป็นต้องได้รับการบำรุงรักษาอย่างถูกต้องและสม่ำเสมอ แต่ก็มีไม่น้อยที่มีการใช้งานรถเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยขาดการบำรุงรักษาจนทำให้ระบบการทำงานของเครื่องยนต์เกิดความไม่สมบูรณ์ หรือเกิดการเสียหายตามมา ผลกระทบสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการทำงานเครื่องยนต์สันดาปภายในคืออัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษจากไอเสีย หากเครื่องยนต์มีการทำงานบกพร่องอันเนื่องมาจากการขาดการบำรุงรักษาก็เป็นไปได้ว่าเครื่องยนต์จะมีประสิทธิภาพลดลงทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นและมลพิษจากไอเสียก็จะเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ในการพิสูจน์แนวคิดนี้ จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานของเครื่องยนต์เปรียบเทียบกับระหว่างกรณีที่เครื่องยนต์ทำงานอย่างปกติสมบูรณ์จากการได้รับการบำรุงรักษาที่ดีกับกรณีที่เครื่องยนต์มีการทำงานไม่สมบูรณ์จากการขาดการบำรุงรักษา ปัจจุบันการเก็บและบันทึกข้อมูลการทำงานของเครื่องยนต์นั้นสามารถทำได้ง่ายและสะดวกขึ้น โดยการใช้อุปกรณ์สำหรับอ่านข้อมูลผ่านช่องเชื่อมต่อข้อมูลคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ (Onboard Diagnostic II หรือ OBD-II) ซึ่งข้อมูลที่ตรวจวัดและบันทึกได้นี้ สามารถนำมาประกอบการคำนวณและวิเคราะห์หาอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและองค์ประกอบของไอเสียเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของการขาดการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ได้ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของการขาดการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ 3 กรณี ได้แก่ 1. จำลองสภาวะของการขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศจนทำให้เกิดการอุดตันมากขึ้น 2. จำลองสภาวะของการขาดการบำรุงรักษาระบบจุดระเบิดจนทำให้เครื่องยนต์ทำงานไม่ครบทุกระบบสูบ และ 3. จำลองสภาวะของการขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศและการขาดการบำรุงรักษาระบบจุดระเบิดในเวลาเดียวกัน แล้วนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบหาอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและองค์ประกอบของไอเสียกับกรณีที่เครื่องยนต์ทำงานสมบูรณ์จากการได้รับการบำรุงรักษาที่ได้อย่างสม่ำเสมอ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในจากกรณีขาดการบำรุงรักษาที่ติดจนเกิดความไม่สมบูรณ์

2.2 เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบองค์ประกอบไอเสียของเครื่องยนต์สันดาปภายในจากกรณีขาดการบำรุงรักษาที่ติดจนเกิดความไม่สมบูรณ์

3. วิธีการศึกษาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 กรณีปัญหาของการขาดการบำรุงรักษาเครื่องยนต์

รถยนต์ที่ผ่านการใช้งานมาช่วงระยะเวลาหนึ่งย่อมต้องมีการสึกหรอเนื่องมาจากการทำงานของเครื่องยนต์ ผู้ใช้งานบางส่วนอาจไม่ได้ทำการบำรุงรักษาตามระยะที่กำหนดในคู่มือการบำรุงรักษา จึงอาจจะทำให้เครื่องยนต์มีการทำงานที่ผิดปกติไปจากเดิม ได้แก่ กินน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้น หรือ ปล่อยมลพิษในไอเสียมากขึ้น เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยนี้ได้คำนึงถึงปัญหาของการขาดการบำรุงรักษารถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน 2 ประการที่ส่งผลต่ออัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษ คือ

3.1.1 รถยนต์ที่ขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศ

เมื่อเครื่องยนต์ขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ลดลงเช่น อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้น, รถเกิดอาการกระตุก, อัตราเร่งช้าลง เป็นต้น ซึ่งอาจส่งผลทำ

ให้เกิดอันตรายขณะขับขี่ได้ผู้ขับขี่จึงต้องหมั่นตรวจสอบตามระยะทางที่คู่มือแนะนำและสังเกตอาการที่ผิดปกติที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ ได้กรองอากาศรถยนต์มีหลายประเภท โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นได้กรองอากาศแบบแห้ง หรือแบบกระดาษที่สามารถกรองฝุ่นขนาดเล็กได้ถึง 0.001-1 ไมครอน ซึ่งเมื่อใช้งานไปนานๆ โดยไม่มีการทำความสะอาดหรือเปลี่ยนใหม่ ก็จะทำให้กรองอากาศเกิดการอุดตัน

3.1.2 การทำงานที่ไม่ครบถ้วนของเครื่องยนต์

เมื่อเครื่องยนต์มีการใช้งานมาสักระยะเวลาหนึ่งสิ่งสำคัญที่ควรตรวจสอบลำดับต้นๆ ก็คือหัวเทียน เนื่องจากหัวเทียนได้รับความร้อนโดยตรงจากห้องเผาไหม้อยู่ตลอดเวลาจึงเกิดความเสียหายได้ง่ายเมื่อหัวเทียนเสื่อมสภาพจะทำให้การทำงานของเครื่องยนต์ผิดปกติไปจากเดิมเช่น รถเกิดอาการกระตุกหรือเครื่องสะดุด อืดหรือเร่งไม่ขึ้น และเดินเบาไม่ได้หรือสตาร์ทไม่ติด เป็นต้น

3.2 การตรวจวัดและเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องยนต์

ข้อมูลการทำงานของเครื่องยนต์นั้นจะถูกตรวจวัดด้วยตัวตรวจวัด (sensor) ต่างๆ ที่มีการติดตั้งในเครื่องยนต์และข้อมูลของการตรวจวัดก็จะถูกส่งไปยังกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) เพื่อนำไปประมวลผลการการทำงานหรือเก็บบันทึกไว้กรณีที่มีความผิดปกติเกิดขึ้น ข้อมูลต่างๆ ที่ส่งมายัง ECU นี้ สามารถส่งออกได้ผ่านช่องเชื่อมต่อ OBD-II โดยใช้เครื่อง OBD-II scanner อุปกรณ์ OBD-II มีหลากหลายแบบให้เลือก ซึ่งปัจจุบันมีอุปกรณ์ OBD-II ขนาดเล็กที่สามารถใช้งานได้ผ่านการเชื่อมต่อกับ Application ในโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ตโฟน โดยสามารถเชื่อมต่อผ่านได้ทั้ง Bluetooth และ WIFI ที่ผ่านมามีงานวิจัยหลายเรื่องที่มีการศึกษาด้วยการใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์ OBD-II ขนาดเล็กที่ใช้งานร่วมกับ Application ในโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ตโฟน เช่น การศึกษาการเก็บข้อมูลจากกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของรถยนต์สำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมรถขับที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (เผชญ จันทรสา และคณะ, 2559) และความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD-II (อดุลย์ พัฒนภักดี และคณะ, 2560) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกอุปกรณ์ตรวจวัดค่า OBD-II ที่ใช้ในการทดสอบยี่ห้อ Vgate iCar Pro BlueTooth 4.0 elm 327 ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 Vgate iCar Pro BlueTooth 4.0 elm 327

3.3 การตรวจวัดมลพิษจากไอเสีย

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในในปัจจุบันนี้ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งมีชีวิตและธรรมชาติ ซึ่งจะต้องมีการตรวจวัดมลพิษที่เกิดขึ้นโดยสถานตรวจสภาพจะเป็นผู้ทำการตรวจวัดเพื่อที่จะสามารถนำรถยนต์ไปต่อภาษีประจำปีได้ โดยมีการกำหนดอัตราการปล่อยมลพิษไว้ดังตารางที่ 1 (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2564)

ตารางที่ 1 กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยที่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรคาร์บอนของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ชนิดเผาไหม้ภายในที่มีการจุดระเบิดด้วยประกายไฟ และใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

ประเภทรถ	มลพิษ	ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือการตรวจวัด	วิธีการตรวจวัด
จดทะเบียนก่อน 1 พ.ย. 2536	CO HC	4.5% 600 ppm	NDIR	ตรวจวัดขณะจอดอยู่กับที่ ไม่มีภาระเครื่องยนต์เดินเบา
จดทะเบียนตั้งแต่ 1 พ.ย. 2536	CO HC	1.5% 200 ppm	NDIR	ตรวจวัดขณะจอดอยู่กับที่ ไม่มีภาระเครื่องยนต์เดินเบา
จดทะเบียนตั้งแต่ 1 ม.ค. 2550	CO HC	0.5% 100 ppm	NDIR	ตรวจวัดขณะจอดอยู่กับที่ ไม่มีภาระเครื่องยนต์เดินเบา
รถยนต์เบนซินทุกประเภท	เสียง	100 dB(A)	เครื่องวัดระดับเสียงตามมาตรฐาน IEC	เร่งเครื่องยนต์ 3/4 ความเร็วรอบสูงสุด

โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่าไอเสียของรถยนต์ในสถานตรวจสภาพเอกชนสำหรับงานวิจัยนี้เป็นเครื่องวิเคราะห์ก๊าซหือ CUBIC รุ่น GASBOARD-5020H ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งมีรายละเอียดการวัดดังนี้

- ใช้ระบบอินฟราเรดตรวจวัดการกระจายของก๊าซ
- คำนวณผลค่าก๊าซและอากาศ โดยอัตโนมัติ
- มีการแสดงผลเป็นตัวเลขบนจอ LCD
- ผ่านการเห็นชอบจากกรมการขนส่งทางบกแล้ว
- ย่านการวัด : HC : 0 - 15000 ppm , CO : 0 - 10% คือ สามารถตรวจวัดก๊าซไฮโดรคาร์บอน(HC) ได้ตั้งแต่ 0-15000 ppm และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) ได้ตั้งแต่ 0-10 % ของไอเสีย
- ค่าความผิดพลาด : HC : +/- 3% , CO : +/- 3% คือ ความสามารถในการตรวจวัดของเครื่องตรวจวัดก๊าซมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ +/- 3%
- ความละเอียดในการวัด : HC : 1 ppm , CO : 0.01% คือ สามารถตรวจวัดก๊าซไฮโดรคาร์บอน(HC) ได้ตั้งแต่ 1 ppm ขึ้นไป และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) ได้ตั้งแต่ 0.01% ขึ้นไป



รูปที่ 2 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ CUBIC GASBOARD-5020H

3.4 ทฤษฎีและการคำนวณ

ในการคำนวณอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่สภาวะการทำงานจริงของเครื่องยนต์นั้นสามารถใช้ข้อมูลค่าอัตราส่วนมวลของอากาศต่อเชื้อเพลิงและค่าอัตรามวลไหลของอากาศที่วัดได้จากอุปกรณ์อ่านค่าจาก OBD-II มาคำนวณตามความสัมพันธ์ (John B. Heywood., 1989)

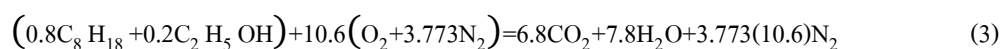
$$\dot{m}_f = \frac{\dot{m}_a}{(A/F)} \quad (1)$$

โดยที่ $\dot{m}_f$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (g/s)
 $\dot{m}_a$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (g/s)
 (A/F) คือ อัตราส่วนโดยมวลของอากาศต่อเชื้อเพลิง

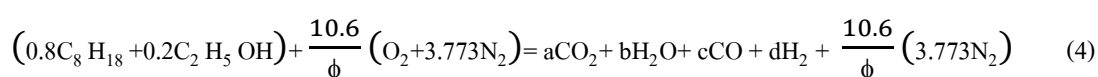
สำหรับการวิเคราะห์ห้องคัพประกอบของไอเสียนั้นจะใช้ค่า F/A equivalent ratio, ϕ ของอัตราส่วนมวลของเชื้อเพลิงกับอากาศจริง, $(F/A)_{actual}$ ซึ่งจะได้จากการตรวจวัดด้วย OBD-II ต่อค่าอัตราส่วนมวลของเชื้อเพลิงกับอากาศทางทฤษฎี, $(F/A)_s$ ดังสมการที่ 2 (John B. Heywood., 1989)

$$\phi = \frac{(F/A)_{actual}}{(F/A)_s} \quad (2)$$

โดยค่าอัตราส่วนมวลของเชื้อเพลิงกับอากาศทางทฤษฎี, $(F/A)_s$ สามารถคำนวณได้จากสมการการเผาไหม้ตามทฤษฎี (John B. Heywood., 1989) ซึ่งกรณีที่เชื้อเพลิงเป็น E20 จะพิจารณาสมการการเผาไหม้ได้ดังสมการที่ 3 ซึ่งจะได้ค่าอัตราส่วนมวลของเชื้อเพลิงกับอากาศทางทฤษฎี, $(F/A)_s$ เท่ากับ 0.068653



เมื่อได้ค่า F/A equivalent ratio, ϕ มาแล้วสามารถนำมาคำนวณหาค่าองค์ประกอบของไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ได้โดยสมการที่ 4 และสมการที่ 5



$$K = \frac{bc}{ad} \quad (5)$$

โดยที่ K คือค่าคงตัวการสมดุลปฏิกิริยาที่แต่ละอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย ซึ่งสามารถหาได้จากตารางที่ 2
a, b, c, และ d คือจำนวนองค์ประกอบโดยโมลในก๊าซไอเสียของ CO_2 , H_2O , CO และ H_2 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ค่า log 10 ของค่าคงตัวของการสมดุล (K) ของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ

(Michael J. Moran and Howard N. Shapiro., 2006)

Temp. K	log ₁₀ K								Temp. °R
	H ₂ ⇌ 2H	O ₂ ⇌ 2O	N ₂ ⇌ 2N	$\frac{1}{2}\text{O}_2 + \frac{1}{2}\text{N}_2 \rightleftharpoons \text{NO}$	H ₂ O ⇌ H ₂ + $\frac{1}{2}\text{O}_2$	H ₂ O ⇌ OH + $\frac{1}{2}\text{H}_2$	CO ₂ ⇌ CO + $\frac{1}{2}\text{O}_2$	CO ₂ + H ₂ ⇌ CO + H ₂ O	
298	-71.224	-81.208	-159.600	-15.171	-40.048	-46.054	-45.066	-5.018	537
500	-40.316	-45.880	-92.672	-8.783	-22.886	-26.130	-25.025	-2.139	900
1000	-17.292	-19.614	-43.056	-4.062	-10.062	-11.280	-10.221	-0.159	1800
1200	-13.414	-15.208	-34.754	-3.275	-7.899	-8.811	-7.764	+0.135	2160
1400	-10.630	-12.054	-28.812	-2.712	-6.347	-7.021	-6.014	+0.333	2520
1600	-8.532	-9.684	-24.350	-2.290	-5.180	-5.677	-4.706	+0.474	2880
1700	-7.666	-8.706	-22.512	-2.116	-4.699	-5.124	-4.169	+0.530	3060
1800	-6.896	-7.836	-20.874	-1.962	-4.270	-4.613	-3.693	+0.577	3240
1900	-6.204	-7.058	-19.410	-1.823	-3.886	-4.190	-3.267	+0.619	3420
2000	-5.580	-6.356	-18.092	-1.699	-3.540	-3.776	-2.884	+0.656	3600
2100	-5.016	-5.720	-16.898	-1.586	-3.227	-3.434	-2.539	+0.688	3780
2200	-4.502	-5.142	-15.810	-1.484	-2.942	-3.091	-2.226	+0.716	3960
2300	-4.032	-4.614	-14.818	-1.391	-2.682	-2.809	-1.940	+0.742	4140
2400	-3.600	-4.130	-13.908	-1.305	-2.443	-2.520	-1.679	+0.764	4320
2500	-3.202	-3.684	-13.070	-1.227	-2.224	-2.270	-1.440	+0.784	4500
2600	-2.836	-3.272	-12.298	-1.154	-2.021	-2.038	-1.219	+0.802	4680
2700	-2.494	-2.892	-11.580	-1.087	-1.833	-1.823	-1.015	+0.818	4860
2800	-2.178	-2.536	-10.914	-1.025	-1.658	-1.624	-0.825	+0.833	5040
2900	-1.882	-2.206	-10.294	-0.967	-1.495	-1.438	-0.649	+0.846	5220
3000	-1.606	-1.898	-9.716	-0.913	-1.343	-1.265	-0.485	+0.858	5400
3100	-1.348	-1.610	-9.174	-0.863	-1.201	-1.103	-0.332	+0.869	5580
3200	-1.106	-1.340	-8.664	-0.815	-1.067	-0.951	-0.189	+0.878	5760
3300	-0.878	-1.086	-8.186	-0.771	-0.942	-0.809	-0.054	+0.888	5940
3400	-0.664	-0.846	-7.736	-0.729	-0.824	-0.674	+0.071	+0.895	6120
3500	-0.462	-0.620	-7.312	-0.690	-0.712	-0.547	+0.190	+0.902	6300

Source: Based on data from the JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, 1971.

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การจำลองกรณีปัญหาสำหรับการทดสอบ

ก่อนการทดสอบได้มีการเปลี่ยนกรองอากาศใหม่และตรวจสอบหัวเทียน สายหัวเทียนและคอยล์จุดระเบิดให้มีสภาพใช้งานได้ปกติ การทดสอบจะรถยนต์คันเดียวกันสำหรับการจำลองสถานการณ์ตามเงื่อนไขของการทดสอบเก็บข้อมูล โดยแบ่งกรณีของปัญหาที่เกิดจากการขาดการบำรุงรักษาเครื่องยนต์เป็น 3 กรณี ได้แก่

4.1.1 จำลองสภาวะของการขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศจนทำให้เกิดการอุดตัน ซึ่งจะทดลองโดยใช้ผ้ามาซ้อนทับกรองอากาศดังรูปที่ 3

4.1.2 จำลองสภาวะของการขาดการบำรุงรักษาระบบจุดระเบิดจนทำให้เครื่องยนต์ทำงานไม่ครบทุกกระบอกสูบ โดยการคอยล์จุดระเบิดออก 1 กระบอกสูบ ดังรูปที่ 4

4.1.3 จำลองสภาวะของการขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศและการขาดการบำรุงรักษาระบบจุดระเบิดในเวลาเดียวกัน โดยการทำในข้อ 4.1.1 และ 4.1.2 พร้อมกัน

ผลของการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลของการทดสอบทั้ง 3 กรณี จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับกรณีที่เครื่องยนต์ทำงานแบบปกติสมบูรณ์



รูปที่ 3 การจำลองให้กรองอากาศเกิดการอุดตัน



รูปที่ 4 การจำลองให้เครื่องยนต์ทำงานไม่ครบสูบ

4.2 ค่าตัวแปรสำคัญในการตรวจวัดและเก็บข้อมูล

ตัวแปรสำคัญที่มีการตรวจวัดและบันทึกในการทดสอบเก็บข้อมูลจะมีทั้งข้อมูลที่ได้จาก OBD-II และจากเครื่องตรวจวัดของสถานตรวจสภาพเอกชน มีดังต่อไปนี้

4.2.1 อัตราส่วนโดยมวลของอากาศต่อเชื้อเพลิง, (A/F)

4.2.2 อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, $\dot{m}_a$

4.2.3 ค่า F/A equivalent ratio, ϕ

4.2.4 ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในไอเสีย

4.2.5 ปริมาณของก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) ในไอเสีย

4.3 วิธีการทดสอบ

การทดสอบจะทำโดยสตาร์ทเครื่องยนต์ขณะจอดอยู่กับที่ แล้วทำการตรวจวัดและบันทึกตัวแปรต่างๆ ที่ 4 ค่าความเร็วรอบการทำงานของเครื่องยนต์ ได้แก่ ขณะเดินเบา, 1500 rpm, 2000 rpm และ 2500 rpm

5. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

ตารางที่ 4 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย

การจำลองสถานการณ์	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย $\dot{m}_f$ (g/s)			
	ขณะเดินเบา	1500 rpm	2000 rpm	2500 rpm
เครื่องยนต์ปกติสมบูรณ์	0.319100	0.583468	0.794295	1.002357
กรองอากาศอุดตัน	0.324310	0.575307	0.806353	1.011835
เครื่องยนต์ทำงานไม่ครบสูบ	0.357785	0.663828	0.917999	1.181976
กรองอากาศอุดตันและเครื่องยนต์ทำงานไม่ครบสูบ	0.368466	0.685281	0.959621	1.207818

ตารางที่ 5 ผลการตรวจวัดปริมาณมลพิษจากก๊าซไอเสีย

การจำลองสถานการณ์	องค์ประกอบของมลพิษ ในก๊าซไอเสีย	ปริมาณมลพิษในก๊าซไอเสีย			
		ขณะเดินเบา	1500 rpm	2000 rpm	2500 rpm
เครื่องยนต์ปกติสมบูรณ์	CO (%)	0.14	0.17	0.20	0.23
	HC (ppm)	2	4	5	7
กรองอากาศอุดตัน	CO (%)	0.17	0.19	0.25	0.29
	HC (ppm)	27	32	46	69
เครื่องยนต์ทำงานไม่ครบสูบ	CO (%)	0.15	0.16	0.23	0.27
	HC (ppm)	8	18	34	72
กรองอากาศอุดตันและ เครื่องยนต์ทำงานไม่ครบสูบ	CO (%)	0.18	0.22	0.26	0.31
	HC (ppm)	33	84	94	131

จากการเปรียบเทียบกับกรณีที่เครื่องยนต์มีการทำงานที่สมบูรณ์จากการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ พบว่าการขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศมีผลต่ออัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.67 การขาดการบำรุงรักษาระบบจุดระเบิดมีผลต่ออัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.85 และ การขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศ และการขาดการบำรุงรักษาระบบจุดระเบิดในเวลาเดียวกันมีผลต่ออัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 18.52 สำหรับผลการวิเคราะห์มลพิษจากก๊าซไอเสีย เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่เครื่องยนต์มีการทำงานที่สมบูรณ์จากการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ พบว่าการขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศ มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.21 และมีการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 9.14 ppm การขาดการบำรุงรักษาระบบจุดระเบิดมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.08 และมีการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 5.40 ppm และ การขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศและ การขาดการบำรุงรักษาระบบจุดระเบิดในเวลาเดียวกันมีผลให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.31 และการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 17.75 ppm

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบเก็บข้อมูลและจากการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถสรุปได้ว่ากรณีการขาดการบำรุงรักษาระบบกรองอากาศไม่ได้ส่งผลให้อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัย แต่การขาดการดูแลรักษาระบบจุดระเบิดจะมีผลต่ออัตราสิ้นเปลืองที่เพิ่มขึ้นมากกว่าอย่างชัดเจน และในส่วนของมลพิษจากไอเสียนั้น การขาดการบำรุงรักษาทุกกรณีจะส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เพิ่มขึ้นน้อยมาก แต่ปริมาณการเพิ่มขึ้นของการปล่อยไฮโดรคาร์บอนในก๊าซไอเสียนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตามการทดสอบเพื่อตรวจวัดและเก็บข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ กระทำในขณะที่การสตาร์ทเครื่องยนต์ขณะจอดอยู่กับที่เท่านั้น ด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัย เนื่องจากการจำลองสภาพให้เครื่องยนต์เกิดการดำเนินงานไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะการทำให้เครื่องยนต์ทำงานไม่ครบสูบ จะเป็นสถานะที่ไม่เหมาะต่อการขับทำให้ยากต่อการควบคุมรถยนต์และอาจเกิดอันตรายได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณานักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ได้แก่ นายสิริวัธ ธนกิจดีจิรกุล นางสาวกาญจนา มรัตนไพร และนายภูมิพัฒน์ รัตนวงษ์ศิริ ที่ช่วยเหลือในการทดสอบและเก็บข้อมูลสำหรับการศึกษานี้และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีปทุมที่มีส่วนสนับสนุนการนำเสนอบทความในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2564). ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรคาร์บอนของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ชนิดเผาไหม้ภายในที่มีการจุดระเบิดด้วยประกายไฟและใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง พ.ศ. 2564. ค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2565, จาก: <https://www.pcd.go.th> > กฎหมายและมาตรฐาน.

เผชญิ จันทรสา และคณะ. (2559). การศึกษาการเก็บข้อมูลจากกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของรถยนต์สำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่ที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง, หนังสือประมวลบทความการประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30 (ME-NETT 30), วันที่ 5-8 กรกฎาคม 2559 จังหวัดสงขลา

อดุลย์ พัฒนภักดี และคณะ. (2560). ความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD II. หนังสือประมวลบทความการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 12, ประจำปี 2560, วันที่ 14 ธันวาคม 2560 ณ มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2501-2509.

John B. Heywood. (1989). *Internal Combustion Engine Fundamentals, International Edition*. McGraw-Hill, Inc.

Michael J. Moran and Howard N. Shapiro. (2006). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 5th Edition. John Wiley & Sons, Inc.

การพัฒนาระบบการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ด้วย IoT สำหรับเครื่องจักร CNC

DEVELOPMENT OF IoT-BASED PREDICTIVE MAINTENANCE FOR CNC MACHINES

นายพีรพล ประสิทธิ์เมตต์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: Peerapol.pra@ku.th

ผศ.ดร.วรพงษ์ สว่างศรี

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fengwps@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรมีความสำคัญอย่างยิ่งในงานอุตสาหกรรมการผลิต การบำรุงรักษาเชิงป้องกันเป็นพื้นฐานสำหรับการบำรุงรักษาในอุตสาหกรรมการผลิตโดยทำการซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาก่อนที่จะอุปกรณ์จะเกิดชำรุดเสียหาย แต่ว่าอุตสาหกรรมการผลิตจะมีรูปแบบการทำงาน และสภาวะแวดล้อมในการผลิตที่แตกต่างกัน ทำให้การสึกหรอของเครื่องจักรอาจแตกต่างกันไปจากที่กำหนดตามมาตรฐานของเครื่องจักร และเกิดปัญหาเมื่อต้องกำหนดเวลาตรวจสอบที่เข้าไปเครื่องจักรก็อาจจะพังเสียหาย ส่งผลกระทบต่อการผลิต แต่ถ้าเร็วไปก็จะทำให้ต้นทุนในงานซ่อมบำรุงสูง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบซ่อมบำรุงเป็นระบบการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์และถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ดังกล่าว โดยระบบดังกล่าวสามารถประมวลผลการตรวจสอบแบบเรียลไทม์ในสายการผลิตทั้งหมดเพื่อวินิจฉัยและป้องกันความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณและอุปกรณ์เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (IoT) รวมทั้งขั้นตอนวิธีสำหรับการประมวลผลสัญญาณ ปัจจุบันแมชชีนเลิร์นนิง (ML) ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์และนำไปสู่วิธีแก้ไขปัญหาสำหรับการวินิจฉัยและพยากรณ์ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีของการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ด้วย IoT ในเครื่องกัด CNC ที่มีตัวควบคุม ADTECH CNC4640 โดยการสร้างระบบที่เรียบง่ายและคุ้มค่าด้วยบอร์ด Arduino UNO ซึ่งมีวัตถุประสงค์สำหรับการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลของสัญญาณตัวแปรที่จำเป็นในการตรวจสอบสภาพการทำงานของความเร็วของแกนหมุนและการสั่นของแกนหมุนในเครื่องกัด CNC จากนั้นข้อมูลจะถูกโอนและแสดงแบบเรียลไทม์บนแดชบอร์ดของ Blynk ผ่าน ESP32 ที่เชื่อมต่อกับเราเตอร์ Wi-Fi อุปกรณ์ส่งสัญญาณสำหรับฟังก์ชันการทำงานต่างๆจะติดอยู่กับตำแหน่งที่เหมาะสมบนเครื่องกัด CNC ผลการวิจัยพบว่าขั้นตอนวิธีของทั้งฟังก์ชันความเร็วของแกนหมุนและการสั่นของแกนหมุนสามารถระบุสภาพของเครื่องกัดได้แบบเรียลไทม์ และสามารถตรวจสอบสภาพของเครื่องในสถานที่ต่างๆ ผ่านระบบการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ด้วย IoT

คำสำคัญ: ระบบการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์, อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง, Arduino, Blynk

ABSTRACT

Maintenance system is critical emerged in the manufacturing industry. Preventive maintenance is the basis for maintenance in the manufacturing industry that perform scheduled maintenance to prevent sudden failure or breakdown. However, the various industries have different working patterns and environments which result in machine deteriorating rate differ from specified in the machine standard. Thus, the providing maintenance is too late causing machine breakdowns and production delay, if it is too early the maintenance costs will be high. Therefore, the predictive maintenance system is developed for predicting any future failure or breakdown in order to solve such problems. Such a system can process real-time monitoring on the whole production line for diagnosing and preventing potential failures. It requires various IoT technological and sensor devices as well as an algorithm for processing signals. Machine learning (ML) has currently been included for predictive maintenance. This leads the possible and flexible solutions for intelligent fault diagnosis and prognosis systems. This paper aims to algorithm of IoT-based predictive maintenance has been developed implementing on CNC milling machine with ADTECH CNC4640 controller. The simple and cost-effective system is purposed by using the Arduino UNO board for data collection and analysis of the essential signal for monitored spindle speed and spindle vibration of CNC machine. The data is then transferred and real-time displayed on Blynk's dashboard via the ESP32 connected to the Wi-Fi router. Sensors for various functions are attached to the suitable areas on the CNC machine. Results showed that algorithm of both spindle speed and spindle vibration functions can identify the condition of the milling machine in real time and simultaneously monitor the condition of CNC machine at different places through IoT for predictive maintenance.

Keywords: Predictive Maintenance, Internet of Things, Arduino, Blynk

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันเป็นพื้นฐานที่มีการประยุกต์ใช้ในระบบ ISO 9001 ซึ่งเป็นมาตรฐานระบบการจัดการคุณภาพ [1] โดยการซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาก่อนที่จะอุปกรณ์จะเกิดชำรุดเสียหาย แต่ว่าโรงงานจะมีรูปแบบการทำงาน และสภาวะแวดล้อมในการผลิตที่แตกต่างกัน ทำให้การสึกหรอของเครื่องจักรอาจแตกต่างกันไปจากที่กำหนดตามมาตรฐานของเครื่องจักร ทำให้เกิดปัญหาเมื่อถึงกำหนดเวลาตรวจสอบสภาพที่นานไป ดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบซ่อมบำรุงเป็นระบบการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ โดยใช้ข้อมูลที่เก็บมาในการสร้างแบบจำลองการทำนายเพื่อวินิจฉัยและป้องกันความล้มเหลวในการผลิตที่อาจเกิดขึ้น แต่การวิเคราะห์ข้อมูลต้องใช้ข้อมูลในปริมาณมากและต่อเนื่อง และยังคงเพิ่มต้นทุนแรงงานที่มีทักษะในการเก็บข้อมูลหรือ บางพื้นที่ก็เข้าถึงสถานที่ได้ยาก ดังนั้นจึงมีการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (IoT) มาช่วยในการเก็บข้อมูลโดยการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแทนแรงงานและสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง การพัฒนาของโรงงานที่ใช้เทคโนโลยีนี้ไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สะดวกยิ่งขึ้น สำหรับการเข้าถึง การติดตาม การตรวจสอบ และการควบคุมอุปกรณ์เครื่องจักรระยะไกล ดังนั้นการควบคุมกระบวนการและกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง เช่น การควบคุมกระบวนการผลิต การวางแผนและการควบคุมการผลิต การรวบรวมและวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและการบำรุงรักษาสามารถดำเนินการได้ในระยะทางไกลโดยไม่ลด

ประสิทธิภาพลง และนำไปสู่การลดต้นทุนการผลิตโดยใช้พนักงานจำนวนน้อยลงและการใช้วัสดุน้อยลงด้วยกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูง นอกจากนี้ ยังนำไปใช้เพื่อการแก้ปัญหาทางเทคนิคที่เกิดขึ้นทันที ซึ่งสามารถแก้ไขได้อย่างรวดเร็วและตรงกับปัญหา ส่งผลให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น ที่สำคัญกว่านั้น ข้อมูลหรือการจัดการข้อมูลเป็นกุญแจสำคัญในยุคอุตสาหกรรม 4.0 ซึ่งสามารถใช้ในการคาดการณ์หรือในการตัดสินใจเชิงคาดการณ์ดังนั้นแนวคิดของอุตสาหกรรมการผลิตที่ใช้การผลิตเชิงคาดการณ์จึงเป็นสิ่งจำเป็น [2] โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนจะเป็นหนึ่งในวิธีการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์และสนับสนุนการตัดสินใจในการบำรุงรักษาเครื่องจักร การวิเคราะห์ประเภทนี้สามารถทำได้เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความล้มเหลวของเครื่องจักรระดับการสั่นสะเทือนที่เพิ่มขึ้นในเครื่องจักรมักจะบ่งบอกถึงการเสียวหรือความล้มเหลวที่จะเกิดขึ้น จึงสามารถคาดการณ์ความล้มเหลวของเครื่องจักรผ่านการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของการสั่นสะเทือน ในการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้น ปริมาณของข้อมูลและวิธีเก็บข้อมูลจะมีผลต่อการคาดการณ์ด้วยเช่นกัน [3]

ในงานวิจัยนี้ จะดำเนินการออกแบบแนวคิดและขั้นตอนวิธีของระบบการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ด้วย IoT ซึ่งเป็นการสร้างขั้นตอนวิธีของระบบการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์โดยใช้เทคโนโลยี IoT ด้วยการเลือกใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณและอุปกรณ์ IoT ที่เหมาะสม และติดตั้งในเครื่องจักร CNC เพื่อการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรที่เกี่ยวข้องสำหรับการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ โดยใช้ Arduino UNO เป็นบอร์ดควบคุมตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณเพื่อสร้างขั้นตอนวิธีสำหรับคาดการณ์อายุการใช้งานที่เหลือของเครื่องจักร และใช้ ESP32 ส่งข้อมูลเข้าแพลตฟอร์ม Blynk เพื่อใช้สำหรับการแสดงผลการตรวจสอบแบบเรียลไทม์ ข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรสามารถส่งไปยังหน่วยประมวลผลแบบคลาวด์เพื่อวิเคราะห์และคาดการณ์ความเป็นไปได้ของความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อสร้างระบบเก็บข้อมูลและแจ้งเตือนการทำงานที่ผิดปกติของเครื่องจักรแบบเรียลไทม์
- (2) เพื่อสร้างและทดสอบขั้นตอนวิธีของระบบการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ในเครื่องจักร CNC

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบำรุงรักษาทางอุตสาหกรรมมีความสำคัญต่อการรักษาประสิทธิภาพการทำงานซึ่งจำเป็นต่อการทำงานของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อรักษาความพร้อมในการปฏิบัติงานและลดอันตรายที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเครื่องจักร การบำรุงรักษาเครื่องจักรมีวิวัฒนาการจากการบำรุงรักษาเชิงรับเป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ ตลอดหลายปีที่ผ่านมา และในยุคอุตสาหกรรม 4.0 [4] การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์เป็นวิธีที่เริ่มมีแนวโน้มในการใช้งานมากขึ้น โดยการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ และวิเคราะห์เพื่อกำหนดแนวโน้มของความเสียหายของเครื่องจักรในอนาคตเพื่อบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาที่คาดการณ์อย่างเหมาะสมก่อนเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งการเก็บข้อมูลสามารถทำได้ง่ายและสะดวกขึ้นด้วยเทคโนโลยี IoT [5] ขั้นตอนวิธีการคาดการณ์ที่ถูกใช้งานมากที่สุดในการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์คือ การคาดการณ์ช่วงเวลาอายุที่เหลืออยู่ (Remaining Useful Life หรือ RUL) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีค่ามากเพราะสามารถช่วยประหยัดเวลาในการหยุดเดินเครื่องจักรและลดค่าใช้จ่ายจากการเปลี่ยนอุปกรณ์โดยไม่จำเป็นลง ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ หลี่ และคณะ [6] ได้ทำการวิจัยการปรับปรุงขั้นตอนวิธีสำหรับการการคาดการณ์อายุของเหลือของคลัทช์ถูกป็น

เมื่อเพิ่มเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งเทคโนโลยีการส่งข้อมูลการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับระบบคลาวด์ (IoT) เริ่มมีการนำมาใช้ในการเก็บข้อมูลการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์มากขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดการกับความล่าช้าในการรับข้อมูล ลดปริมาณสำรองอะไหล่ จัดการกับความเสียหายของอุปกรณ์ทันที และใช้ในพื้นที่อันตราย [7] งานวิจัยของกบดาโมชีและคณะ [5] ได้นำแนวคิดการบำรุงรักษาทางอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในการวิจัยอุตสาหกรรมการรถไฟของสหราชอาณาจักร จุดประสงค์คือเพื่อแก้ปัญหาล่าช้าในการรับส่งข้อมูล แจ้งเตือนความเสียหายที่เกิดขึ้นของในอุปกรณ์โดยทันที และลดการเข้าไปทำงานในพื้นที่อันตราย งานวิจัยของ ทวานาและคณะ [8] ได้รายงานผลงานวิจัย การแก้ปัญหาและการวางแผนอนาคตโดยใช้ซอฟต์แวร์และระบบที่ใช้ในกระบวนการต่างๆ ขององค์กร (Enterprise Resource Planning : ERP) และระบบการวางแผนทรัพยากรการผลิต (Material Requirement Planning : MRP) อย่างไรก็ตาม เฉพาะอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เท่านั้นที่สามารถใช้ระบบเหล่านี้ได้ เนื่องจากมีต้นทุนที่มากขึ้นอุตสาหกรรมขนาดเล็กถึงขนาดกลางจึงยากที่จะเข้าถึง แนวทางการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ที่ต้นทุนต่ำลงจึงเป็นสิ่งจำเป็นโดยเฉพาะสำหรับผู้ประกอบการรายย่อย และเพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตลอดช่วงเวลาด้วยการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและความแม่นยำ ระบบการจัดการการบำรุงรักษาที่ใช้เทคนิคขั้นสูงสำหรับการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ เช่น การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณ IoT จึงเป็นสิ่งจำเป็น การตรวจสอบสภาพเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการคาดการณ์ความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิต ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ทางเราจึงมีความคิดที่จะทำการพัฒนาระบบการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ด้วยเทคโนโลยี IoT สำหรับการตรวจสอบสภาพของเครื่องกัด CNC

3.2 สมมติฐานการวิจัย

ในงานวิจัยนี้คาดว่าจะการพัฒนาระบบการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ด้วย IoT สำหรับเครื่องจักร CNC นั้นมีแนวโน้มของการคาดการณ์ที่แม่นยำที่จะใช้ปรับปรุงการตรวจสอบแบบเรียลไทม์สำหรับการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและการบำรุงรักษาของเครื่องจักร

4. วิธีดำเนินการวิจัย

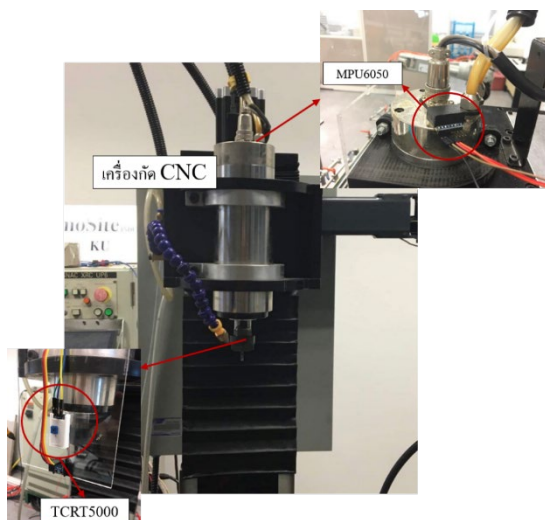
4.1 การสร้างและส่งข้อมูลของระบบการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ด้วยเทคโนโลยี IoT

ในงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอุปกรณ์ส่งสัญญาณ IoT สำหรับการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE ที่ดำเนินการด้วยภาษา C/C++ เขียนขั้นตอนวิธีของระบบการควบคุม การออกแบบระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกรับข้อมูลจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณและดำเนินการสร้างขั้นตอนวิธีโดยใช้บอร์ด Arduino UNO ส่วนที่สองใช้ ESP32 ในการถ่ายโอนข้อมูลจาก Arduino IDE ไปยังแดชบอร์ดของ Blynk เพื่อแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์ และเพื่อลดภาระในการอ่านคำสั่งของแผงควบคุม Arduino UNO

4.2 การติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณสำหรับตรวจสอบสภาพของเครื่องจักร CNC

การติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณและอุปกรณ์ IoT เพิ่มเติมในการทำงานเฉพาะจุดของเครื่องกัด CNC ที่มีตัวควบคุม ADTECH CNC4640 และมีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 2.2 กิโลวัตต์ อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ติดตั้งในเครื่องจะแสดงในภาพที่ 1 การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจะดำเนินการโดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่เลือกเพื่อเก็บสัญญาณที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ Arduino UNO เป็นบอร์ดควบคุมเพื่อเชื่อมต่อและรับข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ESP32 เป็นชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เชื่อมต่อกับเราเตอร์ Wi-Fi และส่งข้อมูลไปยังแพลตฟอร์ม Blynk เพื่อเก็บและแสดงผลแบบเรียลไทม์ การดำเนินการเก็บข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 2 ฟังก์ชันหลักคือ (1) การวัดความเร็วแกนหมุน

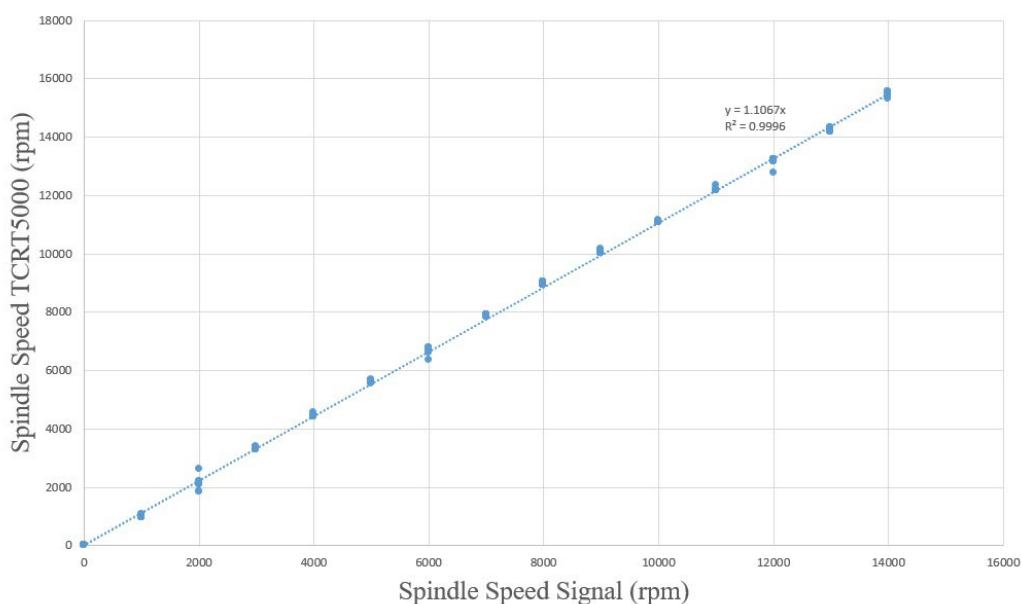
โดยมี TCRT5000 เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณสะท้อนแสงอินฟราเรดวัดรอบความเร็วการหมุน และ อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเพื่อวัดค่าสัญญาณความเร็วของแกนหมุน (2) การวัดการสั่นสะเทือนของแกนหมุน โดยมี อุปกรณ์ส่งสัญญาณวัดความเร่ง MPU6050 เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้ตรวจสอบสภาพการสั่นของเครื่องจักรใน มาตรการความเร่ง และมีข้อดีคือต้นทุนต่ำ ความแม่นยำสูงด้วย ADC 16 บิต ช่วงการใช้งานกว้าง $\pm 2g$ ถึง $\pm 16g$ และใช้งานได้กับ Arduino และ ไมโครคอนโทรลเลอร์อื่นๆ



ภาพที่ 1 อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ติดตั้งในเครื่องกัด CNC

4.3 วิธีเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

การทดลองแรกเป็นการสร้างแบบจำลองคาดการณ์ความเร็วรอบการหมุนเทียบกับสัญญาณความเร็วของแกนหมุน โดยใช้ อุปกรณ์ส่งสัญญาณ TCRT5000 วัดความเร็วแกนหมุนและใช้ อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าวัดสัญญาณความเร็วของแกนหมุนจากเครื่องกัด CNC ที่ติดตั้งไว้ในห้องปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยจะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 130 ชุดการทดลองนำเสนอในภาพที่ 2 โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นสร้างแบบจำลองการคาดการณ์รอบความเร็วการหมุน (สมการที่ 1) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square) ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงความแม่นยำของการคาดการณ์เท่ากับ 99.96%



ภาพที่ 2 การถดถอยเชิงเส้นของความเร็วแกนหมุน

$$y = 1.1067x \quad (1)$$

y = ความเร็วรอบการหมุนที่คาดการณ์ (รอบ/นาที)

x = สัญญาณความเร็วของแกนหมุน (รอบ/นาที)

จากความเร็วรอบการหมุนที่คาดการณ์ได้ในสมการสามารถนำไปเทียบกับค่าความเร็วการหมุนที่อุปกรณ์ส่งสัญญาณวัดได้ ค่าที่เปรียบเทียบออกมาจะเป็นค่าประสิทธิภาพการทำงานของความเร็วแกนหมุน (Performance of spindle speed)

ในส่วนการทดลองที่สอง จะวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของแกนหมุน โดยข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณ MPU6050 จะเป็นค่าความเร่งในแนวแกนตั้ง ซึ่งจะถูกลบเปลี่ยนเป็นความเร็วด้วยสมการอินทิเกรตดังนี้ [9]

$$v = \int_0^t a dt \quad (2)$$

ความเร็ว RMS (V_{rms}) เป็นค่าความเร็วที่นำไประบุสภาพเครื่องจักร สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} v(t)^2 dt} \quad (3)$$

v = ความเร็วการสั่น (มิลลิเมตร/วินาที)

a = ความเร่งการสั่น (มิลลิเมตร/วินาที²)

t = เวลา (วินาที)

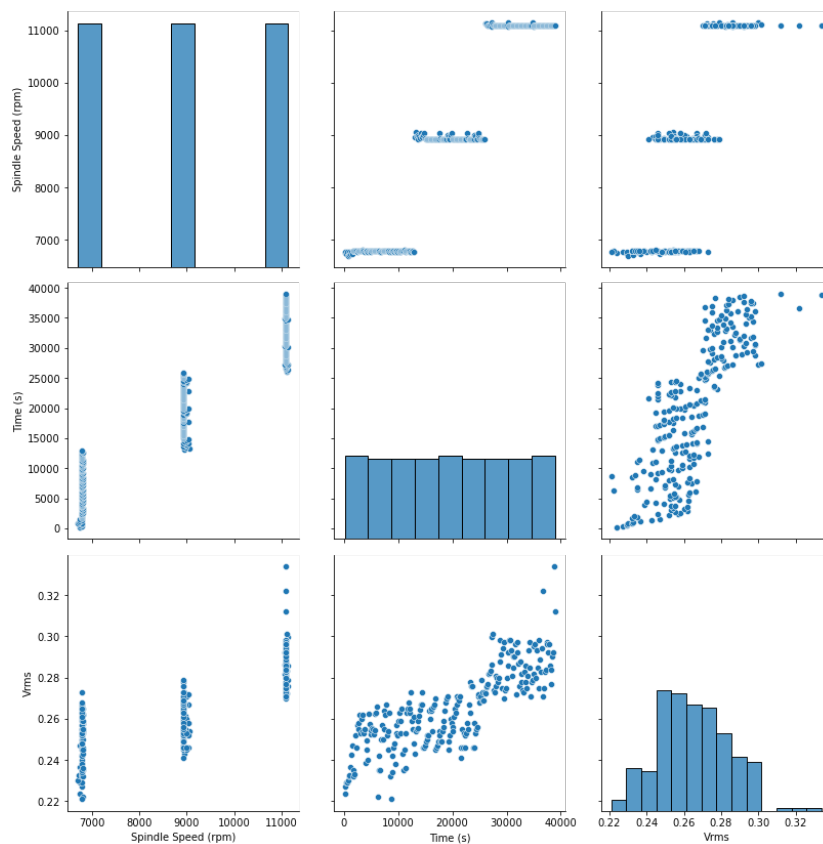
T = ช่วงเวลาทั้งหมด (วินาที)

การวัดการสั่นสะเทือนของแกนหมุนในเครื่องกัดจะถูกนำมาเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816 สำหรับการสั่นสะเทือนทางกลเพื่อระบุประสิทธิภาพการใช้งานตามตารางที่ 1 Class I เนื่องจากกำลังไฟฟ้าของแกนหมุนน้อยกว่า 15 กิโลวัตต์ ข้อมูลความเร็ว RMS ที่วัดได้จากการแปลงข้อมูลความเร่งโดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ MPU6050 ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ความเร็ว RMS เมื่อเทียบกับตัวแปรความเร็วรอบการหมุนที่ได้มาจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณ TCRT5000 และเวลา โดยจะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 345 ชุดข้อมูล

โดยแบ่งการเก็บออกเป็นความเร็วแกนหมุนที่ต่างกัน 3 ค่าที่สัญญาณความเร็วแกนหมุนเท่ากับ 6000, 8000 และ 10000 รอบ/นาทีและเก็บข้อมูลต่อเนื่องทั้งหมด 15 วันนำเสนอการเก็บข้อมูลดังในภาพที่ 3 และใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) สร้างแบบจำลองการคาดการณ์ความเร็ว RMS (สมการที่ 4) ค่า R Square เท่ากับ 77.63% สำหรับการคาดการณ์ช่วงเวลาอายุที่เหลืออยู่ (RUL) และแบบจำลองช่วงความเชื่อมั่นที่ต่ำกว่า 95% (สมการที่ 5) กับแบบจำลองช่วงความเชื่อมั่นที่สูงกว่า 95% (สมการที่ 6) มาใช้เป็นขอบเขตค่าความเร็ว RMS ที่อยู่ในช่วงปกติ

ตารางที่ 1 มาตรฐานการสั่น ISO 10816 [10]

Machine			Class I Small Machines	Class II Medium Machines	Class III Large Rigid Machines	Class IV Large Soft Machines
Vibration Velocity Vrms	in/s	mm/s				
	0.01	0.28	Good			
	0.02	0.45				
	0.03	0.71				
	0.04	1.12				
	0.07	1.80	Satisfactory			
	0.11	2.80				
	0.18	4.50	Unsatisfactory			
	0.28	7.10				
	0.44	11.2	Unacceptable			
	0.70	18.0				
	0.71	28.0				
	1.10	45.0				



ภาพที่ 3 การทดสอบเก็บข้อมูลความเร็วการสั่นสะเทือนเพื่อสร้างแบบจำลองการคาดการณ์

แบบจำลองการคาดการณ์:

$$y = 0.219447 + (2.94E - 06)x_1 + (9.93E - 07)x_2 \quad (4)$$

แบบจำลองช่วงความเชื่อมั่นที่ต่ำกว่า 95% :

$$y = 0.204879 + (5.69E - 07)x_1 + (6.22E - 07)x_2 \quad (5)$$

แบบจำลองช่วงความเชื่อมั่นที่สูงกว่า 95%:

$$y = 0.234015 + (5.3E - 06)x_1 + (1.36E - 06)x_2 \quad (6)$$

y = ความเร็ว RMS (มิลลิเมตร/วินาที)

x_1 = ความเร็วแกนหมุน (รอบ/นาที)

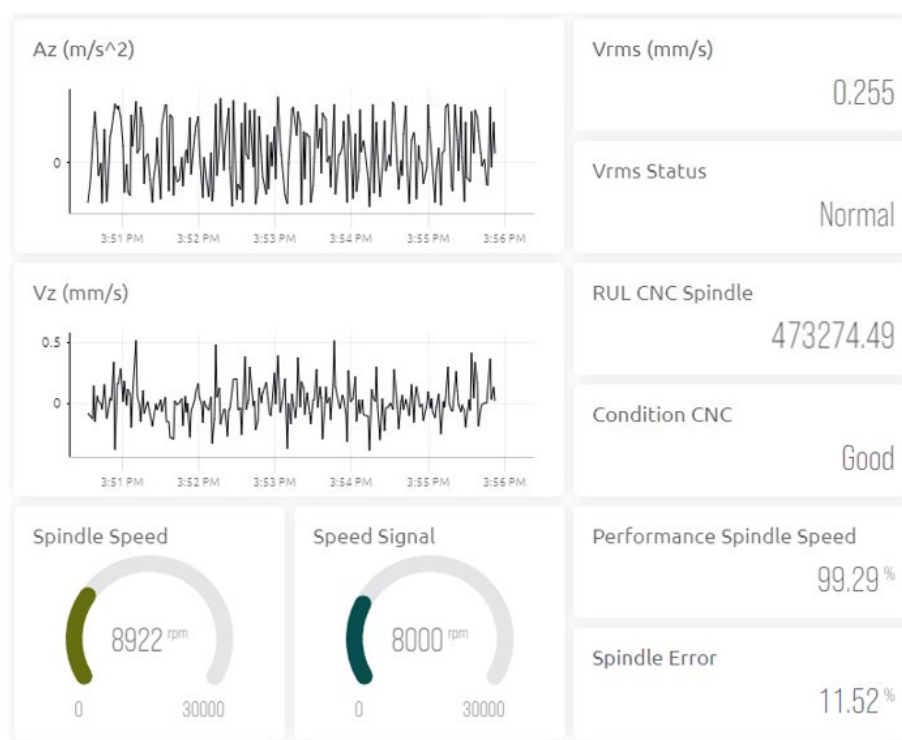
x_2 = อัตราป้อน (มิลลิเมตร/นาที)

x_3 = ความลึกของการตัด (มิลลิเมตร)

x_4 = เวลา (วินาที)

5. ผลการวิจัย

จากการทดสอบขั้นตอนวิธีระบบการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ในเครื่องจักร CNC จะถูกแสดงในแพลตฟอร์ม Blynk ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การทดสอบการเก็บข้อมูลที่นำเสนอโดยแพลตฟอร์ม Blynk

สำหรับส่วนแรกจะเป็นการนำเสนอการทำงานของฟังก์ชันการส่งโดยผลที่แสดงออกมาคือ 1) ค่าความเร่งในแนวตั้ง (Az) 2) ความเร็วในแนวตั้ง (Vz) 3) ค่าความเร็ว RMS ที่ได้จากการแปลงค่าความเร่ง 4) สถานะของความเร็ว RMS ที่ใช้แบบจำลองที่ 5 และ 6 เป็นค่าขอบเขตเมื่อค่าความเร็ว RMS มีค่าเกินหรือน้อยกว่าจะถือว่าในการทำงานครั้งนั้นมีสภาวะผิดปกติ 5) ค่าอายุการใช้งานที่เหลือ (RUL) ที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4 เมื่อตั้ง

ขอบเขตการทดลองว่าค่าความเร็ว RMS สูงสุดอยู่ที่ 0.71 ซึ่งเป็นค่าที่ ISO 10816 มีการเปลี่ยนสภาพจาก Good เป็น Satisfactory และ 6) สภาพการทำงานของเครื่องตามมาตรฐานความสั่นสะเทือน (ISO10816) และจากการทดสอบเก็บข้อมูลการใช้งานเพิ่มอีก 75 ชุดข้อมูลแล้วนำมาเทียบกับแบบจำลองการคาดการณ์ความเร็ว RMS พบว่ามีค่าความแม่นยำ R Square เท่ากับ 81.03%

ในส่วนที่สองเป็นการนำเสนอการทำงานของฟังก์ชันความเร็วการหมุนของแกนโดยค่าที่แสดงออกมาคือ 1) ค่าความเร็วการหมุนที่วัดได้จากอุปกรณ์ส่งสัญญาณ TCRT5000 2) สัญญาณความเร็วของแกนหมุนที่วัดจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 3) ประสิทธิภาพการทำงานของแกนหมุนในเครื่องจักร CNC โดยใช้ความเร็วการหมุนที่วัดได้เทียบกับความเร็วการหมุนที่คาดการณ์ และ 4) ค่าผิดพลาดของความเร็วจริงเทียบกับสัญญาณความเร็วของแกนหมุน และจากการทดสอบเก็บข้อมูลการใช้งานเพิ่มอีก 50 ชุดข้อมูลแล้วนำมาเทียบกับแบบจำลองการคาดการณ์ความเร็วการหมุนของเครื่องกัดพบว่ามีความแม่นยำ R Square เท่ากับ 99.98%

6. อภิปรายผล

การพัฒนากระบวนการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ด้วย IoT บนเครื่องกัด CNC จากผลการวิจัยจะแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำเสนอความสามารถในการรวบรวม ตรวจสอบ และแจ้งเตือนข้อมูลสภาพเครื่องกัดได้แบบเรียลไทม์ มีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและข้อผิดพลาดของระบบและนำเสนอทันทีบนแดชบอร์ดของ Blynk มีการจัดการชุดการทดลองเพื่อตรวจสอบและรับข้อมูลสำหรับการทดสอบเพื่อคาดการณ์สถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นและมีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ค่าความแม่นยำในแบบจำลองการคาดการณ์ (R Square) เป็นค่าที่แสดงอิทธิพลของตัวแปรอิสระทั้งหมดในแบบจำลองที่มีต่อตัวแปรตามเมื่อค่าเข้าใกล้ 100% จะมีความหมายว่าในแบบจำลองตัวแปรตามสามารถคำนวณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณมาก [11] จากผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ของความเร็วแกนหมุนและความเร็วการสั่นสะเทือนของแกนหมุนได้ค่า R Square อยู่ที่ 99.96 และ 77.63% ตามลำดับและจากการทดสอบเก็บข้อมูลการใช้งานเพิ่มของแบบจำลองทั้งสองได้ค่าความแม่นยำในการคาดการณ์ที่ 99.98 และ 81.03% ดังนั้นจึงสามารถบอกได้ว่ามีความเป็นไปได้ที่แบบจำลองการคาดการณ์ทั้งสองจะใช้คาดการณ์สถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องกัด CNC ในอนาคตได้

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) สามารถนำขั้นตอนวิธีของระบบการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับระบบอื่นๆ ได้โดยการเก็บข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ของระบบขึ้นมาใหม่

(2) แบบจำลองการคาดการณ์ของระบบการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ได้เฉพาะกับเครื่องกัด CNC ที่เก็บข้อมูลเท่านั้น

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ทดลองเพิ่มตัวแปรที่อาจจะมีผลในการวิเคราะห์เช่นอัตราป้อนในการทำงาน อุณหภูมิ หรือความลึกในการกัด และดูแนวโน้มของแบบจำลองการคาดการณ์ว่าตัวแปรอื่นๆ มีผลอย่างไรต่อการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบต่างๆ

(2) เพิ่มวิธีการส่งข้อมูลของระบบบำรุงรักษาให้มากขึ้นเพื่อป้องกันการส่งข้อมูลที่ผิดพลาดของระบบ

8. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทางการเงินจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Staines A. (2543). Benefits of an ISO 9001 certification – the case of a Swiss regional hospital. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 13(1), 27-33.
- [2] Zonta T. et al. (2563). *Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review*. Computers & Industrial Engineering, 150.
- [3] Patil S. and J. Gaikwad. (2556). Vibration analysis of electrical rotating machines using FFT: A method of predictive maintenance. in *2013 Fourth International Conference on Computing, Communications And Networking Technologies (ICCCNT)*. IEEE.
- [4] Levitt J. (2546). *Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance* (2nd Ed). Industrial Press.
- [5] Gbadamosi A.-Q. et al. (2564). *IoT for predictive assets monitoring and maintenance: An implementation strategy for the UK rail industry*. Automation in Construction. 122.
- [6] Li N. et al. (2558). An Improved Exponential Model for Predicting Remaining Useful Life of Rolling Element Bearings. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(12), 7762-7773.
- [7] Okoh C. et al. (2557). Overview of Remaining Useful Life Prediction Techniques in Through-life Engineering Services. *Procedia CIRP*, 16, 158-163.
- [8] Tavana M. et al. (2563). *IoT-based enterprise resource planning: Challenges, open issues, applications, architecture, and future research directions*, 11, 100262.
- [9] Al-Naggar Y.M. et al. (2564). Condition monitoring based on IoT for predictive maintenance of CNC machines. *Procedia CIRP*, 102, 314-318.
- [10] Ginart A. et al. (2549). Automated feature selection for embeddable prognostic and health monitoring (PHM) architectures. in *2006 IEEE Autotestcon*. IEEE.
- [11] Gosmann L et al. (2565) Data-driven forward osmosis model development using multiple linear regression and artificial neural networks. *Computers & Chemical Engineering* 2022, 165, DOI: 10.1016/j.compchemeng.107933.

**ศึกษาการระบายความร้อนภายในตู้เครื่องยนต์ต้นกำลังของเครื่องสูบน้ำเคลื่อนที่เร็ว
ด้วยการจำลองระเบียบวิธีเชิงตัวเลข**

**A STUDY OF INTERNAL VENTILATION OF HORSEPOWER CONTAINER
FOR MOBILE PUMP USING NUMERICAL METHODS**

ศิริกาญจน์ น้อยพล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: Benznoiphon1992@gmail.com

เกียรติศักดิ์ สกุลพันธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: Kiattisak.sa@spu.ac.th

นิติวุฒิ ยันชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: Nitiwut_Teen@hotmail.com

บทคัดย่อ

เครื่องยนต์ต้นกำลังของเครื่องสูบน้ำเคลื่อนที่เร็ว ถูกติดตั้งอยู่ในตู้ครอบ เพื่อป้องกันการโจรกรรม, แสงแดด, สายฝน, และเสียงรบกวนขณะทำงาน เหล่านี้เป็นสิ่งที่วิศวกรผู้ออกแบบต้องคำนึง อีกทั้งความร้อนสะสมภายในตู้ครอบขณะที่เครื่องยนต์ทำงานจะส่งผลถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์โดยตรง การออกแบบตู้ครอบจึงถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนอากาศเย็นทางเข้า (Cool Zone) และส่วนอากาศร้อนทางออก (Hot Zone) โดยผลต่างของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมรอบๆ กับอุณหภูมิภายในตู้ครอบขณะเครื่องยนต์ทำงานจะต้องไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส เป็นเงื่อนไขของบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์ ส่งผลให้ตัวแปรพื้นที่และตำแหน่งของช่องเปิดบริเวณอากาศทางเข้าและทางออกจำเป็นต้องทำการตรวจสอบโดยใช้โปรแกรมทางด้านวิศวกรรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของอากาศและการกระจายของอุณหภูมิภายในตู้ ผลการศึกษาพบว่า ความเร็วรอบสูงของเครื่องยนต์ส่งผลให้อุณหภูมิสะสมภายในตู้ครอบน้อยกว่าความเร็วรอบต่ำ ในขณะที่การปรับตำแหน่งช่องเปิดของตู้ครอบใน 5 รูปแบบ ผลเฉลยแสดงให้เห็นว่า ช่องเปิดที่อยู่ใกล้เครื่องยนต์มีการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่ารูปแบบอื่นๆ และเมื่อทำการปรับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมให้สูงขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในตู้ครอบมีแนวโน้มลดต่ำลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบผลเฉลยจากโปรแกรมกับค่าที่ตรวจวัดได้จากตู้ครอบเครื่องยนต์ที่ทำงานจริงที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 42 องศาเซลเซียส พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีแนวโน้มไปในลักษณะเดียวกัน โดยที่ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในตู้เท่ากับ 5.38 เฟอร์เซนต์ และอุณหภูมิพื้นผิวเครื่องยนต์ขณะทำงานเท่ากับ 8.05 เฟอร์เซนต์

คำสำคัญ: การระบายความร้อน, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, ตู้ครอบเครื่องยนต์

ABSTRACT

A diesel engine for mobile water pump installed in the enclosure to prevent theft, sunlight, rain, and noise while working. In addition, the heat accumulation inside the enclosure while the engine is working will directly affect engine performance. The design of enclosure is therefore divided into 2 zones: cold zone and hot zone. The requirement of the engine manufacturer, the difference of ambient temperature with temperature inside enclosure must not exceed 5°C . Thus, the area of variable and the location of the air inlet and outlet are investigated using the Computational Fluid Dynamics (CFD) approach. That is used to analyze the air flow behavior and temperature distribution inside the enclosure. The results shown that, the high engine speed has less effect on the cumulative temperature inside the enclosure than the low engine speed. Then adjust the air inlet location of enclosure in 5 designs. The results indicated that, the air inlet location closer to the engine surface transfers heat better than other designs. Moreover, when the temperature of the environmental increases, there is less difference between the temperature inside the enclosure and the ambient temperature. Additionally, when comparing the CFD results with the actual enclosure with an engine operating at an ambient temperature of 42°C , the results are similar. The cold zone temperature difference was 5.38 percent, although the engine surface temperature during operation was 8.05 percent.

Keywords: Cooling, CFD, Engine Enclosure

1. บทนำ

เครื่องยนต์ต้นกำลังของเครื่องสูบน้ำแบบเคลื่อนที่เร็ว เป็นเครื่องยนต์ดีเซลที่ติดตั้งอยู่ในตู้ครอบ เพื่อช่วยป้องกันสิ่งต่างๆ จากปัจจัยภายนอก เช่น การโจรกรรม, ความร้อนจากแสงแดด, น้ำจากสายฝน, และเสียงรบกวนที่เกิดจากการทำงานของเครื่องยนต์ เหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นที่วิศวกรจะต้องใช้เป็นเงื่อนไขในการออกแบบตู้ครอบเครื่องยนต์ ยิ่งไปกว่านั้น ความร้อนที่เกิดจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์จะมีอุณหภูมิสะสมเพิ่มสูงขึ้นตามภาระโหลดของเครื่องยนต์ ทำให้ความหนาแน่นของอากาศภายในตู้ลดต่ำลง ส่งผลต่อเนื่องถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ อีกทั้งความร้อนที่สูงขึ้นจะทำให้อายุการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ สั้นลง และอาจทำให้เกิดการเสียหายต่อการโก่งตัวของฝาสูบ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การออกแบบตู้ครอบเครื่องยนต์จะต้องแบ่งพื้นที่การระบายความร้อนให้ชัดเจนคือ พื้นที่อากาศร้อนทางด้านออก (Hot zone) และพื้นที่อากาศเย็นทางด้านเข้า (Cold zone) โดยที่อากาศร้อนบริเวณหน้าหม้อน้ำจะต้องไม่ไหลวนกลับเข้ามาในพื้นที่ที่อากาศเย็น ในขณะที่ ตำแหน่งและมุมมองของช่องบานเกร็ดจะมีผลต่อการระบายความร้อนของเครื่องยนต์ (V. V. Parthan, et al, 2019) นอกจากนี้ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดสำหรับอากาศทางด้านออกและอากาศทางด้านเข้ามีผลต่อการสะสมความร้อนภายในตู้ครอบและเสียงที่เกิดจากการทำงานของเครื่องยนต์ (G.K. Babar, 2017) อย่างไรก็ตาม ความเร็วรอบและขนาดพัดลมหน้าเครื่องยนต์มีผลโดยตรงต่อการระบายอากาศภายในตู้ครอบ (Y.S. Bae, et al., 2009) ดังนั้น เพื่อลดความร้อนสะสมภายในตู้ครอบสำหรับเครื่องยนต์ต้นกำลังของเครื่องสูบน้ำเคลื่อนที่เร็ว โดยอาศัยหลักการการถ่ายเทความร้อนและวิธีการทางด้านวิศวกรรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการตรวจสอบพฤติกรรมการไหลของอากาศ และการกระจายอุณหภูมิภายในตู้ครอบ จึงเป็นที่มาของการศึกษาในโครงการวิจัยนี้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการออกแบบช่องเปิดสำหรับการลดความร้อนสะสมภายในตู้ครอบ เครื่องยนต์ต้นกำลังของเครื่องบินเคลื่อนที่เร็ว โดยวิธีทางคำนวณวิศวกรรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD)

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า การออกแบบช่องเปิดสำหรับตู้ครอบเครื่องยนต์จะมีข้อจำกัดและตัวแปรที่ต้องตรวจสอบจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์นั้นๆ เช่น การปล่อยพลังงานความร้อนขณะเครื่องยนต์ทำงานในแต่ละความเร็วรอบ, ขนาดพื้นที่หน้าตัดของหม้อน้ำ, การจัดวางตำแหน่งของท่อไอเสีย, และอื่นๆ ที่มีผลกระทบโดยตรงต่อการกระจายอุณหภูมิภายในตู้ครอบ รวมไปถึงเสียงที่จะเกิดขึ้นขณะทำงาน มีการศึกษาความเหมาะสมของมุมมองและความยาวของบานเกร็ดช่องเปิดโดยการตรวจวัดผลจากงานจริงเปรียบเทียบกับ ผลเฉลยทาง CFD อีกทั้งการศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อการระบายความร้อนภายใต้ข้อกำหนดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 20 องศาเซลเซียส เพื่อตรวจสอบความแตกต่างของอุณหภูมิภายในตู้ครอบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านวิศวกรรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเข้ามาช่วยในการทำนายผลเฉลยของสมมุติฐานต่างๆ กับการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการทดสอบจริง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบหัวข้อการศึกษาวิจัยและผลลัพธ์ที่ได้จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่อ/ปีที่ตีพิมพ์เอกสาร	ตัวแปร ที่ทำการวิเคราะห์	วิธีการหาผลเฉลย ของปัญหา	ผลเฉลยที่ได้
Yingying Xu, et al. (2021)	ขนาดหม้อน้ำและ ความเร็วอากาศ	CFD	ปรับขนาดหม้อน้ำให้ใหญ่ขึ้นจากรูปแบบเดิม 40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้การระบายความร้อนภายในตู้เครื่องยนต์ดีขึ้น
Parthan, V. V., et al. (2019)	มุมและความยาวของ บานเกร็ดช่องเปิด	ทดสอบชิ้นงานจริง & CFD	มุมบานเกร็ดที่ 45 องศา ทำให้ความดันตกคร่อมภายในตู้และความแตกต่างอุณหภูมิมีความเหมาะสมที่สุด
Prashant P. P., et al. (2015)	มุมมองช่องเปิด	CFD	ความแตกต่างของอุณหภูมิสำหรับมุมบานเกร็ดที่ 45° มีความเหมาะสมที่สุดและทำให้เกิดเสียงอยู่ในเกณฑ์ 80 dB ในระยะ 5 เมตร
Mole D.S., et al. (2013)	ความเร็วรอบ เครื่องยนต์	ทดสอบชิ้นงานจริง & CFD	การใช้ชุดฉนวนและมุมมองของช่องเปิดสามารถทำให้เสียงลดลงที่ความเร็วรอบสูง
Yee Seok Bae, et al. (2009)	ความเร็วรอบของ เครื่องยนต์และ ตำแหน่งช่องเปิด	CFD	ความเร็วรอบสูงจะสามารถลดอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดและทำให้การระบายความร้อนได้ดี

3.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

พลังงานความร้อนเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่สามารถถ่ายโอนจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่งอันเป็นผลมาจากอุณหภูมิจำแนกได้ 3 วิธี คือ การนำความร้อน, การพาความร้อน, และการแผ่รังสีความร้อน โดยการถ่ายโอนพลังงานจะเกิดจากตัวกลางที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ และการถ่ายเทพลังงานจะ

หยุดลงเมื่อตัวกลางทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากัน ดังนั้นความแตกต่างของอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของพลังงานภายในระบบที่สามารถอธิบายได้จากสมการที่ 1

$$Q = \dot{m}C_p\Delta T \quad (1)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (kW หรือ kJ/s), C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ [kJ/kg °C], ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิ [°C], $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของระบบ [kg/s] จะเท่ากับผลคูณของความหนาแน่นของของไหล (kg/m³) ที่จะแปรผันตามอุณหภูมิกับอัตราการไหลเชิงปริมาตร (m³/s) ที่มีค่าเท่ากับผลคูณของความเร็วในการไหล (m/s) กับพื้นที่หน้าตัดตั้งฉากกับทิศทางการไหล (m²) ดังนั้น การออกแบบตู้ครอบจึงสามารถคำนวณหาขนาดของพื้นที่ช่องเปิดบริเวณอากาศทางเข้าได้จากสมการที่ 2

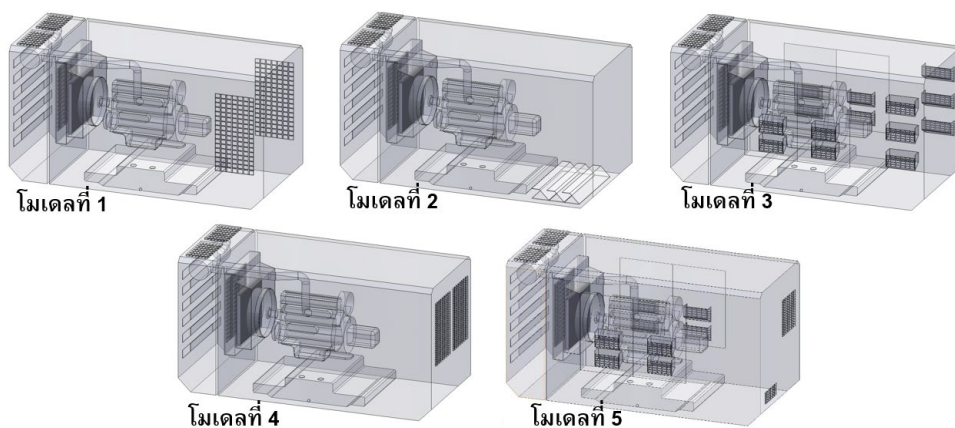
$$A = \frac{Q}{\rho VC_p\Delta T} \quad (2)$$

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

เริ่มต้นทำการศึกษาค้นคว้าทางทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ปัญหาและตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการระบายความร้อนภายในตู้ครอบเครื่องชนิด รวมไปถึงศึกษาแนวทางในการแก้ไขปัญหาอื่นๆ และข้อจำกัดในการใช้งาน จากข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอัตราการถ่ายเทความร้อน, อัตราการไหลเชิงมวล, ค่าความจุความร้อน, ความเร็วของของไหล และผลต่างของอุณหภูมิ โดยจะใช้ทฤษฎีทางด้านการถ่ายเทความร้อน เพื่อหาขนาดของพื้นที่ช่องเปิดอากาศทางเข้าในสมการที่ 2 จากนั้นทำการจำลองโมเดลตู้ครอบเครื่องชนิดที่จะใช้ในการวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรมทางด้านวิศวกรรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (ANSYS CFX) ตรวจสอบพฤติกรรมการไหลของอากาศและการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตู้ครอบเครื่องชนิดต้นกำลัง จากนั้นปรับปรุงโมเดลตู้ครอบโดยการเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิดทางเข้าอากาศ ข้อมูลสุดท้ายของผลแลจากโปรแกรมถูกนำมาเปรียบเทียบค่าที่ได้ตรวจวัดจากน้างานจริง และสรุปผลการวิจัย

4.1 การจำลองระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

จะใช้แบบจำลองที่เป็นปริมาตรของไหลที่ออกแบบไว้ด้วยโปรแกรม SolidWorks มีทั้งหมด 5 โมเดล



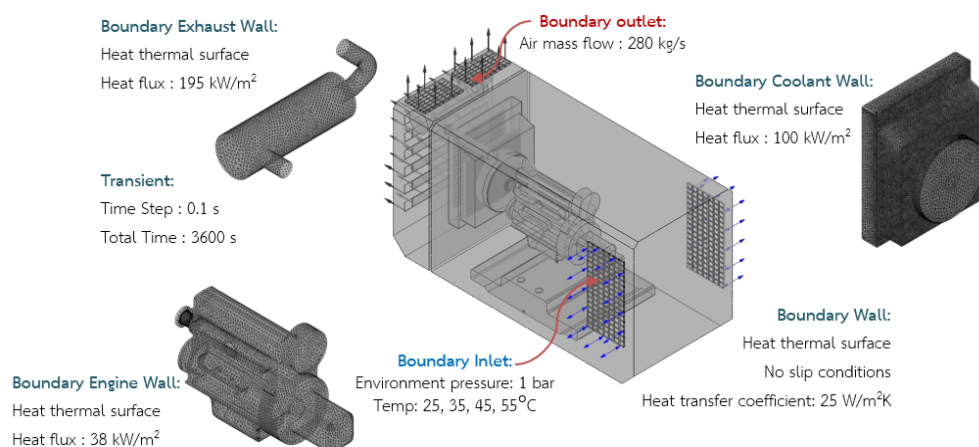
แผนภาพที่ 1 แบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์ในโปรแกรม ANSYS CFX

ตารางที่ 2 แสดงตำแหน่งช่องเปิดอากาศทางเข้าของแต่ละโมเดล

	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านล่าง	ด้านหลัง	หมายเหตุ
โมเดลที่ 1	✓	✓			ตำแหน่งพื้นที่ด้านหลัง
โมเดลที่ 2			✓		
โมเดลที่ 3	✓	✓			ตำแหน่งใกล้กับเครื่องยนต์
โมเดลที่ 4				✓	
โมเดลที่ 5	✓	✓		✓	ตำแหน่งกระจายรอบตัว

4.2 กำหนดเงื่อนไขขอบเขตของโปรแกรม ANSYS CFX

โมเดล 3 มิติของตู้ครอบเครื่องยนต์ จะถูกจำลองขึ้นโดยการตัดปริมาตรในส่วนที่เป็นของแข็งออกจะเหลือเพียงปริมาตรรูปทรงของของไหลที่อัดตัวได้คืออากาศที่อยู่ในตู้ครอบเท่านั้น โดเมนที่ใช้ในการคำนวณจะถูกกำหนดเป็นแบบ Transient สมการกำลังสองของออยเลอร์ ถูกนำมาใช้สำหรับเงื่อนไขของเทอมการหน่วงเวลาภายใต้เงื่อนไขของ Timesteps เท่ากับ 0.1 วินาที ในช่วงเวลาทั้งหมด 3,600 วินาที เกณฑ์การลู่เข้าของผลลัพธ์จากการจำลอง (Convergence) จะถูกกำหนดให้หยุดประมวลผลเมื่อมีค่าความแตกต่างของตัวแปรน้อยกว่า 10^{-6} ภายใต้รูปแบบการไหลแบบปั่นป่วนของของไหลชนิด k- ϵ พื้นผิวช่องทางออกกำหนดให้เป็น Air mass flow ในขณะที่พื้นผิวช่องทางเข้าจะกำหนดให้เป็นความดันบรรยากาศปกติที่ 1 bar ที่อุณหภูมิต่างกัน ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์ถูกนำมาใช้เป็นเงื่อนไขต้นต้น โดยกำหนดให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของพื้นผิวของหม้อน้ำเท่ากับ 100 kW/m^2 , พื้นผิวของท่อไอเสีย 195 kW/m^2 , พื้นผิวของเครื่องยนต์ 38 kW/m^2 และพื้นที่ผิวของตู้ครอบเท่ากับ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเท่ากับ $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ดังแสดงในแผนภาพที่ 2, จำนวนโหนดในปริมาตรควบคุมจะมีประมาณ 5,318,338 โหนด และจำนวนเอลิเมนต์รูปทรงปริมาตรฐานสามเหลี่ยม (tetrahedral elements) จะมีประมาณ 2,286,903 เอลิเมนต์

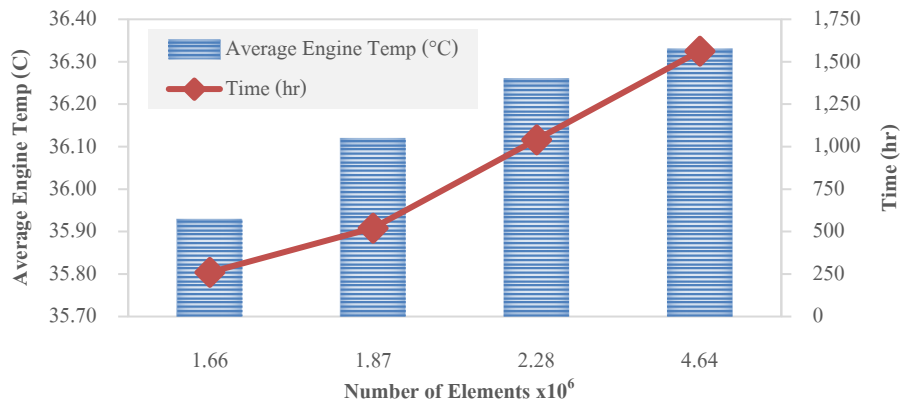


แผนภาพที่ 2 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตการจำลองระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

4.3 การตรวจสอบความแม่นยำของผลเฉลย (Mesh Sensitivity Study)

เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของผลเฉลยที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม ANSYS CFX ภายใต้เงื่อนไขและขอบเขตของการจำลองปัญหาแบบหน่วงเวลา จึงสร้างกรณีศึกษาเพื่อตรวจสอบคุณภาพของจำนวน

เอลิเมนต์ โดยการบังคับช่วงความหน่วงของเวลา (timestep) เท่ากับ 0.1 วินาทีในทุกกรณีศึกษา ผลเฉลยทั้ง 4 กรณีศึกษา พบว่าการเพิ่มจำนวนเอลิเมนต์มากขึ้นจะมีความแตกต่างของผลเฉลยน้อยลงแต่ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลของโปรแกรมมากขึ้น เมื่อทำการตรวจสอบผลต่างของอุณหภูมิในแต่ละกรณีศึกษามีค่าต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในแผนภาพที่ 3 จึงสรุปได้ว่า จำนวนเอลิเมนต์มากกว่า 2.28 ล้าน มีความเหมาะสมและจะถูกนำไปใช้ในการทำนายผลเฉลยต่อไป

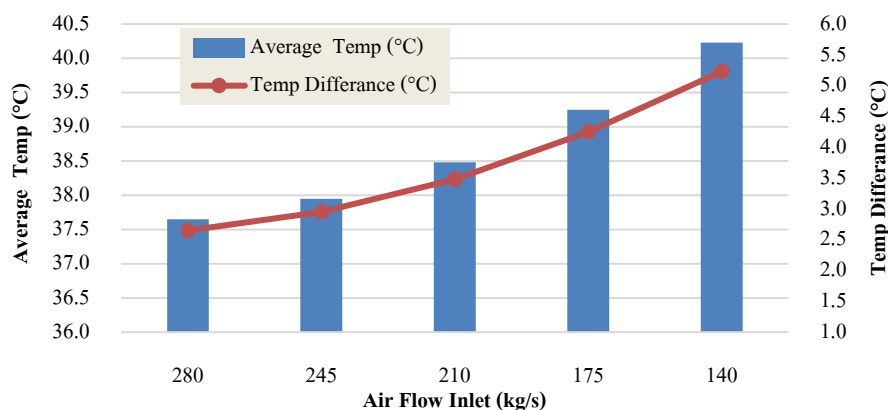


แผนภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนเอลิเมนต์กับผลเฉลย
และระยะเวลาในการประมวลผลของโปรแกรม CFD

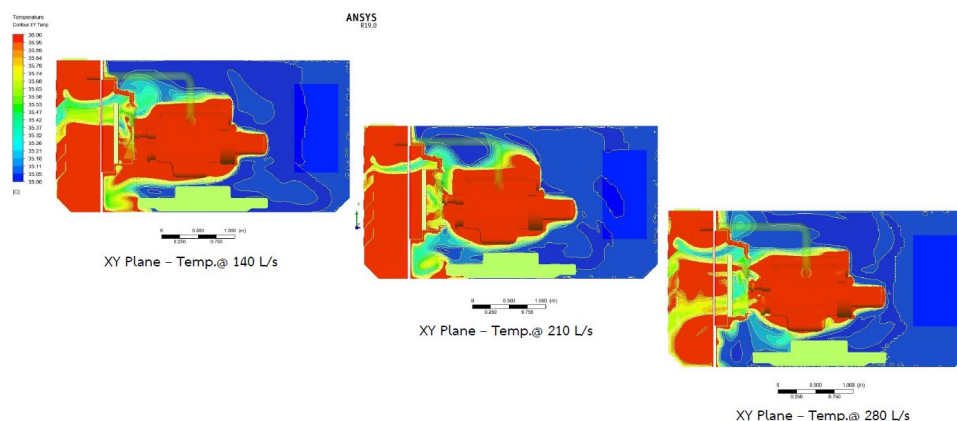
5. ผลการดำเนินงานวิจัย

5.1 วิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในตู้เครื่องยนต์

ช่วงความเร็วรอบใช้งานของเครื่องยนต์จะมีผลต่ออัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านช่องเปิดทางเข้าตู้ครอบ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์ได้ถูกนำมาใช้เป็นเงื่อนไขในการวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่า ความเร็วรอบสูงของเครื่องยนต์ ใบพัดจะสามารถดูดอากาศเพื่อใช้ในการระบายความร้อนบริเวณหม้อน้ำได้ดี ทำให้ความร้อนบริเวณพื้นผิวของเครื่องยนต์มีการกระจายตัวได้ดี ส่งผลต่อเนื่องให้ไม่เกิดการสะสมความร้อนภายในตู้ จากแผนภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นน้อยที่อัตราการไหลของอากาศสูง ส่งผลให้ความร้อนที่สะสมภายในตู้ครอบเครื่องยนต์มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ในทางตรงกันข้ามอัตราการไหลของอากาศน้อยที่ความเร็วรอบต่ำ ทำให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในตู้ครอบสูงขึ้นอาจจะทำให้ความร้อนสะสมภายในตู้ครอบเครื่องยนต์สูงตามไปด้วย



แผนภาพที่ 4 กราฟแสดงอัตราการไหลภายในตู้ครอบเครื่องยนต์

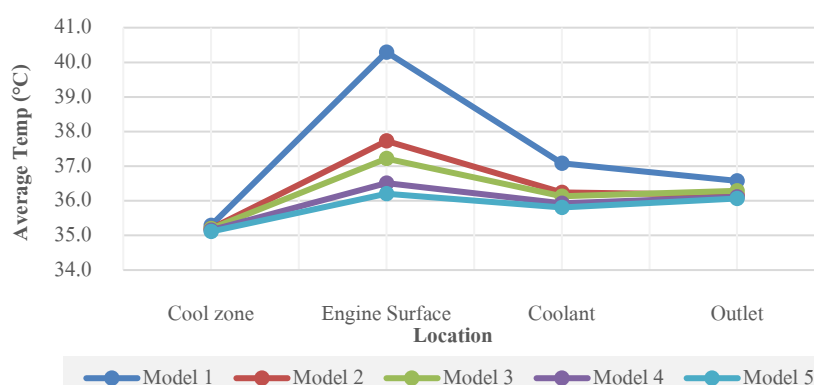


แผนภาพที่ 5 การกระจายอุณหภูมิภายในตู้ของอัตราการไหลที่แตกต่างกัน แนวแกน XY

แสดงการกระจายอุณหภูมิในรูปแบบเจดสีภายในตู้ครอบเครื่องยนต์ของอัตราการไหลที่แตกต่างกัน จากอัตราการไหลที่ 140 kg/s จะเห็นว่าการกระจายตัวรอบๆ เครื่องยนต์ และตรงด้านล่างหม้อน้ำค่อนข้างเยอะ และเมื่อเทียบกับ อัตราการไหลที่ 280 kg/s จะเห็นได้ว่าการกระจายอุณหภูมิภายในตู้ลดน้อยลง นั่นหมายความว่า อัตราการไหลที่ 280 kg/s มีการระบายความร้อนได้ดี เนื่องจากมีอุณหภูมิที่สะสมภายในตู้เครื่องยนต์ที่ลดต่ำลง

5.2 ตรวจสอบตำแหน่งของช่องเปิดอากาศทางเข้า

การตรวจสอบตำแหน่งของช่องเปิดอากาศทางเข้าของแบบจำลองทั้ง 5 โมเดล จะกำหนดเงื่อนไขตาม ข้อมูลของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อวินาที โดยมีอัตราการไหลอยู่ที่ 280 ลิตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม 35 องศาเซลเซียส ผลการทำนายของโปรแกรมแสดงให้เห็นว่า โมเดลที่ 5 มีการกระจายตัวของ อุณหภูมิที่ดี เนื่องจากอากาศสามารถเข้าถึงพื้นผิวเครื่องยนต์ได้ทั้งด้านข้างและด้านหลัง ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ย ภายในตู้ครอบน้อยกว่าโมเดลอื่นๆ ในขณะที่โมเดลที่ 1 ที่ช่องเปิดทางเข้าอยู่ด้านหลังสุด อุณหภูมิพื้นผิว เครื่องยนต์จะสูงกว่าโมเดลอื่นๆ ประมาณ 3-5 องศาเซลเซียส ดังแสดงในแผนภาพที่ 6

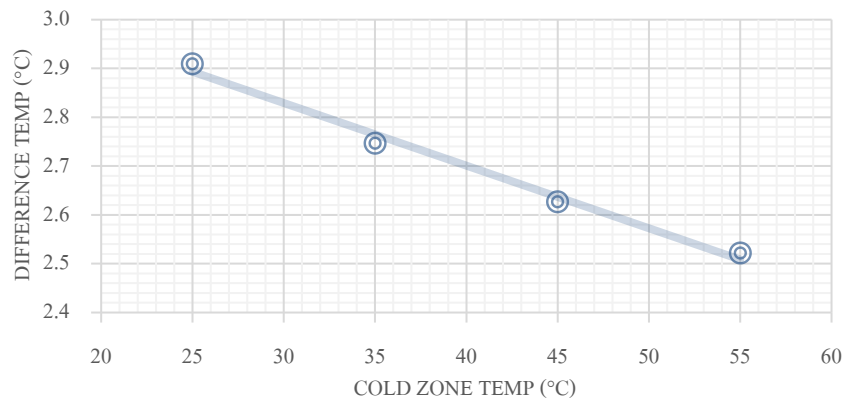


แผนภาพที่ 6 กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้ครอบเครื่องยนต์ของแต่ละโมเดล

5.3 ตรวจสอบการระบายความร้อนที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน

จากสภาพการใช้งานกลางแจ้ง ภายใต้อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันที่ 25, 35, 45, 55 องศาเซลเซียส เป็นเงื่อนไขของพื้นผิวตู้ครอบและอากาศทางเข้า โมเดลที่ 5 ถูกนำมาทำการวิเคราะห์ ผลเฉลยของโปรแกรม จึงเห็นว่า ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 25 องศาเซลเซียส จะมีผลต่างของอุณหภูมิภายในตู้กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูง

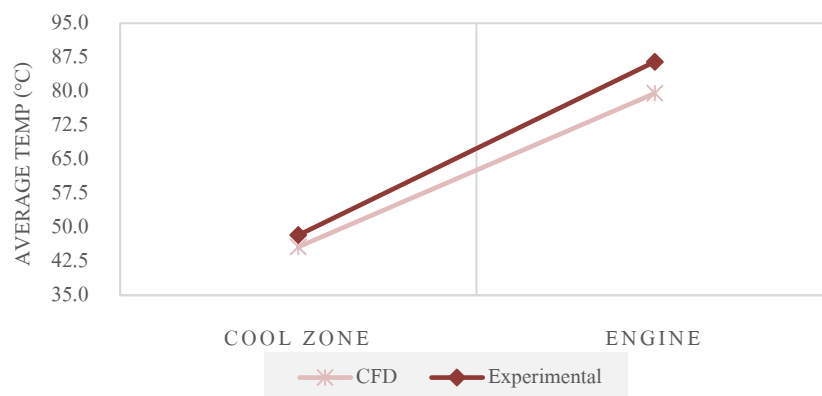
ในทางตรงกันข้ามเมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงขึ้นถึง 55 องศาเซลเซียส ผลเฉลยแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ทำให้ความร้อนที่สะสมภายในตู้รอบมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ดังแสดงในแผนภาพที่ 7



แผนภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในตู้รอบกับความแตกต่างของอุณหภูมิ

5.4 เปรียบเทียบผลเฉลยของโปรแกรมกับค่าที่ตรวจวัดจากหน้างานจริง

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลระหว่างค่าที่ตรวจวัดจากหน้างานกับผลเฉลยของโปรแกรม CFD ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 42 องศาเซลเซียส พบว่าผลลัพธ์อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในตู้รอบเครื่องยนต์มีแนวโน้มไปในลักษณะเดียวกันกับค่าของหน้างานจริง ดังแสดงในแผนภาพที่ 8 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอุณหภูมิอากาศภายในตู้เท่ากับ 5.38 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิพื้นผิวเครื่องยนต์ขณะทำงานเท่ากับ 8.05 เปอร์เซ็นต์



แผนภาพที่ 8 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้รอบและอุณหภูมิพื้นผิวเครื่องยนต์ของผลเฉลย CFD กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดหน้างานจริง



แผนภาพที่ 9 การตรวจวัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆ จากหน้างานจริง

6. สรุปผลการวิจัย

ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์ จะเป็นเงื่อนไขตั้งต้นในการออกแบบตู้ครอบเครื่องยนต์ต้นกำลังของเครื่องสูบน้ำเคลื่อนที่เร็ว ค่าตัวแปรอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ต่างๆ คือ สิ่งสำคัญในการศึกษานี้ ผลการออกแบบและวิเคราะห์พบว่า ข้อมูลของอัตราการไหลของอากาศทางเข้าที่ได้จากบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์ จะส่งผลต่อพื้นที่ช่องเปิดทางเข้าอากาศ ที่ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้ครอบเปลี่ยนแปลง ในขณะที่ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของการเจาะช่องเปิดสำหรับอากาศเข้า บริเวณใกล้เคียงกับพื้นผิวเครื่องยนต์จะทำให้ การระบายความร้อนสะสมได้ดีกว่ารูปแบบโมเดลอื่นๆ อีกทั้งพื้นที่อากาศทางด้านออกจะต้องมีขนาดมากกว่าพื้นที่หน้าตัดหม้อน้ำ 1.25 เท่า เพื่อการระบายความร้อนที่ดี นอกจากนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ผลเฉลยแสดงให้เห็นได้ว่าที่ 55 องศาเซลเซียส ความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ทำให้ความร้อนที่สะสมภายในตู้ครอบมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อทำการเปรียบเทียบผลเฉลยจากโปรแกรมกับค่าที่ตรวจวัดได้จากตู้ครอบเครื่องยนต์ที่ทำงานจริงที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 42 องศาเซลเซียส พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีแนวโน้มไปในลักษณะเดียวกัน โดยที่ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในตู้เท่ากับ 5.38 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิพื้นผิวเครื่องยนต์ขณะทำงานเท่ากับ 8.05 เปอร์เซ็นต์

7. ข้อเสนอแนะ

การระบายอากาศของเครื่องยนต์แต่ละรุ่นและยี่ห้อจะขึ้นอยู่กับ ขนาดและรูปร่างของใบพัดหน้าเครื่องยนต์ รวมไปถึงขนาดของหม้อน้ำ ดังนั้นจำเป็นต้องตรวจสอบข้อมูลเหล่านี้ให้ชัดเจนก่อนการออกแบบตู้ครอบเครื่องยนต์

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท นำพลอินเตอร์เทค จำกัด ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย ตลอดจนขอขอบพระคุณ คณาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่สนับสนุนให้ความช่วยเหลือทางด้านข้อมูล และเอกสารในการจัดทำงานวิจัยชิ้นนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- Cengel, Y.A., *Heat transfer: A Practical Approach*, 2nd Edition, McGraw-Hill, New York, 2002.
- Mole DS, Yadav PS, Kandalkar MD, Karanth NV, Tursenia V, Gunjegaonkar D., “Design optimization of acoustic enclosure for noise reduction of diesel generator set”, *SAE Technical Papers*, 2013.
- Parthan, Veena Vattaparambil, P. I. Shyamkumar, and S. R. Nagaraja, “Canopy design to minimize restrictions and maximize heat transfer”, In *AIP Conference Proceedings*, 200(1), pp. 020079., 2019.
- Prashant P. Pandav, Surendra Barhatte & Nitin Gokhale, “Thermal optimization of Genset Canopy using CFD” *International Journal of Mechanical and Production*, 5(3), pp. 19–26, 2015.
- Yee Seok Bae, Geun Jong Yoo, Hoon Ki Choi, “Numerical Study on cooling effect of engine room enclosuresystem”, *Journal of Computational Fluids Engineering*, 14(2), pp. 39-45, 2009.
- Yingying Xu, Libin Tan, Yuejin Yuan, Man Zhang, “Numerical Simulation on Flow Field and Design Optimization of a Generator Unit Based on Computational Fluid Dynamics Analysis”, *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, Article ID 3350867, 13 pages, 2021.

**ผลกระทบของสภาวะสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่ออุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่
ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตในรถจักรยานยนต์**

**EFFECT OF SURROUNDING CONDITIONS ON THE TEMPERATURE OF
LITHIUM IRON PHOSPHATE BATTERY CELLS IN A MOTORCYCLE**

จักรพงศ์ ดำดั่งทอง

สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

E-mail: kk.jakkapong@gmail.com

รศ.ดร.ชัยภัทร เครือหงส์

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

E-mail: chaikr@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับบทบาทของสภาวะแวดล้อมที่ส่งผลต่ออุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตที่นำมาใช้งานกับรถจักรยานยนต์สันดาปภายใน โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตในขณะจอดรถจักรยานยนต์ไว้ในบริเวณกลางแจ้งที่มีแสงแดดจัดตลอดทั้งวันกับกรณีที่จอดรถจักรยานยนต์ไว้ในที่ร่ม และเครื่องยนต์ของรถจักรยานยนต์ทำงานต่อเนื่อง กรณีที่มีลมไหลผ่านเครื่องยนต์ และกรณีติดตั้งพัดลมระบายความร้อนบริเวณรอบข้างกล่องแพ็คเกจแบตเตอรี่ ผลการทดลองพบว่า ความร้อนจากเครื่องยนต์เป็นปัจจัยหลักในการสะสมความร้อนที่มีผลให้อุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตมีค่าเพิ่มสูงขึ้นกว่า 45 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการเคลื่อนที่ของอากาศรอบเครื่องยนต์และการใช้พัดลมระบายความร้อนร่วมกันจะช่วยให้อุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตลดลง และมีอุณหภูมิไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต, รถจักรยานยนต์, ความร้อน, สันดาปภายใน

ABSTRACT

This research aimed to investigate the state of the environment, which plays an important role in the temperature of the lithium iron phosphate battery applied to motorcycles with an internal combustion engine. The temperature of the lithium iron phosphate battery compared to 2 conditions. First, parking the testing motorcycle was set up outside when there is strong sunlight during the day. Second, the testing motorcycle was parked outdoors without sunlight. In both conditions, the motorcycle engine worked continuously throughout the experiment. Additionally, using case studies, the air entering a motorcycle engine and the case of an installed fan around the battery housing were tested. The results indicated that the major cause of heat accumulation that raised the temperature of lithium iron phosphate battery cells above 45 °C was heat from the motorcycle engine.

Nevertheless, the circulating air around the motorcycle engine, in conjunction with an installed fan, was effective in lowering the temperature of the lithium iron phosphate battery cells to below 35 °C.

Keywords: Lithium Iron Phosphate, Motorcycle, Heat, Internal Combustion

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในปัจจุบันสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ได้เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ เช่นด้านอาหารการกิน การแต่งกาย การสร้างที่อยู่อาศัย การติดต่อสื่อสาร และสิ่งที่จำเป็นอย่างมากในปัจจุบันคือการเดินทาง เห็นได้จากการดำเนินชีวิตในปัจจุบันนับตั้งแต่ตื่นนอนจนเข้านอนของมนุษย์ก็ใช้ยานพาหนะเป็นหลักในการเดินทางไปกลับจากที่ทำงาน จากข้อมูลสถิติจากกรมขนส่งทางบกในปัจจุบัน ประเทศไทยมีการใช้รถจักรยานยนต์มากถึง 21 ล้านคัน โดยเป็นสัดส่วนที่สูงกว่ารถยนต์ส่วนตัวถึง 2 เท่า [1] เนื่องจากประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง มีความคล่องตัวในการเดินทาง ช่วยลดเวลาในการเดินทางในช่วงจราจรติดขัด ปัจจุบันรถจักรยานยนต์ทั่วไปยังใช้งานแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ซึ่งแบตเตอรี่ประเภทนี้มีข้อเสีย เช่น ต้องคอยบำรุงรักษา เพราะคายประจุเร็ว มีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมาก รวมไปถึงอาจได้เฉพาะแอมป์ และแบตเตอรี่แบบแบตเตอรี่ซึ่งนิยมใช้กันในปัจจุบัน แต่จัดอยู่ในประเภทเดียวกันกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดมีอายุการใช้งานที่สั้นเหมือนกัน ส่งผลให้ผู้ใช้แบตเตอรี่ 2 แบบนี้ต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่บ่อยครั้งในช่วงระยะเวลาอันสั้น แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตจึงเป็นตัวเลือกที่ดีกว่าในการนำมาใช้งานกับรถจักรยานยนต์ เนื่องจากมีน้ำหนักเบา และเล็กกว่าแบตเตอรี่แบบอื่น แต่ให้กำลังไฟมาก คายประจุน้อย และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ด้านในไม่มีน้ำกรดหรือของเหลวอื่นๆ ที่เป็นอันตราย [2, 5] อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตยังมีข้อจำกัดในเรื่องอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานจะจำกัดอยู่ในช่วง 15 - 40 องศาเซลเซียส [3] และสำหรับการนำแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตมาใช้งานในรถจักรยานยนต์สันดาปภายในซึ่งรถประเภทนี้มีความร้อนจากการทำงานของเครื่องยนต์ถ่ายเทไปยังตำแหน่งติดตั้งแบตเตอรี่ที่บริเวณใต้เบาะ อีกทั้งประเทศไทยเป็นประเทศเมืองร้อน และอากาศที่ร้อนเกินไปอาจเป็นเหตุให้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตเสียหายและประสิทธิภาพการใช้งานลดลงเมื่อแพคเกจแบตเตอรี่มีอุณหภูมิที่สูงเกินค่าที่กำหนด

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองและศึกษาปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่ออุณหภูมิที่บริเวณรอบข้างเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตที่ติดตั้งไว้ในรถจักรยานยนต์สันดาปภายใน ว่าเกิดจากปัจจัยอะไรบ้างที่ทำให้อุณหภูมิสูงเกิน 40 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัด และแนวทางในการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตในรถจักรยานยนต์ได้เป็นอย่างดี

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตในรถจักรยานยนต์ที่ได้รับผลจากความร้อนจากแสงแดดที่เวลาต่างๆ ในระหว่างวัน
- (2) เพื่อศึกษาปัจจัยเนื่องจากความเร็วของอากาศ และการติดตั้งฉนวนความร้อนที่ส่งผลต่ออุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตในรถจักรยานยนต์
- (3) เพื่อศึกษาแนวทางการระบายความร้อน และป้องกันความเสียหายของเซลล์แบตเตอรี่ ลิเทียมไอออนฟอสเฟตในรถจักรยานยนต์

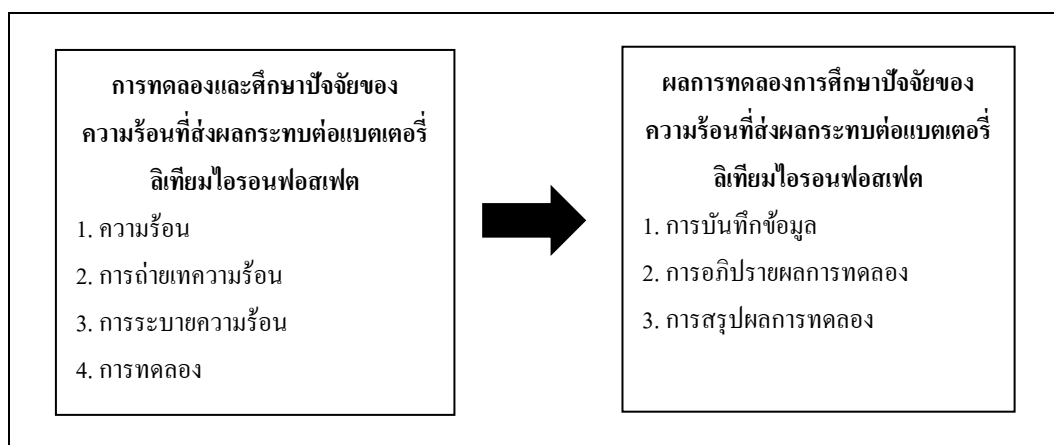
3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศราวุทธิ์ จิตรพัฒนากุล และคณะ (2563) [2] ทำการศึกษาพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพแบตเตอรี่รถไฟฟ้า 3 ล้อขนาดเล็ก สำหรับใช้ในครัวเรือน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบตเตอรี่ระหว่างแบตเตอรี่ตะกั่วกรดกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต (LiFePO₄) ด้วยรถไฟฟ้าขับเพื่อง่ายขนาดมอเตอร์ 500 วัตต์ โดยหลังจากทำการทดลอง แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต มีประสิทธิภาพระยะทางการเคลื่อนที่ดีกว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรดอีก ทั้งยังมีรูปทรง และน้ำหนักของแบตเตอรี่ลดลง

ศราวุฒิ สิริเกษมสุข และคณะ (2564) [3] ทำการศึกษาทบทวนการจัดการความร้อนในแบตเตอรี่ลิเทียมสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของ แบตเตอรี่จะสูงขึ้นเมื่อมีการรักษาอุณหภูมิขณะใช้งานให้อยู่ในช่วงการใช้งานที่ 15 - 40 องศาเซลเซียส โดยความร้อนที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่นั้นมาจากการใช้งาน การอัดประจุกลับ การถูกกระทำทางกายภาพเช่นการอัด บด ที่มมาจากอุบัติเหตุ รวมถึงปัญหาทางระบบไฟฟ้าเคมีของแบตเตอรี่ ปัญหาทางความร้อนนี้หากอุณหภูมิสูงเกินไปอาจจะส่งผลให้แบตเตอรี่เกิดการระเบิดจากปรากฏการณ์เทอร์มอลรันอเวย์ ดังนั้นการจัดการความร้อนในแบตเตอรี่ที่เกิดขึ้นนั้นจึงมีความสำคัญ และได้มีการศึกษาการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการออกแบบระบบระบายความร้อนแบบต่างๆ เช่น โดยการใช้อากาศของเหลว รวมถึงการใช้ระบบผสมระหว่างอากาศร่วมกับของเหลวเป็นสารหล่อเย็น ซึ่งระบบการหล่อเย็นจะมีรูปแบบหรือลักษณะแตกต่างกัน ผลที่ได้ระบบหล่อเย็นโดยใช้ของเหลวเป็นสารหล่อเย็นมีประสิทธิภาพดีสุดแต่อย่างไรก็ตามระบบระบายความร้อนทั้ง 3 แบบนั้นสามารถรักษาอุณหภูมิให้อุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 40 องศาเซลเซียสได้ และสามารถนำระบบที่ปรับปรุงไปใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อยืดอายุการใช้งานและเพิ่มความปลอดภัยได้

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 สมมติฐานการวิจัย

- 3.3.1 ความร้อนที่ถูกถ่ายเทไปยังแบตเตอรี่เกิดจากการทำงานของเครื่องยนต์
- 3.3.2 ความร้อนที่ถูกถ่ายเทไปยังแบตเตอรี่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายนอกตัวรถ

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

นำแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต 3.2 โวลต์ 6 - 6.5 แอมป์ 4 เซลล์ ต่ออนุกรมให้ได้แรงดันไฟ 12.8 โวลต์ ต่อวงจรอุปกรณ์จัดการระบบแบตเตอรี่ (Battery Management System) ติดตั้งฉนวนความร้อน (Ceramic Fiber Blanket) บริเวณรอบข้างเซลล์แบตเตอรี่ก่อนบรรจุลงในกล่องแพคเกจแบตเตอรี่ และทำการติดตั้งพัฒนาระบายความร้อน DC 12 โวลต์ 0.25 แอมป์ ที่บริเวณผนังรอบข้างกล่องแพคเกจแบตเตอรี่โดยติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิเพื่อส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของพัฒนาระบายความร้อน

4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการบันทึกข้อมูลผลการทดลองด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบ (Data Logger)

4.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

การศึกษายาทของอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่ออุณหภูมิแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต ในรถจักรยานยนต์ ฮอนด้า เวฟ 110i (รูปที่ 1ก) โดยการติดตั้งกล่องแพคเกจแบตเตอรี่ไว้บริเวณตำแหน่งที่ใช้งานจริงที่บริเวณใต้เบาะรถจักรยานยนต์ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับที่เคยติดตั้งแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (รูปที่ 1ข-ง) โดยตำแหน่งที่ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมทั่วไปภายนอกอยู่ที่ท้ายรถและยื่นออกมาจากตัวรถ 5 เซนติเมตร (1ข) ตำแหน่งที่ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิด้านในกล่องแพคเกจแบตเตอรี่อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของแพคเกจแบตเตอรี่ (1ค) และตำแหน่งที่ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิรอบข้างกล่องแพคเกจแบตเตอรี่อยู่ห่างจากผิวกล่องด้านบน 3 เซนติเมตร (1ง) ซึ่งทำการศึกษาร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ทำการจอดรถจักรยานยนต์ไว้บริเวณกลางแจ้งที่มีแสงแดดจัดตลอดทั้งวันเพื่อศึกษากรณีที่ผู้ใช้รถมีความจำเป็นต้องจอดไว้สถานที่กลางแจ้งตลอดทั้งวัน ทำการบันทึกข้อมูลผลการทดลองโดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิเพื่อศึกษาผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่ถ่ายเทความร้อนเข้าไปยังบริเวณรอบเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตที่บรรจุอยู่ด้านในกล่องแพคเกจแบตเตอรี่ ทั้งกรณีที่ติดตั้งฉนวนความร้อน และติดตั้งฉนวนความร้อน

กรณีที่ 2 ทำการทดลองโดยการจอดรถจักรยานยนต์ไว้กลางแจ้ง และเครื่องยนต์ของจักรยานยนต์ทำงานต่อเนื่องที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1200 รอบต่อนาที เพื่อศึกษาปัจจัยการใช้ฉนวนความร้อนในการป้องกันความร้อนถ่ายเทจากเครื่องยนต์ขณะเครื่องยนต์ทำงานเข้าสู่เซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตที่ด้านในกล่องแพคเกจแบตเตอรี่บริเวณใต้เบาะรถจักรยานยนต์

กรณีที่ 3 ทำการทดลองด้วยวิธีการใช้พัดลมกระจายแรงลมผ่านตัวเครื่องยนต์ที่ความเร็วลม 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1200 รอบต่อนาที เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตเสมือนนำรถจักรยานยนต์ไปใช้งานจริงตามท้องถนน

กรณีที่ 4 ทดสอบเพิ่มเติมจากกรณีที่ 3 โดยการทดลองโดยการติดตั้งพัฒนาระบายความร้อนที่บริเวณผนังรอบข้างกล่องแพคเกจแบตเตอรี่ โดยใช้พัฒนาระบายความร้อนขนาด 12 โวลต์ 0.25 แอมป์ ต่อไฟกระแสตรงจากแบตเตอรี่ โดยมีเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิเพื่อส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของพัฒนาระบายความร้อน พัฒนาระบายความร้อนจะทำงานที่ 3 ช่วงเวลาได้แก่ เวลาที่อุณหภูมิรอบข้างกล่องแพคเกจแบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงถึง 30 องศาเซลเซียส พัฒนาระบายความร้อนจะทำงานที่เบอร์ 1 (หมุนเบา) อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พัฒนาระบายความร้อนจะทำงานที่เบอร์ 2 (หมุนกลาง) และเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 40 องศาเซลเซียส พัฒนาระบายความร้อนจะทำงานที่เบอร์ 3 (หมุนแรง) เพื่อระบายความร้อนออกจากบริเวณรอบข้างกล่องแพคเกจแบตเตอรี่ และป้องกัน

ความร้อนที่จะถูกถ่ายเทเข้าไปยังบริเวณรอบเซลล์แบตเตอรี่ที่ด้านในกล่องแพคแบตเตอรี่ไม่ให้เกิน 40 องศาเซลเซียส

ทุกขั้นตอนในการทดลองจะทดลองที่ช่วงเวลา 09.00-16.00 นาฬิกา ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงที่สุดระหว่างวัน ในการทดลองจะบันทึกข้อมูลอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 1(ข) ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมทั่วไปภายนอก 1(ค) ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิด้านในกล่องแพคแบตเตอรี่ และ 1(ง) ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิรอบข้างกล่องแพคแบตเตอรี่

บันทึกข้อมูลผลการทดลองด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบ (Data Logger) และบันทึกข้อมูลขณะทดลองพร้อมกันทั้ง 3 ตำแหน่ง



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

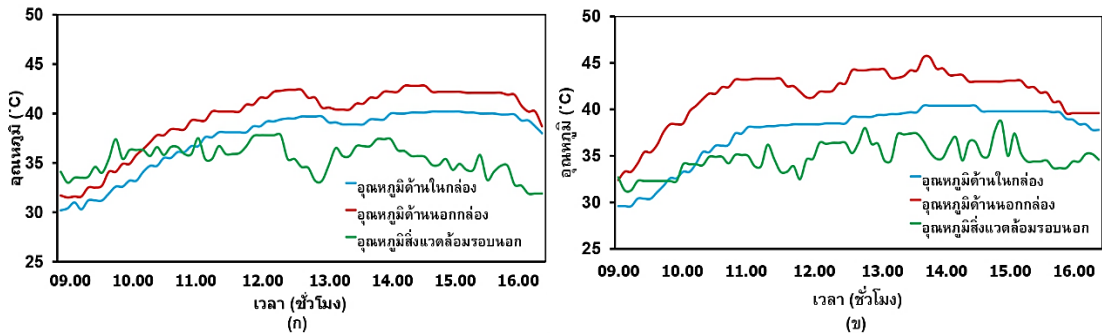
รูปที่ 1 (ก) รถจักรยานยนต์ ฮอนด้าเวฟ 110i ที่นำมาใช้ในการทดลอง และตำแหน่งการวัดค่าอุณหภูมิทั้ง 3 ตำแหน่ง (ข) ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมทั่วไปภายนอก (ค) ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิด้านในกล่องแพคแบตเตอรี่ และ (ง) ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิรอบข้างกล่องแพคแบตเตอรี่

5. ผลการวิจัย

จากการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่ออุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตที่นำไปใช้งานกับรถจักรยานยนต์คันคาภายใน ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

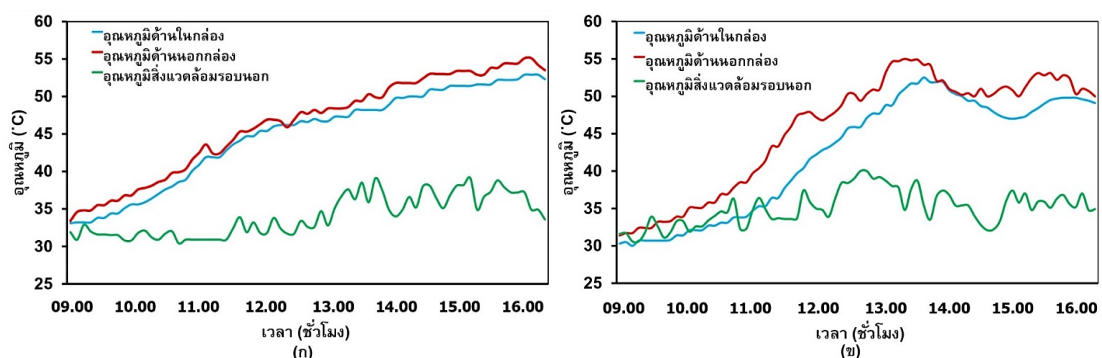
รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผลการทดลองกรณีไม่มีฉนวนความร้อน และมีฉนวนความร้อน จะเห็นได้ว่าการจอดรถจักรยานยนต์ไว้ในบริเวณกลางแจ้งที่มีแสงแดดตลอดทั้งวัน ที่ช่วงเวลา 09.00 – 16.00

นาฬิกา ความร้อนที่ถ่ายเทมายังบริเวณรอบข้างกล่องแพคเกจเตอร์และด้านในกล่องแพคเกจเตอร์คืออุณหภูมิจากสิ่งแวดล้อมรอบนอกซึ่งจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณรอบข้างกล่องแพคเกจเตอร์กรณีไม่มีฉนวนความร้อนคือ 44 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดบริเวณด้านในกล่องแพคเกจเตอร์กรณีไม่มีฉนวนความร้อนคือ 40.2 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2(ก) และอุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณรอบข้างกล่องแพคเกจเตอร์กรณีมีฉนวนความร้อนคือ 45 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดบริเวณด้านในกล่องแพคเกจเตอร์กรณีมีฉนวนความร้อนคือ 40 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2(ข)



รูปที่ 2 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากผลการทดลอง เมื่อติดตั้งกล่องแพคเกจเตอร์ไว้ในตำแหน่งใช้งานจริงที่บริเวณใต้เบาะรถจักรยานยนต์ สอนค้าแฟ 110i (ก) กรณีไม่มีฉนวนความร้อน (ข) กรณีมีฉนวนความร้อน

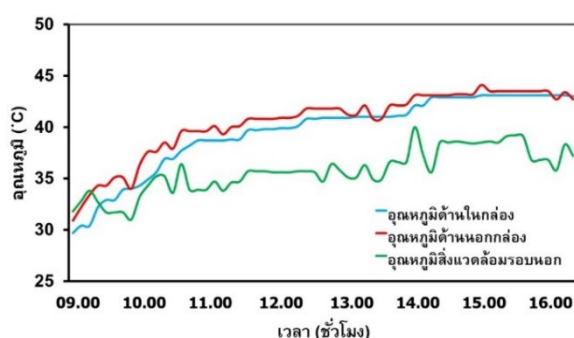
รูปที่ 3 แสดงผลการทดลองด้วยวิธีการปล่อยให้เครื่องยนต์ของจักรยานยนต์ทำงานต่อเนื่องในขณะที่จอดรถจักรยานยนต์ไว้โดยไม่มีการเคลื่อนที่ในช่วงเวลา 09.00-16.00 นาฬิกา พบว่าความร้อนเกิดจาก การชาร์จประจุไฟกลับสู่เซลล์แบตเตอรี่ขณะเครื่องยนต์ทำงาน ความร้อนที่ถูกถ่ายเทมาจากเครื่องยนต์และความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกบริเวณรอบตัวรถ ซึ่งจากการทดลองอุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณรอบข้างกล่องแพคเกจเตอร์กรณีไม่มีฉนวนความร้อนคือ 55.1 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดบริเวณด้านในกล่องแพคเกจเตอร์กรณีไม่มีฉนวนความร้อนคือ 52.9 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3(ก) และอุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณรอบข้างกล่องแพคเกจเตอร์กรณีมีฉนวนความร้อนคือ 54.9 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดบริเวณด้านในกล่องแพคเกจเตอร์กรณีมีฉนวนความร้อนคือ 52.5 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3(ข)



รูปที่ 3 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากผลการทดลอง (ก) กรณีไม่มีฉนวนความร้อน (ข) กรณีมีฉนวนความร้อน โดยปล่อยให้เครื่องยนต์ของจักรยานยนต์ทำงานต่อเนื่องในขณะที่จอดรถจักรยานยนต์ไว้โดยไม่มีการเคลื่อนที่

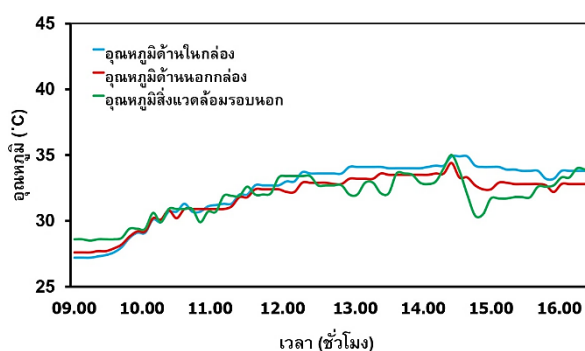
จากรูปที่ 4 แสดงผลการทดลองกรณีปล่อยให้เครื่องยนต์ของจักรยานยนต์ทำงานต่อเนื่องและใช้พัดลมกระจายแรงลมผ่านเครื่องยนต์ซึ่งเปรียบเสมือนการใช้งานรถจักรยานยนต์จริงตามท้องถนนที่ความเร็ว 25

กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทดลองที่ช่วงเวลา 09.00 – 16.00 นาฬิกา พบว่าความร้อนที่ส่งผลกระทบต่อเซลล์แบตเตอรี่ขณะสตาร์ทเครื่องยนต์และใช้งานรถจักรยานยนต์จริงตามท้องถนนเกิดจากการชาร์จประจุไฟกลับสู่เซลล์แบตเตอรี่ขณะเครื่องยนต์ทำงาน การจ่ายกระแสไฟในขณะที่ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ใช้งานระบบส่องสว่าง และสัญญาณไฟต่างๆ ความร้อนที่ถูกถ่ายเทมาจากเครื่องยนต์ และความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกบริเวณรอบตัวรถ ซึ่งจากผลการทดลองอุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณรอบข้างกล่องแพคแบตเตอรี่กรณีใช้ความเร็ว 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คือ 44.1 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดบริเวณด้านในกล่องแพคแบตเตอรี่คือ 43.1 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4 ผลการทดลองกรณีสตาร์ทเครื่องยนต์และใช้พัฒนาระบายแรงลมผ่านเครื่องยนต์เปรียบเสมือนการใช้งานรถจักรยานยนต์จริงตามท้องถนนที่ความเร็ว 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

รูปที่ 5 แสดงผลการทดลองด้วยวิธีการติดตั้งพัฒนาระบายความร้อนที่บริเวณผนังรอบข้างกล่องแพคแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งได้เบาะ และมีพัฒนาระบายแรงลมผ่านเครื่องยนต์เปรียบเสมือนการใช้งานรถจักรยานยนต์จริงตามท้องถนนที่ความเร็ว 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณรอบข้างกล่องแพคแบตเตอรี่ คือ 34.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดบริเวณด้านในกล่องแพคแบตเตอรี่ คือ 34.9 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5 ผลการทดลองด้วยวิธีการติดตั้งพัฒนาระบายความร้อนที่บริเวณผนังรอบข้างกล่องแพคแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งได้เบาะ และมีพัฒนาระบายแรงลมผ่านเครื่องยนต์เปรียบเสมือนการใช้งานรถจักรยานยนต์จริงตามท้องถนนที่ความเร็ว 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

6. อภิปรายผล และสรุปผล

การปล่อยให้เครื่องยนต์ทำงานต่อเนื่องในขณะที่จอร์จจักรยานยนต์โดยไม่มีการเคลื่อนที่เป็นกรณีที่ทำให้ด้านในกล่องแพคเกจเตอร์มีอุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่ากรณีอื่นๆ กรณีดังกล่าวความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยตรงจากเครื่องยนต์โดยไม่มีการกระจายผ่านในการระบายความร้อนให้กับเครื่องยนต์เหมือนกับกรณีการใช้งานรถจักรยานยนต์จริงตามท้องถนน ในการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตจึงไม่ควรปล่อยให้เครื่องยนต์ทำงานในขณะที่จอร์จจักรยานยนต์ทิ้งไว้ หากปล่อยให้แบตเตอรี่ทำงานที่อุณหภูมิแบตเตอรี่สูงเกินกว่า 45 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตจะมีอายุการใช้งานที่สั้นลง [4, 6] และในส่วนการทดลองโดยวิธีการใช้ฉนวนความร้อนเพื่อป้องกันความร้อนถ่ายเทเข้าไปยังบริเวณรอบเซลล์แบตเตอรี่ด้านในกล่องแพคเกจเตอร์ จากผลการทดลองพบว่ากรณีไม่มีฉนวนความร้อน และกรณีมีฉนวนความร้อน มีความอุณหภูมิแตกต่างกันไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส ในการใช้งานจึงไม่มีความจำเป็นในการติดตั้งฉนวนความร้อน นอกจากนี้เมื่อมีการใช้งานรถจักรยานยนต์ที่ความเร็วสูงกว่า 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อากาศที่ไหลผ่านเครื่องยนต์ จะช่วยให้การระบายความร้อนของเครื่องยนต์ดีขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิรอบเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตด้านในกล่องแพคเกจเตอร์มีอุณหภูมิที่ต่ำลง และยิ่งส่งผลดีต่อการใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Shuai Ma และคณะ [6] ที่ได้ศึกษาปัจจัยของช่วงอุณหภูมิที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่ และช่วงอุณหภูมิที่แบตเตอรี่ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

จากการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่ออุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตเมื่อนำมาใช้งานกับรถจักรยานยนต์สันดาปภายในจะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตสามารถนำมาใช้งานกับรถจักรยานยนต์สันดาปภายในได้แม้ว่ารถจักรยานยนต์จะจอดไว้บริเวณกลางแจ้งที่มีแสงแดดจัดตลอดทั้งวัน และจากการติดตั้งพัดลมกระจายแรงลมผ่านเครื่องยนต์เปรียบเสมือนการใช้งานรถจักรยานยนต์จริงตามท้องถนนที่ความเร็ว 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิด้านในกล่องแพคเกจเตอร์มีค่า 43.1 องศาเซลเซียส และเมื่อติดตั้งพัดลมระบายความร้อนที่บริเวณผนังรอบข้างกล่องแพคเกจเตอร์ที่บริเวณใต้เบาะควบคุมไปด้วยจะช่วยรักษาอุณหภูมิด้านในกล่องแพคเกจเตอร์ให้มีค่าไม่เกิน 34.9 องศาเซลเซียส

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

- (1) ในการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตในรถจักรยานยนต์สันดาปภายใน ไม่ควรปล่อยให้เครื่องยนต์ทำงานในขณะที่จอร์จจักรยานยนต์ทิ้งไว้เป็นเวลานาน
- (2) หากปล่อยให้แบตเตอรี่ทำงานที่อุณหภูมิสูงเกินกว่า 45 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตมีอายุการใช้งานที่สั้นลง

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- (1) ในการวิจัยครั้งต่อไปสามารถทำการติดตั้งพัดลมระบายความร้อนที่บริเวณรอบข้างกล่องแพคเกจเตอร์เพิ่มจาก 1 ตัว เป็น 2 ตัว เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น
- (2) ใช้พัดลมกระจายแรงลมที่ความเร็วลมมากกว่า 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อทำการศึกษาว่าอุณหภูมิมีความเปลี่ยนแปลงลดน้อยลงเพียงใดเมื่อมีความเร็วลมผ่านเครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล และสาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
ขอนแก่น ในการสนับสนุนสถานที่ และอุปกรณ์เพื่อการวิจัย

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิถีพีเดีย กรมการขนส่งทางบก. (2565). จำนวนรถจดทะเบียนสะสม [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 1 กันยายน 2565,
จาก: <https://web.dlt.go.th/statistics>.
- [2] ศราวุธ จิตรพัฒนากุล กฤษณะ จันทสิทธิ์ และธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต. (2563). การพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพ
แบตเตอรี่รถไฟฟ้า 3 ล้อขนาดเล็ก สำหรับใช้ในครัวเรือน: ข้อค้นพบเบื้องต้น. *วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์
ฉบับมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*, 14(3), 136-147.
- [3] สราวุธ สิริเกษมสุข สงกรานต์ วิริยะศาสตร์ และไพศาล นาผล. (2564). ทบทวนการจัดการความร้อนใน
แบตเตอรี่ลิเทียมสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า: ข้อค้นพบเบื้องต้น. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ*, 16(1), 93-107.
- [4] A. Pesaran, S. Santhanagopalan, and Gi-Heon Kim. (2013). *Addressing the Impact of Temperature
Extremes on Large Format Li-Ion Batteries for Vehicle Applications*. 30th International Battery
Seminar 2013, March 11-14, 2013 Florida.
- [5] H. Keshan, J. Thornburg, and T.S. Ustun. (2016). Comparison of Lead-Acid and Lithium Ion Batteries for
Stationary Storage in Off-Grid Energy Systems. *4th IET Clean Energy and Technology Conference
(CEAT 2016)*, 14-15 Nov. 2016 Kuala Lumpur, Malaysia.
- [6] S. Ma, M. Jiang, P. Tao, C. Song, J. Wu, J. Wang, T. Deng, and W. Shang. (2018). Temperature effect and
thermal impact in lithium-Ion batteries. *Progress in Natural Science: Materials International*, 28(6),
653-666.

การออกแบบระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติ DESIGN AUTOMATED VISUAL INSPECTION SYSTEM

นายธีรภาพ โสธรประกาศกร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: S.Thiraphap@gmail.com

นางสาวพจิรา เหลืองหลักภัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: pachira.mo@mail.kmutt.ac.th

นางสาวแก้วกานดา ศรีสุวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: kaewkanda.kaew@mail.kmutt.ac.th

นายชนพล ปินะเต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: tanaphon.top@mail.kmutt.ac.th

ผศ.ดร.สมโชค สอนธิแก้ว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: somchoke.son@kmutt.ac.th

ส.ดร.สุทัศน์ ทิพย์ปริกมาศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: sutasn.thi@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้การควบคุมคุณภาพในการผลิตถือเป็นสิ่งสำคัญในการสร้างความเชื่อมั่นระหว่างบริษัทและผู้บริโภค การตรวจสอบชิ้นงานก่อนการส่งมอบเป็นสิ่งที่ทุกบริษัทให้ความสนใจเป็นอย่างมาก จึงมีการพัฒนาเครื่องมือสำหรับการตรวจสอบชิ้นงานเพื่อให้สามารถทำการตรวจสอบได้ง่าย มีความคลาดเคลื่อนน้อย และยังสามารถตรวจสอบได้รวดเร็ว โดยในโครงการนี้ได้นำเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานที่เรียกว่าระบบวิชั่น (Vision System) ประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมเซ็นเซอร์ (Sensor Controller), กล้องดิจิทัลความเร็วสูงและกล้องดิจิทัล, ไฟส่องสว่าง, พีแอลซี, ซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมเซ็นเซอร์ และ ซอฟต์แวร์สำหรับพีแอลซี (Sysmac Studio) มาใช้แทนเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ในการตรวจวัดชิ้นงาน เพราะการใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ตรวจวัดขนาดมีผิดพลาดสูงเกินไป (Pillar-Proof Aluminium Cap) นั้น ไม่สามารถทำได้ทุกจุดตามที่กำหนดและยังทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดสูงอีกด้วย การตรวจสอบแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ 1. การตรวจสอบความกลม (Roundness) 2. การตรวจสอบระยะระหว่างเสา L 3. การตรวจสอบมิติอื่นๆ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบวิชั่นสามารถวัดขนาดที่ต้องการทั้งหมดได้อย่างรวดเร็วภายใน 459 มิลลิวินาที และแม่นยำด้วยความคลาดเคลื่อน ± 0.002 มิลลิเมตร

คำสำคัญ : การควบคุมคุณภาพในการผลิต, ระบบวิชั่น

ABSTRACT

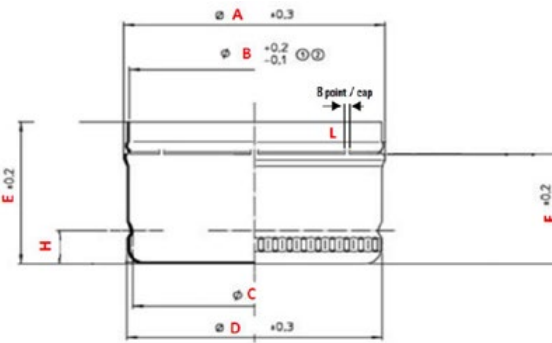
Nowadays, quality control in production is essential to building trust between companies and consumers. Inspection of finished goods before delivery is an important concern for all companies. Therefore, inspection equipment has been developed to enable quick and easy inspection with low tolerances. In this work, the measuring instruments called vision system, consisting of sensor controller, high-speed digital cameras and digital cameras, lighting, PLC, software for sensor control and software for PLC (Sysmac Studio) replaces vernier calipers for measuring geometric dimensions of pilfer-proof aluminum cap. Because of the use of vernier calipers to measure the dimensions of the workpieces is not able to measure at all the specified points and also provides a high measurement error. The inspection of aluminum caps is divided into three parts: 1. Roundness inspection 2. Column distance inspection 3. Dimensional inspection of the workpiece. The results showed that the machine vision system was able to measure all the required dimensions quickly within 459 ms and accurately with a tolerance of 0.002 mm.

Keywords: Quality Control in Production Line, Vision System

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตมีการแข่งขันสูง จึงได้มีการนำเทคโนโลยีระบบวิชั่น (Vision System) มาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานในกระบวนการผลิตเพื่อทดแทนแรงงานคน ระบบวิชั่นเป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้กล้องดิจิทัลเก็บภาพถ่ายชิ้นงานที่ผลิต แล้วประมวลผลวิเคราะห์ภาพถ่ายนั้นแบบอัตโนมัติได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำและมีประสิทธิภาพสูง เช่น การตรวจสอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์[2]

ในกระบวนการผลิตฝาเกลียวกันปลอม (Pilfer-Proof Cap) ซึ่งทำจากอลูมิเนียม ใช้สำหรับปิดผนึกขวดแก้ว มีรอยปรุโดยรอบระหว่างตัวฝากับขอบฝา ภายในบุด้วยวัสดุฉนวนป้องกันการรั่วซึม ไม่เป็นสนิม ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่มีการบรรจุก๊าซ บรรจุร้อนที่มีการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากปริมาณการผลิตฝาค่อนข้างมีจำนวนมาก จึงต้องมีการสุ่มตรวจ เพื่อควบคุมคุณภาพในการผลิตให้ได้ตามมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด โดยในทุกๆ 2 ชั่วโมงจะมีการเก็บชิ้นงาน 24 ชิ้นจากสายการผลิตเพื่อนำมาตรวจสอบตามตำแหน่ง ในรูปที่ 1.1 ด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ซึ่งสามารถตรวจวัดได้เพียง 2 ตำแหน่ง (E และ B) เท่านั้น ไม่สามารถวัดตำแหน่งที่เหลืออีก 5 ตำแหน่งได้ เนื่องจากรูปร่างชิ้นงานยากต่อการใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัด นอกจากนี้การวัดฝาเกลียวอลูมิเนียมที่มีผนังบาง รับแรงกดได้น้อยวัสดุจะอ่อนตัวและเปลี่ยนรูปเมื่อถูกวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ทำให้การวัดนั้นคลาดเคลื่อนอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวโครงการนี้จึงได้นำระบบวิชั่นมาใช้ในการตรวจสอบฝาเกลียวอลูมิเนียมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบมีความรวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำสูง



รูปที่ 1.1 ตำแหน่งตรวจสอบคุณภาพของฝาเกลียว

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบระบบวิชั่นสำหรับตรวจสอบฝาเกลียวลูมิเนียมให้สามารถตรวจสอบคุณภาพได้ตามที่กำหนด

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบวิชั่น (Vision System) เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่นำภาพจากกล้องดิจิตอลมาประมวลผลตามโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่กำหนด ส่วนประกอบในการทำงานของระบบวิชั่นประกอบด้วย [3]

1. เครื่องกำเนิดแสง เป็นอุปกรณ์ให้แสงสว่างให้กับชิ้นงานที่ต้องการจะตรวจสอบเพื่อให้ได้ภาพถ่ายที่ถูกนำมาประมวลผลอย่างมีประสิทธิภาพ ประเภทของเครื่องกำเนิดแสงได้แก่ a) Ring lighting ใช้สำหรับชิ้นงานที่มีจุดสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน b) Coaxial lighting ใช้สำหรับตรวจสอบชิ้นงานที่มีผิวสะท้อนแสงมันวาว c) Dome lighting ใช้สำหรับตรวจสอบชิ้นงานที่มีพื้นผิวไม่เรียบและมีความมันวาว d) Back lighting เหมาะสำหรับวัดขนาดจากเงาของชิ้นงาน e) Low angle ring lighting ใช้สำหรับตรวจสอบรอยขีดข่วน รอยนูนบนผิวชิ้นงาน

2. เลนส์ทำหน้าที่โฟกัสและรับแสงที่สะท้อนจากวัตถุส่งผ่านไปยังตัวรับภาพในกล้องเพื่อให้บันทึกภาพได้คมชัด ชนิดของเลนส์ [5] ได้แก่ a) CCTV เป็นเลนส์ที่ใช้กับการตรวจสอบทั่วไป เหมาะกับชิ้นงานที่อยู่กับที่ไม่สั้นไหว b) Macro เป็นเลนส์ที่ถ่ายภาพในระยะที่ใกล้เกินกว่าเลนส์ชนิดอื่นจะตรวจสอบได้ นอกจากนี้ยังทนต่อแรงสั่นไหวอีกด้วย c) Telecentric เป็นเลนส์ที่ใช้สำหรับการวัดชิ้นงานที่ต้องการความละเอียดสูง d) Zoom เป็นเลนส์ที่สามารถปรับระยะโฟกัสได้

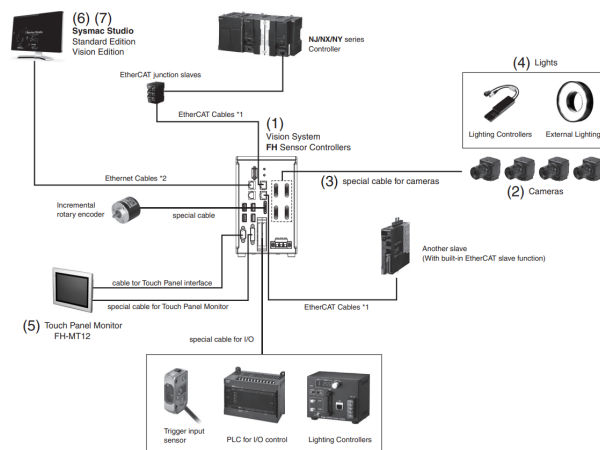
3. อุปกรณ์รับภาพ (Image Sensor) [1] เป็นชิ้นส่วนที่อยู่ในกล้อง ทำหน้าที่แปลงค่าความเข้มแสงที่เลนส์ส่งมาให้เป็นค่าดิจิตอลและส่งค่าที่ได้เข้าสู่ระบบประมวลผล อุปกรณ์รับภาพมี 2 ชนิดคือ a) CCD (Charge Couples Device) โดยแต่ละพิกเซลของอุปกรณ์จะประกอบไปด้วยโฟโอดีไดโอด (Photodiode) ทำหน้าที่รับและเปลี่ยนแสงให้เป็นสัญญาณอนาล็อกของแรงดันไฟฟ้า สัญญาณอนาล็อกจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิตอลอีกทีหนึ่ง b) CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) แต่ละพิกเซลเป็นวงจรไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนค่าแสงที่เข้ามาเป็นสัญญาณดิจิตอลในทันที

4. กล้อง (Camera) มี 2 ประเภท [4] คือ Area Scan Camera จะแบ่งภาพออกเป็นพื้นที่เล็กๆ แล้วสแกนถ่ายทีละภาพ แล้วนำภาพเล็กๆ เหล่านี้มาต่อเป็นรูปภาพเต็ม กล้องประเภทนี้ใช้สำหรับตรวจสอบชิ้นงานทั่วไป และกล้องชนิด Line Scan Camera จะจับภาพทีละ 1 แถวของพิกเซลจากนั้นจะทำการต่อภาพเพื่อให้เป็นรูปภาพเต็มใช้ตรวจสอบชิ้นงานที่มีความเร็วสูง

5. Computer Processor เป็นอุปกรณ์ควบคุมการถ่ายภาพ ประมวลผลภาพ และแสดงผลภาพ มี 2 ประเภท คือ Smart camera ประกอบด้วยอุปกรณ์แสง อุปกรณ์เลนส์ คอมพิวเตอร์ประมวลผลรวมกันอยู่ในชิ้นเดียว ใช้ตรวจสอบชิ้นงานทั่วไปที่ไม่มีความซับซ้อนมากและต้องการความเร็วการถ่ายภาพสูง และประเภท Embedded Machine Vision อุปกรณ์ต่างๆ จะแยกชิ้นกันเหมาะสำหรับภาพที่มีความซับซ้อนและความเร็วในการถ่ายภาพสูง

4. วิธีดำเนินการวิจัย

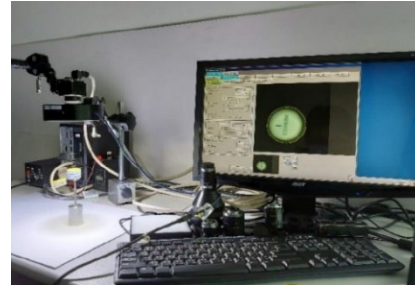
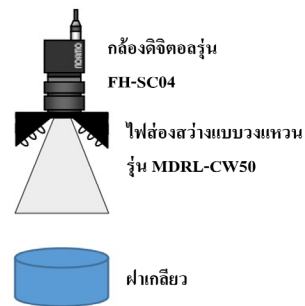
การตรวจสอบคุณภาพฝาเกลียวลูมิเนียมในโรงงานนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์ระบบวิชั่นรุ่น FH-Series ของบริษัทออมนอน ในรูปที่ 4.1 แสดงอุปกรณ์ของระบบประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญคือ (1) ตัวควบคุมกล้อง (FH Sensor Controller) (2) กล้องดิจิทัล (3) สายเคเบิลพิเศษเชื่อมต่อกล้องดิจิทัลกับตัวควบคุม (4) ไฟส่องสว่าง (5) จอภาพระบบสัมผัส (6) คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ Sysmac Studio (7) พีแอลซีรุ่น NJ/NX/NY โดยการใช้ อุปกรณ์กล้องดิจิทัล และระบบไฟส่องสว่าง ขึ้นอยู่กับลักษณะหรือตำแหน่งของฝาเกลียวที่ต้องการตรวจสอบ โดยแยกการตรวจสอบฝาเกลียวออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ การตรวจสอบความกลม การตรวจสอบระยะ L และการตรวจสอบระยะ A, B, C, D, E, F และ H (ในรูปที่ 1.1)



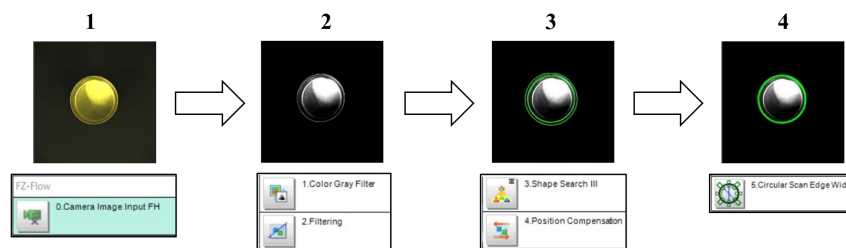
รูปที่ 4.1 แสดงระบบวิชั่นรุ่น FH-Series [6]

4.1 การตรวจสอบความกลม (Roundness)

การตรวจสอบความกลมของฝาเกลียว ในระบบวิชั่นนี้ใช้กล้องดิจิทัลความเร็วสูง (Digital High Speed Camera) รุ่น FH-SC04 ความละเอียด 4 ล้านพิกเซล ใช้เลนส์รุ่น VS-2514H1 มีความยาวโฟกัสที่ 25 มม. และไฟส่องสว่างแบบวงแหวน (Ring light) รุ่น MDRL-CW50 รูปที่ 4.2 แสดงภาพการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบความกลม กล้องดิจิทัลถูกควบคุมการทำงานด้วยตัวควบคุมกล้อง (Sensor Controller) โดยใช้โปรแกรม FZ-Flow ตั้งให้กล้องทำงานตามขั้นตอนต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.3 โดยในขั้นตอนที่ 1 กล้องจะทำการถ่ายภาพสีด้วยคำสั่ง Camera Image Input FH โดยต้องวางฝาเกลียวให้ได้ระนาบตั้งฉากกับมุมกล้อง ขั้นตอนที่ 2 ปรับภาพให้เป็นสีเทา และเพิ่ม Contrast ด้วยคำสั่ง Color Gray Filter และ Filtering เพื่อให้ขอบฝาชัดเจนมากขึ้น ขั้นตอนที่ 3 ใช้คำสั่ง Shape Search III และใช้ Position Compensation เพื่อตรวจสอบว่ามีฝาเกลียวอยู่ในขอบเขตที่กำหนดหรือไม่ ถ้าฝาไม่อยู่ในขอบเขตที่กำหนดกล้องจะไม่ทำการตรวจสอบ ขั้นตอนที่ 4 ใช้คำสั่ง Circular Scan Edge Width เพื่อตรวจสอบความกลมของฝาวูอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ ถ้าฝาบิ๊วไม่กลมระบบจะแจ้งเตือนว่าเป็น NG



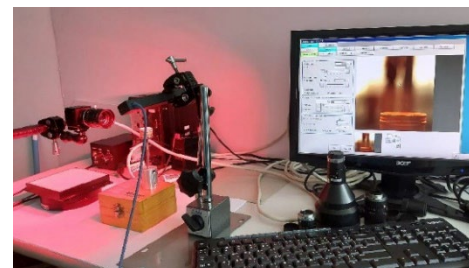
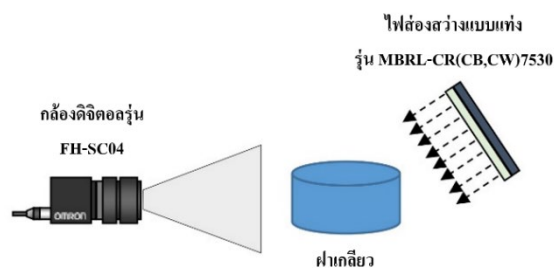
รูปที่ 4.2 แสดงภาพการติดตั้งกล้องเพื่อตรวจสอบความกลมของฝาเกลียว



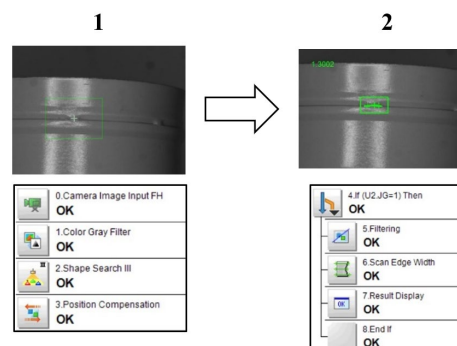
รูปที่ 4.3 แสดงโปรแกรมขั้นตอนการตรวจสอบความกลมของฝาเกลียว

4.2 การตรวจสอบระยะ L

การตรวจสอบระยะ L (รูปที่ 1.1) อุปกรณ์ที่ใช้เหมือนกับการตรวจสอบความกลมโดยใช้กล้องรุ่น FH-SC04 แต่เปลี่ยนเลนส์รุ่น VS-3514H1 ที่มีระยะโฟกัส 35 มม. ใช้ไฟส่องสว่างแบบแท่ง (Bar Light) รุ่น MBRL-CR(CB,CW)7530 รูปที่ 4.4 แสดงภาพการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบ การเขียนโปรแกรมตรวจสอบ แสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งมีขั้นตอนเหมือนกับการตรวจสอบความกลม



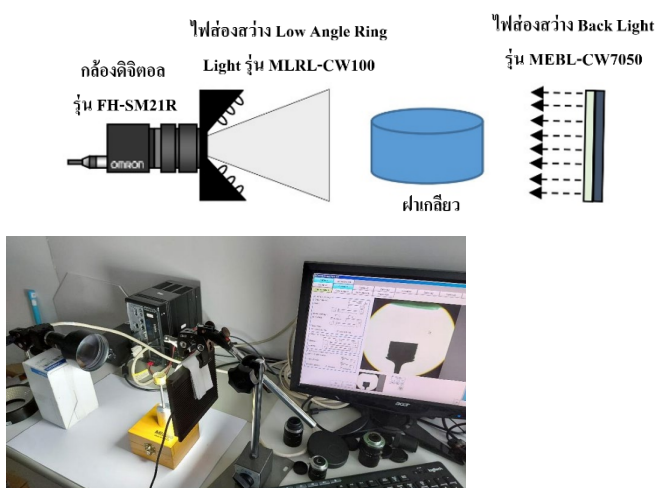
รูปที่ 4.4 แสดงภาพการติดตั้งกล้องเพื่อตรวจสอบระยะ L



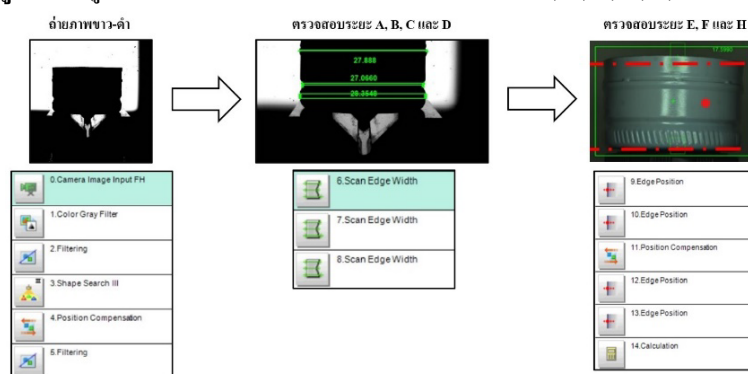
รูปที่ 4.5 แสดงโปรแกรมขั้นตอนการตรวจสอบระยะ L

4.3 การตรวจสอบระยะ A, B, C, D, E, F และ H

ในการตรวจสอบนี้ เนื่องจากภาพขาว-ดำให้การประมวลผลที่แม่นยำกว่าภาพสีจึงได้เลือกใช้กล้องถ่ายภาพขาว-ดำรุ่น FH-SM21R (Monochrome) ที่มีความละเอียด 20.4 ล้านพิกเซล ใช้เลนส์ Telecentric รุ่น VS-TCM03-130/S ใช้ไฟส่องสว่าง 2 ดวงคือไฟ MEBL-CW7050 (Back Light) ใช้สำหรับตรวจสอบขนาดมิติ ชิ้นงาน และ MLRL-CW100 (Low Angle Ring Light) สำหรับเพิ่มความสว่างให้กล้องและลดการสะท้อนแสง รูปที่ 4.6 แสดงภาพการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบ และรูปที่ 4.7 แสดงขั้นตอนการตรวจสอบตามโปรแกรมที่กำหนด



รูปที่ 4.6 รูปแบบการติดตั้งสำหรับการตรวจสอบระยะ A, B, C, D, E, F และ H



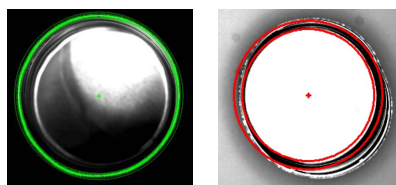
รูปที่ 4.7 แสดงโปรแกรมขั้นตอนการตรวจสอบระยะ A, B, C, D, E, F และ H

5. ผลการวิจัย

ในการทดลองการตรวจสอบการใช้งานระบบวิชั่น ได้นำชิ้นงานฝาเกลียวตัวอย่างต้นแบบจำนวน 3 ชิ้น มาตรวจสอบซ้ำๆ กันละ 10 ครั้ง

5.1 ผลการตรวจสอบความกลม

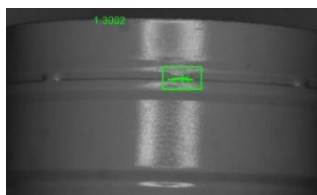
ผลการตรวจสอบความกลมของฝาเกลียวแสดงในรูปที่ 5.1 โดยระบบวิชั่นสามารถแยกชิ้นงานที่มีความกลม และบิดเบี้ยวได้ โดยใช้เวลาในการตรวจสอบเฉลี่ยที่ 22 มิลลิวินาที ต่อการตรวจสอบหนึ่งครั้ง



รูปที่ 5.1 แสดงตำแหน่งการตรวจสอบความกลมของฝาเกลียวที่ผ่าน (รูปซ้ายมือ) และไม่ผ่าน (รูปขวามือ) เกณฑ์คุณภาพ

5.2 ผลการตรวจสอบระยะ L

โดยทั่วไปฝาเกลียวลูมิเนียมของขวดแก้ว เมื่อหมุนเกลียวเปิดขวด ฝาเกลียวจะขาดออกจากกันบริเวณรอยปูล รอยปูลนี้เกิดจากการเจาะตัดฝาให้ขาดออกจากกันบางส่วน ส่วนที่ยังไม่ขาดออกจากกันมีขนาดความกว้าง L หรือเรียกว่าระยะ Pillar-Pillar มีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร เป็นส่วนที่ยึดฝาเกลียวกันปลอมให้ติดกัน



รูปที่ 5.2 แสดงค่าการวัดระยะ L

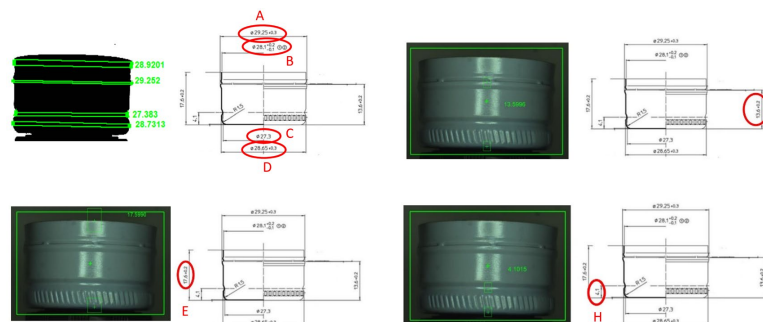
รูปที่ 5.2 แสดงค่าการวัดระยะ L ที่บริเวณรอยปูลของฝาเกลียวด้วยระบบวิชั่น และตารางที่ 5.1 แสดงผลการตรวจสอบระยะ L ของฝาเกลียวต้นแบบ 3 ฝา สุ่มตรวจสอบขึ้นละ 10 ครั้ง ค่าที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์คุณภาพตามที่กำหนด ค่า L ที่เป็น 0 หมายถึงระบบวิชั่นตรวจสอบแล้ว ไม่พบแสงในบริเวณที่ตรวจสอบ สาเหตุเกิดจากบริเวณดังกล่าวมีการตัด ไม่ขาดของฝาเกลียวทำให้ไม่มีแสงทะลุลอดออกมา กล้องจึงตรวจสอบไม่ได้จึงให้ค่าเป็น 0 สำหรับเวลาในการตรวจสอบระยะ L ต่อครั้งใช้เวลาประมาณ 19 มิลลิวินาที

Pillar – Pillar (mm)								
No.	Repeat	L	No.	Repeat	L	No.	Repeat	L
1	1	0.9861	2	1	1.9297	3	1	1.1232
	2	0		2	0.8923		2	1.1751
	3	1.9124		3	0.9061		3	1.1622
	4	0.9122		4	0.7538		4	1.1158
	5	1.6624		5	1.5376		5	0
	6	0.9448		6	0.8708		6	1.1266
	7	0.7813		7	0.9691		7	1.2132
	8	0.8262		8	0		8	1.1626
	9	0.831		9	0.8916		9	1.1152
	10	1.5782		10	0.9967		10	1.1623

ตารางที่ 5.1 ผลการเก็บค่าข้อมูลระยะ L (Pillar-Pillar) ที่ได้จากการตรวจสอบด้วยระบบวิชั่น

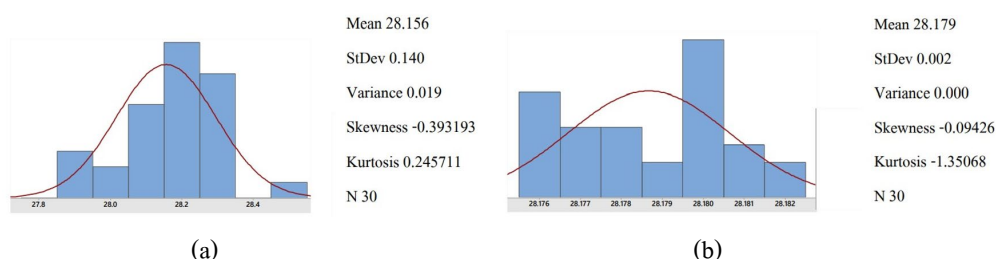
5.3 ผลการตรวจสอบระยะ A, B, C, D, E, F และ H

รูปที่ 5.3 แสดงภาพการตรวจสอบฝาเกลียวที่ระยะต่างๆ ด้วยระบบวิชั่น เวลาในการตรวจสอบทั้ง 7 ตำแหน่งใช้เวลาประมาณ 385 มิลลิวินาที ผลการตรวจสอบฝาเกลียวทั้ง 3 ฝาๆ ละ 10 ครั้ง



รูปที่ 5.3 แสดงภาพการตรวจสอบฝาเกลียวที่ระยะต่างๆ

รูปที่ 5.4 แสดงผลเปรียบเทียบความเที่ยงตรงในการวัด โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (a) กับระบบวิชั่น (b) ของการวัดระยะ B (ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางฝาเกลียว) โดยใช้โปรแกรม Minitab 17 ในการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลที่ได้จะเห็นว่าการวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์มีค่าเบี่ยงมาตรฐาน (± 0.140 มิลลิเมตร) มากกว่าการวัดด้วยระบบวิชั่น (± 0.002 มิลลิเมตร) อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 5.4 แสดงค่าสถิติพื้นฐานจากการวัดระยะ B ด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (a) และระบบวิชั่น (b) โดยโปรแกรม Minitab 17

6. อภิปรายผล

โครงการนี้ได้ออกแบบระบบวิชั่นเพื่อตรวจสอบชิ้นงานฝาเกลียวด้วยกล้องถ่ายภาพ เพื่อลดปัญหาในการตรวจสอบด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์, เกจวัด Go-No Go และไมโครสโคปแบบดิจิทัล สามารถสรุปผลได้ตามตารางที่ 6.1

การตรวจสอบ	การตรวจสอบแบบเดิม	การตรวจสอบด้วยระบบวิชั่น
1. ความกลมของฝาเกลียว	1. เกจวัด Go/No-Go 2. ตัวแปรคือการสวมฝาเข้ากับเกจ 3. คัดแยกของดีและเสียได้รวดเร็ว 4. จดบันทึกแล้วนำไปป้อนในฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ภายหลัง	1. ตรวจสอบด้วยกล้อง 2. ตัวแปรคือแสงไฟและตำแหน่งฝาเกลียว 3. คัดแยกของดีเสียภายใน 22 มิลลิวินาที 4. บันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ทันที

2. ระยะ L บริเวณรอย ปรุของฝาเกลียว	1. คีจิตอลไมโครสโคป 2. ตัวแปรคือความผิดพลาดใช้สายตามอง 3. ต้องนำผลไปวิเคราะห์ต่อ 4. จดบันทึกแล้วนำไปป้อนในฐาน ข้อมูลคอมพิวเตอร์ภายหลัง	1. ตรวจสอบด้วยกล้อง 2. ตัวแปรคือแสงไฟและตำแหน่งฝาเกลียว 3. ตรวจสอบวิเคราะห์ผลได้ภายใน 19 มิลลิวินาที 4. บันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ ทันที
3. ขนาดมิติของฝา เกลียว A, B, C, D, E, F และ H	1. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ 2. ตรวจสอบได้เฉพาะระยะ B และ E 3. ตัวแปรคือแรงกด 4. ค่าความเบี่ยงเบนการวัด 0.140 มิลลิเมตร 5. จดบันทึกแล้วนำไปป้อนในฐาน ข้อมูลคอมพิวเตอร์ภายหลัง	1. ตรวจสอบด้วยกล้อง 2. ตรวจสอบได้ทุกจุด 3. ตัวแปรคือแสงไฟและตำแหน่งฝาเกลียว 4. ค่าความเบี่ยงเบนการวัด 0.002 มิลลิเมตร 5. ใช้เวลาในการตรวจสอบ 385 มิลลิวินาที 6. บันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ ทันที

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. เนื่องจากเครื่องจักรในงานวิจัยนี้เป็นการผลิตแบบ Custom made หรืองานออกแบบเฉพาะ ค่าตัวแปรต่างๆ เช่น ROI, ข้อกำหนดของระบบ, สภาพแสง รวมถึงอัตราการใช้พลังงานจะไม่สามารถนำไปใช้ได้ในงานทั่วไป

2. Vision System ถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีความหลากหลายในการใช้งาน การนำไปใช้จึงต้องมีการทดลองในสภาพแสงที่คล้ายคลึงกับสภาพแสงหน้างานให้มากที่สุดจนได้ค่าที่เหมาะสมก่อน จึงจะนำไปใช้ในหน้างานจริง

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. เนื่องจากเครื่องจักรในงานวิจัยนี้เป็นการผลิตแบบ Custom made ทำให้ต้องมีการสำรวจพื้นที่หน้างาน และความต้องการของลูกค้าให้ละเอียดก่อนที่จะเริ่มออกแบบระบบ

2. เทคโนโลยีของ Vision System และหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ได้พัฒนาอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ทำให้ข้อกำหนดของระบบที่เขียนไว้ในงานวิจัยอาจไม่ตอบโจทย์และล้าหลัง ควรศึกษาหาข้อมูลเพื่อที่จะออกแบบระบบให้เหมาะสมกับสภาพหน้างานที่สุด

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท สุมิพล คอร์ปอเรชั่น จำกัด แผนก Automation System ที่ให้โอกาสเข้ามาทำโครงการวิจัยและช่วยอนุเคราะห์ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาและดำเนินงาน สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือ ตลอดจนให้คำแนะนำในการทำโครงการวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิกีพีเดีย. (2564). *เซนเซอร์รูปภาพ*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2565, จาก : <https://th.wikipedia.org/wiki/เซนเซอร์รูปภาพ>.
- [2] ศุภเชษฐ์ ไชยวุฒิ. (2557). *การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการตรวจสอบโดยใช้ระบบวิชั่น : กรณีศึกษาแผ่นซับสเตรทของโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์*. การค้นคว้าอิสระ ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [3] M Report. (2017). *วิชั่นซิสเต็ม (Vision System)*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2022, จาก : <https://www.mreport.co.th/products/metrology/vision-system/102-Vision-System-by-Sumipol-Corporation>.
- [4] Machine Vision (Thailand) Co., Ltd. (2021). *Technical Knowledge*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2022, จาก : <https://machinevision.co.th/technical-knowledge/ประเภทของกล้องในระบบ-machine-vision/>.
- [5] Machine Vision (Thailand) Co., Ltd. (2021). *Technical Knowledge*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2022, จาก : <https://machinevision.co.th/technical-knowledge/การเลือกเลนส์ในระบบ-machine-vision/>.
- [6] OMRON. (2020). *Vision System FH-Series*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2022, จาก : https://www.ia.omron.com/data_pdf/cat/fh_q197-e1_23_1_csm1013479.pdf?id=3210.

การยอมรับเทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล
ACCEPTANCE OF AUTONOMOUS VEHICLES TECHNOLOGY
IN BANGKOK

ธีรนนท์ สุวรรณชวลิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: 6272046121@student.chula.ac.th

ภานันท์ ไทยทัตกุล

สถาบันการขนส่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: phathinan.t@chula.ac.th

ศักดิ์สิทธิ์ เฉลิมพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาบันการขนส่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: saksith.c@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ยานยนต์ไร้คนขับ (Autonomous Vehicles) เป็นเทคโนโลยีที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ โดยเทคโนโลยีนี้จะส่งเสริมการพัฒนาระบบคมนาคมขนส่งในเมืองที่สามารถเข้าถึงได้ทุกคน (Inclusive transport network) ซึ่งทำให้ผู้สูงอายุ ผู้พิการ และผู้ที่ไม่สามารถขับรถยนต์ด้วยตนเองมีอิสระในการเดินทางมากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่จะส่งต่อการยอมรับเทคโนโลยีนี้ในประเทศไทย โดยศึกษาจากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างจำนวน 450 คนจากประชากรที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นไปที่ยานยนต์ไร้คนขับในระดับ 5 และทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้กรอบแนวคิดแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model) ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่จะส่งต่อการยอมรับเทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับหรือความตั้งใจที่จะใช้เทคโนโลยีอย่างมีนัยสำคัญ ประกอบไปด้วยการรับรู้ถึงประโยชน์, การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน, การรับรู้ความปลอดภัยและความเชื่อถือ โดยตัวแปรที่ส่งต่อการยอมรับเทคโนโลยีสูงสุดคือความเชื่อถือและการรับรู้ถึงความปลอดภัย ตามลำดับ

คำสำคัญ: ยานยนต์ไร้คนขับ, แบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี, แบบจำลองสมการโครงสร้าง

ABSTRACT

Autonomous vehicles technology is expected to happen in the short run. This technology encourages the inclusive transport network development that makes elderly people, disabled people or the people that cannot drive a car by themselves have more flexibility to travel. This research aims to investigate the factors affecting the acceptance of fully autonomous vehicle technology in Bangkok by interviewing 450 respondents in Bangkok. Technology Acceptance Model was used for the analysis. The results have shown that the factors affecting the

acceptance of full autonomous vehicle technology significantly are Perceive Usefulness, Perceive Ease of Use, Perceive Safety and Trust. The variable that affects the highest technology adoption is Trust and Perceive Safety respectively.

Keywords: Autonomous Vehicles, Technology Acceptance Model, Structural Equation Modeling

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีต่างๆ ทั่วโลกได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีความคาดหวังว่า เทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับ (Autonomous Vehicles) จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้นี้ ยานยนต์ไร้คนขับสามารถเพิ่มความคล่องตัวในการเดินทางแก่ผู้ที่ไม่มีความพร้อมในการเดินทางเช่น คนสูงอายุ คนพิการหรือผู้ที่ไม่มียานพาหนะทำให้สามารถเดินทางได้ง่ายยิ่งขึ้นซึ่งถือเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาระบบคมนาคมขนส่งในเมืองที่เข้าถึงได้ทุกคน (Inclusive transport network) แต่การที่ยานยนต์ไร้คนขับเป็นเทคโนโลยีใหม่และมีน้อยคนที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับยานยนต์ไร้คนขับ ทำให้ประชาชนทั่วไปอาจเกิดความกังวลเกี่ยวกับเทคโนโลยีนี้ทั้งในด้านความปลอดภัย ความน่าเชื่อถือของเทคโนโลยีและผู้รับผิดชอบหากเกิดอุบัติเหตุจากยานยนต์ไร้คนขับ เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับและการใช้เทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับในรูปแบบต่างๆ จึงมีความสำคัญต่อการกำหนดยุทธศาสตร์และการออกแบบนโยบายด้านการขนส่ง รวมถึงโครงสร้างพื้นฐานและการพัฒนาเมือง เพื่อให้สามารถนำเทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับมาใช้ให้สอดคล้องกับความต้องการของประชาชนและเกิดประโยชน์ต่อสังคมอย่างสูงสุดต่อประเทศไทยในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่เป็นอุปสรรคและปัจจัยที่ส่งเสริมต่อการยอมรับและความตั้งใจที่จะใช้เทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับในประเทศไทยจากการศึกษาวิจัยของประเทศต่างๆ และนำทฤษฎีมาปรับใช้เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาปรับปรุงหรือเสนอแนวทางการกำหนดนโยบายด้านการขนส่ง โครงสร้างพื้นฐานและการพัฒนาเมืองของไทยให้เหมาะสมกับเทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 เทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับ

ยานยนต์ไร้คนขับ คือ ยานยนต์ที่ดำเนินการสื่อสารและเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มาสนับสนุนคุณภาพในการขับขี่ของมนุษย์ให้เกิดความปลอดภัยในการเดินทางสูงสุดโดยเทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับนั้นถูกแบ่งได้เป็น 5 ระดับ โดยสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ (SAE International, 2016) ประกอบไปด้วย

- 1) Driver assistance มีเทคโนโลยีสนับสนุนคนขับบางส่วน เช่น Adaptive Cruise Control
- 2) Partial automation รวมเทคโนโลยีสนับสนุนคนขับไว้ด้วยกัน (Advanced Driver Assistance System)
- 3) Conditional automation สามารถขับเคลื่อนได้เองโดยปราศจากการควบคุมจากคนขับแต่คนขับยังคงจำเป็นต้องควบคุมเมื่อเกิดสถานการณ์ฉุกเฉิน

4) High automation สามารถขับเคลื่อนได้เองและรับมือกับสถานการณ์ฉุกเฉินได้ในการใช้งานในพื้นที่จำกัด

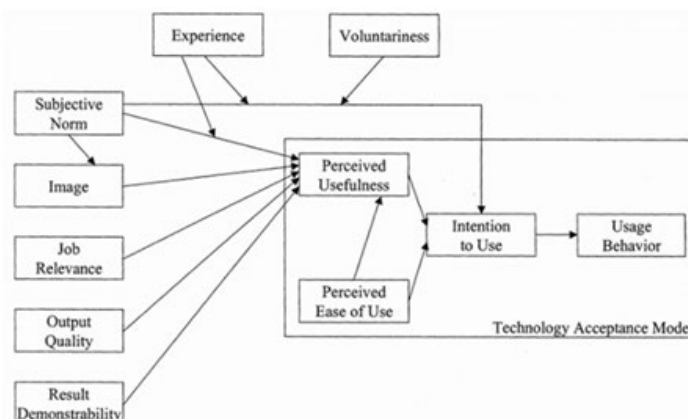
5) Full automation สามารถขับเคลื่อนเองได้อย่างสมบูรณ์ในทุกสภาพแวดล้อม

และเนื่องจากยานยนต์ไร้คนขับระดับ 5 ได้ถูกคาดหวังไว้ว่าจะเป็นหนึ่งในทางเลือกการเดินทางใหม่ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้นี้ ด้วยการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เข้ามาช่วยในการขับเคลื่อนรถยนต์ ช่วยให้มนุษย์ไม่ต้องควบคุมด้วยตนเอง อย่างไรก็ตาม ในหลายงานวิจัยให้ความเห็นตรงกันว่า เทคโนโลยีนี้จะไม่สามารถถูกใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพหากไม่ได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งานและจะไม่สามารถพัฒนาต่อไปได้หากไม่ได้รับความไว้วางใจจากผู้คน (Ghazizadeh et al., 2012)

3.1.2 แบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model, TAM)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะใช้การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการยอมรับเทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับผ่านแบบจำลองสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling, SEM) โดยใช้ตัวแปรต่างๆ ที่อยู่ภายใต้ทฤษฎีของแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model, TAM) ประกอบกับการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาเพื่อคุณลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง (Man et al., 2020)

แบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี เป็นทฤษฎีเชิงระบบสารสนเทศที่จำลองถึงวิธีการที่ผู้ใช้จะยอมรับและเลือกใช้เทคโนโลยีใดๆ ซึ่งแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยีจะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเชื่อถือและทัศนคติของผู้คนต่อความตั้งใจที่จะใช้เทคโนโลยีนั้นๆ ซึ่งแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยีจะประกอบไปด้วยตัวแปรหลัก 2 ตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อความตั้งใจที่ใช้เทคโนโลยีคือ การรับรู้ถึงประโยชน์ (Perceived Usefulness, PU) และการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use, PEOU) (Choi et al., 2015) ต่อมา Venkatesh และ Davis (2000) ได้มีการพัฒนาแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยีดังกล่าวเป็นแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี 2 (Technology Acceptance Model 2, TAM2) โดยได้เพิ่มตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวกับแรงจูงใจจากสังคม (Social Influence) ซึ่งประกอบไปด้วย อิทธิพลจากบุคคลรอบข้างและสังคม (Subjective Norm), ความสมัครใจ (Voluntariness), ภาพลักษณ์ (Image) และตัวแปรทางด้านการสร้างความรู้ความเข้าใจ (Cognitive Instrumental Processes) ซึ่งประกอบไปด้วย ความสอดคล้องกับการทำงาน (Job Relevance), คุณภาพในการใช้งาน (Output Quality), การเห็นถึงผลลัพธ์ (Result Demonstrability) ดังแสดงในแผนภาพที่ 1



แผนภาพที่ 1 แบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี 2

นอกจากนี้ในบางงานวิจัยก็มีการเพิ่มตัวแปรที่ส่งผลต่อความตั้งใจที่จะใช้เทคโนโลยีเข้ามาประกอบไปด้วย ความน่าเชื่อถือ (Trust) การรับรู้ถึงความเสี่ยง (Perceived Risk) การรับรู้ถึงความปลอดภัย (Perceived Safety) ความเข้ากันได้กับเทคโนโลยี (Compatibility) ความชัดเจน (Visibility) และการทดลองใช้ได้ (Trialability) (Yuen et al., 2021) โดยจากงานศึกษาที่ผ่านมาในประเทศเกาหลีใต้พบว่าการรับรู้ถึงประโยชน์ การรับรู้ถึงความสะดวกในการใช้งาน ความเชื่อถือว่าส่งผลเชิงบวกต่อการยอมรับเทคโนโลยีและการรับรู้ถึงความเสี่ยงจะส่งผลเชิงลบต่อการยอมรับเทคโนโลยี (Choi et al., 2015) เช่นเดียวกับงานศึกษาในประเทศฮ่องกงที่พบว่า การรับรู้ถึงประโยชน์ การรับรู้ถึงความสะดวกในการใช้งาน ความเชื่อถือว่าส่งผลเชิงบวกต่อการยอมรับเทคโนโลยีเช่นเดียวกันและยังพบว่าความเข้ากันได้กับเทคโนโลยีจะส่งผลเชิงบวกต่อการรับรู้ถึงประโยชน์ การรับรู้ถึงความสะดวกในการใช้งาน และความเชื่อถือว่า (Man et al., 2020) เป็นต้น และจากการศึกษาในรัฐเท็กซัสและรัฐมิชิแกนในสหรัฐอเมริกาได้มีผลการศึกษาที่สอดคล้องกันว่าเพศชาย ผู้ที่มีระดับการศึกษาสูง ผู้ที่มีอุปสรรคทางด้านร่างกายและผู้ที่มีอายุน้อยมีแนวโน้มที่จะยอมรับยานยนต์ไร้คนขับมากกว่ากลุ่มตรงข้าม (Sener et al., 2019; Zhang et al., 2021)

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

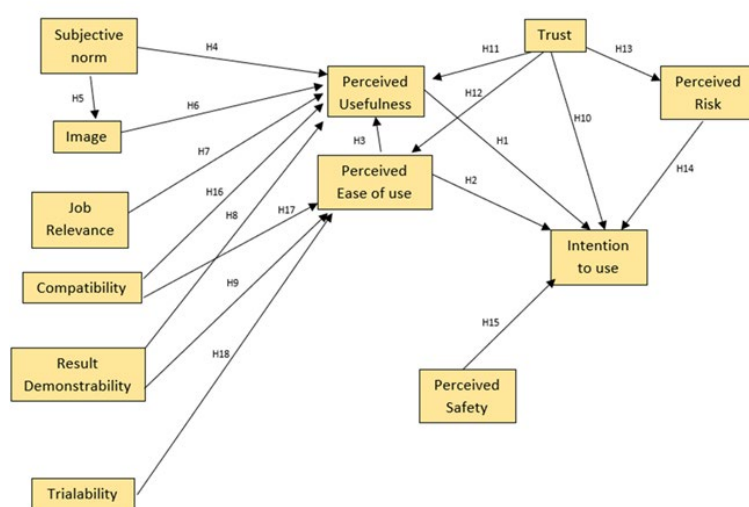
ในงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลในการยอมรับเทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับที่จะมีขึ้นในอนาคต โดยยานยนต์ไร้คนขับที่ถูกกล่าวถึงนี้ได้ถูกกำหนดให้อยู่ในระดับที่ 5 โดยกำหนดให้บริบทการใช้งานเป็นการใช้ยานยนต์ไร้คนขับร่วมกับรถยนต์และจักรยานยนต์ทั่วไปบนท้องถนนได้ ผ่านการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองสมการโครงสร้าง โดยมีตัวแปรต้นและตัวแปรตามที่กำหนดดังนี้

ตัวแปรตาม คือ ความตั้งใจที่จะใช้เทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับ

ตัวแปรต้น ประกอบไปด้วย ภาพลักษณ์, การรับรู้ถึงประโยชน์, การรับรู้ถึงความสะดวกในการใช้งาน, การรับรู้ถึงความเสี่ยง, อิทธิพลจากบุคคลรอบข้างและสังคม, ความสอดคล้องกับการทำงาน, การเล็งเห็นถึงผลลัพธ์, ความน่าเชื่อถือ, การรับรู้ถึงความปลอดภัย, ความเข้ากันได้กับเทคโนโลยี, การทดลองใช้ได้

3.3 สมมุติฐานการวิจัย

จากการทบทวนผลการศึกษาที่ผ่านมา มีการตั้งข้อสมมุติฐานเกี่ยวกับตัวแปรต้นและตัวแปรตาม ดังที่แสดงในแผนภาพที่ 2 ได้ดังนี้



แผนภาพที่ 2 แผนผังสมมุติฐานของแบบจำลองในงานวิจัย

H1 : การรับรู้ถึงประโยชน์มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการยอมรับเทคโนโลยีสารสนเทศไร้คนขับ (Venkatesh & Davis, 2000)

H2 : การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งานมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการยอมรับเทคโนโลยีสารสนเทศไร้คนขับ (Venkatesh & Davis, 2000)

H3 : การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งานมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการรับรู้ถึงประโยชน์ (Venkatesh & Davis, 2000)

H4 : อิทธิพลจากบุคคลรอบข้างและสังคมมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการรับรู้ถึงประโยชน์ (Venkatesh & Davis, 2000)

H5 : อิทธิพลจากบุคคลรอบข้างและสังคมมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อภาพลักษณ์ (Venkatesh & Davis, 2000)

H6 : ภาพลักษณ์มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการรับรู้ถึงประโยชน์ (Venkatesh & Davis, 2000)

H7 : ความสอดคล้องกับการทำงานมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการรับรู้ถึงประโยชน์ (Venkatesh & Davis, 2000)

H8 : การเล็งเห็นถึงผลลัพธ์มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการรับรู้ถึงประโยชน์ (Venkatesh & Davis, 2000)

H9 : การเล็งเห็นถึงผลลัพธ์มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน (Yuen et al., 2021)

H10 : ความเชื่อถือมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการยอมรับเทคโนโลยีสารสนเทศไร้คนขับ (Choi et al., 2015)

H11 : ความเชื่อถือมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการรับรู้ถึงประโยชน์ (Choi et al., 2015)

H12 : ความเชื่อถือมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน (Choi et al., 2015)

H13 : ความเชื่อถือมีความสัมพันธ์เชิงลบต่อการรับรู้ถึงความเสี่ยง (Choi et al., 2015)

H14 : การรับรู้ถึงความเสี่ยงความสัมพันธ์เชิงลบต่อการยอมรับเทคโนโลยีสารสนเทศไร้คนขับ (Choi et al., 2015)

H15 : การรับรู้ถึงความปลอดภัยมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการยอมรับเทคโนโลยีสารสนเทศไร้คนขับ (Xu et al., 2019)

H16 : ความเข้ากันได้กับเทคโนโลยีมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการรับรู้ถึงประโยชน์ (Yuen et al., 2021)

H17 : ความเข้ากันได้กับเทคโนโลยีมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน (Yuen et al., 2021)

H18 : การทดลองใช้มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน (Yuen et al., 2021)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงสำรวจ ซึ่งจะสำรวจถึงปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีสารสนเทศไร้คนขับ และสำรวจถึงรูปแบบของการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศไร้คนขับที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลและนำไปวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกกลุ่มประชากรเป็นผู้ที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ที่มีอายุเกิน 18 ปี ขึ้นไป โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบโควตา (Quota Sampling) เนื่องจากต้องการกลุ่มตัวอย่างที่มีการกระจายตัวของเพศ ช่วงอายุ และพื้นที่ที่อยู่อาศัย ที่สอดคล้องกับประชากรภายในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยอ้างอิง

จากรายงานของสำนักงานสถิติแห่งชาติและศูนย์ข้อมูลสารสนเทศเพื่อการศึกษาในปี 2564 ซึ่งขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการจะคำนวณโดยใช้กฎอย่างง่าย (Rule of thumb) ซึ่งสำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี ที่ใช้แบบจำลองสมการ โครงสร้าง (Structural Equation Modeling, SEM) ในการวิเคราะห์ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้นขนาดของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 10 เท่าของจำนวนข้อคำถาม (Westland, 2010) โดยในงานวิจัยนี้มีข้อคำถามในส่วนที่ 2 ที่เป็นข้อคำถามที่เกี่ยวกับปัจจัยในการยอมรับเทคโนโลยีทั้งหมด 44 ข้อคำถาม ดังนั้นขนาดของกลุ่มตัวอย่างควรมีอย่างน้อย 440 คน ซึ่งทางผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลมาทั้งหมด 450 ตัวอย่าง โดยมีเป้าหมายการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเพื่อให้มีการกระจายตัวที่สอดคล้องกับสัดส่วนของประชากรในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

4.3 เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือในการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้มีรูปแบบเป็นแบบสอบถาม ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วนโดยส่วนที่ 1 จะเป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลส่วนบุคคลทั่วไปและรูปแบบการเดินทางในชีวิตประจำวันจำนวน 19 ข้อคำถาม และส่วนที่ 2 ที่จะสอบถามเกี่ยวกับการยอมรับต่อเทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับ ประกอบไปด้วย 44 ข้อคำถามและมีการกำหนดบริบทไว้ว่า ยานยนต์ไร้คนขับสามารถวิ่งร่วมกับรถยนต์และรถจักรยานยนต์ทั่วไปบนท้องถนนได้ โดยโดยใช้มาตรวัดของลิเคิร์ตแบบ 5 ระดับไล่จากเห็นด้วยอย่างยิ่ง จนถึง ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลผ่านการทำแบบสอบถามโดยใช้วิธีการสัมภาษณ์จากผู้ให้คำตอบโดยตรง (Personal interview) เนื่องจากผู้ให้คำตอบต้องได้รับข้อมูลเกี่ยวกับยานยนต์ไร้คนขับก่อนจะเริ่มทำแบบสอบถาม โดยรูปแบบของการตอบแบบสอบถามจะเป็นการตอบในกระดาษที่ผู้สัมภาษณ์เตรียมมา (Paper and pencil survey) โดยมีเป้าหมายในการเก็บข้อมูลบริเวณที่มีผู้คนจำนวนมากและมีความหลากหลายทั้งด้านอายุและพื้นที่ที่อยู่อาศัยเพื่อให้สอดคล้องกับสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างมากที่สุด

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในงานวิจัยนี้มีการวิเคราะห์ด้วยการใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์แบบจำลองสมการ โครงสร้าง (SEM) โดยมีการวิเคราะห์หาค่าประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis) เพื่อสังเกตความน่าเชื่อถือของแบบจำลองและพัฒนาแบบจำลองให้ดียิ่งขึ้นโดยปรับค่าความสัมพันธ์ของตัวแปร โดยจะตัดตัวแปรต้นที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor Loading) น้อยกว่า 0.5 ออก เพื่อให้ค่าความตรงของแบบจำลอง (Model Fit) เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยใช้โปรแกรม AMOS ในการวิเคราะห์โดย Pahlavan & Sharif (2018) มีการกำหนดค่าความตรงของแบบจำลองไว้ว่า หากอัตราส่วนของค่า Chi-square ต่อค่า Degree of freedom (CMIN/DF) มีค่าไม่เกิน 3 ค่า incremental fit indices (NFI, RFI, CFI) มีค่าเกิน 0.9 และค่า Standardize Root Mean Square Residual (SRMR) มีค่าไม่เกิน 0.08 จะถือว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ และเมื่อแบบจำลองที่ผ่านการวิเคราะห์หาค่าประกอบเชิงยืนยันมีความน่าเชื่อถือ จะสามารถนำไปวิเคราะห์แบบจำลองสมการ โครงสร้างต่อไปได้

5. ผลการวิจัย

5.1 สถิติเชิงพรรณนา

ตารางที่ 1 แสดงสถิติเชิงพรรณนาของกลุ่มตัวอย่าง โดยกลุ่มตัวอย่างมีการกระจายตัวของเพศอย่างเท่าเทียมกัน (ชาย 222 คน, หญิง 228 คน) มีระดับการศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในช่วงมัธยมศึกษาถึงระดับปริญญาตรี

(ร้อยละ 95) ส่วนใหญ่มีรายได้ครัวเรือนอยู่ในช่วง 30,000-50,000 บาท (ร้อยละ 30.44) และ 50,000-70,000 บาท (ร้อยละ 26.67) อายุเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างอยู่ที่ 44.98 ปีแสดงให้เห็นว่าสังคมประเทศไทยมีแนวโน้มไปในทางสังคมผู้สูงวัย ระยะห่างระหว่างที่พักอาศัยกับระบบขนส่งสาธารณะโดยเฉลี่ยคือ สถานีรถไฟฟ้า (7.47 กิโลเมตร) และป้ายรถเมล์ (2.11 กิโลเมตร) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความยากลำบากในการเข้าถึงระบบขนส่งสาธารณะ โดยกลุ่มตัวอย่างมีการครอบครองรถยนต์ในครัวเรือนเฉลี่ย 1.01 คันและจักรยานยนต์ 1.16 คันและมีประสบการณ์ในการใช้ยานพาหนะในยุคนี้น้อย (รถยนต์ไฟฟ้าเฉลี่ย 0.03 ปี ระบบ cruise control เฉลี่ย 0.29 ปี)

ตารางที่ 1 ตารางแสดงสถิติเชิงพรรณนา

	จำนวน	ร้อยละ		Mean	Sd	Max	Min
จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	450	100.00	อายุ	44.98	14.91	80	18
เพศ			ระยะทางจากที่พักอาศัยไปขนส่งสาธารณะ				
ชาย	222	49.33	รถไฟฟ้า	7.47	10.73	60	0
หญิง	228	50.67	ป้ายรถเมล์	2.11	6.32	100	0.02
ระดับการศึกษา			จำนวนสมาชิกในครัวเรือน	3.66	1.66	11	1
ไม่เคยเข้าศึกษา	13	2.89	จำนวนยานพาหนะในครัวเรือน				
มัธยมปลายหรือต่ำกว่า	249	55.33	รถยนต์	1.01	0.95	6	0
ปริญญาตรี	179	39.78	รถจักรยานยนต์	1.16	1.10	10	0
ปริญญาโทหรือสูงกว่า	9	2.00	ประสบการณ์ในการใช้งานยานพาหนะ				
รายได้ครัวเรือน			รถยนต์ไฟฟ้า	0.03	0.31	5	0
15,000 บาทหรือต่ำกว่า	31	6.89	ระบบช่วยเหลือการขับขี่ เช่น cruise control	0.29	1.27	10	0
15,001 – 30,000 บาท	63	14.00					
30,001 – 50,000 บาท	137	30.44					
50,001 – 70,000 บาท	120	26.67					
70,001 – 100,000 บาท	75	16.67					
มากกว่า 100,000 บาท	24	5.33					

5.2 ค่าความตรงของแบบจำลอง (Model Fit)

จากผลการวิเคราะห์ของแบบจำลองพบว่าค่าความตรงของแบบจำลอง (Model Fit) ประกอบไปด้วย ค่า Degree of freedom (CMIN/DF) มีค่า 2.664 ค่า (NFI, RFI, CFI) มีค่า 0.912, 0.900 และ 0.943 ตามลำดับและค่า Standardize Root Mean Square Residual (SRMR) มีค่า 0.061 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดทั้งหมดบ่งบอกว่าแบบจำลองมีความกลมกลืนกับข้อมูลสูง ทำให้แบบจำลองจึงมีความน่าเชื่อถือ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

	Chi-square	DF	Chi-square/DF	NFI	RFI	CFI	SRMR
	2661.297	999	2.664	0.912	0.900	0.943	0.061
			< 3.000	>0.900	>0.900	>0.900	<0.080

5.3 ค่าการถดถอยของแบบจำลองสมการโครงสร้าง (Regression Weights of SEM)

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองสมการ โครงสร้างแสดงในตารางที่ 3 จากความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ทั้ง 18 สมมุติฐาน พบว่ามี 11 ความสัมพันธ์ที่เป็นไปตามสมมุติฐานและสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต โดยพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีสารสนเทศไร้คนขับมากที่สุดคือความน่าเชื่อถือของเทคโนโลยีสารสนเทศไร้คนขับ (0.627) การรับรู้ถึงความปลอดภัย (0.277) การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน (0.150) และการรับรู้ถึงประโยชน์ (0.100) ตามลำดับ โดยปัจจัยที่ส่งผลเชิงบวกต่อการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งานที่มากที่สุดคือความน่าเชื่อถือของเทคโนโลยีสารสนเทศไร้คนขับ (0.454) ในขณะที่ปัจจัยที่ส่งผลเชิงบวกต่อการรับรู้ถึงประโยชน์ที่มากที่สุดคืออิทธิพลจากคนรอบข้างและสังคม (0.151)

นอกจากนี้มี 1 ความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติแต่ไม่เป็นไปตามสมมุติฐาน คืออิทธิพลจากปัจจัยด้านภาพลักษณ์ต่อการรับรู้ถึงประโยชน์ (H6) โดยพบว่าอิทธิพลเชิงลบไม่สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต (Venkatesh & Davis, 2000) กล่าวคือผู้ที่รับรู้ว่าการใช้ยานยนต์ไร้คนขับสามารถส่งเสริมภาพลักษณ์มีแนวโน้มที่จะรับรู้ถึงประโยชน์ของยานยนต์ไร้คนขับต่ำ ซึ่งอาจเป็นเพราะการให้ความสำคัญในปัจจัยดังกล่าวที่สวนทางกันของประชาชนในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

นอกจากนี้ยังพบว่ามี 6 ความสัมพันธ์ที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งประกอบด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างการทดลองได้กับการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน ความสัมพันธ์ระหว่างความสอดคล้องกับการทำงาน ความเข้ากันได้กับเทคโนโลยี การเล็งเห็นถึงผลลัพธ์ การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งานกับการรับรู้ถึงประโยชน์ และความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้ถึงความเสี่ยงกับความตั้งใจที่จะใช้ ซึ่งสาเหตุที่ไม่พบความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติของปัจจัยเหล่านี้อาจเป็นเพราะในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลยังไม่มีการใช้งานเทคโนโลยีที่ใกล้เคียงกับยานยนต์ไร้คนขับ ทำให้ประชาชนยังมีความเข้าใจถึงปัจจัยเหล่านี้ไม่มากนัก

ในส่วนของตัวแปรด้านสังคมและเศรษฐกิจของกลุ่มตัวอย่าง พบว่าเพศชายมีแนวโน้มที่มีความตั้งใจที่จะใช้ยานยนต์ไร้คนขับมากกว่าเพศหญิงอยู่เล็กน้อยและผู้ที่อายุน้อยกว่าจะมีแนวโน้มที่จะมีความตั้งใจที่จะใช้เทคโนโลยีมากกว่าผู้ที่มีอายุมากขึ้น ส่วนตัวแปรในด้านรายได้ให้ความสัมพันธ์ในเชิงลบต่อความตั้งใจที่จะใช้ ซึ่งอาจเกิดจากการที่รายได้เฉลี่ยของประชากรยังไม่มีสูงและคิดว่าเทคโนโลยีนี้จะมีราคาสูงเกินไป

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าการถดถอยจากแบบจำลองสมการ โครงสร้าง

สมมุติฐาน	ความสัมพันธ์			Estimate	P-Value
H1	ความตั้งใจที่จะใช้	<---	การรับรู้ถึงประโยชน์	0.100	.
H2	ความตั้งใจที่จะใช้	<---	การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน	0.150	***
H3	การรับรู้ถึงประโยชน์	<---	การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน	0.072	0.173
H4	การรับรู้ถึงประโยชน์	<---	อิทธิพลจากบุคคลรอบข้างและสังคม	0.151	*
H5	ภาพลักษณ์	<---	อิทธิพลจากบุคคลรอบข้างและสังคม	0.720	***
H6	การรับรู้ถึงประโยชน์	<---	ภาพลักษณ์	-0.091	*
H7	การรับรู้ถึงประโยชน์	<---	ความสอดคล้องกับการทำงาน	0.084	0.203
H8	การรับรู้ถึงประโยชน์	<---	การเล็งเห็นถึงผลลัพธ์	-0.039	0.375
H9	การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน	<---	การเล็งเห็นถึงผลลัพธ์	0.345	***
H10	ความตั้งใจที่จะใช้	<---	ความเชื่อถือ	0.627	***

ตารางที่ 3 (ต่อ)

สมมุติฐาน	ความสัมพันธ์			Estimate	P-Value
H11	การรับรู้ถึงประโยชน์	<---	ความเชื่อถือ	0.804	***
H12	การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน	<---	ความเชื่อถือ	0.454	***
H13	การรับรู้ถึงความเสี่ยง	<---	ความเชื่อถือ	-0.637	***
H14	ความตั้งใจที่จะใช้	<---	การรับรู้ถึงความเสี่ยง	-0.029	0.499
H15	ความตั้งใจที่จะใช้	<---	การรับรู้ถึงความปลอดภัย	0.277	***
H16	การรับรู้ถึงประโยชน์	<---	ความเข้ากันได้กับเทคโนโลยี	0.054	0.526
H17	การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน	<---	ความเข้ากันได้กับเทคโนโลยี	0.104	.
H18	การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน	<---	การทดลองได้	0.004	0.941
ตัวแปรควบคุม					
-	ความตั้งใจที่จะใช้	<---	อายุ	0.003	*
-	ความตั้งใจที่จะใช้	<---	เพศ	0.032	.
-	ความตั้งใจที่จะใช้	<---	รายได้ครัวเรือนต่ำกว่า 50,000 บาท	-0.126	.
-	ความตั้งใจที่จะใช้	<---	รายได้ครัวเรือนสูงกว่า 70,000 บาท	-0.068	0.447

Sig: '.' 0.1 , '*' 0.05 , '**' 0.01 , '***' 0.001

6. อภิปรายผล

จากผลการวิจัยในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่จะส่งผลต่อการยอมรับเทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับ หรือความตั้งใจที่จะใช้เทคโนโลยีอย่างมีนัยสำคัญ ประกอบไปด้วยการรับรู้ถึงประโยชน์, การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน, การรับรู้ความปลอดภัยและความเชื่อถือ ซึ่งความเชื่อถือเป็นตัวแปรที่มีปัจจัยต่อความตั้งใจที่จะใช้เทคโนโลยีสูงที่สุด นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ต่อตัวแปรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญสูงเช่นกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สิ่งสำคัญที่สุดที่จะส่งผลต่อการยอมรับเทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับสำหรับบริบทของประเทศไทยคือ ความน่าเชื่อถือของเทคโนโลยี นอกจากนี้ยังพบว่า การรับรู้ถึงความปลอดภัยก็มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกต่อความตั้งใจที่จะใช้เทคโนโลยีสูงเช่นกัน ดังนั้นในการที่เทคโนโลยีนี้จะถูกนำมาใช้ในประเทศไทยได้นั้น ควรมีความน่าเชื่อถือในสภาพแวดล้อมของการเดินทางให้ผู้เดินทางโดยยานยนต์ไร้คนขับรู้สึกปลอดภัยและยานพาหนะที่นำมาใช้ก็ควรมีความน่าเชื่อถือว่าจะไม่มีการล้มเหลวของระบบในระหว่างการเดินทาง รวมไปถึงการรับประกันการเกิดอุบัติเหตุและผู้รับผิดชอบเมื่อมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นให้ชัดเจน เทคโนโลยีนี้จึงจะเป็นที่ยอมรับในประเทศไทยในอนาคต

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

จากผลการศึกษาที่ได้จากตารางที่ 3 ทางผู้วิจัยมีแนวทางในการประยุกต์ใช้ในเชิงนโยบายและการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานเพื่อพัฒนาปัจจัยที่จะส่งผลต่อการยอมรับยานยนต์ไร้คนขับมากยิ่งขึ้นในอนาคต เช่น การกำหนดโครงสร้างพื้นฐานที่ให้ความรู้สึกปลอดภัยในการเดินทางเพื่อรองรับเทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับในอนาคตยกตัวอย่างเช่น การแบ่งช่องจราจรที่ห้ามแซงไว้ให้ใช้ร่วมกับรถโดยสารประจำทาง เพื่อช่วยให้ผู้คนรับรู้ถึงความปลอดภัยในการเดินทางมากยิ่งขึ้น หรือการเสนอนโยบายในด้านการสื่อสารและนำเสนอความรู้เกี่ยวกับประโยชน์ของเทคโนโลยี เพื่อให้ผู้คนรู้จักและทราบถึงประโยชน์ของยานยนต์ไร้คนขับทั้งทางตรงและ

ทางอ้อมเพื่อเพิ่มการรับรู้ถึงประโยชน์และการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งานในอนาคต รวมไปถึงการพัฒนากรอบของกฎหมายเพื่อรองรับการใช้งานยานยนต์ไร้คนขับและการรองรับประกันอุบัติเหตุที่เกิดจากการใช้ยานยนต์ไร้คนขับเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือให้แก่เทคโนโลยีและเป็นแนวทางให้เกิดการริเริ่มการนำยานยนต์ไร้คนขับมาใช้งานในพื้นที่ปิดเช่น ภายในพื้นที่บริษัทหรือในมหาวิทยาลัย เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจในเทคโนโลยีแก่ผู้คนและนำไปสู่การยอมรับเทคโนโลยีนี้ในอนาคต

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) การสุ่มกลุ่มตัวอย่างอาจจะใช้ประชากรในประเทศไทยเพื่อให้ผลการศึกษาคอบคลุมถึงประชากรในประเทศไทยได้อย่างแท้จริงมากยิ่งขึ้น

(2) ในงานวิจัยนี้ตัวแปรทางด้านการสร้างความรู้ความเข้าใจ (Cognitive Instrumental Processes) ยังไม่อาจจะโยงถึงการรับรู้ถึงประโยชน์ได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่ประชาชนยังมีน้อยคนที่เคยพบเห็นเทคโนโลยีนี้ ซึ่งในอนาคตตัวแปรเหล่านี้อาจส่งผลมากยิ่งขึ้นและช่วยปรับปรุงแบบจำลองให้ดียิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนการวิจัยจากทุน Fundamental Fund จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้

9. เอกสารอ้างอิง

สำนักงานสถิติแห่งชาติและศูนย์ข้อมูลสารสนเทศเพื่อการศึกษา. (2564). *สถิติประชากรศาสตร์ ประชากรและ*

เคหะ. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 23 กุมภาพันธ์ 2565, จาก: <http://statbbi.nso.go.th/staticreport/page/sector/th/01.aspx>

Choi, J. K., & Ji, Y. G. (2015). *Investigating the Importance of Trust on Adopting an Autonomous Vehicle*.

[ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 31 มกราคม 2565, จาก: <https://doi.org/10.1080/10447318.2015.1070549>.

Ghazizadeh, M., Lee, J. D., & Boyle, L. N. (2012). *Extending the Technology Acceptance Model to assess*

automation. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 27 เมษายน 2565, จาก: <https://doi.org/10.1007/s10111-011-0194-3>

Man, S. S., Xiong, W., Chang, F., & Chan, A. H. S. (2020). *Critical Factors Influencing Acceptance of*

Automated Vehicles by Hong Kong Drivers. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 30 มกราคม 2565, จาก: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3001929>

Pahlevan Sharif & Sharif Nia. (2018). *Structural Equation Modeling with AMOS*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ

15 กันยายน 2565, จาก: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10943-019-00931-6>

Sener, I. N., Zmud, J., & Williams, T. (2019). *Measures of baseline intent to use automated vehicles: A case study of Texas cities*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 17 มกราคม 2565, จาก:

<https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.12.014>

Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000). *A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies*, 46(2). [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 23 มกราคม 2565, จาก:

<https://about.jstor.org/terms>

- Westland, J. (2010). *Erratum: Lower bounds on sample size in structural equation modeling*. [ออนไลน์].
ค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2565, จาก: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1567422310000542>
- Xu, Z., Zhang, K., Min, H., Wang, Z., Zhao, X., & Liu, P. (2018). *What drives people to accept automated vehicles? Findings from a field experiment*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 23 มกราคม 2565, จาก:
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.07.024>
- Yuen, K. F., Cai, L., Qi, G., & Wang, X. (2021). *Factors influencing autonomous vehicle adoption: an application of the technology acceptance model and innovation diffusion theory*. [ออนไลน์].
ค้นเมื่อ 18 มกราคม 2565, จาก: <https://doi.org/10.1080/09537325.2020.1826423>
- Zhang, Q., Yang, X. J., & Robert, L. P. (2021). *Individual Differences and Expectations of Automated Vehicles*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 18 มกราคม 2565, จาก: <https://doi.org/10.1080/10447318.2021.1970431>

ระบบตรวจสอบและแจ้งเตือนไฟฟ้าผิดปกติในระบบจำหน่ายแรงต่ำ
MONITORING AND NOTIFICATION SYSTEM OF POWER FAILURE IN
THE LOW-VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK

เต็มพงษ์ ศรีเทศ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: termpong.sr@spu.ac.th

กฤษฎา ไทยวัฒน์

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: krisada.th@spu.ac.th

วงศ์กร โพธิ์รุ่ง

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: wongsagorn44@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการตรวจสอบระดับแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแรงต่ำที่ออกจากหม้อแปลงไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยสามารถดูข้อมูลบนจอแสดงผลแบบตามเวลาจริงได้ และแจ้งเตือนกรณีเกิดเหตุผิดปกติในระบบจำหน่าย ระบบดำเนินการบันทึกข้อมูลจากเครื่องวัดทางไฟฟ้า ที่สามารถสื่อสารกับระบบ AIS Magellan โดยทำการส่งข้อมูลที่ได้ออกจากการวัดเข้าฐานข้อมูล และแสดงผลแบบตามเวลาจริง ให้ทราบถึงการใช้พลังงานไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นจริงในระบบจำหน่าย เพื่อสามารถนำมาวิเคราะห์ถึงสภาพการจ่ายโหลดทางไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยอ้างอิงตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค นอกจากนี้ระบบจะทำการแจ้งเตือนที่จอแสดงผล เมื่อค่าแรงดันไฟฟ้ามีความผิดปกติจากค่ามาตรฐานคุณภาพของการจ่ายไฟฟ้า รวมถึงระบบมีการแจ้งเตือนแก่ผู้ดูแลระบบ ในการที่จะจัดส่งเจ้าหน้าที่การไฟฟ้าไปดำเนินการ แก้ไข ซ่อมแซมหรือปรับปรุงระบบจำหน่ายได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ไฟฟ้าผิดปกติ ระบบจำหน่ายแรงต่ำ

ABSTRACT

This article aims to verify voltage and current levels for the low voltage system from the transformer in according to the standards of the Provincial Electricity Authority. The information can be viewed on the display in real time and notified in case of malfunctions in the distribution system. The system records data from electric meter that can communicate with the AIS Magellan system by sending the data obtained from the measurements into the database and display results in real time to inform the electricity consumption, voltage and current that

actually happened in the distribution system in order to be able to analyze the power distribution condition of the transformer by referring to the standards of the Provincial Electricity Authority. In addition, the system will notify the display when the voltage value is abnormal from the quality standard of the power supply including notification to the administrator for sending the officers to operate, fix, repair or improve the distribution system with faster and more efficiently.

KEYWORDS: Power Failure, Low-Voltage Distribution Network

1. บทนำ

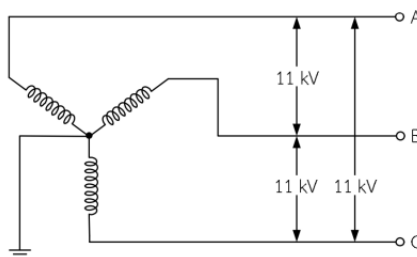
ไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ทั้งในภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม อาจจะเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ในชีวิตประจำวันของเรา ปัจจุบันการใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนมีปริมาณการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้หม้อแปลงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ใช้งานอยู่มีการทำงานที่หนักมากขึ้น ซึ่งทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้มีการวางแผนงานในการบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า โดยให้เจ้าหน้าที่การไฟฟ้านำเครื่องมือไปวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าใช้งานที่ต้นหม้อแปลง แล้วทำการจดค่าเพื่อนำมาคำนวณปริมาณการจ่ายโหลดของหม้อแปลงที่จ่ายโหลดในไลน์แรงดันนั้นๆ จากการปฏิบัติงานดังกล่าว พบว่าการวัดค่าแรงดันและกระแสใช้งาน ไม่ได้วัดจากค่าใช้งานสูงสุดจริงได้ทุกครั้ง เนื่องจากเจ้าหน้าที่การไฟฟ้าออกปฏิบัติงาน ออกทำการวัดค่าแรงดัน และกระแส ในช่วงเวลาราชการ ทำให้ค่าที่ได้ไม่ใช่ค่าการใช้งานสูงสุดจริง ส่งผลให้การวางแผนงานมีความคลาดเคลื่อน ทำให้การเก็บข้อมูลในช่วงเวลาใช้งานสูงสุดมีความสำคัญมาก

นอกจากนั้นเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ชัดข้อ หรือภัยธรรมชาติ บางครั้งเจ้าหน้าที่การไฟฟ้าอาจแก้ไขให้ไฟฟ้ากลับมาใช้ได้รวดเร็วทันต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า แต่บางเหตุการณ์เจ้าหน้าที่การไฟฟ้าอาจจะไม่รู้ว่ในพื้นที่ดังกล่าวเกิดเหตุไฟฟ้าดับหรือไม่ และต้องรอให้ผู้ใช้ไฟฟ้าโทรมาที่ศูนย์สั่งการ ก่อให้เกิดความล่าช้าในการแก้ไขไฟฟ้าชัดข้อ ดังนั้นระบบตรวจสอบและแจ้งเตือนไฟฟ้าผิดปกติในระบบจำหน่ายแรงต่ำ จะเข้ามาช่วยเหลือเจ้าหน้าที่ในการแจ้งเตือนในกรณีที่ค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้า มีค่าผิดปกติแบบตามเวลาจริง ทำให้เจ้าหน้าที่ทราบสถานการณ์ก่อนที่จะมีผู้ใช้ไฟฟ้าโทรมาแจ้ง เป็นการอำนวยความสะดวก บอกพิกัด เหตุไฟฟ้าชัดข้อ เพื่อให้เจ้าหน้าที่การไฟฟ้าดำเนินการแก้ไขไฟฟ้าชัดข้อได้อย่างรวดเร็ว ทันต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น

2. ระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่าย

ระดับแรงดันของระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ ระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้าน ปฐมภูมิหรือทางด้านแรงสูง (High Voltage : HV) และระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิหรือทางด้านแรงต่ำ (Low Voltage :LV) ระดับแรงดันทางด้านแรงสูงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีแรงดัน 3 ระดับ ดังนี้

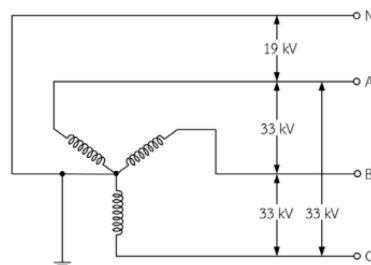
ระดับแรงดัน 11 kV เป็นระบบ 3 เฟส 3 สาย มีใช้งาน 3 จังหวัด คือ เชียงใหม่ ลำปาง และลำพูน



ภาพที่ 1 ระดับแรงดันทางด้านการแรงสูง 11 kV 3 เฟส 3 สาย ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ระดับแรงดัน 22 kV เป็นระบบ 3 เฟส 3 สาย ระบบนี้จะใช้งานเกือบทั่วประเทศ

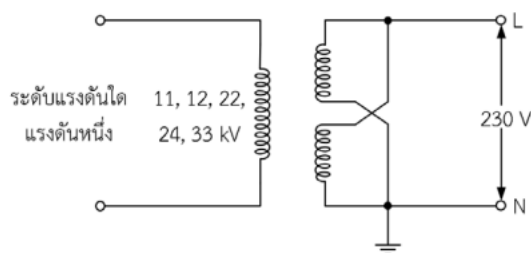
ระดับแรงดัน 33 kV เป็นระบบ 3 เฟส 3 สาย ระบบนี้จะใช้งานในภาคใต้ตั้งแต่จังหวัดระนองลงไป และในภาคเหนือที่จังหวัดเชียงราย ระบบนี้จะมีข้อแตกต่างกับระบบแรงดัน 11 kV และ 22 kV คือ สายดิน จะอยู่ด้านบนสุดของวงจร นอกจากจะทำหน้าที่เป็นจุดต่อลงดินแล้ว ยังเป็นเกราะป้องกันฟ้าผ่าอีกด้วย



ภาพที่ 2 ระดับแรงดันทางด้านการแรงสูง 33 kV 3 เฟส 4 สาย ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

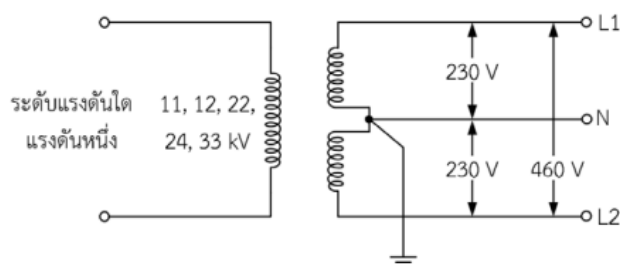
ระดับแรงดันทางด้านการแรงต่ำ (Low Voltage: LV) การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีระดับแรงดันทางด้านการแรงต่ำ 2 ระบบ คือ 1 เฟส และ 3 เฟส

ระดับแรงดันทางด้านการแรงต่ำ 1 เฟส 2 สาย 230 V มีลักษณะวงจร ดังแสดงในภาพที่ 3



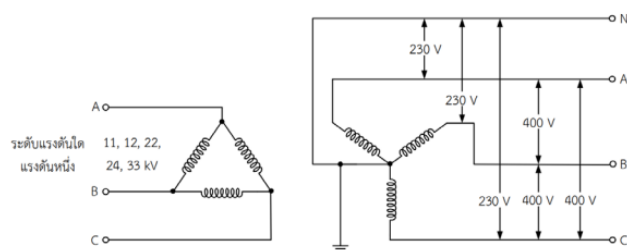
ภาพที่ 3 ระดับแรงดันทางด้านการแรงต่ำ 1 เฟส 2 สาย 230 V

ระดับแรงดันทางด้านแรงต่ำ 1 เฟส 3 สาย 230/460 V มีลักษณะวงจร ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ระดับแรงดันทางด้านแรงต่ำ 1 เฟส 3 สาย 230/460 V

ระดับแรงดันทางด้านแรงต่ำ 3 เฟส เป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย ระดับแรงดันไฟฟ้า 230/400 V เป็นระบบที่มีความคล่องตัวสูงในการใช้งาน ซึ่งสามารถใช้กับโหนดแสงสว่าง (Lighting) และโหนดกำลัง (Power) เพราะระบบนี้มี แรงดัน 2 ระดับ คือ แรงดัน 1 เฟส 230 V (เป็นแรงดันระหว่างสายไลน์กับสายนิวทรัล) และแรงดัน 3 เฟส 400 V (เป็นแรงดันระหว่างสายไลน์กับสายไลน์) ดังแสดงในภาพที่ 5



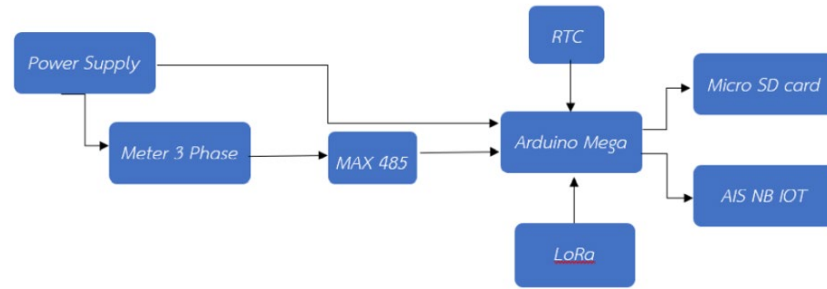
ภาพที่ 5 ระดับแรงดันทางด้านแรงต่ำ 3 เฟส 4 สาย 230/400 V

มาตรฐานของการจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแรงต่ำ

1. ในระบบแรงดัน 220 โวลต์ กรณีจ่ายไฟปกติและกรณีจ่ายไฟฉุกเฉินจะมีช่วงระดับแรงดันต่ำสุด 200 โวลต์ ถึงสูงสุด 240 โวลต์
2. ในระบบแรงดัน 380 โวลต์ กรณีจ่ายไฟปกติและกรณีจ่ายไฟฉุกเฉินจะมีช่วงระดับแรงดันต่ำสุด 342 โวลต์ ถึงสูงสุด 418 โวลต์

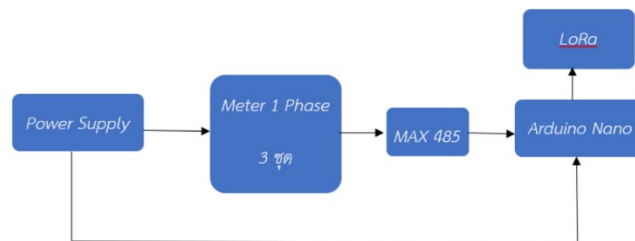
3. การออกแบบ

โครงสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับระบบตรวจสอบและแจ้งเตือนไฟฟ้าผิดปกติในระบบจำหน่ายแรงต่ำจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ชุดตัวหลัก จะใช้ Arduino Mega 2560 เป็นตัวประมวลผลหลักซึ่งจะรับค่าจาก เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า 3 เฟสที่แปลงสัญญาณมาจาก Max RS 485 จากนั้นจะทำการสำรองข้อมูลไว้ที่ Micro SD Card โดยระบุเวลาด้วยอุปกรณ์ RTC(Real Time Clock) ก่อนที่จะทำการส่งต่อข้อมูลเข้าฐานข้อมูล เพื่อแสดงผลแบบตามเวลาจริง ตามภาพที่ 7



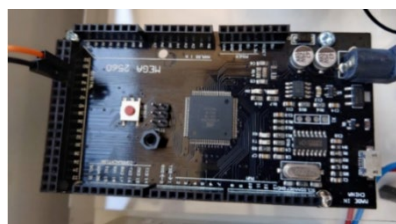
ภาพที่ 7 การออกแบบชุดหลักตรวจสอบระบบไฟฟ้า

ชุดตัวย่อยจะเลือกใช้ Arduino Nano เป็นตัวประมวลผลหลัก เนื่องจากมีการใช้งานเพียงส่งข้อมูลออกไปที่ตัวหลัก โดยการรับข้อมูลจากเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า แปลงข้อมูลผ่าน RS485 แล้วทำการส่งข้อมูลผ่านระบบ LoRa ไปที่อุปกรณ์ตัวหลัก ตามภาพที่ 8



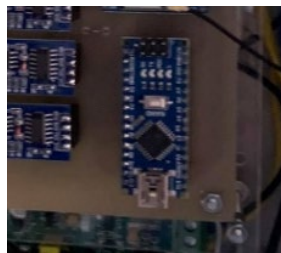
ภาพที่ 8 การออกแบบชุดย่อยตรวจสอบระบบไฟฟ้า

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในโครงงานจะมี บอร์ด Arduino Mega 2560 R3 เป็นบอร์ด Arduino ที่ออกแบบมาสำหรับงานที่ต้องใช้ I/O มากงานที่ต้องการรับสัญญาณจาก Sensor หรือควบคุมมอเตอร์ Servo หลายๆ ตัว ทั้งนี้ บอร์ด Mega 2560 R3 ยังมีความหน่วยความจำแบบ Flash มาก ทำให้สามารถเขียนโค้ดโปรแกรมเข้าไปได้มากกว่า มีจำนวน Analog Input port 16 ช่อง Digital Input 54 ช่อง PWM 4 ช่อง Flash memory 256 kB ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้คือ ATmega2560 Clock 16 MHz ระดับแรงดันทำงาน ของPort 5 V ตามภาพที่ 9



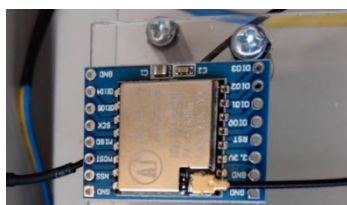
ภาพที่ 9 บอร์ด Arduino Mega 2560 R3

Arduino Nano 3.0 เป็น Arduino ที่ใช้หน่วยประมวลผล ATmega328 เช่นเดียวกับ Arduino Uno ความสามารถจึงเท่ากัน แตกต่างที่ Arduino Nano 3.0 ถูกออกแบบให้มีขนาดเล็ก โดยตัดส่วนของ Socket ที่ไม่จำเป็นออก และยังคงความสามารถในการติดต่อผ่าน USB port เหมือนบอร์ด Arduino Uno ตามภาพที่ 10



ภาพที่ 10 บอร์ด Arduino Nano 3.0

SX1278 LoRa Module เป็น โมดูล LoRa Wan ความถี่ 433MHz ใช้ชิป SX1278 ส่งข้อมูลได้ระยะทางไกล (ประมาณ 10km-15km) สามารถตั้งการทำงานเป็นตัวส่งข้อมูลหรือจะทำงานเป็น Gateway คอยรับข้อมูลเพื่อส่งเข้า Internet ได้มี library สำหรับต่อ Arduino NodeMCU และ Raspberry Pi สื่อสารด้วย SPI ตามภาพที่ 11



ภาพที่ 11 บอร์ด SX1278 LoRa Module

AIS NB-IoT Shield เป็นตัวส่งข้อมูลเข้าฐานข้อมูล ที่ใช้มาตรฐานระบบโครงข่ายที่ใช้พลังงานต่ำ (Low Power Wide Area Network) ที่ถูกพัฒนามาเพื่อให้อุปกรณ์ต่างๆ สามารถเชื่อมต่อเข้าหากันได้โดยผ่าน โครงข่ายของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำให้อุปกรณ์ต่างๆ เชื่อมต่อเข้าหากันได้โดยใช้พลังงานที่ต่ำ และข้อมูลที่ส่งหากันมีปริมาณข้อมูลไม่มาก ในจุดที่ไกลกันโดยไม่ต้องเชื่อมต่อผ่านสาย ตามภาพที่ 12



ภาพที่ 12 AIS NB-IoT Shield

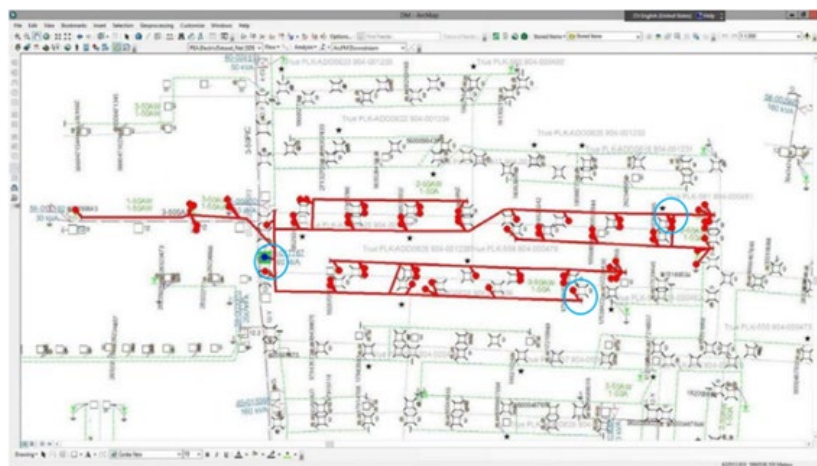
LEOS AC 3 Phase เป็นอุปกรณ์วัดค่าแรงดันไฟฟ้า(V), กระแสไฟฟ้า(A), พลังงานไฟฟ้า(kWh) สำหรับระบบไฟ 3 เฟส สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ระหว่าง 30-400 VAC กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 5A ตามภาพที่ 13



ภาพที่ 13 LEOS AC 3 Phase

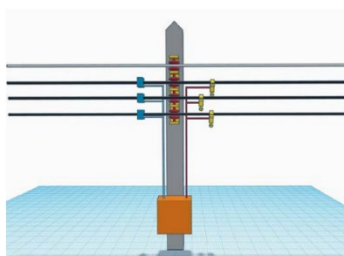
4. การติดตั้งอุปกรณ์

รายละเอียดของพื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์ หมู่บ้านชินลาก ตำบลบ้านคลอง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ที่ต้นหม้อแปลงขนาด 160 KVA โดยมีมิเตอร์แรงดันขนาด 5(15)A จำนวน 67 ลูก ดังแผนผังในระบบ GIS ของ กฟภ. จ.พิษณุโลก เขต.2 (ภาคเหนือ) ตามภาพที่ 14



ภาพที่ 14 การติดตั้งตามแผนผังในระบบ GIS

ตำแหน่งการติดตั้งจะติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในหม้อแปลงเฉพาะไลน์ โดยจะนำสายสำหรับเครื่องวัดทางไฟฟ้าเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายแรงต่ำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตามภาพที่ 16 และภาพติดตั้งที่หน้างาน ตามภาพที่ 17



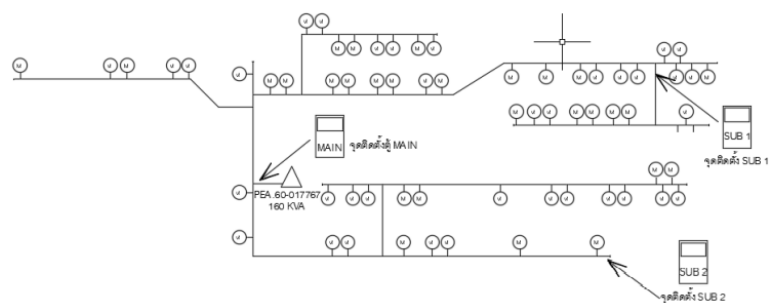
ภาพที่ 16 ตำแหน่งการติดตั้งกับระบบจำหน่ายแรงต่ำของ กฟภ.



ภาพที่ 17 การติดตั้งกับระบบจำหน่ายแรงต่ำของ กฟภ.

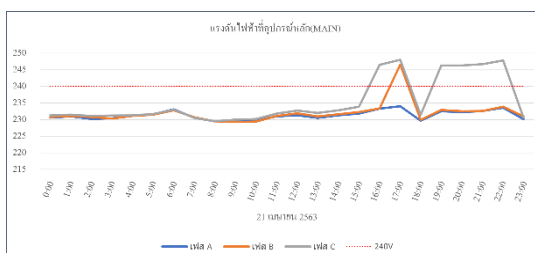
5. ผลการทดสอบ

ข้อมูลตามบทความนี้ ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบความผิดปกติในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ย่อย ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์หลักจะติดตั้งที่ต้นหม้อแปลง ขนาด 160 kVA PEA 60-017767 ที่บริเวณหมู่บ้านชินลาภ ตำบลบ้านคลอง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก อุปกรณ์ย่อยที่ 1 (Sub 1) ติดตั้งอยู่บริเวณกลางไลน์ซึ่งมีโหลดจำนวนมาก ในส่วนของอุปกรณ์ย่อยที่ 2 (Sub 2) ติดตั้งไว้บริเวณปลายไลน์เพื่อตรวจสอบแรงดันที่ปลายไลน์

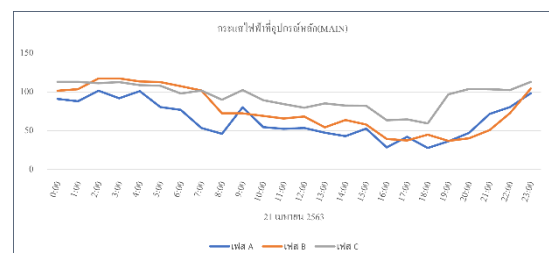


ภาพที่ 18 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์

ทำการทดสอบในวันที่ 21 เมษายน-26 เมษายน 2563 พบว่าในระดับแรงดันไฟฟ้า ตามมาตรฐานการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ กรณีจ่ายไฟปกติและกรณีจ่ายไฟฉุกเฉินจะมีช่วงระดับแรงดันต่ำสุด 200 V ถึงสูงสุด 240 V ถ้าค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำหรือสูงไปกว่านี้จะถือเป็นการผิดปกติในระบบไฟฟ้า ผลการทดลองเก็บค่าแรงดัน และ กระแส จะแสดงผลเป็นรายวัน ตัวอย่างข้อมูลของวันที่ 21 เมษายน 2563 เป็นค่าที่ได้จากการวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ที่อุปกรณ์หลัก ตามภาพที่ 19 และ 20

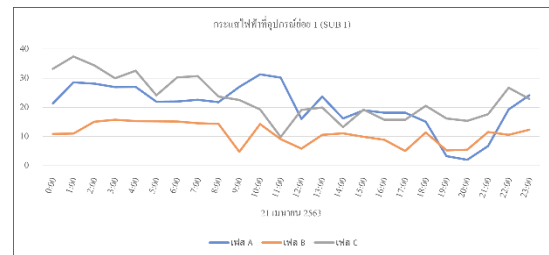
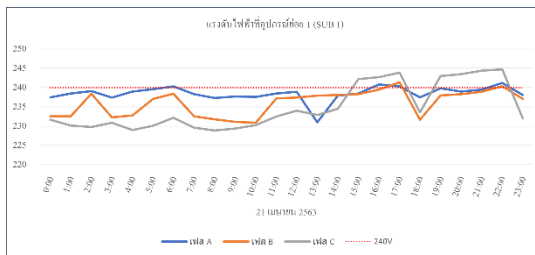


ภาพที่ 19 แรงดันไฟฟ้าที่จุดติดตั้งอุปกรณ์หลัก



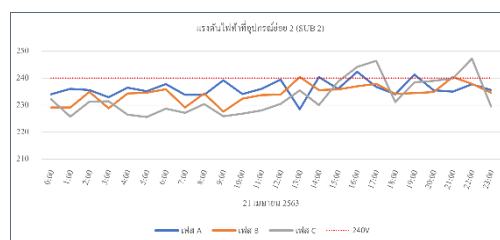
ภาพที่ 20 กระแสไฟฟ้าที่จุดติดตั้งอุปกรณ์หลัก

ค่าที่ได้จากการวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ที่อุปกรณ์ย่อย 1 ตามภาพที่ 21 และ 22 ส่วนที่อุปกรณ์ย่อย 2 จะมีการวัดเพียงแค่แรงดันไฟฟ้า 3 เฟส เนื่องจากเป็นปลายไลน์ ตามภาพที่ 23



ภาพที่ 21 แรงดันไฟฟ้าที่จุดติดตั้งอุปกรณ์ย่อย 1

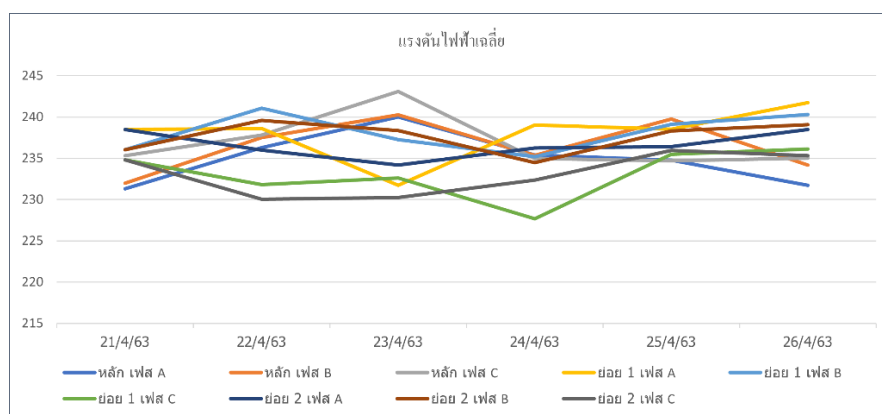
ภาพที่ 22 กระแสไฟฟ้าที่จุดติดตั้งอุปกรณ์ย่อย 1



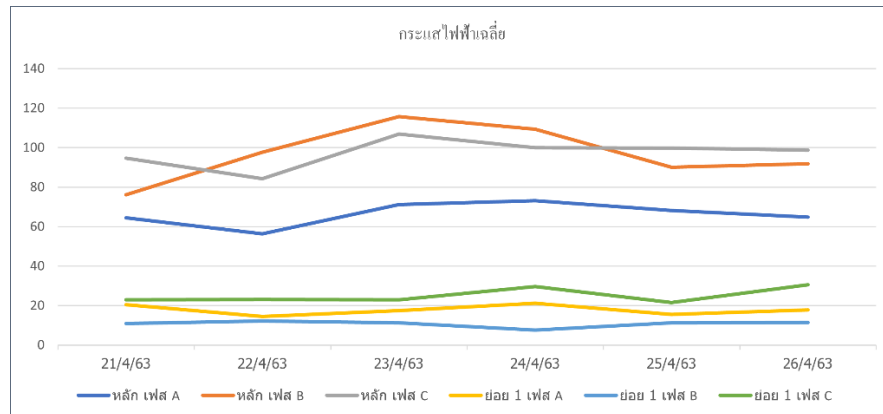
ภาพที่ 22 แรงดันไฟฟ้าที่จุดติดตั้งอุปกรณ์ย่อย 2

ที่จุดติดตั้งอุปกรณ์หลักในตำแหน่งต้นหม้อแปลง จากภาพที่ 19 จะมีช่วงเวลาที่มิแรงดันเกินกว่า 240V อยู่ 2 ช่วงเวลา คือ 15:30น.-17:30น. และ 18:30น.-22:30น. จุดติดตั้งอุปกรณ์ย่อย 1 มีอยู่ 2 ช่วงเวลา คือ 15:00น.-17:30น. และ 19:00น.-22:30น. จุดติดตั้งอุปกรณ์ย่อย 2 มีอยู่ 2 ช่วงเวลา คือ 15:30น.-17:30น. และ 21:00น.-22:30น.

จากข้อมูลตั้งแต่วันที่ 21 เมษายน – 26 เมษายน 2563 นำมาแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละจุดติดตั้งอุปกรณ์ ทั้ง 3 เฟส แสดงค่าแรงดันเฉลี่ยได้ตามภาพที่ 23 และแสดงค่ากระแสเฉลี่ยได้ตามภาพที่ 24



ภาพที่ 22 แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย



ภาพที่ 22 กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย

6. สรุปและอภิปรายผล

จากค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 จุดในไลน์ ซึ่งในระบบจำหน่ายแรงดันนี้พบว่าแรงดันไฟฟ้าที่ จุดที่ 2 ติดตั้งที่กลางไลน์ และจุดที่ 3 ติดตั้งที่ปลายไลน์ มีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่สูงกว่าในจุดที่ 1 ติดตั้งที่ต้นทาง ซึ่งอาจเกิดจากในระบบจำหน่ายแรงดันนี้มี โหลดชนิดคาปาซิเตอร์ร่วมอยู่กับโหลดจากบ้านเรือน ทำให้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าต้นทาง จากค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยทั้ง 3 จุดควรมีค่าอยู่ที่ 236.09V เนื่องจากการทำงานของคาปาซิเตอร์ คือ เก็บประจุ กับคายประจุ มักจะต่อขนานกับโหลด ซึ่งการคายประจุของคาปาซิเตอร์ในระบบไฟฟ้านั้น จะทำให้กระแสไฟฟ้าลดลง และทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นนั่นเอง แต่มีข้อคำนึงคือหากมีคาปาซิเตอร์ต่อร่วมที่จุดใด จะทำให้จุดนั้นมีค่า แรงดันที่สูงขึ้นกว่าเดิม แรงดันไฟฟ้าที่สูงหรือต่ำเกินไปจะส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายอย่างมาก มีผลทำให้ กระแสไฟฟ้ารั่วไหลในสายเส้นศูนย์ (neutral) เนื่องจากแรงดันที่ต่ำมากจะทำให้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ซึ่งทำให้ แรงดันตกและมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายเส้นศูนย์ ประสิทธิภาพของระบบจะลดลง กรณีที่แรงดันไฟฟ้าสูงเกิน และสายเส้นศูนย์ขาด จะทำให้โหลดในวงจรต่ออนุกรมกัน และคร่อมอยู่กับแรงดันขนาด 400 V แรงดัน ตกคร่อม โหลดบางตัวอาจสูงกว่าปกติ อาจทำให้อุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้าชำรุดเสียหายได้

จุดที่ 3 ซึ่งติดตั้งที่ปลายไลน์ พบว่าไม่ มีค่ากระแสไฟฟ้า เนื่องจากในจุดปลายไลน์ไม่มีโหลดการใช้ไฟฟ้าจึงไม่มีค่ากระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น สามารถตรวจสอบได้เพียงค่าแรงดันไฟฟ้า เมื่อตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้าใช้งานจากชุดอุปกรณ์หลัก พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแรงดันนี้มีการเกิดไม่สมดุลของโหลดที่ติดตั้งมาจากการติดตั้งมิเตอร์ให้ผู้ใช้ไฟฟ้าในเฟสใดเฟสหนึ่งมากเกินไป กระแสไฟฟ้าเฟส A เฉลี่ยอยู่ที่ 66.36A เฟส B อยู่ที่ 96.81A เฟส C อยู่ที่ 97.39A ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระบบไฟฟ้าควร จะจ่ายให้โหลดอยู่ที่ 86.85A เพราะฉะนั้นควรทำสมดุลโหลด(Balance Load) เฟส A ด้วยการย้ายโหลดมิเตอร์เฉลี่ยจากเฟส B และ C โดยการเพิ่ม เฟส A แล้วลดค่ากระแสของเฟส B และเฟส C ลงมา เพื่อให้เกิดการสมดุล ทำให้สามารถใส่ฟิวส์แรงต่ำของหม้อแปลงที่เป็นขนาดเดียวกันของทั้งสามเฟสง่ายต่อการบำรุงรักษา และการสมดุลโหลดยังช่วยลดโอกาสที่จะเกิดไฟตกในเฟสใดเฟสหนึ่ง ถ้าหากเฟสนั้นๆมีค่ากระแสไฟฟ้าใช้งานเดิมที่สูงอยู่แล้วอาจจะเกิดการใช้งานที่สูงเกินพิกัดที่จะจ่ายไฟฟ้าในระบบของแต่ละเฟส จึงอาจเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าตกชั่วขณะได้ ดังนั้นการสมดุลโหลดจึงช่วยแก้ไขปัญหานี้ในส่วนนี้ก่อนที่จะเกิดเหตุการณ์ได้

7. เอกสารอ้างอิง

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2543). *มาตรฐานด้านหม้อแปลงไฟฟ้า และมาตรฐานด้านระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำ*.
ธีรชัย หล้าเนียม. (2559). *การออกแบบและประยุกต์สวนอัจฉริยะบนระบบไอโอที*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

**การออกแบบแผงทำอากาศร้อนสำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
โดยใช้กระป๋องเครื่องดื่มเหลือทิ้ง**

**A DESIGN OF A SOLAR AIR HEATER WITH USING WASTE BEVERAGE
CAN FOR A SOLAR DRYER**

เผชิญ จันทรสา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: pachern.ja@spu.ac.th

พัลลภ ศรีณยโชติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: phanlop.sar@spumail.net

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้กระป๋องเครื่องดื่มเหลือทิ้งเป็นวัสดุหลักของแผงทำอากาศร้อน เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นประกอบด้วยแผงทำอากาศร้อนที่มีพื้นที่รับแสงอาทิตย์ขนาด 1.97 ตารางเมตร ตู้อบแห้งขนาดกว้าง 0.60 เมตร ลึก 0.50 เมตร สูง 1.21 เมตร มีท่อนำอากาศร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ไปเข้าตู้อบแห้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.061 เมตร โดยใช้พัดลมขนาด 60 วัตต์ ในการขับเคลื่อนลมร้อน การทดลองใช้กล้วยน้ำว้าเป็นวัตถุดิบในการอบแห้ง โดยจะมีการวัดความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทางออกแผงทำอากาศร้อน อุณหภูมิผิวของแผงทำอากาศร้อน อุณหภูมิผิวกระจกปิดคลุมแผงทำอากาศร้อน อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าตู้อบแห้ง อุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง และอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทางออกตู้อบแห้ง ถาดวางวัตถุดิบแห้ง ได้ถูกติดตั้งตารางเพื่อการตรวจวัดและบันทึกค่ามวลของวัตถุดิบอบแห้งตลอดระยะเวลาของการอบแห้ง จากผลการทดลองพบว่าแผงทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้กระป๋องเครื่องดื่มเหลือทิ้ง สามารถทำอากาศร้อนได้อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยที่ 54.1 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย 629 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีประสิทธิภาพของแผงทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 24.6 เปอร์เซ็นต์ โดยมีประสิทธิภาพของระบบเฉลี่ยเท่ากับ 16.4 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, แผงทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์, กระป๋องเครื่องดื่มเหลือทิ้ง

ABSTRACT

This paper presents a design and construction of a solar dryer system with using waste beverage can to fabricate a solar collector. The constructed solar dryer system consists of a solar collector with an area of 1.97 m², the cabinet with the width, dept and height of 0.6 m, 0.5 m and 1.21 m respectively. An air duct with a diameter of 0.061 m is using to delivery hot air to the cabinet which is driven by a 60 W of a driving fan. A ripe

banana was used as a drying material for the experiment. A solar intensity, a temperature and humidity of the ambient, a temperature and humidity of the outlet air from the collector, a collector surface temperature, a glass cover temperature, a temperature and humidity of the inlet air to cabinet, a temperature inside the cabinet and a temperature and humidity of the outlet air from the cabinet were measured and recorded throughout the experiment test. The banana packing layers inside the cabinet were fixed with a mass scale to measure the mass of drying bananas throughout the test periods. The experiment found that the solar dryer with using waste beverage can as solar collector can produce the average maximum temperature of the hot air at about 54.1 °C with an average solar intensity of 629 W/m². The average solar collector efficiency is 24.6% and the average system efficiency can be about 16.4 %

Keywords: Solar Dryer, Solar Air Heater, Waste Beverage Can

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

เนื่องจากประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหลากหลายประเภท และเกษตรกรส่วนใหญ่มักประสบปัญหาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรตกต่ำ ในช่วงที่มีการเก็บเกี่ยวพร้อมกัน ทำให้ผลผลิตทางการเกษตรเกิดการล้มตลาดในช่วงเวลาเดียวกัน จนเกินความต้องการของตลาดและทำให้ราคาขายตกต่ำ ประกอบกับสินค้าทางการเกษตรบางชนิดเน่าเสียได้ง่าย และไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน การนำผลผลิตทางการเกษตรมาแปรรูป เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยการล้มตลาดของผลผลิตทางการเกษตร และการถนอมอาหารหรือยืดการเก็บผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้อยู่ได้นาน คือการแปรรูปด้วยการอบแห้ง ผลผลิตทางการเกษตรที่นำมาอบแห้งต้องมีความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง เพื่อสามารถยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นาน นอกจากนี้การอบแห้งยังมีการนำมาใช้ในการอบแห้งเส้นยาสูบ (เผชญ จันทรสา และคณะ, 2550) การตากแห้งโดยทั่วไปใช้การตากแดด ซึ่งทำให้เกิดปัญหาแห้งช้า ปนเปื้อนฝุ่น หรือแมลงวันตอม ทำให้อาหารสกปรกและปนเปื้อน ซึ่งเป็นปัญหาในปัจจุบัน หรือบางครั้งการอบแห้งที่ใช้แหล่งความร้อนในการอบแห้ง เช่น ความร้อนจากฮีตเตอร์ ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า หรือความร้อนทิ้งจากกระบวนการต่างๆ ซึ่งต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลัก ส่งผลต่อต้นทุนในการผลิต ไม่คุ้มทุนที่จะผลิตด้วยกระบวนการอบแห้งแบบใช้พลังงานไฟฟ้า งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดเลือกใช้วัสดุหาง่ายและราคาถูก แต่ยังคงต้องมีค่าการนำความร้อนที่สูง จึงเลือกใช้กระป๋องเครื่องดื่มเหลือทิ้งที่เป็นวัสดุอลูมิเนียมผสมในการออกแบบและสร้างแพ่งทำอากาศร้อน เพื่อทดลองอบแห้งกับกล้วยน้ำว้า ผ่านการแปรรูปเป็นกล้วยตาก

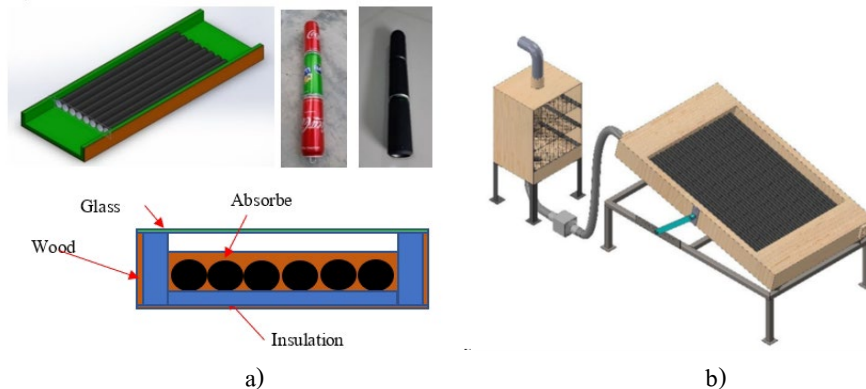
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อกำหนดหาประสิทธิภาพของแพ่งทำอากาศร้อนทำจากกระป๋องเครื่องดื่มเหลือทิ้ง
- (2) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอัตราการลดความชื้นของกล้วยด้วยการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แพ่งทำอากาศร้อนแบบกระป๋องเครื่องดื่มเหลือทิ้งกับวิธีการตากแดดแบบทั่วไป
- (3) เพื่อลดต้นทุนการสร้างแพ่งทำอากาศร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้วัสดุกระป๋องเครื่องดื่มเหลือทิ้ง

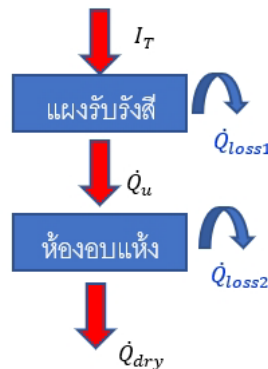
3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 อัตราการถ่ายเทพลังงานความร้อนของการอบแห้ง

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์ทำจากกระป๋องเครื่องดื่มเหลือทิ้งมาเรียงเป็นท่อแล้วพันด้วยลวดที่มีคุณสมบัติดูดกลืนแสงได้สูงแต่แผ่รังสีน้อย โดยการออกแบบแผงทำอากาศร้อนจะให้อากาศไหลเรียงผ่านกระป๋องแบบอนุกรมเพื่อให้อากาศแลกเปลี่ยนความร้อนกับกระป๋องได้มากที่สุด โดยมีส่วนประกอบดังรูปที่ 1 และสามารถวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนของระบบได้ดังแผนภาพในรูปที่ 2



รูปที่ 1 a) ส่วนประกอบของแผงทำอากาศร้อน b) รูปแบบชุดทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงการถ่ายเทพลังงานความร้อน

โดยที่ค่าอัตราความร้อนของอากาศร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ในการอบแห้ง อัตราความร้อนที่อากาศร้อนได้รับขณะไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_a C_p (T_o - T_a) \quad (1)$$

โดยที่ $\dot{m}_a$ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\dot{m}_a = \rho_a v A \quad (2)$$

เมื่อ ρ_a คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3), v คือ ค่าอัตราเร็วการไหลของอากาศ (m/s) และ A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อทางไหลของอากาศ (m^2)

จากงานวิจัย (Clement A. Komolafe และคณะ, 2021) ค่าความจุความร้อนของอากาศ หาได้จากสมการ

$$C_p = 1.0029 + 5.4 \times 10^{-5} T_0 \quad (3)$$

โดย T_0 คืออุณหภูมิอากาศทางออกแผงรับแสงอาทิตย์ ($^{\circ}\text{C}$) และ T_a คืออุณหภูมิอากาศเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ ($^{\circ}\text{C}$)

จากนั้น เมื่ออากาศได้รับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์แล้ว จะทำให้อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นและมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง ทำให้อากาศร้อนที่ไหลออกจากแผงรับแสงอาทิตย์และเข้าสู่ตู้อบแห้งมีความสามารถดูดซับความชื้นจากวัตถุดิบในตู้อบแห้งได้มากขึ้น ซึ่งอัตราพลังงานความร้อนของการอบแห้งจากการดูดซับความชื้นจากวัตถุดิบ ($\dot{Q}_{dry}$) สามารถหาได้จากความร้อนแฝงของน้ำในวัตถุดิบอบแห้งที่หายไปในช่วงเวลาของการอบแห้ง ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{Q}_{dry} = \frac{m_w h_{fg}}{\Delta t} \quad (4)$$

เมื่อ m_w คือ มวลของน้ำในวัตถุดิบอบแห้งที่หายไปจากการอบแห้ง (kg) และ h_{fg} คือค่าความร้อนแฝงของน้ำ ณ อุณหภูมิเฉลี่ยของการอบแห้ง (J/kg) และ Δt คือช่วงเวลาในการอบแห้ง (s)

จากงานวิจัย (Jasinta Poonam Ekka และคณะ, 2021) ได้แสดงสมการหาค่าความร้อนแฝงของน้ำระหว่าง การอบแห้ง โดยอุณหภูมิของอากาศที่ทางออกจากห้องอบแห้งต้องอยู่ในช่วง $273.16 \leq T_{wb}(\text{K}) \leq 533.16$ คือ

$$h_{fg} = 2501.8 - 0.002378(T_{wb} - 273.16) \quad (5)$$

เมื่อ T_{wb} คืออุณหภูมิกระเปาะเปียกทางออกตู้อบ (K)

3.2 ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์และอัตราการอบแห้ง

3.2.1 ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ทำอากาศร้อน เป็นอัตราส่วนของอัตราความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์จากแผงทำอากาศร้อนต่ออัตราพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงทำอากาศร้อนในช่วงเวลาเดียวกัน คำนวณได้จาก

$$\eta_c = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{Q}_{solar}} = \frac{m_a C_p (T_0 - T_a)}{I_T A_c} \quad (6)$$

เมื่อ $\dot{Q}_{solar}$ คือ อัตราพลังงานจากแสงอาทิตย์ (W), I_T คือ ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ (W/m^2) และ A_c คือพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ (m^2)

3.2.2 ประสิทธิภาพของระบบ

ประสิทธิภาพของระบบ เป็นอัตราส่วนของอัตราพลังงานความร้อนของการอบแห้งต่อปริมาณรังสีที่ตกกระทบบนแผงทำอากาศร้อนในช่วงเวลาเดียวกัน คำนวณได้จาก

$$\eta_{sys} = \frac{\dot{Q}_{dry}}{\dot{Q}_{solar}} = \frac{m_w h_{fg} / \Delta t}{I_T A_c} \quad (9)$$

3.3 อัตราการอบแห้ง

ระหว่างกระบวนการอบแห้ง มวลของวัตถุดิบอบแห้งจะลดลง ซึ่งอัตราการอบแห้งสามารถคำนวณได้จากสมการ (S. Nabnean and P. Nimuan, 2020)

$$DR = \frac{m_{wt} - m_{wt+\Delta t}}{\Delta t} \quad (10)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (g/s), $m_{wt+\Delta t}$ คือมวลวัตถุดิบอบแห้งที่เวลา $t + \Delta t$ (g) และ m_{wt} คือมวลของวัตถุดิบอบแห้งที่เวลา t (g)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

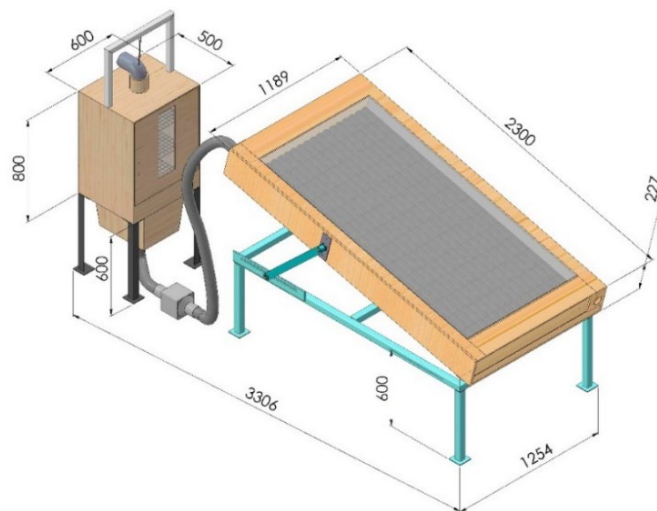
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยในการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อใช้อบแห้งกล้วยน้ำว้าและแปรรูปเป็นกล้วยตาก ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1 กำหนดขนาดแผงและขนาดพัดลมที่ใช้ในการอบแห้ง

ทำการกำหนดขนาดแผงของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้กระป๋องเครื่องดื่มเหลือทิ้งเพื่อที่จะทราบจำนวนกระป๋องที่ใช้ในการสร้างแผงทำอากาศร้อน

4.2 ออกแบบและเขียนแบบขนาดของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและกำหนดขนาดของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 3 แผงทำอากาศร้อนออกแบบโดยเลือกใช้วัสดุที่นิยมใช้กันคือ วัสดุประเภททองแดงและอลูมิเนียม (S. Sanjay and A.M. Fulambarkar, 2021)



รูปที่ 3 แบบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

4.3 สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องมือวัดสำหรับการทดลองเก็บข้อมูล

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลการทดลองในการอบแห้งกล้วยน้ำว้า ได้แก่ เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger), เครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์, เครื่องวัดความเร็วของอากาศร้อนที่ใช้อบแห้ง, เซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ และตาชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

4.4 ทดลองและเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิและความเข้มรังสีอาทิตย์ ด้วยเครื่อง Data Logger ทุกๆ 1 นาที และการบันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของกล้วยน้ำว้าจะบันทึกข้อมูลทุก 30 นาที การรวมรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะทำการบันทึกจนน้ำหนักสุดท้ายของกล้วยน้ำว้าเริ่มคงที่

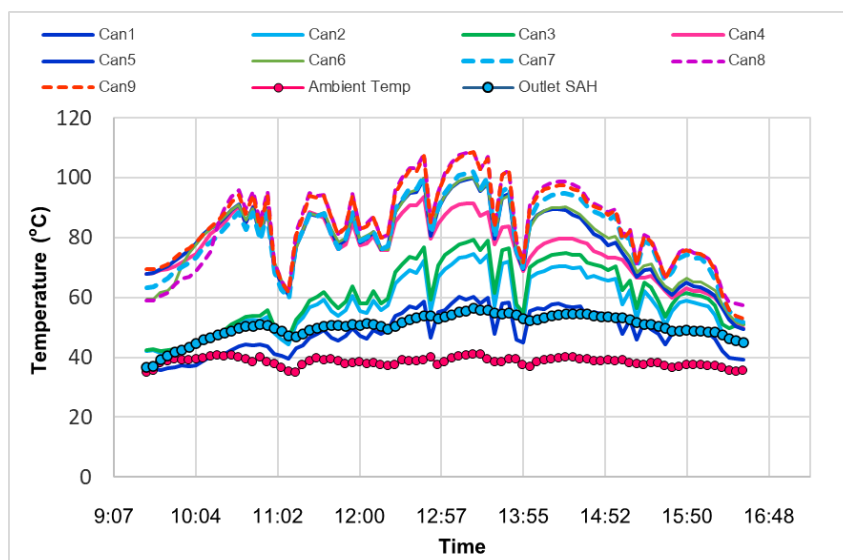
4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้ทำการคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนในระบบของเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้น พร้อมทั้งคำนวณวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์และประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้น นอกจากนี้ได้มีการคำนวณเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นและการตากแห้งด้วยวิธีตากแดดแบบทั่วไป และแสดงข้อมูลสถานะต่างๆ ของการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิภายในแผงทำอากาศร้อน อุณหภูมิและความชื้นทางเข้าและทางออกแผง อุณหภูมิผิวกระจก อุณหภูมิและความชื้นทางเข้าและทางออกตู้อบแห้ง และความเข้มรังสีอาทิตย์

5. ผลการวิจัย

5.1 อุณหภูมิของแผงทำอากาศร้อน

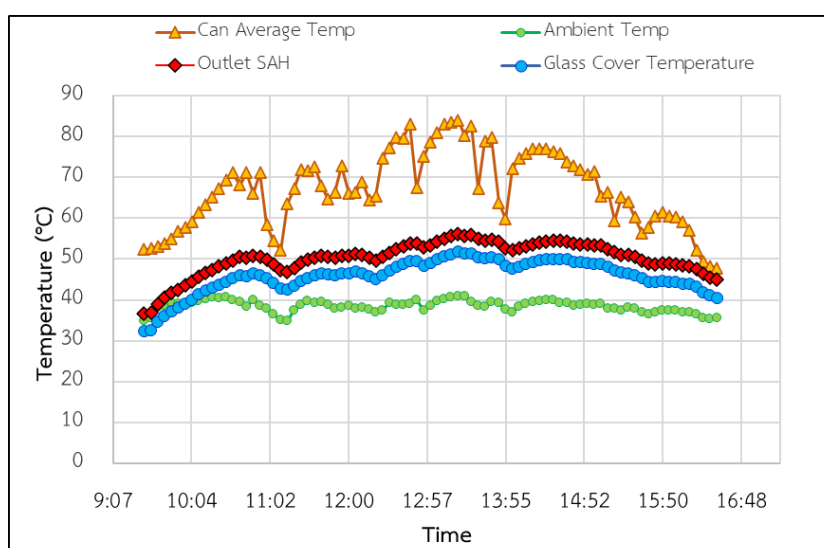
ค่าอุณหภูมิผิวกระจกป้องกันอุณหภูมิเนื้อมของแผงทำอากาศร้อนจากเครื่องต้มเหลือทิ้ง พบว่าเมื่อแผงทำอากาศร้อนเริ่มทำงานได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิที่ผิวกระจกเริ่มสูงขึ้น และสูงที่สุดทางออกของแผง ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 108.6°C และ 52.8°C ตามลำดับ อุณหภูมิผิวของแผงที่กระจกป้องกันอุณหภูมิเนื้อมเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 84.8°C โดยอุณหภูมิที่ผิวของแผงทำอากาศร้อนจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 5 อุณหภูมิผิวกระป๋อง และอุณหภูมิอากาศร้อน

5.2 อุณหภูมิทางเข้าและทางออกตู้อบแห้ง

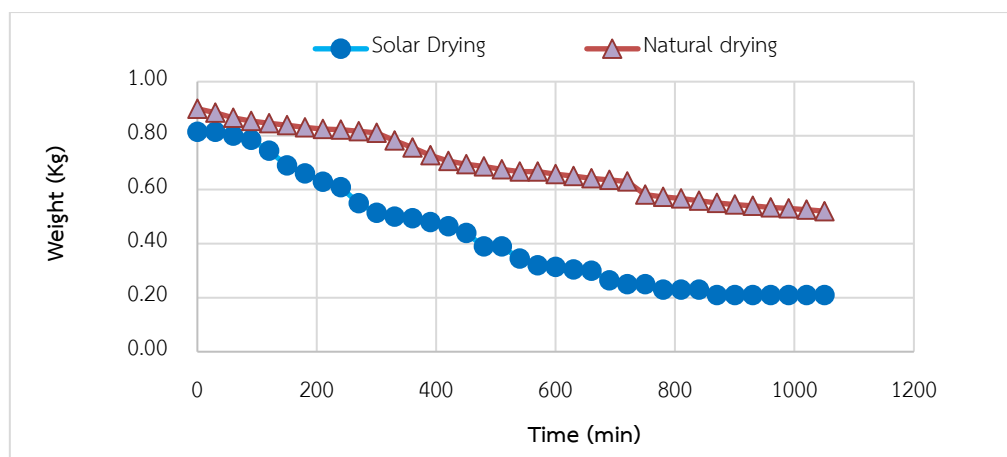
จากรูปที่ 6 ระหว่างการทดลองมีเมฆบดบัง ท้องฟ้าไม่โปร่งใส ประกอบกับมีความเข้มแสงที่น้อย ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 677 W/m^2 และความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 629 W/m^2 อุณหภูมิทางออกแผงทำอากาศร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.1°C สำหรับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 38.5°C ช่วงที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์สูง อุณหภูมิอากาศร้อนทางออกของแผงเพิ่มขึ้นและลดลงตามค่ารังสีอาทิตย์ จากการทดลองในเวลา 16:30 น. ค่ารังสีอาทิตย์มีเพียงพอในการอบแห้ง เนื่องจากมีความเข้มลดลงเหลือเท่ากับ 561 W/m^2 อุณหภูมิแผงทำอากาศร้อนที่ออกจากแผงมีค่าเท่ากับ 45°C



รูปที่ 6 อุณหภูมิอากาศร้อนออกจากแผง เข้า-ออกตู้อบแห้ง และความเข้มรังสีอาทิตย์

5.3 การเปลี่ยนแปลงมวลวัตถุดิบอบแห้ง

จากรูปที่ 7 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าน้ำหนักของกล้วยลดลงจาก 0.814 kg เหลือ 0.25 kg โดยมีน้ำหนักที่ลดลง 0.565 kg ขณะการอบแห้งแบบตากแดด น้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 0.90 kg เหลือ 0.63 kg โดยมีน้ำหนักที่ลดลง 0.269 kg พบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาการอบแห้งสามารถลดน้ำหนักของกล้วยได้เร็วกว่าการอบแห้งแบบตากแดด เมื่อใช้เวลาอบแห้งเท่ากันคือ 1,050 นาที



รูปที่ 7 น้ำหนักกล้วยที่เปลี่ยนแปลงระหว่างอบแห้ง

ผลจากการทดลองและการคำนวณได้สรุปดังตารางที่ 1 มีค่าดังนี้

ตารางที่ 1 ตารางสรุปค่าเฉลี่ยผลการทดลอง

รายการผลการทดลอง	หน่วย	ค่าเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	°C	38.5
อุณหภูมิผิวแผงทำอากาศร้อน	°C	67.2
อุณหภูมิทางออกแผงทำอากาศร้อน	°C	54.1
อุณหภูมิผิวกระจก	°C	45.8
อุณหภูมิทางออกตู้	°C	43.5
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศทางเข้าตู้อบแห้ง	%	22.9
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศทางออกตู้อบแห้ง	%	41.9
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม	%	47.9
ความเข้มรังสีอาทิตย์	W/m ²	629
น้ำหนักกล้วยที่ลดลงโดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	kg	0.565
น้ำหนักกล้วยที่ลดลงโดยตากแดดแบบธรรมชาติ	kg	0.269
อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อน	kg/s	0.016
ประสิทธิภาพแผงทำอากาศร้อน	%	24.6
ประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบ	%	16.4

6. อภิปรายผล

จากการทดลองเครื่องอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

6.1 อุณหภูมิผิวกระป๋องอุณหภูมิเนื้อมของแผงทำอากาศร้อนจากเครื่องต้มเหลือทิ้ง พบว่าค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 108.6°C และ 52.8°C ตามลำดับ อุณหภูมิผิวของแผงทำอากาศร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 84.8°C

6.2 ในช่วงแรกของการเริ่มการทดลอง และอุณหภูมิของอากาศร้อนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 56.3°C และ มีค่าเฉลี่ยอากาศร้อนออกจากแผงมีค่าเท่ากับ 54.1°C อุณหภูมิอากาศร้อนขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสงอาทิตย์

6.3 ระหว่างทำการทดลองห้องฟาร์มมีเมฆบดบัง ไม่โปร่งใส ทำให้มีความเข้มแสงที่น้อย ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 677 W/m^2 และความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 629 W/m^2 อุณหภูมิอากาศร้อนออกแผงทำอากาศร้อน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.1°C สำหรับการทดลองอุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 38.5°C

6.4 การอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เกิดการระเหยของน้ำออกจากกล้วยได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบการตากแดด เนื่องจากอากาศร้อนที่ใช้ในการอบมีอุณหภูมิสูงกว่า การสุกของกล้วยมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเช่นกัน เพราะจะส่งผลต่อปริมาณความชื้นของกล้วย

6.5 การทดลองแผงทำอากาศร้อน และนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพแผงทำอากาศร้อน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.6% และค่าประสิทธิภาพของระบบเฉลี่ยเท่ากับ 16.4% ที่ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 629 W/m^2

6.6 งานวิจัยนี้แผงทำอากาศร้อนทำจากวัสดุกระป๋องอุณหภูมิเนื้อมเครื่องต้มเหลือทิ้ง เป็นการลดต้นทุนในการสร้างเนื่องจากมีราคาถูกกว่าซื้อแผ่นอลูมิเนียม หรือแผ่นทองแดงมาทำแผงทำอากาศร้อน

6.7 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหรืออาหารทะเล ได้หลากหลายที่ต้องการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อบแห้ง เช่น พริกแห้ง ใบชา พริกไทย ปลาตากแห้ง และอื่นๆ สามารถนำไปใช้ในครัวเรือน และนำไปประยุกต์ในด้านอุตสาหกรรมด้านการอบแห้งได้

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 การทดลองเป็นการทดลองวันที่ห้องฟาร์มมีเมฆบดบังแสงแดด การอบแห้งกล้วยน้ำว้าสามารถทำให้ลดเวลาอบแห้งได้เร็วกว่านี้ กรณีที่ทดลองวันที่ห้องฟาร์มโปร่ง จะมีความเข้มของรังสีอาทิตย์มากขึ้น

7.2 งานวิจัยนี้เลือกใช้พัดลมใช้พลังงานไฟฟ้า 220 โวลต์ ในการอบแห้ง ถ้าเลือกใช้พัดลมที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ จะช่วยประหยัดค่าไฟในการอบแห้งได้

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ได้ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวัดการทดลอง และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีปทุม สำหรับการสนับสนุนในการนำเสนองานวิจัยครั้งนี้

9. เอกสารอ้างอิง

เพ็ญญ์ จันทร์สา และคณะ. (2550). การศึกษาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย: สมรรถนะเชิงพลังงานและแนวทางการส่งเสริม, *หนังสือประมวลบทความการประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3*, โรงแรมใบหยกสกาย กรุงเทพฯ.

- Clement A. Komolafe et al. (2021). Thermodynamic analysis of forced convective solar drying of cocoa with black coated sensible thermal storage material, *Case studies in Thermal Engineering*, 26.
- Jasinta Poonam Ekka et al. (2021). Performance studies on mixed-mode forced convection solar cabinet dryer under different air mass flow rates for drying of cluster fig, *Solar Energy*.
- S. Nabnean and P. Nimuan. (2020). Experimental performance of direct forced convection household solar dryer for drying banana, *Thermal Engineering*, 22.
- S. Sanjay and A.M. Fulambarkar. (2021). A solar dryer for drying green chili in a force convection for increasing the moisture removing rate, *Material Today Proceeding*, 45, 3170-3176.

การปรับปรุงสายการผลิตชิ้นงานคานประตูหลังซ้าย/ขวา IMPROVING THE PRODUCTION LINE OF BAR RR DOOR WINDOW

นายชนะชัย มูลทองเนียม, นายณัฐชนน เตี้ยมฉายพันธ์,
นายธนวิทย์ อภิบาลทรัพย์ทวี, นางสาวนิสา สังข์เอียด, นายวันชนก แยมขยาย
รศ.ดิลก ศรีประไพ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: chanachai.aun@mail.kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นงาน ซึ่งมีปริมาณการผลิตต่อวันสูงจากการศึกษาโดยใช้ทฤษฎีศึกษาวิธีการทำงานและการศึกษาด้านเวลา พบว่าสถานีงานแต่ละกระบวนการอยู่ใกล้กันมีการขนย้าย เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ และกระบวนการ ประกอบมีรอบเวลาการผลิตสูงกว่ากระบวนการอื่น ส่งผลให้เกิดชิ้นงานค้างในกระบวนการ (WIP) จึงมีแนวคิดที่จะกำจัดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น โดยทำการวิเคราะห์คุณค่าของกิจกรรมในกระบวนการด้วยหลักการวิเคราะห์สายธารคุณค่า (Value Stream Analysis) และทำการวิเคราะห์และปรับปรุงกำจัดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า (Non Value Added: NVA) ด้วยหลักการ 5W1H และหลักการ ECRS รวมถึงการใช้แผนภาพคน-เครื่องจักร วิเคราะห์หาความสูญเปล่าในการรอคอยของคนและเครื่องจักร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของคนและเครื่องจักร โดยหลังจากการปรับปรุงรอบเวลาการของกระบวนการประกอบลดลงจาก 17.34 วินาที เหลือ 9.33 วินาที ประสิทธิภาพของคนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 46.22 เป็นร้อยละ 59.70 และประสิทธิภาพการทำงานของ เครื่องจักรเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 61.19 เป็นร้อยละ 99.95 ทำให้ประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 60.08 เป็นร้อยละ 80.37 และยังสามารถลดต้นทุนด้านแรงงานได้ 0.34 บาท/ชิ้น ลดค่าแรงของพนักงานขนย้ายชิ้นงานระหว่างกระบวนการได้ 158 บาท/วัน

คำสำคัญ: หลักการวิเคราะห์สายธารคุณค่า, ประสิทธิภาพ, กำจัดความสูญเปล่า, กิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า

ABSTRACT

The purpose of this project is to improve production line efficiency of BAR RR DOOR WINDOW DIVISION RH/LH. This is a high daily production volume, which from the study of the work process by work Study and time study. It was found that the work stations of each process were far from each other. There is a transposition during the process. And the Assembly process has a higher cycle time than other processes, this results in the work in process (WIP). Therefore, the idea of eliminating waste in the assembly process, analyzing the value of the process activities using Value Stream Analysis. Analyze and improve the elimination of non-value-added (NVA) with the 5W1H principle and the ECRS principle, use of Man – Machine Chart to analyze

the waste of waiting for people and machines to increase the efficiency of people and machines. After improve, cycle time of Assembly process reduced from 17.34 sec. to 9.33 sec. Human efficiency increased from 46.22% to 59.70% and the efficiency of the machines increased from 61.19% to 99.95%. Increased production line efficiency from 60.08% to 80.37% and can also reduce labor costs 0.34 baht/ piece, reduce labor cost of moving work in process by 158 baht/day.

Keywords: Value Stream Analysis, Efficiency, Eliminating Waste, Non-Value-Added

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เป็นอุตสาหกรรมที่โดดเด่นอย่างมากในภูมิภาคเอเชีย แต่เนื่องจากสถานการณ์โควิด 19 ทำให้บริษัทต้องมีการปรับตัวเพื่อความอยู่รอดในสถานการณ์ที่ไม่สามารถคาดเดาได้เช่นนี้ ทำให้บริษัทต้องลดการค่าใช้จ่าย หาวิธีเพื่อให้อยู่รอดได้โดยคงกำไรไว้ แล้วลดของเสียลง ผู้จัดจึงได้เล็งเห็นว่ากระบวนการผลิตตามประเภหลังซ้าย/ขวา มีการจัดตั้งไลน์การผลิตตามกระบวนการ (Layout By Process) ซึ่งมีการใช้เครื่องจักรร่วมกัน ทำให้การผลิตแต่ละกระบวนการมีระยะห่างกัน ทำให้เกิดความยากในการขนส่งระหว่างกระบวนการ และเป็นการเพิ่มต้นทุน และแต่ละกระบวนการผลิตมีรอบเวลาการผลิตที่ไม่เท่ากันทำให้เกิดการสูญเสียในการจัดเก็บเพิ่มขึ้น (สมปรารถนา สายสงวนทรัพย์, 2560)

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพิ่มเพิ่มประสิทธิภาพของพนักงาน
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร
3. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายผลิต
4. ลดชิ้นงานระหว่างกระบวนการ
5. ลดต้นทุนการผลิต

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การจัดสมดุลสายผลิต

การจัดสมดุลสายการผลิต (Line Balancing) หมายถึงการจัดเวลางานให้กับสถานีงานภายในสายการผลิตที่มีการผลิตแบบต่อเนื่องกันไปตลอดสายการผลิต โดยพยายามทำให้น้ำหนักการทำงานในแต่ละสถานีงานมีความสมดุลกันคือ มีเวลาที่ใช้ในแต่ละสถานีงานใกล้เคียงหรือเท่ากัน หากเวลาในแต่ละสถานีงานไม่เท่ากันอัตราการผลิตจะถูกกำหนดโดยเวลาการทำงานที่ใช้เวลานานที่สุดซึ่งเรียกว่ารอบเวลาการผลิต (Cycle Time) (สมปรารถนา สายสงวนทรัพย์, 2560)

3.2 ความสูญเสียเปล่าทั้ง 7 ประการ

กระบวนการผลิตมักจะพบว่ามีสูญเสียต่างๆ แฝงอยู่ไม่มากนักน้อยซึ่งเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ดังนั้นจึงมีแนวคิดเพื่อพยายามจะลดความสูญเสียเหล่านี้

1. ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตมากเกินไป
2. ความสูญเสียเนื่องจากการเก็บวัสดุ
3. ความสูญเสียเนื่องจาก

การขนส่ง 4. ความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหว 5. ความสูญเสียเนื่องจากการกระบวนการผลิต 6. ความสูญเสียเนื่องจากการรอคอย 7. ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตของเสีย (ยุทธณรงค์ จงจันทร์, 2555)

3.3 การศึกษาการทำงาน (Work Study)

การศึกษาการทำงานเพื่อทำการปรับปรุงการทำงานให้ดีขึ้นและพัฒนามาตรฐานการทำงาน ซึ่งจะมีผลโดยตรงกับการเพิ่มผลผลิตและการปรับปรุงวิธีการทำงาน (ทรรศชนก จินดาอยู่, 2563)

3.4 การปรับปรุงการทำงาน

การปรับปรุงวิธีการทำงานจะกลายเป็นเรื่องง่ายหากใช้หลัก ECRS การใช้กระบวนการ พิจารณา ตรวจตราวิเคราะห์ข้อมูลวิธีการที่บันทึกมาโดยการใช้เทคนิค “5W1H” ซึ่งเก็บจะได้ คำตอบแนวทางการปรับปรุงครบถ้วนแล้วขั้นตอนการปรับปรุงวิธีการทำงานจึงเป็นแค่ทางเลือก ใช้เทคนิคการปรับปรุงงาน (ทรรศชนก จินดาอยู่, 2563)

3.5 แผนภูมิคน-เครื่องจักร

แผนภูมิ คน – เครื่องจักร เป็นแผนภูมิที่แสดงกิจกรรมในสถานที่ที่มีคนทำงานร่วมกับเครื่องจักรเพื่อดูว่าในรอบการทำงานแต่ละรอบนั้นมีการว่างงานเกิดขึ้นกับคนหรือเครื่องจักรอย่างไรบ้างแล้วหาทางกำจัดการว่างงานนั้น (วุฒิพร ศรีไพโรจน์, 2558)

3.6 แผนภูมิการไหลของกระบวนการ

แผนภูมิที่ใช้วิเคราะห์ขั้นตอนการไหล (Flow) ของวัตถุดิบ ชิ้นส่วน พลังงาน และอุปกรณ์ ที่เคลื่อนไปในกระบวนการพร้อมๆ กับกิจกรรมต่างๆ (ทรรศชนก จินดาอยู่, 2563)

3.7 การวางแผนผังผลิตตามแบบผลิตภัณฑ์ (Layout By Product)

การวางแผนผังสถานประกอบการตามแบบผลิตภัณฑ์ เป็นการวางแผนผังโดยการจัดเครื่องจักรและอุปกรณ์แยกออกเป็นชุดตามลำดับขั้นตอนตั้งแต่เริ่มต้นถึงสิ้นสุดกระบวนการจนได้ชิ้นงานสำเร็จออกมาเหมาะสมสำหรับชิ้นงานที่มีรูปแบบมาตรฐาน ผลิตครั้งละมากๆ รูปแบบไม่หลากหลายและมีอัตราการผลิตค่อนข้างคงที่ (สมปรารถนา สายสงวนทรัพย์, 2560)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

จากการสังเกตการณ์และศึกษาขั้นตอนการผลิต ต้องทำการจับเวลาก่อนที่จะจัดสมดุลสายการผลิต โดยจับเวลาทั้ง 4 กระบวนการที่อยู่ในขอบเขตการปรับปรุง ประกอบด้วย การขึ้นปัมขึ้นรูป, การเลื่อย, การประกอบ, การขัดผิว

4.2 การออกแบบและปรับปรุง

ทำการจับเวลาแยกในแต่ละกระบวนการที่สามารถที่ปรับปรุงได้ โดยจับเวลารอบการผลิต (Cycle Time) ในการผลิตของแต่ละสถานี

4.3 เครื่องมือวิจัย

นำข้อมูลที่เก็บได้มาศึกษาผ่านการทำแผนภูมิการไหล (Flow Process Chart) และแผนภาพการไหล (Flow Diagram) เพื่อทำการแยกแยะกิจกรรมของพนักงานอย่างชัดเจน และแยกเป็นการทำงาน, การเคลื่อนที่, การรอคอย, การตรวจสอบ, การจัดเก็บ

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บข้อมูลการไหลของกระบวนการจากแผนภูมิการไหล (Flow Process Chart) หากกิจกรรมทั้งหมดได้ 60 กิจกรรม คือการผลิต 1 ชิ้นงาน ต้องผ่าน 60 ขั้นตอน เป็น การดำเนินการ(Operation) 24 กิจกรรม, การขนส่ง (Transportation) 28 กิจกรรม, การล่าช้า(Delay) 0 กิจกรรม,การตรวจสอบ (Inspection) 4 กิจกรรม และการจัดเก็บ (Storage) 4 กิจกรรม

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการศึกษา มองเห็นปัญหาที่เกิดขึ้น พบว่ารอบการผลิตของแต่ละสถานีงานไม่สมดุลกัน ทำให้เกิดงานระหว่างกระบวนการที่แผนประกอบ และการรอคอยที่แผนกขัดผิวจากปัญหาดังกล่าวทำให้ต้องเพิ่มกำลังผลิตให้สอดคล้องแผนกขัดผิว หากจึงตั้งไลน์ผลิตใหม่จำเป็นต้องปรับเวลาแต่ละสถานีให้ใกล้เคียงมากที่สุด เพื่อที่จะสามารถลดรอบเวลาการผลิตของชิ้นงานลงได้

5. ผลการวิจัย

5.1 การกำจัดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า (NVA) ออกจากกระบวนการ

เมื่อทำการกำจัดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าทั้งหมดออกจากการกระบวนการประกอบชิ้นงานแล้ว พบว่าปริมาณกิจกรรมที่เหลือในกระบวนการประกอบชิ้นงานคือ กิจกรรมที่เพิ่มมูลค่า (VA) เท่ากับ 19.66 วินาที และกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าแต่จำเป็นต้องทำ (NNVA) เท่ากับ 10.62 วินาที ซึ่งทั้งสองกิจกรรมสามารถเทียบเป็นสัดส่วน 64.93 : 35.07 ของปริมาณกิจกรรมในกระบวนการประกอบทั้งหมดตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แผนภาพกิจกรรมกระบวนการ ASSEMBLY หลังการปรับปรุง

แผนภาพกิจกรรมกระบวนการ : ASSEMBLY							
ลำดับ	ขั้นตอนการทำงาน	เวลา (วินาที)	○	➡	□	▽	Remark
1	หยิบชิ้นงาน	0.51		NNVA			
2	ใส่ชิ้นงานเข้ากับ Jig ที่เครื่อง	1.37	NNVA				
3	หยิบBracketตัวที่1	1.02	NNVA				
4	วางBracketตัวที่1ที่ตำแหน่งSpot1	1.04	NNVA				
5	หยิบBracketตัวที่2	1.02	NNVA				
6	วางBracketตัวที่2ที่ตำแหน่งSpot2	1.03	NNVA				
7	หยิบBracketตัวที่3	1.02	NNVA				

ตารางที่ 4.2 แผนภาพกิจกรรมกระบวนการ ASSEMBLY หลังการปรับปรุง (ต่อ)

แผนภาพกิจกรรมกระบวนการ : ASSEMBLY							
ลำดับ	ขั้นตอนการทำงาน	เวลา (วินาที)	○	➡	□	▽	Remark
8	วางBracketตัวที่3ที่ตำแหน่งSpot3	1.02	NNVA				
9	กดปุ่ม Lock ชิ้นงาน	0.51	NNVA				
10	กดปุ่ม Run Robot	0.50	VA				
11	ทำการ Spot	18.65	VA				
12	กดปุ่ม Stop	0.51	VA				
13	หยิบชิ้นงาน ออกจากเครื่อง	1.05		NNVA			
14	วางชิ้นงานลงใน Box	1.03		NNVA			

หมายเหตุ: ตัวเลข VA และ NVA มาจากการจับเวลาการทำงานของกระบวนการประกอบชิ้นงานโดยเฉลี่ย จากนั้นใช้แผนภูมิกระบวนการในการจำแนกว่าขั้นตอนใดเป็น VA หรือ NVA

5.2 การทำงานแบบ 2 จิ๊ก (JIG) ในกระบวนการประกอบ

จากวิธีการทำงานในปัจจุบันของกระบวนการประกอบ พบว่าเกิดการรอคอยของคนและเครื่องจักรซึ่งจัดเป็นความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการคือ คนมีเวลารอคอยอยู่ที่ 18.65 วินาที และเครื่องจักรมีเวลารอคอยอยู่ที่ 13.46 วินาที จึงจำเป็นต้องลดความสูญเสีย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของคนและเครื่องจักรด้วยการเพิ่มจิ๊ก(JIG) อีกจำนวน 1 ชุดให้กับหุ่นยนต์ เป็นการทำงานแบบ 2 จิ๊ก(JIG) ในกระบวนการ หลังจากการปรับปรุงด้วยการทำงานแบบ 2 จิ๊ก(JIG) ให้กับสถานีงานประกอบเมื่อนำเวลารอคอยของคนและเครื่องจักรมาเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบช่วงเวลารอก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของคนและเครื่องจักร

ช่วงเวลา	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
	เวลางานของพนักงาน	เวลางานของเครื่องจักร	เวลางานของพนักงาน	เวลางานของเครื่องจักร
เวลาว่าง	18.65	13.47	7.51	0.01
เวลาทำงาน	16.03	21.21	11.14	18.65
เวลาทำงานทั้งหมด	34.68	34.68	18.66	18.66
เวลาทำงาน %	46.22%	61.19%	59.70%	99.95%

หมายเหตุ: เวลาในตารางได้มาจากการจับเวลาระหว่างทำการประกอบชิ้นงาน

5.3 ผลการดำเนินงานหลังการปรับปรุง

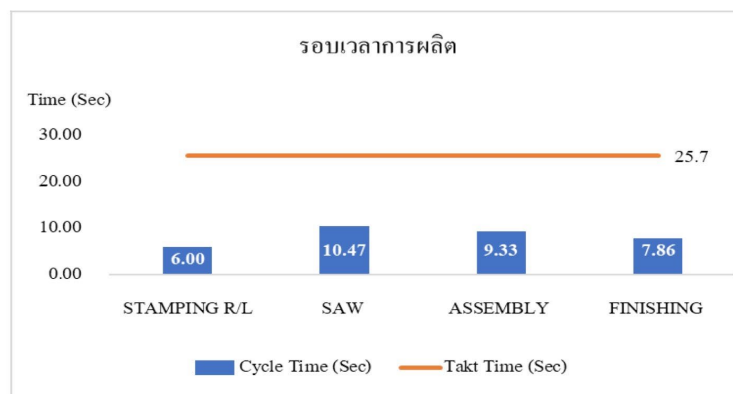
จากการเพิ่มประสิทธิภาพของสถานีงานประกอบ ด้วยการทำงานแบบ 2 จ๊ิก ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของคนเพิ่มขึ้นเป็น 59.70% และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นเป็น 99.95% หลังจากการออกแบบความคิดวิธีการปรับปรุงสายการผลิตชิ้นงาน ทางผู้จัดทำได้ทำการออกแบบจำลองไลน์การผลิตแบบใหม่และเก็บข้อมูลต่าง ๆ โดยอ้างอิงจากเวลาวิธีการผลิตแบบเดิม เพื่อเสนอเป็นแนวทางปรับปรุงสายการผลิตให้แก่สถานประกอบการ

5.3.1 กระบวนการทำงานและรอบเวลาในการผลิตหลังการปรับปรุง

ภายหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นงานส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการผลิตหลังทำการปรับปรุงมีรอบเวลาการผลิตโดยอ้างอิงจากเวลาการผลิตจากแผนภูมิคน-เครื่องจักร (Man-Machine Chart) ดังนี้

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์รอบเวลาการผลิตด้วยแผนภูมิคน-เครื่องจักร (Man-Machine Chart) หลังการปรับปรุง

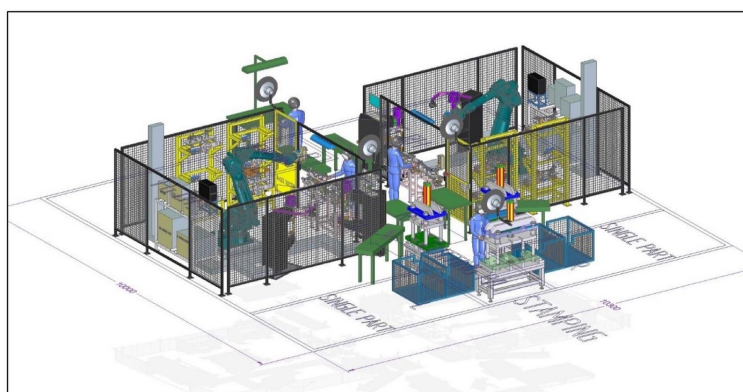
กระบวนการ : ASSEMBLY										
สถานีการทำงานที่ : 4			จำนวนเครื่องจักร/พนักงาน		Summary					
พนักงานคนที่ : 4			1.เครื่องจักร 1 เครื่อง				Before	After	Saving	
การทำงาน : ☐ ก่อนปรับปรุง ☒ หลังปรับปรุง			2.พนักงาน 1 คน		Man	Idle Time	18.65		7.51	11.14
รายการสัญลักษณ์ (Symbol)						% การทำงาน	59.70%			
กิจกรรมอิสระ กิจกรรมร่วม การว่างงาน					Machine	Idle Time	13.46		0	13.46
						% การทำงาน	99.95%			
รอบการทำงาน		พนักงานคนที่			Machine					
		กิจกรรม	Time (sec)		Time (sec)		กิจกรรม			
	1	หยิบชิ้นงานชิ้นที่ 1	0.51		Idle					
	2	ใส่ชิ้นงานชิ้นที่ 1 เข้ากับ Jig1 ที่เครื่อง	1.37		Idle					
	3	หยิบBracketตัวที่1	1.02		Idle					
	4	วางBracketตัวที่1ที่ตำแหน่งSpot1	1.04		Idle					
	5	หยิบBracketตัวที่2	1.02		Idle					
	6	วางBracketตัวที่2ที่ตำแหน่งSpot2	1.03		Idle					
	7	หยิบBracketตัวที่3	1.02		Idle					
	8	วางBracketตัวที่3ที่ตำแหน่งSpot3	1.02		Idle					
	9	กดปุ่ม Lock ชิ้นงาน	0.51		Idle					
	10	กดปุ่ม Run Robot	0.50			0.50	ถูกกดปุ่ม run robot			



รูปที่ 4.1 รอบเวลาการผลิตของแต่ละสถานีงานหลังการปรับปรุง

ประสิทธิภาพสายการผลิตหลังการปรับปรุงเท่ากับ 80.37% ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิม 20.29% ซึ่งถือว่าเป็นการกำจัดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการได้ตรงตามเป้าหมายที่วางไว้

5.3.2 การตั้งไลน์การผลิตแบบตามผลิตภัณฑ์



รูปที่ 4.2 ออกแบบการจัดตั้งไลน์การผลิตแบบใหม่

ปัจจุบันชิ้นงานคานประตูลงท้าย/ขวา เป็นชิ้นงานที่มีปริมาณการผลิตปริมาณมาก เพื่อลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการขนย้ายชิ้นงานที่อยู่ระหว่างกระบวนการ (WIP) และค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (วุฒิพร ศรีไพโรจน์, 2558) ทำให้มีการจำลองออกแบบไลน์การผลิตที่มีการไหลแบบการผลิตทีละชิ้น (One-Piece Flow) (สมปรารถนา สายสงวนทรัพย์, 2560) ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนดังกล่าวข้างต้นได้ โดยรอบเวลาในการขนย้ายเท่ากับ 4.26 วินาที ซึ่งสามารถลดชั่วโมงการทำงานได้ 9,295.32 วินาที/วัน หรือ 2.58 ชั่วโมง/วัน ถือว่าสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ตามความต้องการของสถานประกอบการ

6. อภิปรายผล

จากการศึกษากระบวนการในสายการผลิตชิ้นงานคานประตูลงท้าย/ขวา โดยทำการศึกษา 4 กระบวนการ คือ การป้อนชิ้นรูป, การเลื่อย, การประกอบ และการขัดผิว เมื่อทำการเก็บข้อมูลด้านเวลาพบว่ากระบวนการประกอบมีรอบเวลาการผลิตสูงกว่ากระบวนการอื่นๆ มากทำให้เกิดชิ้นงานระหว่างกระบวนการ (WIP) ส่งผลให้เสียค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา พื้นที่ในการจัดเก็บ ซึ่งชิ้นงานคานประตูลงท้าย/ขวามีปริมาณการผลิตสูงจึงได้นำมาเป็นกระบวนการสำหรับใช้เป็นกรณีศึกษาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปรับปรุงต่อไป เริ่มจากการศึกษาการทำงาน

ของพนักงานโดยนำเอาทฤษฎีศึกษาการทำงาน (Work Study) มาใช้ พบว่ารอบเวลาการผลิตของแต่ละกระบวนการ (Cycle time) ไม่สอดคล้องกัน กระบวนการป้อนขึ้นรูปเท่ากับ 6 วินาที กระบวนการเลื่อยเท่ากับ 10.47 วินาที กระบวนการประกอบ เท่ากับ 17.34 วินาที และกระบวนการขัดผิวเท่ากับ 7.84 วินาที ทำให้มีประสิทธิภาพสายการผลิตขึ้นงานคันประตูลงท้าย/ขาเท่ากับ 60.08% และจะเห็นว่าเกิดงานระหว่างกระบวนการ (WIP) ที่สถานีงานประกอบ จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณค่าของกิจกรรมในกระบวนการประกอบ ด้วยหลักการแผนผังสายธารคุณค่า (Value Stream Analysis) และทำการวิเคราะห์และปรับปรุงกำจัดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า (Non Value Added: NVA) ด้วยหลักการ 5W1H และหลักการ ECRS เพื่อลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นและไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ออกไปได้ โดยกระบวนการประกอบ ใช้เวลาทั้งหมด 34.68 วินาที ซึ่งประกอบไปด้วยกิจกรรมที่เพิ่มคุณค่า (VA) 19.66 วินาที หรือร้อยละ 56.69 จากปริมาณกิจกรรมทั้งหมด กิจกรรมไม่เพิ่มคุณค่าแต่จำเป็นต้องทำ (NNVA) 10.62 วินาที หรือร้อยละ 30.6 จากปริมาณกิจกรรมทั้งหมด และกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า (NVA) 4.40 วินาที หรือร้อยละ 12.69 จากปริมาณกิจกรรมทั้งหมด

จากการกำจัดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า (NVA) ออกไปทั้งหมด ทำให้กระบวนการประกอบ มีรอบเวลาการประกอบลดลงเหลือ 15.14 วินาที ประกอบไปด้วยกิจกรรมที่เพิ่มคุณค่า (VA) 19.66 วินาที หรือร้อยละ 64.93 จากปริมาณกิจกรรมทั้งหมด และกิจกรรมไม่เพิ่มคุณค่าแต่จำเป็นต้องทำ (NNVA) 10.62 วินาที หรือร้อยละ 35.07 จากปริมาณกิจกรรมทั้งหมด จะเห็นว่ารอบเวลาการผลิตในกระบวนการประกอบนั้นยังไม่ใกล้เคียงกับกระบวนการ จึงทำการวิเคราะห์หาความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการด้วยแผนภูมิคน-เครื่องจักร (Man-Machine Chart) พบว่ามีความสูญเสียที่เกิดจากการรอคอยของคนและเครื่องจักรอยู่ในกระบวนการ ทำให้คนมีประสิทธิภาพในการทำงานอยู่ที่ 46.22% และเครื่องจักรมีประสิทธิภาพเท่ากับ 61.19% เพื่อให้คนและเครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและมีความสมดุลจึงทำการปรับปรุงด้วยการเพิ่มจำนวน Jig เป็น 2 Jig ทำให้ประสิทธิภาพของคนเพิ่มขึ้นเป็น 59.70% และประสิทธิภาพเครื่องจักรเพิ่มขึ้นเป็น 99.95% รวมถึงมีรอบเวลาการประกอบลดลงเหลือ 9.33 วินาที ทำให้มีประสิทธิภาพสายการผลิตขึ้นงานคันประตูลงท้าย/ขา การปรับปรุงเท่ากับ 80.37% (นริศ สวาทจันทร์, 2560)

ตารางแสดงการคำนวณต้นทุน

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลลัพธ์
เวลาในการทำงาน 1 วัน (วินาที) (15.6 ชั่วโมง * 3600วินาที/ชั่วโมง)	56,160	56,160	
รอบการผลิต (วินาที)	17.34	10.47	
จำนวนชิ้นที่สามารถผลิตได้ใน 1 วัน (เวลาในการทำงาน 1 วัน / รอบการผลิต)	3,239	5,363	
ค่าแรงพนักงาน 1 วัน (บาท/คน)	960	960	
จำนวนพนักงานในสายการผลิต (คน)	7	7	
ค่าแรงพนักงานในสายการผลิต (บาท/วัน)	6,720	6,720	
ค่าแรงต่อชิ้น (บาท/ชิ้น)	2.07	1.25	-0.82
ชั่วโมงการทำงานของคน การขนย้าย (วินาที)	9295.32	0	
ค่าแรงพนักงานต่อวินาที (บาท/วินาที) (ค่าแรง 1 วัน / เวลาในการทำงาน 1 วัน)	0.017	0.017	
ค่าแรงพนักงานที่ใช้การขนย้าย 1 วัน	158	0	-158

จากการปรับปรุงสายการผลิตชิ้นงานคานประตูลังซ้าย/ขวา นอกจากจะสามารถลดความสูญเปล่าในกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพของคนและเครื่องจักรและเพิ่มประสิทธิภาพ สายการผลิตได้แล้ว ยังสามารถลดต้นทุนการผลิตชิ้นงานลงได้ 0.82 บาท/ชิ้น และลดค่าแรงของพนักงานที่ใช้ในการขนย้ายลงได้ 158 บาท/วัน ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการผลิต ลดค่าใช้จ่ายภายในบริษัท

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. ในสายการผลิตชิ้นงานคานประตูลังซ้าย/ขวา ยังคงมีกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าแต่จำเป็นต้องทำอยู่ เช่น การหยิบชิ้นงาน การใส่ชิ้นงานเข้ากับจิ๊ก ที่เครื่อง และการวางชิ้นงานลงกล่อง

2. ประสิทธิภาพสมมูลสายการผลิตของชิ้นงานคานประตูลังซ้าย/ขวา หลังการปรับปรุงมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 80.37% หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้มากขึ้นกว่าเดิมควรศึกษา กระบวนการผลิตอื่นๆ และลดขั้นตอนการทำงานหรือตัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่เพิ่มมูลค่าและไม่จำเป็น (NVA) ของกระบวนการออกไป

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. หากต้องการลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่เพิ่มมูลค่าแต่จำเป็นต้องทำจำเป็นต้องศึกษาขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียด เพื่อสร้างอุปกรณ์การคูริ หรือหาขั้นตอนการทำงานที่ง่ายกว่า เพื่อลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่เพิ่มมูลค่าแต่จำเป็นต้องทำเหล่านี้ออกไป

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก บริษัท ชัมมิท โอโต บอดีอินดัสตรีที่ให้โอกาสคณะ ผู้จัดทำ ได้เข้ารับการฝึกปฏิบัติสหกิจศึกษาและศึกษากระบวนการทำงานรวมถึงเก็บข้อมูลกรณีศึกษาจึง ขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งที่ให้ความร่วมมือมาโดยตลอด โครงการนี้จะไม่สมบูรณ์หากไม่ได้รับการช่วยเหลือจากบุคคลหลายคน หลายๆ ท่าน ขอขอบคุณ อาจารย์ฉัตรกร ศรีประไพ อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ดูแลรับผิดชอบนักศึกษาสหกิจศึกษา ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำมาโดยตลอด ขอขอบคุณ คุณศุภชัย ศรีโยธา ผู้จัดการทั่วไปสายงานโรงงาน ที่ให้ความรู้และคำแนะนำสำหรับการแก้ไขปัญหาต่างๆ และขอขอบคุณ คุณศิวศักดิ์ ผาสุข วิศวกรแผนก Production Engineer ที่คอยให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือสนับสนุน ข้อมูลอีกทั้งยังเสียสละเวลาเพื่อประโยชน์ทางการศึกษา เพื่อให้โครงการฉบับนี้บรรลุตามวัตถุประสงค์ และขอขอบคุณอีกหลายๆ ท่านที่ทางคณะผู้จัดทำกล่าวไม่หมด หากไม่ได้รับการช่วยเหลือการสนับสนุน จากทุกท่านที่สละเวลามาสอนและให้คำปรึกษาโครงการฉบับนี้ คงไม่สำเร็จลุล่วง ทุกท่านล้วนเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้โครงการฉบับนี้เกิดขึ้นและสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้มอบวิชาความรู้และอบรมสั่งสอนตลอดเวลาที่ผ่านมา สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ บิดา มารดาและเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้การสนับสนุนและคอยเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันจนโครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

9. เอกสารอ้างอิง

ทรศชนก จินดาอยู่. (2563). *การปรับปรุงสายการประกอบ Glove Compartment* ของรถยนต์ขนาดเล็ก.

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์.

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หน้า 5-9.

นริศ สวະจันทร์. (2560). *การลดเวลานำในการตรวจผลิตภัณฑ์ ก่อนส่งมอบ*. วิทยานิพนธ์ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการพัฒนางานอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, หน้า 6-7.

ยุทธณรงค์ จงจันทร์. (2555). *การจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตติดตั้งคัมพ์*.

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธนบุรี, หน้า 282-283

วุฒิพร ศรีไพโรจน์. (2558). *การปรับปรุงกระบวนการผลิตและกำลังคนต่อสายการผลิตเพื่อลดต้นทุนแรงงาน*.

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการพัฒนางานอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, หน้า 9-25.

สมปรารถนา สายสงวนทรัพย์. (2560). *การปรับปรุงกระบวนการด้วยการจัดสมดุลสายการผลิต กรณีศึกษา :*

กระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์กล่องวงจรปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ หน้า 10-25.

การประยุกต์ใช้ราสพ์เบอรี่พายเพื่อตรวจติดตามแบบเรียลไทม์ ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

APPLICATION OF RASPBERRY PI DEVICE FOR REAL-TIME MONITORING IN AUTOMOTIVE PARTS MANUFACTURING PROCESS

ณัช กฤตยาคุณากร, ณัฏพ สุขประเสริฐ, พีรณัฐ พัวพงศกร,

จารุพงศ์ เจริญสุข, ชีรพงศ์ ทรภิสงห์, วิศรุต มะลูลีม

ศศิกานต์ เมืองเมา, ศิริรินทร์ ทองแสง

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: pelarnut.1104700031520@mail.kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ในอุตสาหกรรมยุค 4.0 ได้มีการนำระบบสคาตามาช่วยในการเก็บข้อมูลและแสดงสถานะการผลิต โดยระบบสคาตาที่โรงงานได้ใช้อยู่ในปัจจุบันคือระบบรีโมตไอโอควบคู่กับโปรแกรม LabVIEW ทำให้ต้องใช้ต้นทุนที่สูงมากในการติดตั้งระบบดังกล่าวกับทุกสายการผลิตในโรงงาน ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการใช้ระบบราสพ์เบอรี่พายร่วมกับซอฟต์แวร์ Node-red เพื่อเป็นทางเลือกในการนำมาติดตั้งระบบสคาตา โดยทั้งสองรูปแบบจะถูกติดตั้งลงบนเครื่องจักรสำหรับการนับจำนวนชิ้นงานที่ผลิตออกมา จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการนับชิ้นงานเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของอุปกรณ์ราสพ์เบอรี่พายเปรียบเทียบกับระบบรีโมตไอโอ จากผลการศึกษาพบว่าอุปกรณ์ราสพ์เบอรี่พายให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการตรวจนับจำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้เทียบเท่าการใช้รีโมตไอโอ และมีต้นทุนที่ต่ำกว่า

คำสำคัญ: ราสพ์เบอรี่พาย, รีโมตไอโอ, สคาตา

ABSTRACT

In Industry 4.0, the SCADA system is introduced to help for recording data and displaying production status. The SCADA system currently being used by the factory is a remote I/O system coupled with LabVIEW software, which makes it very costly for system installation in all line productions of the factory. This research studied the use of the Raspberry Pie system with Node-red software as an alternative for installing the SCADA system. Both models were installed on machines for counting the number of parts produced, and then verified the accuracy of the counting data to evaluate the efficiency of using Raspberry Pi equipment compared to a remote I/O system. The results showed that the Raspberry Pi device gave a percentage of accuracy in counting the number of pieces produced equivalent to that of using an I/O remote and had a lower cost.

Keywords: Raspberry Pi, Real-Time, SCADA

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

จากสถานการณ์โลกได้เปลี่ยนเข้าสู่การปฏิวัติอุตสาหกรรมที่เรียกว่า อุตสาหกรรม 4.0 (Klaus Schwab, 2016) ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระบบการผลิตในอุตสาหกรรม เช่น ระบบอัตโนมัติ, หุ่นยนต์ อุตสาหกรรม และไอโอที (IoT: Internet of Things) อื่นๆ ประกอบกับการที่ทิศทางของอุตสาหกรรมยานยนต์มีแนวโน้มในการพัฒนาเข้าสู่การผลิตรถยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น ทำให้มีชิ้นส่วนยานยนต์รูปแบบใหม่ในยานยนต์มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่ออุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่ต้องมีการประยุกต์การใช้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้น (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2560) ซึ่งทำให้ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ต้องปรับตัวตามอุตสาหกรรม 4.0 ด้วยการใช้เทคโนโลยีในการผลิตมากขึ้น โดยหนึ่งในตัวช่วยในการผลิตนั้น คือ ระบบสคาดา (SCADA) ซึ่งเป็นประเภทหนึ่งของระบบการควบคุมอุตสาหกรรม ซึ่งมีความสามารถในการควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่เฝ้าดูและควบคุมกระบวนการในการผลิตทางอุตสาหกรรม จึงเป็นที่นิยมในการใช้ในอุตสาหกรรม (Peter Loshin) อุปกรณ์เหล่านี้จะสามารถช่วยลดความสูญเสียต่างๆ ในการผลิตได้ โดยเฉพาะเรื่อง ความสูญเสียเปล่าในการผลิต หรือมูดาที่มาจากกระบวนการหรือการกระทำที่เกี่ยวข้องกับการผลิตที่ไม่ทำให้เกิดการเพิ่มมูลค่า (Taiichi Ohno, 1988) ซึ่งระบบสคาดาสามารถตอบโจทย์เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ผ่านการรับข้อมูลแบบเรียลไทม์ที่ช่วยเพิ่มความเร็วของการส่งข้อมูลและลดเวลาการรอคอยที่สามารถแก้ไขปัญหาได้ทันที จากระบบสคาดาแบบดั้งเดิมที่ใช้เก็บข้อมูลเป็นอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแบบรีโมตไอโอ (Remote I/O) ที่มีต้นทุนอุปกรณ์ค่อนข้างสูง และมีการใช้งานร่วมกันกับลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์แล็บวิว (LabVIEW) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายเรื่องของลิขสิทธิ์ด้วย

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาศึกษาการใช้ราสพ์เบอรี่พาย (Raspberry Pi) ร่วมกับซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ซที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายในส่วนของคุณค่าของลิขสิทธิ์ ที่มีชื่อว่าโนดเรด (Node-Red) สำหรับใช้เก็บข้อมูลในสายการผลิต และนำมาใช้เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพกับการเก็บข้อมูลด้วยรีโมตไอโอแบบดั้งเดิม เพื่อนำไปพิจารณาในการจัดทำระบบสคาดาในสายการผลิตอื่นๆ ต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบสคาดาจากอุปกรณ์ราสพ์เบอรี่พายกับอุปกรณ์รีโมตไอโอผ่านการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลจากการนับจำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้
- (2) เพื่อลดต้นทุนในการติดตั้งระบบสคาดา ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้ราสพ์เบอรี่พายเพื่อเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ได้แก่

อรรมพร คงจิต (2563) ได้ทำการศึกษาศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานลมของกลุ่มกังหันด้วยวิธีการส่งผลประมวลสัญญาณระหว่างกังหันลมเพื่อควบคุมการผลิตไฟฟ้า จากการวิจัยพบว่า การเก็บข้อมูลของลมที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ระบบสคาดาก่อนส่งข้อมูลไปยังกังหันลมเพื่อเตรียมความพร้อมในการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมในระบบ ซึ่งให้ผลลัพธ์ว่าการใช้ระบบสคาดาเข้ามาช่วย จะทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น

จิกร ศรีโปชา และศุภกิจ เหล่าสามารถ (2562) ได้ทำการศึกษาศึกษาการพัฒนาระบบตรวจสอบตำแหน่งการวางชิ้นงานบนสายพาน จากการวิจัยที่ใช้การตรวจสอบการทำงานของแขนกล DOBOT ด้วยการใช้เซ็นเซอร์

ตรวจจับและทำการเก็บข้อมูลผ่านอุปกรณ์รหัสบาร์โค้ด พบว่าการใช้อุปกรณ์รหัสบาร์โค้ดเข้ามาช่วยจะส่งผลให้มีเข้าถึงข้อมูลแบบเรียลไทม์ ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการทำงานที่ลดลง

Anusha K. และ Dr. U. B. Mahadevaswamy (2018) ได้ทำการศึกษาระบบ IOT เพื่อการติดตามผลและระบบรดน้ำแบบอัตโนมัติด้วย Raspberry Pi โดยใช้การติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ปริมาณแสง ความชื้น และระบบมอเตอร์ในพื้นที่เพาะปลูก ร่วมกับการแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน พบว่าสามารถจัดการปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วผ่านการแสดงผล ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการ

จากงานวิจัยดังกล่าว เห็นได้ว่าระบบสกาตา สามารถใช้เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้จริง และอุปกรณ์รหัสบาร์โค้ด มีคุณสมบัติในการเก็บข้อมูล ประมวลผลข้อมูล และส่งข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ โดยระบบสกาตานั้นสามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์ได้หลากหลายนอกเหนือจากอุปกรณ์รหัสบาร์โค้ด นั่นก็คือ อุปกรณ์โมโตไอโอ โดยจะมีความแตกต่างจากอุปกรณ์รหัสบาร์โค้ดในด้านต้นทุนและคุณสมบัติที่รองรับ โดยมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.1 อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things: IOT)

อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง คือ ระบบที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือเอกสารผ่านเครือข่าย ซึ่งระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งมีข้อดีในเรื่องของความรวดเร็วในการเก็บและส่งข้อมูล ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการนำไปวิเคราะห์และประมวลผลเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงและแก้ไขปัญหาแบบเรียลไทม์ โดยในปัจจุบันนี้ ระบบนี้จะถูกใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการผลิต, อุตสาหกรรมการแพทย์ เป็นต้น

3.2 ระบบควบคุมและประเมินผลแบบศูนย์รวม (Supervisory Control and Data Acquisition: SCADA)

เป็นระบบที่มีการดึงข้อมูลเข้าสู่ระบบ มาตรวจสอบและประเมินก่อนแสดงผลหรือควบคุมประมวลผล โดยใช้อุปกรณ์รหัสบาร์โค้ด, คอมพิวเตอร์หรือใช้ระบบพีแอลซี (PLC: Programmable Logic Control) มาใช้ประมวลผลจากข้อมูลที่ได้นำไปแก้ไขและปรับปรุง แล้วแปลงค่าส่งกลับเข้าไป เพื่อให้เกิดการควบคุมและแก้ไขปัญหาแบบเรียลไทม์ โดยองค์ประกอบที่สำคัญในระบบสกาตา ได้แก่

3.2.1 การตรวจจับ (field sensors) เป็นส่วนของการแปลงข้อมูลในรูปแบบกายภาพ (ฟิสิกส์) ไปสู่ข้อมูลที่ส่งผ่านการใช้ไฟฟ้า เพื่อทำการส่งข้อมูลออกไป

3.2.2 กระบวนการจัดการ (Remote Terminal Units: RTU) เป็นกระบวนการในการจัดการข้อมูลหรือควบคุมโดยรับสัญญาณข้อมูลส่วนการตรวจจับและส่งออก เพื่อควบคุมการทำงานเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่สนใจ

3.2.3 การดำเนินการ (field actuators) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจาก RTU สู่การสั่งให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ควบคุมนั้นทำงาน

3.2.4 ระบบสื่อสาร (communication system) เป็นตัวกลางเชื่อมระหว่าง RTU กับสถานีผ่านการสื่อสารในรูปแบบโครงข่ายของระบบสายสัญญาณโทรศัพท์, ระบบไฟเบอร์ออปติกหรือวิทยุไมโครเวฟ เป็นต้น

3.2.5 สถานีหลัก (master station) เป็นศูนย์กลางของการสั่งการและประมวลผลเพื่อควบคุมการทำงาน

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานของการศึกษาการประยุกต์ใช้รหัสบาร์โค้ดเพื่อเก็บข้อมูลการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

4.1 ศึกษาและออกแบบการเขียนโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์โนดเรด

สำหรับซอฟต์แวร์โนดเรด เป็น อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับสัญญาณจากอุปกรณ์ต่างๆ แล้วสามารถส่งสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์ได้ โดยใช้โครงสร้างระบบซอฟต์แวร์ระบบสกาดา ซึ่งสามารถใช้อุปกรณ์รีโมตไอโอ หรืออุปกรณ์ราสพ์เบอร์รี่พาย เพื่อใช้ในการติดตั้งระบบสกาดา

4.1.1) อุปกรณ์รีโมตไอโอ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับสัญญาณจากอุปกรณ์ต่างๆ แล้วสามารถส่งสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์ได้ โดยอุปกรณ์รีโมตไอโอจะมีอยู่ 3 ส่วน ได้แก่ OPC , Global และ Server ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. OPC คือส่วนที่รับข้อมูลตั้งแต่เปิดเครื่องจักร ทำชิ้นงาน จนถึงซอฟต์แวร์ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ โดยในการใช้อุปกรณ์รีโมตไอโอจะทำการรับข้อมูลจากการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ควบคุมของวงจรควบคุมอัตโนมัติอย่างรีเลย์ แล้วส่งไปยังแล็ปท็อป ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวัดในทางวิศวกรรม เพื่อช่วยในการวัดหรือตรวจวัดข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถใช้ร่วมกับระบบสกาดา โดยเป็นโปรแกรม GUI (Graphic User Interface) ซึ่งไม่พียงการเขียนโปรแกรมหรือการเขียนคำสั่ง

2. Global คือส่วนที่เป็นตัวกลาง เชื่อมต่อสถานะการทำงานของเครื่องจักรระหว่าง OPC และ Server

3. Server คือส่วน ตัวรับค่าข้อมูลจาก OPC โดยส่งผ่าน Global มีหน้าที่บันทึกข้อมูลที่ต้องการ เพื่อที่จะออกโครงสร้างระบบซอฟต์แวร์ที่นำมาใช้เก็บข้อมูลในระบบสกาดาคด้วยอุปกรณ์ราสพ์เบอร์รี่พาย ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประเภทคอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยว (Single Board Computer: SBCs) โดยทำหน้าที่เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ซึ่งสามารถใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อตรวจสอบการผลิต โดยจะใช้ฐานเดิมจากโครงสร้างระบบซอฟต์แวร์ของอุปกรณ์รีโมตไอโอ แล้วใช้ซอฟต์แวร์โนดเรดมาแทนที่

4.1.2) อุปกรณ์ราสพ์เบอร์รี่พาย ทำหน้าที่รับข้อมูลที่เข้าและออกจากอุปกรณ์ราสพ์เบอร์รี่พาย โดยมีโครงสร้างที่สำคัญอยู่สองส่วน คือ ส่วนประมวลผลและเซิร์ฟเวอร์

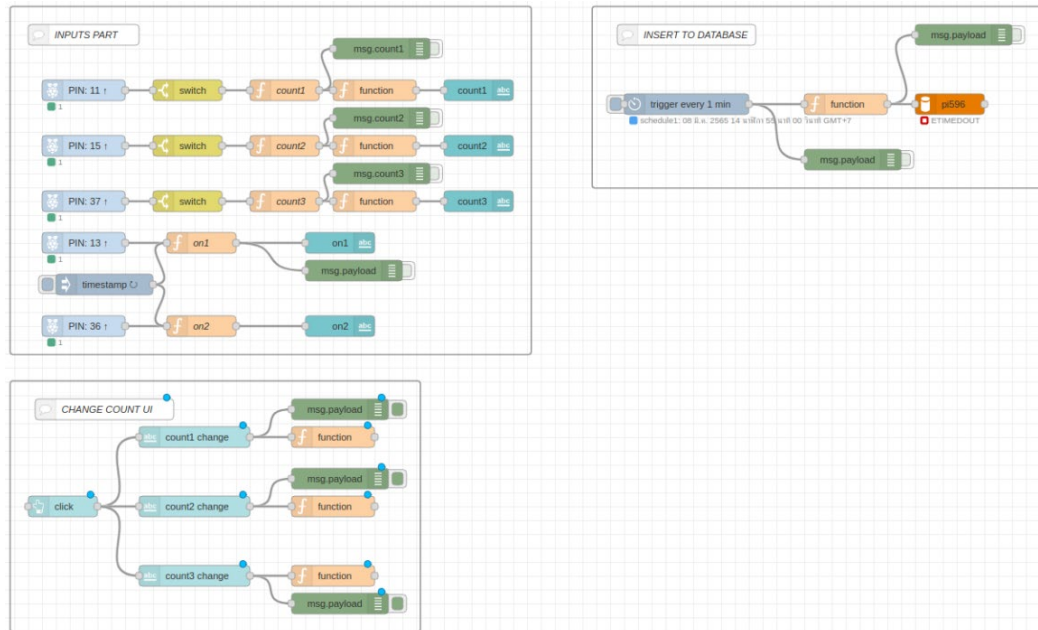
1. ส่วนประมวลผล คือ ส่วนที่รับข้อมูลเครื่องจักรผ่านรีเลย์แล้วส่งมายังราสพ์เบอร์รี่พายจนถึงซอฟต์แวร์ Node-red ในคอมพิวเตอร์โดยใช้ Remote Control เข้ามาที่คอมพิวเตอร์ ด้วยซอฟต์แวร์ VNC Viewer

2. เซิร์ฟเวอร์ คือ ตัวรับค่าข้อมูลจากซอฟต์แวร์ Node-red แล้วส่งไปยัง Server Database มีหน้าที่เก็บบันทึกข้อมูลที่ต้องการ โดยเชื่อมต่อผ่าน IP Address ของ Server Database (MySQL)

4.2 ศึกษาและออกแบบการติดตั้งระบบควบคุมของสกาดา (Control System)

เขียนโปรแกรมเพื่อนำมาใช้เก็บข้อมูลการผลิตโดยใช้ซอฟต์แวร์ Node-red ในส่วนของการรับข้อมูลรีเลย์เข้ามายังอุปกรณ์ราสพ์เบอร์รี่พาย

- 1) ใช้ Node: RPI GPIO in เพื่อรับข้อมูลจากรีเลย์เข้าราสพ์เบอร์รี่พาย และแปลงค่า จากคิเลย์ให้เป็นศูนย์
- 2) การเขียนฟังก์ชัน counter นับชิ้นงาน
- 3) ส่งค่าข้อมูลที่เก็บไปแสดงผลบน Dashboard ของ Node-red และตรวจสอบค่าที่ต้องการตรวจสอบ
- 4) เขียนฟังก์ชันเพื่อเก็บข้อมูลการเปิดปิดเครื่องจักร
- 5) เขียนฟังก์ชันการ trigger เวลาทุกๆ 1 นาที เพื่อส่งข้อมูลไปยัง Server Database ของ MySQL
- 6) ใช้ Node: MySQL เพื่อเชื่อมต่อซอฟต์แวร์ Node-red กับ Server Database ของ MySQL
- 7) เขียนโปรแกรมเพื่อนำมาใช้เก็บข้อมูลโดยใช้ซอฟต์แวร์ node-red ในส่วนของการแสดงผลข้อมูลที่บันทึกไว้บน Node-red Dashboard สร้างฟังก์ชันแปลค่า การนับให้เป็นค่าการแสดงผล



รูปที่ 1 โปรแกรมที่ถูกออกแบบผ่านซอฟต์แวร์ Node-Red เพื่อใช้ในระบบสภาดา

4.3 ศึกษาและออกแบบการเชื่อมต่อระบบสภาดา

การออกแบบวงจรไฟฟ้าตู้คอนโทรลและเครื่องจักร เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงาน

4.4 ติดตั้งสายไฟและวงจรของผู้ควบคุม

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ให้เข้าไปอยู่ในตู้ควบคุม แล้วทำการติดตั้งสายทั้งหมดเข้ากับอุปกรณ์

4.5 เชื่อมต่อระบบสภาดาเข้ากับ Server Database PHPMysqlAdmin

ติดตั้ง AppServ version 9.3.0 ผ่านเว็บไซต์ของ AppServ จากนั้นเข้าไปที่บราวเซอร์แล้วพิมพ์ localhost แล้วกดไปที่ phpMyAdmin Database Manager Version 4.9.1 เพื่อสร้าง Server Database

4.6 ทดสอบการเก็บข้อมูลจากราส์เบอร์รี่พายที่สายการผลิต

เก็บข้อมูลจากการนับจำนวนชิ้นงานจากสายการผลิตโดยใช้อุปกรณ์ราส์เบอร์รี่พายเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับจำนวนชิ้นงานที่นับได้จากอุปกรณ์รีโมทไอโอและจำนวนชิ้นงานที่พนักงานจริงนับได้จากเครื่องจักร 3 เครื่องที่ใช้ในการผลิตสายไฟ

4.7 เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างราส์เบอร์รี่พายกับรีโมทไอโอ

นำข้อมูลการนับจำนวนชิ้นงานที่อุปกรณ์ราส์เบอร์รี่พายนับได้ มาเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่พนักงานนับได้ในระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึงวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2565 แล้วเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของข้อมูลเพื่อใช้ตัดสินใจเลือกอุปกรณ์สำหรับติดตั้งระบบสภาดา

5. ผลการวิจัย

จากการเก็บข้อมูลจากการนับชิ้นงานในสายการผลิต โดยใช้อุปกรณ์ราส์เบอร์รี่พาย ซึ่งใช้เครื่องจักรทั้งหมดจำนวนสามเครื่อง (MC1, MC2 และ MC3) ที่ใช้ในการผลิตสายไฟ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับจำนวนชิ้นงานที่นับได้จากอุปกรณ์รีโมทไอโอและจำนวนที่พนักงานนับได้ โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของข้อมูลการนับชิ้นงานที่ได้จากอุปกรณ์ราส์เบอร์รี่พายเทียบกับอุปกรณ์รีโมทไอโอในวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2565 ถึงวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2565 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของข้อมูลการนับชิ้นงานที่ได้จากอุปกรณ์ราสพ์เบอร์พายเทียบกับอุปกรณ์รีโมตไอโอในวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2565 ถึงวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2565

วันที่	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง ของเครื่องจักรตัวที่ 1 MC1 (%)	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง ของเครื่องจักรตัวที่ 2 MC2 (%)	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง ของเครื่องจักรตัวที่ 3 MC3 (%)	เปอร์เซ็นต์ความ ถูกต้องเฉลี่ยต่อวัน (%)
7/2/65	99.79	99.95	100.00	99.91
8/2/65	99.13	99.02	98.98	99.04
9/2/65	100.00	99.96	99.96	99.97
10/2/65	98.35	98.95	99.30	98.86
11/2/65	100.00	100.00	100.00	100.00
12/2/65	99.90	99.85	100.00	99.92
13/2/65	99.90	100.00	100.00	99.97
14/2/65	98.64	99.65	99.88	99.39
15/2/65	99.92	99.77	99.85	99.85
18/2/65	99.89	100.00	100.00	99.96
ค่าเฉลี่ย	99.55	99.71	99.80	99.69

เมื่อนำผลการนับจำนวนชิ้นงานที่ได้จากอุปกรณ์ราสพ์เบอร์พายและรีโมตไอโอเปรียบเทียบกับจำนวนชิ้นงานที่พนักงานนับได้จริงจากเครื่องจักร ให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำผลการนับจำนวนชิ้นงานที่ได้จากอุปกรณ์ราสพ์เบอร์พายเปรียบเทียบกับจำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้จากการนับของพนักงาน จะพบค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องอยู่ที่ 100%

เช่นเดียวกับการนับจำนวนชิ้นงานที่ได้จากอุปกรณ์รีโมตไอโอ จากข้อมูลที่เก็บไว้ ทำให้มีมติการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์ระหว่างอุปกรณ์ราสพ์เบอร์พายและรีโมตไอโอ เพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ข้อมูลการนับจำนวนชิ้นงานที่ได้จากอุปกรณ์ราสพ์เบอร์พายและรีโมตไอโอ เปรียบเทียบกับจำนวนชิ้นงานที่พนักงานนับได้จริงจากเครื่องจักร วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2565 ถึง วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2565

	วันเปิด JOB	จำนวนที่บันทึก หน้างาน (จำนวนที่ผลิต)	จำนวนที่ Raspberry Pi บันทึกได้	จำนวนที่ Remote I/O บันทึกได้	% ความถูกต้อง Raspberry Pi เทียบกับจำนวนที่ผลิต	% ความถูกต้อง กับจำนวนที่ผลิต
J65021082	7/2/2022	2520	2520	2520	100%	100%
J65021318	8/2/2022	2520	2520	2520	100%	100%
J65021319	9/2/2022	2520	2520	2520	100%	100%
J65021543	10/2/2022	2520	2520	2520	100%	100%
J65021544	11/2/2022	2520	2520	2520	100%	100%
J65021879	12/2/2022	2520	2520	2520	100%	100%
J65021880	13/2/2022	2520	2520	2520	100%	100%
J65022028	14/2/2022	2520	2520	2520	100%	100%
J65022557	18/2/2022	2520	2520	2520	100%	100%
Average percent accuracy					100%	100%

ตารางที่ 3 เมทริกซ์การตัดสินใจเลือกใช้อุปกรณ์ระหว่างอุปกรณ์รหัสเบอรี่พายและรีโมตไอโอ

ผู้ประเมิน	คะแนน	ความถูกต้อง ข้อมูล (เทียบกับ จำนวนชิ้นงาน) (x5)	จำนวน ข้อบกพร่อง เชิงเทคนิคที่ เกิดขึ้น (x4)	ค่าใช้จ่าย อุปกรณ์ (x3)	ความ เสถียรของ อุปกรณ์ (x2)	ระดับภาษา ที่ใช้ใน การเขียน โปรแกรม (x1)	รวม คะแนน (เต็ม 75 คะแนน)	ผลลัพธ์
คณะผู้วิจัย	รีโมตไอโอ	5	4	1	4	5	60	รหัส เบอรี่พาย
	รหัส เบอรี่พาย	5	4	4	2	4	64	
สรุปผล	เลือกใช้อุปกรณ์รหัสเบอรี่พาย							

ตารางที่ 4 เกณฑ์การให้คะแนนของวิธีการตัดสินใจเลือกใช้อุปกรณ์

เกณฑ์การให้คะแนน					
คะแนน	5	4	3	2	1
1. ความถูกต้องข้อมูล (เทียบกับ จำนวนชิ้นงานที่ผลิต)	100 %	80 %	60 %	40 %	20 %
2. จำนวนข้อบกพร่องเชิงเทคนิคที่ เกิดขึ้น	0	1	2	3	4
3. ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ (บาท)	0 – 2,500	2,500 – 5,000	5,000 – 7,000	7,500 – 10,000	>10,000
4. ความเสถียรของอุปกรณ์ (อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้งานได้)	80 องศา เซลเซียส	70 องศา เซลเซียส	60 องศา เซลเซียส	50 องศาเซลเซียส	40 องศา เซลเซียส
5. ระดับภาษาที่ใช้ในการเขียน โปรแกรมของอุปกรณ์	Visual language	High- language	Low- language	Assembly language	Machine language

จากตารางที่ 3 - 4 พบว่าอุปกรณ์รหัสเบอรี่พายสามารถนำมาใช้ในการทำระบบสแกนได้ อีกทั้งผลเมทริกซ์ในการตัดสินใจจากคณะผู้วิจัยได้ให้คะแนนอุปกรณ์รหัสเบอรี่พายมากกว่าอุปกรณ์รีโมตไอโอด้วย โดยให้คะแนนอุปกรณ์รหัสเบอรี่พายและรีโมตไอโออยู่ที่ 64 คะแนน และ 60 คะแนนตามลำดับ นอกจากนี้อุปกรณ์รหัสเบอรี่พาย ยังได้ข้อมูลที่ถูกต้องเมื่อเทียบกับรีโมตไอโอ และจำนวนชิ้นงานที่ผลิตจริง มีจำนวนข้อบกพร่องเชิงเทคนิคที่เกิดขึ้นน้อย, ง่ายต่อการเขียนโปรแกรมในซอฟต์แวร์ และมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่า

6. อภิปรายผล

การเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ได้ทำการเปรียบเทียบอุปกรณ์การเก็บข้อมูลของอุปกรณ์รหัสเบอรี่พายกับอุปกรณ์รีโมตไอโอ โดยเก็บข้อมูลจำนวนชิ้นงานในการผลิตที่นับได้ และสถานะการเปิดปิดเครื่องจักรทุกๆ 1 นาทีลงใน ฐานข้อมูล MySQL แบบเรียลไทม์ของสายการผลิต และพบว่าความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์รหัสเบอรี่พายไม่น้อยกว่า 98% เมื่อเทียบกับอุปกรณ์รีโมตไอโอ และมีความถูกต้องของข้อมูลที่นับได้เท่ากับ 100% เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนผลิตจริงจากการนับของพนักงาน และการเก็บข้อมูลด้วยการใช้รหัสเบอรี่ยังช่วยให้สามารถเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจิรกร ศรีโพธิ์ และศุภกิจ เหล่าสามารถ (2562) และรหัสเบอรี่พายยังช่วยลดต้นทุน

ของอุปกรณ์ระบบสกาดาที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ได้ถึง 76.20% เนื่องจากระบบรีโมทไอโอมีราคา 12,926.17 บาท (RS-485 REMOTE I/O DAQ I-7044D จาก ICP DAS USA Inc.) และราสพ์เบอร์รี่พายมีราคา 3,076.79 บาท (Raspberry Pi 4 Model B 2GB Basic kit – Crytron) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถนำอุปกรณ์ราสพ์เบอร์รี่พายมาใช้แทนอุปกรณ์รีโมทไอโอได้และไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายในส่วนซอฟต์แวร์ Node-Red ของอุปกรณ์ราสพ์เบอร์รี่พายด้วย

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) สำหรับการรีเซ็ตเครื่องจักรเมื่อเกิดการทำงานข้ามกระบวนการ สามารถใช้ฟังก์ชัน Node : Input text เพื่อรีเซ็ตให้ตรงกับค่าจากอุปกรณ์รีโมทไอโอ

(2) ในการวิจัยนี้ เพื่อให้การส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์ราสพ์เบอร์รี่พายให้ตรงกับอุปกรณ์รีโมทไอโอ จะมีตัวช่วย คือ การแก้ไขเขตเวลา (Timezone) ของอุปกรณ์ราสพ์เบอร์รี่

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) เนื่องจากระบบสกาดา มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตามผลหรือข้อมูลอยู่หลากหลายชนิด จึงควรเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบอย่างหลากหลายมากขึ้น เช่น เจ็ทสันนาโน อาร์ดูโน เป็นต้น

(2) สำหรับการใช้ซอฟต์แวร์โหนดเร็ด จะสามารถต่อยอดกับการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ซึ่งจะทำให้การติดตามผลมีประสิทธิภาพมากขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

จิกร ศรีโปธา ศุภกิจ เหล่าสามารถ. (2562). *การพัฒนาระบบตรวจสอบตำแหน่งการวางชิ้นงานบนสายพาน*.

โครงการวิศวกรรมปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บริษัท ริเวอร์พลัส จำกัด. *Remote I/O คืออะไร ? ทำไมถึงต้องใช้ Remote IO Module ในระบบควบคุม*

อุตสาหกรรม [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 15 กันยายน 2565, จาก: <https://iiot.riverplus.com/i-o/>.

พลธิป เอกวรชัย. (2563). *การนำระบบ SCADA มาประยุกต์ใช้ในสายการผลิตเชื่อมโลหะแบบจุด*. โครงการงาน

วิศวกรรมปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2560). *SME ไทยก้าวทันกระแสยานยนต์ยุค 4.0 แล้วหรือยัง* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 16 ตุลาคม

2565, จาก: <https://www.kasikornbank.com/th/business/sme/KSMEKnowledge/article/KSME>

Analysis/Documents/ThaiAutomotive4.pdf

อรรถพร คงจิต. (2563). *การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานลมของกลุ่มกังหันด้วยวิธีการส่งผล*

ประมวลสัญญาณระหว่างกังหันลมเพื่อควบคุมการผลิตไฟฟ้า. โครงการงานวิศวกรรมปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

Anusha K. Dr. U. B. Mahadevaswamy. (2018). *Automatic IoT Based Plant Monitoring and Watering System*

using Raspberry Pi. PG Scholar, Department of Electronics and Communication,

Sri Jayachamarajendra College of Engineering (SJCE). Mysuru-570006, Karnataka, India

- Automation Review. (2013) *OLE for Process Control (OPC)* [Online]. ค้นเมื่อ 16 กันยายน 2565, Available: <http://automationreview.blogspot.com/2013/10/ole-for-process-control-opc.html>.
- Cytron. *Raspberry Pi 4 Model B 2GB and Kits* [Online]. ค้นเมื่อ 18 กันยายน 2565, Available: <https://th.cytron.io/p-raspberry-pi-4-model-b-2gb>.
- Electronic Components. *I-7044D* [Online]. ค้นเมื่อ 18 กันยายน 2565, Available: <https://www.electh.com/parts/09812091-I-7044D>.
- Klaus Schwab. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. New York: Crown Publishing Group.
- Nick O'Leary. (2013). *Node-RED* [Online]. ค้นเมื่อ 16 กันยายน 2565, Available: <https://nodered.org/about/>.
- Peter Loshin. *What is SCADA (supervisory control and data acquisition) and how does it work?* [Online]. ค้นเมื่อ 15 กันยายน 2565, Available: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/SCADA-supervisory-control-and-data-acquisition>.
- Taiichi Ohno. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production* (English translation ed.). Florida: CRC Press.
- SAS Insights. *Internet of Things (IoT)* [Online]. ค้นเมื่อ 15 กันยายน 2565, Available: https://www.sas.com/th_th/insights/big-data/internet-of-things.html.

**การสร้างและทดสอบเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ
เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์**

**CONSTRUCTION AND TESTING OF AUTOMATIC SOLAR PANEL
CLEANING MACHINE FOR SOLAR PV EFFICIENCY IMPROVEMENT**

นาวิน พุดน้อย

สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

E-mail: Navin.PP1994@gmail.com

ดร.ชวโรจน์ ใจสิน

รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

E-mail: Chawaroj@mju.ac.th

ดร.ปริญ คงกระพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

E-mail: parin.khongkrapan@gmail.com

ดร.อักรินทร์ อินทนิเวศน์*

รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

E-mail: a.inthaniwet@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

การสะสมของฝุ่นละอองและอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง วิธีที่ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์กลับมาทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ดีที่สุด คือ การทำความสะอาดแผง งานวิจัยนี้จึงได้ทำการสร้างเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์และได้ทำการศึกษาการทำความสะอาดและลดอุณหภูมิแผง ด้วยแปรงหมุนร่วมกับน้ำ ซึ่งจากการทดสอบสามารถลดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด 14.3°C เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการทำงานของเครื่องทำความสะอาดแผง และสามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 41.8 W เมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สกปรก ในการทดสอบการทำงานตลอดทั้งวัน พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเครื่องทำความสะอาดแผงแบบอัตโนมัติสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ามากกว่าแผงที่สกปรกประมาณ 140.05 Wh หรือคิดเป็นผลผลิตที่เพิ่มขึ้น 17.20% ทำ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตเพิ่มได้เป็นผลมาจากการกำจัดฝุ่นละอองที่เกาะอยู่ตรงหน้าแผง และการลดอุณหภูมิของแผงระหว่างการดำเนินงานของเครื่องทำความสะอาดอัตโนมัติ

คำสำคัญ: เครื่องล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ฝุ่นละออง อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ABSTRACT

The accumulation of dust particles and temperature on the solar panels greatly reduce the power generation efficiency of the devices. Cleaning the solar panel is the best way to reacquire its most efficient condition. In this work, the automatic solar panel cleaning machine was built and was used to clean the panel together with rotating brush and water. The results have shown that the solar panel temperature after cleaning can be decreased up to 14.3°C and the power output from the panel can be increases up to 41.8 W. For a whole day testing, the solar panel equipped with the automatic solar panel cleaner can be generate 140.05 Wh/day or 17.20% more electricity than the panel with dust. The improvement of the panel performance can be derived by removing dust particles at the front side and lowering the panel temperature.

Keywords: Solar PV Cleaning Machine, Conversion Efficiency, Dust Particles, Solar Panel Temperature.

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกที่นิยมเป็นอย่างมาก ทำให้มีการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างแพร่หลาย อันเนื่องมาจากความสะดวกในการใช้งานรวมถึงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าระหว่าง 13 – 20% ทั้งนี้เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานได้นานและให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จึงต้องมีการบำรุงรักษาระบบผลิตไฟฟ้ารวมถึงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย

ในการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเช่น ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบ เงามหภูมิแผง และฝุ่นละออง ซึ่งการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดฝุ่นละอองบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ลดลง โดย Shaharin A. S. et al. [1] ได้ศึกษาผลกระทบของฝุ่นที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 50 W โดยใช้ค่าความเข้มแสงที่ 255 301 และ 340 W/m^2 และจำลองฝุ่นที่ต่างชนิดกัน โดยจะใช้ แป้งฝุ่น ฝุ่นโคลน และแผ่นพลาสติกใสในการจำลองชั้นของฝุ่นที่ตกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการทดสอบสรุปได้ว่า แป้งฝุ่นและฝุ่นโคลนทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้น้อยลงสูงสุด 18% นอกจากนั้น Athar H. et al. [2] ได้ศึกษาผลกระทบของฝุ่นที่เกาะบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งทดสอบในความเข้มแสงที่ 650 750 และ 850 W/m^2 ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 60 W ซึ่งทดสอบโดยใช้ตัวอย่างฝุ่นที่ต่างกัน อาทิเช่น ทราย ขี้เถ้า ผงแกลบ ผงชอล์ก และ ผงอิฐ ที่ความหนาแน่นของฝุ่นที่แตกต่างกันในแต่ละชนิด จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงอย่างน้อย 2.50% และผลิตไฟฟ้าลดลงสูงสุดถึง 60% ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด น้ำหนัก ของตัวอย่างฝุ่นที่ทดสอบ Pudnoi N. และ Inthanivet A. [3] ได้ศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะจริง โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 55 W มีพื้นที่รับแสง 0.335 m^2 โดยตั้งทิ้งไว้ให้ฝุ่นละอองตกลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเวลา 60 วัน โดยการเก็บข้อมูลจะใช้เครื่องจำลองแสงเทียมจำลองแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 800 W/m^2 จากการศึกษาพบว่าใน 60 วัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลง 7.30 W ใน 60 วัน คิดเป็น 7.30% เมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนทดสอบ

ในขณะเดียวกันอุณหภูมิมีส่วนที่ทำให้ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง Ameila A.R. et al. [4] ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 100 W จากการศึกษาพบว่า จากการจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในช่วงอุณหภูมิการทำงานพบว่าเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้น 10°C กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะลดลง 5% Davud M.T. et al. [5] ได้ศึกษาพฤติกรรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำงานในอุณหภูมิสูงโดยศึกษาค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าเช่น กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) ค่าแรงดันวงจรเปิด (V_{oc}) ค่ากระแสลัดวงจร (I_{sc}) จากการศึกษาพบว่า ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ค่าแรงดันวงจรเปิดลดลง ในทางกลับกันค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยค่าแรงดันวงจรเปิดของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง $2\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ จึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลง $0.005\text{ mW}/^{\circ}\text{C}$ ทั้งนี้ค่าที่ลดลงอันเนื่องจากอุณหภูมิขึ้นอยู่กับชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากปัญหาที่พบจากผลของฝุ่นที่สะสมบนผิวหน้า และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สูงระหว่างการใช้งานจึงทำให้มีแนวคิดในการสร้างเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์อัตโนมัติโดยใช้แปรงร่วมกับน้ำสะอาดเพื่อที่จะลดปริมาณฝุ่น และลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างการใช้งาน โดยในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างพร้อมกับจัดทำโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องทำความสะอาดแผง จากนั้นจะทดสอบการทำงานของเครื่องที่ได้พัฒนามาขึ้นกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานตามสภาพแวดล้อมจริงต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อสร้างและทดสอบการทำงานของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ
- (2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนและหลังทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาด

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองและอุณหภูมิที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีผลทำให้การผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง จึงได้ศึกษาวิธีการทำความสะอาดด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

K.A. Moharram et al. [6] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้น้ำร่วมกับสารลดแรงตึงผิวโดยใช้ระบบน้ำที่ไม่มีแรงดัน ซึ่งสถานที่ทดสอบเป็นส่วนหนึ่งของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 14 kW ที่ติดตั้งในมหาวิทยาลัยเยอรมันในกรุงโคโร (GUC) ประเทศอียิปต์ ซึ่งจะทดลองโดยมีอยู่ 3 ส่วน คือ แผงที่ไม่ได้ทำการล้าง แผงที่ล้างด้วยน้ำและแผงที่ล้างด้วยน้ำผสมกับสารลดแรงตึงผิว และทำการทดลองโดยจะทำการล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกวัน วันละ 10 นาที ทดลองจำนวน 45 วัน ในช่วงเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ของปี 2012 ซึ่งพบว่า การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ระบบน้ำผ่านหัวฉีดที่ถูกผสมด้วยส่วนผสมของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งจะช่วยลดปริมาณน้ำที่จำเป็นสำหรับการทำความสะอาดรวมถึงพลังงานสำหรับการฉีดพ่นน้ำและทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คงที่

Ali Omar Mohamed et al. [7] ได้ทำการศึกษาผลของฝุ่นละอองที่มีผลต่อสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในการศึกษานี้จะทำการล้างทำความสะอาดแผงด้วยน้ำ 5 L ผสมกับผงซักฟอกฉีดลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำความสะอาดสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคมเพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะทำการวัดกระแสไฟฟ้าสูงสุด และ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด ด้วยมัลติมิเตอร์ ทั้งก่อนและหลัง การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Polycrystalline silicon 4 แผง พบว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 2–2.5%

S. Krauter. [8] ได้ทำการศึกษาพัฒนาวิธีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ฟิล์มน้ำผ่านกระจกหน้าพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยวิธีการศึกษาจะใช้ระบบสูบน้ำโดยใช้ปั้มน้ำในการบังคับการไหลของน้ำที่ผ่านหัวฉีดปล่อยน้ำหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้อัตราไหลของน้ำ 2 L/min และติดตั้งหัวฉีดทั้งหมด 12 หัวที่ด้านบนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งระบบน้ำที่ไหลผ่านหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น 10.3% ซึ่งผลที่ได้ตามมาก็คือ อุณหภูมิของแผงที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ซึ่งอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง เหลือ 22 °C และได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสุทธิ 8-9% โดยคิดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับปั้มน้ำ

M. Vaghani et al. [9] ได้ทำการสร้างระบบควบคุมระบบล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านแอปพลิเคชันบนมือถือ โดยระบบการทำความสะอาดจะมีระบบฉีดน้ำและยางปิดน้ำฝนในการรีดน้ำ และมีบอร์ด NodeMCU ในการควบคุมรีเลย์ในการควบคุมการทำงานของปั้มน้ำและมอเตอร์ปิดน้ำฝน ซึ่งระบบการล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ผ่านสวิตช์บนแอปพลิเคชันบนมือถือผ่านการเชื่อมต่อ Wi-Fi ซึ่งทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น 32% เมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สกปรก

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในขั้นตอนนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อศึกษาและวิธีการสร้างเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้

4.1 ส่วนประกอบของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ส่วนประกอบของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้อุปกรณ์ตามรายละเอียดในตารางที่ 1 ซึ่งจะใช้บอร์ด NodeMCU ESP32 ในการควบคุมการทำงานของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเชื่อมต่อกับรีเลย์เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์และปั้มน้ำและทำการเขียนชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของเครื่องผ่านเซนเซอร์ ZX-03 Reflector ซึ่งใช้หลักการแยกสีขาวและดำมาเป็นหลักใช้ในการวัดปริมาณฝุ่นละอองและวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

อุปกรณ์	จำนวน	รายละเอียด
1. บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์	1	- ช็อรุ่น ESP32-WROOM-32 32 bit MCU & 2.4GHz Wi-Fi & BT
2. Relay 4 channel	1	- 4 channel relay - AC250V 10A หรือ DC 30V 10
3. มอเตอร์กระแสตรง	2	- 12VDC 36W 110 RPM - 12VDC150W 3350 RPM
4. Motor speed control	2	- 12VDC 10A
5. ปั้มน้ำ 12V	1	- 12VDC - อัตราไหล 2 L/min

จากการออกแบบ สร้างและทดสอบเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์อัตโนมัติโดยเครื่องจะออกแบบในการใช้งานเพื่อทำการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ โดยส่วนประกอบของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย แปรงหมุนทำความสะอาด ซึ่งทำจากขนไนลอน ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีในการป้องกันการขูดขีด แข็งแรงและยืดหยุ่น ทนต่อการเสียรูป ซึ่งเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นแปรงทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมีหัวฉีดน้ำในการฉีดน้ำทำความสะอาดแผงทั้งหมด 7 จุดเพื่อให้มีการฉีดน้ำอย่างทั่วถึง แสดงดังรูปที่ 1



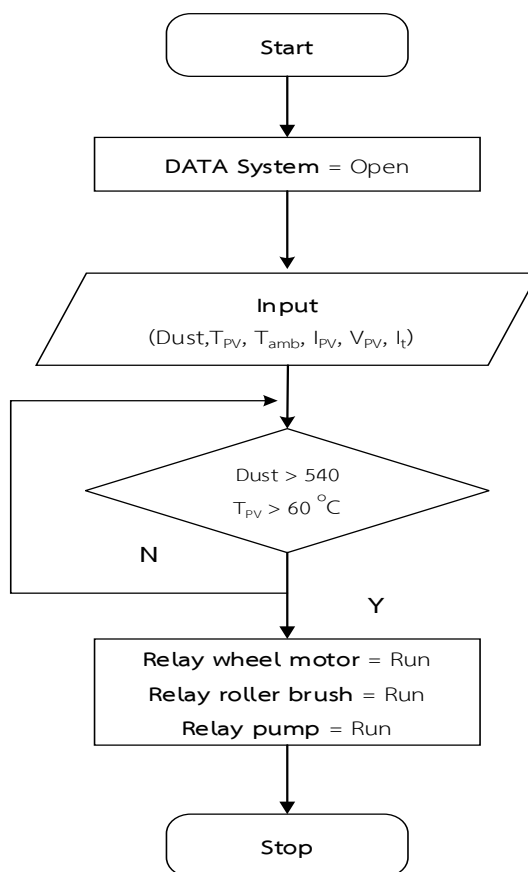
รูปที่ 1 ลักษณะของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4.2 วิธีการดำเนินงาน

การทดสอบเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะทดสอบผลของการทำความสะอาดก่อนและหลังทำความสะอาด ซึ่งจะทดสอบด้วยวิธีการล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้น้ำและแปรงหมุนร่วมกัน โดยจะทดสอบที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ (ละติจูดที่ $18^{\circ}55'30.8''\text{N}$, ลองจิจูดที่ $99^{\circ}01'28.7''\text{E}$) ในสภาวะจริงโดยจะจำลองฝุ่นละอองบนหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีความหนาแน่นของฝุ่นต่อพื้นที่เท่ากับ 30 g/m^2 ลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 140 W จำนวน 2 แผง รวมเป็นพื้นที่รับแสง 2.025 m^2 (รูปที่ 2) โดยเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำตามเงื่อนไขแสดงดังรูปที่ 3 โดยเครื่องจะอ่านค่าทุก 5 นาที และจะทำงานเมื่อมีปริมาณฝุ่นหน้าแผงเท่ากับ 30 g/m^2 หรือมีอุณหภูมิหน้าแผงมากกว่าหรือเท่ากับ 60°C



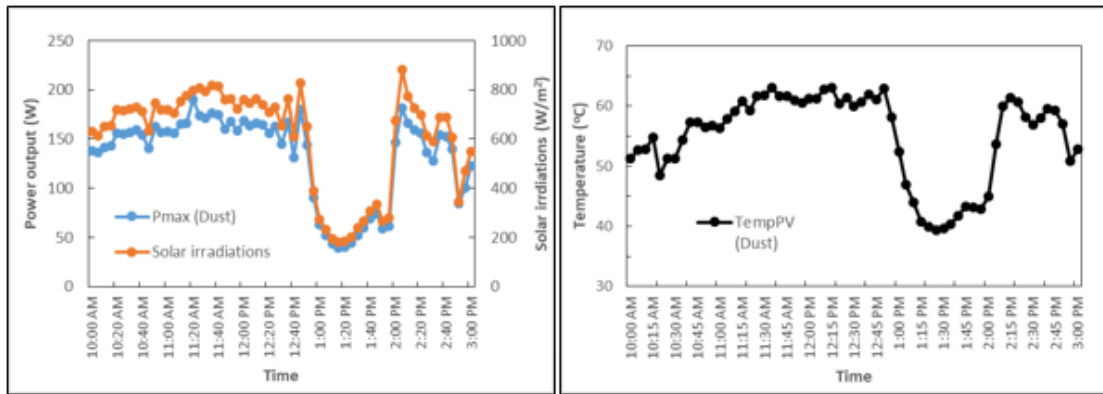
รูปที่ 2 การเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 3 เงื่อนไขการทำงานของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

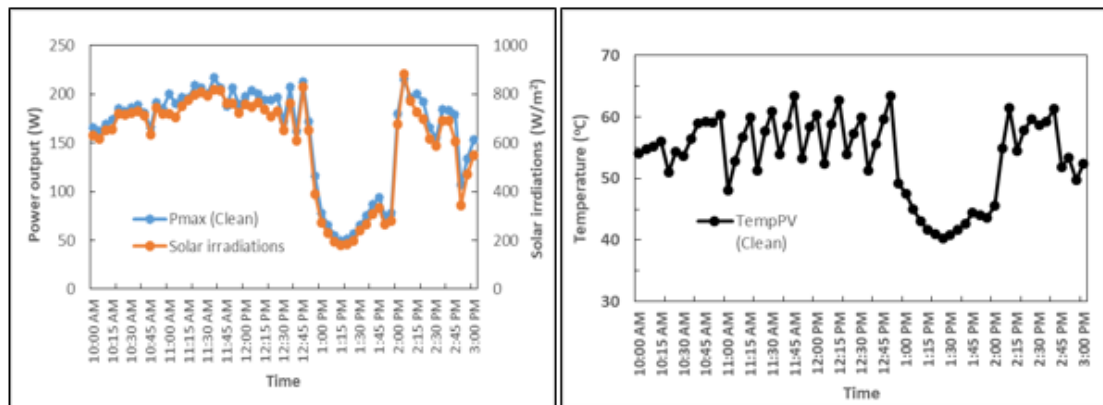
5. ผลและอภิปรายผลการทดสอบ

จากการออกแบบและสร้างเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เสร็จสิ้นแล้ว จึงทำการทดสอบเครื่องด้วยวิธีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้แปรงร่วมกับน้ำ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 140 W 2 แผง มีกำลังไฟฟ้ารวม 280 W รูปที่ 4 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการทดสอบโดยใช้เครื่องทำความสะอาดแผงอัตโนมัติ จากรูป (ก) และ (ค) พบว่าหลังจากการทำความสะอาดกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยสามารถเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งวันได้เท่ากับ 18.54 W และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิหน้าแผง พบว่า แผงที่ไม่ได้ทำความสะอาดเลย จะมีอุณหภูมิหน้าแผงเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ (รูป 4 (ข)) แต่เมื่อมีการใช้เครื่องทำความสะอาดแผง พบว่านอกจากจะสามารถลดปริมาณฝุ่นหน้าแผงได้แล้ว ยังสามารถลดอุณหภูมิแผงได้อีกด้วย (รูป 4 (ง)) โดยการทำความสะอาดแผงด้วยแปรงและน้ำสามารถลดอุณหภูมิแผงในแต่ละรอบได้ประมาณ 14.3 °C และแผงจะถูกควบคุมไม่ให้มีอุณหภูมิสะสมเกิน 60 °C จากการทดสอบจะพบว่าการทำความสะอาดแผงจะส่งผลคืออยู่ 2 อย่างคือสามารถลดปริมาณฝุ่น และอุณหภูมิหน้าแผงได้



(ก)

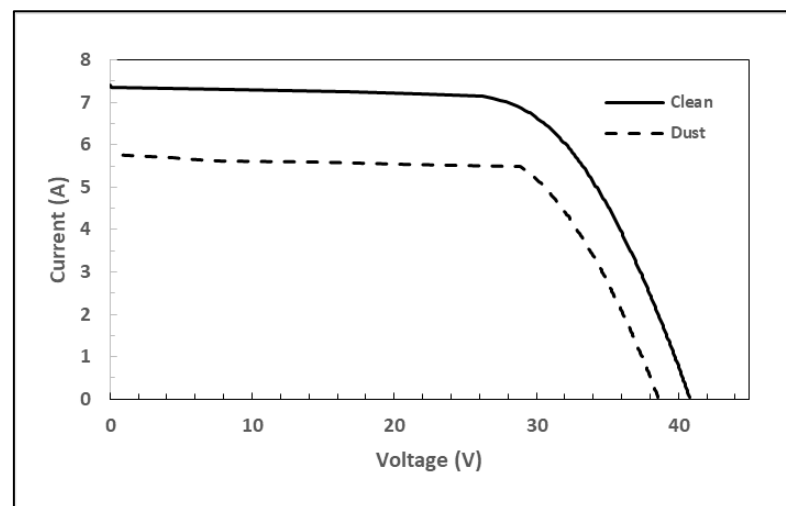
(ข)



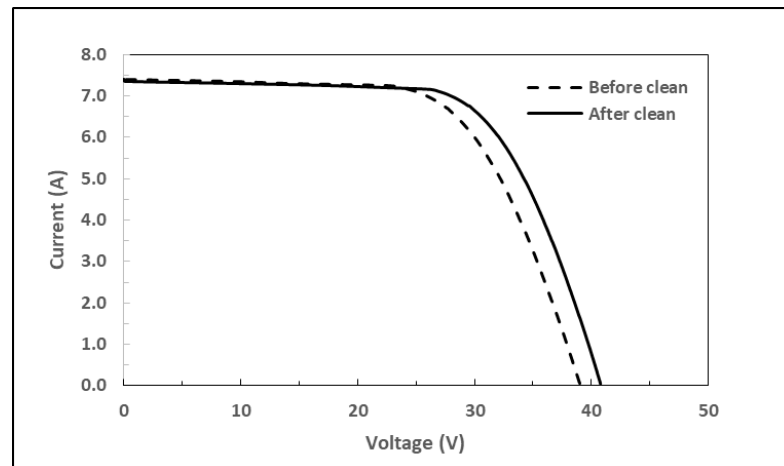
(ค)

(ง)

รูปที่ 4 (ก) กำลังไฟฟ้า และ (ข) อุณหภูมิของแผงที่มีฝุ่นปกคลุม (ค) กำลังไฟฟ้า และ (ง) อุณหภูมิของแผงที่ไม่มีฝุ่นปกคลุม



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีและไม่มีฝุ่นเกาะหน้าแผง



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สะอาดก่อนและหลังการลดอุณหภูมิด้วยเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์อัตโนมัติ

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มี และไม่มีฝุ่น จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะบดบังแสงอาทิตย์ที่ส่งมายังเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า จึงมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ดังนั้นแผงที่มีฝุ่นจะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สะอาด จากความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบพบว่ากำลังไฟฟ้าของแผงที่สะอาดจะมีค่าเท่ากับ 199.8 W ซึ่งมากกว่าแผงที่มีฝุ่นเกาะประมาณ 41.8 W หรือ มากกว่า 26.46 %

จากรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สะอาด พฤติกรรมทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของก่อนและหลังทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงที่เก็บข้อมูล โดยที่ให้ความเข้มแสงมีค่าใกล้เคียงกัน พบว่าหลังการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะได้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 27.69 V ไปเป็น 29.55 V หรือเพิ่มขึ้น 6.72% เมื่อเทียบกับก่อนล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเนื่องจากการทดสอบนี้ได้ใช้แผงสะอาดทั้งก่อนและหลังล้าง ทำให้ผลการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้านี้จะมาจากอุณหภูมิของแผงที่ลดลงอย่างเดียว ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลดลงอันเป็นผลมาจากการล้างแผงจะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงเพิ่มขึ้น และทำให้แผงสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มมากขึ้นด้วย

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน 1 วัน โดยเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเครื่องทำความสะอาดและไม่ติดตั้ง พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเครื่องล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีฝุ่นละอองบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความหนาแน่นของฝุ่น 30 g/m² พบว่าใน 1 วันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเครื่องทำความสะอาดแผง สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 814.01 Wh/day และเมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีฝุ่น พบว่าผลิตได้ 673.97 Wh/day จะเห็นได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สะอาดและควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ไม่เกิน 60 °C จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าในแต่ละวันเพิ่มขึ้นประมาณ 17.2% และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเครื่องล้างแผงจะเพิ่มขึ้นเป็น 13.26% หรือเพิ่มขึ้น 2.38% เมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สกปรก

6. สรุปผลการทดสอบ

จากการศึกษาการทำงานของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แปรงร่วมกับน้ำ พบว่า การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแปรงร่วมกับน้ำ สามารถลดปริมาณฝุ่นเกาะหน้าแผง และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี จากการทดสอบการล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแปรงหมุนร่วมกับน้ำ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 140 W จำนวน 2 แผง รวมเป็น 280 W พบว่าสามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด 41.8 W เมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีฝุ่น โดยการล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในส่วนของการลดอุณหภูมิสามารถลดอุณหภูมิการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด 14.3 °C และผลการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งวัน พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเครื่องทำความสะอาดผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สกปรก 140.05 Wh/day ซึ่งคิดเป็น 17.20 % เมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สกปรก และทำให้ประสิทธิภาพรวมในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 2.38 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน

7. ข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในงานวิจัยนี้เป็นเพียงการทดสอบการทำงานของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เบื้องต้นเท่านั้น ซึ่งผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ได้ทำการทดสอบการจำลองฝุ่นเท่านั้นในการทดสอบจึงจำเป็นต้องทดสอบทุกสภาวะอากาศและฝุ่นจริง จึงทำให้การทดสอบแม่นยำมากขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณการสนับสนุนของทุนอุดหนุนงานวิจัยจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตศึกษาทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษาวิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้และขอบคุณคณะอาจารย์ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ในการให้คำแนะนำในการวิจัยในครั้งนี้และขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Shaharin A.S., et al. (2011). Effect of Dust on the Performance of PV Panels. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 5(10), 2021-2026.
- [2] Hussain A., et al. (2017). And Experimental Study on Effect of Dust on Power Loss in Solar Photovoltaic Module. *Renewables*, 4(9). <https://doi.org/10.1186/s40807-017-0043-y>.
- [3] นาวัน พุดน้อย และ อัครินทร์ อินทนิเวศน์. (2021). การศึกษาผลกระทบของฝุ่นที่มีผลต่อประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์. *วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน*, 2(1), 21-27.
- [4] Amelia A. R. et al. (2016). Investigation of the Effect Temperature on Photovoltaic (PV) Panel Output Performance. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 6(5): 682-688.

- [5] Davud M. T., et al. (2013). The Effect of Temperature on Electrical Parameters of Solar Cell. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2(12), 6404-6407.
- [6] Moharram K., et al. (2013). Influence of cleaning using water and surfactants on the performance of photovoltaic panels. *Energy Conversion and Management*, 68, 266-272.
- [7] Mohamed, A.O. and A. Hasan. (2012). Effect of dust accumulation on performance of photovoltaic solar modules in Sahara environment. *Journal of Basic and applied scientific Research*, 2(11), 11030-11036.
- [8] Krauter S. (2004). Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels. *Solar energy materials and solar cells*, 82(1-2), 131-137.
- [9] Rutvij P. K. et al. (2018). Automatic Solar Panel Cleaning System. *13th International Conference on Recent Trends in Engineering Science and Management*, 1246-1256.

การศึกษาประสิทธิภาพเครื่องกังหันก๊าซจากการลดอุณหภูมิอากาศทางเข้า

A STUDY OF A GAS TURBINE EFFICIENCY DUE TO A REDUCTION OF THE INLET AIR TEMPERATURE

เผชิญ จันทรสา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: pachern.ja@spu.ac.th

พัลลภ ศรีณยโชติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: phanlop.sar@spumail.net

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาผลของการลดอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องกังหันก๊าซ ระบบผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ที่มีต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าและประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า เนื่องจากกรณีศึกษาอุณหภูมิของอากาศเข้าเครื่องกังหันก๊าซ พบว่าอุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น 1°C ส่งผลต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าและอัตราความร้อนลดลงเท่ากับ 1% และ 0.5% ตามลำดับ และจากการศึกษาระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำ, แบบพ่นละอองน้ำ, แบบใช้เครื่องทำความเย็นด้วยไฟฟ้า และแบบระบบผสมผสาน พบว่าทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.5%, 8%, 20% และ 15.3% ตามลำดับ ประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.55%, 1.5%, 1.2% และ 3.7% ตามลำดับ ระบบการทำความเย็นด้วยไฟฟ้า ช่วยเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าได้สูงกว่าระบบอื่น สำหรับการลดอุณหภูมิอากาศด้วยระบบทำความเย็นแบบผสมผสานช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีกว่า สำหรับการลดอุณหภูมิแบบระเหยน้ำและการพ่นละออง เหมาะสมกับสภาพอากาศร้อนและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ การพิจารณาการเลือกใช้ระบบการลดอุณหภูมิอากาศขึ้นอยู่กับความต้องการกำลังการผลิตไฟฟ้า การติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบเดียวกันของเครื่องกังหันก๊าซต่างชุดกัน ทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นไม่เท่ากัน เนื่องจากขึ้นอยู่กับสถานะอากาศ และขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกังหันก๊าซ

คำสำคัญ: ระบบแบบระเหยน้ำ, ระบบพ่นละอองน้ำ, ระบบทำความเย็นด้วยไฟฟ้า, ระบบแบบร่วม

ABSTRACT

This paper presents a study an effect of reducing the inlet air temperature of the gas turbine engine of a co-generation power plant. Since, the air temperature increases 1°C , the power output and the heat rate decreased by 1% and 0.5%, respectively. And, the study also shows that the process of air temperature reduction with the evaporative cooling, fogging spray, electric chiller and the hybrid cooling system can increase the electrical capacity of 1.5%, 8%, 20% and 15.3%, respectively. The efficiency of the power plant also increased by 1.55%, 1.5%, 1.2% and 3.7% respectively. The electric chiller system increases the power output higher than other

systems. Furthermore, it can be found that hybrid cooling system has the highest efficiency in comparison to other systems. The inlet air temperature reduction of evaporative cooling and water spray are suitable for a hot climate with low relative humidity conditions. The selection of a cooling system for reducing the inlet air temperature depends on the power demand. Installing the same cooling system to a difference gas turbine does not get the same result due to the ambient condition and the gas turbine capacity.

Keywords: Evaporative Cooling, Fogging Spray, Electrical Chiller, Hybrid Cooling System

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการใช้ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าแบบเครื่องกังหันก๊าซกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเครื่องกังหันก๊าซสามารถนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมได้ ซึ่งประเทศไทยมีโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมใช้กันแพร่หลาย และเป็นโรงไฟฟ้าที่มีอยู่ในประเทศไทยมากที่สุด แต่เครื่องกังหันก๊าซก็ยังมีข้อด้อยเรื่องประสิทธิภาพ เมื่อนำมาใช้กับประเทศที่มีภูมิอากาศร้อน จากงานวิจัยของรณนัท นนทไพรวัดย์ และแคลเลีย บัทมพรหม, 2560 พบว่าอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมสูงขึ้น ส่งผลให้เครื่องกังหันก๊าซมีประสิทธิภาพลดลง และทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าลดลงเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะช่วงฤดูร้อนที่มีอัตราการใช้ไฟฟ้าสูงสุด จึงเป็นปัญหาหลักของโรงไฟฟ้า ทำให้การผลิตกระแสไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ จากการศึกษาของงานวิจัยของ R. K. Bhargava, 2017 พบว่าอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องกังหันก๊าซที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 °C ส่งผลให้เครื่องกังหันก๊าซมีกำลังการผลิตไฟฟ้าลดลง 0.5-0.9 % และทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ Mahmood Farzaneh-Gord และ Mahdi Deymi-Dashtebayaz, 2011 พบว่าอุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น 1 K ส่งผลต่อประสิทธิภาพและกำลังการผลิตไฟฟ้าลดลง 0.18% และ 0.6% ตามลำดับ จากการศึกษาของ Mohammad Ghanaatpisheh1 และ Mehdi Pakaein, 2019 พบว่าการลดอุณหภูมิแบบระเหยน้ำ นอกจากเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องกังหันก๊าซเท่ากับ 11 MW หรือ 14.5% ยังส่งผลให้เพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมเท่ากับ 1.2 MW หรือ 6.2% จากงานวิจัยของ Saleh S. Baakeem, et al., 2018 อธิบายว่าอุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องกังหันก๊าซคือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเข้าเครื่องกังหันก๊าซลดลงประมาณ 0.36 % และส่งผลให้กังหันผลิตงานลดลง งานวิจัยของ Anoop Kumar Shukla, 2018 ได้ทำการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น 10 °C กำลังการผลิตไฟฟ้าจะลดลงในช่วง 7-11% จากทั้งหมดของงานวิจัยที่กล่าวมา ระบบลดอุณหภูมิของอากาศทางเข้าเครื่องกังหันก๊าซมีความสำคัญต่อโรงไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับโรงไฟฟ้าที่สนใจในการติดตั้งระบบการลดอุณหภูมิ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและกำลังการผลิตของเครื่องกังหันก๊าซ

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาระบบการลดอุณหภูมิทางเข้าของเครื่องกังหันก๊าซ

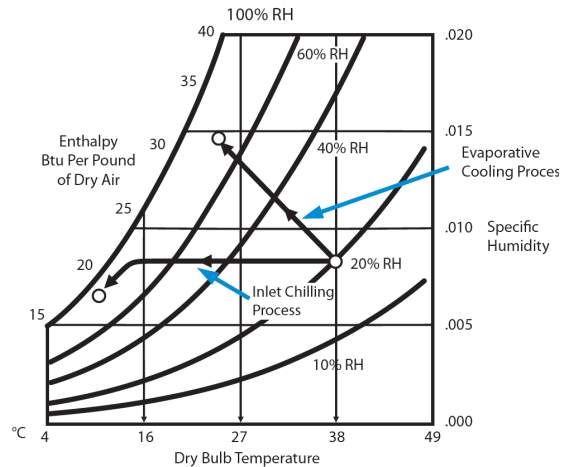
2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกังหันก๊าซ เมื่อมีการใช้ระบบการลดอุณหภูมิแบบระเหยน้ำ แบบพ่นละอองน้ำ แบบการทำความเย็นด้วยไฟฟ้า และแบบระบบผสมผสาน

3. ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษากระบวนการลดอุณหภูมิของอากาศที่เข้าเครื่องกังหันก๊าซดังนี้

3.1 ทฤษฎีการลดอุณหภูมิ และวิธีการลดอุณหภูมิของอากาศ

3.1.1 ทฤษฎีการลดอุณหภูมิของอากาศ การลดอุณหภูมิของอากาศ สามารถอธิบายในรูปของกระบวนการลดอุณหภูมิตาม Psychrometric chart จากรูปที่ 3.1 กระบวนการลดอุณหภูมิตาม Psychrometric chart อธิบายดังนี้



รูปที่ 3.1 การลดอุณหภูมิตามกระบวนการ Psychrometric chart

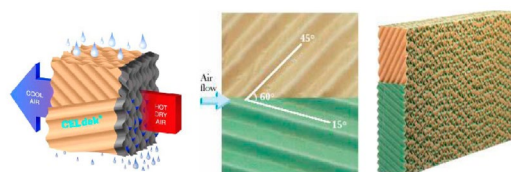
1) การลดอุณหภูมิแบบระเหยน้ำ และพ่นละอองน้ำ เป็นกระบวนการเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ ค่าเอนทัลปีของอากาศคงที่ เรียกว่ากระบวนการอะเดียแบติก กระบวนการนี้ความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้น

2) การลดอุณหภูมิแบบการทำความเย็นด้วยไฟฟ้า ช่วงแรกเป็นการลดอุณหภูมิโดยความร้อนของอากาศถ่ายเทความร้อนให้กับคอยล์น้ำเย็น ช่วงนี้อัตราส่วนความชื้นของอากาศคงที่ เมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ใอน้ำในอากาศเกิดการควบแน่น ความชื้นลดลง เป็นช่วงอุณหภูมิมืดตัว สามารถลดอุณหภูมิได้ต่ำกว่าแบบการพ่นละอองน้ำและแบบระเหยน้ำ

3.1.2 วิธีการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องกังหันก๊าซ

1) แบบระเหยน้ำ (Evaporative Cooling)

การทำความเย็นแบบระเหยน้ำ อากาศร้อนไหลผ่านแผ่นระเหย และม่านน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอากาศ ความร้อนสัมผัสของอากาศเกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ มีข้อเสียคือมีความดันตกคร่อมแผ่นระเหย แผ่นระเหยมีอายุการใช้งาน 3-4 ปี ราคาของแผ่นระเหยประมาณ 50-55 US/kW



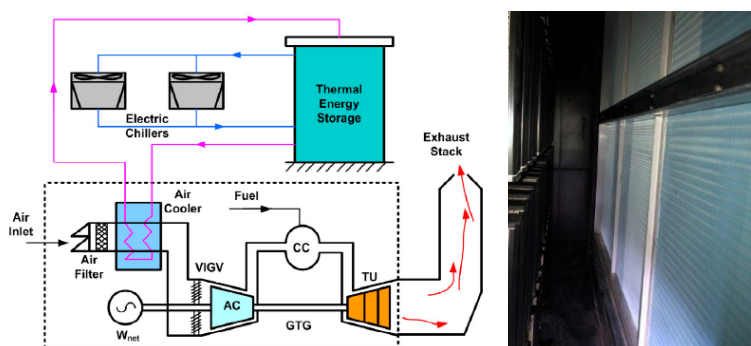
รูปที่ 3.1 แผ่นเยื่อกระดาษ (Mohammad Ghanaatpisheh1 and Mehdi Pakaein, 2019)

2) การลดอุณหภูมิแบบพ่นละอองน้ำ (Fogging System)

เป็นระบบการลดอุณหภูมิแบบพ่นละอองน้ำ โดยใช้ปั๊มน้ำแรงดันสูง มีความดันตั้งแต่ 130-200 bar ในการฉีดน้ำไหลผ่านหัวสเปรย์ (Nozzle) จะมีออริฟิซ (orifice) ขนาด 127-178 μm เมื่อน้ำพุ่งออกจากออริฟิซ ทำให้กระทบกับปลายเข็ม เพื่อให้เกิดเป็นละอองน้ำ ที่มีขนาดเล็กมาก มีขนาดระหว่าง 10-40 μm ละอองน้ำทำให้ความร้อนสัมผัสของอากาศลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิลดลง



รูปที่ 3.2 ระบบพ่นละอองน้ำ (Fogging System)



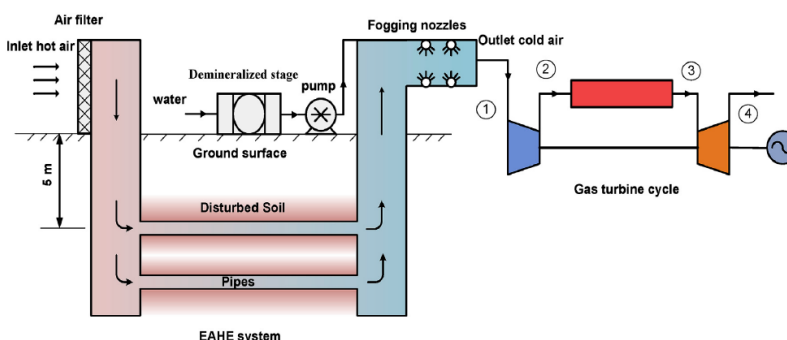
รูปที่ 3.3 การลดอุณหภูมิแบบการทำความเย็นด้วยไฟฟ้า (Muhammad Baqir Hashmi และคณะ, 2020)

3) การลดอุณหภูมิแบบการทำความเย็นด้วยไฟฟ้า (Electrical Chiller) ระบบนี้มีน้ำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นที่เครื่องระเหย เพื่อผลิตน้ำเย็น ไหลเข้าคอยล์น้ำเย็นดังรูปที่ 3.3

4) การลดอุณหภูมิระบบอื่นๆ ที่นิยมนำมาใช้ หรือเป็นเทคโนโลยีทางเลือกได้แก่

4.1) ระบบการทำความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption Chiller) ระบบนี้ข้อดีคือใช้พลังงานความร้อนเป็นหลัก และใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยมาก เหมาะกับโรงไฟฟ้าที่มีความร้อนทิ้ง

4.2) การลดอุณหภูมิแบบร่วม (Hybrid Systems) เป็นการผสมผสานระหว่าง 2 ระบบทำงานร่วมกันเช่น ระบบพ่นละอองน้ำและการทำความเย็นด้วยไฟฟ้า, ระบบการทำความเย็นด้วยพื้นดิน และแบบพ่นละอองน้ำ



รูปที่ 3.4 ระบบการทำความเย็นแบบพื้นดินและแบบพ่นละอองน้ำ (S. Barakat และ S.H. El-Emam, 2019)

5) การเปรียบเทียบการลงทุน และข้อจำกัด ดังที่กล่าวมาทั้ง 3 ระบบ ค่าใช้จ่ายในการลงทุน แสดงดังตารางที่ 3.1

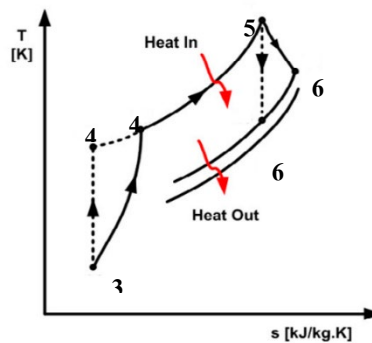
ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการลงทุนและการทำงาน (Saleh S. Baakeem, et al., 2018), (Mohammad Ameri, et al., 2007) และ (ศิลป์ชัย ศรีละวรรณ โณธาดา และสิวพล ฐิตยารักษ์, 2554)

พารามิเตอร์	แบบระเหย (Evaporative Cooling)	แบบพ่นละอองน้ำ (Fogging System)	แบบการทำความเย็นแบบไฟฟ้า (Electrical Chiller)
ความชื้นสัมพัทธ์	85-90%	90-100%	-
การลงทุน (US/kW)	45-55	35-45	240
ความดันตกคร่อม (Pa)	น้อย	น้อยมาก	ปานกลาง
ขนาดละอองน้ำ (μm)	<100	5-20	-
ระยะเวลาการติดตั้ง (วัน)	5-7	1-2	10-14

3.2 ทฤษฎีส่วนประกอบ และการทำงานของเครื่องกังหันก๊าซ

เครื่องกังหันก๊าซเป็นเครื่องจักรความร้อนประเภทหนึ่ง ซึ่งจะนำเอาพลังงานความร้อนมาแปลงเป็นพลังงานกล โดยเครื่องกังหันก๊าซจะขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า เพื่อเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า มีส่วนประกอบดังนี้

3.2.1 คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่อัดอากาศจากความดันบรรยากาศให้มีความดันสูงขึ้น อากาศก่อนไหลเข้าคอมเพรสเซอร์จะไหลผ่านตัวกรองอากาศและแผ่นระเหย ซึ่งทำให้เกิดจากความดันตกคร่อมของระบบ



รูปที่ 3.5 T-S ไดอะแกรม (Muhammad Baqir Hashmi, et al., 2020)

งานจากกังหันที่ผลิตได้ ส่วนหนึ่งสูญเสียไป ใช้ในการนำไปขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ จำนวนได้จาก

$$W_c = \dot{m}_a C_p (T_4 - T_3) \quad (1)$$

3.2.2 ห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber)

อากาศที่ถูกอัดจากคอมเพรสเซอร์ ไหลมาผสมกับเชื้อเพลิง เมื่อให้ความร้อน จะเกิดการเผาไหม้ ได้พลังงานความร้อนเพื่อขับเคลื่อน อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศและเชื้อเพลิง จำนวนจากสมการ

$$\dot{m}_{tot} = \dot{m}_a + \dot{m}_f \quad (2)$$

เมื่อ $\dot{m}_a$ คืออัตราการมวลไหลของอากาศ (kg/s) และ $\dot{m}_f$ คืออัตราการมวลไหลของเชื้อเพลิง (kg/s)
พลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้คำนวณได้จาก

$$Q_{in} = \dot{m}_f LHV \quad (3)$$

เมื่อ Q_{in} คือ อัตราความร้อนในการเผาไหม้ (W) และ LHV คือค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง (J/kg)

3.2.3 กังหัน (Turbine)

ความร้อนจากห้องเผาไหม้จะไหลผ่านกังหัน เพื่อเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล โดยกังหันต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า งานของกังหันที่ผลิตได้ คำนวณได้จาก

$$W_T = \dot{m}_{tot} C_{p_g}(T_6 - T_5) \quad (4)$$

งานสุทธิของวัฏจักรกังหันก๊าซ คำนวณได้จาก

$$W_{net} = W_t - W_c \quad (5)$$

ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันก๊าซ คำนวณได้จาก

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{\dot{m}_f LHV} \quad (6)$$

เมื่อ η_{th} คือประสิทธิภาพของเครื่องกังหันก๊าซ และ W_{net} คืองานสุทธิที่ผลิตได้ (W)

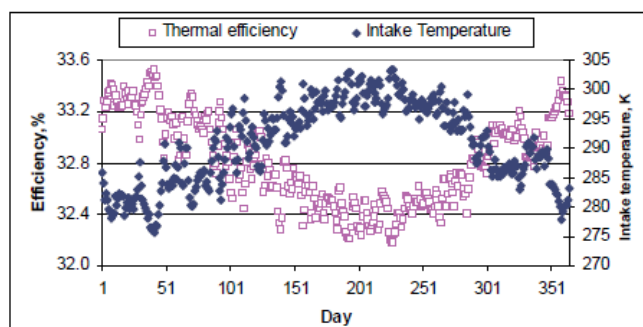
สำหรับโรงไฟฟ้าส่วนมาก คำนวณประสิทธิภาพของเครื่องกังหันก๊าซในรูปอัตราความร้อน(Heat Rate) หน่วยของอัตราความร้อนที่นิยมใช้กันคือ kJ/kWh และ Btu/kWh อัตราความร้อนคำนวณได้จาก

$$HR = \frac{1}{\eta_{th}} = \frac{\dot{m}_f LHV}{W_{net}} \quad (7)$$

4. ผลการศึกษา

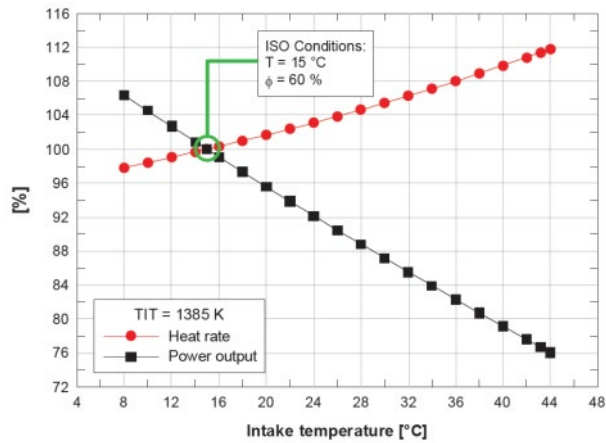
4.1 ผลการศึกษาเมื่อไม่มีระบบการลดอุณหภูมิของอากาศเข้าเครื่องกังหันก๊าซ

จากงานวิจัยของ Q.M. Jaber, et al., 2007 ได้ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิ ช่วงเวลา 1 ปี และคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกังหันก๊าซยี่ห้อ GE Model PG5341 กำลังการผลิต 20 MW ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ประเทศจอร์แดน จากรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องกังหันก๊าซลดลง อุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 35 °C ช่วงที่มีอุณหภูมิของอากาศสูง ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม (ช่วงการเก็บข้อมูล 150-300 วัน)



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพเครื่องกังหันก๊าซที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของอากาศ ช่วงเวลา 1 ปี

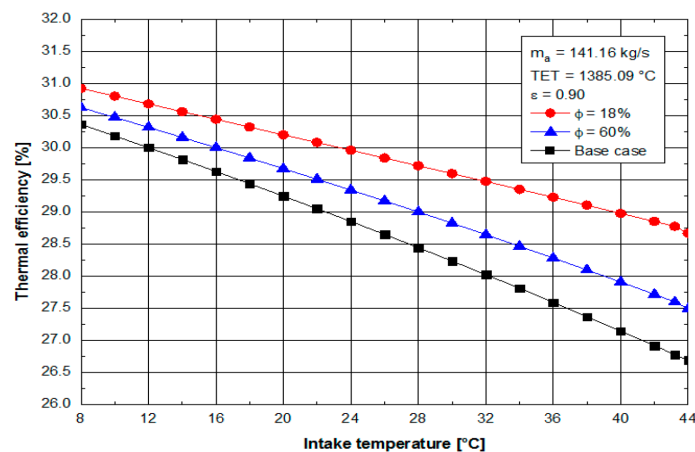
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิของอากาศ กับเปอร์เซ็นต์เปลี่ยนแปลงทางประสิทธิภาพและอัตราความร้อนของเครื่องกังหันก๊าซ จากงานวิจัยของ Ana Paula, et al., 2012 ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพและอัตราความร้อน โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง และอัตราความร้อนเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.2 อุณหภูมิของอากาศเปลี่ยนแปลง 1°C ส่งผลต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าและอัตราความร้อนลดลงเท่ากับ 1% และ 0.5% ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตไฟฟ้าและอัตราความร้อน กับอุณหภูมิของอากาศ

4.2 ผลการศึกษาการลดอุณหภูมิแบบระเหย

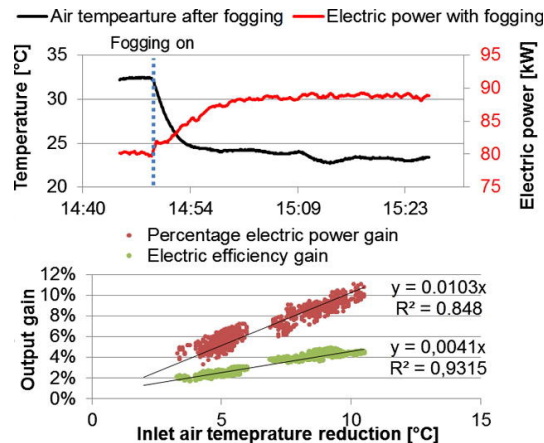
Ana Paula, et al., 2012 ได้ศึกษาการลดอุณหภูมิอากาศแบบแผ่นระเหยน้ำ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการทำนายประสิทธิภาพและกำลังการผลิตไฟฟ้า การทำนาย 3 กรณีคือแบบแรก Base case คือไม่มีระบบการลดอุณหภูมิ แบบที่สองคือความชื้นสัมพัทธ์ก่อนพ่นละอองน้ำ 18%, 34°C แบบที่สามความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนพ่นละอองน้ำคือ 60%, 34°C พบว่าถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 18% จะมีประสิทธิภาพและกำลังการผลิตไฟฟ้าดีที่สุด เนื่องจากอากาศสามารถรับความชื้นได้มากและส่งผลให้อุณหภูมิลดลงมากที่สุด ทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าและประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเท่ากับ 8.4% และ 5.3% ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิของอากาศ กับประสิทธิภาพของเครื่องกังหันก๊าซ

4.3 ผลการทดลองการลดอุณหภูมิแบบพ่นละอองน้ำ

Q.M. Jaber, et al., 2007 ได้ทดลองการลดอุณหภูมิแบบพ่นละอองน้ำ เพื่อลดอุณหภูมิเข้าเครื่องกังหันก๊าซขนาดเล็ก ที่มีกำลังการผลิต 100 kW จากรูปที่ 4.4 พบว่าอุณหภูมิทางเข้าลดลงจาก 33 °C, RH 45% เหลือ 22-23.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 90% กำลังการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 9 kW หรือประมาณ 8 % ค่าประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นต่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 1.5%, 1.03 kW/°C และ 0.41% /°C ตามลำดับ



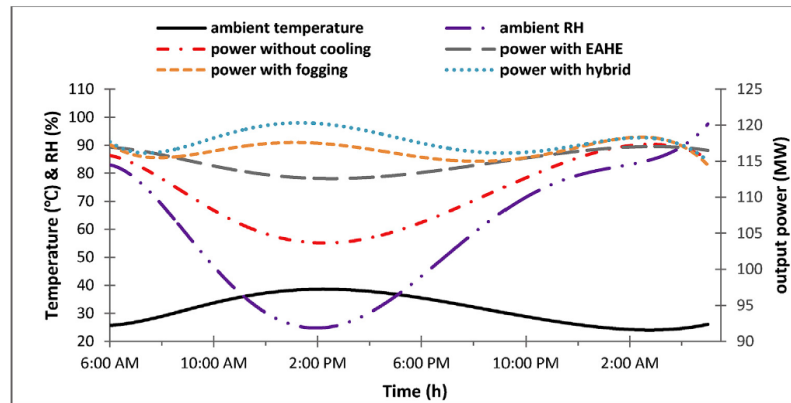
รูปที่ 4.4 อุณหภูมิที่ลดลงโดยพ่นละอองน้ำกับกำลังการผลิตของเครื่องกังหันก๊าซ

4.4 ผลการทดลองการทำความเย็นแบบไฟฟ้า

รัฐนันทน์ นนท์ไพรวัลย์ และ แคทลียา ปัทมพรหม, 2560 ได้ศึกษาการลดอุณหภูมิอากาศด้วยเครื่องทำความเย็นด้วยไฟฟ้า เครื่องกังหันก๊าซ รุ่น V94.3A มีกำลังการผลิตไฟฟ้า 292 MW โดยใช้โปรแกรมช่วยคำนวณผลการคำนวณพบว่า เครื่องกังหันก๊าซ สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้สูงสุดจาก 253 MW เป็น 286.25 MW คิดเป็น 13% ขณะที่ความเย็นด้วยไฟฟ้าต้องใช้พลังงานไฟฟ้า 5.78 MW ในช่วงฤดูร้อนมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง และมีอัตราการขายไฟฟ้าสูง การทำความเย็นด้วยไฟฟ้า สามารถเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าได้ดีกับสภาวะอากาศร้อน

4.5 ผลการทดลองการทำความเย็นแบบรวม (Hybrid)

กรณีศึกษาของ S. Barakat, et al., 2019 ดังรูปที่ 4.5 การลดอุณหภูมิแบบ hybrid เป็นการลดอุณหภูมิอากาศให้ไหลผ่านท่อฝังใต้พื้นดิน ร่วมกับการพ่นละอองน้ำ พบว่าการลดอุณหภูมิของอากาศได้ดีกว่า แบบพ่นละอองน้ำอย่างเดียว เนื่องจากการให้อากาศไหลผ่านชั้นใต้ดิน ที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอากาศ ส่งผลให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง และอุณหภูมิจะลดลงอีก หลังจากพ่นด้วยละอองน้ำ การลดอุณหภูมิแบบรวมทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 15.3% เมื่อเปรียบเทียบกับพ่นละอองน้ำ และแบบใช้ใต้พื้นดิน (Earth-Air Heat Exchanger, EAHE) คือ 13.4% และ 9.78% ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของระบบแบบรวมเท่ากับ 3.7% เมื่อเปรียบเทียบกับระบบพ่นละอองน้ำและแบบใช้พื้นดินเท่ากับ 2.9% และ 2.5% ตามลำดับ และการใช้ปริมาณน้ำของระบบรวมใช้น้อยกว่า 50% เมื่อเปรียบเทียบกับระบบพ่นละอองน้ำ สำหรับอัตราการใช้น้ำสูงสุดของระบบพ่นละอองน้ำและระบบรวมเท่ากับ 1.5 kg/s และ 2.6 kg/s ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 เวลา กับ ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันก๊าซ และกำลังการผลิตไฟฟ้า

5. สรุป

จากการศึกษาการลดอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องกังหันก๊าซ สรุปดังนี้

5.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีผลต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกังหันก๊าซ

5.2 ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันก๊าซเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของอากาศลดลง

5.3 โรงไฟฟ้าที่มีความร้อนทิ้ง จะเหมาะกับการเลือกเทคโนโลยีการลดอุณหภูมิแบบการทำความเย็นดูดซึมมาใช้ เนื่องจากใช้พลังงานความร้อนเป็นหลักและใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย

5.4 การติดตั้งระบบการลดอุณหภูมิ การเลือกเทคโนโลยีที่นำมาใช้ ขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะเพิ่มกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า ถ้าเพิ่มกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าเกินกว่าความต้องการ ส่งผลให้สูญเสียเงินในการลงทุน และควรจะต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุน และระยะเวลาคืนทุน เพื่อพิจารณาในการเลือกระบบที่ติดตั้ง

6. ข้อเสนอแนะ

การเลือกระบบการลดอุณหภูมิ ต้องพิจารณากำลังการผลิตที่ต้องการเพิ่มของโรงไฟฟ้า รวมถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุน และรวมถึงระยะเวลาการคืนทุน เนื่องจากเครื่องกังหันก๊าซที่มีขนาดใหญ่ สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้มากกว่า

7. เอกสารอ้างอิง

รัฐนนท์ นนทไพบรวิทย์ และแคทลียา ปัทมพรหม. (2560). การศึกษาความเหมาะสมสำหรับการติดตั้ง อุปกรณ์ลด

อุณหภูมิอากาศด้านขาเข้าเครื่องผลิตไฟฟ้ากังหันก๊าซ เพื่อเพิ่มสมรรถนะการผลิตกระแสไฟฟ้า,

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 27(4), หน้า 99-706.

ศิลป์ชัย ศรีละวรรณ โณธาดา และศิวพล รุติยารักษ์. (2554). เทคโนโลยีการเพิ่มกำลังการผลิตเครื่องกังหันก๊าซ,

สัมมนาวิชาการผลิตไฟฟ้า กฟผ.

Ana Paula, et al. (2012). Analysis of Gas Turbine Performance with Inlet Air Cooling Techniques Applied to Brazilian Sites, *J. Aerosp. Technol. Manag* 4(3), pp 341-353.

Anoop Kumar Shukla. (2018). Performance Improvement of Simple Gas Turbine Cycle with Vapor Compression Inlet Air Cooling, *Materials Today: Proceedings* 5, pp 19172–19180.

- Mahmood Farzaneh-Gord and Mahdi Deymi-Dashtebayaz. (2011). Effect of various inlet air cooling methods on gas turbine performance, *Energy* (36), pp 1196-1205.
- Mohammad Ameri, et. al. (2007). Comparison of evaporative inlet air cooling systems to enhance the gas turbine generated power, *International Journal of Energy Research* 31, pp 1483–1503.
- Mohammad Ghanaatpisheh1 and Mehdi Pakaein. (2019). Optimization and Increase Production and Efficiency of Gas Turbines GE-F9 Using Media Evaporative Cooler in Fars Combined Cycle Power Plant, *International Journal of Smart Electrical Engineering*, 8(4), pp 157-164.
- Muhammad Baqir Hashmi, et. al. (2020). Combined effect of inlet air cooling and fouling on performance of variable geometry industrial gas turbines, *Alexandria Engineering Journal* 59, pp 1811-1821.
- Q.M. Jaber, et al. (2007). Assessment of Power Augmentation from Gas Turbine Power Plants Using Different Inlet Air Cooling Systems 1(1), *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, pp 7-15
- R. K. Bhargava. (2007). Gas Turbine Fogging Technology: A Stage of The Art Review Part-II, *Transactions of the ASME* (129), pp 454-460.
- S. Barakat, et al. (2019). Augmentation of gas turbine performance using integrated EAHE and Fogging Inlet Air Cooling System, *Energy* 189, pp 116-133.
- Saleh S. Baakeem, et al. (2018). Performance improvement of gas turbine power plants by utilizing turbine inlet air-cooling (TIAC) technologies in Riyadh, *Applied Thermal Engineering* (138), pp 417-432.