การศึกษาการป้องกันความเสียหายของตัวประจุกรองของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งด้วยรีแอคเตอร์

THE STUDY OF A DAMAGE PROTECTION OF THE FILTER CAPCITOR IN ELECTRICAL SWITCHING WELDING USING REACTOR

กฤษฎา ไทยวัฒน์ นิมิต บุญภิรมย์ และ กษิเดช ทิพย์อมรวิวัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

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

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาการป้องกันความเสียหายของตัวประจุกรองของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งด้วยรีแอคเตอร์ วัตถุประสงค์ของบทความเป็นการวิเคราะห์สาเหตุของความเสียหายของตัวประจุที่ใช้กรองแรงดันในภาควงจรเรียงกระแสของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งในขณะที่ใช้งาน โดยการวัดค่าแรงดันกระแสที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง และวัดแรงดัน กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ พบว่าเกิดกระแสกระโชกสูงที่ไหลเข้าตัวประจุขณะที่ทำการเชื่อมและหยุดเชื่อม มีผลให้เกิดแรงดันตกที่บัสไฟฟ้ากระแสตรงและแรงดันที่จ่ายเข้า การแก้ปัญหาได้ติดตั้งรีแอคเตอร์ที่สายไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายเข้าด้วยอัตราเปอร์เซ็นต์อิมพิแดนซ์เท่า 3 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองหลังติดตั้งรีแอคเตอร์ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อมตัวประจุลดลงประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ และกระแสค่ายอดที่ไหลเข้าประจุลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สามารถลดค่ากระแสกระโชกของตัวประจุได้ นอกจากนี้ยังสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่สายจ่ายเข้าด้วย

คำสำคัญ : เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง กระแสกระโชก ตัวประจุกรอง

ABSTRACT

This paper presents the study of a damage protection of filter capacitor in electrical switching welding. The main purpose is to analyze the cause of voltage filter capacitor that includes in the rectifier circuit of electrical switching welding on the process. The DC bus voltage, DC filter capacitor current, AC input voltage and AC input current are measured. As the measuring results, the inrush current that flows into the filter capacitor is shown the major cause for the capacitor damaged during operating and non-operating the welding. Moreover, the 3% impedance line reactor is installed in AC line input in order to reduce this inrush current. As the experimental results, the DC capacitor voltage and capacitor peak current reduce about 18% and 50 %, respectively. In addition, the total harmonic distortion of AC input current are also significantly reduced.

KEYWORDS: Electrical Switching Welding, Inrush Current, Filter Capacitor.

1. บทนำ

การใช้เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งมีความแพร่หลายมากในวงจรอุตสาหกรรมเนื่องจากมีขนาดเล็กสะดวกในการเคลื่อนย้ายและใช้พลังงานน้อย สามารถเชื่อมได้หลายรูปแบบ แต่ปัญหาสำคัญของเครื่องเชื่อมแบบสวิตชิ่งคือการส่งผลกระทบกับคุณภาพไฟฟ้า เช่น ฮาร์มอนิก แรงดันตก เป็นต้น นอกจากนี้จากการสำรวจด้วยการสอบถามจากผู้ใช้ ยังพบว่า เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งมักจะเกิดความชำรุดเสียหายจากการระเบิดของตัวประจุที่ใช้กรองในวงจรเรียงกระแสบ่อยครั้งมาก ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้และเกิดอุปสรรคในการทำงาน ในบทความนี้ได้นำเสนอการป้องกันการเสียหายของตัวประจุกรองในวงจรเรียงกระแส จากผลของกระแสกระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุขณะที่ตัวประจุทำการประจุและคายประจุในช่วงเวลาระหว่างการเชื่อมและหยุดเชื่อม โดยติดตั้งรีแอคเตอร์อนุกรมที่สายไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายเข้าเครื่องเชื่อมวิธีนี้เป็นวิธีง่าย ๆ เหมาะกับงานทางปฏิบัติจริงมีความคงทน มีขนาดไม่ใหญ่ และราคาถูก ได้มีการศึกษาการลดกระแสกระโชกในงานวิจัยที่ผ่านมาเช่น (In-Gun Kim, Hyun-Seok Hong, Dong-Woo Kang, Ju Lee., 2016) ศึกษาเรื่องการใช้รีแอคเตอร์ในการจำกัดกระแสกระโชกในระบบไฟฟ้ากำลังและ (D.F. Peelo ,2014) ได้ประยุกต์ใช้รีแอคเตอร์ในการป้องกันการเกิดสภาวะชั่วครู่ขณะที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ทำงาน (I.G. Kim,Liu Huaicong.s, Y.Cho, Jule. 2016) ได้ศึกษาการป้องกันกระแสกระโชกของเครื่องเชื่อมโดยใช้วิธีออกแบบหม้อแปลงให้มีการหน่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงของกระแส

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

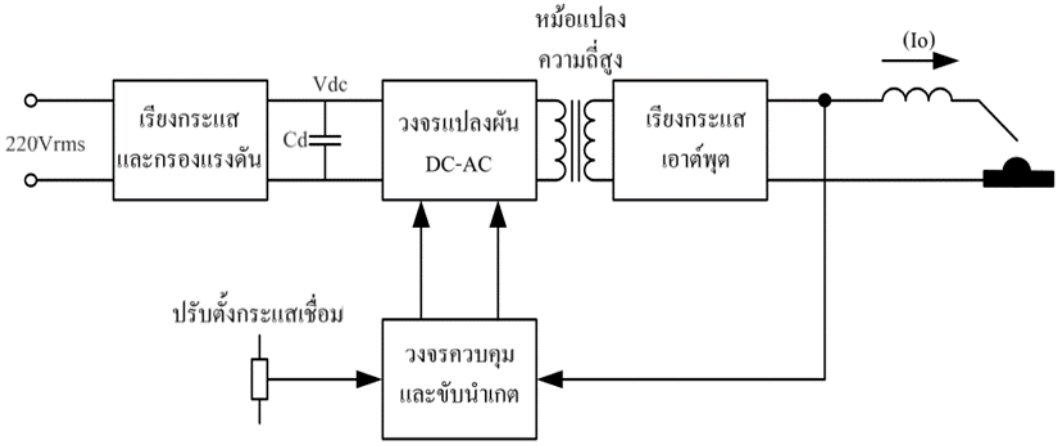
1. เพื่อศึกษาสาเหตุของการเสียหายของตัวประจุกรองที่อยู่ในวงจรเรียงกระแสของเครื่องเชื่อม
2. เพื่อวัดกระแสกระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุกรองวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายเข้าเครื่องเชื่อม
3. ออกแบบรีแอคเตอร์เพื่อลดกระแสกระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุกรอง
4. เพื่อวัดแรงดัน กระแส ที่สายจ่ายเข้า แรงดันและกระแสที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง วัดกระแสฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าตามลำดับ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขอบเขตของงานวิจัย

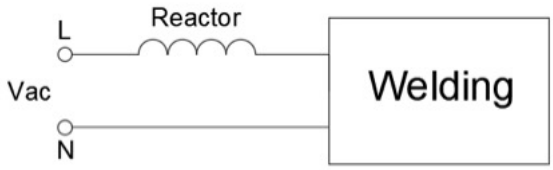
1. ศึกษาโครงสร้างของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง 1 เฟส 220 โวลท์ 300 วัตต์ เป็นเครื่องเชื่อมที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป
2. ศึกษาการเกิดกระแสกระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุกรองของบัสไฟฟ้ากระแสตรง
3. วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง กระแสกระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุกรอง แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายเข้าเครื่องเชื่อม ด้วยเครื่องมือวัดคุณภาพไฟฟ้า
4. ออกแบบและติดตั้งรีแอคเตอร์ที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้าเครื่องเชื่อมไฟฟ้า
5. เปรียบเทียบผลของการเกิดกระแสกระโชก การเกิดแรงดันตก และกระแสฮาร์มอนิก ระหว่างการไม่ติดตั้งรีแอคเตอร์ และ ติดตั้งรีแอคเตอร์

3.2 หลักการเบื้องต้นของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง



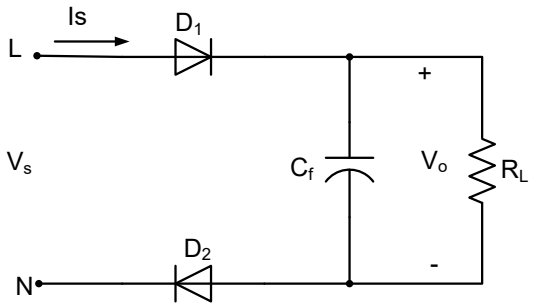
รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง

โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ 1. วงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันเป็นวงจรที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายเข้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือเรียกว่าบัสไฟฟ้ากระแสตรง จากภาพจะเป็นตัวประจุตัวกรองแรงดัน(Cd) ซึ่งทำหน้าที่กรองแรงดันให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเรียบ 2. วงจรแปลงผัน หรือวงจรอินเวอร์เตอร์ 3. ภาคเอาต์พุตด้วยหม้อแปลงความถี่สูง จากนั้นทำการกรองแรงดันอีกครั้งก่อนจะส่งไปที่หัวเชื่อมของเครื่องเชื่อม และ 4. วงจรควบคุมและขับนำเกต ปัญหาสำคัญของความเสียหายขอบตัวประจุกรอง(Cd) จากการระเบิดบ่อยครั้งเกิดจากกระแสกระโชกในตัวประจุมีค่ามากและมีการเปลี่ยนแปลงโดยรวดเร็ว เพื่อแก้ไขด้วยวิธีง่ายไม่ซับซ้อนเหมาะในทางปฏิบัติในอุตสาหกรรมจะติดตั้งรีแอคเตอร์อนุกรมกับสายไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายเข้าเครื่องเชื่อมเพื่อลดริปเปิ้ลของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและลดกระแสในตัวประจุ หรือลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เกิดขึ้นในขณะที่ตัวประจุทำการประจุและคายประจุ ขนาดรีแอคเตอร์มีเปอร์เซ็นต์อิมพิแดนซ์เท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์ตามมาตรฐาน NEMA MG-1 Part 31 สามารถลดการกระชากของไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งถ้ามากกว่านี้จะเกิดแรงดันตกคร่อนในสายไฟฟ้ากระแสสลับเกินมาตรฐาน ดังแสดงโครงสร้างการติดตั้งในรูปที่ 2

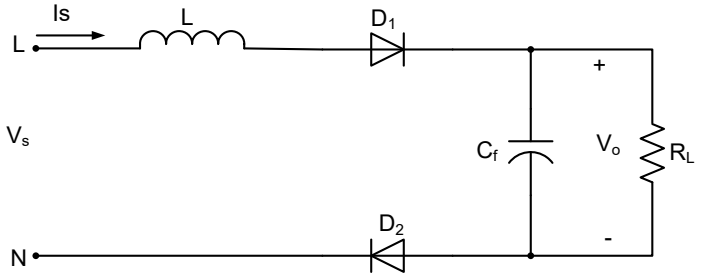


รูปที่ 2 การติดตั้งรีแอคเตอร์

3.2.1 วงจรสมมูลของวงจรเรียงกระแสของเครื่องเชื่อม



ก. วงจรสมมูลย์ ไม่ได้ติดตั้งรีแอคเตอร์



ข. วงจรสมมูลย์ ติดตั้งรีแอคเตอร์

รูปที่ 3 วงจรสมมูลย์เรียงกระแสของวงจรเครื่องเชื่อมใช้ตัวประจุกรองและตัวประจุกับรีแอคเตอร์

การพิจารณาผลของการลดกระแสกระโชกที่ผ่านตัวประจุกรองโดยติดตั้งรีแอคเตอร์ที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้า แสดงดังรูปที่ 3 จะเป็นแนวทางในการวิเคราะห์โดยผลการติดตั้งตัวประจุกรองและรีแอคเตอร์นี้จะเป็นการลดริปเปิ้ลของแรงดันเอาต์พุต เมื่อริปเปิ้ลลดลง กระแสกระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุกรองก็จะลดลงด้วย แสดงให้เห็นดังสมการที่(1)และสมการที่(2) ค่า Ripple Factor จะแสดงอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแรงดันเอาต์พุตที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นขนาดของ Ripple Factor จะลดลงเมื่อติดตั้งรีแอคเตอร์ แสดงให้เห็นถึงการจำกัดหรือลดลงของกระแสกระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุกรองด้วย Ripple Factor เมื่อไม่ได้ติดตั้งรีแอคเตอร์แสดงดังสมการที่ (1) และเมื่อติดตั้งรีแอคเตอร์แสดงดังสมการที่ (2) จากนั้นออกแบบขนาดของรีแอคเตอร์ ตามสมการที่ (3) มีค่าเหนียวนำเท่ากับ 10.5mH

$$RF = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} = \frac{1}{\sqrt{2}(4fC_fR_L - 1)} \quad (1)$$

$$RF = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} = \frac{\sqrt{2}}{3}\frac{1}{[(4\pi f)^2 LC_f - 1]} \quad (2)$$

โดย RF = Ripple Factor, f = ความถี่วงจรเรียงกระแส, C_f = ตัวประจุกรองแรงดัน ,

R_L = ความต้านทานโหลด (Muhammad H. Rashid., 2009), L = รีแอคเตอร์

3.2.2 การคำนวณค่ารีแอคเตอร์

$$\mathbf{L} = \frac{\%\boldsymbol{Z} \times \boldsymbol{V_p}}{\mathbf{2\pi f} \times \boldsymbol{I} \times \mathbf{100}} \quad (3)$$

กำหนด %Z = 3% ,Vp = 220V , I = 2A

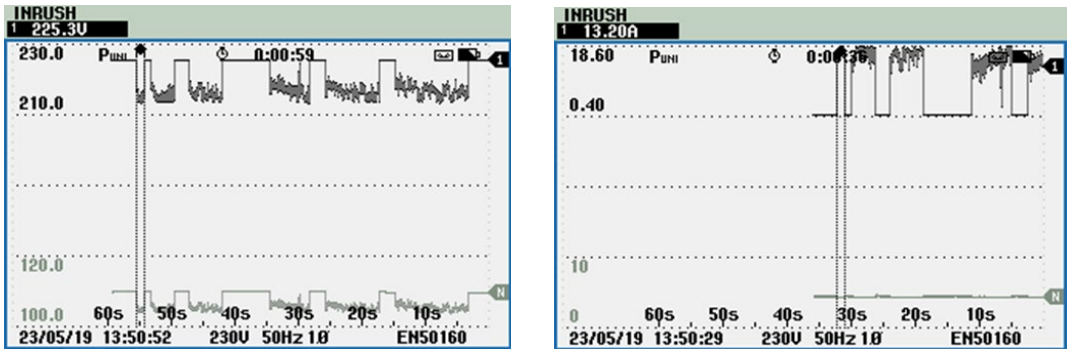
$$L = \frac{3 \times 220}{2 \times 3.14 \times 50 \times 2 \times 100} = 10.5 \text{ mH.}$$

3.3 การวัดและการวิเคราะห์ผลกระทบของกระแสกระโชก

หัวข้อนี้เป็นการวัดและการทดลองผลของการติดตั้งรีแอคเตอร์โดยใช้เครื่องมือวัดดังนี้

1. เครื่องมือวัดคุณภาพไฟฟ้ายี่ห้อ Fluke 435 Series II, IEC 6100-4-30 Class A
2. ออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Yokogawa DL1520 150 MHz

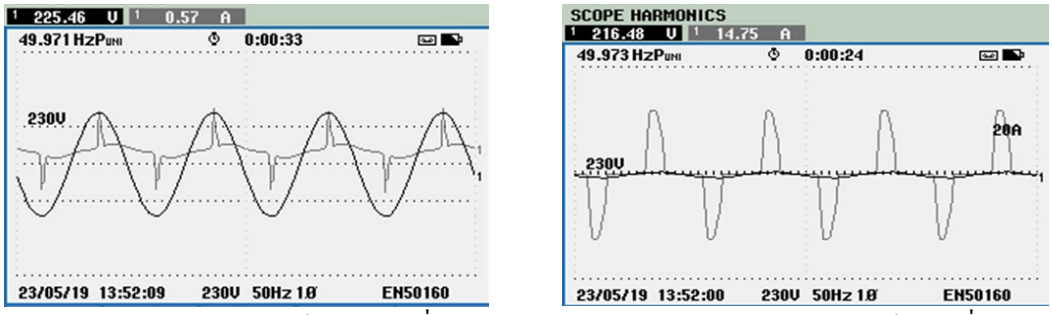
3.3.1 วัดแรงดันและกระแสRMS ที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้าเครื่องเชื่อมด้วยเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า ดังแสดงใน รูปที่ 4 แรงดันตกลงระหว่างทำการเชื่อม 20 V มีค่าเฉลี่ยของแรงดัน RMS เท่ากับ 225 V ดังรูปที่ 4 ก. และกระแสจะลดลง ได้กระแสกระโชกในสายจ่ายเข้า 13.20 A ดังรูปที่ 4 ข.



ก. แรงดันตกที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้า ข. กระแสที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้า

รูปที่ 4 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่สายจ่ายเข้าเครื่องเชื่อมขณะเชื่อมและหยุดเชื่อม

3.3.2 วัดรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้าขณะทำการเชื่อมและหยุดเชื่อมจะเห็นได้ว่าเกิดรูปคลื่นกระแสผิดเพี้ยนของกระแส เป็นผลให้เกิดฮาร์มอนิกที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้าเครื่องเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 5 ความเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าในสายจ่ายเข้าเกิดจากสภาวะการทำงานของตัวประจุกรองประจุและคายประจุในวงจรเรียงกระแส จะเห็นได้ว่ากระแสขณะทำการเชื่อมเท่ากับ 14.75 A ดังรูปที่ 5 ข. แต่อาจจะไม่เห็นรูปภาพของแรงดันเนื่องจากสเกลของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าเมื่อวัดในภาพเดียวกัน

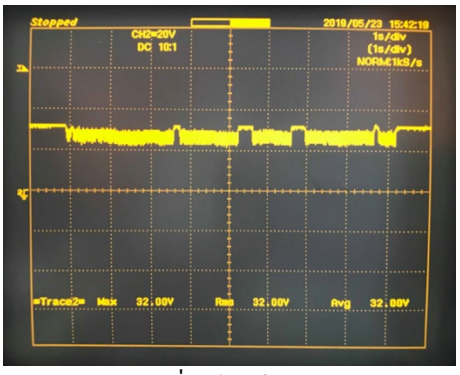


ก. แรงดันและกระแสจ่ายเข้าขณะหยุดเชื่อม ข. แรงดันและกระแสจ่ายเข้าขณะเชื่อม

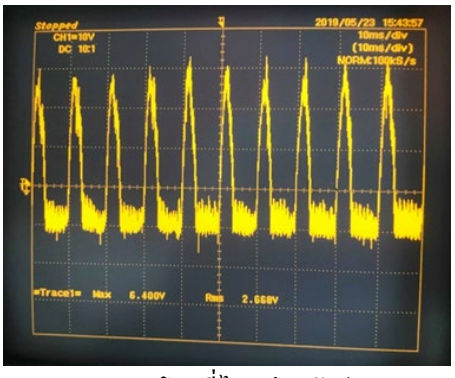
รูปที่ 5 รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่สายจ่ายเข้าเครื่องเชื่อมขณะเชื่อมและหยุดเชื่อม

3.3.3 จากนั้นทำการวัดรูปเคลื่อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสกระโชกที่ไหลผ่านตัวประจุกรองด้วยออสซิโลสโคป จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะประมาณ 320 V (อัตราส่วน 10:1) มีแรงดันตกขณะทำการเชื่อมเล็กน้อย ส่วนในรูปที่ 6 ข. แสดงค่ากระแสกระโชกที่ไหลผ่านตัว

ประจุมีค่าสูง และมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสรวดเร็ว (di/dt) วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยคือจะลดค่ากระแสส่วนนี้เพื่อป้องกันการเสียหายของตัวประจุ

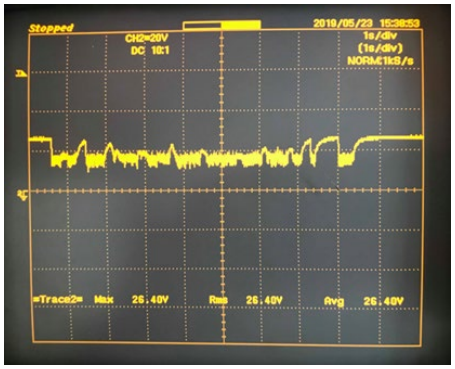


ก. แรงดันที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง

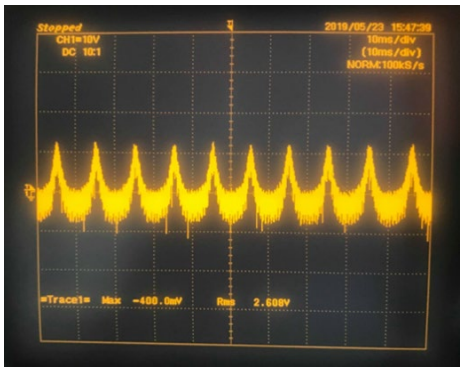


ข. กระแสกระโชกที่ไหลผ่านตัวประจุกรอง

รูปที่ 6 รูปคลื่นแรงดันที่บัสไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสกระโชกในตัวประจุกรองไม่ได้ติดตั้งรีแอคเตอร์



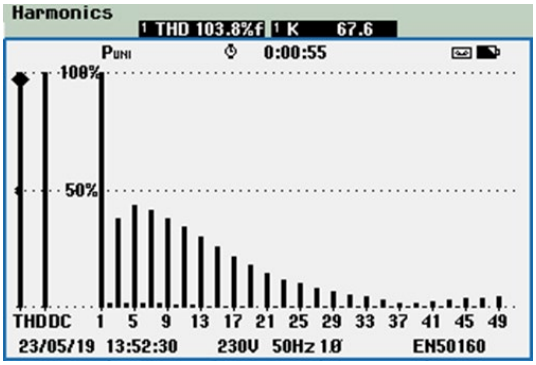
ก. แรงดันที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง



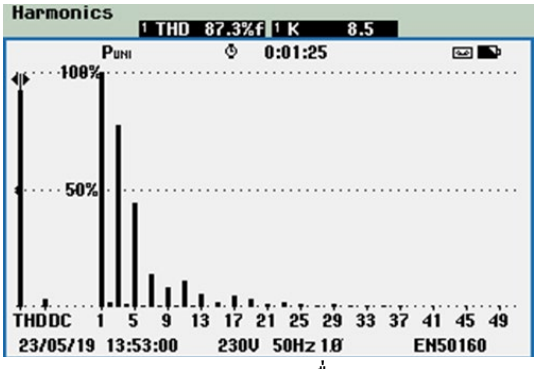
ข. กระแสกระโชกที่ไหลผ่านตัวประจุกรอง

รูปที่ 7 รูปคลื่นแรงดันที่บัสไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสกระโชกในตัวประจุกรองเมื่อติดตั้งรีแอคเตอร์

3.3.4 จากนั้นทำการติดตั้งรีแอคเตอร์ที่สายไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายเข้า ตามที่ได้ออกแบบไว้ และทำการวัดเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 7 ก. และ ข. จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่บัสไฟฟ้ากระแสตรงลดลงเหลือประมาณ 260 V ซึ่งเครื่องเชื่อมสามารถทำงานได้อย่างปกติ และกระแสกระโชกในตัวประจุกรองจะลดลง สามารถลดความเสี่ยงกับการเสียหายของตัวประจุได้ขณะที่เครื่องเชื่อมทำงานต่อเนื่อง นอกจากนี้ การติดตั้งรีแอคเตอร์ยังส่งผลให้กระแสฮาร์มอนิกในกระแสไฟฟ้าสลับจ่ายเข้าลดลงจากรูปที่ 8 ก.และ ข. แสดงให้เห็นถึงสเปกตรัม และค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยน หรือ ค่า %THD ขณะหยุดเชื่อมกับทำการเชื่อมเมื่อทำการเชื่อมกระแสมูลฐานสูงขึ้น ค่า% THD จะลดลงจาก 103.8 % ลงมาเหลือ 87.3 % แต่เมื่อติดตั้งรีแอคเตอร์ค่าสเปกตรัมขณะหยุดเชื่อมและทำการเชื่อมจะลดลง จาก 64.5 % ลงมาเหลือ 44.5 % ทำให้เห็นถึงผลดีตามมาที่สามารถลดกระแสฮาร์มอนิกลงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 9 ก. และข. ตามลำดับ

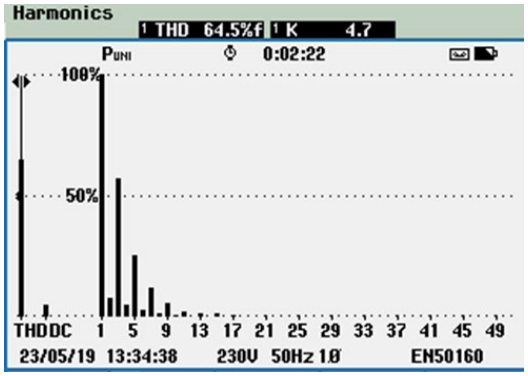


ก. ขณะหยุดเชื่อม

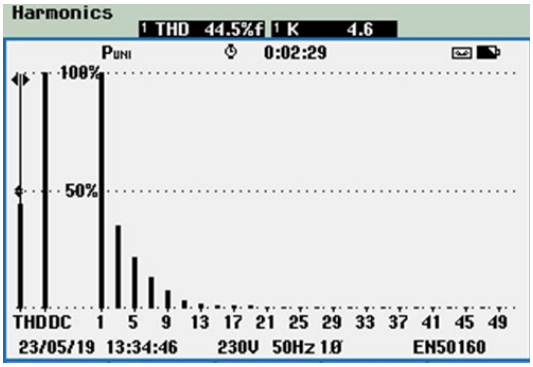


ข. ขณะเชื่อม

รูปที่ 8 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่ในสายจ่ายเข้าไม่ได้ติดตั้งรีแอคเตอร์



ก. ขณะหยุดเชื่อม



ข. ขณะเชื่อม

รูปที่ 9 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่ในสายจ่ายเข้าเมื่อติดตั้งรีแอคเตอร์

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลของการติดตั้งรีแอคเตอร์ที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้า เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งสามารถลดการเกิดกระแสกระโชกที่ไหลผ่านเข้าตัวประจุกรองเพื่อลดปัญหาความเสียหายจากการระเบิดของตัวประจุกรอง จากผลการทดลองแสดงการลดลงของริปเปิ้ลของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่บัสไฟฟ้ากระแสตรงและลดค่ายอดของกระแสไฟฟ้ากระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุกรองและยังสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกของกระแสจ่ายเข้าทำให้คุณภาพไฟฟ้าดีขึ้น วิธีนี้เป็นวิธีทางปฏิบัติที่ทำได้ง่ายราคาถูกเหมาะสมกับการใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในกรณีเครื่องเชื่อมมีหลายเครื่องอาจจะติดตั้งเป็นกลุ่มได้

5. เอกสารอ้างอิง

D.F. Peelo, 2014. Effect of Series Reactors on Circuit Breaker Transient Recovery Voltages**,** Power and Energy Engineering Conference, **IEEE PES Asia-Pacific**,7-14.

I.G. Kim,Liu Huaicong.s, Y.Cho, Jule. 2016. A Study on the Transformer Design considering the Inrush Current Reduction in the Arc Welding Machine**. Journal of Magnetics 21**(3):374-378.

In-Gun Kim, Hyun-Seok Hong, Dong-Woo Kang, Ju Lee. 2016. A Study on the Pulse Transformer Design Considering Inrush Current in the Welding Machine. **World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical Engineering**, Vol.10, No. 2.

Muhammad H. Rashid. 2009. **Power Electronics: Circuits, Devices and Application**(3rd). Pentice Hall. USA.

การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวา

DEVELOPMENT OF CHARCOAL BRIQUETTE FROM MIXED CORN COB AND WATER HYACINTH

เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
E-mail: fangkum.a@gmail.com
มาริสา อยู่แพร
นักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตและผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง โดยมีอัตราส่วนของซังข้าวโพดและผักตบชวาทั้งหมด 4 อัตราส่วนคือ 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 ตามลำดับ โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน และได้ทำการทดสอบสมบัติทางด้านถ่านอัดแท่งตามมาตรฐาน ASTM ผลการศึกษาพบว่าถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งเหมาะสมต่อการใช้งานมากกว่าถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่ง ซึ่งถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานคืออัตราส่วน 70 ต่อ30 โดยมีปริมาณความชื้นเท่ากับ ร้อยละ 2.11 ปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 11.60 ปริมาณสารระเหยเท่ากับร้อยละ 2.59 ปริมาณคาร์บอนคงตัวเท่ากับร้อยละ 83.70 ค่าดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ 1.00 ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.51 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 4959.20 แคลอรี่ต่อกรัม และประสิทธิภาพการใช้งาน เท่ากับร้อยละ 7.50 การผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวามีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1 ปี

คำสำคัญ: ถ่านอัดแท่ง ซังข้าวโพด ผักตบชวา คาร์บอไนเซชัน

ABSTRACT

The objective of this research was to study the production of charcoal briquette from corn cob and water hyacinth which carbonization before and after briquetted. The ratio of corn cob and water hyacinth of 100:0, 90:10, 80:20 and 70:30, respectively were investigated. The cassava starch was used as a binder. The properties of charcoal briquettes were analyzed according to ASTM standards. The results showed that charcoal briquettes which carbonization before briquetted more appropriated to use than charcoal briquettes which carbonization after briquetted. The optimum ratio of corn cob and water hyacinth for charcoal briquette was 70:30. The properties of charcoal briquette were moisture of 2.11%, ash of 11.60%, volatile matter content of 2.59%, fixed

carbon of 83.70%, the shatter index value of 1.00, charcoal bulk density of 0.51 g/cm³, heat value of 4959.20 cal/g and utilization efficiency of 7.50%. The breakeven point of corncob and water hyacinth briquette production was 1.00 year.

Keywords: charcoal briquette, corn cob, water hyacinth, carbonization

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

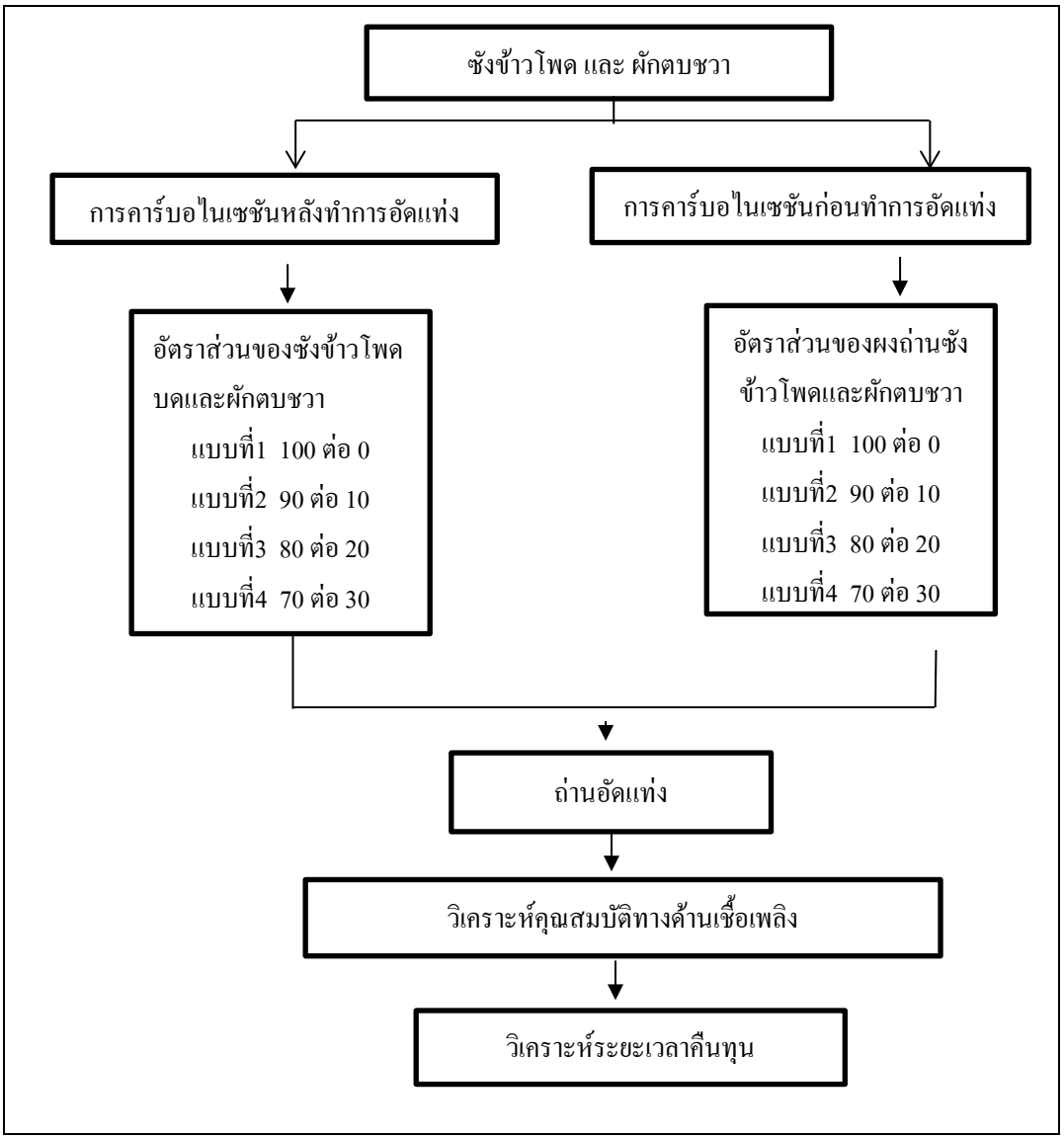
พลังงานถือเป็นปัจจัยสำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชน และปัจจัยการผลิตที่สำคัญทั้งในภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม รัฐบาลจึงต้องจัดหาแหล่งพลังงานให้ได้ปริมาณที่เพียงพอในราคาที่เหมาะสมและมีคุณภาพสอดคล้องกับความต้องการ แต่เนื่องจากทรัพยากรพลังงานภายในประเทศมีค่อนข้างจำกัดจึงจำเป็นต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเพื่อตอบสนองความต้องการพลังงานภายในประเทศที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553) ดังนั้น เพื่อให้มั่นใจว่าในอนาคตประเทศไทยจะมีพลังงานใช้อย่างพอเพียงรัฐบาลและผู้เกี่ยวข้องจึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการพัฒนาแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดและหาแหล่งพลังงานทดแทนจากวัตถุดิบที่มีภายในประเทศ (บริษัทไทยซูมิ จำกัด, 2551) ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตรมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่หลากหลายและมีจำนวนมากที่สามารถนำมาใช้ให้อยู่ในรูปของพลังงานชีวมวลได้ เช่น ซังข้าวโพดที่เกษตรกรมักมีการกำจัดโดยการเผาทำลาย ซึ่งเป็นการสร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม แต่ซังข้าวโพดมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงอย่างดีและให้ค่าพลังงานความร้อนในระดับที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550) นอกจากนี้ ยังพบว่ามีชีวมวลที่เป็นวัชพืชซึ่งเจริญเติบโตได้รวดเร็วและก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ คือ ผักตบชวา (พงสถิต, 2552) ดังนั้น เพื่อเป็นการนำชีวมวลดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงานทดแทน งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะนำซังข้าวโพดและผักตบชวามาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง โดยศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างซังข้าวโพดและผักตบชวาและกระบวนการคาร์บอไนต์เซชันที่เหมาะสมในการทำถ่านอัดแท่ง และระยะเวลาในการคืนทุน ซึ่งจะทำให้ได้แหล่งพลังงานต้นทุนต่ำจากวัตถุดิบหาได้ง่ายในท้องถิ่น ช่วยลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมได้ และทราบข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการลงทุนผลิตอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อพัฒนาถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนหรือหลังทำการอัดแท่ง

(2) เพื่อหาระยะเวลาคืนทุนของการผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาด้วยเครื่องอัดแท่งแบบใช้แรงคน

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

4.1.1 การผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่ง

ทำการเก็บตัวอย่างซังข้าวโพดนำไปตากแดดประมาณ 2-3 วันแล้วบดด้วยเครื่องบดละเอียดเก็บใส่ถุงพลาสติก นำผักตบชวาสับให้มีขนาดเล็กนำไปตากแดดให้แห้ง และนำมาปั่นให้ละเอียด โดยใช้เครื่องปั่นที่มีอยู่ในครัวเรือน (นพพร, 2546) นำซังข้าวโพดบดผสมกับผักตบชวาโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสาน โดยมีอัตราส่วนที่การผสมของ ซังข้าวโพดบดและผักตบชวา ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของซังข้าวโพดบดและผักตบชวาที่ใช้ในการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

รูปแบบที่	อัตราส่วน (เปอร์เซ็นต์)	ซังข้าวโพดบด (กรัม)	ผักตบชวา (กรัม)	แป้งมันสำปะหลัง (กรัม)	น้ำ (มิลลิลิตร)
1	100 ต่อ 0	1000	0	500	2500
2	90 ต่อ 10	900	100	500	2500
3	80 ต่อ 20	800	200	500	2500
4	70 ต่อ 30	700	300	500	2500

นำส่วนผสมที่ได้ในแต่ละอัตราส่วนมาอัดเป็นแท่ง ด้วยเครื่องอัดแบบอัดเกลียว จะได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีขนาดความสูง 15 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร นำไปตากแดด แล้วจึงนำไปเผาให้เป็นถ่าน ในเตาเผาแบบถังน้ำมัน 200 ลิตร นำแท่งถ่านที่ได้ตากให้แห้ง แล้วนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

4.1.2 การผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่ง

ทำการเก็บตัวอย่างซังข้าวโพด ในไร่ข้าวโพดที่ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว มาเผาในถังน้ำมันขนาด 200 ลิตรจนเป็นถ่าน จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปตากแดดให้แห้ง ถ่านที่ได้เก็บไว้เพื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง นำผักตบชวาสับให้มีขนาดเล็กนำไปตากแดดให้แห้ง และนำมาปั่นให้ละเอียด โดยใช้เครื่องปั่นที่มีอยู่ในครัวเรือน นำผงถ่านซังข้าวโพดผสมกับผักตบชวาโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสาน โดยมีอัตราส่วนของ ผงถ่านซังข้าวโพดและผักตบชวา ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราส่วนของผงถ่านซังข้าวโพดและผักตบชวาที่ผสมเพื่อผลิตถ่านอัดแท่ง

รูปแบบที่	อัตราส่วนผสม (เปอร์เซ็นต์)	ผงถ่านซังข้าวโพด (กรัม)	ผักตบชวา (กรัม)	แป้งมันสำปะหลัง (กรัม)	น้ำ (มิลลิลิตร)
1	100 ต่อ 0	1000	0	500	1250
2	90 ต่อ 10	900	100	500	1250
3	80 ต่อ 20	800	200	500	1250
4	70 ต่อ 30	700	300	500	1250

นำส่วนผสมที่ได้ มาอัดเป็นแท่งถ่านด้วยเครื่องอัดแบบอัดเกลียว จะได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีขนาดความสูง 15 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร นำแท่งถ่านที่ได้นำไปตากให้แห้ง ประมาณ 4-6 วัน ไม่ควรนำไปตากแดดที่ร้อนจัดเพราะจะทำให้ถ่านมีรอยแตกเนื่องจากการแห้งตัวอย่างรวดเร็วที่ไม่เท่ากัน (นภัสสวงศ์, 2555) จากนั้นนำแท่งถ่านไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

4.2 ศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

วิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงโดยวิเคราะห์หาปริมาณต่างๆ ดังนี้ วิเคราะห์ความชื้น (% Moisture) ตามมาตรฐาน ASTM D3173 ปริมาณเถ้า (% Ash) ตามมาตรฐาน ASTM D3174 ปริมาณการหาสารระเหย (% Volatile Metter) ตามมาตรฐาน ASTM D3175 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (% Fixed Carbon) ตามมาตรฐาน ASTM

D3172 ค่าความร้อน (% Heating Value) ตามมาตรฐาน ASTM D5865 ค่าดัชนีการแตกร่วน (% Shatter index) ตามมาตรฐาน Drop Shatter Test ASTM D3038 (ASTM, 1996) การหาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน (Heat Utilization efficiency) และการทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)

4.3 ศึกษาต้นทุนการผลิตและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของแท่งเชื้อเพลิง และวิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการงานวิจัย โดยวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุนของการผลิตแท่งเชื้อเพลิง ทำการเปรียบเทียบระหว่างรายได้และกำไรที่ได้รับต่อ 5 ปีในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง โดยพิจารณาจากสมรรถนะและต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของแท่งเชื้อเพลิง

5. สรุปและอภิปรายผลวิจัย

5.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งและหลังทำการอัดแท่ง

การศึกษาปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดที่ผสมผักตบชวาเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มปริมาณความชื้นลดลงโดยจะเห็นได้ว่า ที่อัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100 ต่อ 0 ที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังมีปริมาณความชื้นร้อยละ 2.97 และ 5.02 เมื่อเพิ่มปริมาณผักตบชวาเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนซังข้าวโพดที่ผสมผักตบชวา 70 ต่อ 30 ที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังคาร์บอไนเซชันปริมาณความชื้นจะลดลงโดยมีปริมาณความชื้นร้อยละ 2.11 และ 3.95 ปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่งอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดไว้ คือไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งหากปริมาณความชื้นในเนื้อถ่านมีน้อยจะทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานและความสามารถในการจุดติดไฟมีมากขึ้น (สังเวย, 2555) ในทางตรงกันข้ามหากปริมาณความชื้นในเนื้อถ่านมีมากจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ส่งผลให้ค่าพลังงานความร้อนที่ได้ต่ำลง และในขณะจุดติดไฟจะทำให้มีควันเกิดขึ้น (นฤภัทร, 2557)

การศึกษาปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง พบว่าถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของผักตบชวาปริมาณเถ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100 ต่อ 0 มีปริมาณเถ้าร้อยละ 7.80 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวาเป็น 70:30 ทำให้ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 11.60 และการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่งอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100 ต่อ 0 มีปริมาณเถ้าร้อยละ 3.54 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวาเป็น 70:30 ทำให้ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 12.32 เมื่อนำปริมาณเถ้ามาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่ชุมชนกำหนด คือไม่เกินร้อยละ 8 จะเห็นได้ว่าปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งในอัตราส่วน 90 ต่อ 10 80 ต่อ 20 และ 70 ต่อ 30 (ร้อยละ 10.90-12.30) และถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่งในอัตราส่วน 80 ต่อ 20 และ 70 ต่อ 30 (ร้อยละ 9.22-12.30) มีค่าปริมาณเถ้าเกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ชุมชนกำหนด ทั้งนี้เนื่องจากมีอัตราส่วนของผักตบชวามาก ซึ่งจากการวิเคราะห์ผักตบชวาจะพบว่ามีปริมาณเถ้าโดยเฉลี่ยร้อยละ 16.11 จึงมีส่วนทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณผักตบชวา ปริมาณเถ้าจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม เถ้าสามารถนำมาใช้ให้เกิด

ประโยชน์ได้ เช่น ใช้เป็นปุ๋ยต้นไม้ ซึ่งขี้เถ้ามีปริมาณด่างผสมอยู่มากและมีแคลเซียมกับโพแทสเซียมเล็กน้อยซึ่งช่วยให้ต้นไม้ออกดอกได้ดี ใช้ไล่แมลง ใช้กลบกลิ่นต่างๆได้ (เกษตรพอเพียง, 2560)

การศึกษาปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งที่มีอัตราส่วนผักตบชวาเพิ่มขึ้นถ่านมีแนวโน้มปริมาณสารระเหยลดลง โดยอัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100:0 มีปริมาณสารระเหยร้อยละ 3.05 และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวาเป็น 70:30 ปริมาณสารระเหยลดลงเป็นร้อยละ 2.59 และถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่งเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของผักตบชวาค่าเฉลี่ยปริมาณสารระเหยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) จากผลการทดลองงานวิจัยนี้ พบว่า ค่าปริมาณสารระเหยไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ชุมชนกำหนดคือ น้อยกว่าร้อยละ 25 เช่นเดียวกับงานวิจัยของสังเวย (2555) ซึ่งศึกษาองค์ประกอบทางด้านเคมีของถ่านตอรากยางพารา ปริมาณสารระเหยที่ได้ คือร้อยละ 17.75 ไม่มีการแตกประทุของถ่าน ไม่มีควันขณะใช้งาน ไม่ทำลายสุขภาพมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้งานหุงต้มในครัวเรือน ในขณะเดียวกันถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณสารระเหยมากจะทำให้เชื้อเพลิงติดไฟง่ายและมีควันมาก เมื่อนำมาใช้งานจะทำให้แสบตาและมีผลกระทบต่อระบบหายใจ (สุริยา, 2544)

การศึกษาปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งในอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100 ต่อ 0 90 ต่อ 10 80 ต่อ 20 และ 70 ต่อ 30 ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนคงตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่ง ปริมาณคาร์บอนคงตัวจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผักตบชวา โดยจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100 ต่อ 0 ปริมาณคาร์บอนคงตัวเท่ากับร้อยละ 88.68 เมื่อเพิ่มผักตบชวาอัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวาเป็น 70 ต่อ 30 จะพบว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเป็นร้อยละ 80.89 (ตารางที่ 3) จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ชุมชนกำหนดปริมาณคาร์บอนคงตัวไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 จะเห็นได้ว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวามีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่งมีปริมาณคาร์บอนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ชุมชนกำหนด เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของชมธิดา (2554) ที่ศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเศษซังข้าวโพดโดยทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพดที่มีแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 20 มีค่าคาร์บอนคงตัวเท่ากับร้อยละ 16.43 เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพดมีปริมาณสารระเหยสูง แต่ค่าพลังงานความร้อนอยู่เกณฑ์ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากมีเศษซังข้าวโพดเป็นองค์ประกอบ แต่งานวิจัยนี้มีปริมาณคาร์บอนคงตัวที่มากกว่าและมีปริมาณสารระเหยน้อย ซึ่งเชื้อเพลิงที่ดีจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง ปริมาณสารระเหยต่ำ และปริมาณเถ้าน้อย (ทองทิพย์, 2542) ดังนั้นถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังถือเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพที่ดี สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนฟืนและถ่านได้

การศึกษาค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาที่มีการคาร์ไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งในอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวา *100* ต่อ *0* ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงแตกต่างจากอัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 90 ต่อ 10 80 ต่อ 20 และ 70 ต่อ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผักตบชวาค่าพลังงานความร้อนมีแนวโน้มลดลง ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซ

ชันหลังทำการอัดแท่งในอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100 ต่อ 0 90 ต่อ 10 80 ต่อ20 และ 70 ต่อ 30 ให้ค่าพลังงานความร้อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ *3)* จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้จะพบว่าถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่งมีค่าพลังงานความร้อนเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนด (มากกว่า 5,000 แคลอรี่ต่อกรัม) ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่งมีค่าพลังงานความร้อนมากกว่าถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่ง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อนำซังข้าวโพดมาผ่านการคาร์บอไนเซชันจะทำให้ซังข้าวโพดมีค่าพลังงานเพิ่มขึ้นจาก 3907.3 แคลอรี่ต่อกรัม เป็น 5529.6 แคลอรี่ต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนที่ได้กับงานวิจัยอื่น (ตารางที่ 4*)* พบว่า ค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งในงานวิจัยนี้มีค่าพลังงานความร้อนที่สูงกว่างานวิจัยอื่น เนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งอาจมีปริมาณค่าคาร์บอนคงตัว สารระเหย และเถ้าที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 3 ปริมาณสารระเหย คาร์บอนคงตัว และค่าความร้อนของถ่านซังข้าวโพดและผักตบชวา โดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อน-หลังทำการอัดแท่ง

อัตราส่วน (ซังข้าวโพด : ผักตบชวา)	สารระเหย (%) ± SD		คาร์บอนคงตัว (%) ± SD		ค่าความร้อน (แคลอรี่ต่อกรัม) ± SD	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2
100 ต่อ 0	3.05^{b}± 0.20	2.76^{a}± 0.11	86.18^{b}± 0.57	88.68^{c}± 0.02	5525.9^{b} ± 75.67	6072.6^{a} ± 872.12
90 ต่อ10	2.77^{ab}± 0.20	2.83^{a}± 0.15	86.18^{b}± 0.57	88.68^{c}± 0.02	5170.2^{a} ± 54.88	6701.6^{a} ± 84.33
80 ต่อ 20	2.49^{a} ± 0.13	2.91^{a} ± 0.18	83.09^{a} ± 2.04	83.14^{b} ± 0.67	5062.6^{a} ± 172.19	5999.8^{a} ± 99.80
70 ต่อ 30	2.59^{a} ± 0.19	2.83^{a} ± 0.33	83.70^{a} ± 0.26	80.89^{a} ± 0.26	4959.2^{a} ± 175.83	6347.8^{a} ± 689.57

หมายเหตุ: C1= คาร์บอไนเซชันก่อนอัดแท่ง, C2 =คาร์บอไนเซชันหลังอัดแท่ง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ค่าดัชนีการแตกร่วนเป็นค่าที่ใช้เพื่อหาความสามารถของวัสดุที่ได้จากการอัดแท่งที่มีความทนทานระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการนำมาใช้งาน *(*นิพนธ์และธนพร, 2559*)* จากตารางที่ 5 ซึ่งแสดงค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน จะเห็นได้ว่า ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนอัดแท่งในอัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100 ต่อ 0 90 ต่อ 10 และ 80 ต่อ 20 ค่าเฉลี่ยของดัชนีการแตกร่วนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันหลังอัดแท่งในอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100 ต่อ 0 90 ต่อ10 80 ต่อ 20 และ 70 ต่อ 30 ค่าเฉลี่ยของดัชนีการแตกร่วนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5*)* โดยมีค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ในช่วง 0.9-

1.00 ค่าดัชนีการแตกร่วนที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 0.5 – 1.0 โดยถ้ามีค่าการแตกร่วนน้อยจะส่งผลให้ถ่านอัดแท่งไม่แข็งแรง แตกง่าย ร่วนซุยและถ้ามีค่าดัชนีการแตกร่วนมาก ถ่านอัดแท่งที่ได้มีความแข็งแรงและง่ายต่อการขนส่งหรือนำไปใช้งาน (นิพนธ์ และธนพร, 2559) จากงานวิจัยของสุธิรา (2554) รายงานว่าถ่านอัดแท่งจากอัตราส่วนผสมของผงถ่านจากเปลือกใบยูคาลิปตัสและใบยางพาราให้ค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.668 - 0.827 สามารถคงรูปได้ดีและมีความแข็งแรง ผิวของเชื้อเพลิงเรียบเนียน ไม่แตกหักง่าย ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด จึงเหมาะแก่การนำไปใช้งาน เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ที่มีค่าดัชนีการแตกร่วนสูงทำให้ได้ถ่านอัดแท่งที่ไม่แตกหักง่าย ง่ายต่อเก็บรักษา การขนส่งและเหมาะแก่การนำไปใช้งาน

ตารางที่ 4 ค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากวัตถุดิบต่างชนิดกัน

วัตถุดิบที่นำมาทำถ่านอัดแท่ง	ตัวประสาน	ค่าพลังงานความร้อน (cal/g)	อ้างอิง
ผงถ่านต้นข้าวโพด	แป้งมัน	5,201	พรธิดา, 2558
เศษซังข้าวโพด	แป้งมัน	4,054	ชมธิดา, 2554
ผักตบชวา	แป้งมัน	3,831	นิพนธ์ และธนพร, 2559
ซังข้าวโพด (การคาร์บอไนเซชันก่อน)	แป้งมัน	5,526	งานวิจัยนี้
ซังข้าวโพด (การคาร์บอไนเซชันหลัง)	แป้งมัน	6,073	งานวิจัยนี้

ตารางที่ 5 ดัชนีการแตกร่วนของถ่านซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อน-หลังทำการอัดแท่ง

อัตราส่วน (ซังข้าวโพด : ผักตบชวา)	ดัชนีการแตกร่วน ± SD (การคาร์บอไนเซชันก่อนอัดแท่ง)	ดัชนีการแตกร่วน (%) ± SD (การคาร์บอไนเซชันหลังอัดแท่ง)
100 ต่อ 0	$0.9991^{b} \pm 0.001$	$0.90^{a} \pm 0.07$
90 ต่อ 10	$0.9979^{ab} \pm 0.001$	$0.93^{a} \pm 0.06$
80 ต่อ 20	$0.9991^{b} \pm 0.001$	$0.99^{a} \pm 0.01$
70 ต่อ30	$0.9966^{a} \pm 0.001$	$0.95^{a} \pm 0.03$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

การศึกษาค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาในอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100 ต่อ 0 90 ต่อ 10 80 ต่อ 20 และ 70 ต่อ 30 มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผักตบชวา ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งมีค่าความหนาแน่น (0.50-0.53 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) มากกว่าถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่ง (0.16-0.26 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) จากงานวิจัยของอัจฉรา (2554) ได้กล่าวไว้ว่า ถ่านอัดแท่งจะมีประสิทธิภาพดีนั้น ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งควรอยู่ระหว่าง 0.42-0.74 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

โดยถ้ามีค่าความหนาแน่นน้อยกว่า 0.42 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ถ่านอัดแท่งจะมีการเผาไหม้อย่างรวดเร็วและไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน จากงานวิจัยนี้ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่ง มีความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งถ่านอัดแท่งที่มีความหนาแน่นสูงจะมีปัญหาการจุดติดไฟได้ยาก แต่การที่มีความหนาแน่นสูงก็สามารถยืดเวลาในการติดไฟได้นานกว่าเพราะมีการเผาไหม้ที่ช้า (สุพจน์, 2546)

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งอัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100 ต่อ 0 และ 90 ต่อ 10 (ร้อยละ 8.79 และ 8.62) มีประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนแตกต่างจากอัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 80 ต่อ 20 และ 70 ต่อ 30 (ร้อยละ 7.54 และ 7.50) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่งในทุกอัตราส่วนมีประสิทธิภาพการใช้งาน (ร้อยละ 8.71-10.12) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของวานิช (2550) ที่ทำการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกถั่วลิสง เปลือกเมล็ดทานตะวัน และเปลือกถั่วลิสงผสมเปลือกเมล็ดทานตะวันอัดแท่ง ให้ค่าประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนร้อยละ 42.17 39.38 และ 40.97 ซึ่งถ่านอัดแท่งจากเปลือกถั่วลิสงเปลือกเมล็ดทานตะวันและเปลือกถั่วลิสงผสมเปลือกเมล็ดทานตะวันอัดแท่งให้ค่าประสิทธิภาพการใช้งานสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวา อาจเนื่องจากเปลือกถั่วลิสงและเปลือกเมล็ดทานตะวันมีส่วนผสมของน้ำมัน (ไทยเกษตรศาสตร์, 2561) ซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงติดไฟได้ดี และส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการใช้งานสูง นอกจากนี้งานวิจัยของนิพนธ์และธนพร (2559) ที่ทำการศึกษาลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา ได้แก่ ผักตบชวาผสมกากมัน ผักตบชวาผสมแป้งมันสำปะหลัง และผักตบชวาผสมกากน้ำตาล ให้ค่าประสิทธิภาพการใช้งานเท่ากับร้อยละ 10.35 13.65 และ 17.79 ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของตัวประสานที่นำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง

5.2 การศึกษาต้นทุนการผลิตและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนที่ดีที่สุด

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของแท่งเชื้อเพลิงที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งที่นำมาวิเคราะห์คือถ่านอัดแท่งที่มีซังข้าวโพดต่อผักตบชวาในอัตราส่วน 70 ต่อ 30 โดยกำหนดระยะเวลาในการใช้เครื่องจักร เท่ากับ 5 ปีหรือ 1300 วัน ต้นทุนการผลิตถ่านอัดแท่งต่อหน่วยประกอบด้วยต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน คำนวณหาต้นทุนต่อหน่วย โดยกำหนดกำลังการผลิต วันละ 400 กิโลกรัม/วัน ระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง 1 ปีทำงาน 260 วัน คำนวณต้นทุนรวมได้ดังนี้ ต้นทุนคงที่เท่ากับ 77,000 บาท ต้นทุนแปรผันเท่ากับ 840,066 บาทต่อปี ต้นทุนทั้งหมดภายใน 5 ปี เท่ากับ 4,277,333 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน 5 ปี เมื่อขายเชื้อเพลิงอัดแท่งกิโลกรัมละ 8.20 บาท เท่ากับ 4,264,000 บาท ระยะเวลาคืนทุนของการผลิตแท่งเชื้อเพลิงซึ่งคำนวณได้จาก มูลค่าลงทุนรวม/ผลตอบแทนรายปี ได้ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1.00 ปี

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) การคำนวณระยะเวลาคืนทุนอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากผู้วิจัยไม่ได้คิดอัตราดอกเบี้ยในกรณีกู้ยืมเงินลงทุนจากสถาบันการเงิน

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

8. เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์และบริการ. (2553). **เทคโนโลยีเพื่อชุมชนและอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ: องค์การค้าของสกสค. ลาดพร้าว.

เกษตรพอเพียง. (2560). **เถ้า**. สืบค้น มิถุนายน 15, 2561 จาก http://www.kasetporpeang.com/forums/index.php?topic=53351.0

ชมธิดา ชื่นนิยม. (2554). **การศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเศษซังข้าวโพดโดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ทองทิพย์ พูลเกษม. (2542). **การศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านไม้ในการหุงต้มครัวเรือน.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหิดล.

ไทยเกษตรศาสตร์. (2561). **น้ำมันจากถั่ว**. สืบค้น มิถุนายน 24, 2561 จาก http://www.thaikasetsart. com /%E0%B9% 80%E0%B8%81%E0%B8%B5%E0%B ไทยพิค. (2558).

นพพร สุดใจธรรม. (2546). **เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ.** หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม).

นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกูล. (2557). **การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรและครัวเรือน.** สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล, ธรพร บุษย์น้ำเพชร. (2559). **ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา.** สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์. (2555). **การปรับปรุงคุณภาพถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพด.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

บริษัทไทยซูมิจำกัด. (2551). **การส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวลของประเทศไทย.** สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 21, 2560 จาก https://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/comparepara.php.

พงสถิต ยืนยง. (2552). **ผักตบชวา**. พิมพ์ครั้งที่1. พระนครศรีอยุธยา: ไทยซูมิ.

พรธิดา เทพประสิทธิ์. (2558). **การศึกษาแหล่งเรียนรู้พลังงานทดแทน กรณีศึกษา การผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชุมชนชาวกระเหรี่ยง หมู่บ้านตะเพิงคี่จังหวัดสุพรรณบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2550). **ข้าวโพด.** สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 22, 2560 จาก http://www3.rdi. ku.ac.th/?p=8997.

วานิช โสพาสพ. (2550). **การผลิตถ่านอัดแท่งด้วยเศษวัสดุเหลือใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สุพจน์ เดชผล. (2546). **การศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาลผสมชานอ้อย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สังเวย เสวกวิหารี. (2555). **ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด.** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

สุธิรา สุนทรารักษ์. (2554). **การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบยูคาลิปตัสและใบยางพารา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.

สุริยา ชัยเดชาทยากูล. (2544). **การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียและเศษชิ้นไม้สับของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร. มหาวิทยาลัยมหิดล.

อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย. (2554). **การนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมุงคุดมาใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่ง.** ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล.

American Society for Testing and Materials (ASTM), **"Annual Book of American Standard Testing Method"**, Volume 05.06, 1996.

พฤติกรรมรอยต่อคาน-เสา ของคานแบบเซลลูล่าห์ภายใต้แรงแบบวัฏจักร

BEHAVIOR OF BEAM-TO-COLUMN OF CELLULAR BEAMS UNDER CYCLIC LOAD

อดิศักดิ์ กกแก้ว

นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

E-mail: adisak_k45@hotmail.com

กิตติศักดิ์ ขันติยวิชัย

รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

E-mail: kittisak.ubu@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของรอยต่อคาน-เสา ของคานแบบเซลลูล่าห์ภายใต้การกระทำของแรงแบบวัฏจักร โดยใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์งานทางวิศวกรรมด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยการเสริมกำลัง และการลดขนาดของปีกคาน ขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยเทียบอิงกับผลการทดลองที่ค้นคว้าจากการทบทวนวรรณกรรม ซึ่งมีค่าความต่างกันไม่เกิน 5.4 % สะท้อนให้เห็นถึงความถูกต้องของแบบจำลอง จากผลการวิเคราะห์ พบว่า คานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัดสามารถรับโมเมนต์ได้เพิ่มขึ้นถึง 45.6 % เมื่อเทียบกับคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัด คานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัดที่เสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง และ 3 ช่วง สามารถรับโมเมนต์ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัดที่เสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง และ 3 ช่วง คานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัดทั้งมีไม่มีและมีการเสริม Stiffener เกิดการวิบัติที่บริเวณช่องเปิดช่องที่ 1 ทำให้สามารถควบคุมตำแหน่งการวิบัติได้

คำสำคัญ: รอยต่อคาน-เสา คานแบบเซลลูล่าห์ ไฟไนท์เอลิเมนต์ การเสริมกำลังของรอยต่อ

ABSTRACT

The objective of this research was to study the behavior of beam-to-column connection of cellular beams under cyclic load using finite element method. The parameters considered in this study were strengthening method and reduced beam section method. Firstly, the model validation has been carried out by comparing with the test results obtained from literatures. The comparison with testing results showed good agreement with 5.4% difference. After that the FE analyses were investigated. The results showed that the reduced beam section can enhance the moment capacity of beam-to-column connection about 45.6% comparing with regular cellular beam. By strengthening at the column web of beam-to-column connection with regular beam, it was found that strengthening at column web for both 2 and 3 positions can enhance the moment capacity of connections.

Moreover, the results also showed that the failure pattern of reduced beam section of all strengthening cases occurred at the first hole allows to control the failure position.

Keywords: Beam-to-Column Connection; Cellular Beam; Finite Element; Connection Strengthening

1. บทนำ

การใช้เหล็กรูปพรรณมาทำเป็นโครงสร้างในงานก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ อาทิ คานสะพาน คานรับแผ่นพื้น เสา หรืออาคารที่โครงสร้างมีระยะระหว่างจุดรองรับกว้าง เช่น อาคารจอดรถยนต์ เป็นต้น มีแนวโน้มความนิยมมากขึ้น เนื่องจากใช้เวลาในการก่อสร้างน้อย การทำงานมีความคล่องตัวมากขึ้น และสามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว การพัฒนาการใช้งานเหล็กรูปพรรณอย่างหลากหลาย (Tsavdaridisa, K.D. (2014)) โดยเฉพาะการพัฒนาเหล็กรูปพรรณสู่คานแบบเซลลูล่าห์ (Cellular Beam) ซึ่งจะมีน้ำหนักที่เบากว่าแต่ยังคงประสิทธิภาพได้ไม่น้อยกว่าเหล็กรูปพรรณ จากการศึกษา พบว่า คานแบบเซลลูล่าห์จะช่วยให้โครงสร้างมีความลึกเพิ่มมากขึ้นโดยที่น้ำหนักคานยังเท่าเดิม ซึ่งก็จะทำให้คานนั้นสามารถรับค่ากำลังแรงดัดและกำลังรับแรงเฉือนได้มากขึ้น (ทักษิณ เทพชาตรี และคณะ, 2558) โดยไม่ต้องเพิ่มเนื้อเหล็กหรือไม่ต้องใช้เหล็กที่หน้าตัดใหญ่กว่าเดิม (Ferhat E. et al. (2015)) เป็นผลให้ต้นทุนในการก่อสร้างลดลง นอกจากนี้ด้วยรูปทรงทางเรขาคณิตของคานแบบเซลลูล่าห์โดยเฉพาะบริเวณช่วงเอวของคานแบบเซลลูล่าห์มีช่องเปิดที่เป็นลักษณะวงกลม ทำให้การติดตั้งทำได้สะดวกกว่าการใช้คานที่บริเวณแผ่นเอวปิดทึบ ในบางครั้งมีความจำเป็นที่จะต้องเจาะหรือตัดช่วงเอวคานที่ปิดทึบ เพื่อทำให้งานระบบสามารถดำเนินการต่อได้ ส่วนช่องเปิดที่บริเวณแผ่นเอวของคานแบบเซลลูล่าห์ยังทำให้โครงสร้างความสวยงามมากขึ้นอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 1

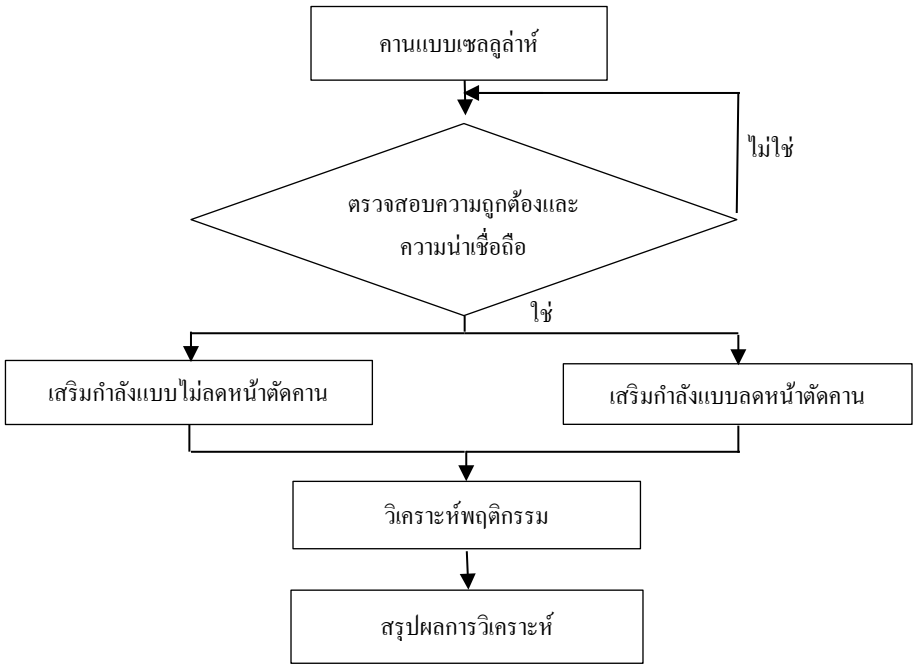
รูปที่ 1 ลักษณะของคานแบบ Cellular Beam (https://jgdesignbuild.yellowpages.co.th/)

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการศึกษาพฤติกรรมของคานแบบเซลลูล่าห์ภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์ พบว่า การวิบัติของคานแบบเซลลูล่าห์จะพบที่บริเวณช่องเปิด (Tsavdaridisa, K.D., et al. 2015) และบริเวณรอยต่อระหว่างคาน-เสา (Tsavdaridisa, K.D. and Papadopoulos, T. (2016)) ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาพฤติกรรมของคานแบบเซลลูล่าห์ในการรับแรงแบบวัฏจักรอันเนื่องมาจากแรง Moving load หรือแรงแผ่นดินไหว โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อคาน-เสาของคานแบบเซลลูล่าห์ภายใต้แรงแบบวัฏจักร เพื่อศึกษาตำแหน่งและรูปแบบการวิบัติของรอยต่อคานชนิดนี้ พร้อมทั้งหาแนวทางการเสริมกำลังให้แก่รอยต่อ เพื่อเกิดประสิทธิภาพการรับแรงแบบวัฏจักรของรอยต่อ ในส่วนของการทดสอบคานชนิดนี้ นักวิจัยจะทำการทดสอบวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์เอลิ

เมนต์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมบริเวณรอยต่อคาน-เสาของคานแบบเซลลูล่าห์โดยใช้แบบจำลองภายใต้แรงแบบวัฏจักร ด้วยวิธีการจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์และพฤติกรรมบริเวณรอยต่อคาน-เสา ที่มีการเสริมกำลังในบริเวณรอยต่อ โดยใช้แบบจำลองภายใต้แรงวัฏจักร แบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีจำนาน 6 แบบจำลอง คือ คานแบบเซลลูล่าห์แบบปกติหรือแบบไม่ลดหน้าตัด คานแบบเซลลูล่าห์แบบปกติที่เสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง คานแบบเซลลูล่าห์แบบปกติที่ เสริม Stiffener ที่เสา 3 ช่วง และคานแบบเซลลูล่าห์ที่มีลักษณะแบบลดหน้าตัด (Reduced beam section, RBS) (Swati, Kulkarni A and Vesmawala G. (2014)) คานแบบเซลลูล่าห์ที่มีลักษณะแบบลดหน้าตัดและเสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง คานแบบเซลลูล่าห์ที่มีลักษณะแบบลดหน้าตัดและเสริม Stiffener ที่เสา 3 ช่วง

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

เมื่อสร้างแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์ลักษณะสามมิติโดยใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์งานทางวิศวกรรมด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ จึงทำการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยจะอ้างอิงกับข้อมูลพื้นฐานของคานแบบเซลลูล่าห์ตามงานวิจัยของ Tsavdaridisa, K.D. and Papadopoulos, T. (2016) ซึ่งศึกษาพฤติกรรมของคานแบบเซลลูล่าห์ เมื่อแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้มีความสอดคล้องกับข้อมูลงานวิจัยข้างต้น จึงใช้แบบจำลองนี้ในการศึกษาพฤติกรรมบริเวณรอยต่อคาน-เสาของคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัดและคานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัด พร้อมทั้งศึกษาผลของการเสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วงและเสา 3 ช่วงของคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัดและคานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัด ซึ่งมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2 และไม่พิจารณาหน่วยแรงคงค้าง (residual stress)

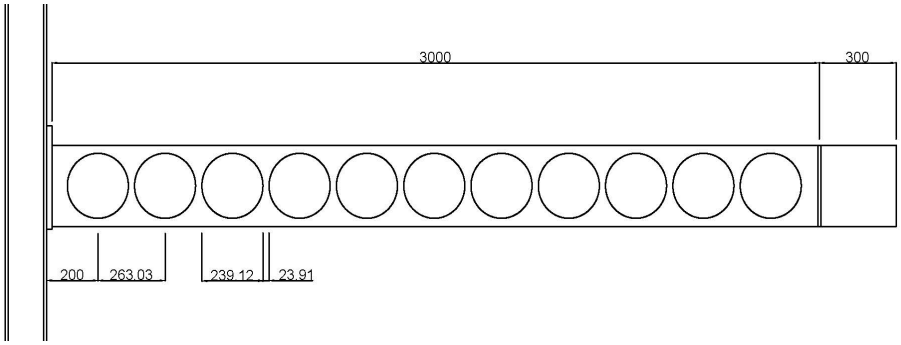


รูปที่ 2 ขั้นตอนในการวิจัย

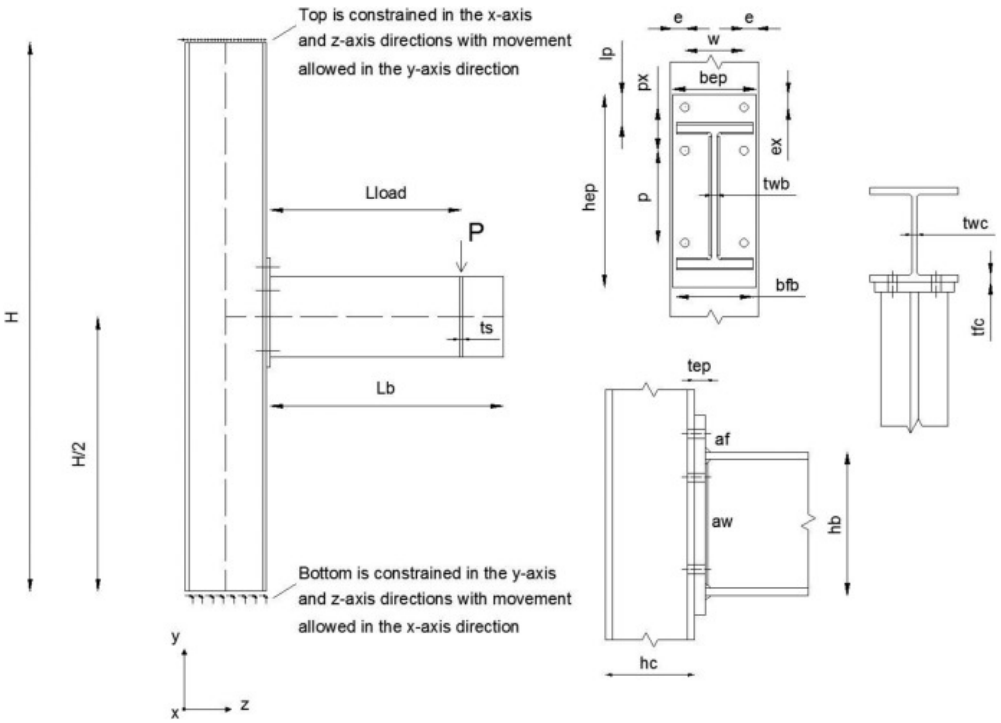
3. ผลการศึกษา

3.1 การตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

ผลการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์ที่สร้างโดยใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์งานทางวิศวกรรมด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ และทำการเทียบอ้างอิงกับข้อมูลพื้นฐานของคานแบบเซลลูล่าห์ตามงานวิจัยของ Tsavdaridisa, K.D. and Papadopoulos, T. (2016) โดยคานเหล็กที่ใช้ในการสอบเทียบมีค่าคุณสมบัติของหน้าตัด แสดงดังรูปที่ 3 และขนาดมิติของส่วนต่าง ๆ คานแบบเซลลูล่าห์ดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนสมบัติทางกลของวัสดุ แสดงในตารางที่ 2 ทั้งนี้การทดสอบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 3 มิติคานแบบเซลลูล่าห์ที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองหน่วยเป็นมิลิเมตร (mm)



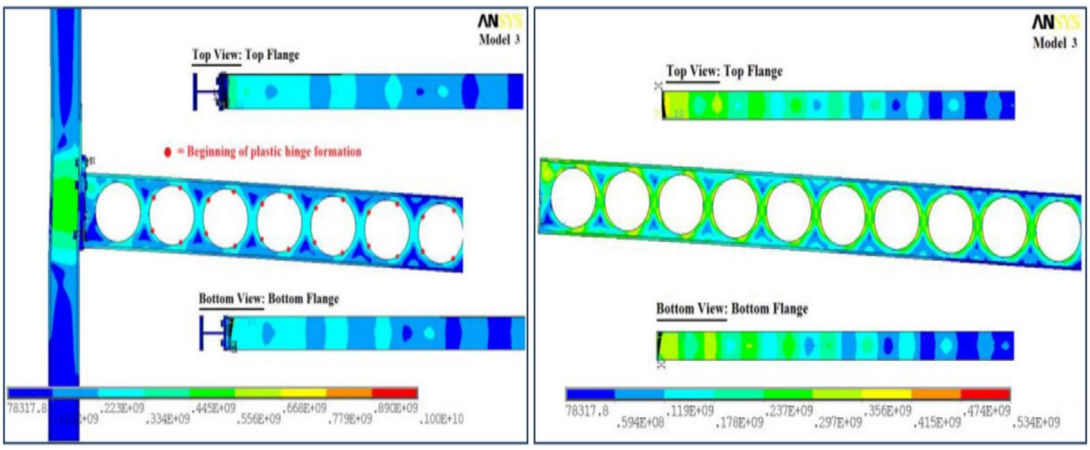
รูปที่ 4 มิติของคานแบบเซลลูล่าห์ที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องมีหน่วยเป็นมิลิเมตร (mm)

ตารางที่ 1 ขนาดมิติของส่วนต่าง ๆ คานแบบเซลลูล่าห์ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

Beam(IPE300)		End-plate		Column(HE160B)		Blot(M20)		Load and Stiffener	
b_{fb}	150.90	l_p	70.00	b_{fc}	160.10	A_s	245.00	L_{load}	1250.00
h_b	298.90	b_{ep}	150.00	h_c	162.50	d_o	20.00	t_s	10.80
L_b	1550.00	h_{ep}	380.00	H	3625.00	~~dnb~~	32.00		
t_{fb}	10.80	t_{ep}	20.00	t_{fc}	12.60	e_x	30.00		
t_{wb}	7.30				8.50	p	200.00		
						p_x	90.00		
						t_{hb}	12.50		
						t_{nb}	18.00		
						W_p	90.00		

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ

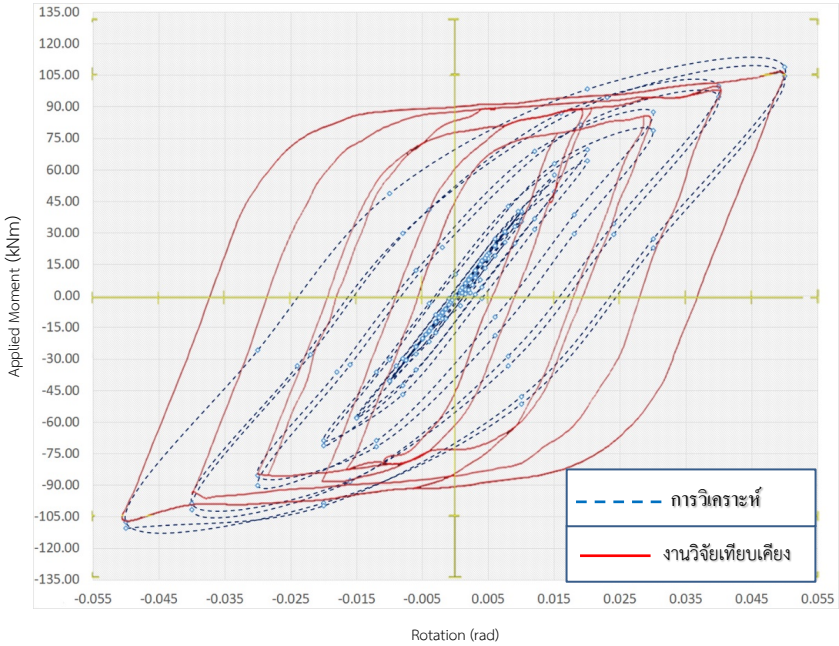
Properties	Beam	End-plate	Column	Bolt	Load Stiffener	weld
Modulus of Elasticity (MPa)	210,000	210,000	210,000	210,000	210,000	210,000
Poisson's ratio	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Tensile yield strength (MPa)	308.5	291.5	289.4	900	314	291.5
Ultimate tensile strength (MPa)	445	463.4	422.2	1000	443	463.47



รูปที่ 5 คานแบบเซลลูล่าห์ที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง Applied Moment และ Rotation ที่ได้จากแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์ภายใต้การกระทำของแรงแบบวัฏจักร มีลักษณะใกล้เคียงกับลักษณะที่ได้จากการศึกษาของ Tsavdaridisa, K.D.

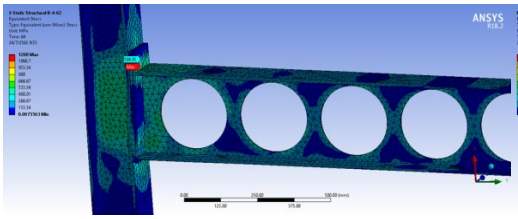
and Papadopoulos, T. (2016) และเมื่อเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลที่ได้จากการศึกษาแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์กับผลการศึกษาของ Tsavdaridisa, K.D. and Papadopoulos, T. (2016) พบว่า มีความต่างกันไม่เกิน 5.4 % ดังแสดงรูปที่ 6 ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า ผลที่ได้จากแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์ที่สร้างโดยใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์งานทางวิศวกรรมด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบของงานวิจัยข้างต้น



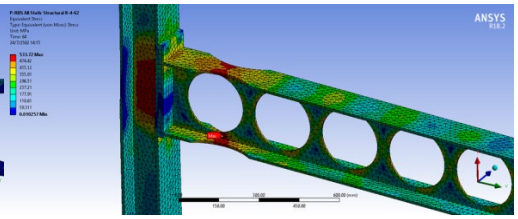
รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง Applied Moment และ Rotation ที่ได้จากแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์กับผลการศึกษาของ Tsavdaridisa, K.D. and Papadopoulos, T. (2016)

3.2 การวิเคราะห์พฤติกรรม

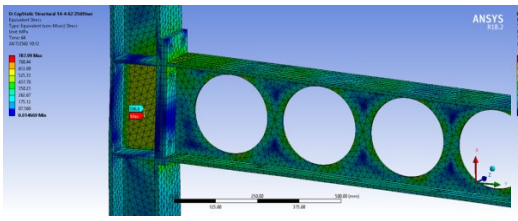
จากผลการวิเคราะห์พฤติกรรมของคานแบบเซลลูล่าห์ภายใต้การกระทำของแรงแบบวัฏจักร แสดงดังรูปที่ 7 พบว่า แบบจำลองแต่ละแบบแสดงบริเวณที่เกิดการวิบัติต่างกัน ดังนี้ แบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัด แสดงการเกิดการวิบัติที่แผ่นเพลท แบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัดที่เสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง และแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัดที่เสริม Stiffener ที่เสา 3 ช่วง แสดงการเกิดการวิบัติที่เสา ส่วนแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัด แบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัดที่เสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง และแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัดที่เสริม Stiffener ที่เสา 3 ช่วง แสดงการเกิดการวิบัติที่บริเวณช่องเปิดช่องที่ 1 ซึ่งเกิดจากโมเมนต์ดัดวีเรนดีล ดังแสดงในตารางที่ 3



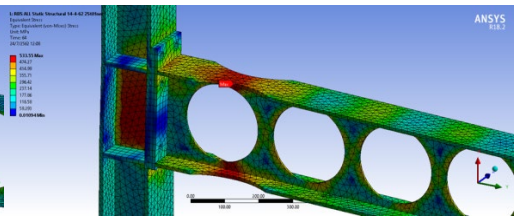
ก. คานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัด



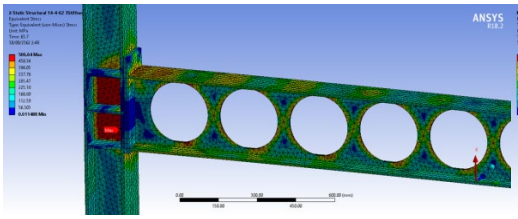
ข. คานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัด



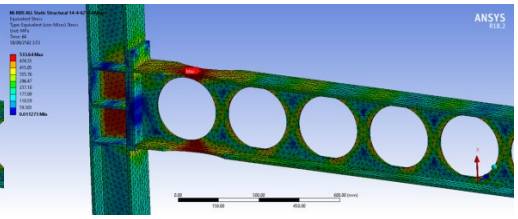
ค. คานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัด ที่เสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง



ง. คานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัด ที่เสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง



จ. คานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัด ที่เสริม Stiffener ที่เสา 3 ช่วง



ฉ. คานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัด ที่เสริม Stiffener ที่เสา 3 ช่วง

รูปที่ 7 บริเวณที่เกิดการวิบัติของคานแบบเซลลูล่าห์แบบต่าง ๆ ภายใต้การกระทำของแรงแบบวัฏจักร

ตารางที่ 3 แสดงตำแหน่งและขนาดของค่า Stress Max (MPa) กรณีไม่มีรอยเชื่อมและค่าไม่เกิน 1.2Fu

Model	Time (s)	ตำแหน่ง	Moment max (KNm)	Stress Max (MPa)	Deformation (mm.)	$1.2f_u$ (MPa)	รูปแบบการวิบัติ
1	64	ด้านบน End-plate	110.39	504.99	155.06	556.08	เกิดการโก่งเดาะที่เสา
2 RBS	64	คาน(ขอบล่างช่องเปิดที่1)	160.72	533.72	155.06	534	โมเมนต์ดัดวีเรนดีล
3	61.7	เสา	158.46	506.64	62.024	506.64	เกิดการโก่งเดาะที่เสา
4 RBS	62.0	คาน(ช่องเปิดช่องที่1)	160.70	533.71	155.06	534	โมเมนต์ดัดวีเรนดีล
5	63.7	เสา	164.94	506.64	62.024	506.64	เกิดการโก่งเดาะที่เสา
6 RBS	63	คาน(ช่องเปิดช่องที่1)	167.66	533.72	155.06	534	โมเมนต์ดัดวีเรนดีล

หมายเหตุ 1 หมายถึง แบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัด

2 RBS หมายถึง แบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัด

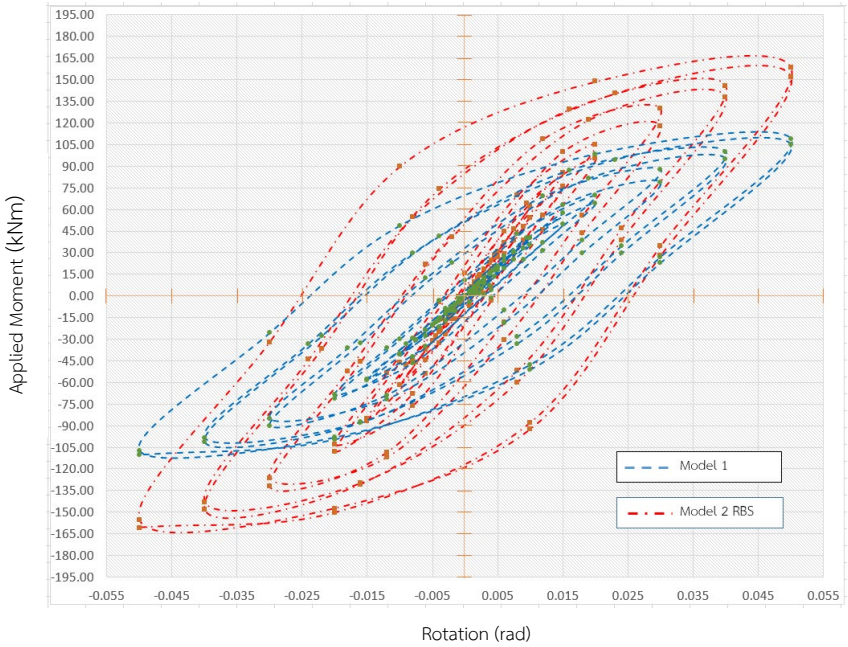
3 หมายถึง แบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัดที่เสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง

4 RBS หมายถึง แบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัดที่เสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง

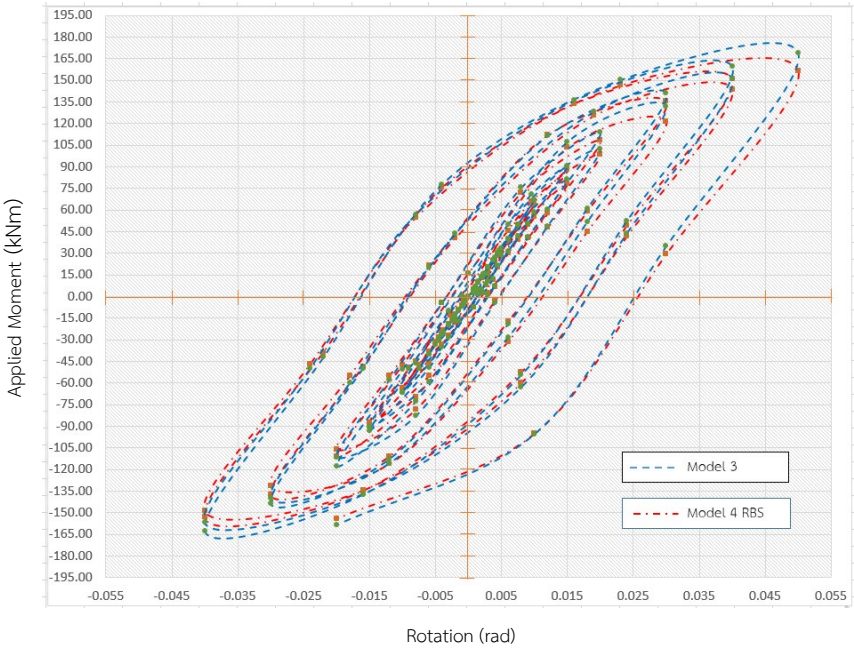
5 หมายถึง แบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าที่ตัดเสริม Stiffener ที่เสา 3 ช่วง

6 RBS หมายถึง แบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัดที่เสริม Stiffener ที่เสา 3 ช่วง

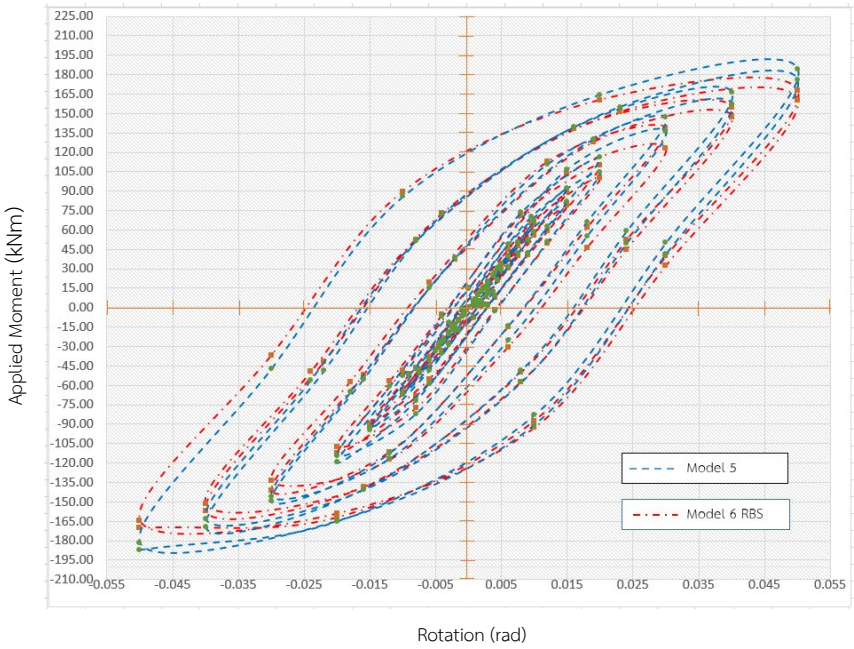
จากตารางที่ 3 พบว่า การลดหน้าตัดที่ปีกคานแบบเซลลูล่าห์ ทำให้สามารถรับโมเมนต์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับคานแบบเซลลูล่าห์ที่ไม่ได้ลดหน้าตัดซึ่งสอดคล้องกันกับงานวิจัยของ Memarzadeh P. and Davarpanah M., (2016) และเมื่อทำการเสริม Stiffener แก่คานแบบเซลลูล่าห์ที่ลดหน้าตัดและคานแบบเซลลูล่าห์ที่ไม่ลดหน้าตัด พบว่า การเสริม Stiffener ทำให้สามารถรับโมเมนต์เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดโดยเฉพาะคานแบบเซลลูล่าห์ที่ไม่ลดหน้าตัด อีกทั้งการลดขนาดปีกคานยังส่งผลให้การวิบัติเกิดขึ้นตรงบริเวณที่ลดขนาดปีกคาน ทำให้สามารถควบคุมตำแหน่งการวิบัติได้ เมื่อเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในแบบจำลองต่าง ๆ พบว่า แบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัดสามารถรับโมเมนต์ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัด โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 45.6 % ดังแสดงในรูปที่ 8 ส่วนแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัดที่เสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง สามารถรับโมเมนต์ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัดที่เสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 1.4 % ดังแสดงในรูปที่ 9 ส่วนแบบจำลองแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัดที่เสริม Stiffener ที่เสา 3 ช่วง สามารถรับโมเมนต์ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัดที่เสริม Stiffener ที่เสา 3 ช่วง โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 1.7 % ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในโครงสร้างระหว่างแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัด (Model 2 RBS) กับแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัด (Model 1)



รูปที่ 9 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในโครงสร้างระหว่างแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัดเสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง (Model 4 RBS) กับแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดเสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง (Model 3)



รูปที่ 10 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในโครงสร้างระหว่างแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัดเสริม Stiffener ที่เสา 3 ช่วง (Model 6 RBS) กับแบบจำลองคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดเสริม Stiffener ที่เสา 3 ช่วง (Model 5)

4. สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์หาพฤติกรรมของคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัด คานแบบเซลลูล่าห์แบบปกติที่เสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง คานแบบเซลลูล่าห์แบบปกติที่ เสริม Stiffener ที่เสา 3 ช่วง และคานแบบเซลลูล่าห์ที่แบบลดหน้าตัด คานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัดและเสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง คานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัดและเสริม Stiffener ที่เสา 3 ช่วง รวมจำนวน 6 แบบจำลองภายใต้การกระทำของแรงแบบวัฏจักร พบว่าหากทำการลดขนาดของปีกคานแบบเซลลูล่าห์ทำให้สามารถรับโมเมนต์ได้เพิ่มขึ้นถึง 45.6 % และเมื่อทำการเสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง และ 3 ช่วงแก่คานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัด และ คานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัด พบว่า คานแบบเซลลูล่าห์แบบลดหน้าตัดที่เสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง และ 3 ช่วง สามารถรับโมเมนต์ได้เพิ่มขึ้นถึง 1.4 % และ 1.7 % เมื่อเทียบกับคานแบบเซลลูล่าห์แบบไม่ลดหน้าตัดที่เสริม Stiffener ที่เสา 2 ช่วง และ 3 ช่วง ตามลำดับ นอกจากนี้ การลดขนาดปีกคานแบบเซลลูล่าห์ส่งผลให้การวิบัติเกิดขึ้นตรงบริเวณที่ลดขนาดทำให้สามารถควบคุมตำแหน่งการวิบัติได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Nini H.A., and Herman, P. (2017) ที่ได้ลดขนาดปีกคานช่องเปิดและเกิดการวิบัติที่หน้าตัดที่ลดขนาดของปีกคาน

5. รายการอ้างอิง

ทักษิณ เทพชาตรี และคณะ 2558 “เอกสารประกอบการคำนวณออกแบบ Cellular Beam” http://www.syssteel.com/sys/เมษายน 2558

Ferhat E. et al. 2015 “Nonlinear finite element analysis of optimally designed steel cellular beams” Res. Eng. Struct. Mat. Vol. 2 Iss. 2 (2016), 59-66

Memarzadeh P. and Davarpanah M., "Cyclic Performance of Moment Resisting Welded Connections with RBS " CECAR7 , September 2016

Nini H.A., et al. "The Effects of Reduced Beam Section on Castellated Beam " MATEC Web of Conferences 138, (2017)

Swati, et al. "Study of steel moment connection with and without reduced beam section" Case Studies in Structural Engineering, Volume 1, June 2014, 26-31

Tsavdaridisa, K.D. 2014 “Strengthening techniques: code-deficient steel buildings” School of Civil Engineering, University of Leeds 2014

Tsavdaridisa, K.D. and Galiatsatos, G. 2015 "Assessment of cellular beams with transverse stiffeners and closely spaced web openings" Thin-Walled Structures, Volume 94(2015), 636-650

Tsavdaridisa, K.D. and Papadopoulos, T. 2016 “A FE parametric study of RWS beam-to-column bolted connections with cellular beams” Journal of Constructional Steel Research, 116, 92-113.

https://engineering.purdue.edu/~jliu/courses/CE591/PDF/CE591MomentConn_F13.pdf (เข้าถึงเมื่อวันที่ 30 ธันวาคม 2561)

https://jgdesignbuild.yellowpages.co.th/ (เข้าถึงเมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2562)

การลดของเสียในกระบวนการผลิตเสื้อสูบของคอมเพรสเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์

DEFECT REDUCTION IN CYLINDER BLOCK MANUFACTURING OF THE AUTOMOTIVE AIR CONDITIONING COMPRESSOR

ชวลิต มณีศรี

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : chawalit.ma@spu.ac.th

จิราวรรณ จินดาอ่อน

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : jirawan.kampu@gmail.com

วรพจน์ พันธุ์คง

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

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

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตคอมเพรสเซอร์ของระบบปรับอากาศรถยนต์ประกอบขึ้นจากชิ้นส่วน เช่น คลัช พูเล่ย์ คอลย์คลัชแม่เหล็ก สวอชเพลต กระบอกสูบ และเสื้อสูบ เป็นต้น ซึ่งเสื้อสูบที่เป็นชิ้นส่วนสำคัญพบปัญหาของเสีย คือ รอยกดทับของเศษชิ้นงานบริเวณขอบ Diameter105 และปัญหา Port NG (Remain) ทำให้ต้องนำชิ้นงานกลับมาทำใหม่หรือทิ้งชิ้นงานนั้นไปหากไม่สามารถแก้ไขได้ คิดเป็นร้อยละ 25 และ 13 ของของเสียรวมตามลำดับ ส่งผลต่อต้นทุน เวลาในการส่งมอบ และความน่าเชื่อถือต่อผลิตภัณฑ์ของบริษัท งานวิจัยนี้ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการทำงานเพื่อลดปริมาณของเสียในการผลิตเสื้อสูบ โดยประยุกต์ใช้ใบตรวจสอบ แผนภูมิ พาเรโต แผนผังสาเหตุและผล ในการวิเคราะห์ปัญหา และใช้เทคนิคการระดมสมองในการหาแนวทางแก้ไข ซึ่งเสนอให้เพิ่มจุดตรวจสอบก่อนกระบวนการล้างชิ้นงานที่เน้นการตรวจสอบในจุดที่เป็นปัญหาหลัก โดยสร้างเอกสารวิธีปฏิบัติงานพร้อมใบตรวจสอบขึ้นใหม่เพื่อให้เกิดมาตรฐานในการทำงาน การทดลองใช้งานพบว่า สามารถลดจำนวนชิ้นงานกลับมาทำใหม่ และจำนวนทิ้งชิ้นงานเหลือ 525 ชิ้น จากเดิม 789 ชิ้น หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 33.5 ลดต้นทุนลง 60,720 บาทต่อเดือน และลดต้นทุนค่าทำงานล่วงเวลาในการนำชิ้นงานกลับมาทำใหม่ได้ 1,600 บาทต่อเดือน รวมลดต้นทุนทั้งหมด 62,320 บาทต่อเดือน

คำสำคัญ: เสื้อสูบ วิธีปฏิบัติงาน ใบตรวจสอบ การระดมสมอง

ABSTRACT

The automotive air conditioning compressor is assembled from clutch, pulley, magnetic clutch coil, swash plate, cylinder, and cylinder block. Cylinder block is the main component that has defected problems. The problems are dent in the Daimeter105 edge and Port NG (Remain) that defects are reworked or identified to scrap if they cannot rework. The defects are 25% and 13% respectively of all defects that affect to cost, delivery, and reliability of company's product. This research conducts the process improvement to reducing the defects of cylinder block manufacturing. Check sheet, Pareto chart, cause and effect diagram, and graph are applied to problem analysis. Problem-solving approach is found out from brainstorm technique. The approach is adding the checking point before the washing process by focus to check in the pain point. Work instruction with check sheet is created for standard work. The result of experimental finds that the approach can reduce the number of reworks and the number of scraps to 525 pieces from 789 pieces or decreasing the defects 33.5 % or reduce the cost 60,720 baht per month. Including, it can reduce the overtime cost 1,600 baht per month. The overall reducing cost is 62,320 baht per month.

Keywords: Cylinder Block, Work Instruction, Check sheet, Brainstorming

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

คอมเพรสเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์มีกระบวนการผลิตที่มีชิ้นส่วนหลายชิ้นประกอบด้วย คลัช พูเล่ย์ คอลย์คลัชแม่เหล็ก สวอชเพลต กระบอกสูบ และเสื้อสูบ (Cylinder Block) เป็นต้น ในกระบวนการผลิตมีปัจจัยที่ควบคุมไว้บางครั้งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดข้อผิดพลาด จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพลดลงและไม่เป็นไปตามที่กำหนด ผลกระทบที่ตามมาเมื่อเกิดของเสียในกระบวนการผลิตคือ การสูญเสียวัตถุดิบที่ต้องทิ้งไป ซึ่งการลดของเสียในกระบวนการผลิตถือว่าเป็นการควบคุมต้นทุนในการผลิตได้และสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันพร้อมกับสร้างความเชื่อมั่นให้กับลูกค้าว่า บริษัทผู้ผลิตคอมเพรสเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์ สามารถที่จะทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้ของเสียที่เกิดขึ้นลดลงได้ ปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาพบปัญหาของเสียของชิ้นส่วนเสื้อสูบสูงถึง 2,100 ชิ้นต่อเดือน หรือมีมูลค่า 483,000 บาทต่อเดือน และจะมีมูลค่าความสูญเสียเพิ่มขึ้นหากนำไปประกอบกับชิ้นส่วนอื่นๆ โดยมีของเสีย 3 ปัญหาหลัก คือ Dent105 , Port NG (Remain) และ Bore Remain

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ประการ (7QC Tools) โดยเลือกใช้ใบตรวจสอบ แผนภูมิพาเรโต แผนผังสาเหตุและผล ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาลักษณะของเสียข้างต้น ร่วมกับเทคนิคการระดมสมอง (Brainstorming Technique) ในการหาแนวทางแก้ปัญหา และพัฒนาเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานด้วยการจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction: WI) เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตเสื้อสูบของคอมเพรสเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์ลงอย่างน้อย 10% ของปริมาณของเสียรวม ซึ่งจะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและช่วยลดต้นทุนได้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดการกระบวนการผลิตให้อยู่ภายใต้การควบคุมเป็นสิ่งสำคัญ โดยหลักวิธีทางสถิตินับได้ว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตซึ่ง เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ประการ (7 QC Tools) [1][2] ซึ่งประกอบด้วย แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet) กราฟ (Graph) แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) แผนภูมิแท่งหรือฮีสโตแกรม (Bar Chart or Histogram) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) แผนภาพกระจาย (Scatter Diagram) และ แผนภูมิควบคุม (Control Chart) โดยกว่า 60 ปีที่ผ่านมา 7 QC Tools ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการควบคุมคุณภาพ เช่น พิพัฒพงศ์และพรประเสริฐ [3] นำมาใช้ในการลดของเสียในกระบวนการผลิตอิฐบล็อกจากเดิม 705 ชิ้น ลดลงเหลือ 564 ชิ้น โดยการใช้แผนผังก้างปลาในการวิเคราะห์ปัญหา นำไปสู่แก้ไขด้วยการฝึกอบรม และจัดทำเอกสารวิธีปฏิบัติงาน (Work Instruction: WI), ยุทธณรงค์ [4] สามารถลดของเสียในกระบวนการนึ่งยางรถยนต์ลดลงจาก 2.39 % เหลือ 0.04% โดยใช้แผ่นตรวจสอบ ผังพาเรโต และแผนผังก้างปลา ซึ่งปรับปรุงการทำงานโดยการซ่อมบำรุงเครื่องจักร และปรับเปลี่ยนวิธีการปฏิบัติงาน, ติรัสกรและรณินทร์ [5] ใช้ลดของเสียกระบวนการผลิตไส้กรอก 4,219 Kg. ต่อเดือน เหลือ 2,169 Kg. ต่อเดือน โดยใช้แนวคิด DMAIC เป็นหลัก ใช้แผนผังก้างปลาในการวิเคราะห์หาสาเหตุ นำไปสู่การปรับปรุงที่จัดเก็บอุปกรณ์และวิธีการทำงานแบบใหม่, ปฐมพงษ์และจักรพรรณ [6] ใช้ลดของเสียกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกจากเดิมร้อยละ 39.05 ลดลงมาเป็นร้อยละ 2.7 โดยใช้แผ่นตรวจสอบเก็บข้อมูล และใช้การออกแบบการทดลองกำหนดค่าตัวแปรหลัก 3 ตัวแปร คืออุณหภูมิ เวลา และแรงดัน และปรีชา [7] ลดของเสียจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนที่ใช้เป็นส่วนประกอบภายในเรือจาก 0.36% เหลือ 0.06% โดยประยุกต์ใช้ทำการวิเคราะห์ใช้แผ่นตรวจสอบ แผนผังพาเรโต แผนผังสาเหตุและผล นำไปสู่การกำหนดวิธีการและขั้นตอนการทำงานในรูปของเอกสาร สำหรับตัวอย่างในอุตสาหกรรมยานยนต์นั้น Parijat และคณะ [2] ประยุกต์ใช้ 7 QC Tools ในการลดของเสียในการผลิตตัวถังรถยนต์ โดยนำแผ่นตรวจสอบ แผนภูมิพาเรโต ในการระบุปัญหาปัญหาเช่นเดียวกันกัน และแผนผังก้างปลาร่วมกับ Why-Why Analysis ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา และเมื่อปรับปรุงการทำงานแล้ว ได้นำแผนภูมิควบคุม (Control Chart) มาควบคุมกระบวนการด้วย

จากการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะพบว่า การประยุกต์ใช้ 7QC Tools นิยมใช้เครื่องมือหลัก 3 อย่าง ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล คือ แผ่นตรวจสอบ กราฟ และแผนภูมิพาเรโต จากนั้นนำปัญหาหรือหัวข้อที่เลือกมาวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนผังก้างปลา เพื่อนำไปสู่การเสนอแนวทางปรับปรุงอย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตามในกระบวนการวิเคราะห์หาสาเหตุนั้นมีเครื่องมืออื่น เช่น Why-Why Analysis และ 5W2H ซึ่งเป็นแนวทางที่บริษัทกรณีศึกษาประยุกต์ใช้เช่นกัน ซึ่งประกอบด้วย What happen คือ เกิดขึ้นอะไร, Why is it a problem ทำไมถึงเป็นปัญหา, When it happen เกิดขึ้นตั้งแต่เมื่อไหร่, Who detected ใครเป็นคนพบปัญหา, Where detected พบปัญหานี้ที่ไหน, How detected ตรวจพบได้ด้วยวิธีการใด และ How Many จำนวนเท่าไรที่ตรวจพบได้ โดยทำเป็นแบบฟอร์มการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงานโดยเรียกว่า QRQC Escalation report (Quick Response Quality Control) ร่วมกับเทคนิคการระดมสมอง (Brainstorming) ซึ่งผู้เข้าร่วมระดมสมองจะต้องเป็นผู้เกี่ยวข้องกับงานที่ตรวจพบปัญหาและหัวหน้างานมาร่วมตัดสินใจเลือกแนวทางแก้ไขปัญหานั้นๆ [8] สำหรับในส่วนของการปรับปรุงมีหลายแนวทางที่เลือกใช้ตามความเหมาะสม แต่ในท้ายที่สุดคือการทำสิ่งที่ปรับปรุงให้เป็นมาตรฐาน ซึ่งเอกสารวิธีปฏิบัติงาน (Work Instruction: WI) เป็นเอกสารที่แสดงรายละเอียดวิธีการทำงานอย่างชัดเจนในจุดงานที่มีความสำคัญต่อการควบคุมลักษณะพิเศษในกระบวนการทำงาน ประกอบด้วย รูปภาพตัวอย่างพร้อมคำอธิบายวิธีปฏิบัติที่ถูกต้องซึ่งผู้ปฏิบัติอ่านแล้วต้องเข้าใจง่าย ไม่ยุ่งยากหรือ

ทำให้เสียเวลาในการปฏิบัติที่มากเกินไป สำหรับการใช้ WI ในบริษัทกรณีศึกษานี้ จะเริ่มจากวิธีปฏิบัติงานชั่วคราว (Temporary Work Instruction: Temp WI) ซึ่งจะได้รับการประเมินทุกเดือน ก่อนที่จะปรับเป็น WI ที่ใช้งานอย่างถาวร หลักการผลการประเมินการใช้งานได้รับการยอมรับและเป็นไปตามจุดประสงค์ของการสร้าง WI นั้นแล้ว

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การลดของเสียในกระบวนการผลิตเสื้อสูบของคอมเพรสเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์ เพื่อวิเคราะห์และหาสาเหตุการเกิดของเสีย มีวิธีการดำเนินการตามลำดับดังนี้

3.1 ศึกษากระบวนการผลิต โดยศึกษากระบวนการผลิตเสื้อสูบของคอมเพรสเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์ตั้งแต่การรับชิ้นส่วนมาจากซัพพลายเออร์มาเข้ากระบวนการทำผิวเรียบจนกระบวนการประกอบโดยใช้แผนภาพการไหล (Flow Chart) เพื่อให้ทราบถึงกิจกรรมปฏิบัติงานและตรวจสอบหลักของสายการผลิต

3.2 เก็บรวบรวมข้อมูล โดยใช้ใบตรวจสอบในการเก็บข้อมูลของเสียที่ CSL1 ซึ่งเป็นจุดตรวจสอบของเสียหลังกระบวนการการล้างทำความสะอาดเสื้อสูบด้วยเครื่องจักร (Washing) ก่อนเข้าสู่กระบวนการประกอบ (Assembly) เป็นคอมเพรสเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์ เป็นระยะเวลา 1 เดือน และใช้แผนภูมิพาเรโตวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเลือกปัญหามาทำการปรับปรุง ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้หลัก 80:20 เลือกปัญหา แต่อย่างไรก็ตามจากการประชุมทีมผู้ปฏิบัติงานในการทำโครงการนำร่องครั้งนี้ (Pilot Project) จะพิจารณา 3 ปัญหาที่มีความสำคัญลำดับแรกมาทำการปรับปรุงก่อน

3.3 วิเคราะห์ปัญหา โดยระดมสมองเพื่อหาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา และใบ QRQC Escalation report ตามแนวทางของบริษัทกรณีศึกษา

3.4 เสนอแนวทางการปรับปรุง โดยการระดมสมองโดยมีผู้เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเสื้อสูบของคอมเพรสเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์ได้มีการร่วมเสนอแนวทางแก้ไข ซึ่งแนวทางปรับปรุงอาจเป็นการปรับเปลี่ยนกระบวนการ การเพิ่มการตรวจสอบ และการใช้เทคโนโลยีในการผลิต เป็นต้น

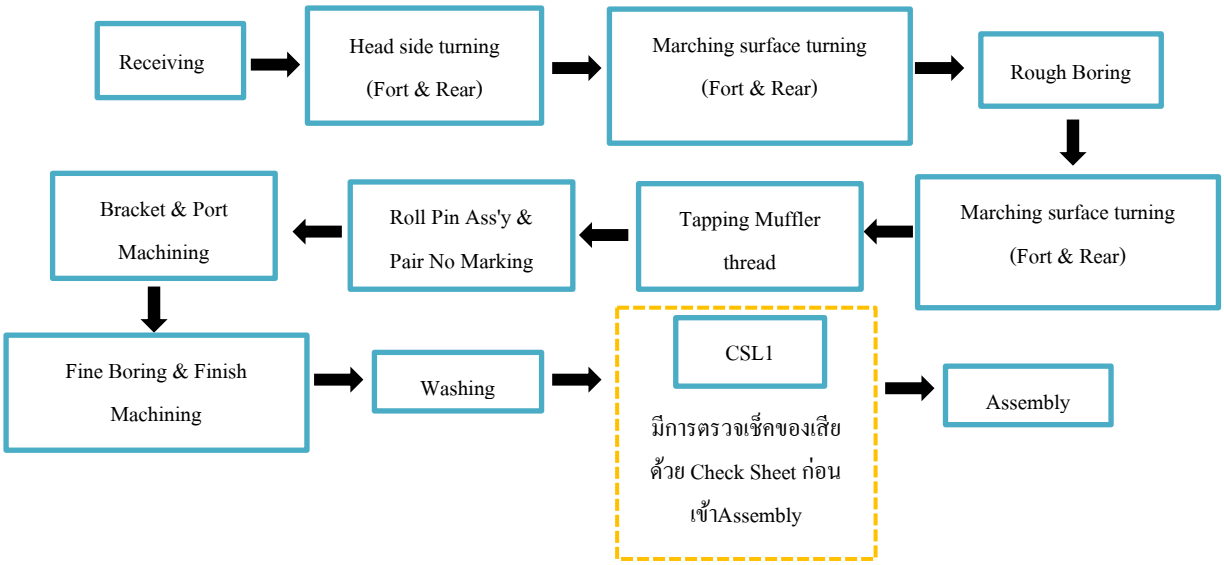
3.5 ทดลองและวิเคราะห์ผล โดยให้ผู้ปฏิบัติงานในสายการผลิต (Line) N ทดลองใช้แนวทางปรับปรุงที่ได้จากข้อที่ 3.4 เป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยมี Temp WI เป็นมาตรฐานชั่วคราวในการปฏิบัติงาน และดำเนินการเก็บข้อมูลของเสียอีกครั้งในเดือนพฤศจิกายนเพื่อเปรียบเทียบผลการปรับปรุง

3.6 สรุปผลการดำเนินงาน โดยการเปรียบเทียบก่อนและหลังใช้วิธีการปฏิบัติว่าสามารถลดของเสียหรือต้นทุนที่เกิดจากปัญหาได้เท่าไร และสามารถเปลี่ยนสถานะจาก Temp WI เป็น WI ได้หรือไม่

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ศึกษากระบวนการผลิต

จากการศึกษากระบวนการผลิตตามขั้นตอนจะมีการรับชิ้นส่วนเสื้อสูบมาจากซัพพลายเออร์มีลักษณะเป็นผิวหยาบต้องนำเข้าสู่กระบวนการผลิตทำให้เป็นผิวเรียบ เจาะรูท่อน้ำมันและปรับแต่งให้ได้ขนาดตามที่มีการควบคุมตามแผนการผลิตอีกครั้งและมีจุดตรวจสอบของเสียที่ CSL1 หลังกระบวนการการล้างทำความสะอาดเสื้อสูบด้วยเครื่องจักร ก่อนเข้าสู่กระบวนการประกอบเป็นคอมเพรสเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์ ดังแผนภาพที่ 1

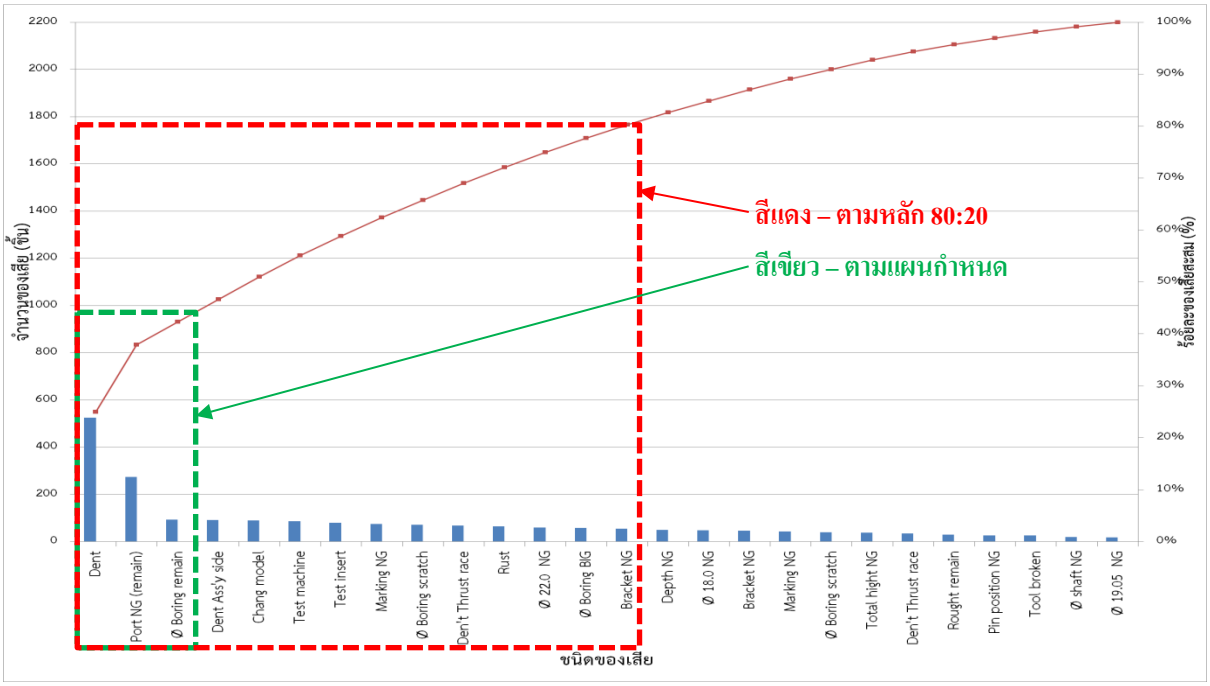


แผนภาพที่ 1 กระบวนการผลิตเสื้อสูบของคอมเพรสเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์ (ก่อนปรับปรุง)

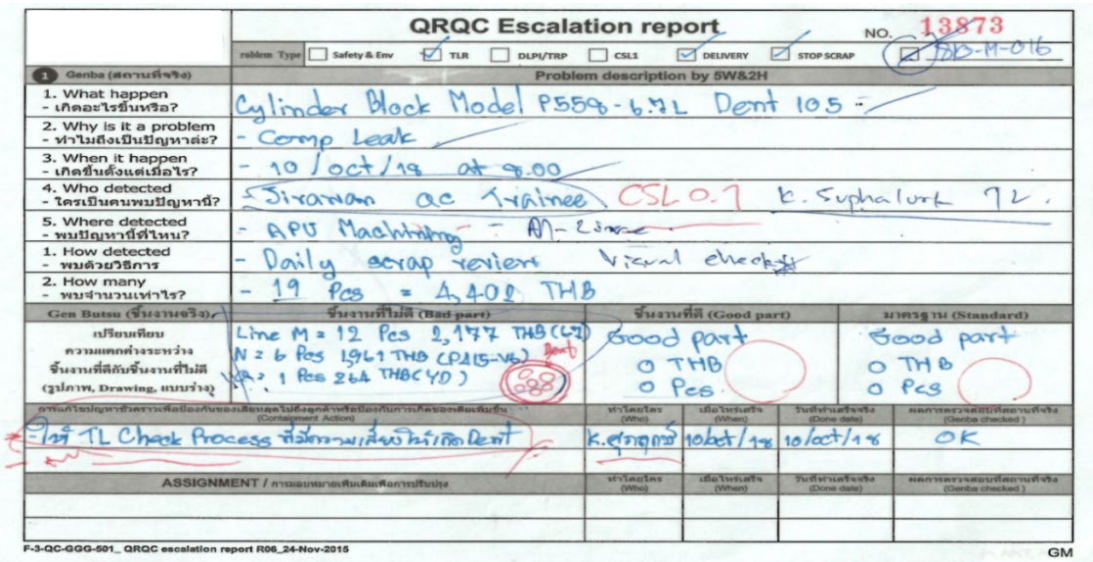
4.2 เก็บรวบรวมข้อมูล

มีการเก็บข้อมูลของเสียเพื่อระบุลักษณะของเสียโดยใช้ใบตรวจสอบที่ CSL1 และลำดับความสำคัญของปัญหาด้วยแผนภูมิพาเรโต ซึ่งตามหลักการ 80:20 แล้วจะต้องเลือกถึง 14 ปัญหามาปรับปรุงดังแผนภาพที่ 2 อย่างไรก็ตามตามแผนการที่กำหนดไว้จะพิจารณาปัญหา 3 อันดับแรก คือ Dent105 เกิดจากรอยกดทับของเศษชิ้นงานบริเวณขอบ Diameter105 มีจำนวนของเสีย 525 ชิ้น (Rework 357 ชิ้น และทิ้งชิ้นงาน 168 ชิ้น) คิดเป็นเงิน 120,750 บาทร้อยละ 25% ของของเสียทั้งหมด อันดับที่สอง Port NG (Remain) เกิดจากใบมีดสึกหรอทำให้ผิวภายในท่อน้ำมันไหลผ่านไม่เรียบมีลักษณะผิวขรุขระมีจำนวนของเสีย 273 ชิ้นคิดเป็นเงิน 62,790 บาท หรือร้อยละ 13% จากของเสียทั้งหมด และอันดับสาม Bore Remain เกิดจากองศาภายในรู Bore ไม่ได้ขนาดตามที่เอกสารควบคุมการผลิตระบุไว้มีจำนวน 93 ชิ้นคิดเป็นเงิน 20,930 บาท ร้อยละ 4% จากของเสียทั้งหมด 2,106 ชิ้น ซึ่งปัญหาลำดับที่ 3 ค่อนข้างมีสัดส่วนของเสียและผลกระทบที่แตกต่างจาก 2 อันดับแรก จึงเลือกปัญหาอันดับที่ 1 และ 2 มาทำการแก้ไขก่อนเพราะมีจำนวนของเสียมากที่สุด ซึ่งเป็นปัญหาที่ทำให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้นเนื่องจากของเสียที่เกิดขึ้น และเหมาะสมกับเวลาในการทำงานระยะสั้น

ขณะเดียวกันการที่มีชิ้นงานที่ต้อง Rework ทำให้ส่งผลกระทบต่อเวลาและต้นทุนของบริษัทกรณีศึกษาด้วยเช่นเดียวกัน โดยต้องจ้างพนักงานทำล่วง 1 คน เวลาช่วงวันเสาร์อาทิตย์ รวม 8 วันต่อเดือน มีค่าแรงต่อวัน 320 บาท หรือคิดเป็น 2,560 บาทต่อเดือน



แผนภาพที่ 2 แผนภูมิพาเรโต


QRQC Escalation report NO. 13873

Problem description by 5W&2H

1. What happen - เกิดอะไรขึ้นหรือ? Cylinder Block Model P558-6.7L Dent 105
2. Why is it a problem - ทำไมถึงเป็นปัญหาล่ะ? - Comp Leak
3. When it happen - เกิดขึ้นตั้งแต่เมื่อไร? - 10/oct/18 at 9.00
4. Who detected - ใครเป็นคนพบปัญหา? Sirawan QC Trainee CSL 0.7 K. Suphalurk 72.
5. Where detected - พบปัญหาที่ไหน? - APU Machining
1. How detected - พบด้วยวิธีการ - Daily scrap review Visual check
2. How many - พบจำนวนเท่าไร? - 19 Pcs = 4,401 THB

Good part 0 THB 0 Pcs

ASSIGNMENT: ให้ TL Check Process ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิด Dent — K.ศุภฤกษ์ 10/oct/18 10/oct/18 OK

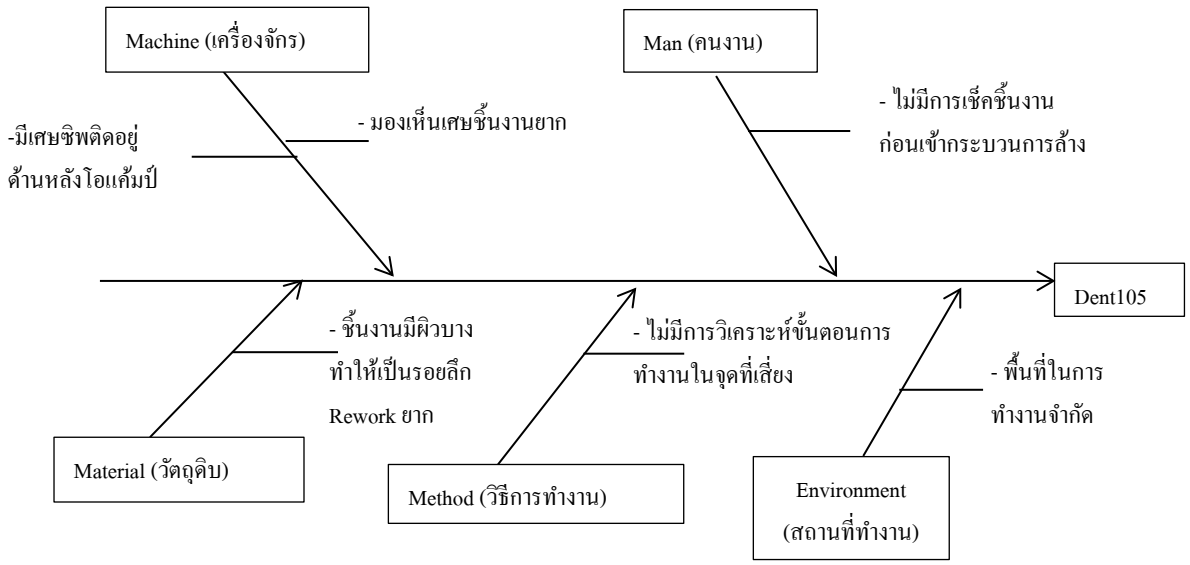
F-3-QC-GGG-501_ QRQC escalation report R06_24-Nov-2015 GM

แผนภาพที่ 3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหา Dent105 ด้วย ใบ QRQC Escalation report

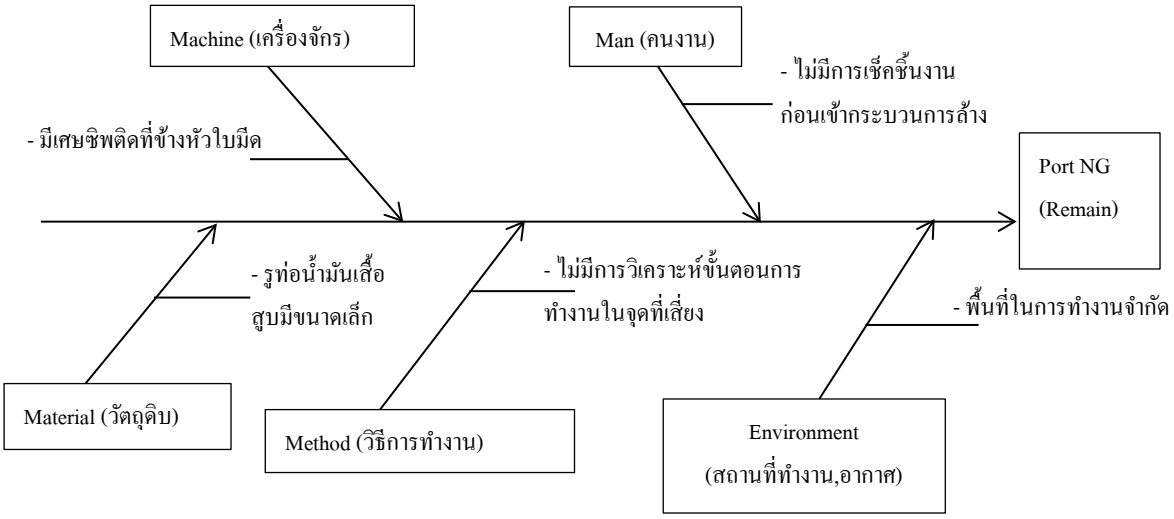
4.3 วิเคราะห์ปัญหา

จากการวิเคราะห์ปัญหา ได้เลือกปัญหาอันดับ 1และ 2 เกิดของเสียขึ้นในกระบวนการผลิตเสื้อสูบของคอมเพรสเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์มากที่สุด 2 ปัญหา โดยใช้วิธีเก็บข้อมูลโดยใช้ใบตรวจสอบ มาออกแบบให้เหมาะสมกับการคัดแยกของเสียออกเป็นแต่ละปัญหาเยอะที่สุดมาเสนอในที่ประชุมโดยใช้ QRQC Escalation report เป็นแบบฟอร์มการวิเคราะห์ปัญหาของเสียของบริษัทกรณีศึกษา ดังแผนภาพที่ 3 ร่วมกับแผนผังก้างปลาในแผนภาพที่ 4 และ 5 ที่นำมาใช้ระดมสมองหาสาเหตุในที่ประชุม ซึ่งจะมีการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ 5W2H มา

ปรับใช้เพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหา คือ มีการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชิ้นงานดีและชิ้นงานไม่ดีเป็นรูปภาพ Drawing แบบร่าง หรือจำนวนของเสีย และการแก้ไขปัญหาชั่วคราวเพื่อป้องกันของเสียเกิดเพิ่มขึ้นหรือหลุดไปยังกระบวนการผลิตถัดไประหว่างรอวิธีการแก้ไขปัญหาของเสียที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งพบว่าสาเหตุหลักมากจากวิธีการปฏิบัติงานที่มีการตรวจสอบไม่เพียงพอ และเครื่องจักรที่มีเศษชิพติดอยู่เมื่อปฏิบัติงาน



แผนภาพที่ 4 แผนผังก้างปลาของปัญหา Dent105



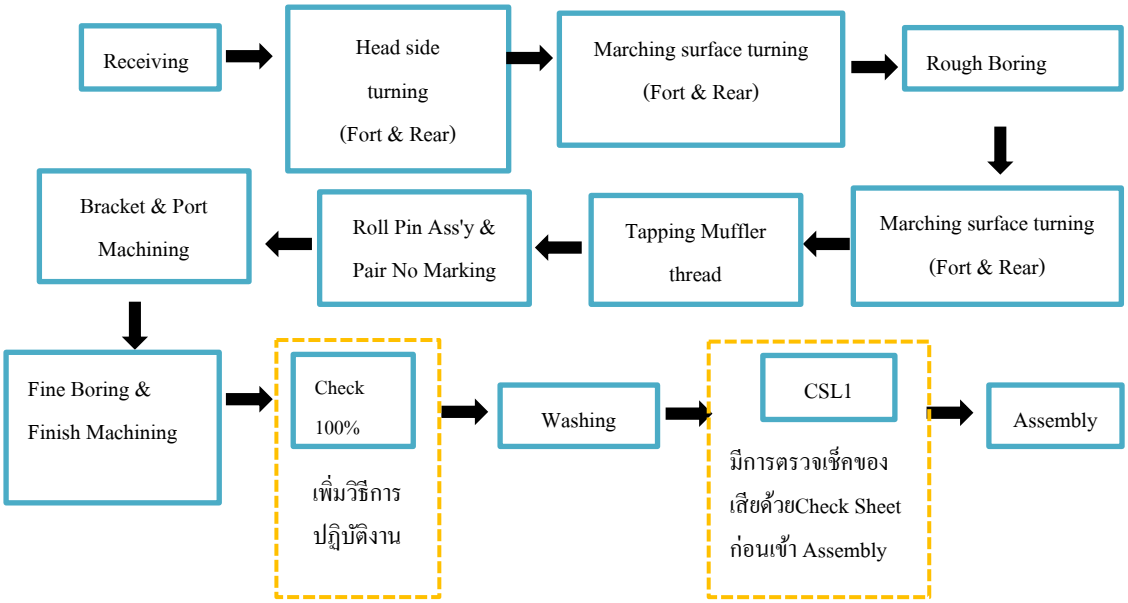
แผนภาพที่ 5 แผนผังก้างปลาของปัญหา Port NG (Remain)

4.4 เสนอแนวทางการปรับปรุง

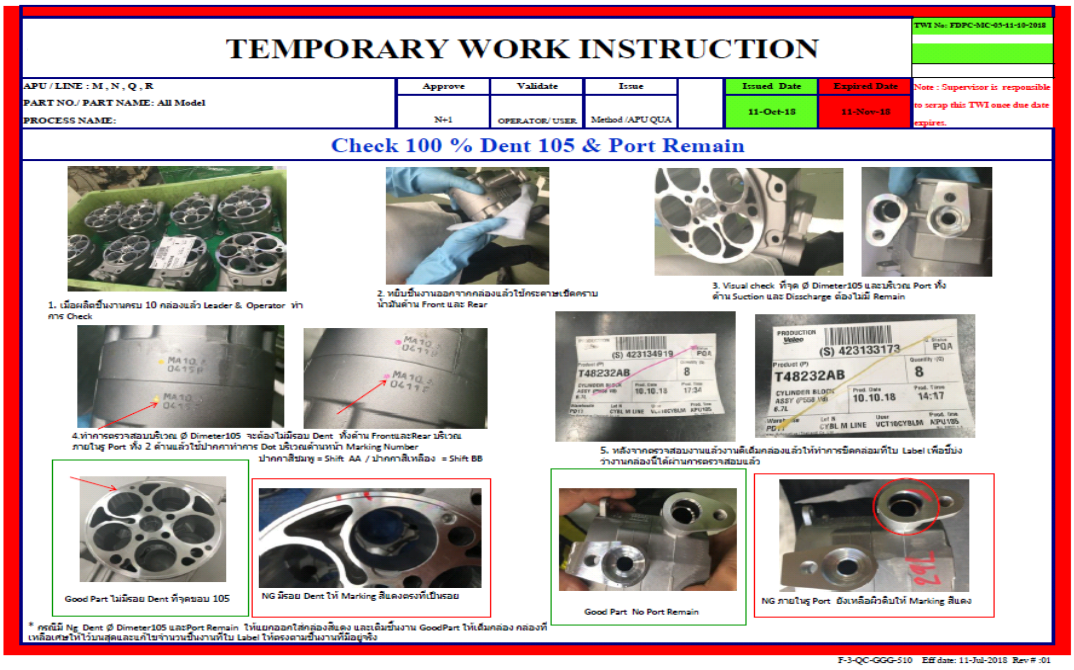
จากการระดมสมองเสนอแนวทางการปรับปรุงโดยมีผู้เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตที่เกิดปัญหาได้แก่ ผู้จัดการฝ่ายกระบวนการผลิต วิศวกรซ่อมบำรุงเครื่องจักร หัวหน้าฝ่ายผลิตเสื้อสูบ วิศวกรควบคุมคุณภาพ และ

วิศวกรการผลิตได้มีการเสนอให้ จัดทำวิธีการปฏิบัติงาน แจ้งซัพพลายเออร์ภายนอกเข้ามาปรับปรุงเครื่องจักร ให้พนักงานทำล่วงเวลา (Overtime: OT) เพิ่มเวลาในการทำงานเพื่อแก้ไขของเสียบางส่วนที่สามารถ Rework ได้ โดยที่ประชุมสรุปผลว่า ควรเพิ่มการตรวจสอบเพื่อคัดกรองของเสียก่อนเข้ากระบวนการล้าง (Washing) อีก 1 ขั้นตอน เพื่อลดความสูญเสียและต้นทุนในกระบวนการล้างที่เปล่าประโยชน์ ช่วยลดความหนาแน่นของการตรวจสอบที่ CSL1 ลงไปด้วย รวมถึงเพิ่มโอกาสเปลี่ยนสภาพชิ้นงานจากที่ต้องทิ้งมาเป็นชิ้นงาน Rework และเพิ่มโอกาสเปลี่ยนสภาพชิ้นงานจาก Rework มาเป็นชิ้นงานปกติได้ เนื่องจากหากปล่อยให้ชิ้นงานที่อยู่ในสภาพของเสียเข้าสู่ Washing อาจจะทำให้อยู่ในสภาพที่ยากต่อการ Rework และกลายสภาพเป็นชิ้นงานที่ต้องทิ้งมากขึ้น ซึ่งคาดว่า จำนวนของเสียรวมใน 2 จุดนี้ จะลดลง ป้องกันของเสียหลุดเข้าสู่กระบวนการประกอบได้มาขึ้น ลดต้นทุนค่าแรงในการทำงานล่วงเวลาได้ โดยทำในรูปแบบของใบตรวจสอบร่วมกับ WI

แนวทางในการลดของเสียตามที่กล่าวมาในข้างต้น คือ ประยุกต์ใช้แนวทางของใบตรวจสอบร่วมกับ WI โดยจะเริ่มจากการสร้าง Temp WI โดยให้ หัวหน้าฝ่ายผลิตตรวจเช็คเสื้อสูบ ด้วยวิธีใช้สายตา 100 % ก่อนนำงานใส่กล่องใช้ปากกาสีทำสัญลักษณ์เป็นจุดบริเวณหน้า Marking Number ดังแผนภาพที่ 6 เพื่อให้ทราบว่าได้ทำการตรวจเช็ครอย Dent บริเวณขอบ Diameter105 ของชิ้นส่วนเสื้อสูบ และขีดคร่อมที่ใบบาร์โค้ดของแต่ละกล่อง โดยมีระยะเวลาทดลอง 1 เดือน พร้อมเก็บข้อมูลของเสียหลังใช้ Temp WI ดังแผนภาพที่ 7 อีกครั้งว่าสามารถลดจำนวนของเสียในปัญหานี้ได้หรือไม่ หากสามารถลดจำนวนของเสียได้เอกสารจะถูกเปลี่ยนวันหมดอายุใช้งาน และทำการเก็บข้อมูลของเสียตามปกติเมื่อครบกำหนดจะมีการตรวจเช็คเอกสารหากยังสามารถใช้ลดของเสียได้ก็จะถูกใช้ต่อไปเรื่อยๆ และทำให้เอกสารเป็น WI แบบถาวรต่อไป



แผนภาพที่ 6 กระบวนการผลิตเสื้อสูบของคอมเพรสเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์ (หลังปรับปรุง)



แผนภาพที่ 7 Temporary work instruction

4.5 ทดลองและวิเคราะห์ผล

ภายหลังให้ผู้ปฏิบัติงานในสายการผลิต Line N ใช้ Temporary work instruction และดำเนินการเก็บข้อมูลของเสียอีกครั้งในเดือนพฤศจิกายน โดยมีผลเป็นดังนี้

4.5.1 ปัญหา Dent105 มีของเสียรวม 410 ชิ้น คือ

- กระบวนการตรวจสอบก่อน Washing มีของเสียจากปัญหา Dent105 จำนวน 283 ชิ้น แบ่งเป็น Rework 210 ชิ้น และทิ้งชิ้นงาน 63 ชิ้น
- กระบวนการ CLS1 มีของเสียจากปัญหา Dent105 จำนวน 127 ชิ้น แบ่งเป็น Rework 103 ชิ้น และทิ้งชิ้นงาน 24 ชิ้น

4.5.2 ปัญหา Port NG (Remain) มีของเสีย 115 ชิ้น แบ่งเป็น Rework 90 ชิ้น และทิ้งชิ้นงาน 25 ชิ้น

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ได้นำใบตรวจสอบ แผนภูมิพาเรโต แผนผังสาเหตุและผล มาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา และใช้เทคนิคการระดมสมองเพื่อหาแนวทางแก้ไข ซึ่งเสนอให้เพิ่มจุดตรวจสอบก่อนกระบวนการล้างชิ้นงานที่เน้นการตรวจสอบในจุดที่เป็นปัญหาหลัก โดยสร้างเอกสารวิธีปฏิบัติงานพร้อมใบตรวจสอบขึ้นใหม่เพื่อให้เกิดมาตรฐานในการทำงาน แล้วภายใน 1 เดือนได้ทำการเก็บข้อมูลของเสียอีกครั้งที่ CSL1 และจุดที่เพิ่มวิธีการปฏิบัติงานก่อนเข้ากระบวนการล้างรวมของเสียแล้ว พบว่าของเสียจากปัญหา Dent105 และ Port NG (Remain) ลดลงจาก 789 ชิ้นเหลือ 525 ชิ้น หรือลดลง 264 ชิ้น คิดเป็น 33.5% หรือประหยัดต้นทุน 60,720 บาท ขณะเดียวกันจำนวนของเสียที่เข้าสู่กระบวนการ Rework ลดลงเช่นกัน โดยภายหลังการปรับปรุงงานทำให้มีชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการ

Rework น้อยลง โดยปรับเปลี่ยนการจ้างล่วงเวลาเป็นทุกวันศุกร์ ครั้งละ 4 ชั่วโมง ชั่วโมงละ 60 บาทแทน หรือ 960 บาทต่อเดือน หรือลดลง 1,600 บาทต่อเดือน โดยรวมแล้วลดต้นทุนได้ 62,320 บาทต่อเดือน

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นโครงการนำร่องในระยะแรกเท่านั้น ในอนาคตอาจนำปัญหา Bore Remain รูท่อสำหรับน้ำมันไหลผ่านมีรอยถลอกหรือปัญหาอื่นๆ ในลำดับถัดไป ซึ่งได้ลำดับไว้แล้วในแผนภูมิพาเรโต ตามหลักการ 80:20 มาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและหาแนวทางในการลดของเสีย รวมถึงการปรับปรุง (Modified) เครื่องจักรซึ่งยังไม่สามารถดำเนินการได้ในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Montgomery, Douglas C., **Introductionto Statistical Quality Control.** 7th Edition, Wiley, USA. 2012.

[2] Parijat Bhangale, Rajesh Dhake, Gajanan Gambhire, Reduction in Defects of Car Body Panel Using 7QC Tools Approach, In Proceeding of the National Conference on, Modeling, Optimization and Control (NCMOC) 2015, 4 th -6 th March 2015, Pune, Maharashtra, India, 1-5, 2015.

[3] พิพัฒพงศ์ ศรีชนะ และพรประเสริฐ ขวาลำธาร, การลดของเสียในกระบวนการผลิตอิฐบล็อก กรณีศึกษา : บริษัท มาหาอาณาจักร จำกัด. ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, 2555.

[4] ยุทธณรงค์ จงจันทร์, การลดของเสียในกระบวนการนึ่งยางรถยนต์, **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี** ปีที่ 8 ฉบับที่ 15 เดือนมกราคม – เมษายน 2557. 49 – 57, 2557.

[5] ติรัสกร เขมาสิทธิ์ และรณินทร์ กิจกลา, การลดของเสียจากกระบวนการผลิตไส้กรอกโดยการประยุกต์ใช้แนวคิด DMAIC กรณีศึกษา: โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร, **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : เทพสตรี I-TECH** ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2559, 77 – 83, 2559.

[6] ปฐมพงษ์ หอมศรี และจักรพรรณ คงธนะ, การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง, **วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต** ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2556, 73 – 95, 2556.

[7] ปรีชา เอี่ยมสอาด, การลดของเสียจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนที่ใช้เป็นส่วนประกอบภายในเรือ, การค้นคว้าอิสระ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2551.

[8] อรยา พูลทรัพย์, **การจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน,** แหล่งที่มา http://km.fsh.mi.th/wp-content/uploads/2016/08/103.pdf, เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2560.

สหสัมพันธ์ระหว่างค่าทดสอบ KPT กับค่าทดสอบ SPT และค่ามุมเสียดทานภายในของดิน กรณีศึกษาหน่วยงานก่อสร้างในเขตภาคใต้ ประเทศไทย

CORRELATION BETWEEN KPT, SPT AND THE INTERNAL FRICTION ANGLE OF SUBSOILS : A CASE STUDY OF CONSTRUCTION SITES IN SOUTHERN THAILAND.

ชัชวาลย์ พูนลาภพานิช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: chatshawal.po@spu.ac.th

ดร.คมวุธ วิศวไพศาล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: komwut.wi@spu.ac.th

ธนิน พันธวัฒน์

วัฒนชัย กระจ่างโฉม

พงษ์นุกูล พันธุ์สุจริตไทย

นักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง มหาวิทยาลัยศรีปทุม

บทคัดย่อ

Kunzelstab Penetration Test (KPT) เป็นเครื่องมือทดสอบตอกหยั่งขนาดเบาตามมาตรฐาน DIN 4094 มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา เหมาะสมใช้สำรวจข้อมูลชั้นดินในพื้นที่ทุรกันดาร แต่ค่าผลทดสอบ KPT (N_{KPT}) ยังมีข้อมูลสหสัมพันธ์กับพารามิเตอร์หรือคุณสมบัติทางวิศวกรรมต่าง ๆ ของดินอย่างจำกัด งานวิจัยนี้รวบรวมข้อมูลผลทดสอบดินในที่ 2 วิธีคือ การทดสอบ KPT และการทดสอบ SPT (Standard Penetration Test) จำนวน 76 ชุด จากพื้นที่หน่วยงานก่อสร้างทางภาคใต้ของประเทศไทย 11 หลุมเจาะ โดยนำค่า N_{KPT} มาวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์ได้ผลดังนี้

(1) สมการสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT}และ N_{60} ของชั้นดินในพื้นที่ศึกษา

$$N_{60} = 0.758\ N_{KPT}^{0.70}$$

(2) สมการสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT}และ ϕ' ของชั้นดินทราย (SM SC) ในพื้นที่ศึกษา

$$\phi' = \left(\frac{11.67}{\sqrt[4]{\sigma_v'}}\right) N_{KPT}^{0.64} + 20$$

สมการสหสัมพันธ์แบบ Empirical ที่ได้สามารถประยุกต์ใช้วิเคราะห์ออกแบบงานวิศวกรรมธรณีเทคนิคในพื้นที่โครงการและใกล้เคียง

คำสำคัญ : การตอกหยั่งคุนเซลสแตป การตอกทะลวงมาตรฐาน ค่ามุมเสียดทานภายในของดิน

ABSTRACT

Kunzelstab Penetration Test (KPT) is a soil's dynamic cone penetration testing technique used under the DIN 4094 standard. A small and light-weighted instrument of this technique is suitable for explorations of underground layers in remote areas. The KPT testing result, however, still has limited capability in order to correlate with some other engineering properties of the tested soils. This research employed 2 different soil testing techniques that were the KPT and the Standard Penetration Test (SPT). A total of 76 data sets were collected from 11 boring holes at construction sites in the southern provinces of Thailand. Test results were used to establish parametric relationships between the 2 testing techniques. These relationships are:

(1) the number of blow counts from KPT (N_{KPT}) versus the number of blow counts from SPT (N_{60})

$$N_{60} = 0.758\ N_{KPT}^{0.70} \quad \text{and}$$

(2) the number of blow counts from KPT (N_{KPT}) versus internal friction angle (ϕ') of soil.

$$\phi' = \left(\frac{11.67}{\sqrt[4]{\sigma_v'}}\right) N_{KPT}^{0.64} + 20$$

The obtained mathematical equations of these relationships can be used for geotechnical analysis and design within a specific construction site and its vicinity.

Keywords : Kunzelstab penetration test, Standard penetration test, Internal friction angle

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

Standard Penetration Test (SPT) เป็นเครื่องมือทดสอบดินในสนามที่วิศวกรทั่วโลกนิยมใช้เจาะสำรวจชั้นดิน เพื่อได้ข้อมูลการจัดเรียงชั้นดินและคุณสมบัติทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคมากที่สุด มีปริมาณการนำข้อมูลของการทดสอบนี้สำหรับการวิเคราะห์ออกแบบฐานราก งานวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินและอื่นๆ ประมาณ 80-90% ของงานวิศวกรรมปฐพีทั้งหมด การทดสอบ SPT มีข้อดีในหลายๆด้าน มีส่วนประกอบของอุปกรณ์และวิธีการทดสอบที่เรียบง่าย ทดสอบได้ในชั้นดินทุกประเภท รวมทั้งความรู้ประสบการณ์ในเรื่องการใช้งานและงานวิจัยในระยะเวลากว่า 80 ปี ทำให้มีข้อมูลมีสหสัมพันธ์ระหว่างค่าทดสอบ (N N_{60} หรือ $(N_1)_{60}$) กับพารามิเตอร์หรือคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินจำนวนมาก เช่น Allowable bearing capacity, Shear strength, Relative Density, Settlement, และ Compressibility

สำหรับงานเจาะสำรวจชั้นดินในพื้นที่ทุรกันดาร การทดสอบ SPT มีข้อเสียเปรียบคือ อุปสรรคจากการขนย้ายอุปกรณ์ที่ขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ยากต่อการเข้าถึงพื้นที่ทดสอบ เป็นสาเหตุให้มีความพยายามทดแทนด้วยเครื่องมือทดสอบตอกหยั่ง (Dynamic Cone Penetration Test, DCPT) ที่มีขนาดเล็กลง มีตุ้มตอกน้ำหนักเบาอาศัยเพียงแรงงานคนยกตอก ในกลุ่มประเทศยุโรป มีการใช้งานเครื่องมือ DCPT นี้ในงานสำรวจชั้นดินอย่างแพร่หลายโดยมีลักษณะเครื่องมือ และระดับพลังงานตอกทดสอบแตกต่างกันมากมาย มาตรฐานทดสอบระหว่างประเทศในกลุ่มยุโรป (เช่น DIN BS และ ISO) ได้จำแนกเครื่องมือ DCPT ออกเป็น 4 กลุ่มประกอบด้วย ชุดตอกหยั่งขนาดเบา (Dynamic probing light, DPL) ขนาดกลาง (Dynamic probing medium, DPM) ขนาดหนัก (Dynamic probing heavy, DPH) และขนาดหนักมาก (Dynamic probing super heavy, DPSH) สามารถเลือกใช้ให้เหมาะกับสภาพชั้นดินและวัตถุประสงค์การทดสอบที่แตกต่างกัน ขณะที่มาตรฐานอเมริกัน (ASTM) มีการใช้งาน

เครื่องมือตอกหยั่งขนาดเบาแตกต่างไปจาก DPL ของมาตรฐานยุโรปเล็กน้อย เน้นการใช้ประเมินคุณสมบัติของวัสดุชั้นทาง อาทิเช่น ค่า CBR ค่า Unconfined compressive strength และค่า Resilient modulus รายละเอียดข้อมูลสังเขปของเครื่องมือ DCPT ที่กล่าวข้างต้นได้นำเสนอไว้ในตารางที่ 1 ส่วนในประเทศไทยมีการใช้งานและศึกษาวิจัยสหสัมพันธ์ของดินโดยเครื่องมือตอกหยั่งขนาดเบา 2 แบบ แบบแรกคือเครื่องตอกหยั่งเบา DCPT มาตรฐานอเมริกัน [1] โดยสำนักสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง มีงานวิจัยตัวอย่างเช่น ผลศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างค่าทดสอบ DCPT กับ ค่า Unsoaked CBR [7] แบบที่สองเป็นเครื่องตอกหยั่งเบา Kunzelstab Penetration Test (KPT) ตามมาตรฐานเยอรมัน [2] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) ได้นำมาใช้สำรวจกำลังชั้นดินเพื่อออกแบบฐานรากของเสาไฟฟ้าแรงสูง การปรับปรุงซ่อมแซมเขื่อนดิน เป็นต้น

ตารางที่ 1 ลักษณะพื้นฐานของเครื่องมือทดสอบแบบตอกหยั่งประเภทต่างๆ

Type		Cone diameter (mm)	Cone nominal base area (cm^2)	Mass of hammer (kg)	Height of fall (mm)	Energy per blow per cone area ($kN\text{-}m/m^2$)
DPL (light)		35.7	10	10	500	50
DPM (medium)		43.7	15	30	500	100
DPH (heavy)		43.7	15	50	500	167
DPSH (super heavy)	DPSH-A	45	16	63.5	500	194
	DPSH-B	51	20	63.5	750	238
KPT (DIN 4049)		25.2	5	10	500	100
DCPT (ASTM D6951-03)		20	3.14	8	575	143

ถึงแม้ว่าการสำรวจชั้นดินด้วยการทดสอบ KPT มีข้อดีกว่าเชิงเปรียบเทียบกับการทดสอบ SPT อยู่หลายประการ แต่ก็มีข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับสหสัมพันธ์ระหว่างผลทดสอบกับพารามิเตอร์คุณสมบัติทางวิศกรรมเพื่อประยุกต์ใช้ในงานออกแบบฐานรากจำนวนจำกัด ปัจจุบันประเทศไทยมีเพียง Chart ความสัมพันธ์กับค่า Allowable bearing capacity ที่ใช้ออกแบบฐานรากแผ่ขนาด 2x2 ตารางเมตร อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน จำกัดค่าการทรุดตัวไม่เกิน 25 มิลลิเมตรที่ EGAT จัดทำขึ้นเพื่อใช้งานออกแบบฐานรากของเสาไฟฟ้าแรงสูงเท่านั้น ถ้าต้องประเมินหาค่าพารามิเตอร์กำลังของดิน (c' และ ϕ') จะต้องแปลงเป็นค่าผลทดสอบ SPT (N_{60}) ในเบื้องต้นก่อนแปลงซ้ำเป็นค่าพารามิเตอร์อื่น ซึ่งได้จากสหสัมพันธ์แบบ Empirical ทั้งสิ้น [11] งานวิจัยนี้ต้องการนำข้อมูลผลทดสอบ KPT (N_{KPT}) ของงานสำรวจชั้นดินโครงการก่อสร้างแห่งหนึ่งมาหาสหสัมพันธ์กับค่าผลทดสอบSPT (N_{60}) และค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ') นำเสนอเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานและส่งเสริมให้เกิดวิจัยเพิ่มเติมต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อหาสหสัมพันธ์ระหว่างค่าทดสอบ KPT (N_{KPT}) และค่าทดสอบ SPT (N_{60})

(2) เพื่อหาสหสัมพันธ์ระหว่างค่าทดสอบ KPT (N_{KPT}) และค่ามุมเสียดทานภายในของดิน (ϕ')

3. ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

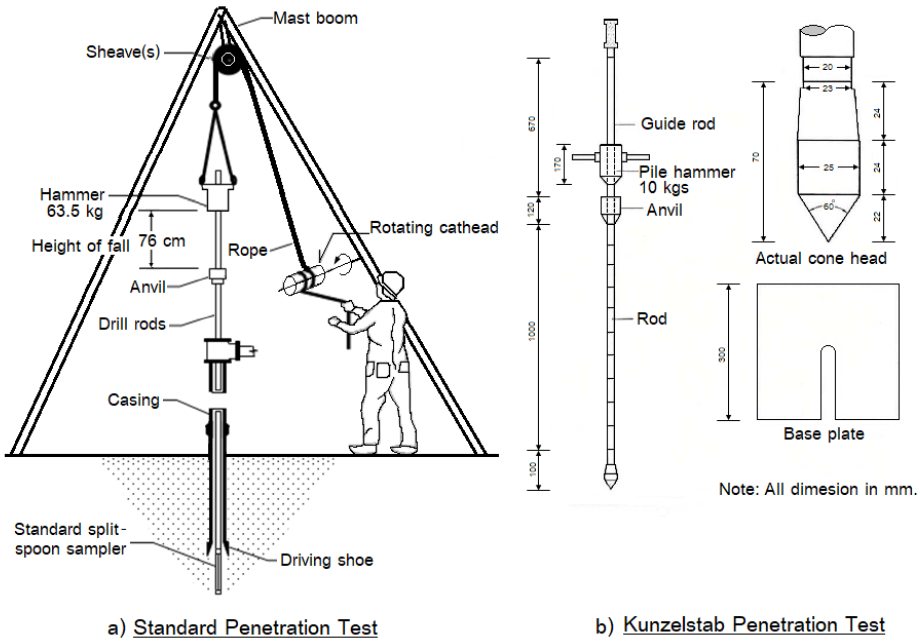
3.1 เครื่องมือและวิธีการทดสอบ

Standard Penetration Test (SPT) เป็นการทดสอบกำลังต้านทานชั้นดินด้วยการหยั่งตอกไปพร้อมกับการเก็บตัวอย่างแบบแปรสภาพ อุปกรณ์สำคัญในชุดทดสอบประกอบด้วย (รูปที่ 1a) 1. กระบอกผ่าซีกมาตรฐาน (Standard split spoon sampler) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในและภายนอก 1 3/8" และ 2" 2. ท่อเหล็กกันดิน (Casing) เส้นผ่าศูนย์กลาง 4" 3. ชุดก้านเจาะ (Drill rod) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75" 4. ตุ้มตอก (Hammer) น้ำหนัก 63.5 kg 5. แท่นรองตอก (Anvil) 6. โครงสามขา (Mast boom) 7.รอกเหล็ก (Sheave) ขนาดร่อง 1" เส้นผ่านศูนย์กลาง 6" 8. เชือกมะนิลา (Rope) เส้นผ่านศูนย์กลาง 1" ภายหลังการติดตั้งโครงสามขาและประกอบชุดทดสอบ ตอกท่อเหล็กกันดิน ณ ตำแหน่งหลุมเจาะ เจาะดินจนก้นหลุมถึงระดับทดสอบ วิธีตอกทดสอบใช้รอกยกตุ้มตอกจนระยะยกเหนือแท่นรองตอก 76 cm ปล่อยเชือกให้ตุ้มตอกตกกระแทกแท่นรองตอก เกิดแรงกระแทกกระบอกผ่าซีก นับจำนวนครั้งที่ตอกจมไป 15 cm. จำนวน 3 ชุดติดต่อกัน โดยถือผลรวมจำนวนครั้งใน 2 ครั้งสุดท้ายเป็นค่า N มีหน่วยเป็นครั้งต่อฟุต (blows/300 mm) บันทึกผลตอกทดสอบพร้อมเก็บตัวอย่างดินทุกระยะห่างความลึก 1 m

Kunzelstab Penetration Test (KPT) เป็นการทดสอบกำลังต้านทานชั้นดินด้วยการหยั่งตอก แรงกระแทกจากตุ้มตอกถ่ายไปสู่ปลายของหัวเจาะรูปกรวย (Cone head) มุม 60° โดยไม่เกิดแรงเสียดทานที่ก้านเจาะเนื่องจากหัวเจาะมีขนาดใหญ่กว่าก้านเจาะ เครื่องมือทดสอบ KPT ตามมาตรฐาน DIN 4094 ของประเทศเยอรมัน [2] ประกอบด้วย (รูปที่ 1b) 1. หัวเจาะรูปกรวย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm มีมุมที่ปลาย 60 องศา 2. ก้านเจาะ (Rod) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm 3. ตุ้มตอก (Hammer) น้ำหนัก 10 kg 4. แกนเหล็กนำ (Guide Rod) สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของค้อนตอก โดยทำเครื่องหมายไว้ เพื่อให้ได้ระยะยกตุ้มตอก 50 cm 5. แท่นรองตอก (Anvil) 6. แผ่นเหล็กรองพื้น (Base plate) ทำการตอกทดสอบแล้วบันทึกผลนับจำนวนครั้งของการตอกทุกความลึก 200 mm เป็นค่า N_{KPT} มีหน่วยเป็นครั้งต่อระยะจม 20 cm (blows/200 mm) เก็บข้อมูลต่อเนื่องจนกระทั่งถึงระดับความลึกที่กำหนด แผนภาพข้อมูลผลทดสอบค่า N_{KPT} กับระดับความลึกแสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 3

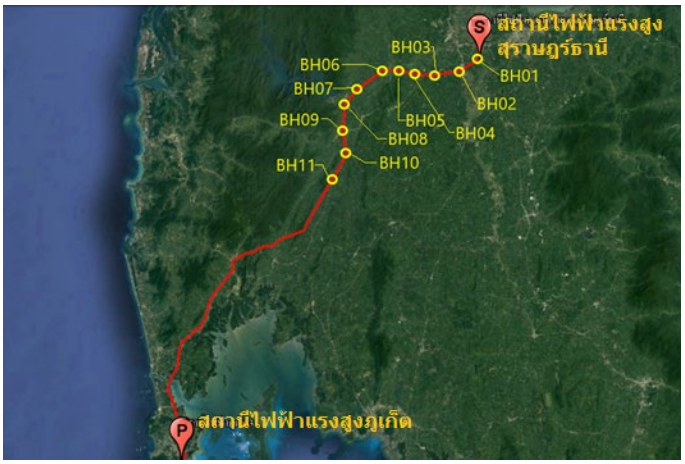
3.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้วิจัย

ข้อมูลวิจัยรวบรวมจากข้อมูลการสำรวจชั้นดิน จากพื้นที่ก่อสร้าง 11 แห่งในโครงการก่อสร้างสายส่งไฟฟ้าแรงสูงจากสถานีไฟฟ้าแรงสูงสุราษฎร์ธานี ถึงสถานีไฟฟ้าแรงสูงภูเก็ต (รูปที่ 2) พื้นที่ก่อสร้างแต่ละแห่งได้ดำเนินการเจาะสำรวจชั้นดินโดยวิธีการทดสอบ SPT ควบคู่ไปกับการทดสอบ KPT โดยกำหนดระยะห่างระหว่างหลุมเจาะของทั้งสองการทดสอบไม่เกิน 2 m การทดสอบ SPT บันทึกค่าผลทดสอบการตอกหยั่งกำลังชั้นดินพร้อมเก็บตัวอย่างดินแปรสภาพ (disturbed samples) ด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างผ่าซีกทุกระยะความลึก 1 m เพื่อ ใช้จำแนกประเภทดิน ขณะที่ทดสอบ KPT แบบต่อเนื่องตลอดความลึกชั้นดินจากผิวดินถึงระดับความลึก 7 m ทุกหลุมเจาะ ตัวอย่างแผนภาพ Boring log แสดงข้อมูลค่า N และ N_{KPT} กับระดับความลึกของหลุมเจาะ BH-01 นำเสนอไว้ในรูปที่ 3 จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ถูกเจาะสำรวจและนำมาใช้วิเคราะห์สหสัมพันธ์มีทั้งหมด 76 ชุด ผลวิเคราะห์ตัวอย่างแปรสภาพจากกระบอกผ่าซีกในห้องปฏิบัติการพบว่าจำแนกกลุ่มดินได้เป็น 1. ทรายปนดินตะกอน (SM) 2. ทรายปนดินเหนียว (SC) 3. ดินเหนียวที่มีพลาสติกซิตี้ต่ำ (CL) 4. ดินตะกอนที่มีพลาสติกซิตี้ต่ำ (ML) มีจำนวนข้อมูล 18 ชุด 18 ชุด 36 ชุด และ 4 ชุด ตามลำดับ ปริมาณดินละเอียด (%fine) ในกลุ่มดินทราย SM และ SC มีค่าระหว่าง 26% ถึง 39%

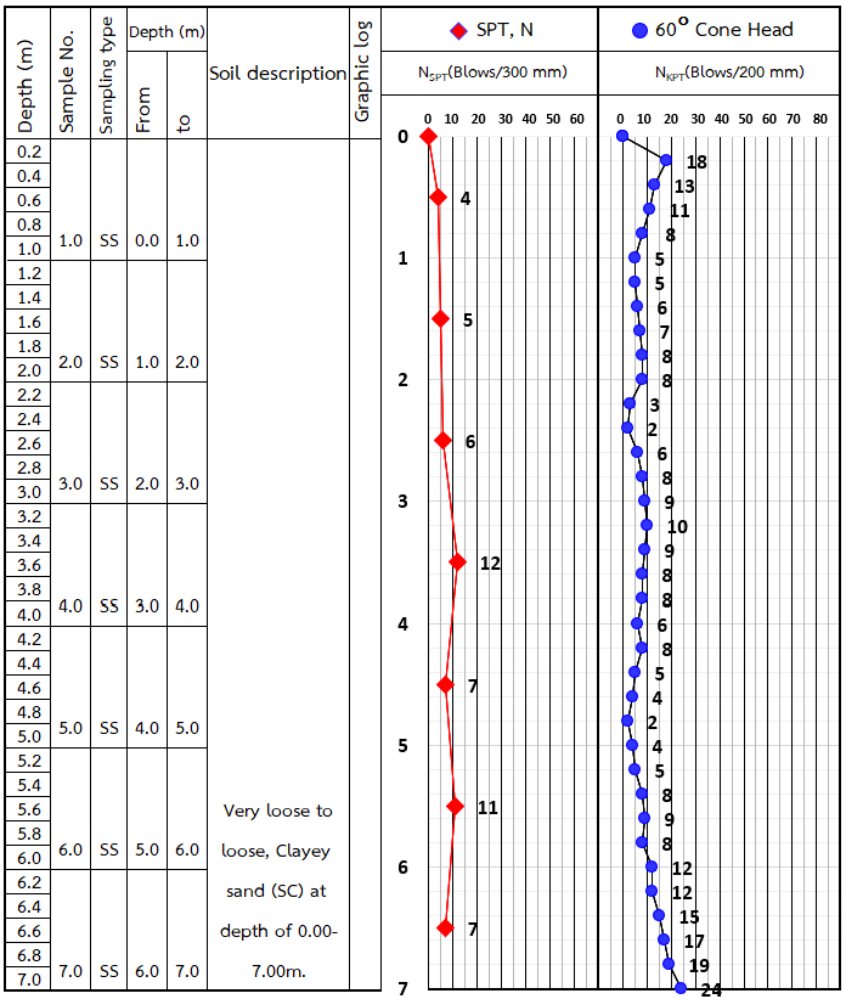


รูปที่ 1 เครื่องมือตอกหยั่งกำลังชั้นดินที่ใช้ในงานวิจัย

(a) Standard Penetration Test (SPT) (b) Kunzelstab Penetration Test (KPT)



รูปที่ 2 แผนที่ตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจ 11 แห่งในโครงการก่อสร้างที่ศึกษา



รูปที่ 3 ตัวอย่าง Boring log ข้อมูลเจาะสำรวจชั้นดินของหลุมเจาะ BH-01

3.3 การปรับแก้ข้อมูลผลทดสอบค่า N

ก่อนนำค่า N ของการทดสอบ SPT ไปใช้ประเมินคุณสมบัติวิศวกรรมของชั้นดินด้วยสมการสหสัมพันธ์ใดๆ พบว่าค่า N ที่ทดสอบได้ในภาคสนามโดยตรงยังมีความผิดพลาด ต้องปรับแก้ค่าจากอิทธิพลของ 4 ปัจจัยที่มาจากสภาพเครื่องมือทดสอบ ดังแสดงค่าไว้ในตารางที่ 2 การปรับแก้คำนวณได้ดังสมการ

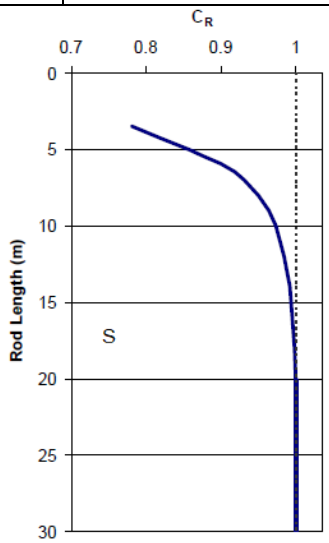
$$N_{60} = C_E\, C_R\, C_S\, C_B\, N \tag{1}$$

โดย N คือ ค่าผลทดสอบ SPT ที่บันทึกได้ในภาคสนาม หน่วย blows/300 mm C_E คือค่าปรับแก้ประสิทธิภาพพลังงานตกกระทบ (Energy) มายังค่า 60% ซึ่งเป็นค่าประสิทธิภาพที่นิยมใช้นำไปสร้างสมการสหสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ดินต่างๆ C_R คือ ค่าปรับแก้เนื่องจากความยาวก้านเจาะ (Rod Length) C_S ค่าปรับแก้เนื่องจากการปรับแต่งกระบอกตัวอย่างไปจากสภาพมาตรฐาน C_B ค่าปรับแก้เนื่องจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหลุมเจาะ สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าปรับแก้ C_E เท่ากับ 0.75 กรณีใช้ตุ้มตอก Donut hammer [8] ค่า C_S และ C_B เลือกใช้ค่าเท่ากับ 1 ส่วนค่า C_R ใช้ค่าตามตารางที่ 2 กรณีมีความจำเป็นต้องใช้ค่า $(N_1)_{60}$ ซึ่งเป็นค่า N_{60} ที่ปรับแก้อิทธิพลน้ำหนักกดทับประสิทธิผลชั้นดิน

$$(N_1)_{60} = C_N\, N_{60} = \sqrt{\frac{101}{\sigma'_v}}\, N_{60} \tag{2}$$

C_N คือ ค่าปรับแก้อิทธิพลของน้ำหนักกดทับประสิทธิผลชั้นดิน (Overburden effective stress correction) งานวิจัยนี้ใช้ค่าปรับแก้ที่เสนอโดย [6] โดย σ_v' คือหน่วยแรงกดทับประสิทธิผลของชั้นดิน หน่วย kPa

ตารางที่ 2 ตัวคูณปรับแก้ค่า N ของการทดสอบ SPT (ปรับปรุงจาก [6])

$\mathbf{C_S}$	For samplers with an indented space for interior liners, but with liners omitted during sampling, $\mathbf{C_S} = 1 + \frac{(N_1)_{60}}{100}$ With limits as $1.10 \leq \mathbf{C_S} \leq 1.30$	$\mathbf{C_R}$	Rod Length Correction Factors (See figure below).
$\mathbf{C_B}$	Borehole diameter / Correction $(\mathbf{C_B})$: 65 to 115 mm — 1.00; 150 mm — 1.05; 200 mm — 1.15		
$\mathbf{C_E}$	$\mathbf{C_E} = \frac{E_R}{60\%}$ - Where ER (efficiency ratio) is the fraction or percentage of the theoretical SPT impact hammer energy actually transmitted to the sampler, express as % - The best approach is to directly measure the impact energy transmitted with each blow. When available, direct energy measurements were employed.		

4. ผลวิเคราะห์

4.1 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ N_{60}

นำข้อมูลค่า N_{KPT} และ N_{60} มาดำเนินการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) เพื่อหาสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ N_{60} ได้ผลดังนี้

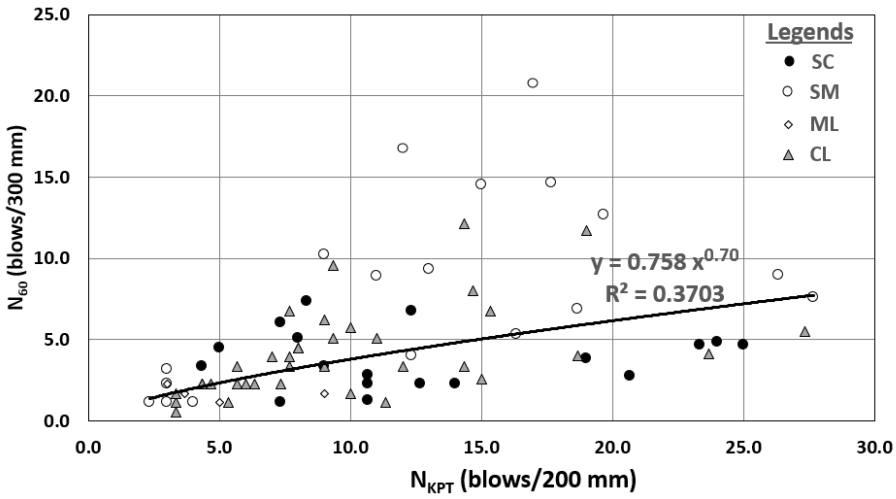
กรณีวิเคราะห์ข้อมูลดินทุกกลุ่ม (SM SC CL และ ML) จำนวน 76 ชุด

$$N_{60} = 0.758\ N_{KPT}^{0.70} \tag{3}$$

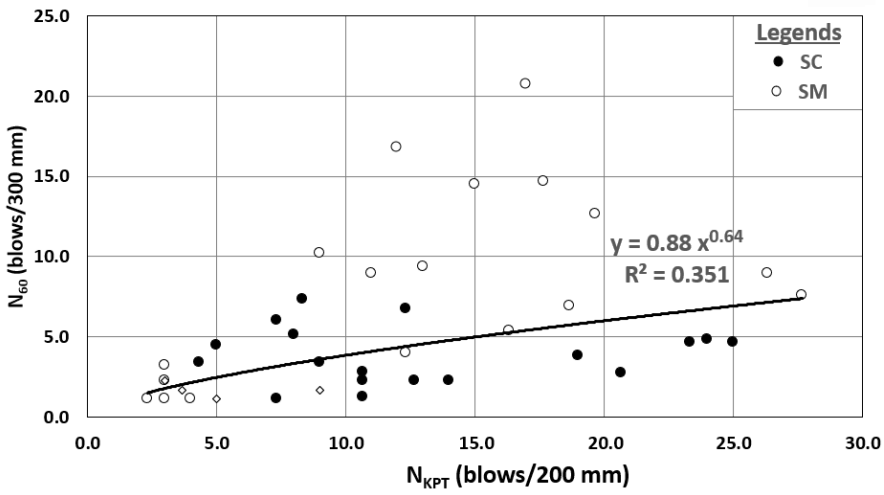
กรณีวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะกลุ่มดินทราย (SM และ SC) จำนวน 36 ชุด

$$N_{60} = 0.88\ N_{KPT}^{0.64} \tag{4}$$

ผลพล็อตข้อมูลและเส้นกราฟของสมการสหสัมพันธ์ทั้งสองกรณีแสดงไว้ในรูปที่ 4 และ รูปที่ 5 โดยมีค่า R^2 ที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ 0.370 และ 0.351 ตามลำดับ ทั้งสองกรณีมีแนวเส้นกราฟใกล้เคียงกันมาก ชี้ว่าทั้งดินกลุ่มทรายและดินอื่น (รวมข้อมูลดินกลุ่ม CL และ ML) มีแนวโน้มสหสัมพันธ์ระหว่างผลทดสอบของ SPT และ KPT ใกล้เคียงกัน จนพิจารณาใช้สมการ (3) เพียงสมการเดียวแปลผลค่า N_{KPT} เป็นค่า N_{60} ของดินทั้ง 4 กลุ่มในโครงการได้โดยให้ผลไม่คลาดเคลื่อนมากนัก



รูปที่ 4 กราฟสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ N_{60} ของข้อมูลทุกกลุ่มดิน(SM SC CL และ ML) จำนวน 76 ชุด



รูปที่ 5 กราฟสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ N_{60} ของข้อมูลกลุ่มดินทราย (SM และ SC) จำนวน 36 ชุด

4.2 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ ค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ')

ค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ') เป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ของดินที่สำคัญสำหรับงานวิเคราะห์ออกแบบด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค สามารถทดสอบหาค่าจากตัวอย่างดินโดยตรงด้วยการทดสอบกำลังเฉือนในห้องปฏิบัติการ เช่น Direct shear test หรือ Triaxial test แต่ส่วนใหญ่ได้ค่าผลทดสอบไม่ถูกต้องเพราะคุณภาพตัวอย่างดินถูกรบกวนจากการเจาะสำรวจเก็บตัวอย่าง การทดสอบกำลังเฉือนข้างต้นกระทำได้ยาก เสียเวลา และมีค่าใช้จ่ายสูง ในเชิงปฏิบัติจึงนิยมหาค่า ϕ' จากสมการสหสัมพันธ์แบบ Empirical กับค่า $(N_1)_{60}$ ของการทดสอบ SPT ที่มีผู้นำเสนอไว้แตกต่างกันหลายสมการ โดยงานวิจัยนี้เลือกสมการสหสัมพันธ์ที่เสนอโดย [5] ดังนี้

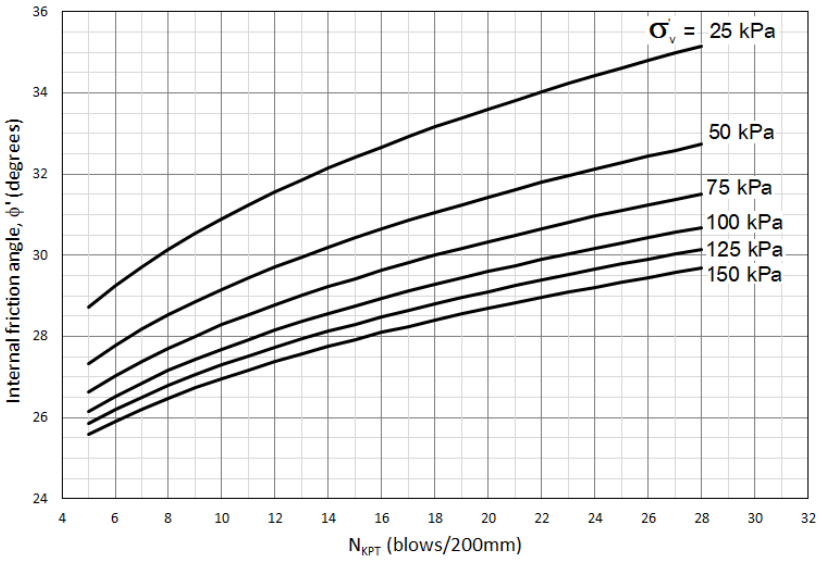
$$\phi' = \sqrt{15.4(N_1)_{60}} + 20 \quad (5)$$

ϕ' คือค่ามุมเสียดทานภายใน หน่วยองศา สมการ (5) ปรับปรุงจากผลวิจัยของ [3] ที่ดำเนินการทดสอบ Triaxial test ตัวอย่างดินทรายคงสภาพถูกแช่แข็ง (Undisturbed frozen samples) ในประเทศญี่ปุ่น โดย [5] ตรวจสอบกับข้อมูลทดสอบ Silty sand (%fine = 30%) ที่เก็บตัวอย่างจากชั้นดินตะกอน เมืองแอตแลนตา มลรัฐจอร์เจีย พบว่าให้ผลสอดคล้องเป็นอย่างดี เมื่อพิจารณาจาก %fine ของตัวอย่างดินทรายของงานวิจัยนี้ที่มีปริมาณใกล้เคียงกัน

(%fine 26-39%) สมการ (5) จึงมีความเหมาะสมนำมาใช้งาน เมื่อแทนค่าสมการ (4) ในสมการ (5) ทำให้ได้ผลวิเคราะห์สมการสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT}และ ϕ' ของชั้นดินทรายในโครงการดังนี้

$$\phi' = \left(\frac{11.67}{\sqrt[4]{\sigma_v'}}\right) N_{KPT}^{0.64} + 20 \qquad (6)$$

โดย σ_v' คือหน่วยแรงกดทับประสิทธิผลของชั้นดินที่ระดับทดสอบ หน่วย kPa เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้ จึงนำเสนอในรูปแบบ Chart ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 Chart สหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ ϕ' สำหรับประเมินคุณสมบัติของชั้นดินทรายในพื้นที่ศึกษาวิจัย

5. อภิปรายผล

(1) ในรูปที่ 4 แสดงเส้นแนวโน้มของสมการ (3) ซึ่งนำเสนอสหสัมพันธ์ระหว่างค่า N_{KPT} และ N_{60} ค่า R^2 จากการวิเคราะห์เท่ากับ 0.3703 ค่า R^2 ในช่วงดังกล่าวบ่งชี้ว่าข้อมูลกระจายตัวจากเส้นแนวโน้มเป็นแถบกว้าง แต่แนวเส้นผ่านกลางข้อมูลดินสามกลุ่ม (SC CL และ ML) คิดเป็นร้อยละ 76.3 ของข้อมูลทั้งหมดได้อย่างดี รวมทั้งยังเป็นแนวขอบเขตล่างโดยประมาณของข้อมูลดินกลุ่ม SM ซึ่งให้ค่า N_{60} ที่ conservative ไปใช้ในงานวิเคราะห์ออกแบบ จึงสรุปได้ว่า สมการ (3) เหมาะสมนำไปใช้ในงานประเมินสหสัมพันธ์ระหว่างผลทดสอบดินในที่ทั้ง 2 วิธีข้างต้น เพื่อวิเคราะห์ออกแบบงานวิศวกรรมธรณีเทคนิคในพื้นที่โครงการและบริเวณใกล้เคียง

(2) ผลวิเคราะห์สมการสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ N_{60} ทั้งกรณีวิเคราะห์ข้อมูลดินทุกกลุ่ม และกรณีวิเคราะห์เฉพาะข้อมูลกลุ่มดินทราย มีค่า R^2 ในเกณฑ์ต่ำเพียง 0.370 และ 0.351 ตามลำดับบ่งชี้ว่าข้อมูลกระจัดกระจายออกจากเส้นแนวโน้มค่อนข้างมากเนื่องจาก

- ความแปรปรวนคุณสมบัติของชั้นดินเชิงพื้นที่ทำให้แต่ละชุดข้อมูลที่ถูกจับคู่ที่ ณ ระดับความลึกเดียวไม่ได้มาจากผลทดสอบหยั่งกำลังชั้นดินที่ระดับความแข็งแน่นเดียวกัน
- ปริมาณและขนาดของดินกรวดหรือหินผุกร่อนมวลใหญ่ที่แทรกอยู่ในชั้นดินที่สำรวจมีผลทำให้ค่าทดสอบผิดไปจากค่าจริง โดยเฉพาะการทดสอบ KPT ที่ใช้ตุ้มตอกน้ำหนักเบาทดสอบ
- อิทธิพลของความยาวก้านเจาะต่อการส่งแรงกระแทกไปที่หัวทดสอบที่เปลี่ยนแปลงเร็วมากในชั้นดินระดับตื้น ซึ่งการทดสอบ KPT ไม่ได้นำมาพิจารณา

6. ข้อเสนอแนะ

อิทธิพลของความยาวก้านเจาะ (Rod length) น่าจะมีผลกระทบต่อ N_{KPT} ที่วัดได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งชั้นดินระดับตื้น สมมุติฐานนี้เทียบเคียงกับผลวิจัยประสิทธิภาพเครื่องมือทดสอบ SPT ซึ่งพบว่าขณะทดสอบด้วยก้านเจาะสั้นการส่งแรงกระแทกไปที่หัวทดสอบมีประสิทธิภาพต่ำและแปรค่าเร็วมากในชั้นดินระดับตื้น การทดสอบ KPT น่าจะเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน อิทธิพลดังกล่าวน่าจะเป็นประเด็นศึกษาเพิ่มเติมที่มีประโยชน์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ASTM D6951-09. (2015). Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015

[2] DIN 4094 part 1. (1974). Dynamic and Static penetrometers, Dimensions of apparatus and method of operation. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin.

[3] Hatanaka, M. and Uchida, A. (1996). Empirical correlation between penetration resistance and effective friction angle of sandy soil. **Soils & Foundations,** 36 (4): 1 – 9.

[4] Liao, S.C. & Whitman, R.V. 1986. Overburden correction factors for SPT in sand. **ASCE Journal of Geotechnical Engineering,** 112 (3): 373-377.

[5] Mayne, P. W. (2001). Stress-strain-strength-flow parameters from enhanced in-situ tests. Proceedings, International Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties & Case Histories [In-Situ 2001], Bali, Indonesia, May 21-24, 2001: 27-48.

[6] Seed, R. B., et al.2003. Recent advances in soil liquefaction engineering: A unified and consistent framework. Rep. EERC 2003–06, Earthquake Engineering Research Center.

[7] ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และพรพรหม จันทร์เจริญ. การหาความสัมพันธ์ระหว่าง DCP กับ Unsoaked CBR ของดินวัสดุมวลรวมในห้องปฏิบัติการ. รายงานฉบับที่ วพ.180, กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

[8] สยาม ยิ้มศิริ. (2557). การศึกษาพลังงานประสิทธิผลในการทดสอบStandard Penetration Test ตามแนวทางการทดสอบที่ดำเนินการในประเทศไทย. รายงานวิจัย, ชลบุรี :คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

[9] อัฐพล ศักดิ์มณี, และก่อโชค จันทวรางกูร. (2546). การสำรวจชั้นดินด้วยเครื่องตอกหยั่งชั้นดินขนาดเบา. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41 (490-497). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

การศึกษาการลดกระแสฮาร์มอนิกในระบบจำหน่ายด้วยหม้อแปลงแบบซิกแซก

THE STUDY OF HARMONIC CURRENT REDUCTION IN DISTRIBUTION LINE USING ZIG-ZAG TRANSFORMER

ชัยรัตน์ วิสุทธิรัตน์ นิมิต บุญภิรมย์ ปรากฤต เหลี่ยงประดิษฐ์

อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: chairat.vi@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาการลดกระแสฮาร์มอนิกในสายระบบจำหน่ายด้วยหม้อแปลงแบบซิกแซก วัตถุประสงค์จะเป็นการลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับ 3 หารลงตัวที่เกิดจากโหลดไม่เป็นเชิงเส้น 1 เฟส ต่อร่วมกับระบบ 3 เฟส 4 สาย โหลดไม่เป็นเชิงเส้น 1 เฟส จะสร้างกระแสฮาร์มอนิกที่ประกอบด้วยอันดันที่ 3 หารลงตัวไหลลงสู่สายนิวทรัลของระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ามีผลทำให้มีกระแสในนิวทรัลเกินพิกัดของสาย เกิดความร้อนในสายนิวทรัลและขดลวดในหม้อแปลงไฟฟ้า ในบทความนี้ได้นำเสนอการใช้หม้อแปลงแบบซิกแซกมาต่อเชื่อมระหว่างสายป้อนระบบจำหน่าย กับสายที่จ่ายให้โหลดไม่เป็นเชิงเส้น โดยรายละเอียดจะออกแบบขนาดของหม้อแปลงซิกแซกแบบดีแซดศูนย์และทดลองต่อหม้อแปลงเพื่อจ่ายโหลดวงจรเรียงกระแส 1 เฟสขนาด 300 วัตต์ จำนวน 3 ชุด วิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์มอนิกอันดับ 3 หารลงตัวทดลองวัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับ 3 และอันดับ 9 ที่หม้อแปลงแบบซิกแซกด้านทุติยภูมิและด้านปฐมภูมิ โดยใช้เครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า จากผลการทดลองสามารถลดค่ากระแสฮาร์มอนิกอันดับ 3 หารลงตัวที่ไหลในนิวทรัลที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงที่ต่อด้านระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: หม้อแปลงไฟฟ้าแบบซิกแซก ฮาร์มอนิกอันดับ 3 หารลงตัว วงจรเรียงกระแส

ABSTRACT

This paper presents the study of harmonic current reduction in distribution line using zigzag transformer. The objective is to reduce the triplen harmonic that are generated by the single nonlinear loads connecting to the 3 phase 4 wire distribution line. As the results, this triplen harmonic will flow into neutral line cause the neutral current and temperature of transformer winding are increased. Furthermore, the DZ0 zigzag transformer design and experimental processes are proposed by applying to the 3 sets of 300 watts single phase AC-DC rectifiers. As the experimental results, the comparison of line current waveform, 3rd harmonic current spectrum, 9th harmonic current between line input and line output of transformer are significantly achieved.

KEYWORDS: Zigzag Transformer, Triplen Harmonic, Rectifier Circuit.

1. บทนำ

ในปัจจุบันโหลดไฟฟ้าที่ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังหรือเรียกกันว่าโหลดไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากรูปคลื่นของแรงดันและรูปคลื่นกระแสแตกต่างกันไม่ใช้รูปคลื่นไซน์ โหลดประเภทนี้จะสร้างกระแสฮาร์มอนิกไหลเข้าสู่ระบบไฟฟ้าทำให้เกิดปัญหามากมายกับระบบไฟฟ้าที่ต่อร่วมกันหรือบริเวณใกล้เคียง กระแสฮาร์มอนิกอันดันที่ 3 หารลงตัวเช่น อันดับ 3,9, 15,21……เป็นต้นหรือเรียกว่า Triplen Harmonic จะเป็นกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลลงสายนิวทรัลลงสู่ระบบกราวน์ หรือไหลวนในระบบ ปัญหาของฮาร์มอนิกลำดับ 3 หารลงตัวนี้จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายเกิดกระแสลูปร่วม (Common Mode Current) ทำให้เกิดความร้อนในหม้อแปลง ทำให้ระบบป้องกันไฟฟ้าหรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานผิดพลาด เป็นต้น การแก้ปัญหาฮาร์มอนิกด้วยวิธีใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบหม้อแปลงกราวนด์ (H. K. Høidalen, R. Sporild, 2005)(S.Ranjith Kumar,2011) ได้ถูกนำมาใช้ในการขจัดกระแสฮาร์มอนิกในสายนิวทรัล แต่จะเพิ่มกำลังไฟฟ้าของระบบ ได้มีการพัฒนาการเพิ่มขดลวดของหม้อแปลงแบบซิกแซก เพื่อให้เพิ่มประสิทธิภาพโดยเพิ่มสนามแม่เหล็กในการหักล้าง (Chairul Gagarin Irianto, Rudy Setiabudy, and Chairul Hudaya, 2010)จะทำให้โครงสร้างใหญ่ขึ้น การใช้หม้อแปลงแบบซิกแซกชนิดต่อเชื่อมโยงกับระบบจำหน่าย (Azhar Ahmad, Rosli Omar and Marizan Sulaiman, 2006) จะเกิดการหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 หารลงตัวที่เกิดจากโหลดไหลลงสู่นิวทรัล มาถูกขจัดที่หม้อแปลงไฟฟ้าแบบซิกแซก ทำให้ไม่มีกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 หารลงตัวในด้านระบบจำหน่ายเข้าที่จ่ายกำลังผ่านหม้อแปลง วิธีนี้จะเป็นวิธีที่เหมาะกับงานในอุตสาหกรรมที่กำลังไฟฟ้าสูง มีราคาถูกเมื่อเทียบกับการใช้ตัวกรอง และมีความคงทน ในบทความนี้เป็นการทำเสนอการประยุกต์ใช้หม้อแปลงแบบซิกแซกเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับ 3 หารลงตัว โดยต่อเชื่อมกับระบบ3 เฟส 4 สาย จ่ายโหลดวงจรเรียงกระแส 1 เฟส 3 ชุด

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

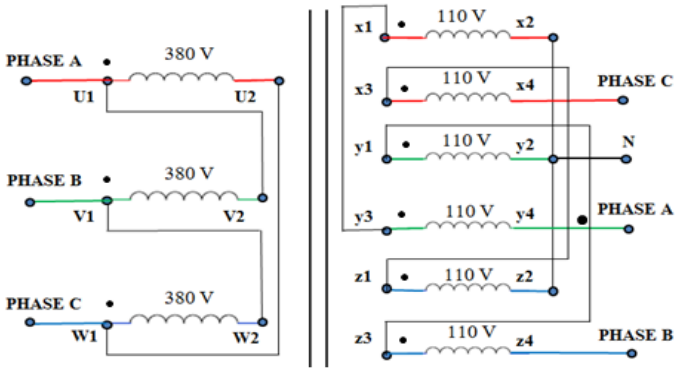
1. เพื่อศึกษาการลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับ 3 หารลงตัวในระบบจำหน่ายด้วยหม้อแปลงแบบซิกแซก
2. เพื่อออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสแบบซิกแซกเพื่อใช้ในงานวิจัย
3. เพื่อวิเคราะห์การหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกในขดลวดของหม้อแปลงแบบซิกแซก
4. เพื่อสร้างระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดไม่เป็นเชิงเส้นโดยให้วงจรเรียงกระแส 1 เฟส 3 ชุด
5. เพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกระแสฮาร์มอนิกอันดับ 3 หารลงตัวที่สายของสายจ่ายเข้าและด้านจ่ายไฟออกของหม้อแปลงซิกแซก

3. ขอบเขตของงานวิจัย

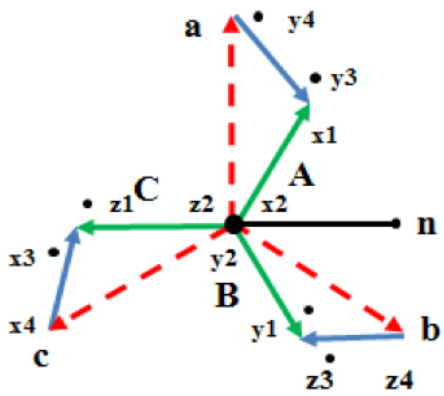
1. ออกแบบและสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าแบบซิกแซก 3 เฟส 380 โวลท์
2. สร้างวงจรเรียงกระแส 1 เฟส 3 ชุด จ่ายโหลดความต้านทานรวม 300 วัตต์
3. สร้างชุดทดลองใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบซิกแซกจ่ายโหลดไม่เป็นเชิงเส้นในหัวข้อที่ 2
4. วัดค่ารูปคลื่นแรงดัน กระแสไฟฟ้า ทางด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะจ่ายโหลด
5. วัดสเปกตรัมของกระแสฮาร์มอนิกอันดับ 3 และ อันดับ 9 ทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงซิกแซก

4. หลักการของหม้อแปลงแบบซิกแซก

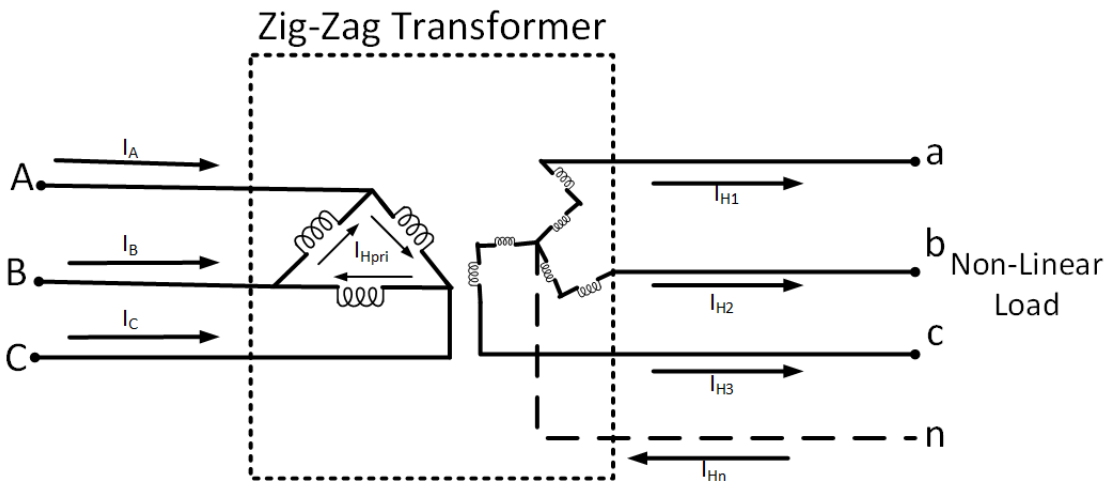
หม้อแปลงแบบซิกแซกเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสที่มีขดลวดปฐมภูมิ 3 ชุดและขดลวดทุติยภูมิ 6 ชุด หม้อแปลงที่ใช้ในบทความนี้เป็นหม้อแปลงที่มีพิกัด ของขดลวด ต่อเฟส เท่ากับ 380/220 V ดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นการต่อขนานหม้อแปลงแบบ Dz0 ลักษณะของขั้วของการต่อทำให้เกิดเวกเตอร์แรงดันทางขดลวดทุติยภูมิดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2



รูปที่ 1 โครงสร้างขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบซิกแซกในบทความ



รูปที่ 2 เวกเตอร์ของแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dz0



รูปที่ 3 การนำหม้อแปลงแบบซิกแซกไปใช้จ่ายโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น

เมื่อนำหม้อแปลงไฟฟ้าแบบซิกแซกนำไปต่อเชื่อมเพื่อจ่ายโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น 1 เฟส 3 ชุดทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 หารลงตัว ไหลในสายนิวทรัล จากรูปที่ 3 ค่ากระแส I_{Hn} เป็นกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 หารลงตัว ซึ่งจะมีค่ากระแสเท่ากับ 3 เท่าของกระแสฮาร์มอนิกลำดับ 3 หรือประมาณ $\sqrt{3}$ ของกระแสในสายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง I_{Hn} กระแสฮาร์มอนิกที่ไหลในนิวทรัล นี้จะเป็นกระแสลำดับศูนย์ (Zero Sequence) คือมีเฟสของกระแสฮาร์มอนิกเท่ากัน ดังนั้นเมื่อไหลเข้าไปสู่นิวทรัล ของหม้อแปลง จะแยกออกเป็นกระแสแต่ละสาย วนลูปกลับไปที่โหลด I_{H1} , I_{H2}, I_{H3} ตามลำดับ กระแสฮาร์มอนิกจากนิวทรัล ที่ไหลเข้ากลับเข้าไปในขดลวดทุติยภูมิจะเหนี่ยวนำไปที่ขดลวดปฐมภูมิและจะไปไหลวนและหักล้างกันที่ขดลวดปฐมภูมิ ทำให้ไม่มีกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 หารลงตัว

5. ลำดับขั้นในการดำเนินการวิจัย

5.1 การออกแบบหม้อแปลงแบบซิกแซก (Colonet Wm. T. McLyman, 2011)

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ: $P_t = P_0\left(\frac{1}{\eta}+1\right)$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การเกิดสนามแม่เหล็ก

$$K_e = 0.145\left(K_f\right)^2(f)^2(B_m)^2(10^{-4})$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของแกน: $K_g = \frac{P_t}{2K_e a}$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าความเร็วรอบด้านปฐมภูมิ: $N_p = \frac{V_{in}(10^4)}{K_f B_{ac} f A_c}$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่าความหนาแน่นของกระแสที่ไหลผ่านแกน: $J = \frac{P_t(10^4)}{K_f K_u B_{ac} f A_p}$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่ากระแสด้านอินพุต: $I_{in} = \frac{P_o}{V_{in}\eta}$

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณค่าพื้นที่โดยรวมของสายด้านปฐมภูมิ

ด้วยกระบวนการออกแบบจากขั้นตอน 1 ถึง ขั้นตอนที่ 7 โดยผลลัทธ์จะได้หม้อแปลงซิกแซก แบบ Dz0 ขนาด 300 VA แรงดัน 380/110 V

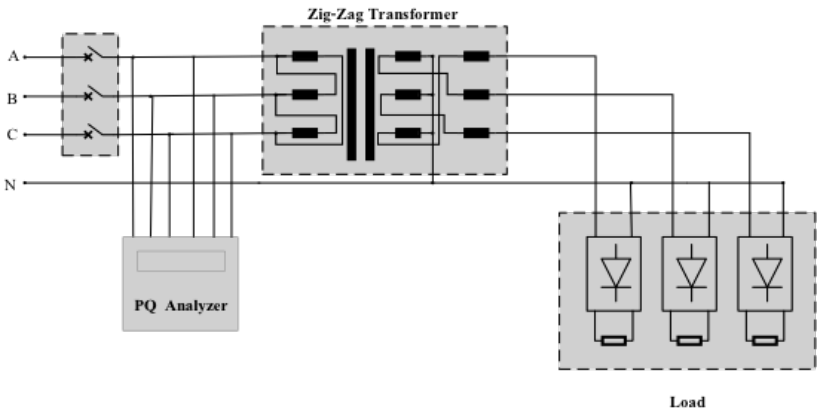
5.2 การทดลองโหลดไม่เป็นเชิงเส้น

5.2.1 เครื่องมือและวงจรการทดสอบ

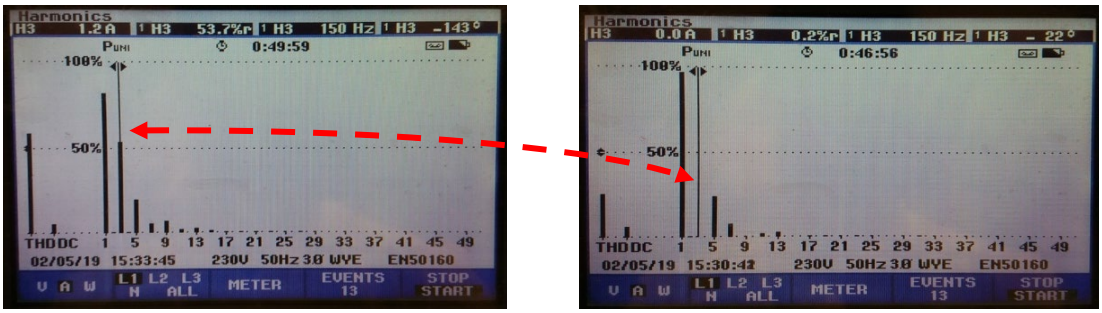
1. เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและพลังงาน Fluke 435 Series II Class A.

2. ต่อวงจรหม้อแปลงแบบซิกแซกทางด้านขดลวดปฐมภูมิกับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 3 สาย ขนาด 380 V ทางด้านเอาท์พุท ต่อกับวงจรเรียงกระแส AC - DC 1 เฟส 220 V จ่ายโหลดความต้านทาน ชุดละ 100 W จำนวน 3 ชุดรวมเป็นกำลังไฟฟ้ารวมเท่ากับ 300 W และใช้เครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าวัดด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4

3. บันทึกค่าสเปกตรัมของกระแสฮาร์มอนิกลำดับ 3 หารลงตัว ในการทดลองนี้จะบันทึกลำดับ 3,5,7 และ ลำดับ 9 ตามลำดับ โดยบันทึกค่ารูปคลื่นของกระแสด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงเปรียบเทียบกันดังแสดงในรูปที่ 5 ถึงรูปที่ 9 ตามลำดับ



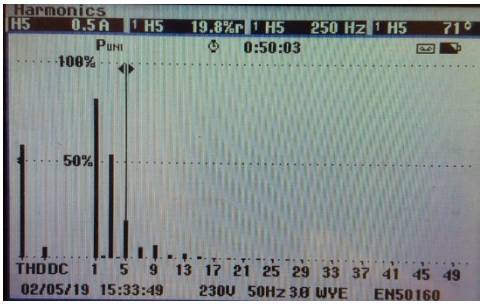
รูปที่ 4 การนำหม้อแปลงแบบซิกแซกไปใช้จ่ายโหลดวงจรเรียงกระแส AC-DC 1 เฟส 3 ชุด



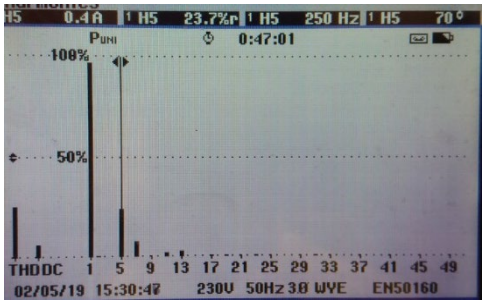
ก. ด้านทุติยภูมิ(I_3=1.2 A) ข. ด้านปฐมภูมิ (I_3= 0.0 A)

รูปที่ 5 การลดลงของกระแสฮาร์มอนิกอันดับ 3 ในสายระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ

จากรูปที่ 5 ได้แสดงให้เห็นว่า กระแสฮาร์มอนิกอันดับ 3 หารลงตัวเช่น อันดับ 3, 9, 15……เป็นต้น โดยเริ่มต้นที่อันดับ 3 ที่ไหลในสายนิวทรัล จะไหลเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้าทางด้านขดลวดทุติยภูมิ ไหลวนกลับไปที่โหลด จะเกิดการเหนี่ยวนำสู่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงแบบซิกแซก เกิดการหักล้างกัน ทำให้กระแสฮาร์มอนิกในสายจ่ายเข้าขดลวดปฐมภูมลดลงในรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับ 3 ที่ไหลออกจากหม้อแปลงทางขดลวดทุติยภูมิ จะมีค่า เท่ากับ 1.2 A แต่ถ้ามาพิจารณาทางกระแสไหลเข้าหาหม้อแปลงทางขดลวดปฐมภูมิจะมีค่า เท่ากับ 0.0 A จากนั้นทำการวัดที่ลำดับ 5, 7 และลำดับ 9 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า กระแสฮาร์มอนิกลำดับ 5 และ ลำดับ 7 ไม่ได้เป็นฮาร์มอนิกที่ 3 หารลงตัว และไม่ได้ไหลในสายนิวทรัล จะมีค่าแตกต่างระหว่าง ขดลวดด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิน้อยมาก (ดังแสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7) หม้อแปลงแบบซิกแซกไม่ส่งผลต่อกระแสฮาร์มอนิกลำดับนี้ อย่างไรก็ดีเมื่อวัดกระแสฮาร์มอนิกที่ลำดับ 9 ซึ่ง 3 หารลงตัวเช่นกัน จะเห็นได้ว่ากระแสด้านทุติยภูมิ มีค่าเท่ากับ 0.2 A แต่กระแสด้านปฐมภูมิถูกขจัดจนเหลือ 0.0 A เช่นกัน (ดังแสดงในรูปที่ 8)

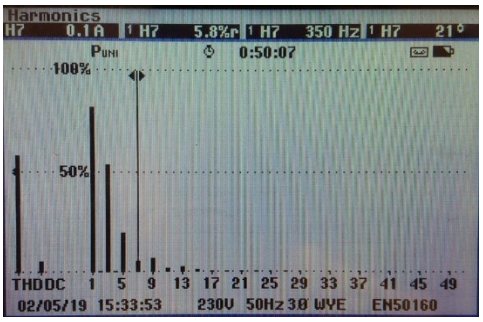


ก. ด้านทุติยภูมิ(I_5=0.5 A)

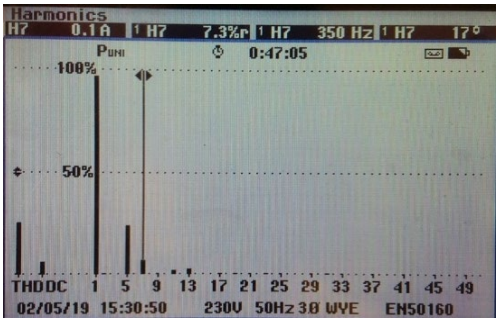


ข. ด้านปฐมภูมิ(I_5=0.4 A)

รูปที่ 6 การลดลงของกระแสฮาร์มอนิกอันดับ 5 ในสายระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ

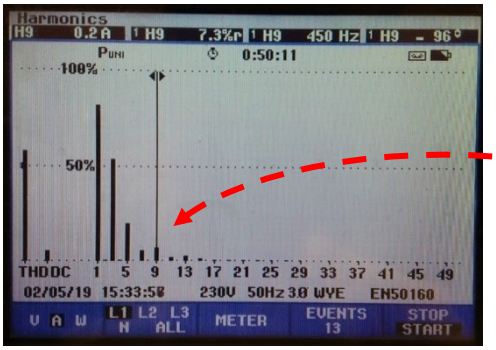


ก. ด้านทุติยภูมิ(I_7=0.1 A)

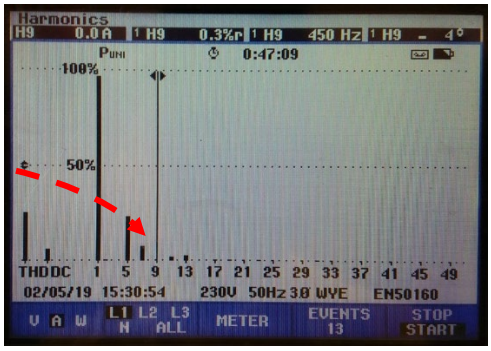


ข. ด้านปฐมภูมิ(I_7=0.1 A)

รูปที่ 7 การลดลงของกระแสฮาร์มอนิกอันดับ 7 ในสายระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ



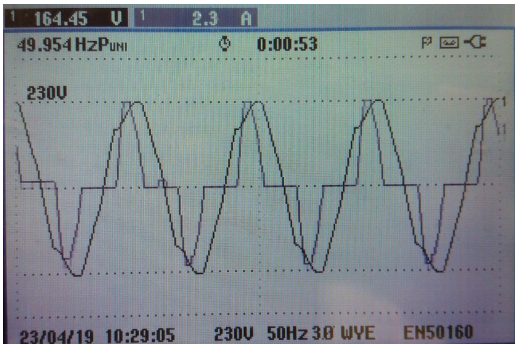
ข. ด้านทุติยภูมิ(I_9=0.2 A)



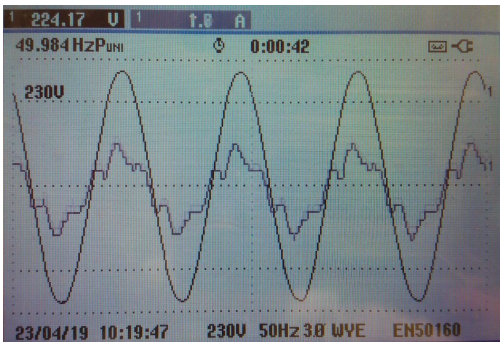
ข. ด้านปฐมภูมิ(I_9=0.0 A)

รูปที่ 8 การลดลงของกระแสฮาร์มอนิกอันดับ 9 ในสายระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ

ในรูปที่ 9 ได้แสดงรูปคลื่นของกระแสระหว่างกระแสไหลออกจากขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง และกระแสไหลเข้าขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง กระแสด้านออกจากหม้อแปลงไปสู่โหลดจะมีความเพี้ยนสูงและมีองค์ประกอบของกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 หารลงตัว เมื่อกระแสเหนี่ยวนำไปทางขดลวดทุติยภูมิทำให้ทางด้านกระแสไหลเข้ามีรูปเข้าใกล้รูปคลื่นไซน์ แสดงให้เห็นว่า กระแสฮาร์มอนิกที่ไหลในนิวทรัลจะถูกขจัดออกทางขดลวดปฐมภูมิทำให้ลดการเกิดกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลออกระบบไฟฟ้าภายนอก



ก. ด้านทุติยภูมิ



ข. ด้านปฐมภูมิ

รูปที่ 9 รูปคลื่นกระแสในสายระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ

6. สรุปและเสนอแนะ

จากผลการศึกษาการใช้หม้อแปลงแบบซิกแซกเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 หารลงตัวหรือเรียกว่า Triplen Harmonic ที่ไหลกลับเข้าไปสู่ระบบไฟฟ้า จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ากระแสลำดับ 3 และลำดับ 9 จะไหลวนจากหม้อแปลงซิกแซกกลับไปที่โหลดโดยกระแสฮาร์มอนิกนี้ จะเหนี่ยวนำจากขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงไปสู่ขดลวดปฐมภูมิ และเกิดการหักล้างในด้านปฐมภูมิทำให้กระแสฮาร์มอนิกที่ไหลเข้าสู่ระบบลดลงไม่สร้างปัญหาให้ระบบไฟฟ้า วิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน ราคาไม่สูงและมีความคงทนเหมาะกับการแก้ปัญหาในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจาก การใช้วิธีอื่น ๆ ในระดับกระแสสูง ๆ เช่นการใช้ตัวกรองแบบพาสซีฟและแอคทีฟจะมีราคาสูงมาก นอกจากนี้การใช้หม้อแปลงซิกแซกยังเพิ่มค่าอิมพิแดนซ์ของกระแสลัดวงจรของระบบอีกด้วยจะทำให้ปริมาณของกระแสลัดวงจรจะลดลง แต่ในข้อเสียอาจจะทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียของการส่งกำลังเพิ่มขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

H. K. Høidalen, R. Sporild, 2005 “Using Zigzag Transformers with Phase-shift to reduce Harmonics in AC-DC Systems” **International Conference on Power Systems Transients (IPST’05)** in Montreal, Canada on June.

S.Ranjith Kumar, S.Surendhar, Ashish Negi and P.Raja, 2011 “Zig Zag Transformer performance analysis on harmonic reduction in distribution load” **International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering,** Pahang, Malaysia, June 21-22.

Chairul Gagarin Irianto, Rudy Setiabudy, and Chairul Hudaya, 2010 “Design of Delta Primary Transposed zigzag Secondary (DTz) Transformer to Minimize Harmonic Currents on the Three-phase Electric Power Distribution System” **International Journal on Electrical Engineering and Informatics** - Volume 2, Number 4.

Azhar Ahmad, Rosli Omar and Marizan Sulaiman, 2006 “Application of ZigZag Transformers to Mitigate Triplen Harmonics in 3 Phase 4 Wire Electrical Distribution System” **Conference on Research and Development (SCOReD 2006**), MALAYSIA.

Colonet Wm. T. McLyman, 2011 “Transformer and Inductor Design Handbook Fourth Edition”, **CRC Press Taylor and Francis Groups**., USA.

การพัฒนาอุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน

VIBRATOR FIRE ALARM NOTIFICATION DEVELOPMENT FOR PERSONS WITH HEARING IMPAIRMENT

ทศพล พื้นแสน

ภาควิชาการฟื้นฟูสมรรถภาพคนพิการ วิทยาลัยราชสุดา มหาวิทยาลัยมหิดล

E-mail: Tos37@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาอุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน 2) ศึกษาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่ออุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน และ 3) ศึกษาความคิดเห็นของคนพิการทางการได้ยิน ที่มีต่ออุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน โดยการทบทวนวรรณกรรม และรูปแบบแผงวงจรที่ใช้ในปัจจุบัน ร่วมกับวิศวกรด้านอิเล็กทรอนิกส์ ประเมินความเหมาะสมของอุปกรณ์ต้นแบบโดยผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับคนพิการทางการได้ยิน ผู้ดูแลหอพักอาศัยในวิทยาลัยราชสุดา ผู้เชี่ยวชาญทางอิเล็กทรอนิกส์ และผู้เชี่ยวชาญด้านอัคคีภัย รวมจำนวน 10 คน เครื่องมือที่ใช้ได้แก่ แบบสอบถามความคิดเห็น และความพึงพอใจต่อการได้รับบริการเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวก (QUEST 2.0) ผลการศึกษาพบว่าผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 10 คน มีความพึงพอใจต่ออุปกรณ์ต้นแบบในระดับค่อนข้างพึงพอใจ (คะแนน 3.66±0.72) ข้อมูลที่เป็นความความเห็นของผู้เชี่ยวชาญได้นำมาใช้ในการปรับปรุง และพัฒนาอุปกรณ์ให้สอดคล้องต่อความต้องการ และมีความเหมาะสมมากขึ้น และนำอุปกรณ์ที่ปรับปรุงใหม่ไปทดสอบในกลุ่มผู้พิการทางการได้ยิน ที่ได้ขึ้นทะเบียนคนพิการทางการได้ยินแล้ว ด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ หรือตามความสะดวก จำนวน 30 คน ผลการศึกษาพบว่าผู้พิการทางการได้ยินมีความพึงพอใจต่อการใช้อุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยินอยู่ที่ระดับค่อนข้างพึงพอใจ (คะแนน 3.54±0.20) โดยมีคะแนนสูงสุดที่ระดับพึงพอใจมาก (คะแนน 4.5±0.76) และคะแนนต่ำสุดที่ระดับพึงพอใจบ้าง (คะแนน 2.63±0.74)

คำสำคัญ: เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกคนพิการทางการได้ยินเครื่องเตือนภัย

ABSTRACT

The research have objective 1) development device a vibrator fire alarm notification for people with hearing impairment. 2) Study and estimate experts to device vibrator fire alarm notification for people with hearing impairment. 3) Study and estimate device vibrator fire alarm notification for people with hearing impairment from people with hearing impairment. by expert related to the hearing impaired, dormitory staff, electronic engineer, and fire specialist (n=10) by questionnaire and content (QUEST 2.0). The results presented that the satisfaction is 3.66±0.72 (Quite satisfied). All information from questionnaire was implemented for developing the prototype device. Later the suitability of device was evaluated via the persons with hearing

impairment (n=30) by questionnaire and content (QUEST 2.0). The results from persons with hearing impairment presented that satisfaction to device vibrator fire alarm for hearing impairment is 3.54±0.20 (Quite satisfied), the highest score is 4.5±0.76 (Very satisfied) and Lest satisfied is 2.63±0.74 (somewhat satisfied).

Keywords: Assistive technology, Hearing impaired, alarm, device

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

อัคคีภัย เป็นภัยที่ สร้างความสูญเสียให้ทรัพย์สินและชีวิต นับเป็นอุบัติเหตุมีโอกาสเกิดขึ้นได้ทุกที่และทุกเวลากับบุคคลทั่วไปรวมถึงกลุ่มคนพิการ ซึ่งไม่สามารถคาดเดาสถานการณ์และความรุนแรงของการเกิดอัคคีภัยได้ จากการสำรวจเหตุอัคคีภัยจากที่เกิดขึ้นในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 ถึงปี พ.ศ. 2558 ซึ่งพบว่ามีสถานการณ์อัคคีภัยเกิดขึ้นกว่า 52,000 ครั้ง มีคนบาดเจ็บประมาณ 4,532 คน เสียชีวิตประมาณ 1,740 คน ประกอบกับรัฐบาลภายใต้การนำของ พลเอก ประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรี ได้ให้ความสำคัญกับวาระ “ประเทศไทยปลอดภัย” หรือ “Safety Thailand” เร่งยกระดับมาตรฐานการจัดการสาธารณภัย เพื่อให้ประเทศไทยเป็นประเทศที่น่าอยู่ พร้อมรับมือกับภัยต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้อย่างทันท่วงที และมีประสิทธิภาพ ประกอบกับแนวคิดการพัฒนาคนให้เกิดความเท่าเทียมกัน เพื่อลดความเหลื่อมล้ำ การส่งเสริมให้คนพิการเข้ามาทำงาน หรือใช้ชีวิตร่วมกับคนไม่พิการในสังคมจึงเป็นประเด็นที่ภาครัฐให้ความสำคัญ เพื่อส่งเสริมให้เกิดการใช้ชีวิตอิสระของคนพิการในอนาคต (กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ 2559) (กระทรวงมหาดไทย 2559)

คนพิการทางการได้ยินคือ กลุ่มคนที่ไม่สามารถตอบสนองต่อสิ่งชี้นำทางเสียง (auditory cues) ได้ ซึ่งสิ่งชี้นำเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เรา เช่น การได้ยินเสียงกริ่งประตู เสียงโทรศัพท์ หรือเสียงสัญญาณเตือนภัย ในงานเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อช่วยในการดำรงชีวิตของคนพิการทางการได้ยินให้มีความทันสมัยมากขึ้น เช่น เครื่องขยายสัญญาณเสียง (amplifier) อย่างไรก็ตามปัญหายังคงมีช่องว่างอีกมากที่คนพิการทางการได้ยินจะสามารถเข้าถึงข้อมูล ข่าวสาร เมื่อเปรียบเทียบกับคนไม่พิการ (Albert Cook & Janice Polgar, 2014; Jason Galster, 2015) มีการศึกษาพบว่าคนพิการทางการได้ยินจำเป็นต้องได้รับสื่อหรือช่องทางในการรับรู้เพิ่มมากขึ้นเพื่อทดแทนช่องทางการรับรู้ที่สูญเสียไป นอกจากนั้นยังพบว่าการพัฒนาสื่อเพื่อการรับรู้ของคนพิการทางการได้ยินจำเป็นต้องมีการผสมผสานสื่อในหลากหลายรูปแบบเพื่อช่วยให้คนพิการทางการได้ยินสามารถรับรู้ได้ง่าย และตรงประเด็น (ธีรศานต์ ไหลหลั่ง, เบจพร ศักดิ์ศิริ และวรรชนก สุนทร, 2556)

กระบวนการในการสื่อสารเพื่อแจ้งเตือนอัคคีภัยสำหรับคนพิการทางการได้ยินที่ดำเนินการโดยมากอาศัยวิธีการหลัก ได้แก่ การแจ้งเตือนโดยตรง ทั้งนี้ต้องมีการจับคู่กันระหว่างคนพิการทางการได้ยิน และบุคคลที่มีการได้ยินปกติพักอาศัย ด้วยกัน เพื่อให้กระบวนการแจ้งเตือนนี้ประสบความสำเร็จ อย่างไรก็ตามกระบวนการในการสื่อสารดังกล่าวมีอุปสรรคหลายประการ และที่สำคัญได้แก่ คนพิการทางการได้ยินไม่สามารถดำรงชีวิตอิสระได้จากการเริ่มต้นการแจ้งเตือนด้วยการแจ้งโดยตรงจึงนำมาสู่การพัฒนาอุปกรณ์เตือนอัคคีภัยสำหรับคนพิการทางการได้ยิน มีการพัฒนาอย่างกว้างขวางโดยอาศัยหลักการทางสรีรวิทยาของร่างกายได้แก่ ระบบประสาทรับความรู้สึก (sensory system) ของร่างกาย (Helen T. Sullivan & Shrirang Sahasrabudhe, 2017) กล่าวคือ ร่างกายมนุษย์เรานั้นมีระบบรับความรู้สึกที่สำคัญประกอบด้วย ระบบการมองเห็น (visual system) ระบบการได้ยิน (hearing system) ระบบการรับสัมผัส (somatosensory system) เมื่อคนพิการทางการได้ยินได้สูญเสียระบบการได้ยิน

หรือมีระดับการได้ยินที่ลดลงไปแล้ว จึงมีการพัฒนาระบบเตือนภัยผ่านทางระบบประสาทรับความรู้สึกในช่องทางอื่นที่เหลือ เช่น อุปกรณ์เตือนภัยที่ใส่ในเครื่องช่วยฟัง (hearing auditory alerting devices) สัญญาณแสงไฟ (Flashing fire alarms) เป็นต้น อย่างไรก็ตามอุปกรณ์เหล่านี้มีความจำเป็นที่ผู้ใช้ต้องใส่เครื่องช่วยฟังไว้ตลอดเวลา หรืออาจใช้งานไม่ได้กรณีที่คนพิการทางการได้ยินนอนหลับ นอกจากนั้นคนพิการทางการได้ยินที่ความรุนแรงไม่มากอาจไม่ได้รับการสนับสนุน หรือแนะนำจากบุคลากรในเรื่องเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวก ซึ่งเหตุผลเหล่านี้ล้วนส่งผลเสีย หรือเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดอันตรายกับคนพิการทางการได้ยินในกรณีเกิดอัคคีภัยได้ นอกจากปัจจัยดังกล่าวแล้วในกลุ่มคนที่ความสามารถทางการได้ยินลดลง เช่น ผู้สูงอายุที่มีปัญหาการได้ยินลดลง (age-related hearing loss หรือ presbycusis) หรือบางกลุ่มคนพิการทางการได้ยินที่ไม่สามารถได้ยินเสียงที่มีความถี่สูง (high frequency tones) ก็อาจประสบปัญหา หรือเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ หรือเสียชีวิตที่เกิดจากการไม่ได้ยินเสียงสัญญาณเตือนภัยได้ (Rohan Patel & Brian J. McKinnon, 2017) อุปกรณ์เตือนอัคคีภัยสำหรับคนพิการทางการได้ยินที่ใช้ในปัจจุบันมีการพัฒนาขึ้นอย่างหลากหลาย เช่น การใช้แสงในการเตือนภัย เพื่อให้คนพิการทางการได้ยินสามารถมองเห็นแสงได้เวลาเกิดภัย รวมถึงการใช้ระบบสั่นสะเทือนในการเตือนภัย ทั้งในรูปแบบอุปกรณ์เฉพาะและระบบแอปพลิเคชัน (Application) หรือ software ตัวอย่างเช่น Hearing Aide โดยพบว่าอุปกรณ์ในรูปแบบการสั่นสะเทือน หรือแอปพลิเคชันดังกล่าวมีขายตามท้องตลาดโดยทั่วไป อย่างไรก็ตามอุปกรณ์หรือแอปพลิเคชันดังกล่าวเป็นสิ่งที่ผลิต และนำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดข้อจำกัดทางด้านราคาสินค้าที่อาจส่งผลต่อผู้พิการทางการได้ยินที่ไม่สามารถเข้าถึงได้อย่างทั่วถึง

วิทยาลัยราชสุดา มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นสถาบันการศึกษาที่มีการจัดการเรียนการสอน โดยเฉพาะสำหรับคนพิการทางการได้ยิน โดยนักศึกษาพิการทางการได้ยินกลุ่มใหญ่ที่เข้ามาเรียน และพักอาศัยในหอพักของวิทยาลัยราชสุดา จากการสำรวจระบบความปลอดภัยด้านอัคคีภัยในอาคาร พบว่าวิทยาลัยฯมีแผนฝึกซ้อมดับเพลิงและฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ มีสัญญาณเตือนภัยในรูปแบบเสียง และแสง รวมถึงมีกระบวนการจับคู่ให้กับนักศึกษาที่มีความพิการทางการได้ยิน และนักศึกษาที่มีการได้ยินปกติให้อยู่ห้องเดียวกัน อย่างไรก็ตามวิทยาลัยฯเน้นการส่งเสริมให้เกิดการดำรงชีวิตอิสระของนักศึกษาพิการทางการได้ยิน ประกอบกับการเรียนวิชาฝึกปฏิบัติงานทางเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกพบว่า นักศึกษาพิการทางการได้ยินที่พักอยู่ในหอพักวิทยาลัยราชสุดามีความต้องการอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตือนอัคคีภัย ดังนั้นทีมผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการพัฒนาอุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยินเพื่อเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาหูหนวกในวิทยาลัยราชสุดา

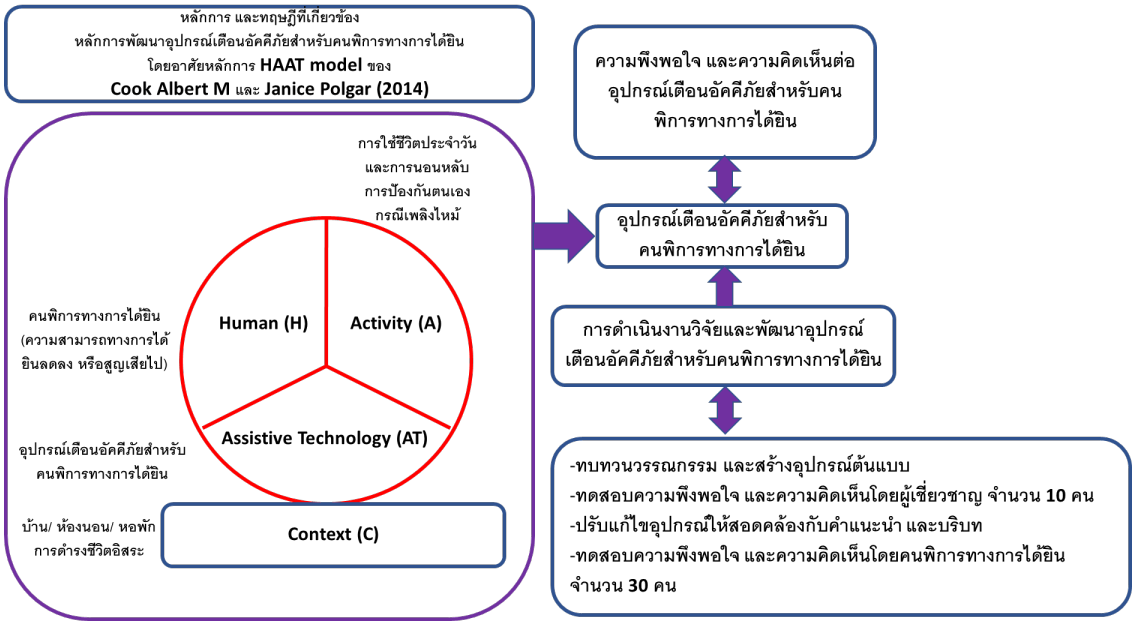
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อพัฒนาอุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน

(2) เพื่อศึกษาความพึงพอใจโดยใช้เครื่องมือวิจัยที่มีต่ออุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน

(3) ศึกษาความพึงพอใจโดยใช้เครื่องมือวิจัย ที่มีต่ออุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยหลังจากการทบทวนวรรณกรรม และรูปแบบแผงวงจรที่ใช้ในปัจจุบัน ร่วมกับวิศวกรด้านอิเล็กทรอนิกส์ ประเมินความเหมาะสมของอุปกรณ์ต้นแบบนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 การเตรียมความพร้อมโดยผู้เชี่ยวชาญโดยเครื่องมือวิจัยและอุปกรณ์ระดับสั่นสะเทือนเตือนอัคคีภัยสำหรับคนพิทางการได้ยินและระยะที่ 2 ความพึงพอใจและความคิดเห็นต่ออุปกรณ์โดยคนพิการทางการได้ยิน

4.1 แบบแผนการวิจัย

ระยะที่ 1 การพัฒนาอุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน โดยพัฒนาจากการทบทวนวรรณกรรม และผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในท้องตลาด โดยอาศัยหลักการของ HAAT model (Cook A and Janice P., 2014) นำข้อมูลทั้งหมดมาออกแบบอุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยินต้นแบบ โดย

1) วางแผนประยุกต์แผงวงจรเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการในการประดิษฐ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน

2) ประสานงานกับวิศวกรอิเล็กทรอนิกส์ในการประดิษฐ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน

3) ปรึกษาทีมงาน และผู้เชี่ยวชาญเพื่อปรับแก้ไขวงจร และรูปทรงของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

ระยะที่ 1 การพัฒนาอุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน

1) นำอุปกรณ์ต้นแบบ และรูปแบบวงจรภายในอุปกรณ์ และคำชี้แจงวิธีการใช้งาน เข้าปรึกษาวิศวกรอิเล็กทรอนิกส์ หรือบุคคลที่มีความรู้เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้อุปกรณ์จำนวน 3 คน

2) นำอุปกรณ์ต้นแบบ พร้อมคำชี้แจงวิธีการใช้อุปกรณ์ เข้าปรึกษานักผจญเพลิง (นักดับเพลิง) โดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้อุปกรณ์ จำนวน 2 คน

3) นำอุปกรณ์ต้นแบบ พร้อมคำชี้แจงวิธีการใช้อุปกรณ์ เข้าปรึกษาขอความคิดเห็น ผู้ดูแลหอพักอาศัยในวิทยาลัยราชสุดาโดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้อุปกรณ์ จำนวน 2 คน

4) นำอุปกรณ์ต้นแบบ พร้อมคำชี้แจงวิธีการใช้อุปกรณ์ เข้าปรึกษาขอความคิดเห็นครูที่มีข้อบกพร่องทางการได้ยินในวิทยาลัยราชสุดาสอน มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งเป็นคนพิการทางการได้ยิน และขึ้นทะเบียนคนพิการทางการได้ยินโดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้อุปกรณ์ จำนวน 3 คน

ระยะที่ 2 การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยแบบประเมินความพึงพอใจและความคิดเห็นต่ออุปกรณ์โดยคนพิการทางการได้ยิน

คนพิการทางการได้ยิน ที่ขึ้นทะเบียนคนพิการ จำนวน 30 คน ด้วยระบบการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญหรือตามความสะดวก(convenience sampling) จำนวน 30 คน

4.3 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยข้อมูลระดับความพึงพอใจกับอุปกรณ์ต้นแบบ และข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญและคนพิการทางการได้ยิน ต่ออุปกรณ์ต้นแบบ

4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ควิเบคเวอร์ชั่น 2.0 (Quebec user evaluation of satisfaction with assistive technology : QUEST 2.0) เป็นเครื่องมือ ที่พัฒนา โดย ดีเมอร์ แลมโบร และสกา ในการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกของควิเบคเวอร์ชั่น 2.0 (Quebec user evaluation of satisfaction with assistive technology : QUEST 2.0) ซึ่งประกอบด้วยคำถามทั้งหมด 12 ข้อแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ความพึงพอใจด้านอุปกรณ์ และความพึงพอใจด้านบริการ ความพึงพอใจด้านอุปกรณ์ได้แก่มิติ (Dimensions) น้ำหนัก(weight) ความง่ายในการปรับ (Ease in adjusting) ความปลอดภัยและมั่นคง (Safe and secure) ความคงทน (Durability) การใช้งานได้ง่าย (Easy to use) ความสะดวกสบาย (Comfortable) และความมีประสิทธิภาพ (Effective) ความพึงพอใจด้านบริการได้แก่ระบบการให้บริการ (Service delivery) การซ้อมและให้บริการ (Repairs and servicing) การให้บริการอย่างมืออาชีพ (Professional services) และการให้บริการติดตามผล (Follow –up services) โดยแบ่งระดับความพึงพอใจเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ไม่พึงพอใจเป็นอย่างมาก (Not satisfied at all) ไม่ค่อยพึงพอใจ (Not very satisfied) พึงพอใจบ้าง (More or less satisfied) ค่อนข้างพึงพอใจ (Quite satisfied) และพึงพอใจมาก(Very satisfied) ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวัดนี้ได้รับการแปลเป็นภาษาไทย และมีการทดสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม โดยค่าความเชื่อมั่น (Cronbach's Alpha) มีค่าเท่ากับ 0.902 (วราพร ปัญญาวงศ์ และคณะ 2017)

ทั้งนี้ผู้วิจัยมีความต้องการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน จึงจะทำการศึกษาเพียง 1 ส่วน ได้แก่ ความพึงพอใจด้านอุปกรณ์ ซึ่งจะประกอบด้วย 8 หัวข้อหลัก ดังกล่าวข้างต้น

4.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บข้อมูลจะอาศัยล่ามภาษามือไทยในการช่วยทำความเข้าใจแบบประเมิน QUEST 2.0 ในกรณีที่คนพิการทางการได้ยินไม่เข้าใจในคำถาม

4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) และค่าจำนวนร้อยละของประชากรตามระดับความพึงพอใจในการใช้อุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยินค่าเป็นค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจในคนพิการทางการได้ยินที่มีต่ออุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน รวมถึงข้อเสนอแนะในการพัฒนาในรูปแบบคำถามปลายเปิด

5. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ส่วนของการพัฒนาอุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน และส่วนของการนำอุปกรณ์ดังกล่าวไปใช้ในการศึกษาความพึงพอใจ และความคิดเห็นจากคนพิการทางการได้ยิน

ผลการศึกษาในส่วนการพัฒนาอุปกรณ์พบว่า อุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วนได้แก่ (1) อุปกรณ์ส่วนที่เป็นเครื่องรับ และแสดงผล และ (2) อุปกรณ์ส่วนที่เป็นเครื่องส่งสัญญาณ หรือรีโมท โดยมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ดังแสดงในแผนภาพที่ 2 อุปกรณ์ดังกล่าวมีความสะดวกในการพกพาไปใช้งานได้นอกสถานที่ เมื่อพิจารณาความพึงพอใจต่ออุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยินโดยใช้แบบประเมิน QUEST 2.0 พบว่าร้อยละ 75 ของผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนในระดับ “ค่อนข้างพึงพอใจ” ร้อยละ 25 ของผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนในระดับ “พึงพอใจบ้าง” โดยคะแนนเฉลี่ยสูงสุดจำแนกตามข้อคำถามพบว่า ประเด็นด้านมิติ (ขนาด ความสูงความยาว ความกว้าง) ของอุปกรณ์มีค่าระดับความพึงพอใจสูงสุด (4±0.82) ในขณะที่ประเด็นความง่ายในการปรับ (การยึดติด การทำให้แน่น) ของอุปกรณ์มีค่าระดับความพึงพอใจต่ำสุด (3.2±0.92) และมีค่าความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ที่ 3.66±0.72 (ค่อนข้างพึงพอใจ) (ตารางที่ 1) และเมื่อพิจารณาประเด็นแนะนำเพิ่มเติมในส่วนคำถามปลายเปิดพบว่า ความมั่นคงแข็งแรงของอุปกรณ์ และการมีสัญญาณเตือนเมื่อเครื่องทำงานรวมถึงทำสัญลักษณ์ให้ง่ายต่อคนพิการทางการได้ยินในการใช้งานรีโมท เป็นประเด็นที่ผู้เชี่ยวชาญให้ความสนใจและเสนอแนะ ทีมผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ต้นแบบตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ทีมผู้วิจัยจึงได้ปรับแก้ไขอุปกรณ์ต้นแบบ โดยความคงทนความแข็งแรงของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในใช้แผ่นยิปซัมกันความร้อนจากวงจร และรองรับแรงกระแทก นอกจากนั้นได้มีการเพิ่มหลอดไฟ (LED) ซึ่งเป็นหลอดไฟจะทำงานเมื่อเปิดใช้งานอุปกรณ์ และเพิ่มน๊อตยึดภายใน รวมถึงติดสัญลักษณ์เพื่อให้คนพิการทางการได้ยินเข้าใจการใช้งานรีโมทได้ง่ายขึ้น (แผนภาพที่ 3)

เมื่อศึกษาความพึงพอใจต่อการใช้อุปกรณ์ภายหลังการปรับปรุงโดยใช้แบบประเมิน QUEST 2.0 ในกลุ่มคนพิการทางการได้ยินจำนวน 30 คน พบว่าร้อยละ 3.3 ของมีคนพิการทางการได้ยินให้คะแนนในระดับ “ความพึงพอใจมาก” ร้อยละ 53.33 ให้คะแนนในระดับ “ค่อนข้างพึงพอใจ” ร้อยละ 43.33 ให้คะแนนในระดับ “พึงพอใจบ้าง” โดยคะแนนเฉลี่ยสูงสุดจำแนกตามข้อคำถามพบว่า ประเด็นด้านมิติ (ขนาด ความสูงความยาว ความกว้าง) ของอุปกรณ์มีค่าระดับความพึงพอใจสูงสุด (3.77±0.57) ในขณะที่ ประเด็นด้านความปลอดภัยและมั่นคง ของอุปกรณ์มีค่าระดับความพึงพอใจต่ำสุด (3.1±1.18) (ตารางที่ 1) และเมื่อพิจารณารายบุคคลพบว่าผู้ที่ให้

คะแนนสูงสุดสำหรับความพึงพอใจต่ออุปกรณ์ภายหลังการปรับปรุงอยู่ที่ระดับ 4.5±0.76 (พึงพอใจมาก) และค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.63±0.74 (พึงพอใจบ้าง)

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

แผนภาพที่ 2 แสดงอุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยินต้นแบบ ส่วนที่เป็นเครื่องรับ และแสดงผล ของอุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน (ก-ข) อุปกรณ์แสดงผล (มอเตอร์สั่นสะเทือน) (ค) และอุปกรณ์ส่วนที่เป็นเครื่องส่งสัญญาณ (ง)

เมื่อพิจารณาถึงประเด็นแนะนำเพิ่มเติมในส่วนคำถามปลายเปิดพบว่า ร้อยละ 56 ของคนพิการทางการได้ยินที่ตอบคำถามในส่วนคำถามปลายเปิดให้ความสำคัญกับประเด็นข้อเสนอแนะด้านมิติ (ขนาด ความสูง ความยาว ความกว้าง) ของอุปกรณ์ภายหลังการปรับปรุง เช่น ขนาดของอุปกรณ์สมควรเล็กลง สีของอุปกรณ์เตือนอัคคีภัย และร้อยละ 24 ของคนพิการทางการได้ยินที่ตอบคำถามในส่วนคำถามปลายเปิดให้ความสำคัญกับความงานในการใช้งาน โดยเสนอให้อุปกรณ์แสดงผล (ชิ้นที่ใช้เตือนด้วยการสั่นสะเทือน) ควรเป็นแบบไร้สายหรือสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายโทรศัพท์ได้

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

แผนภาพที่ 3 แสดงอุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยินต้นแบบ (ปรับเปลี่ยนตามคำแนะนำผู้เชี่ยวชาญ) ส่วนที่เป็นเครื่องรับ และแสดงผลได้เพิ่มแสงแสดงสัญญาณการทำงานของเครื่อง (ก) และเพิ่มแผ่นยิปซัมเพื่อเป็นอุปกรณ์กันความร้อนใต้แผงวงจร (ข) อุปกรณ์แสดงผล (มอเตอร์สั่นสะเทือน) เพิ่มน๊อตยึดเพื่อความแข็งแรง (ค) และอุปกรณ์ส่วนที่เป็นเครื่องส่งสัญญาณได้เพิ่มสัญลักษณ์ให้ชัดเจนขึ้น (ง)

6. อภิปรายผล

การวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์เตือนอัคคีภัยสำหรับคนพิการทางการได้ยิน มีขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนการพัฒนาอุปกรณ์อุปกรณ์เตือนอัคคีภัยสำหรับคนพิการทางการได้ยินต้นแบบ และขั้นตอนการทดสอบความพึงพอใจของอุปกรณ์อุปกรณ์เตือนอัคคีภัยสำหรับคนพิการทางการได้ยินภายหลังการปรับปรุง

การอภิปรายผลขั้นตอนการพัฒนาอุปกรณ์เตือนอัคคีภัยสำหรับคนพิการทางการได้ยิน โดยพบว่าในประเทศไทยยังมีการใช้งาน หรือให้ความสำคัญกับอุปกรณ์เตือนภัยในรูปแบบนี้ค่อนข้างน้อย เนื่องจากระบบเตือนภัยในอาคารส่วนใหญ่เน้นการเตือนภัยผ่านรูปแบบแสง สำหรับคนพิการทางการได้ยิน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อ

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับแบบสอบถามความพึงพอใจในกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ และคนพิการทางการได้ยินที่มีต่ออุปกรณ์เตือนอัคคีภัยด้วยระบบสั่นสะเทือนสำหรับคนพิการทางการได้ยิน

ลำดับ	หัวข้อความพึงพอใจ	ผู้เชี่ยวชาญ (n=10)		คนพิการทางการได้ยิน (n=30)	
		ค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ระดับความพึงพอใจ	ค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ระดับความพึงพอใจ
1	มิติ (ขนาด ความสูงความยาว ความกว้าง) ของเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกของท่าน	4 (0.82)	ค่อนข้างพึงพอใจ	3.77 (0.57)	ค่อนข้างพึงพอใจ
2	น้ำหนักของเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกของท่าน	3.8 (0.63)	ค่อนข้างพึงพอใจ	3.4 (0.86)	พึงพอใจบ้าง
3	ความง่ายในการปรับ (การยึดติด การทำให้แน่น) ส่วนต่างๆ ของเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกของท่าน	3.2 (0.92)	พึงพอใจบ้าง	3.7 (1.06)	ค่อนข้างพึงพอใจ
4	เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกของท่านมีความปลอดภัยและมั่นคงเพียงใด	3.5 (0.85)	ค่อนข้างพึงพอใจ	3.1 (1.18)	พึงพอใจบ้าง
5	ความคงทน (ความทนทาน ยากต่อการชำรุด) ของเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกของท่าน	3.4 (0.52)	พึงพอใจบ้าง	3.33 (0.66)	พึงพอใจบ้าง
6	เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกของท่านใช้งานได้ง่ายเพียงใด	3.9 (0.74)	ค่อนข้างพึงพอใจ	3.63 (0.81)	ค่อนข้างพึงพอใจ
7	เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกของท่านมีความสะดวกสบายเพียงใด	3.9 (0.57)	ค่อนข้างพึงพอใจ	3.63 (0.96)	ค่อนข้างพึงพอใจ
8	เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกของท่านมีประสิทธิภาพเพียงใด (ระดับที่เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกตอบสนองต่อความต้องการของท่าน)	3.6 (0.70)	ค่อนข้างพึงพอใจ	3.73 (0.83)	ค่อนข้างพึงพอใจ
รวม	-	***3.66 (0.72)***	***ค่อนข้างพึงพอใจ***	***3.54 (0.20)***	***ค่อนข้างพึงพอใจ***

คนพิการทางการได้ยินหลับ ซึ่งจะเป็นการตัดช่องทางการรับข้อมูลผ่านทางสายตา หรือการมองเห็น ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าระบบแสงจะไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในกรณีที่คนพิการทางการได้ยินหลับ หรือแม้กระทั้งในกลุ่มคนพิการที่มีความพิการทางการได้ยิน และการมองเห็นร่วมกัน ดังนั้นอุปกรณ์ต้นแบบนี้จึงพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการที่แท้จริงสำหรับคนพิการทางการได้ยิน โดยผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญกับความง่ายในการปรับใช้ รวมถึงความแข็งแรง ความมั่นคงของอุปกรณ์ เนื่องจากแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อความมั่นคงในการยึดติดของอุปกรณ์ รวมถึงการทำให้เห็นภาพที่ชัดเจนเพื่อให้คนพิการทางการได้ยินสามารถใช้งานได้อย่างง่าย นอกจากนั้นการพัฒนาอุปกรณ์ชิ้นนี้มีค่าใช้จ่ายเพียงเครื่องละ 400 บาท ซึ่งเป็นเครื่องราคาถูกที่คนพิการสามารถเข้าถึงได้ และเมื่อนำไปทดสอบกับคนพิการทางการได้ยินพบว่าประเด็นมิติของอุปกรณ์ การใช้งานง่าย และความสะดวกสบาย เป็นประเด็นที่สอดคล้องกันระหว่างผู้เชี่ยวชาญ และคนพิการการทางการได้ยิน เนื่องจากอุปกรณ์มีขนาดกะทัดรัด และสามารถพกพาไปใช้ภายนอกสถานที่ได้ ประกอบกับรูปแบบ และขั้นตอนการใช้

งานที่ไม่ซับซ้อน จึงส่งผลต่อค่อนข้างพึงพอใจ อย่างไรก็ตามประเด็นเรื่องความมั่นคงของอุปกรณ์ยังเป็นประเด็นสำคัญที่คนพิการทางการได้ยินให้ความสำคัญ ซึ่งต้องได้รับการพัฒนาต่อไปในอนาคต

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) ใช้เป็นอุปกรณ์ในการเตือนอัคคีภัยสำหรับคนพิการทางการได้ยิน

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) พัฒนาอุปกรณ์ให้มีความมั่นคงต่อการใช้งาน

(2) พัฒนาให้อยู่ในรูปแบบไร้สาย และสามารถต่อสัญญาณเข้ากับระบบเตือนภัยในอาคาร

8. เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ. (2559). **คู่มือการวินิจฉัยและตรวจประเมินความพิการ ตามประกาศกระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ เรื่อง ประเภทและหลักเกณฑ์ความพิการ (ฉบับที่ 2)**. สืบค้นจากhttp://dep.go.th/sites/default/files/files/services/disability_information_handbook2559.pdf

กระทรวงมหาดไทย. (2559). สรุปผลการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ ในหัวข้อ “สานพลังประชารัฐ สู่ประเทศไทยปลอดภัย” safety for all ,2016.สืบค้นจาก http://www.disaster.go.th/upload/download/file_attach/57e38f736c5bc.pdf

ธีรศานต์ ไหลหลั่ง, เบจพร ศักดิ์ศิริ และวรรชนก สุนทร. (2556). รูปแบบหนังสืออิเล็กทรอนิกส์สำหรับคนพิการทางการได้ยิน. **วารสารวิทยาลัยราชสุดาเพื่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ,** 9(12), 50-58.

วราพร ปัญญาวงศ์, เบญจพร ศักดิ์ศิริ และพรพรรณ์ สมบูรณ์. (2560). เทคโน

Albert Cook & Janice Polgar. (2014). Assistive Technologies: Principles and Practice. (4th ed.). Mosby.

Helen T. Sullivan & Shrirang Sahasrabudhe. (2017). Envisioning inclusive futures: Technology-based assistive sensory and action substitution. Futures, 87, 140-148.

Jason Galster. (2015). **Hearing aid use is becoming more accepted.** Retrieved from

Rohan Patel & Brian J. McKinnon (2017) Hearing Loss in the Elderly. **Clin Geriatr Med** 34 (2), 163–174.

การวิเคราะห์และออกแบบเสถียรภาพของคันทางเสริมตาข่ายโพลีเมอร์ : กรณีศึกษา ทางหลวงชนบท สาย พจ.4005 อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร

STABILITY ANALYSIS AND DESIGN OF EMBANKMENT REINFORCED WITH GEOGRID : A CASE STUDY IN RURAL ROADS AT ROUTE NO. 4005, BANG MUN NAK DISTRCT, PHICHIT

ทักษิณ บุญต่อ
สำนักงานทางหลวงชนบทที่ 8 (นครสวรรค์) กรมทางหลวงชนบท
E-mail: Thaksin1777@gmail.com
นพดล ดีเรือก
สำนักงานทางหลวงชนบทที่ 8 (นครสวรรค์) กรมทางหลวงชนบท
E-mail: honma.355@gmail.com
ทวีพงษ์ สุขสวัสดิ์
สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวงชนบท
E-mail: taweephong2727@gmail.com
เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
E-mail: cherdsak.su@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการวิเคราะห์และออกแบบเสถียรภาพของคันทางเสริมตาข่ายโพลีเมอร์ : กรณีศึกษา สาย พจ.4005 อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร การสำรวจชั้นดินในสนามใช้วิธี Standard Penetration Test (SPT) และวิธี Dynamic Cone Penetration Test (DCP) จากผลการเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil boring) พบว่าลักษณะความเสียหายของคันทางไม่ได้เกิดจากดินใต้คันทางเพราะดินมีสภาพแข็งมาก สาเหตุหลักของความเสียหายจึงเกิดจากความลาดคันของ Side slope ที่ชันมากบางช่วง และสภาพถนนที่เลียบคลองน้ำจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนตัวของคันทางอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งในช่วงที่ปริมาณน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid drawdown) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเสถียรภาพของดินคันทางโดยวิธี Bishop method of slices ของคันทางทั้ง 2 กรณี เป็นการพังทลายแบบ Slope circle ซึ่งมีค่าความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 1.175 และ 1.041 สำหรับกรณีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (ค่า FS มีค่าน้อยกว่า 1.500) ผลการวิเคราะห์และออกแบบเสถียรภาพของคันทางเสริมตาข่ายโพลีเมอร์แสดงให้เห็นว่าตาข่ายโพลีเมอร์ต้องสามารถรับแรง Tensile Strength ได้ไม่น้อยกว่า 12.75 kN/m

คำสำคัญ: การวิเคราะห์เสถียรภาพ, คันทาง, ตาข่ายโพลีเมอร์

ABSTRACT

This research investigated stability analysis and design of embankment reinforced with geogrid : a case study in rural roads at route no. 4005, bang mun nak distrct, phichit. The Standard Penetration Test (SPT) and Dynamic Cone Penetration Test (DCP) were used in this study to evaluate subsoil. From soil boring showed that subsoil under the road embankment is very strong. Therefore, the main causes of failure were the high slope of the side slope and rapid drawdown. The analysis results showed that the stability of the embankment by the Bishop method of slices was a slope circle collapse which offered the factor of safety (FS) of 1.175 and 1.041 for cases 1 and 2, respectively (FS value less than 1.50). The results of the analysis and design of the stability of embankment reinforced with geogrid showed that the tensile strength of geogrid must greater than 12.75 kN/m.

Keywords: Stability Analysis; Embankment; Geogrid

1. บทนำ

ในปัจจุบันการออกแบบเสถียรภาพของคันทางจะใช้การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันด้วยวิธีสมดุลขีดจำกัด (Limit equilibrium method) ซึ่งคำนวณตามทฤษฎี Method of slices เช่น วิธี Bishop [1] การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะได้ค่าความปลอดภัยของดินคันทาง และแนวของการเคลื่อนตัวของดินคันทาง อย่างไรก็ตามถนนที่ก่อสร้างอยู่บนแนวคันคลองชลประทาน หรืออยู่ริมตลิ่งของลำน้ำธรรมชาติ มักจะเกิดปัญหาการชำรุดเสียหายซึ่งมีอยู่ 3 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ การทรุดตัวของคันทาง การเคลื่อนพังของคันทาง และการทรุดตัวพร้อมการเคลื่อนพังของคันทาง อันเนื่องมาจากสาเหตุการเกิดน้ำท่วมฐานรากของคันทางในฤดูน้ำหลาก ถนนอยู่บนพื้นที่ดินอ่อน หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำคลองอย่างรวดเร็ว (Rapid drawdown) และลาดคันทางที่มีความลาดชันมากเกินไป

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะปรับปรุงเสถียรภาพของคันทางโดยใช้ตาข่ายโพลีเมอร์ (Geogrid) การใช้ Geogrids มีประโยชน์ในด้านการเสริมแรง (Reinforcement) ในงานโครงสร้างดิน เช่น งานถนน คันทาง และกำแพงกันดิน เป็นต้น เนื่องจาก Geogrids สามารถรับแรงดึงได้สูงกว่า Geosynthetics ประเภทอื่น ๆ อีกทั้งมีคุณสมบัติ High Modulus และ Low-Creep Sensitivity และช่องเปิดของ Geogrids สามารถผลิตได้หลายรูปร่าง เช่น วงรี สี่เหลี่ยม เป็นต้น จึงใช้แยกส่วนของวัสดุขนาดใหญ่ ๆ ที่มีรูปร่างต่าง ๆ ได้ ลักษณะของ Geogrid เป็นแผ่นตารางที่ผลิตจาก Synthetic Polymers ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ 2 ส่วน คือ เส้นตามแนวยาวของแผ่น (Longitudinal ribs) และเส้นตามแนวขวางของแผ่น (Transverse ribs)

งานวิจัยนี้จะศึกษาการวิเคราะห์และออกแบบเสถียรภาพของคันทางเสริมตาข่ายโพลีเมอร์ : กรณีศึกษาสาย พจ.4005 อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร โดยการสำรวจชั้นดิน สำรวจข้อมูล วิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางเดิม และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับคันทางเสริมตาข่ายโพลีเมอร์ ประโยชน์ของงานวิจัยนี้คือ ได้แนวทางการปรับปรุงเสถียรภาพของคันทางโดยใช้ตาข่ายโพลีเมอร์ ตามหลักวิศวกรรมโยธา

2. สาเหตุของการวิบัติ

จากการลงตรวจสอบสภาพปัญหาและสำรวจถนนที่เกิดความเสียหาย *สำนักงานทางหลวงชนบทที่ 8 (นครสวรรค์)* ได้สำรวจปัญหาที่เกิดขึ้นของถนนสาย พจ.4005 แยกทางหลวงหมายเลข 1069 – บ้านดงเย็น อำเภอบาง

มูลนาก จังหวัดพิจิตร ซึ่งถนนได้เกิดความเสียหายหนักบริเวณคันทางและผิวทางลาดยาง ช่วง กม.ที่ 9+465 – 9+935 ระยะทาง 0.470 กิโลเมตร ซึ่งความเสียหายที่พบมีลักษณะ คือ โครงสร้างคันทางทรุดและเคลื่อนตัวด้านซ้ายทางที่ติดกับด้านแนวคลองน้ำ ผิวจราจรลาดยางทรุดตัวเห็นได้ชัดเจน มีรอยแตกตามแนวยาว และระดับผิวจราจรลาดยางทรุดตัวบางช่วงเป็นแอ่งลึก ส่งผลให้การใช้เส้นทางไม่มีความปลอดภัย ดังแสดงตาม**รูปที่ 1 ก** และ **ข** ซึ่งสาเหตุของการเสียหายของเชิงลาดคันทางและผิวจราจรถนนลาดยาง สรุปได้ 3 ประเด็นหลัก ดังนี้

1. เกิดจากแนวคลองด้านซ้ายทางและบางช่วงมีบ่อน้ำขนาดใหญ่ด้านซ้ายทาง เมื่อคันทางรับน้ำหนักบรรทุกของการจราจรและมีปริมาณจราจรสะสมเป็นเวลานาน คันทางจะเกิดการเคลื่อนตัวฝั่งด้านชิดคลองน้ำ โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งเมื่อระดับน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid drawdown) ปริมาณน้ำในมวลดินคันทางที่มีปริมาณน้ำสูงจะเกิดการเคลื่อนตัวตามทิศทางน้ำที่ลดลงจะทำให้เกิดแรงดันกระทำต่อดินคันทาง ซึ่งเมื่อดินคันทางอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วเปลี่ยนมาเป็นสภาพค่อย ๆ แห้งจะส่งผลให้คุณสมบัติในการรับน้ำหนักลดลง จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวและการทรุดตัวตามมาของถนนลาดยาง

2. เกิดจากความลาดชันของคันทาง Side slope มีความลาดชันมากเกินค่ามาตรฐาน เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องเขตทางและด้านซ้ายทางติดแนวคลองน้ำ ซึ่งส่งผลทำให้เสถียรภาพคันทางไม่มีความปลอดภัยและเกิดการเคลื่อนตัวออกด้านข้างเป็นการเสียรูปซึ่งปรากฏอย่างชัดเจน

3. เกิดจากคุณสมบัติวัสดุชั้นโครงสร้างทาง คือ ชั้นรองพื้นทาง มีค่า CBR น้อยกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งได้ผลจากการทดสอบค่า CBR ในสนาม โดยวิธี Dynamic Cone Penetration Test (DCP) เมื่อถนนรับน้ำหนักบรรทุกจากการจราจร จึงทำให้เกิดการเสียหายและเสื่อมสภาพของถนนลาดยางตามมาในที่สุด

(ก)

(ข)

รูปที่ 1 (ก) สภาพแนวคลองน้ำตลอดด้านซ้ายทาง **(ข)** ลักษณะความเสียหายของถนนบริเวณด้านซ้ายทาง

3. วิธีการดำเนินการ

3.1 การเจาะสำรวจชั้นดินในสนาม โดยวิธี Standard Penetration Test (SPT)

ส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ สำนักงานทางหลวงชนบทที่ 8 (นครสวรรค์) ได้ดำเนินการเจาะสำรวจชั้นดินในสนาม โดยวิธี Standard Penetration Test (SPT) ตามมาตรฐาน ASTM D 1586-84 รวมจำนวน 2 หลุมเจาะ ดังแสดงใน**รูปที่ 2** โดยนำตัวอย่างดินที่เก็บในสนามมาทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำข้อมูลมาสรุปผลการทดสอบเป็น Summary of test results รายละเอียดผลการเจาะสำรวจชั้นดินแสดงใน**ตารางที่ 1** และ **2**

รูปที่ 2 การเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil boring) บริเวณช่วงที่มีความเสียหายของคันทาง

ตารางที่ 1 ผลการเจาะสำรวจชั้นดินหลุมเจาะที่ 1 (BH-1 กม.9+500)

ความลึก,เมตร	ชนิดของชั้นดิน	ค่า SPT-N ; ครั้ง/ฟุต
0.00 – 2.00	ดินเหนียวสีน้ำตาลเข้ม	สภาพแข็งมาก 16 - 30
2.00 – 4.50	ดินเหนียวสีน้ำตาลเข้ม	สภาพแข็งที่สุด > 30
4.50 – 6.50	ดินเหนียวสีน้ำตาลปนเหลือง	สภาพแข็งที่สุด > 30

ตารางที่ 2 ผลการเจาะสำรวจชั้นดินหลุมเจาะที่ 2 (BH-2 กม.9+700)

ความลึก,เมตร	ชนิดของชั้นดิน	ค่า SPT-N ; ครั้ง/ฟุต
0.00 – 3.50	ดินเหนียวสีน้ำตาลเข้ม	สภาพแข็งมาก 16 - 30
3.50 – 5.50	ดินเหนียวสีน้ำตาลปนเหลือง	สภาพแข็งมาก 16 - 30
5.50 – 6.50	ดินเหนียวสีน้ำตาลปนเหลือง	สภาพแข็งที่สุด > 30

จากผลการเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil boring) นำข้อมูลดินที่ได้มาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์เสถียรภาพคันทาง ซึ่งได้ทำการเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณที่เกิดความเสียมากสุดและน่าจะเกิดความเสียหายเพิ่มเติมในอนาคต ทั้งหมดรวม จำนวน 2 หลุม ที่ความลึก 0.0-4.50 เมตร สภาพเป็นดินเหนียวสภาพแข็งมาก (Very stiff clay) และที่ความลึก 4.50-6.50 เมตร สภาพเป็นดินเหนียวสภาพแข็งที่สุด (Hard clay) ดังนั้นลักษณะความเสียหายของคันทางไม่ได้เกิดจากดินใต้คันทางเพราะดินมีสภาพแข็งมาก สาเหตุหลักของความเสียหายจึงเกิดจากความลาดคันของ Side slope ที่ชันมากบางช่วง สาเหตุอีกประการคือสภาพถนนที่เลียบคลองน้ำจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนตัวของคันทางอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งในช่วงที่ปริมาณน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid drawdown) และเมื่อปริมาณน้ำในคลองแห้งหมด ซึ่งเป็นช่วงวิกฤตสูงสุดของเสถียรภาพของคันทาง ซึ่งจะมีโอกาสเกิดความทรุดตัวและเคลื่อนตัวในขณะนั้น ส่งผลเกิดความเสียหายกับคันทางตามมา

3.2 การทดสอบหาค่า CBR ในสนาม โดยวิธี Dynamic Cone Penetration Test (DCP)

การทดสอบหาค่า CBR ในสนามของคันทาง ดังแสดงใน**รูปที่ 3** โดยวิธี DCP บริเวณช่วง กม.8+000-14+000 รวมจำนวน 10 จุด ซึ่งอยู่ในช่วงที่ถนนเกิดความเสียหายมากสุด เพื่อที่จะนำข้อมูลค่า CBR ชั้นโครงสร้างทาง (ชั้นพื้นทาง รองพื้นทาง และชั้นดิน) มาพิจารณาประกอบการวิเคราะห์ออกแบบแก้ไขและเสริมเสถียรภาพคันทาง ซึ่งผลทดสอบในสนามปรากฏว่า ค่า CBR ของชั้นพื้นทางมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 แต่ในชั้นรองพื้นทางมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 25 ซึ่งถือเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่เกิดความเสียหายแก่คันทาง

(ก)

(ข)

รูปที่ 3 การทดสอบหาค่า CBR ในสนาม โดยวิธี Dynamic Cone Penetration (DCP) และ การสำรวจรอยแตกร้าวและทรุดตัวด้านซ้ายทางของถนน

4. การวิเคราะห์เสถียรภาพคันทาง

ข้อมูลดินการเจาะสำรวจชั้นดินในสนามและคุณสมบัติดินที่ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการแสดงใน**ตารางที่ 3** และ **4** ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณี กรณีที่ 1 ใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจชั้นดิน BH-1 กม.9+500 และ กรณีที่ 2 ใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจชั้นดิน BH-2 กม.9+700 เสถียรภาพลาดคันทางจะวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Slope/W ผลการวิเคราะห์จะได้ค่าเสถียรภาพความลาดของคันทาง (Factors of Safety, FS) ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของดินคันทางโดยวิธี Bishop method of slices ของคันทางทั้ง 2 กรณี เป็นการพังทลายแบบ Slope circle ซึ่งมีค่าความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 1.175 และ 1.041 สำหรับกรณีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (ค่า FS มีค่าน้อยกว่า 1.500) (**รูปที่ 4 และ 5**) จากผลการทดสอบข้างต้นคันทางทั้ง 2 กรณี มีความปลอดภัยและค่าเสถียรภาพความลาดไม่เพียงพอ ซึ่งทำให้คันทางเกิดการเคลื่อนตัวและมีรอยแตกร้าวอย่างเห็นได้ชัด

การวิเคราะห์หาความสูงวิกฤตโดยใช้แผนภูมิ N.Janbu (1954) โดยกำหนดค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) เท่ากับ 1.500 จะได้ค่าความสูงวิกฤต (Hc) เท่ากับ 13.00 เมตร และสภาพผิวจราจรปัจจุบันบริเวณช่วงที่มีการแตกร้าวตามแนวไหล่ทาง ความสูงจากก้นคลองน้ำถึงผิวจราจรมากสุด 5.35 เมตร ถือว่าน้อยกว่าค่า Hc ที่คำนวณได้ แสดงว่าการแตกร้าวและเคลื่อนตัวจุดดังกล่าวเกิดจากเหตุผลอื่น

สาเหตุแรกของการเคลื่อนตัวและแตกเป็นแนวยาวตลอดด้านซ้ายทาง คือ เกิดจากฝั่งของแนวคันทางด้านซ้ายมีลักษณะเป็นคลองส่งน้ำตลอดและบ้างช่วงมีบ่อน้ำขนาดใหญ่ ทำให้คันทางเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกจากปริมาณการจราจรเป็นประจำในเวลานานๆ จะเกิดการเคลื่อนตัวฝั่งด้านซ้ายที่ชิดคลองน้ำโดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง

เมื่อระดับน้ำในคลองมีระดับแห้งหรือลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown) จะส่งผลให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในมวลดินคันทางมีการอุ้มตัวอยู่ ส่งผลทำให้ดินคันทางดังกล่าวมีคุณสมบัติในการรับน้ำหนักบรรทุกลดลงและเกิดการเคลื่อนตัวพร้อมทรุดตัวของคันทางในช่วงเวลาดังกล่าวอย่างเห็นได้ชัด

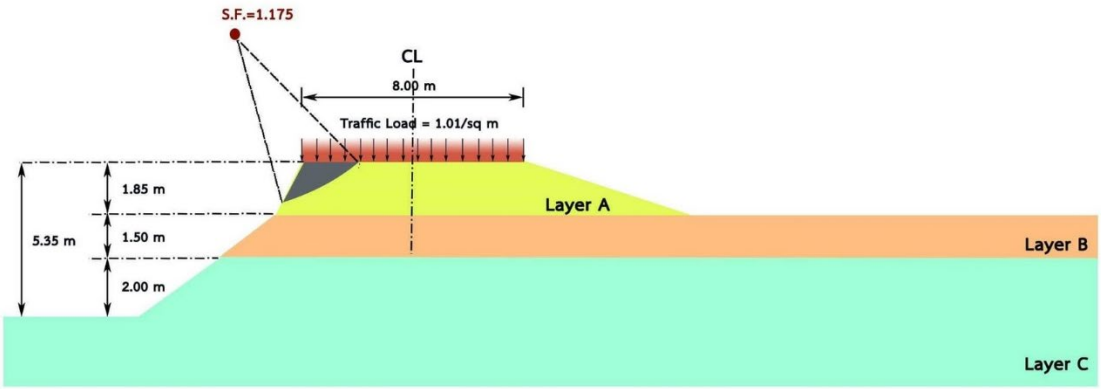
สาเหตุอีกประการ คือ เกิดจากการก่อสร้างลาดคันทาง Side Slope ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ซึ่งมีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ด้านลาดคันทางไม่เพียงพอทำให้ค่าเสถียรภาพของคันทางมีค่าน้อยกว่า 1.500 และส่งผลให้เกิดการเคลื่อนตัวออกด้านข้าง ซึ่งเป็นการเสียรูปอย่างที่ปรากฏเห็นได้ชัดเจน

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์จากผลการเจาะสำรวจชั้นดินหลุมเจาะที่ 1 (BH-1 กม.9+500)

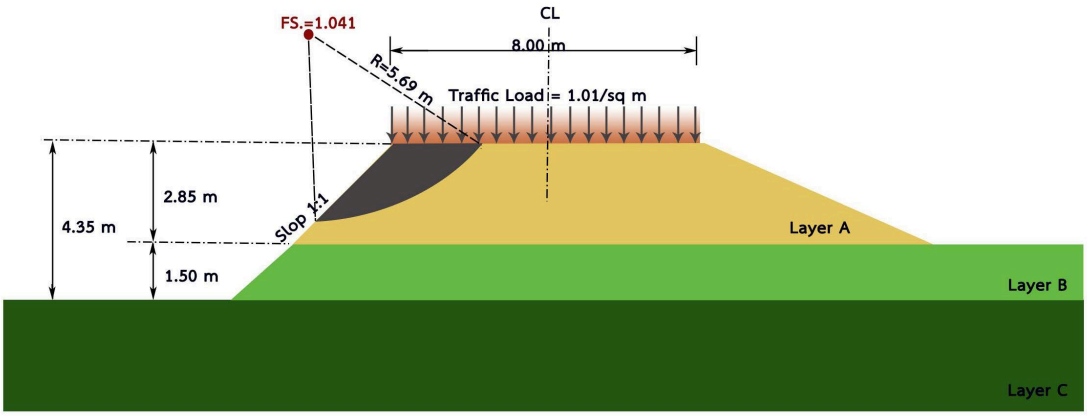
Layer	γ (ton/m^3)	Su (ton/m^2)	ϕ
A	2.100	0.00	32
B	2.160	8.00	0
C	2.232	20.00	0

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์จากผลการเจาะสำรวจชั้นดินหลุมเจาะที่ 2 (BH-2 กม.9+700)

Layer	γ (ton/m^3)	Su (ton/m^2)	ϕ
A	2.100	0.00	32
B	2.160	15.00	0
C	2.187	20.00	0



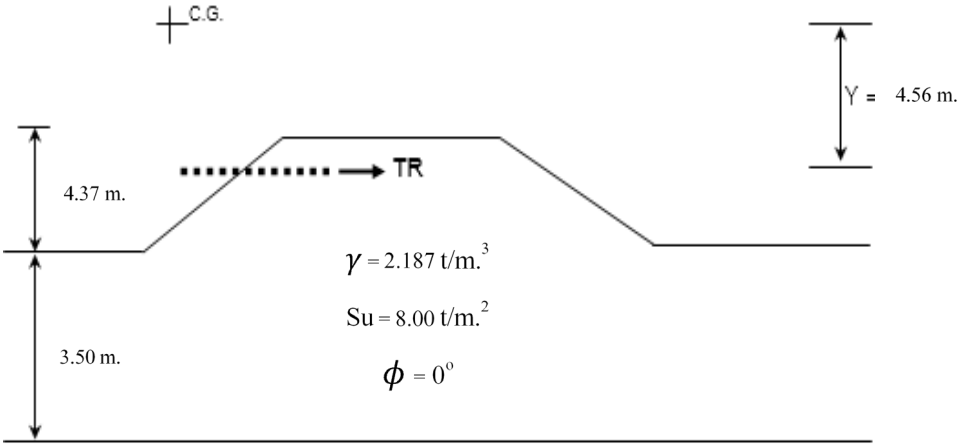
รูปที่ 4 การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทาง กม.ที่ 9+500 จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SLOPE/W



รูปที่ 5 การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทาง กม.ที่ 9+700 จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SLOPE/W

5. การวิเคราะห์และออกแบบเสถียรภาพคันทางเสริมตาข่ายโพลีเมอร์

จากผลการวิเคราะห์เสถียรภาพคันทางที่วิกฤติที่สุดค่าเสถียรภาพคันทาง FS (ปกติ) มีค่าน้อยกว่า 1.50 ถือว่ามีความปลอดภัยไม่เพียงพอ ดังนั้นจะต้องเพิ่มเสถียรภาพของคันทางให้สูงขึ้น เพื่อให้ค่าเสถียรภาพโดยรวมมีค่ามากกว่า 1.50 (กรณีใช้งาน) โดยได้เลือกใช้วิธีตาข่ายเสริมแรง เนื่องจากแนวการวิบัติ (Failure) อยู่ในระยะไม่เกิน 3.00 เมตร จากขอบทางด้านซ้ายเข้ามาที่ศูนย์กลางถนน ผู้วิจัยจึงเลือกการออกแบบด้วยวัสดุเสริมตาข่ายเสริมแรงคันทาง (Geogrid reinforced embankment) โดยกำหนดใช้ตาข่ายเฉพาะแนววิบัติ (Failure) ของถนนลาดยางเดิม ซึ่งจะทำให้ผลของค่าเสถียรภาพโดยรวมเมื่อเสริมแรง FS มีค่ามากกว่า 1.50 ถือว่าคันทางที่ออกแบบแก้ไขแล้วมีความปลอดภัย โดยเลือกข้อมูลชั้นดินและข้อมูลของชั้นคันทางในกรณีที่ 2 (จุดที่เสียหายมากสุด) มาทำการวิเคราะห์และออกแบบแก้ไข



รูปที่ 6 ลักษณะชั้นดินคันทางและตำแหน่งการเสริมวัสดุตาข่ายในคันทาง

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Slope/W โดยใช้ทฤษฎีของ Slope Stability Analysis ซึ่งค่า FS = MR/MD เมื่อ Resisting term (MR) = 131.84 kN-m และ Driving term (MD) = 126.65 kN-m จะได้ FS = 1.041 < 1.500 (ถือว่าเสถียรภาพของคันทางไม่มีความปลอดภัยกรณีระหว่างใช้งาน)

ดังนั้นต้องเพิ่มความต้านทานของคันดินให้สูงขึ้น โดยการเสริมด้วย Geogrid เพื่อให้ค่า FS > 1.500 กำหนดตำแหน่งของวัสดุเสริมแรง 1 ชั้น ที่ระดับต่ำจากผิวจราจร 0.24 เมตร และระยะในแนวดิ่งจากจุดศูนย์กลางของแนวโค้งการวิบัติมาถึงแนวของการติดตั้ง Geogrid ซึ่งเป็นระยะของ Y เท่ากับ 4.56 m ดังแสดงใน**รูปที่ 6** จะได้ FS (R) = (MR+ MT) / MD เมื่อ MT = Tensile Strength (TR) x (Y) กำหนดให้ FS (R) = 1.500 กรณีระหว่างใช้งาน (The Long -Term Condition) ดังนั้น TR = 12.75 kN สรุปผลออกแบบเสริมเสถียรภาพคันทางใช้วัสดุตาข่ายเสริมแรงประเภท Geogrid ตาข่ายต้องสามารถรับแรง Tensile Strength ได้ไม่น้อยกว่า 12.75 kN/m

5. สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาการวิเคราะห์และออกแบบเสถียรภาพของคันทางเสริมตาข่ายโพลีเมอร์ จากผลการเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil boring) พบว่าลักษณะความเสียหายของคันทางไม่ได้เกิดจากดินใต้คันทางเพราะดินมีสภาพแข็งมาก สาเหตุหลักของความเสียหายจึงเกิดจากความลาดคันของ Side slope ที่ชันมากบางช่วง และสภาพถนนที่เลียบคลองน้ำจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนตัวของคันทางอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งในช่วงที่ปริมาณน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid drawdown) รวมถึงสาเหตุอีกประการที่ส่งผลให้คันทางเสียหาย คือชั้นรองพื้นทางที่มีค่า CBR.ในสนามที่น้อยกว่าค่ามาตรฐานกำหนดไว้

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเสถียรภาพของดินคันทางโดยวิธี Bishop method of slices ของคันทางทั้ง 2 กรณี เป็นการพังทลายแบบ Slope circle ซึ่งมีค่าความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 1.175 และ 1.041 สำหรับกรณีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (ค่า FS มีค่าน้อยกว่า 1.500 ถือว่าเสถียรภาพคันทางไม่มีความปลอดภัย) ผลการวิเคราะห์และออกแบบเสริมเสถียรภาพของคันทาง ด้วยวิธีเสริมตาข่ายโพลีเมอร์ในชั้นโครงสร้างทาง ซึ่งคุณสมบัติในการรับแรงของตาข่ายโพลีเมอร์ต้องสามารถรับแรง Tensile Strength ได้ไม่น้อยกว่า 12.75 kN/m

7. เอกสารอ้างอิง

[1] มณเฑียร กังศศิเทียม, **กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม.** สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์. พิมพ์ครั้งที่ 9, พ.ศ. 2543.

[2] ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์, ยงยุทธ แต้ศิริ, เกษม เพชรเกตุ, พินิต ตั้งบุญเติม และภาณุ พร้อมพุทธธางกูร, การวิเคราะห์ความคงตัวของคันทางเสริมชานทางบนดินอ่อน. รายงานวิจัยฉบับที่ วพ.175 ISSN 0125-8044. ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง, พ.ศ. 2542.

[3] ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์, การออกแบบคันทางเสริมใยสังเคราะห์บนดินอ่อนโดยใช้ STABGM Program (DESIGN OF GEOTEXTILE REINFORCED EMBANKMENT ON SOFT CLAY BY STABGM PROGRAM). ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง.

[4] นพดล ดีเรือก, จักรี ดอกมณี, ชวลิตร์ จันทะรส และนพรัตน์ สารีอินทร์, การศึกษาเสถียรภาพและการปรับปรุงแก้ไขคันทางที่วิบัติ สายบ้านบางไผ่ – บ้านหนองเพราหงาย อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, พ.ศ. 2544.

[5] กรมทางหลวงชนบท, **คู่มือแนวทางแก้ไข การป้องกันความเสียหายการพังทลายของเชิงลาด (Back Slope) ทางหลวงชนบทในพื้นที่ภูเขา,** พ.ศ. 2552.

[6] กรมทางหลวงชนบท, **คู่มือการใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบเสถียรภาพคันทางถนนเลียบคลองและในพื้นที่ดินอ่อนของ กรมทางหลวงชนบท,** พ.ศ. 2554.

[7] สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์, การพิบัติของถนนริมคลองกรณีภัยแล้ง พ.ศ.2558. บทความวิชาการ **วิศวกรรมสาร** ปีที่ 68 ฉบับที่ 4 เดือน กรกฎาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2558, หน้า 42-53.

[8] ธนาดล คงสมบูรณ์, เสถียรภาพของคันทางและหลักการวิเคราะห์. การฝึกอบรมหลักสูตร แนวทางการออกแบบและก่อสร้างถนนเลียบคันคลอง กรมทางทางหลวงชนบท, พ.ศ. 2556.

[9] อัฐสิทธิ์ ศิริวชิราภรณ์, การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทาง. การฝึกอบรมหลักสูตรแนวทางการออกแบบและก่อสร้างถนนเลียบคันคลอง กรมทางทางหลวงชนบท, พ.ศ. 2556.

[10] อัคคพัฒน์ สว่างสุรีย์, การออกแบบแก้ไขการพังทลายของเชิงลาด. การฝึกอบรมหลักสูตร วิศวกรรมเชิงลาดสำหรับงานทาง สมาคมทางหลวงแห่งประเทศไทย, พ.ศ. 2558.

[11] อิทธินนท์ ทองเพ็ชร, การใช้วัสดุเสริมกำลังดินในงานแก้ไขปัญหาเชิงลาด. การฝึกอบรมหลักสูตร วิศวกรรมเชิงลาดสำหรับงานทาง สมาคมทางหลวงแห่งประเทศไทย, พ.ศ. 2558.

การพัฒนาและวิเคราะห์ผลการทดสอบระบายความร้อนท่อความร้อนด้วยน้ำแบบจุ่ม สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF COOLING WITH HEAT PIPE BY DIP IN WATER FOR SPLIT AIR CONDITIONERS

ทีปกร คุณาพรวิวัฒน์ [1] อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ [1] อวิรุทธ์ วงศ์อุดม [2]

สุขใจ พรมประสานสุข [2] และ ปุณยวีร์ ปฐมโฆษิตเสถียร [2]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

2410/2 ถ.พหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักรกรุงเทพฯ 10900 โทร. 0-2579-1111ต่อ 2272

E-mail: teepagron.ku@spu.ac.th

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี

140 หมู่ 4 ถนนติวานนท์ ตำบลบ้านกลาง อำเภอเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี

E-mail: p.sookjai@ptu.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมีใช้กันมากในประเทศเขตร้อน อาทิเช่น ประเทศไทย เมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงขึ้นจะมีผลต่อการระบายความร้อนของสารทำความเย็นที่ท่อความร้อนภายนอกลดลง จะมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศสูงขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในการลดอุณหภูมิลดลงด้วย ดังนั้นทางผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาชุดระบายความร้อนด้วยน้ำทดแทนการระบายความร้อนด้วยอากาศ พบว่าประสิทธิภาพในการทำการระบายความร้อนที่ท่อความร้อนภายนอกห้องปรับอากาศสูงกว่าแบบเดิมซึ่งระบายด้วยอากาศ ผลที่ได้คืออุณหภูมิลดลงเร็วมากขึ้น และอุณหภูมิที่ทำได้ภายในห้องที่ทำการควบคุมอุณหภูมิที่ 17, 25 และ 30°C ผลที่ได้คืออุณหภูมิลดลง 0.43, 1.67 และ 2.3 °C /min ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้า (A) พบว่าในระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้กระแสไฟฟ้ากว่าระบบระบายด้วยอากาศประมาณ 1.5-3.0 A โดยค่าความต่างของประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเมื่อเปรียบเทียบด้วยค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ประมาณร้อยละ 34 และค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างการทำความเย็นของอุณหภูมิประมาณร้อยละ 10

คำสำคัญ: การระบายความร้อน, ท่อความร้อน, ระบบหล่อเย็น, ระบบม่านน้ำ

ABSTRACT

Split type air conditioners are commonly used in tropical countries such as Thailand. When the outside temperature are rising, the cooling effect of the refrigerant on the external heat pipe is reduced, so affect the use of electric air conditioners higher. Therefore, the cooling efficiency of air conditioners in reducing the temperature also decreases. Therefore, the researcher has developed a heat set with water instead of air cooling, that the efficiency of cooling the heat pipe outside the air-conditioned room is higher than the original, which is cooled by air. The result is the temperature drops faster and the temperature that can be done in a controlled temperature

room at 17°C, 25°C and 30°C respectively. The result is reduced temperature. 0.43°C / min, 1.67°C/min and 2.3°C/min respectively. However, when measuring the current (A), it is found that the water cooled system uses approximately 1.5-3.0 A higher than the air ventilation system

KEYWORDS: cooling, heat pipe, cooling system, evaporation

1. บทนำ

ประเทศไทย ตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้ภูมิอากาศในประเทศมีลักษณะร้อนชื้น [1] ในสภาวะอากาศร้อนชื้นส่งผลกระทบต่อทารก ผู้สูงวัย ตลอดจนผู้ที่ชื่นชอบออกกำลังกายหรือต้องทำงานกลางแจ้ง ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาสุขภาพต่างๆ เนื่องจากความร้อน ดังนั้นการลดอุณหภูมิให้เหมาะสม ด้วยเทคโนโลยีเครื่องปรับอากาศ จึงเข้ามามีบทบาท แต่เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสูง [1] ดังนั้นการประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศจึงถูกพัฒนาในด้านต่างๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงจำเป็นที่จะต้องทราบถึงลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแต่ละชนิด เพื่อเลือกขนาดให้เหมาะสมต่อพื้นที่ห้อง ซึ่งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยส่วนใหญ่ระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งในประเทศไทยมีอากาศที่ค่อนข้างร้อน อาจจะทำให้ประสิทธิภาพของการระบายความร้อนน้อยลง หรืออาจจะทำให้ระบบปรับอากาศทำงานมากยิ่งขึ้น ซึ่งวิธีการในการระบายความร้อนด้วยการฉีดน้ำเข้าสู่ท่อน้ำความร้อนภายนอก [2] เพื่อลดอุณหภูมิของท่อความร้อนให้เร็วขึ้น หรือใช้วิธีแผงเซลลูโลสที่ด้านหลังของคอนเดนเซอร์ เพื่อลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ [3] ซึ่งถูกนำไปใช้ทั้งระบบปรับอากาศชนิดเคลื่อนที่และแบบติดผนัง[4, 5, 6]

2.1 เพื่อพัฒนาระบบระบายความร้อนของท่อความร้อนด้วยแบบจุ่มในน้ำสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

2.2 เพื่อเปรียบเทียบหาค่าประสิทธิภาพระบบทำความเย็นการระบายความร้อนด้วยอากาศและน้ำของท่อความร้อน

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพาความร้อน (heat convection, q) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นได้ ในสสารสองสถานะดังสมการที่ 1

$$q = hA(T_p - T_f) \tag{1}$$

เมื่อ h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน heat transfer coefficient ระหว่างของไหลกับวัตถุ (W/m^2 C)

A คือ พื้นที่ผิวของวัตถุที่สัมผัสกับของไหล (m^2)

T_P คือ อุณหภูมิของผิววัตถุ (K)

T_f คือ อุณหภูมิของของไหลที่อยู่ห่างออกไปจากผิวหรืออุณหภูมิส่วนต้นของของไหล (K)

ค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (Energy Effective Ratio, EER) คือ อัตราส่วนของปริมาณความเย็นที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้ (output) กับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้ในการทำความเย็น (input) ที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศกับค่าไฟฟ้าดังสมการที่ 2

$$EER = Output / Input \quad (2)$$

Output คือ ค่าความเย็นที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้จริง (Btu/hr)

Input คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้ในการทำความเย็น (Watt)

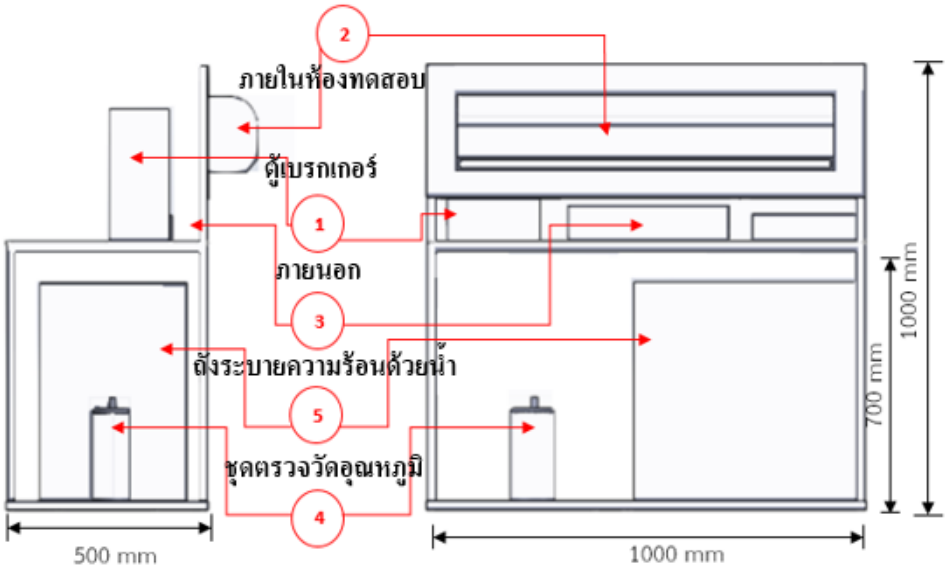
ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP หรือค่า Coefficient of Performance (COP) ดังสมการที่ 3

$$COP = EER / 3.142 \quad (3)$$

โดยการตรวจวัดค่า EER และ COP ของเครื่องปรับอากาศนั้น กรณีที่ผ่านการใช้งานมาแล้วเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง ค่าความเย็นที่ให้จะลดต่ำลง ในขณะที่การใช้ไฟฟ้านั้นเพิ่มขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้งาน

4. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

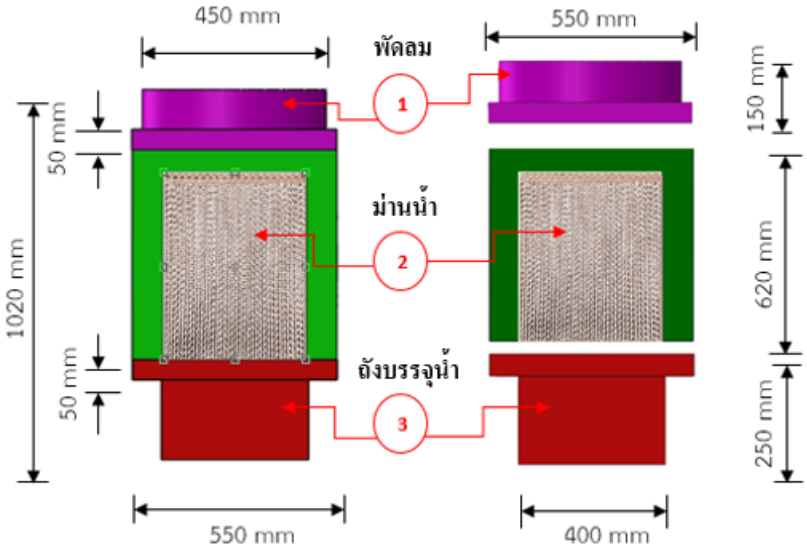
4.1 การออกแบบระบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



แผนภาพที่ 1 แบบจำลองชุดทดสอบการระบายความร้อนแบบจุ่มในน้ำ

จากแผนภาพที่ 1 แสดงผลการออกแบบจำลองชุดระบายความร้อนด้วยน้ำชนิดจุ่ม สำหรับควบคุมการทำงานของชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยน้ำ เลือกใช้ระบบม่านน้ำ (Evaporator) ที่มีทางเข้า และทางออกอย่างละ 2 ช่องทางมอเตอร์พัดลม Welling ขนาด 220-240 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 0.30 แอมแปร์กำลังไฟฟ้า 27 วัตต์ ความเร็ว 1,180 รอบต่อนาที คอมเพรสเซอร์ (GMCC) รุ่น KTN130D3OUFZ 200-240 โวลต์ ชนิด R-410A/R-32 ถังระบายความร้อนด้วยน้ำขนาด 49.5 × 45.5 × 50 เซนติเมตร คอนเดนเซอร์ที่มีทางเข้าและทางออกอย่างละ 2 ช่องทางสำหรับชุดระบบทดสอบการระบายความร้อนด้วยน้ำแบบจุ่มในน้ำ

4.2 การติดตั้งชุดระบายความร้อนแบบม่านน้ำ



แผนภาพที่ 2 ชุดระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

จากแผนภาพที่ 2 การติดตั้งชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ ประกอบไปด้วย 1.) มอเตอร์พัดลม (Welling) DC 220 โวลต์ 43 วัตต์ ความเร็ว 1,050 รอบต่อนาที, ใบพัดลมขนาด 16 นิ้ว, แผ่นกระดาษรังผึ้งขนาด 37 × 7.5 × 50 เซนติเมตรและ ถังน้ำ หลังจากถูกระบายความร้อน

4.3 การทดสอบชุดทดสอบและค่ากระแสไฟฟ้า โดยการระบายความร้อนด้วยอากาศ และการระบายความร้อนด้วยน้ำ

4.3.1 เตรียมชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยน้ำ ให้พร้อมใช้งาน

4.3.2 ติดตั้งชุดทดสอบในห้องทดสอบ

4.3.3 ทำการวัดอุณหภูมิภายในห้อง 4 จุด คือ จุดบังคับอากาศผ่าน, บุคคล, หน้าต่าง และประตู

4.3.4 บันทึกอุณหภูมิภายในห้องก่อนเริ่มการทดสอบ

4.3.5 กำหนดค่าอุณหภูมิ 30, 25 และ 17°C

4.3.6 บันทึกอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ทุก ๆ 10 นาที จนครบ 1 ชั่วโมง

4.3.7 ทดสอบเวลากลางวัน (11:00 น. ถึง 16:00 น.) และเวลากลางคืน (20:00 น. ถึง 01:00 น.)

4.4 วิธีการทดสอบอุณหภูมิภายในห้องทดสอบอุณหภูมิที่ 30, 25 และ 17°C

4.4.1 เตรียมชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยอากาศ ให้พร้อมใช้งาน

4.4.2 ติดตั้งชุดทดสอบในห้องทดสอบ

4.4.3 ทำการวัดอุณหภูมิภายในห้อง 4 จุด คือ จุดบังคับอากาศผ่าน, บุคคล, หน้าต่าง และประตู

4.4.4 บันทึกอุณหภูมิภายในห้องก่อนเริ่มการทดสอบ

4.4.5 กำหนดค่าอุณหภูมิ 30, 25 และ 17°C

4.4.6 บันทึกค่า A (แอมแปร์) และ W (วัตต์) ทุก ๆ 10 นาที ถ้าเปิดเครื่องครบ 1 ชั่วโมง วัดค่าการทดสอบทุก 30 นาที และจดบันทึก A (แอมแปร์) และ W (วัตต์)

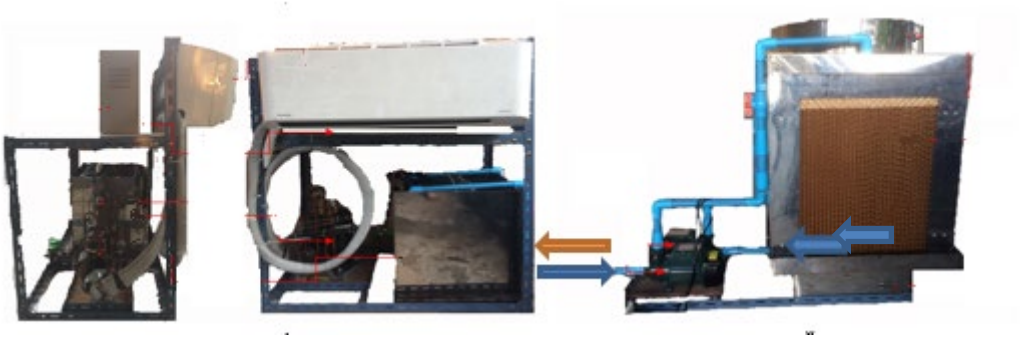
4.4.7 ทดสอบเวลากลางวัน (11:00 น. ถึง 16:00 น.) และเวลากลางคืน (20:00 น. ถึง 01:00 น.)

4.5 วิธีการเปรียบเทียบหาค่าประสิทธิภาพชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยอากาศ

ในการวิเคราะห์ผล และเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของ COP และ ค่า EER ของเครื่องปรับอากาศ

5. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

5.1 ผลการออกแบบระบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



แผนภาพที่ 3 ชุดระบบปรับอากาศและชุดระบายความร้อนแบบจุ่มในน้ำ

จากแผนภาพที่ 3 ผลการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและชุดทดสอบระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบจุ่ม ซึ่งแยกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของห้องปรับความเย็น และชุดระบายความร้อนแบบจุ่มในน้ำ

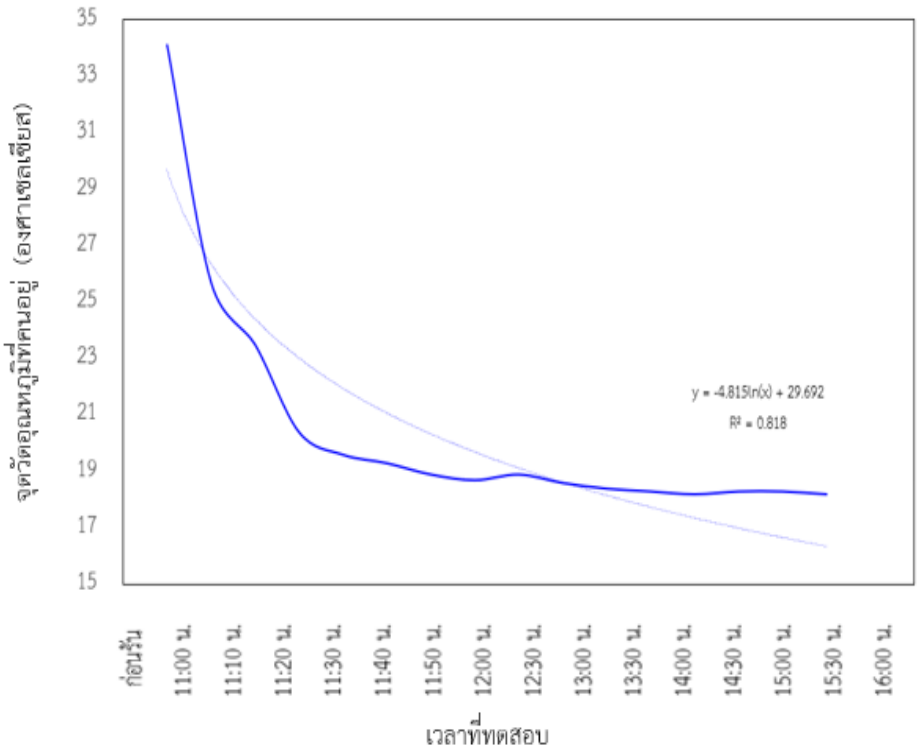
5.2 ผลการทดสอบชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยอากาศ

5.2.1 ผลการทดสอบการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์สูงสุด

กำหนดค่าอุณหภูมิ 30, 25 และ 17°C โดยกำหนดความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ที่ 900 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของพัดลมภายในและพัดลมภายนอกเป็น 1,180 และ 950 รอบต่อนาที ตามลำดับ ในเวลากลางวัน และเวลากลางคืน

5.2.2 ทดสอบการควบคุมความเร็วรอบช่วงเวลากลางวัน 11:00 น. – 16:00 น.

ผลการทดสอบชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยอากาศ พบว่าที่ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 11.00 - 16.00 น. อุณหภูมิก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.8°C อุณหภูมิออกจากคอมเพรสเซอร์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60°C และอุณหภูมิที่คนอยู่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20°C

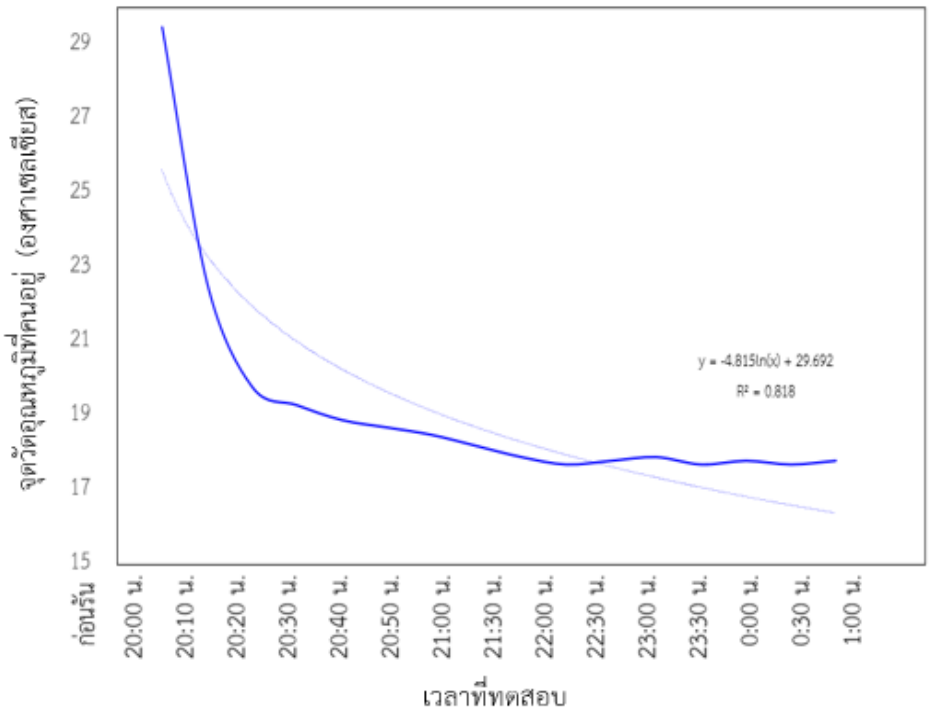


แผนภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทดสอบกับจุดวัดอุณหภูมิที่คนอยู่ ของชุดการระบายความร้อนด้วยอากาศช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 11.00 – 16.00 น.

จากแผนภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทดสอบกับจุดวัดอุณหภูมิที่คนอยู่ พบว่าเมื่อก่อนเริ่มการทดสอบอุณหภูมิจุดที่คนอยู่มีค่าอุณหภูมิสูง เมื่อเปิดชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยอากาศผ่านมาในระยะหนึ่งอุณหภูมิจะเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ตั้งค่ารีโหมด ซึ่งอุณหภูมิที่คำนวณได้นั้นจะให้ผลสัมฤทธิ์ที่แม่นยำ เนื่องจากเส้นแนวโน้มกับเส้นกราฟของการทดลองมีความสอดคล้องกัน

5.2.3 ทดสอบการควบคุมความเร็วรอบช่วงเวลากลางคืน 20:00 น. – 01:00 น.

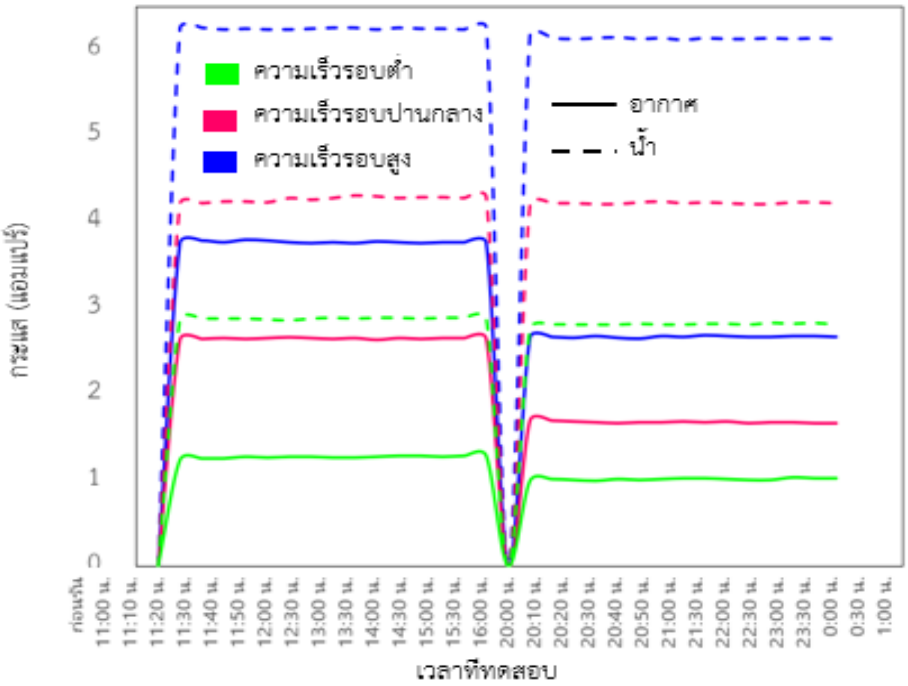
ผลการทดสอบชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยอากาศ ผลการทดสอบพบว่าที่ช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่ 20.00 - 01.00 น. อุณหภูมิก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.8°C อุณหภูมิออกจากคอมเพรสเซอร์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 55°C และอุณหภูมิที่คนอยู่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18°C



แผนภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทดสอบกับจุดวัดอุณหภูมิที่คนอยู่ ของชุดการระบายความร้อนด้วยอากาศช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 20.00 - 01.00 น.

จากแผนภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทดสอบกับจุดวัดอุณหภูมิที่คนอยู่ พบว่าเมื่อก่อนเริ่มการทดสอบอุณหภูมิจุดที่คนอยู่มีค่าอุณหภูมิสูง เมื่อเปิดชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยอากาศผ่านมาในระยะหนึ่งอุณหภูมิจะเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ตั้งค่ารีโหมด ซึ่งอุณหภูมิที่คำนวณได้นั้นจะให้ผลสำฤทธิ์ที่แม่นยำ เนื่องจากเส้นแนวโน้มกับเส้นกราฟของการทดลองมีความสอดคล้องกัน

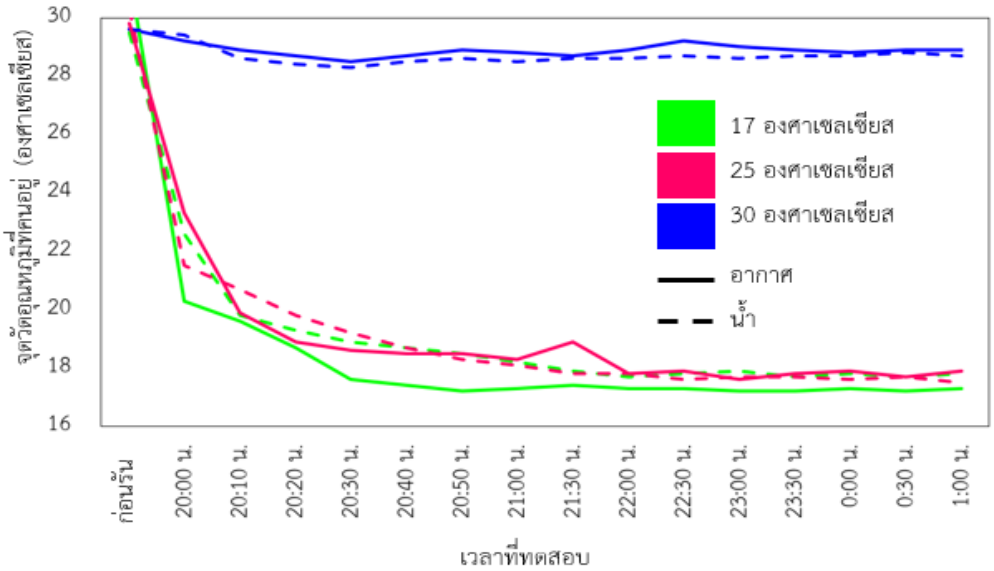
5.3 ผลการวิเคราะห์การทดสอบค่ากระแสที่เกิดขึ้นของชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยอากาศและน้ำ



แผนภาพที่ 6 ผลค่ากระแสระหว่างเวลาที่ทดสอบกับจุดวัดอุณหภูมิที่คนอยู่ ของชุดการระบายความร้อนด้วยอากาศและน้ำช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 11.00 - 16.00 น. และ 20.00 - 01.00 น. ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์สูงสุด, ปานกลาง และต่ำสุด

จากแผนภาพที่ 6 พบว่าค่ากระแสของชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยน้ำจะมีกระแสที่สูงกว่าชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยอากาศ เนื่องจากเพิ่มระบบการระบายความร้อนด้วยม่านน้ำ โดยค่ากระแสไฟฟ้าจะใช้สูงกว่า 1-3 A

5.4 ผลการวิเคราะห์การทดสอบอุณหภูมิในห้องทดสอบของชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยอากาศ และน้ำ



แผนภาพที่ 7 ผลการทดสอบอุณหภูมิห้องของชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยน้ำและอากาศ

จากแผนภาพที่ 7 พบว่าการควบคุมอุณหภูมิที่ 30 °C ชุดทดสอบทั้งสองชุดจะตัดการทำงานเนื่องจากกำหนดค่าอุณหภูมิที่ 30 °C แต่อุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่า ระบบจึงตัดการทำงาน แต่ที่อุณหภูมิ 17°C และ 25°C อุณหภูมิจะใกล้เคียงกัน เพราะควบคุมความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ ความเร็วรอบมอเตอร์ภายใน และความเร็วรอบมอเตอร์พัดลมภายนอก

ผลการทดสอบที่ความเร็วรอบสูงสุดพบว่าการระบายความร้อนด้วยอากาศมีค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าการระบายความร้อนด้วยน้ำ เพราะค่ากระแสไฟฟ้าของชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยน้ำสูงกว่า เนื่องจากมีปั๊มขนาด 330 วัตต์ จำนวน 2 ตัวเพิ่มเข้ามา และค่าประสิทธิภาพการระบายความร้อน (EER) ด้วยอากาศจะดีกว่าการระบายความร้อนด้วยน้ำอยู่ที่ 3.77 โดยผลทดสอบที่ความเร็วรอบปานกลาง พบว่า ค่าประสิทธิภาพการระบายความร้อนด้วยอากาศจะดีกว่าการระบายความร้อนด้วยน้ำอยู่ที่ 2.40 และที่ความเร็วรอบต่ำสุด พบว่า การระบายความร้อนด้วยอากาศจะมีค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าการระบายความร้อนด้วยน้ำ ค่าประสิทธิภาพการระบายความร้อนด้วยอากาศจะดีกว่าการระบายความร้อนด้วยน้ำอยู่ที่ 7.17

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาระบบระบายความร้อนของท่อความร้อนด้วยแบบจุ่มในน้ำสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และเปรียบเทียบหาค่าประสิทธิภาพระบบทำความเย็นการระบายความร้อนด้วยอากาศและน้ำของท่อความร้อน

โดยคำนวณการเปรียบเทียบการระบายความร้อนด้วยอากาศและน้ำ เมื่อกำหนดอุณหภูมิภายในห้องที่ทำการควบคุมอุณหภูมิที่ 30, 25 และ 17°C ผลที่ได้คืออุณหภูมิลดลง 0.43, 1.67 และ 2.3 °C /min และเมื่อทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้า (A) พบว่าในระบบระบายความร้อนด้วยน้ำใช้กระแสสูงกว่าระบบระบายด้วยอากาศ ประมาณ 1.5-3.0 A

6. สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบและสร้างชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยอากาศและชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยน้ำ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ พบว่าการระบายความร้อนด้วยน้ำ จะให้อุณหภูมิภายในห้องลดลงกว่าการระบายความร้อนด้วยอากาศ ประมาณ 1-3°C หรือประมาณร้อยละ 10 ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการระบายด้วยน้ำส่งผลต่อความเย็นที่ได้ในระบบมากกว่าการระบายด้วยอากาศอากาศ อย่างไรก็ตามผลที่ได้ของอุณหภูมิในระบบส่งผลต่อกระแสไฟฟ้า ของชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยน้ำสูงกว่าชุดทดสอบการระบายความร้อนด้วยอากาศ เนื่องจากเพิ่มระบบปั๊ม เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนทางความร้อนกับท่อความร้อน โดยค่าประสิทธิภาพของระบบการระบายความร้อนด้วยอากาศจะมีประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศสูงกว่าค่าประสิทธิภาพของการระบายความร้อนด้วยน้ำเมื่อเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ ประมาณร้อยละ 34

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยปทุมธานีที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ เครื่องมือทดสอบ และขอขอบคุณท่านอาจารย์ ผศ.ดร.บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ แห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำและแนวคิดในการดำเนินงาน จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน

[2] ไตรรงค์ นามวงศ์ (2557) ศึกษาและวิเคราะห์ระบบการระบายความร้อนเครื่องปรับอากาศได้ทำการติดตั้งหัวฉีดฝอยละอองน้ำให้แก่คอยล์ร้อน. นนทบุรี : วิทยาลัยเทคโนโลยี ปัญญาภิวัฒน์

[3] ธีรพงศ์ บริรักษ์ และ พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ ติดตั้งแผงเซลลูโลสที่ด้านหลังของคอนเดนเซอร์. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย (2556)

[4] กฤษณะ ธรรมกานนท์ และ มนต์ศักดิ์ พิมสาร ทดลองติดตั้งท่อสารทำความเย็นที่ความยาวต่าง ๆ (7.5 , 10 , 17 และ 19 เมตร) และนำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[5] คาวี จินาวงศ์ และคณะ การลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ โดยการระเหยของน้ำโดยใช้ใยบวบ. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ปีการศึกษา (2551)

[6] ธีรพจน์ เวศพันธุ์ และคณะ เปลี่ยนการระบายความร้อนด้วยอากาศ มาเป็นการระบายความร้อนด้วยน้ำโดยใช้เครื่องปรับอากาศที่สามารถเคลื่อนที่ได้. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย (2557)

การเปรียบเทียบรูปแบบการเสริมกำลังเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงแบบวัฏจักร

COMPARISON OF STRENGTHENING METHOD OF CONCRETE BRIDGE COLUMNS UNDER CYCLIC LOAD

นายเธียรชัย แสนวงศ์

นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

E-mail: Sanwongt@gmail.com

กิตติศักดิ์ ขันติยวิชัย

รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

E-mail: kittisak.ubu@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงแบบวัฏจักร โดยวิธีการเสริมกำลังกับเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ได้เสริมกำลัง โดยใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์งานทางวิศวกรรมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยเทียบอิงกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ จากผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดสอบพบว่าการเสริมกำลังเสามีผลให้เสาสามารถรับแรงด้านข้างได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริมกำลังเสาด้วยวิธีที่ต่างกันจะให้ค่ากำลังรับแรงต่างกัน โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ วิธีการเสริมกำลังเสาด้วยแผ่นเหล็ก วิธีการเสริมกำลังโดยการเพิ่มความถี่เหล็กปลอก วิธีการเสริมกำลังเสาด้วยแจ็กเก็ตคอนกรีตเสริมเหล็ก และวิธีการเสริมกำลังเสาด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน โดยเสาที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็กรับแรงได้มากสุด 165.74 kN ซึ่งประสิทธิภาพการเสริมกำลังเพิ่มขึ้นถึง 61.35 % เทียบกับเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีการเสริมกำลัง

คำสำคัญ: การเสริมกำลังเสาสะพาน วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แรงแบบวัฏจักร

ABSTRACT

The objective of this research was to compare the strengthening method on the efficiency of column under cyclic load using finite element technique. Firstly, model validation have been carried out by comparing with testing results obtained from literature. By strengthening column, it was found that the lateral resistibility of column increased. Furthermore, different strengthening methods resulted in a different lateral resistibility, ordering as steel jacketing, reducing stirrup spacing, reinforced concrete jacketing and CFRP strengthening, respectively. Strengthening by steel jacketing showed the highest increasing in lateral resistibility about 61.35%

Keywords: Concrete Bridge Column Strengthening, Finite element method, cyclic load

1. บทนำ

เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในต่างประเทศในหลายๆ ปีที่ผ่านมา ก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินอย่างมหาศาลต่อผู้ใช้ประโยชน์ในตัวอาคารและระบบโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ เพราะโดยส่วนมากไม่ได้คำนึงถึงการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวในระดับสูงได้ จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ผ่านมาจะพบว่าการวิบัติที่เกิดขึ้นกับเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กมักจะเกิดขึ้นที่บริเวณโคนเสา ซึ่งเสาสะพานปกติหากออกแบบและก่อสร้างอย่างถูกต้องตามมาตรฐานทางวิศวกรรมแล้ว จะสามารถรับแรงเฉือนจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวได้ในระดับที่ไม่รุนแรงมากนัก แต่หากเกิดแผ่นดินไหวในระดับที่รุนแรงมาก แรงเฉือนจะทำให้เสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กปกติที่มีความเหนียวจำกัดเกิดการวิบัติ

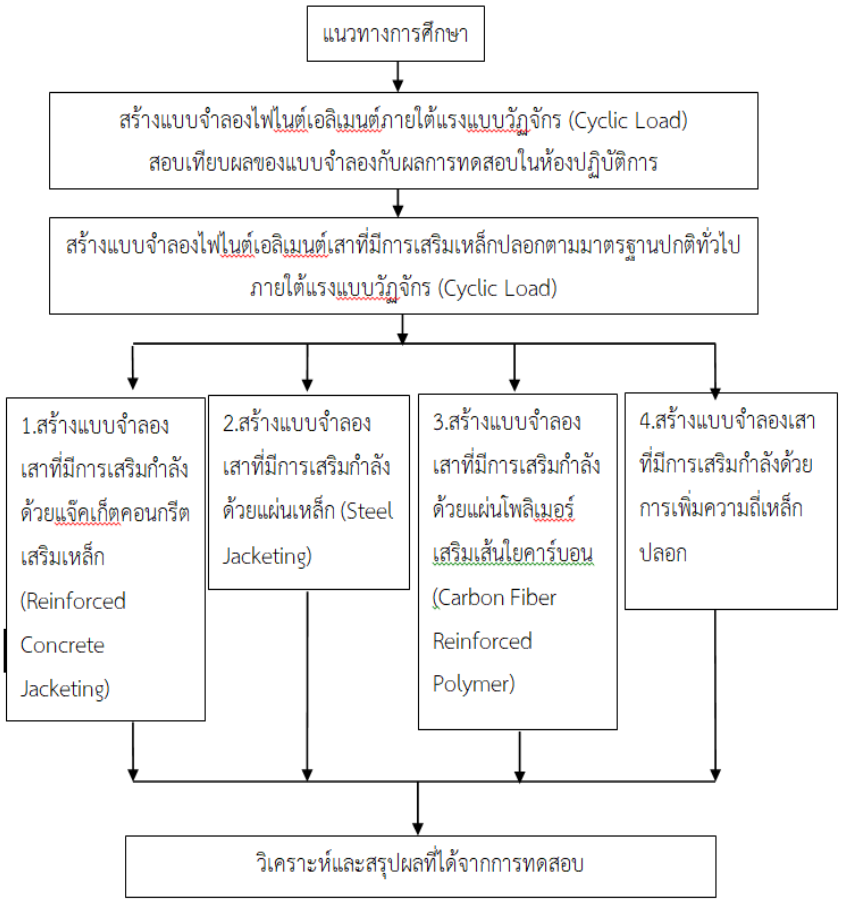
การป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเสานั้นสามารถทำได้โดยการเสริมกำลังให้กับเสาจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมานั้นพบว่าได้เคยมีการใช้วัสดุแบบต่างๆ นำมาเสริมกำลังให้กับเสา อลงกรณ์ เพชรดี (2555) ใช้วัสดุโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนทำการเสริมกำลังให้กับเสาทดสอบในห้องปฏิบัติการผลที่ได้พบว่าเสาที่ได้รับการเสริมกำลังมีประสิทธิภาพความเหนียวของเสาเพิ่มมากขึ้น Sung Eom et al.(2014) ทำการทดสอบเสาโดยให้รายละเอียดเหล็กปลอกที่แตกต่างกันโดยเสาที่มีการเรียงเหล็กปลอกต่อเนื่องรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและมัดรวมเหล็กยืนไว้จะมีประสิทธิภาพในการรับแรงด้านข้างมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ Zaman Khan et al.(2015) ทำการทดสอบเสาที่ได้รับความเสียหายโดยการเสริมกำลังด้วยวัสดุโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนผลที่ได้พบว่าเมื่อได้รับการเสริมกำลังแล้วยังคงมีการต้านทานแรงด้านข้างได้ดีดังเดิม Li et al.(2017)ใช้วัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยประสิทธิภาพสูงเสริมกำลังให้กับเสาที่เสียหายจากผลการทดสอบทำให้ทราบว่าการเสริมกำลังดังกล่าวมีประสิทธิภาพด้านการรับแรงด้านข้างและมีความเหนียวมากขึ้น Kui Cai et al.(2017) ได้ทดสอบเสาที่มีการเสริมกำลังด้วยวัสดุโพลิเมอร์ เสริมเส้นใยคาร์บอนแบบแท่งผลที่ได้พบว่าเสาที่ได้รับการเสริมกำลังมีประสิทธิภาพความเหนียวของเสาเพิ่มมากขึ้น Li et al.(2017) ทำการศึกษาเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบสำเร็จรูปโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าเสาที่มี Tendon ภายในสามารถรับแรงด้านข้างของเสาได้ดีขึ้นและการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็กที่ส่วนต่างๆ ในเสาจะเพิ่มการกระจายพลังงานของเสาในแต่ส่วนด้วย Bhowmik et al.(2017) ทำการทดสอบโดยการปรับรูปร่างส่วนวงกลมของเสาทั้งสองข้างให้เป็นรูปแคปซูลพร้อมเสริมกำลังด้วยวัสดุโพลิเมอร์เสริมเส้นใยผลที่ได้พบว่ากลุ่มที่เสริมกำลังด้วยวัสดุโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนเพิ่มประสิทธิภาพได้มากที่สุด Farajpourbonab et al.(2018)ได้ใช้การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ศึกษาประสิทธิภาพของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่หุ้มด้วยท่อเหล็กผลที่ได้พบว่าเสามีประสิทธิภาพการรับแรงด้านข้างเพิ่มมากขึ้น Peng et al.(2018)ได้ทำการศึกษาโดยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของเสาประกอบเหล็ก-คอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยวัสดุโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน พบว่าเสาที่เสริมกำลังแล้วมีประสิทธิภาพด้านความเหนียวที่ดีขึ้นมากกว่าเสาปกติที่ไม่มีการเสริมกำลัง ทั้งนี้จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าผลการวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาสะพานจากแบบจำลองในวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถอธิบายพฤติกรรมของของเสาสะพานได้เป็นอย่างดีและมีความสอดคล้องผลที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการศึกษาได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบพฤติกรรมของเสาสะพานภายใต้ภายใต้แรงแบบวัฏจักร โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตและเหล็กเสริมรวมถึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรับแรงด้านข้างของเสาสะพาน สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการสร้างแบบจำลองเสาสะพานทั้งหมด 5 แบบจำลอง ประกอบด้วยเสาสะพานปกติที่ไม่ได้ถูกออกแบบให้รับแรงแผ่นดินไหว และเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมกำลัง 4 รูปแบบ คือ 1) การเสริมกำลังเสาด้วยแจ๊กเก็ตคอนกรีตเสริมเหล็ก 2) การเสริมกำลังเสาด้วยแผ่น

เหล็ก 3) การเสริมกำลังเสาด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน และ 4) การเสริมกำลังเสาด้วยการเพิ่มความถี่เหล็กปลอก

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการค้นคว้างานวิจัยเดิมที่มีผลการทดสอบเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กในห้องปฏิบัติการ โดยจะอ้างอิงกับข้อมูลพื้นฐานตามงานวิจัยของ Paiboon, T. and Kazuhiko, K. (2007) เพื่อใช้เป็นเสาอ้างอิงในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เมื่อทดสอบแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการแล้ว จึงใช้แบบจำลองนี้นำไปสร้างแบบจำลองที่มีการเสริมเหล็กปลอกตามมาตรฐานเสาปกติทั่วไป และทำการเสริมกำลังใน 4 รูปแบบ คือ 1) การเสริมกำลังเสาด้วยแจ็กเก็ตคอนกรีตเสริมเหล็ก 2) การเสริมกำลังเสาด้วยแผ่นเหล็ก 3) การเสริมกำลังเสาด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน และ 4) การเสริมกำลังเสาด้วยการเพิ่มความถี่เหล็กปลอก ดังสรุปในรูปที่ 1

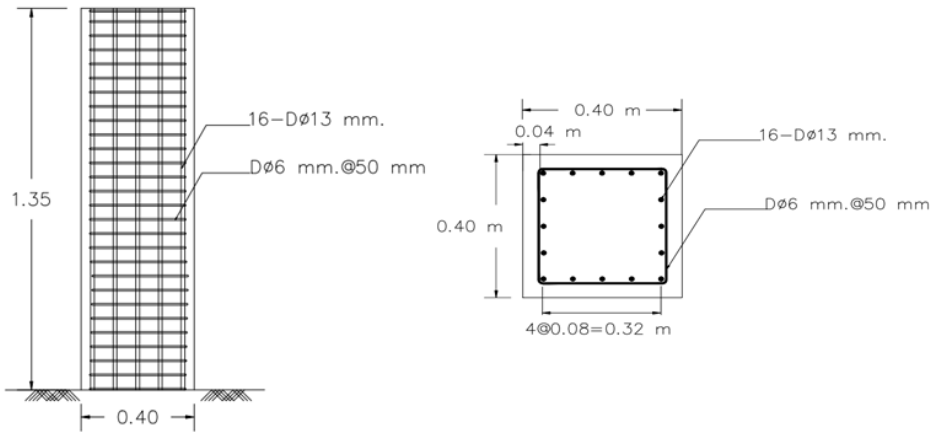


รูปที่ 1 ขั้นตอนในการวิจัย

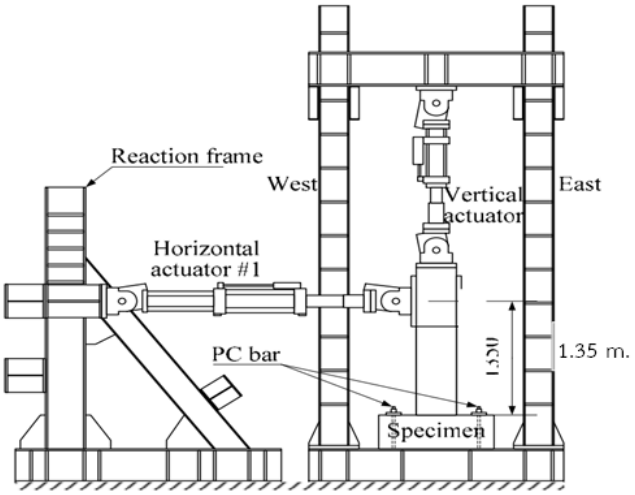
3. ผลการศึกษา

3.1 การตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่งานวิจัยนี้ได้อ้างอิงข้อมูลผลการทดสอบของ Paiboon, T. and Kazuhiko, K. (2007) มาใช้ในการสอบเทียบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยมิติของเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก รายละเอียดเหล็กเสริม รูปแบบการให้แรงกระทำและผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ ส่วนคุณสมบัติทางกลของวัสดุแสดงในตารางที่ 1



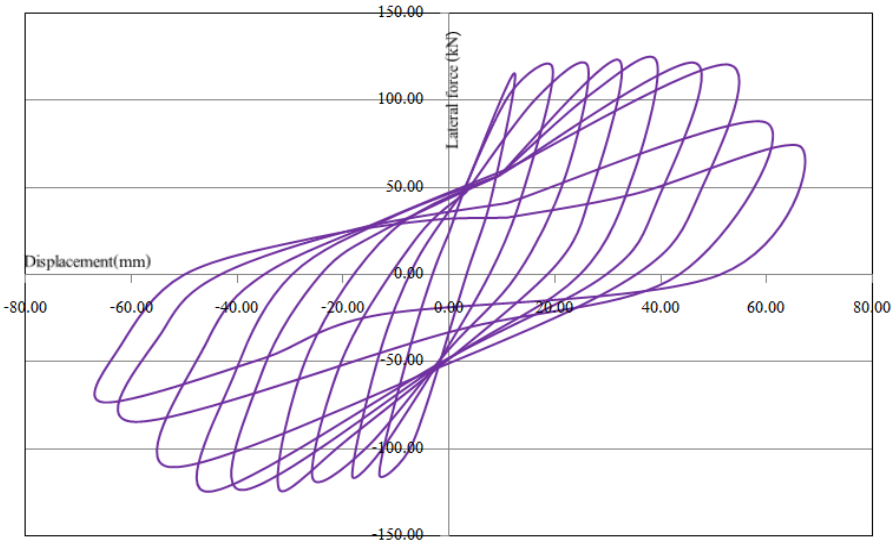
รูปที่ 2 มิติเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง หน่วยเป็นเมตร (m)



รูปที่ 3 การทดสอบเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กในห้องปฏิบัติการ หน่วยเป็นเมตร (m)

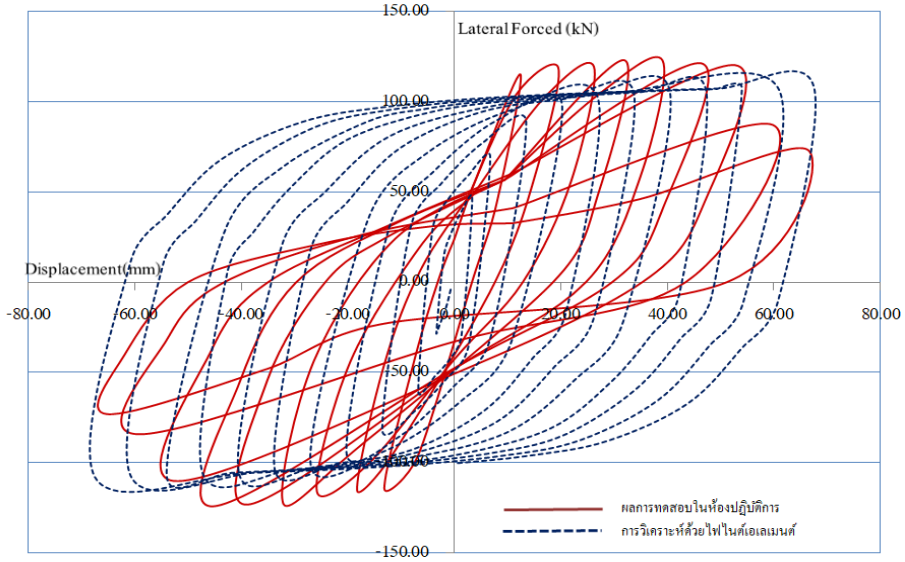
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ

คุณสมบัติเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ		
ความสูงเสา เมตร(m)	1.35 m	
ขนาดเสา	ความกว้าง เมตร(m)	0.4
	ความยาว เมตร(m)	0.4
กำลังอัดประลัยของคอนกรีต เมกะปาสคาล(Mpa)		30
เหล็กเสริมตามยาว	จำนวนเหล็ก	16-D13 mm
	กำลังรับแรงดึงที่จุดคราก เมกะปาสคาล(Mpa)	353.7
เหล็กเสริมตามขวาง	จำนวนเหล็ก	D6@50 mm
	กำลังรับแรงดึงที่จุดคราก เมกะปาสคาล(Mpa)	328



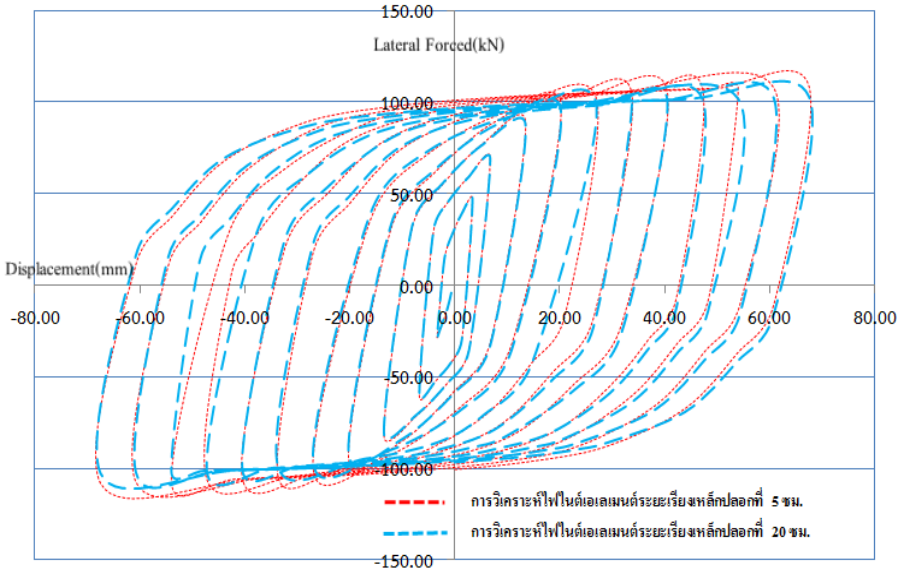
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างกับระยะการเคลื่อนที่ทางด้านข้างเสา

เมื่อทำการสอบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง Lateral Forced และ Displacement ที่ได้จากแบบจำลองเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้การกระทำของแรงแบบวัฏจักรมีลักษณะใกล้เคียงกับลักษณะที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 15.9 % ดังแสดงรูปที่ 5 ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า ผลที่ได้จากแบบจำลองเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่สร้างโดยใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์งานทางวิศวกรรมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบของงานวิจัยข้างต้น



รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง Lateral Forced และ Displacement ที่ได้จากแบบจำลองเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กกับผลการศึกษาของ Paiboon, T. and Kazuhiko, K. (2007)

หลังจากที่ได้ทำการสอบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ในลำดับต่อไปนำแบบจำลองเดิมที่ได้ทำการสอบเทียบความถูกต้องของแบบจำลอง มาปรับรายละเอียดเหล็กปลอกจากระยะเรียง 5 ซม. เป็นระยะเรียง 20 ซม. ตามมาตรฐานเสาปกติทั่วไป ภายหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์และทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับเสาที่มีระยะเรียง 5 ซม. พบว่ามีกำลังรับแรงด้านข้างสูงสุดที่ 102.72 kN ลดลงจากเสาที่มีระยะเรียงเหล็กปลอก 5 ซม. 5.42% ดังแสดงในรูปที่ 6



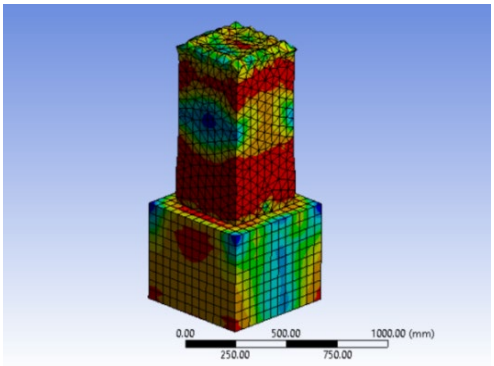
รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง Lateral Forced และ Displacement ที่ได้จากแบบจำลองเสาที่มีระยะเรียงเหล็กปลอก 5 ซม. กับเสาที่มีระยะเรียงเหล็กปลอก 20 ซม.

3.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเสริมกำลังวิธีต่างๆ

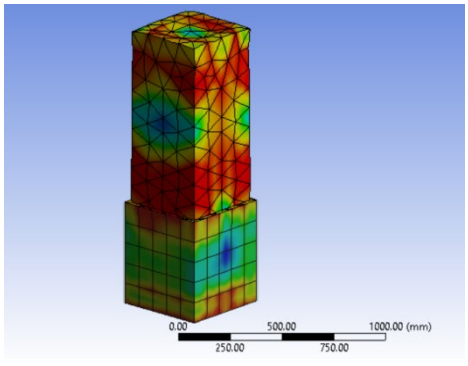
เสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีระยะเรียงเหล็กปลอก 20 ซม.ได้นำไปสร้างแบบจำลองที่มีการเสริมกำลังในรูปแบบต่างๆ โดยมีข้อมูลวัสดุเสริมกำลังแสดงในตารางที่ 2 และจากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีการเสริมกำลังภายใต้การกระทำของแรงแบบวัฏจักร แสดงดังรูปที่ 7 พบว่าแบบจำลองแต่ละแบบแสดงบริเวณที่เกิดการวิบัติต่างกันดังนี้ แบบจำลองเสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแจ๊คเก็ตคอนกรีตเสริมเหล็ก แสดงการวิบัติที่บริเวณโคนเสาส่วนที่ติดกับแจ๊คเก็ต แบบจำลองเสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก แสดงการเกิดการวิบัติที่โคนเสาส่วนที่ติดกับแจ๊คเก็ต แบบจำลองเสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน แสดงการเกิดการวิบัติที่โคนเสาและคาร์บอนไฟเบอร์ แบบจำลองเสาที่มีการเสริมกำลังด้วยการเพิ่มความถี่เหล็กปลอก แสดงการเกิดการวิบัติที่บริเวณโคนเสา โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ได้แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุเสริมกำลังทั้งสี่รูปแบบที่จะนำมาวิเคราะห์

ตัวอย่างเสา	วัสดุที่ใช้เสริมความแข็งแรง	ความสูงของวัสดุเสริมกำลัง (เซนติเมตร)	ความหนาของวัสดุเสริมเสริมกำลัง (เซนติเมตร)	หมายเหตุ
เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแจ๊กเก็ตคอนกรีตเสริมเหล็ก	คอนกรีตเสริมเหล็ก	50	10	เหล็ก D10@ 100 mm คอนกรีตกำลังอัด 30 เมกะปาสคาล (Mpa)
เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก	แผ่นเหล็กหนา 6 มม.	50	2.5	มอร์ตาร์กำลังอัด 30 เมกะปาสคาล (Mpa)
เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน	CFRP	50	0.0167	CFRP ประเภท Sheet ขนาด 0.167 mm พันรอบเสาจำนวน 1 รอบ
เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยการเพิ่มความถี่เหล็กปลอก	-	135	-	ระยะเรียงเหล็กปลอก 50 mm

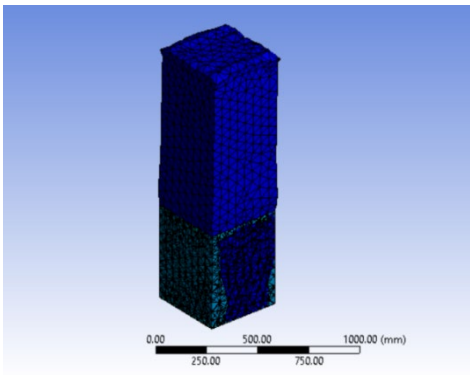


แบบจำลองเสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแจ๊คเก็ตคอนกรีตเสริมเหล็ก

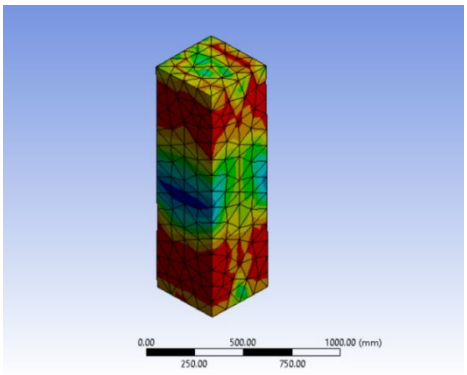


แบบจำลองเสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก

รูปที่ 7 แสดงบริเวณที่เกิดการวิบัติของแบบจำลองเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการเสริมกำลังแบบต่าง ๆ ภายใต้การกระทำของแรงแบบวัฏจักร



แบบจำลองเสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน



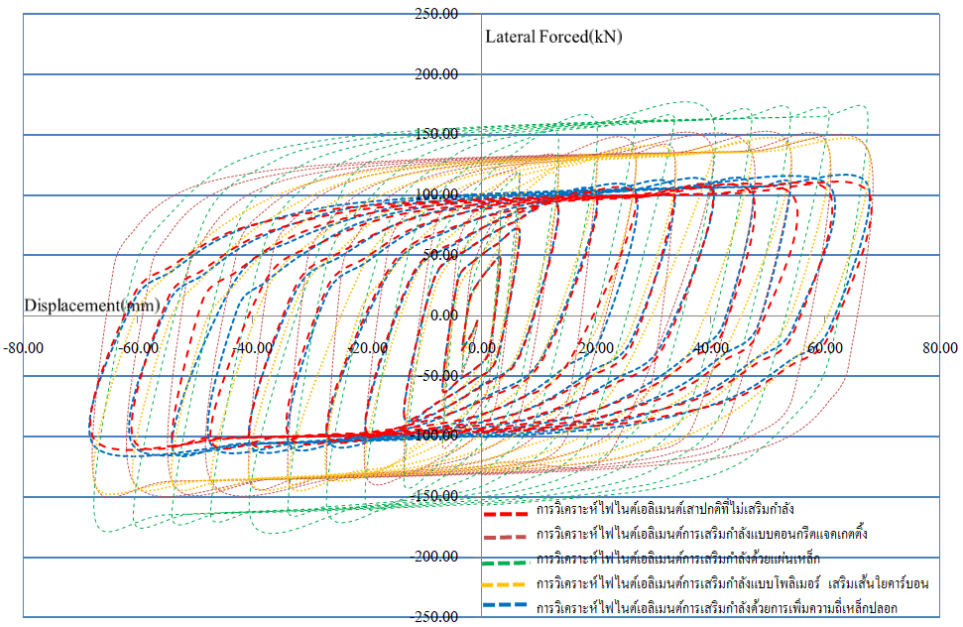
แบบจำลองเสาที่มีการเสริมกำลังด้วยการเพิ่มความถี่เหล็กปลอก

รูปที่ 7 (ต่อ) แสดงบริเวณที่เกิดการวิบัติของแบบจำลองเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการเสริมกำลังแบบต่าง ๆ ภายใต้การกระทำของแรงแบบวัฏจักร

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเสริมกำลังเสาในแต่ละรูปแบบ

รูปแบบเสา	ประสิทธิภาพในการรับกำลังของเสา		
	ก่อนเสริมกำลัง (kN)	หลังเสริมกำลัง (kN)	ค่าที่เพิ่มขึ้น (%)
เสาปกติที่ไม่มีการเสริมกำลัง	102.72	-	-
เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแจ๊กเก็ตคอนกรีตเสริมเหล็ก	102.72	137.75	34.10
เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก	102.72	165.74	61.35
เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน	102.72	138.06	34.40
เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยการเพิ่มความถี่เหล็กปลอก	102.72	108.29	5.42

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าการเสริมกำลังสามารถเพิ่มกำลังรับแรงให้เสาได้มากขึ้นเรียงจากประสิทธิภาพสูงสุดคือ วิธีการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก การเสริมกำลังด้วยแจ๊กเก็ตคอนกรีตเสริมเหล็ก การเสริมกำลังด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน และการเสริมกำลังเสาด้วยการเพิ่มความถี่เหล็กปลอก โดยมีรายละเอียดคือ เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็กรับแรงได้มากสุด 165.74 kN ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 61.35% เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแจ๊กเก็ตคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงสูงสุดเท่ากับ 137.75 kN ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 34.10% เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนรับแรงสูงสุดเท่ากับ 138.06 kNประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 34.40% เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยการเพิ่มความถี่เหล็กปลอกรับแรงสูงสุดเท่ากับ 108.29 kN ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 5.42% ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการเสริมกำลังในรูปแบบต่างๆ

4. สรุปผลการวิจัย

การเปรียบเทียบรูปแบบการเสริมกำลังเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงแบบวัฏจักร ได้ทำการทดสอบแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่มีการเสริมกำลังด้วยแจ๊กเก็ตคอนกรีตเสริมเหล็ก การเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก การเสริมกำลังด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน การเสริมกำลังด้วยการเพิ่มความถี่เหล็กปลอก รวมจำนวน 4 แบบจำลองภายใต้การกระทำของแรงแบบวัฏจักร การเพิ่มประสิทธิภาพเสาโดยการเสริมกำลังนี้ได้ใช้การรับแรงสูงสุดเป็นตัววัดประสิทธิภาพการรับแรงกระทำว่าแต่ละวิธีมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเสาคอนกรีตเสริมเหล็กปกติที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อการรับแรงแผ่นดินไหว จากการทดสอบพบว่า เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแจ๊กเก็ตคอนกรีตเสริมเหล็กมีประสิทธิภาพการรับแรงเพิ่มขึ้น 34.10% เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็กมีประสิทธิภาพการรับแรงเพิ่มขึ้น 61.35% เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนมีประสิทธิภาพการรับแรงเพิ่มขึ้น 34.40% เสาที่มีการเสริมกำลังด้วยการเพิ่มความถี่เหล็กปลอกมีประสิทธิภาพการรับแรงเพิ่มขึ้น 5.42% โดยวิธีการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็กมีประสิทธิภาพการรับแรงได้มากกว่าการเสริมกำลังด้วยแจ๊กเก็ตคอนกรีตเสริมเหล็ก การเสริมกำลังด้วยแผ่นโพลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน และการเสริมกำลังเสาด้วยการเพิ่มความถี่เหล็กปลอก

5. รายการอ้างอิง

อลงกรณ์ เพชรดี “การเสริมกำลังของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวจำกัดเพื่อรับแรงแผ่นดินไหว”. วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2555

Sung Eom,T.,Min Kang,S.,Gun Park,H.,Woo Choi,T.,Min Jin,J. 2014. “Cyclic loading test for reinforced concrete columns with continuous rectangular and polygonal hoops”, **Eng Struct,** 67 (2014), pp. 39-49

Zaman Khan, Q., Fiaz Tahir,M., Ahmed, A., Iqbal, M. 2015. "Seismic Evaluation of Repaired and Retrofitted Circular Bridge Piers of Low-Strength Concrete", **Arab J Sci Eng,**40 (2015), pp. 3057-3066

Li, X., Wang, J.,Bao, Y., Chen, G. 2017. "Cyclic behavior of damaged reinforced concrete columns repaired with hight-performanced fibre-reinforced cementitious composite", **Eng Struct,** 136(2017), pp.26-35

Kui Cai, Z., Wang, D., Wang, Z. 2017. "Full-scale seismic testing of concrete building columns reinforced with both steel and CFRP bars", **Composite Struct,**178 (2017),pp 195-209

Li, C., Hao, H., Bi,K. 2017. "Numerical study on the seismic performance of precast segmental concrete column under cyclic loading", **Eng Struct,** 148 (2017), pp. 373-386

Bhowmik, T., Tan, K.H, Balendra, T. 2017. "Lateral load-displacement response of low strength CFRP-confined capsule-shaped columns", **Eng Struct,**150 (2017), pp. 64-75

Farajpourbonab,E., Kute,S., Inamdar,V. 2018. "Steel-reinforced concrete-filled steel tubular columns under axial and lateral cyclic loading", **International Journal of Advanced Structural Engineering,**10(2018), pp.61-72

Peng, S., Xu, C., Lu, M. Yang, J. 2018. "Experimental research and finite element analysis on seismic behavior of CFRP-strengthened seismic-damaged composite steel-concrete frame columns", **Eng Struct,** 155 (2018), pp. 50-60

Paiboon, T. and Kazuhiko, K. 2007 "Seismic performance of square reinforced concrete columns under combined cyclic flexural and torsional loadings. **Journal of Earthquake Engineering,** 11(3): 425–452.

ผลกระทบของกระแสฮาร์มอนิกที่มีต่อชันท์คาปาซิเตอร์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีศึกษา: ระบบจำหน่ายระดับแรงดัน 22 kV ภาคใต้ เขต 1 จังหวัดเพชรบุรี

IMPACTS OF HARMONIC CURRENT ON SHUNT CAPACITOR IN A DISTRIBUTION SYSTEM CASE STUDY: THE 22 KV DISTRIBUTION SYSTEM SOUTHERN REGION AREA 1 PHETCHABURI PROVINCE

ธรณิศวร์ วัดอักษร วิชชากร เฮงศรีธวัช พศวีร์ ศรีโหมด และ เติมพงษ์ ศรีเทศ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

2410/2 ถ.พหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 0-2579-1111ต่อ 2272

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

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลกระทบของกระแสฮาร์มอนิกที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของชันท์คาปาซิเตอร์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE 18-2012 และ IEC 60871-3 กระแสฮาร์มอนิกถูกจำลองจากโรงงานเหล็กที่มีการใช้งานเตาหลอมไฟฟ้าและระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ในระบบไฟฟ้าจริงแห่งหนึ่ง ผลการทดสอบหลายกรณีด้วยโปรแกรม DigSilent Power Factory แสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่มีต่อการทำงานของคาปาซิเตอร์จากกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลสนับสนุนกันอยู่ในระบบ โดยแนวโน้มความรุนแรงสามารถพิจารณาได้จากค่าความผิดเพี้ยนของกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกรวม ซึ่งมีปัจจัยมาจากขนาดกำลังงานและตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิก ดังนั้นผลการศึกษานี้อาจถูกใช้ประกอบเพื่อการวางแผนป้องกันด้วยการกำหนดขนาดกำลังงานผลิต รวมถึงการประเมินตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมเพื่อลดผลกระทบต่อคาปาซิเตอร์ในระบบได้

คำสำคัญ: ชันท์คาปาซิเตอร์, กระแสฮาร์มอนิก, ระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์

ABSTRACT

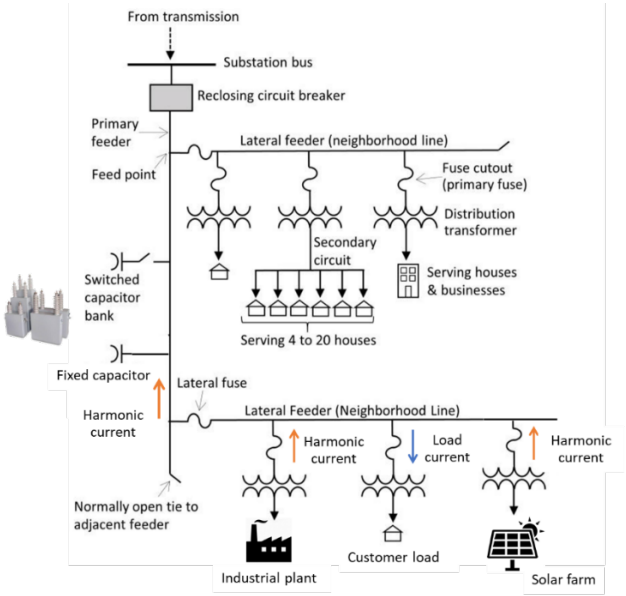
This article presents the impacts of harmonic currents on the performance of shunt capacitors in power distribution systems comply with IEEE 18-2012 and IEC 60871-3 Standards. Harmonic currents are modeled from steel mills that use electric furnaces and photovoltaic system in a real distribution system. The simulation results with DigSilent Power Factory show the effect on the capacitor operation from the harmonic currents that are contributed in the system. The trend of severity can be considered from the total harmonic distortion of current and voltage. Which is influenced by the size, power, and location of the harmonic current source. Therefore, the results of this study may be used to prevent planning by determining the size of PV-system and to evaluate the appropriate location to reduce the impact on the capacitors in the system.

Keywords : Shunt Capacitor, Harmonic Current, Photovoltaic System

1. บทนำ (Introduction)

ในปัจจุบันระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ดำเนินการจ่ายพลังงานไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 KV ให้กับผู้ใช้ไฟซึ่งมีหลายรูปแบบ อาทิ โรงงานอุตสาหกรรม ที่พักอาศัย และอื่นๆ ซึ่งบางครั้งความต้องการใช้พลังงานที่มากขึ้นอาจทำให้เกิดปัญหาแรงดันตก (Voltage Drop) ในระบบจำหน่ายโดยเฉพาะบริเวณปลายสายป้อนซึ่งอยู่ไกลจากสถานีไฟฟ้าต้นทาง (Substation) วิธีการแก้ปัญหาแบบหนึ่งที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมักนำมาใช้คือการต่อตัวเก็บประจุขนานเข้ากับระบบหรือที่เรียกว่าชันท์คาปาซิเตอร์ (Shunt Capacitor) เพื่อทำหน้าที่เพิ่มขนาดแรงดัน ณ จุดเชื่อมต่อรวมถึงบริเวณใกล้เคียง ซึ่งมีทั้งแบบต่อคงที่ (Fixed Capacitor) ขนาด 300 kVar และแบบสับเข้า-ปลดออก (Switched Capacitor) ขนาด 1800 kVar ตามภาพที่ 1

อย่างไรก็ตาม ในสภาวะการทำงานจริงของระบบจำหน่ายไฟฟ้าบางระบบ มักพบปัญหาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชันท์คาปาซิเตอร์ หรืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันชันท์คาปาซิเตอร์ เช่น ดรอปเอาท์ฟิวส์ (Dropout Fuse) มีการตัดวงจร แสดงให้เห็นว่ากระแสปริมาณมากกำลังไหลเข้าชันท์คาปาซิเตอร์ ในขณะที่ความต้องการใช้พลังงานของโหลดยังคงเป็นปกติ ส่งผลให้ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่มีคุณภาพเท่าที่ควร ข้อสมมติฐานหนึ่งที่อาจเป็นสาเหตุของปัญหาคือ การเพิ่มขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีโหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear load) หรือโรงงานรีดเหล็กที่มีการใช้เตาหลอมไฟฟ้า (Electric Furnace) รวมถึงโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการใช้อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกริด (Grid Connected Inverter) ด้วยคุณลักษณะของโหลดจำพวกนี้จะทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิก (Harmonic Current) ไหลสนับสนุนกันอยู่ในระบบ เป็นเหตุให้ปริมาณกระแสรวมมีค่าสูงเกินกว่าปกติจนทำให้เกิดความเสียหายกับชันท์คาปาซิเตอร์ได้ ซึ่งทางผู้บริหารของ กฟภ. ในฐานะที่เป็นผู้ดูแลระบบเห็นว่าเหตุการณ์นี้เป็นปัญหาที่สำคัญมาก จึงมีแนวคิดในการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของกระแสฮาร์มอนิกจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ตามคุณลักษณะของโหลด ว่ามีผลกระทบกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าและชันท์คาปาซิเตอร์มากน้อยเพียงใด เพื่อหาแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหานี้ โดยยังคงรักษาคุณภาพไฟฟ้าของระบบไว้ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

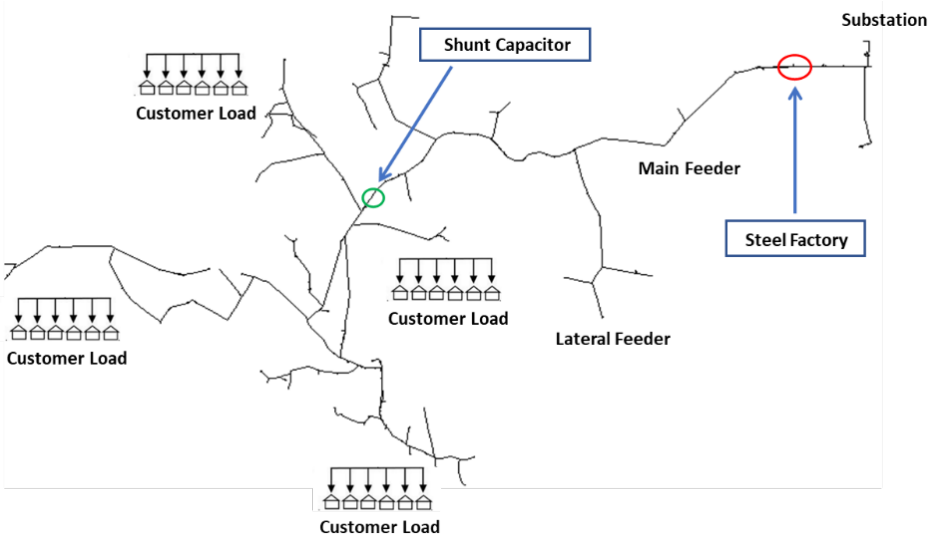


ภาพที่ 1 โครงสร้างทั่วไปของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2. แบบจำลองของระบบ (Simulation System Modeling)

2.1 แบบจำลองของระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System Model)

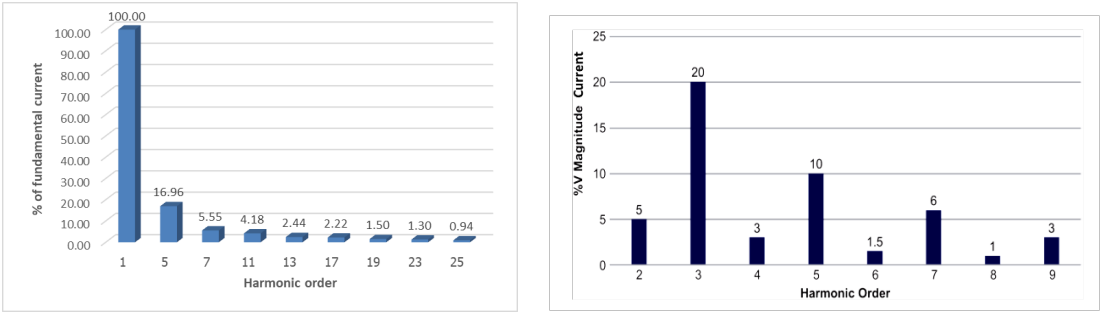
การศึกษาผลกระทบจากกระแสฮาร์มอนิกที่มีต่อชันท์คาปาซิเตอร์ในบทความนี้ ใช้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริงระดับแรงดัน 22 kV ภาคใต้ เขต 1 จังหวัดเพชรบุรี เป็นกรณีศึกษาร่วมกับการใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory ในการจำลองและประเมินผลตามกรณีศึกษาต่างๆ ตามภาพที่ 2 โดยมีการใช้งานของโหลดในระบบรวม 11.1 MW , 4.7 MVar รวมถึงมีโรงงานเหล็กขนาดกำลังงาน 3.4 MW ตั้งอยู่ที่บริเวณต้นทางและมีชันท์คาปาซิเตอร์แบบคงที่ขนาด 300 kVar ติดตั้งอยู่บริเวณกลางทางของระบบจำหน่าย



ภาพที่ 2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 kV ภาคใต้ เขต 1 จังหวัดเพชรบุรี

2.2 แบบจำลองของโรงงานเหล็ก (Steel Factory Model)

ลักษณะของโรงงานผลิตเหล็กในระบบจำหน่ายตามภาพที่ 2 มีทั้งส่วนของการรีดและหลอมโลหะเพื่อจำหน่าย โดยมีเตาหลอมแบบที่ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่เป็นส่วนการทำงานหลัก ซึ่งโดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เตาหลอมแบบอาร์ค (Arc Furnace) และเตาหลอมแบบเหนี่ยวนำ (Induction Furnace) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาการทำงานของเตาหลอมดังกล่าวเป็นโหลดในระบบไฟฟ้าก็จะพบว่าเตาหลอมอยู่ในกลุ่มโหลดไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งถือเป็นแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิกที่มีนัยสำคัญในด้านส่งผลกระทบต่อการทำงานของชันท์คาปาซิเตอร์ โดยการศึกษาในบทความนี้ จะใช้คุณลักษณะของกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากเตาหลอมเหนี่ยวนำแบบไม่มีแกนเหล็กซึ่งมี SCR แบบ 6 พัลส์ เป็นอุปกรณ์ควบคุมกระแส ตามภาพที่ 3(a) [1] รวมถึงคุณลักษณะของกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากเตาหลอมแบบอาร์คที่มีการสร้างกระแสฮาร์มอนิกลำดับคู่ด้วย ตามภาพที่ 3(b) [2]



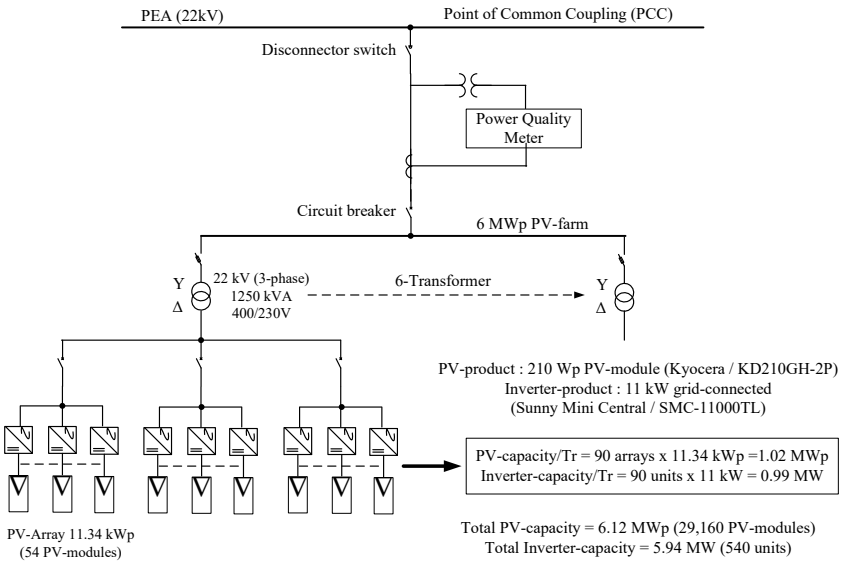
(a) (b)

ภาพที่ 3 (a) คุณลักษณะกระแสฮาร์มอนิกของเตาหลอมแบบเหนี่ยวนำ

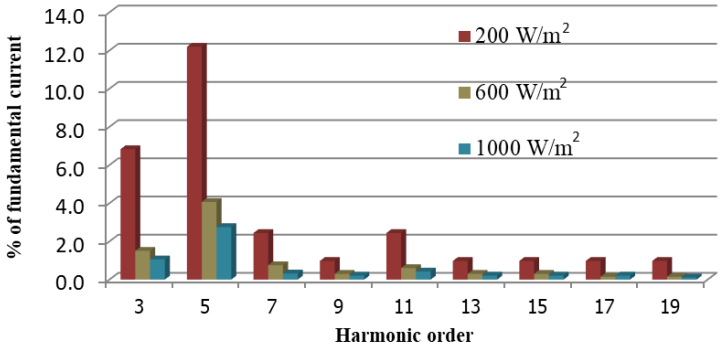
(b) คุณลักษณะกระแสฮาร์มอนิกของเตาหลอมแบบอาร์ค

2.3 แบบจำลองของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ (PV System Model)

ระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์จะถูกพิจารณาเป็นแหล่งจ่ายกระแสฮาร์มอนิกจากอินเวอร์เตอร์ โดยใช้ข้อมูลกระแสฮาร์มอนิกที่มีความสัมพันธ์กับระดับแสงอาทิตย์ ซึ่งได้จากการวัดที่ระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ขนาด 6 MWp แห่งหนึ่งในประเทศไทย (ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก กฟภ.) ตามภาพที่ 4 ค่าตัวอย่างกระแสฮาร์มอนิกแต่ละอันดับที่ระดับแสงต่างๆ แสดงไว้ตามภาพที่ 5 [3] ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าที่ระดับแสงต่ำๆ ขนาดของกระแสฮาร์มอนิกจะมีค่าสูงในทุกลำดับความถี่ ทั้งนี้เกิดจากการทำงานต่ำกว่าพิกัดของอินเวอร์เตอร์นั่นเอง อย่างไรก็ตาม ในบทความนี้จะใช้ข้อมูลกระแสฮาร์มอนิกที่สัมพันธ์กับระดับแสง 600 W/m^2 ซึ่งถือเป็นค่าเฉลี่ยของกำลังงานจากแสงสำหรับประเทศไทย



ภาพที่ 4 ระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์แห่งหนึ่งในประเทศไทย



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ของกระแสฮาร์มอนิกที่ระดับแสงต่างๆ

3. การประเมินความเสียหายของตัวเก็บประจุต่อขนาน (Shunt Capacitor Assessment)

การประเมินความเสียหายของชันท์คาปาซิเตอร์จะพิจารณาตามมาตรฐาน IEEE 18-2012 [4] และมาตรฐาน IEC 60871-3 (2015) [5] ซึ่งได้แนะนำและกำหนดคุณลักษณะการใช้งานของชันท์คาปาซิเตอร์ โดยคำนึงถึงผลกระทบของฮาร์มอนิกที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายได้ตามขีดจำกัดของค่าแรงดันและกระแสที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1 ทั้งนี้หากดัชนีตัวในตัวหนึ่งมีค่าเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด ก็จะถือว่าชันท์คาปาซิเตอร์มีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายได้หากให้มีการทำงานต่อไป

ตารางที่ 1 ขีดจำกัดการทำงานของชันท์คาปาซิเตอร์ตามมาตรฐาน

Item	IEEE Limit	IEC Limit
1. Percent of rated rms voltage $(\%V_c^{rms})$	110	110
2. Percent of rated rms current $(\%I_c^{rms})$	135	130
3. Percent of peak voltage $(\%V_c^{peak})$	120	120
4. Percent of nameplate kVar $(\%kVar)$	135	N/A

โดยที่

$$\%V_c^{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{25} \left|V_c^h\right|^2} \times 100 \quad (1)$$

$$\%I_c^{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{25} \left|I_c^h\right|^2} \times 100 \quad (2)$$

$$\%V_c^{peak} = \sum_{h=1}^{25} V_c^h \times 100 \quad (3)$$

$$\%kVar = \sqrt{3} \times I_c^{rms} \times V_c^{rms} \times 100 \quad (4)$$

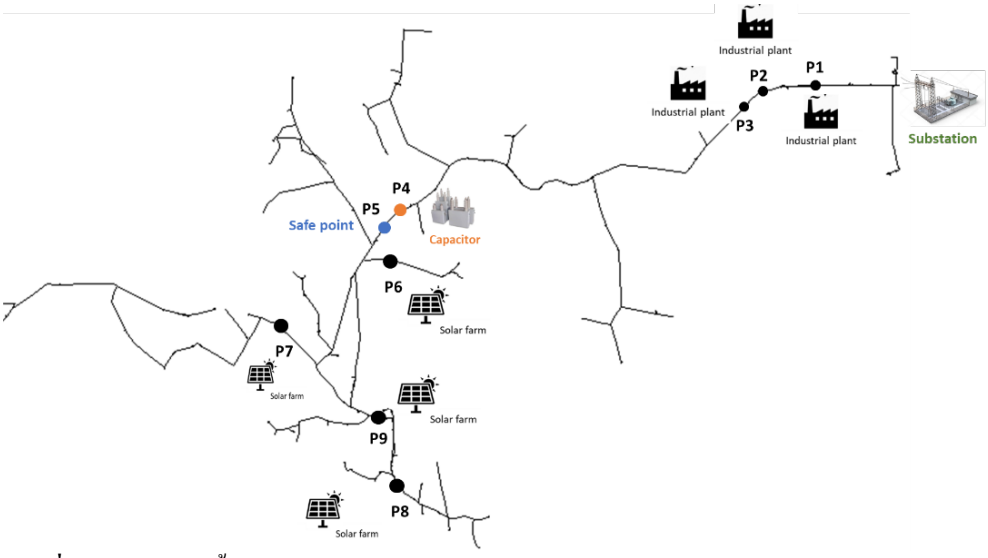
เมื่อ V_c^{rms}, I_c^{rms} คือแรงดันและกระแสอาร์เอ็มเอสของตัวเก็บประจุ

V_c^h, I_c^h คือแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ h ของตัวเก็บประจุ

V_c^{peak} คือแรงดันสูงสุดของตัวเก็บประจุ

4. แผนการจำลอง (Simulation Scenarios)

การทดสอบเพื่อประเมินผลความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับชันท์คาปาซิเตอร์จากกระแสฮาร์มอนิกในระบบจำหน่ายจะแบ่งออกเป็น 5 กรณี ซึ่งจะพิจารณาผลกระทบจากตำแหน่งติดตั้งและกำลังงานในการทำงานของทั้งโรงงานเหล็กและระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ ตามภาพที่ 6 โดยมีระยะห่างของแต่ละจุดรวมถึงประเภทโหลดและกำลังงานแสดงไว้ตามตารางที่ 2



ภาพที่ 6 ตำแหน่งติดตั้งของโรงงานเหล็กและระบบผลิตกำลังงานด้วยแสงอาทิตย์ตามแผนการจำลอง

ตารางที่ 2 ระยะห่างและประเภทของโหลดในแต่ละจุด

From point	To point	Distance (km)	Load Type at End Point	Power
Substation	P1	3.78	Steel Factory	3.4 MW
P1	P2	2.389	Steel Factory	3.4 MW
P2	P3	0.278	Steel Factory	3.4 MW
P3	P4	11.36	Fixed Shunt Capacitor	300 kVar
P4	P5	0.66	N/A	N/A
P5	P6	0.127	Solar Farm	1 MW
P6	P7	4.999	Solar Farm	1 MW
P7	P8	7.164	Solar Farm	1 MW
P7	P9	4.033	Solar Farm	1 MW

Case A : หมายถึงกรณีฐานซึ่งใช้ข้อมูลการทำงานของระบบจริงในปัจจุบันที่มีโหลดรวมขนาด 11.1 MW, 4.7 MVar (P.F. = 0.92) รวมถึงมีโรงงานเหล็กขนาดกำลังงาน 3.4 MW (30.6% Load) ตั้งอยู่ในตำแหน่ง P1 และมีชันท์คาปาซิเตอร์ขนาด 300 kVar ตั้งอยู่ในตำแหน่ง P4 การประเมินผลกระทบจากกระแสฮาร์มอนิกจะจำลองให้โรงงานเหล็กมีการใช้งานเตาหลอม 2 แบบคือ

- Case A1 : เป็นเตาหลอมแบบเหนี่ยวนำ (พิจารณาเฉพาะฮาร์มอนิกลำดับคี่)
- Case A2 : เป็นเตาหลอมแบบอาร์ค (พิจารณาฮาร์มอนิกลำดับคี่และลำดับคู่)

Case B : หมายถึงกรณีที่แสดงให้เห็นผลกระทบ เมื่อระยะห่างของแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิกจากโรงงานเหล็กอยู่ใกล้คาปาซิเตอร์มากขึ้น โดยพิจารณาเฉพาะการทำงานแบบเตาหลอมเหนี่ยวนำ ซึ่งแบ่งออกเป็นกรณีย่อยดังนี้

- Case B1 : โรงงานเหล็กตั้งอยู่ในตำแหน่ง P2 , คาปาซิเตอร์ตั้งอยู่ในตำแหน่ง P4
- Case B2 : โรงงานเหล็กตั้งอยู่ในตำแหน่ง P3 , คาปาซิเตอร์ตั้งอยู่ในตำแหน่ง P4
- Case B3 : โรงงานเหล็กตั้งอยู่ในตำแหน่ง P3 , คาปาซิเตอร์ตั้งอยู่ในตำแหน่ง P5 (ย้ายคาปาซิเตอร์)

Case C : หมายถึงกรณีที่ต้องการประเมินผลกระทบจากระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ โดยการพิจารณาจาก Case A1 (โรงงานเหล็กอยู่ที่ P1, คาปาซิเตอร์อยู่ที่ P4) ว่าหากในอนาคตมีผู้ขออนุญาตติดตั้งระบบผลิตกำลังไฟฟ้าดังกล่าวในบริเวณปลายสายป้อนตำแหน่ง P8 และ P9 ด้วยขนาดกำลังผลิตรวม 2 MW (18% Load) แล้วจะส่งผลต่อการทำงานของชันท์คาปาซิเตอร์หรือไม่อย่างไร

Case D : หมายถึงกรณีที่พิจารณาให้มีระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์เพิ่มเติมจาก Case C ในตำแหน่ง P6 และ P7 (ครอบคลุมบริเวณกลางสายป้อน) ด้วยขนาดกำลังผลิต 2 MW (18% Load) ซึ่งหากพิจารณากำลังการผลิตจากแสงอาทิตย์รวมทั้งหมดทั้ง Case C และ D จะมีค่าเป็น 4 MW (36% Load)

Case E : หมายถึงกรณีปรับเพิ่มขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์โดยรวมที่ค่า 8 MW (72% Load) ซึ่งเป็นค่าสูงสุดตามเกณฑ์ที่การไฟฟ้ายอมให้มีการติดตั้งระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ในสายป้อนได้ โดยพิจารณให้มีการทำงานของโรงงานเหล็กและชันท์คาปาซิเตอร์ตามกรณี Case A1 และให้มีระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ติดตั้งตามกรณี Case D ซึ่งจะพิจารณาให้มีกำลังผลิตเท่ากันทุกตำแหน่งติดตั้ง (ตำแหน่งละ 2 MW)

5. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ (Simulation Results and Analysis)

จากแบบจำลองกระแสฮาร์มอนิกของโรงงานเหล็กที่มีการใช้งานเตาหลอมไฟฟ้าขนาด 3.4 MW ทั้งแบบเหนี่ยวนำและแบบอาร์คตามหัวข้อที่ 2.2 รวมถึงแบบจำลองของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ขนาด 1 MWp ตามหัวข้อที่ 2.3 สามารถแสดงค่ากระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency: h =1) และที่ความถี่ลำดับต่างๆ ดังตารางที่ 3

ผลการประเมินสมรรถภาพการทำงานของชันท์คาปาซิเตอร์ทุกกรณีแสดงไว้ในตารางที่ 4 รวมถึงค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion Current: THDi) ณ ตำแหน่งติดตั้งคาปาซิเตอร์ เพื่อแสดงให้เห็นแนวโน้มซึ่งเป็นผลกระทบอันเกิดจากกระแสฮาร์มอนิก นอกเหนือจากการพิจารณาตามค่าดัชนีของมาตรฐาน

ตารางที่ 3 ค่ากระแสฮาร์มอนิกตามแบบจำลองของโรงงานและระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์

Order (h)	Harmonic current (A)		
	Induction Furnace (3.4 MW)	Arc Furnace (3.4 MW)	Solar Farm (1 MW)
1	94.12	94.12	18.37
2	-	4.586	-
3	-	18.3428	-
4	-	2.7514	-
5	14.44	9.172	0.73
6	-	1.375	-
7	4.92	5.5	0.138
8	-	0.917	-
9	-	2.751	-
11	3.82	-	0.11
13	2.18	-	0.046
15	-	-	0.041
17	2.01	-	0.036
19	1.33	-	0.036
23	1.17	-	0.092
25	0.85	-	0.073

ตารางที่ 4 ผลการประเมินสมรรถภาพการทำงานของชันท์คาปาซิเตอร์ตามมาตรฐานกรณีต่างๆ

Item	**IEEE**	**IEC**	**Case A**		**Case B**			**Case C**	**Case D**	**Case E**
			A1	**A2**	**B1**	**B2**	**B3**			
1.	110	110	97.51	97.41	97.02	96.94	97.09	104.17	106.25	104.62
2.	135	130	115.21	97.92	129.28	131.01	125.69	127.18	133.18	139.02
3.	120	120	106.97	101.2	109.98	110.36	109.81	109	112	118
4.	135	N/A	112.32	95.40	125.42	127.16	122.05	114.24	120.36	196.86
% THDi at Capacitor			50.11	9.66	70.32	72.6	67.01	46.97	50.92	92.818

อย่างไรก็ตาม การจำลองให้มีแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิกมากขึ้นในระบบ ไม่ว่าจะเป็นโรงงานเหล็กหรือระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ก็ดี ตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าเกี่ยวกับขีดจำกัดในการยอมให้มีกระแสฮาร์มอนิกไหลเข้าสู่ระบบจะพิจารณาจากค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion Voltage: THDv) ณ จุดต่อร่วม (Point of Common Coupling: PCC) ซึ่งไม่ควรมีค่าเกิน 5% ดังนั้นในตารางที่ 5 จึงได้แสดงให้เห็นค่า %THDv ณ จุดต่อร่วมของทั้งโรงงานเหล็กและระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์เพื่อใช้ดูแนวโน้มความรุนแรงจากกระแสฮาร์มอนิก

ตารางที่ 5 ผลความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม (%THDv) ณ จุดต่อร่วม (PCC)

Type	Point	Case A		Case B			Case C	Case D	Case E
		A1	A2	B1	B2	B3			
Factory	P1	2.2	1.4	-	-	-	1.798	2.03	3.598
Factory	P2	-	-	3.65	-	-	-	-	-
Factory	P3	-	-	-	3.83	3.65	-	-	-
Solar Farm	P6	-	-	-	-	-	-	4.19	5.154
Solar Farm	P7	-	-	-	-	-	-	4.023	7.452
Solar Farm	P8	-	-	-	-	-	3.815	4.145	7.551
Solar Farm	P9	-	-	-	-	-	3.659	4.172	6.875

การวิเคราะห์ผลในกรณี Case A ตามตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าคาปาซิเตอร์ยังคงสามารถทำงานได้ตามปกติ โดยมีค่าดัชนีทั้งหมดผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้ง IEEE และ IEC ในกรณีการใช้งานทั้งเตาหลอมแบบเหนี่ยวนำ (A1) และแบบอาร์ค (A2) อย่างไรก็ตาม ค่า THDi บ่งบอกว่าผลกระทบด้านกระแสฮาร์มอนิกของเตาหลอมแบบเหนี่ยวนำ (50.11%) จะมีมากกว่าแบบอาร์ค (9.66%) สำหรับค่า THDv ในตารางที่ 5 พบว่ามีค่าต่ำกว่าข้อกำหนดทั้งหมด (< 5%) ทั้งนี้การทดสอบด้วยการลองขยับตำแหน่งที่ตั้งโรงงานให้เข้าใกล้คาปาซิเตอร์มากขึ้น ในกรณี Case B พบว่าผลกระทบจากกระแสฮาร์มอนิกจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากค่า THDi ของกรณี B1(70.32%) และ B2(72.6%) นอกจากนี้หากพิจารณาค่าดัชนีตัวที่ 2 (131%) ในกรณี B2 จะเห็นว่าสูงกว่า 130% ตามที่ IEC กำหนด หมายความว่าคาปาซิเตอร์มีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายได้ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติอาจแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการย้ายตำแหน่งติดตั้งคาปาซิเตอร์ให้ไกลออกไป ซึ่งผลการย้ายคาปาซิเตอร์ไปยังจุด P5 (0.66 km จากจุดเดิม) ในกรณี B3 แสดงให้เห็นว่าคาปาซิเตอร์มีความปลอดภัยในการทำงานและมีค่า THDi ที่ลดลง (67%) โดยโรงงานยังคงมีค่า THDv ต่ำกว่าข้อกำหนดทุกกรณีคือ B1(3.65%), B2(3.83%) และ B3(3.65%)

ผลกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลสนับสนุนจากระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ใน Case C (2 MW) แสดงให้เห็นว่าขนาดกำลังผลิตที่ไม่สูงมากและมีตำแหน่งติดตั้งที่บริเวณปลายสายป้อน คาปาซิเตอร์ยังคงสามารถทำงานได้ดีโดยไม่ได้รับผลกระทบจากกระแสฮาร์มอนิกและมีค่า THDi ที่ไม่สูงมากนัก (46.97%) อย่างไรก็ตาม เมื่อจำลองให้มีตำแหน่งติดตั้งและกำลังผลิตรวมมากขึ้นใน Case D (4 MW) ซึ่งครอบคลุมถึงบริเวณกลางสายป้อน พบว่าค่า THDi สูงขึ้นเล็กน้อย (50.92%) แต่ยังไม่ส่งผลกระทบต่อคาปาซิเตอร์ ข้อสังเกตจากการมีกระแสฮาร์มอนิกไหลสนับสนุนในระบบมากขึ้นคือจะทำให้ค่า THDv สูงขึ้นซึ่งอาจเปรียบเทียบได้จากกรณี Case C และ Case D ที่ตำแหน่งเดิมของทั้งโรงงานและระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ตามตารางที่ 5

ในส่วนท้ายของการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าถ้ากำลังการผลิตรวมของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์สูงถึง 8 MW ใน Case E ที่ตำแหน่งติดตั้งเดิม จะส่งผลให้คาปาซิเตอร์มีสมรรถนะในการทำงานไม่ผ่านเกณฑ์ 2 ข้อทั้งมาตรฐาน IEEE และ IEC (ตามตารางที่ 4) นอกจากนี้ยังมีค่า THDi (92.82%) และ THDv ที่ค่อนข้างสูงด้วย โดยเฉพาะค่า THDv ณ ตำแหน่งติดตั้งของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ทุกจุด (ตามตารางที่ 5) มีค่าเกินข้อกำหนดทั้งหมด หมายความว่าสำหรับระบบจำหน่ายนี้ไม่สามารถยอมให้มีกำลังผลิตสูงถึง

8 MW ตามเกณฑ์ข้อกำหนดของ กฟภ.ได้ เนื่องจากขนาดกำลังผลิตดังกล่าวคิดเป็นค่า 72% ของโหลดในระบบซึ่งอาจมีค่าสูงมากเกินไป

6. สรุปผลการทดสอบ

จากการจำลองผลในหลายกรณีศึกษาสามารถกล่าวได้ว่า การมีกระแสฮาร์มอนิกในระบบจำหน่ายที่มีปริมาณมากอาจส่งผลกระทบในด้านสมรรถนะการทำงานของคาปาซิเตอร์ ทั้งนี้ระยะห่างของแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิกก็นับเป็นปัจจัยสำคัญดังจะเห็นได้จากกรณี B2 ว่าหากจำลองให้โรงงานขยับเข้าใกล้คาปาซิเตอร์มากขึ้นด้วยระยะประมาณ 2.67 km จากจุดเดิม (P1) ไปยังจุด P3 คาปาซิเตอร์ก็เริ่มมีความเสี่ยงในการทำงาน นอกจากนี้ผลของกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลสนับสนุนมาจากอินเวอร์เตอร์ของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ ก็จะส่งผลกระทบที่รุนแรงขึ้นซึ่งสังเกตได้จากค่า THDi ที่คาปาซิเตอร์และค่า THDv ของโรงงานและระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ที่สูงขึ้นตามลำดับในกรณี Case C, D และ E โดยเฉพาะกรณี Case E แสดงให้เห็นว่าคาปาซิเตอร์ไม่สามารถทำงานต่อไปได้ทั้งมีค่าดัชนีไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานและมีค่า THDv ที่สูงกว่าข้อกำหนด อย่างไรก็ตาม ผลการจำลองทั้งหมดนี้อาจถูกใช้ประกอบในการศึกษาเพื่อวางแผนป้องกัน ปรับปรุงหรือแก้ไขด้วยการกำหนดขนาดกำลังผลิตรวมถึงการประเมินตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมเพื่อลดผลกระทบต่อชันท์คาปาซิเตอร์ได้

7. เอกสารอ้างอิง

มนชนก ศรีสารคาม และ เกียรติยุทธ กวีญาณ. 2558. แบบจำลองเตาหลอมไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำในย่านความถี่ฮาร์มอนิกของโรงกษาปณ์. **วิศวกรรมสาร มก.** ฉบับที่ 28, ตุลาคม-ธันวาคม 2558.

วิชชากร เฮงศรีธวัช และ ธวัชชัย เตชัสอนันต์. 2557. **ผลกระทบจากบริเวณติดตั้งของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ที่มีต่อชันท์คาปาซิเตอร์และคุณภาพไฟฟ้าของระบบจำหน่าย**. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37 (EECON-37). 19 – 21 พฤศจิกายน 2557, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

IEEE 18-2012. **IEEE Standard for Shunt Power Capacitors.**

IEC 60871-3. 2015. **Shunt capacitors for AC power systems having a rated voltage above 1000V-Part 3: Protection of shunt capacitors and shunt capacitor banks.**

IEEE Standard 3002.8-2018. **Recommended Practice for Conducting Harmonic Studies and Analysis of Industrial and Commercial Power Systems**.

แนวคิดฮิวริสติกส์เพื่อการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับบ้านพักอาศัยสองชั้น

HEURISTICS OF THE REINFORCE CONCRETE BEAM DESIGN FOR 2-STOREY RESIDENTIAL BUILDING

ไพจิตร ผาวัน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: paijit.pa@spu.ac.th
วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์*
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: warisara.le@spu.ac.th
ภาสกร เมฆอากาศ
นักศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: phassakorn.mek@gmail.com

บทคัดย่อ

การออกแบบโครงสร้างอาคารที่เหมาะสมคือการออกแบบเพื่อให้ได้ราคาค่าก่อสร้างต่ำสุด และต้องมีความมั่นคงแข็งแรง ปลอดภัยเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบ ซึ่งวิธีการออกแบบของวิศวกรโดยทั่วไปนั้นยังคงเหมือนเป็นการกำหนดแบบ ไม่ใช่การออกแบบ เพราะผู้ออกแบบเริ่มด้วยการกำหนดขนาดหน้าตัด แล้วปรับเพิ่ม/ลดขนาด จนได้ผลลัพธ์ที่พึงพอใจ อาจส่งผลให้โครงสร้างนั้นไม่ประหยัด และไม่ปลอดภัย บทความนี้จึงเสนอแนวคิดฮิวริสติกส์มาใช้เพื่อออกแบบร่างทางเลือก (Schematic Design) ในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับบ้านพักอาศัยสองชั้น ด้วยการวางผังคานแต่ละแบบที่เป็นไปได้ตามรูปแบบสถาปัตยกรรม โดยพิจารณาเบื้องต้นจากระยะห่างระหว่างเสา เป็นแนวคานหลัก แล้วพิจารณารูปแบบการวางคานซอยเป็น 4 รูปแบบ จากนั้นถ่ายแรงพื้นลงสู่คาน เพื่อพิจารณาหาความเหมาะสมของหน้าตัดคานและราคาเหล็กเสริม คอนกรีต และไม้แบบ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการวางผังคานรูปแบบที่ 3 คือวางคานแนวนอน โดยให้พื้นถ่ายแรงเป็นทางเดียว (One Way) เป็นรูปแบบที่ดีที่สุด และหน้าตัดคานขนาด 20×55 ซม. และขนาด 20×60 ซม. เป็นหน้าตัดประหยัดที่สุด มีราคา 765 บาท/เมตร สำหรับอาคารกรณีศึกษา

คำสำคัญ: ฮิวริสติกส์ การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ต้นทุนที่เหมาะสม

ABSTRACT

Optimum building structure design is the design with the lowest construction cost, yet the structure must be stable, strong, safe and meet design standards. Normally, the design processes of engineers are still like designations, not designs because designers choose variables and adjust the results by reducing or increasing the

size until achieving satisfactory results which may make the structure not safe and not economical. This paper then proposed the concept of heuristics for designing the schematic design. In designing reinforced concrete beams for two-storey homes, the possible patterns of beam layout were conducted according to the architectural drawing. The primary beams were placed by considering from the distance between the columns. Afterward consider the pattern of laying the secondary beams into 4 alternatives, then transfer the slab loads to beams to determine the suitability (optimization) of the cross-section of beams and the price of reinforcement, concrete, and formwork. The results showed that the beam layout pattern number 3, beam laying horizontally with one-way load transfer was the best layout, resulting in the cross section of the beam size 20×55 and 20×60 were the most economical, 765 THB/meter, for this case study building.

Keywords: Heuristics, Reinforce Concrete Beam, Cost Optimization

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

หลักการออกแบบทางสถาปัตยกรรมหรือทางวิศวกรรมโดยทั่วไป ประกอบด้วยการออกแบบร่างทางเลือก (Schematic Design) การออกแบบร่างขั้นต้น (Preliminary Design) และการออกแบบรายละเอียด (Detail Design) [1] ซึ่งการออกแบบร่างทางเลือกนั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญของวิศวกรออกแบบ (Designer) เนื่องจากขั้นตอนนี้เป็นการสังเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับการอนุมัติจากลูกค้า/สถาปนิก เพื่อพัฒนาเป็นแบบร่าง (Lay-out Plan) ก่อนเริ่มงานออกแบบ ซึ่งวิศวกรออกแบบที่ดีจะวางแนวความคิดในการออกแบบระบบผังพื้น คาน เสา และฐานราก ให้มีทางเลือกหลายทางเลือก เพื่อหาตำแหน่ง และรูปแบบในการออกแบบที่เหมาะสม (Optimization) [2] [3] [4] การออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสมคือการออกแบบที่ราคาค่าก่อสร้างต่ำสุด แต่ต้องมีความมั่นคงแข็งแรง ปลอดภัย และเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบ เมื่อผ่านขั้นตอนออกแบบร่างทางเลือกแล้ว วิศวกรออกแบบจะเข้าใจและมองเห็นภาพรวมของระบบโครงสร้าง แต่หากวิศวกรออกแบบโครงสร้างด้วยการเลือกตัวแปรที่ทำให้โครงสร้างรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัยตามข้อกำหนดการออกแบบ แล้วจึงปรับผลการออกแบบด้วยการลดหรือเพิ่มขนาด ซึ่งสุดท้ายจะได้ผลลัพธ์ที่ผู้ออกแบบพอใจ แต่อาจจะไม่ได้เป็นโครงสร้างที่ประหยัดที่สุด เพราะไม่ได้มีการพิจารณาถึงราคาที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการปรับขนาดหน้าตัด [5] เพื่อลดข้อด้อยจากกระบวนการออกแบบดังกล่าว วิศวกรออกแบบควรต้องพิจารณาแบบร่างทางเลือกให้หลากหลาย เพื่อจะพิจารณาทางเลือกที่ดีที่สุด [6]

อย่างไรก็ตามในการออกแบบโครงสร้างอาคารนั้น จะอาศัยประสบการณ์ของผู้ออกแบบเป็นหลัก โดยใช้ความรู้สึกนึกคิด (Intuitive) ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานั้น แต่ยังขาดการคิดอย่างเป็นระบบ (Systematic) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำแนวคิดแบบฮิวริสติกส์ [7] มาใช้หาคำตอบว่าแบบร่างทางเลือกผังของคานแบบใดจะมีขนาดหน้าตัดที่เหมาะสมที่สุด [8] [9] ทั้งนี้ในด้านของราคาต้นทุน (Cost) จะคิดเฉพาะราคา คอนกรีต ไม้แบบ และ เหล็กโดยใช้มาตรฐาน วสท. 1008-38 ในการออกแบบ

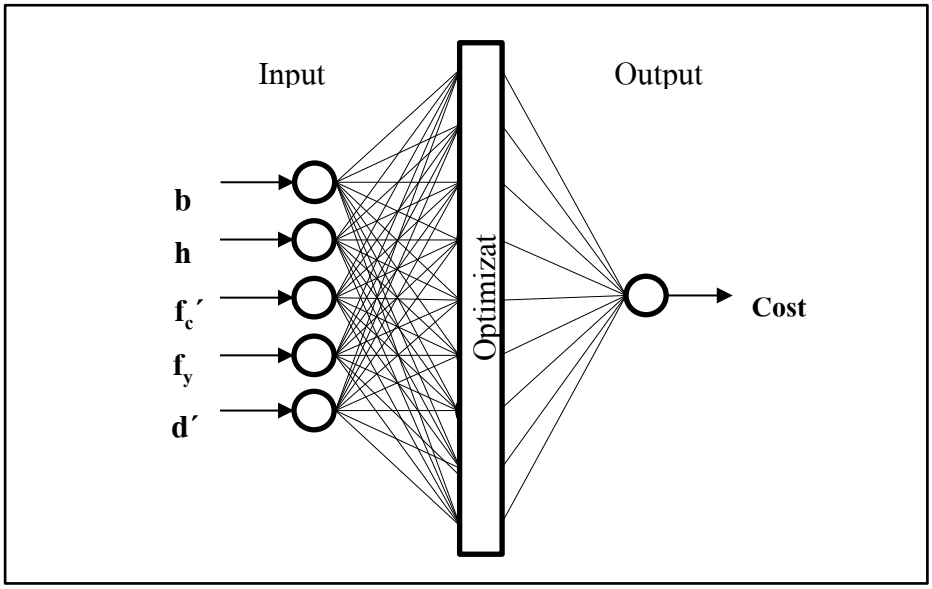
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อเปรียบเทียบแบบร่างทางเลือกในการวางผังคานแต่ละรูปแบบโดยใช้แนวคิดฮิวริสติกส์

(2) เพื่อหาความเหมาะสมในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับบ้านพักอาศัยสองชั้น

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย

การหาความเหมาะสมของการออกแบบหน้าตัดคาน เพื่อให้ได้รูปแบบการวางผังคานที่ทำให้โครงสร้างอาคารมีความแข็งแรง ปลอดภัย และประหยัดที่สุด ทำโดยนำเข้าตัวแปรในการออกแบบ (Input) เพื่อเข้าสู่การประมวลผลค่าที่เหมาะสม (Optimization) ได้ผลเป็นราคาต้นทุนการก่อสร้าง (คอนกรีต ไม้แบบ และเหล็กเสริม) (Output)



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ตัวแปรที่ศึกษา

ขั้นต้นในการออกแบบเริ่มด้วยการระบุตัวแปรที่ต้องการทราบค่าซึ่งตัวแปรที่บางตัวจะถูกกำหนดล่วงหน้าโดยผู้ออกแบบ

ตัวแปรในการออกแบบหน้าตัดคาน

b = ความกว้างของหน้าตัดคาน

h = ความลึกของหน้าตัดคาน

f_c' = หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต

f_y = หน่วยแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริม

d′ = ระยะจากขอบผิวบนด้านแรงอัดถึงจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมรับแรงอัด

C = ราคาคอนกรีต ไม้แบบ และเหล็กเสริม

จากนั้น คำนวณหาโมเมนต์ดัดสูงสุด (M_{max}) โมเมนต์ดัดที่คอนกรีตสามารถรับได้ (M_c) พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมล่าง (A_s) และพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมบน (A_s') ตามสมการที่ (1) ถึง สมการที่ (4)

โมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นจริง $$M_{max} = \frac{WL^2}{8} \quad (1)$$

โมเมนต์ดัดที่คอนกรีตสามารถรับได้ $$M_c = Rbd^2 \quad (2)$$

พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมล่าง $$A_s = \frac{M_1}{f_s jd} + \frac{M_2}{f_s(d-d')} \quad (3)$$

พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมบน $$A_s' = \frac{1}{2}\left(\frac{M_2}{f_s(d-d')}\right)\left(\frac{1-k}{k-\frac{d'}{d}}\right) \quad (4)$$

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

(1) การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design)

(2) แนวคิดการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกส์ (Heuristics)

(3) โปรแกรม Microsoft Excel

4.3 การดำเนินงาน

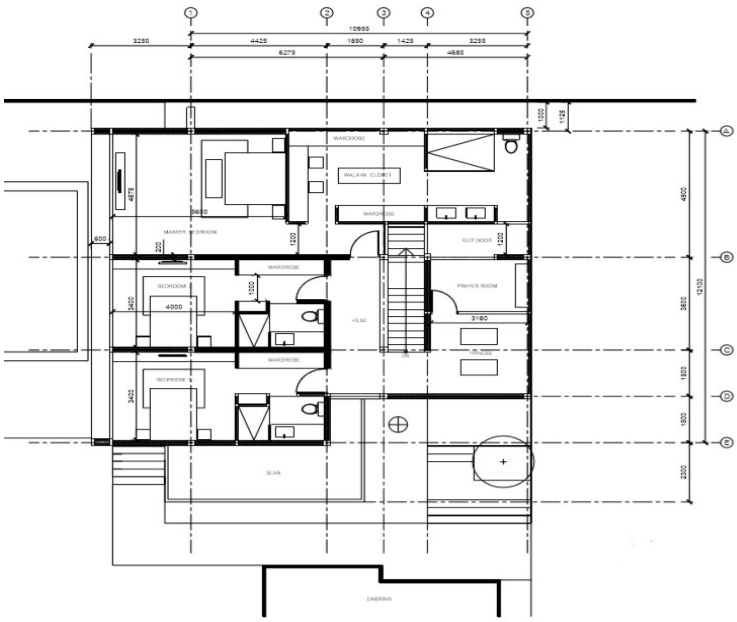
ผู้ศึกษาดำเนินการตามหลักการของวิศวกรผู้ออกแบบโครงสร้าง โดยเริ่มศึกษาแบบสถาปัตยกรรม (รูปที่ 2) แล้วดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

(1) กำหนดตำแหน่งของเสาตามกริดไลน์ (Grid line) ในแบบสถาปัตยกรรม

(2) พิจารณาเงื่อนไขการใช้งานของพื้นที่ตามแบบสถาปัตยกรรม

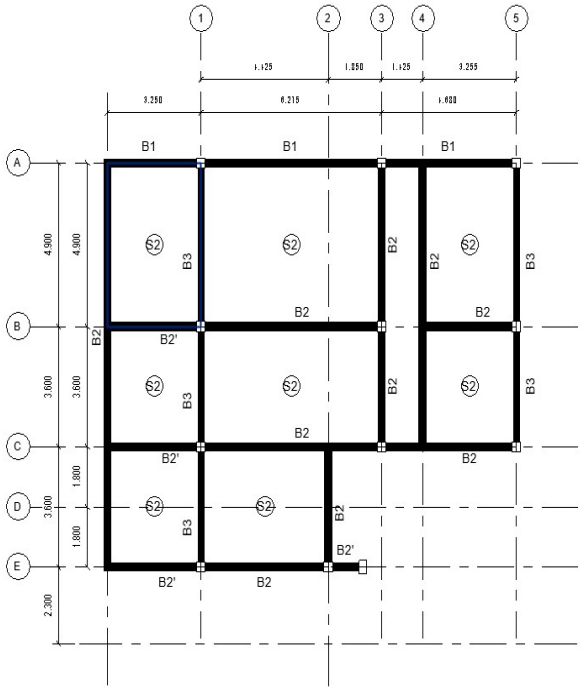
(3) พิจารณาเงื่อนไขทางวิศวกรรม เช่นระยะห่างของเสาต้องไม่ชิดกันมากจนทำให้ฐานรากเกยทับซ้อนกัน

(4) วางแนวคานหลัก (Main Beam) ตามแนวเสา

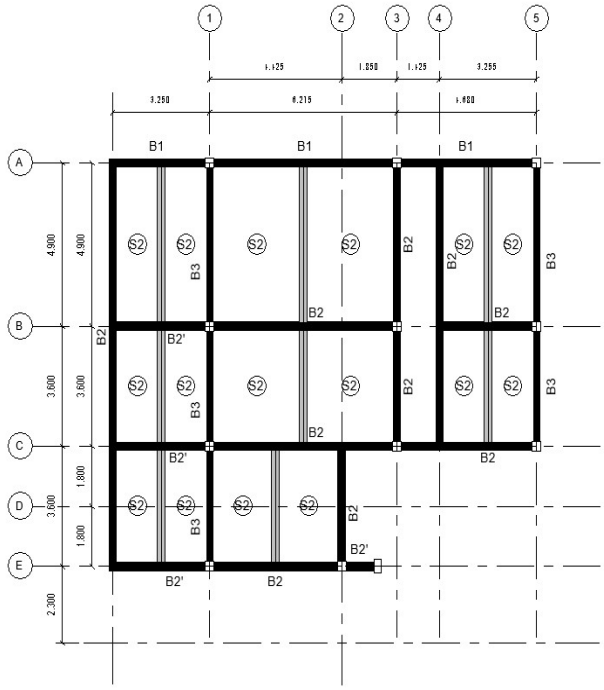


รูปที่ 2 แบบผังพื้นสถาปัตยกรรมชั้น 2

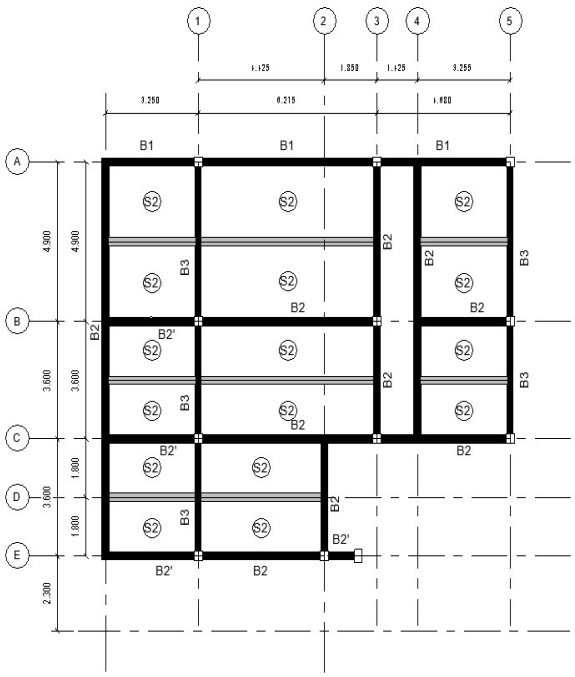
(5) พิจารณาคานซอย (Secondary Beam) โดยพิจารณาความเป็นไปได้ของทิศทางในการวาง ซึ่งพบว่ามีความเป็นไปได้ 4 รูปแบบ คือ 1.ไม่มีคานซอย 2. วางคานซอยตามแนวตั้ง 3. วางคานซอยตามแนวนอน และ 4.วางคานซอยผสมทั้งแนวตั้งและแนวนอน ซึ่งทำให้การวางผังคานโดยใช้แนวคิดฮิวริสติกส์ได้รูปแบบผังที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ดังต่อไปนี้



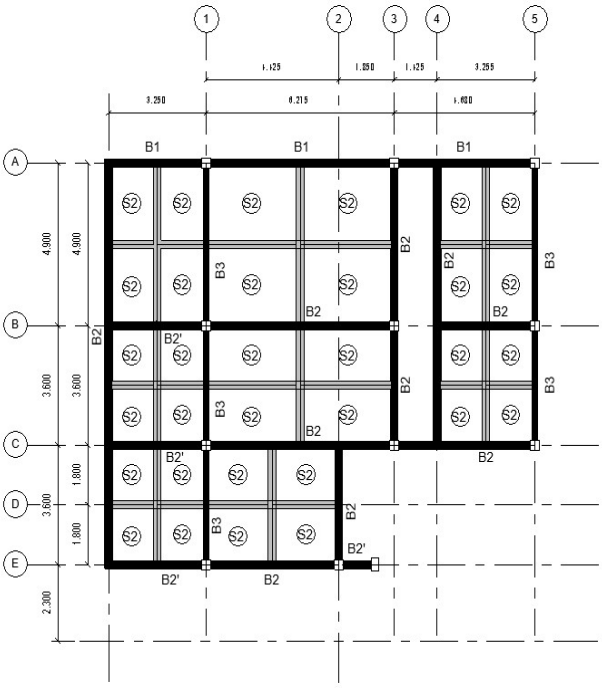
รูปที่ 3 ผังคานพื้นโครงสร้าง ชั้น 2 (แบบที่ 1)



รูปที่ 4 ผังคานพื้นโครงสร้างชั้น 2 (แบบที่ 2)



รูปที่ 5 ผังคานพื้นโครงสร้างชั้น 2 (แบบที่ 3)



รูปที่ 6 ผังคานพื้นโครงสร้างชั้น 2 (แบบที่ 4)

- ผังคานรูปแบบที่ 1 วางคานแบบเสาถึงเสา ไม่มีคานซอยโดยให้พื้นถ่ายแรง One Way (รูปที่ 3)
- ผังคานรูปแบบที่ 2 วางคานซอยแนวตั้งใน โดยให้พื้นถ่ายแรงเป็น One Way (รูปที่ 4)
- ผังคานรูปแบบที่ 3 วางคานซอยแนวนอน โดยให้พื้นถ่ายแรงเป็น One Way (รูปที่ 5)
- ผังคานรูปแบบที่ 4 วางคานซอยทั้งแบบตั้งและนอน โดยถ่ายแรงแบบ Two Way (รูปที่ 6)

เมื่อวางผังคานแล้ว คำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยา (Reaction) ไดอะแกรมแรงเฉือน (Shear Force Diagram : SFD) และไดอะแกรมโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram : BMD) ของผังคานแต่ละรูปแบบ ดังรูปที่ 7 รูปที่ 8 รูปที่ 9 และรูปที่ 10

แสดงตัวอย่างการคำนวณ คานขนาด 20×55 (รูปที่ 9) โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

1. หาน้ำหนักกระทำต่อคาน

Area Load

น้ำหนักพื้น = 2400 × 0.10 = 240 กก./ม^2. น้ำหนักผิวตกแต่ง = 2400 × 0.05 = 120 กก./ม^2.

น้ำหนักจร (บ้านพักอาศัย) = 150 กก./ม^2. น้ำหนักรวม = 510 กก./ม^2.

น้ำหนักรวม (Area Load) = 510 × (2.45) + 510 × (1.8) = 1,084 กก./ม.

Line Load

น้ำหนักคาน (20×40) = 2400 × 0.2 × 0.55 = 264 กก./ม. น้ำหนักผนัง (อิฐมวลเบา) = 100 × 3 = 300 กก./ม.

น้ำหนักรวม (Line Load) = 564 กก./ม. น้ำหนักรวม (Transfer Load) = 1,648 กก./ม.

2. หาแรงปฏิกิริยา แรงเฉือน และโมเมนต์ดัด

V_{max} = (1,648 × 6.275)/2 = 5,170 กก.

M_{max} = 0.5 × 3.18 × 5,170 = 8,111 กก.-ม.

M_c = (15.531 × 20 × 0.5^2) = 7,766 กก.-ม.

3.หาพื้นที่หน้าตัดรวมของเหล็ก

$M_1 = M_c$ = 7,766 กก.-ม.

$M_2 = M_{max} - M_1$ = 8,111-7,766 = 344 กก.-ม.

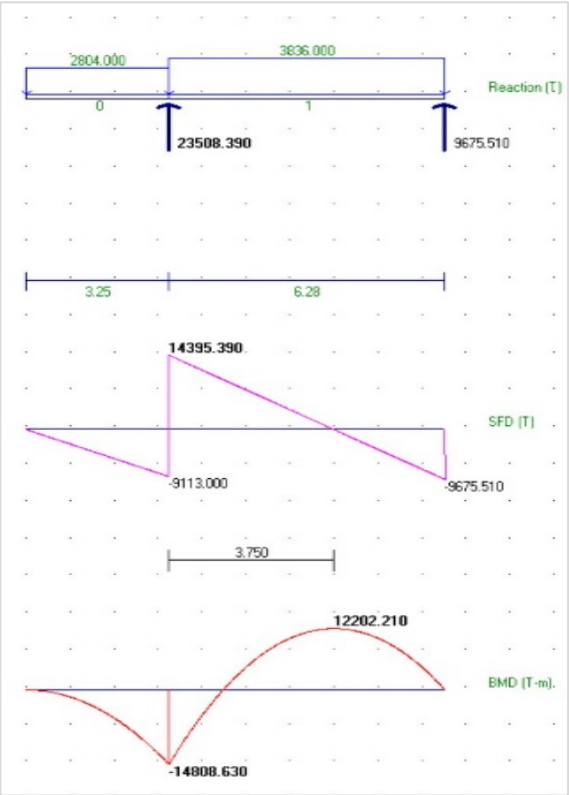
$$A_{s1} = \frac{M_2}{f_s(d - d')} = 7{,}766/(1{,}700 \times 0.899 \times 50) = 10.28 \text{ ตร.ซม.}$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_s(d - d')} = 344/1{,}700 \times (55\text{-}5) = 0.45 \text{ ตร.ซม.}$$

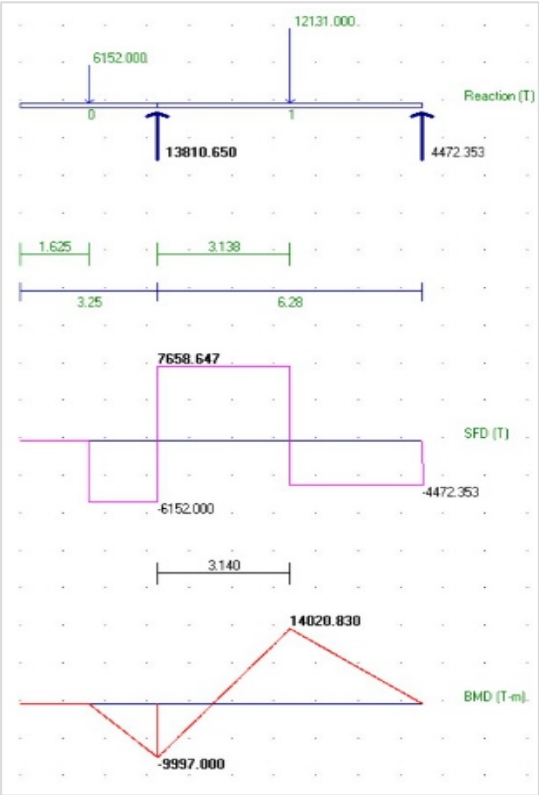
$A_s = A_{s1} + A_{s2}$ = 10.28+0.45 =10.73 ตร.ซม.

$$A_s' = \frac{1}{2} A_{s2} \frac{(1 - k)}{(k - \frac{d'}{d})} = 0.5 \times 0.45 \times (1\text{-}0.333)/(0.333\text{-}(5/55)) = 2.53 \text{ ตร.ซม.}$$

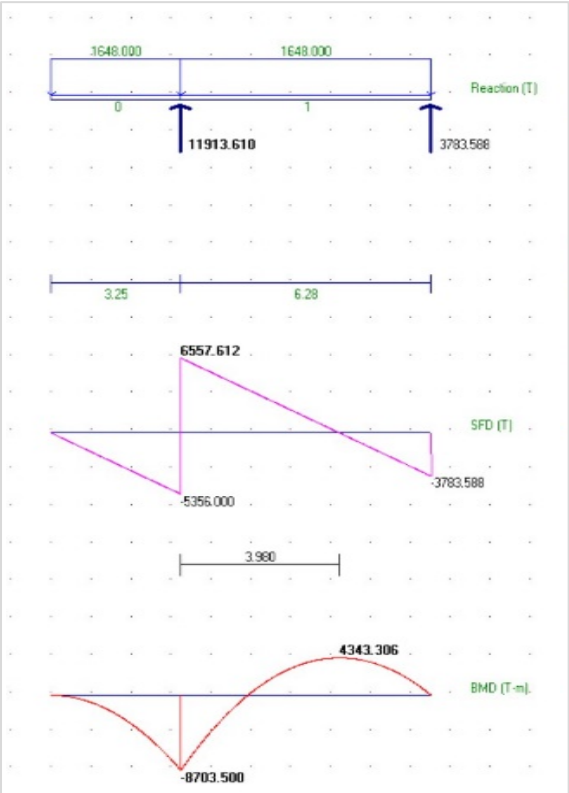
A_s รวม = 10.73 + 2.53 = 13.26 ตร.ซม.



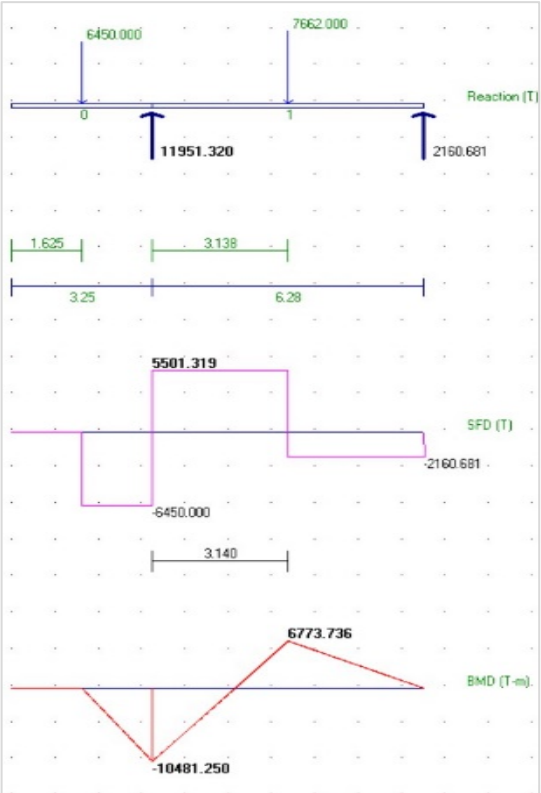
รูปที่ 7 REACTION SFD และ BMD ผังคานที่ 1



รูปที่ 8 REACTION SFD และ BMD ผังคานที่ 2



รูปที่ 9 REACTION SFD และ BMD ผังคานที่ 3



รูปที่ 10 REACTION SFD และ BMD ผังคานที่ 4

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อออกแบบร่างทางเลือก และร่างขั้นต้นแล้ว นำมาวิเคราะห์คำนวณค่าแรงปฏิกิริยา ไดอะแกรมแรงเฉือน และไดอะแกรมโมเมนต์ดัด ของผังคานแต่ละรูปแบบ ในขั้นตอนนี้จะได้แบบร่างทางเลือกที่ดีที่สุด แล้วจึงนำไปออกแบบหน้าตัดคาน ด้วยการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ ให้เป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบ เช่น ค่าหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต หน่วยแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริม โดยการพิจารณาค่าดังกล่าวให้เหมาะสมกับไดอะแกรมแรงเฉือน และไดอะแกรมโมเมนต์ดัด แล้วจึงทำการการออกแบบรายละเอียด ด้วยการกำหนดหน้าตัดคาน (พิจารณาเป็นอัตราส่วนความกว้างต่อความลึก) โดยใช้มาตรฐานของ ว.ส.ท. 1008-38 ในการออกแบบ ดังตารางที่ 1 พบว่า รูปแบบที่ 1 มีราคาต่ำสุดที่ 1,065 บาท รูปแบบที่ 2 มีราคาต่ำสุดที่ 969 บาท รูปแบบที่ 3 มีราคาต่ำสุดที่ 765 บาท และรูปแบบที่ 4 มีราคาต่ำสุดที่ 838 บาท จึงสรุปได้ว่า รูปแบบที่ 3 เป็นรูปแบบที่มีราคาต่ำที่สุด

ตารางที่ 1 ราคารวมงานโครงสร้างของผังคาน 4 รูปแบบ

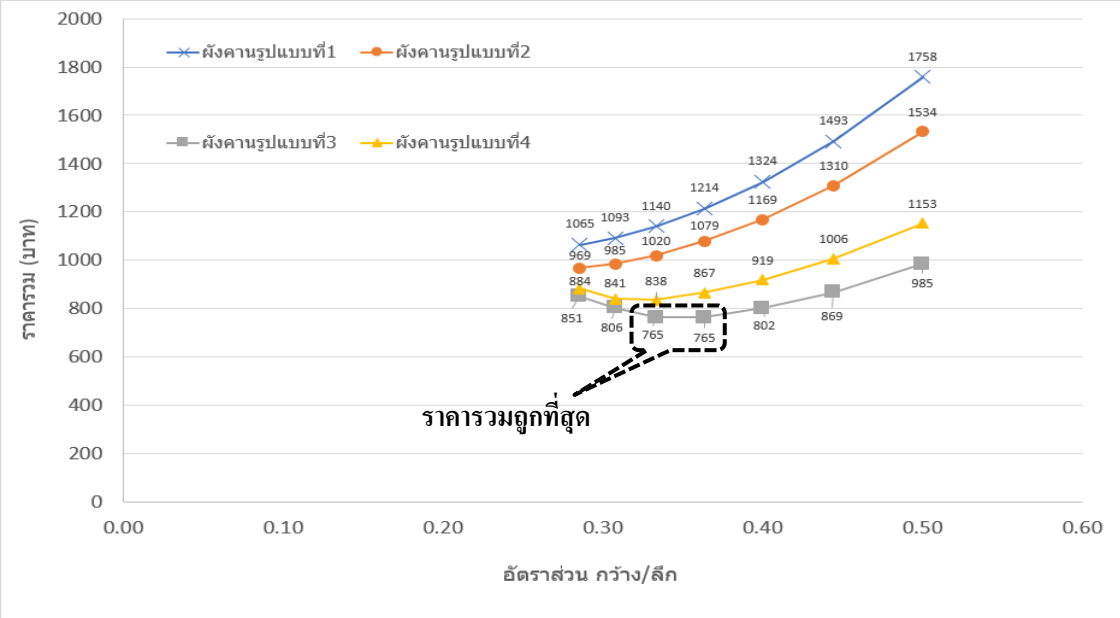
อัตราส่วน B/H	รูปแบบที่ 1				รูปแบบที่ 2				รูปแบบที่ 3				รูปแบบที่ 4			
	เหล็กเสริม	คอนกรีต	ไม้แบบ	ราคารวม	เหล็กเสริม	คอนกรีต	ไม้แบบ	ราคารวม	เหล็กเสริม	คอนกรีต	ไม้แบบ	ราคารวม	เหล็กเสริม	คอนกรีต	ไม้แบบ	ราคารวม
0.50	1394	184	180	1758	1170	184	180	1534	621	184	180	985	789	184	180	1153
0.44	1084	207	201	1493	902	207	201	1310	461	207	201	869	598	207	201	1006
0.40	869	230	225	1324	714	230	225	1169	347	230	225	802	464	230	225	919
0.36	709	253	251	1214	574	253	251	1079	260	253	251	765	362	253	251	867
0.33	584	276	280	1140	464	276	280	1020	209	276	280	765	282	276	280	838
0.31	483	299	311	1093	375	299	311	985	195	299	311	806	230	299	311	841
0.29	398	322	345	1065	302	322	345	969	184	322	345	851	217	322	345	884
Minimum				1065	Minimum			969	Minimum			765	Minimum			838

ตารางที่ 2 เป็นราคารวมงานโครงสร้างของผังคานรูปแบบที่ 3 ที่ประกอบด้วยราคาเหล็กเสริม ราคาคอนกรีต และราคาไม้แบบ พบว่าขนาดหน้าตัดคานกว้าง 20 ซม. ลึก 55 ซม. และ ลึก 60 ซม. เป็นหน้าตัดที่ให้ราคารวมเท่ากัน และเป็นหน้าตัดที่ประหยัดที่สุดของผังคานรูปแบบที่ 3

ตารางที่ 2 ราคารวมงานโครงสร้างของผังคานรูปแบบที่ 3

ขนาดหน้าตัดคาน (ซม)		อัตราส่วน	M_{max} (กก-ม)	M_c (กก-ม)	As (ตร.ซม)	ราคา (บาท)			ราคารวม (บาท)
กว้าง	ลึก					เหล็กเสริม	คอนกรีต	ไม้แบบ	
20	40	0.50	8323	3805	31.62	621	184	180	985
20	45	0.44	8450	4970	23.46	461	207	201	869
20	50	0.40	8576	6290	17.67	347	230	225	802
20	55	0.36	8703	7766	13.26	260	253	251	765
20	60	0.33	8830	9397	10.64	209	276	280	765
20	65	0.31	8957	11183	9.95	195	299	311	806
20	70	0.29	9083	13124	9.40	184	322	345	851
MINIMUM									765

เมื่อนำข้อมูลผังคานทั้ง 4 รูปแบบ มาหาความสัมพันธ์ระหว่าง ราคารวมกับอัตราส่วนกว้าง/ลึก เพื่อพิจารณาความเหมาะสม ระหว่างอัตราส่วนกับราคา ในรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่ามี 2 ค่า ซึ่งอยู่ในการวางผังคานรูปแบบที่ 3 โดยมีราคารวมของเหล็กเสริม คอนกรีต และไม้แบบ เท่ากับ 765 บาท ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ราคารวม กับอัตราส่วนกว้าง/ลึก

5. สรุปผลการวิจัย

เมื่อเปรียบเทียบแบบร่างทางเลือกของคานทั้ง 4 แบบ ที่ใช้แนวคิดฮิวริสติกส์ในการออกแบบ พบว่า การวางผังคานแบบที่ 3 คือวางคานแนวนอน โดยให้พื้นถ่ายแรงเป็นทางเดียว เป็นรูปแบบที่ดีที่สุด และหน้าตัดคานขนาด 20×55 ซม. และขนาด 20×60 ซม. เป็นหน้าตัดประหยัดที่สุดในราคา 765 บาท/เมตร สำหรับอาคารกรณีศึกษา ทั้งนี้เป็นเพราะแรงกระทำต่อคานเป็นแบบแรงกระจายแบบสม่ำเสมอ จึงส่งผลให้โมเมนต์ดัดสูงสุดมีค่าน้อยกว่า รูปแบบอื่น ๆ

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

วิศวกรผู้ออกแบบที่ยังขาดประสบการณ์สามารถนำแนวคิด และรูปแบบการพิจารณาแบบร่างทางเลือกไปช่วยในการออกแบบเบื้องต้นได้ ด้วยการนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ราคารวมกับอัตราส่วนกว้าง/ลึก ไปใช้ในการพิจารณาราคาที่เหมาะสมกับขนาดหน้าตัดคานขนาดต่าง ๆ

6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

หากจะทำให้การออกแบบครอบคลุมแนวคิดฮิวริสติกส์ เพื่อให้ได้รูปแบบที่ดีที่สุด และหน้าตัดคานที่เหมาะสมที่สุด ควรจะใช้ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) หรือโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programing) มาช่วยในการวิเคราะห์พิจารณาแบบร่างทางเลือก

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณ อาจารย์สุรพันธ์ สันติยานนท์ และเจ้าหน้าประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง ที่ให้คำแนะนำในกระบวนการทดสอบต่างๆ จนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Austin, S., Baldwin, A.N. and Steele, J. (2002). Improving building design through integrated planning and control, *Engineering Construction & Architectural Management*. 9, pp. 249–258.

[2] Qi, W. and Mimura, H. (2002). Streamline Geometry Optimization in Beam-Column Connection, *Journal of Structural Engineering*, 128.

[3] Sarma, K.C., Adeli, H. (1998). Cost optimization of concrete structures, *Journal of Structural Engineering*, 124, pp. 570-578.

[4] Chakrabarty, B. K. (1992). Model for Optimal Design of Reinforced Concrete Beam, *Journal of Structural Engineering,* 118, pp. 447-451.

[5] Assanai Tapown, Jakrapan Wongpa, Alongkorn Lamom, and Raungrut Cheerarot (2556). Optimum Design of Reinforced Concrete Biaxial Rectangular Column using Simulated Annealing Algorithm, *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.* ปีที่ 36 ฉบับที่ 1.

[6] Rafig, M.Y. (1995). Genetic algorithms in optimum design, capacity check and final detailing of reinforced concrete columns. *Transactions on the Built Environment*, 13.

[7] Irias, X. J. (2011). Applying Heuristics to Civil Engineering, *First International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis and Management (ICVRAM 2011); and Fifth International Symposium on Uncertainty Modeling and Anaylsis (ISUMA),* April 11-13, Maryland, United States.

[8] Jones, H.L. (1985). Minimum Cost Prestressed Concrete Beam Design, *Journal of Structural Engineering*, 111.

[9] Estrada, H., Jimenez, J.J., Aguíñiga, F. (2006). Cost Analysis in the Design of Open-Web Castellated Beams, *Architectural Engineering Conference (AEI),* March 29-April 1, Nebraska, United States.

[10] Saouma, V.E., Murad, R.S. (1984). Prestressed Concrete Beam Optimization, *Journal of Structural Engineering*, 110.

การศึกษาค่ากระแสแครงกิ้งเย็นของแบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่ว-กรด

THE STUDY OF A COLD CRANKING AMP FOR AN AUTOMOTIVE LEAD-ACID BATTERY

วิทวัส ศรีสวัสดิ์กุล

นักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: vistavas.sr@gmail.com

อดุลย์ พัฒนภักดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

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

เผชิญ จันทร์สา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

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

บทคัดย่อ

แบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่วกรดเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ แบตเตอรี่มีหน้าที่หลักที่สำคัญที่สุดเพื่อใช้สำหรับการสตาร์ทรถยนต์ โดยค่ากระแสแครงกิ้งเย็นคือคุณสมบัติที่จำเป็นที่สุดสำหรับการสตาร์ทรถยนต์ นอกจากนี้การสำรองไฟสำหรับอุปกรณ์อำนวยความสะดวกอื่นๆ หรือการสำรองไฟสำหรับใช้งานในขณะที่เครื่องยนต์หรือระบบประจุไฟไม่ทำงานก็เป็นอีกหน้าที่หนึ่งของแบตเตอรี่ที่ต้องคำนึงถึง การสำรองไฟของแบตเตอรี่จะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความจุข8องแบตเตอรี่

บทความนี้ทำการศึกษาและประมาณค่าความสัมพันธ์ของค่ากระแสแครงกิ้งเย็นกับค่าแอมป์-ชั่วโมงของแบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่วกรด จากการเก็บข้อมูลของแบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่วกรดของศูนย์บริการยานยนต์แห่งหนึ่งในช่วงเดือนมกราคม-พฤษภาคม 2562 โดยทำการทดสอบเก็บข้อมูลรถยนต์ชนิดเดียวกัน และแบตเตอรี่รถยนต์แบรนด์เดียวกัน โดยแบ่งเป็นแบตเตอรี่ขนาด 50 แอมป์-ชั่วโมง จำนวน 8 ข้อมูล แบตเตอรี่ขนาดความจุ 65 แอมป์-ชั่วโมงจำนวน 13 ข้อมูล และ แบตเตอรี่ขนาดความจุ 80 แอมป์-ชั่วโมง จำนวน 7 ข้อมูล

จากผลการเก็บข้อมูล และการประมาณค่าแบบ least square regression เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสแครงกิ้งเย็นหรือกระแสซีซีเอ (CCA)กับค่าแอมป์-ชั่วโมง (Ah) ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์เป็น CCA = - 114.2´ 10.62Ah

คำสำคัญ: แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด กระแสแครงกิ้ง เย็น แอมป์-ชั่วโมง

ABSTRACT

The lead-acid battery is the primary source of electrical energy used in vehicles. Starting the car is the battery's most important function. Electricity from the battery is used to operate the motor start and to provide current (Cold Cranking Amp: CCA) for the ignition system during engine cranking. The battery is not only used to operate the motor start but the battery is used to operate lighting, accessories, or other equipment when the engine is not running. The battery Amp-hour (Ah) is the amount of current a fully charged battery can supply for a car when the engine is off.

In this study, the relation between the Cold Cranking Amp and the Amp-hour of a lead-acid battery is investigated. The amount of 50Ah-batts 8 data, 65Ah-batts 13 data, and 80Ah-batts 7 data, had been collected from the car service center during January 2019 -May 2019.

The result from the Least square regression analysis show that the relation between the Cold Cranking Amp **(CCA)** and the Amp-hour **(Ah)** of a lead-acid battery is CCA = - 114.2´ 10.62Ah

Keywords: Lead-Acid Battery, Cold Cranking Amp (CCA), Amp-Hr,

1. บทนำ

แบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่ว-กรดเป็นอุปกรณ์จัดเก็บไฟฟ้าที่ใช้ปฏิกิริยาทางเคมีที่ผันกลับได้ในการจัดเก็บพลังงาน เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟเข้าไปใหม่ได้ แบตเตอรี่รถยนต์มีหน้าที่หลักที่สำคัญที่สุดสำหรับการสตาร์ทรถยนต์ในตอนเริ่มต้น โดยค่ากระแสแครงกิ้งเย็นหรือกระแสซีซีเอคือคุณสมบัติที่จำเป็นที่สุดสำหรับการสตาร์ทรถยนต์ นอกจากนี้การสำรองไฟสำหรับอุปกรณ์อำนวยความสะดวกอื่นๆ หรือการสำรองไฟสำหรับใช้งานในขณะที่เครื่องยนต์ดับ ก็เป็นอีกหน้าที่หนึ่งของแบตเตอรี่ที่ต้องคำนึงถึง การสำรองไฟของแบตเตอรี่จะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ที่เราเรียกว่าแอมป์-ชั่วโมง (Amp-Hour)

กระแสแครงกิ้งเย็นเป็นความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดสำหรับสตาร์ทเครื่องยนต์ ทั้งนี้บริษัทผู้ผลิตส่วนใหญ่ไม่ได้มีการระบุค่ากระแสแครงกิ้งเย็นที่แท้จริง มีพียงการระบุความจุของแบตเตอรี่ที่เราเรียกว่าแอมป์-ชั่วโมงเท่านั้น โดยทั่วไปค่าของกระแสแครงกิ้งเย็นจะมากขึ้นเมื่อค่าแอมป์-ชั่วโมงของแบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างค่ากระแสแครงกิ้งเย็นกับค่าแอมป์-ชั่วโมง และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รวมทั้งเปอร์เซ็นการประจุไฟของแบตเตอรี่ จึงเป็นที่มาในการศึกษาในครั้งนี้เพื่อหาความสัมพันธ์ดังกล่าว

2. วัตถุประสงค์

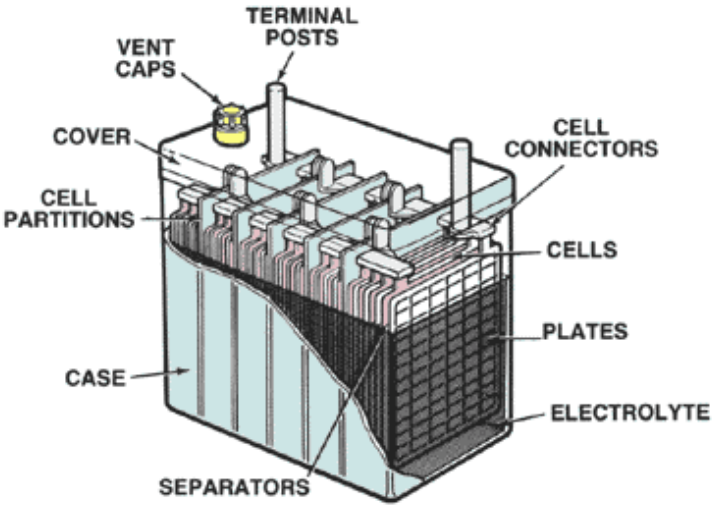
(1) เพื่อตรวจวัดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่รถยนต์

(2) เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่ากระแสแครงกิ้งเย็นและความจุของแบตเตอรี่ จากการวิเคราะห์ข้อมูล

3. ทฤษฎีและข้อมูลพื้นฐาน

3.1 ส่วนประกอบหลักและคุณสมบัติที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่ว-กรดเป็นอุปกรณ์จัดเก็บไฟฟ้าที่ใช้ปฏิกิริยาทางเคมีที่ผันกลับได้ในการจัดเก็บพลังงาน เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟเข้าไปใหม่ได้ โดยส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่ว-กรด ประกอบไปด้วย ตัวเรือนแบตเตอรี่ (CASE)ที่ทำด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนและแข็งแรง ภายในบรรจุด้วยเซลล์แบตเตอรี่จำนวน 6 เซลล์(CELLS)ต่ออนุกรมกัน โดยแต่ละเซลล์จะประกอบไปด้วย แผ่นธาตุบวกที่มีส่วนประกอบเป็นตะกั่วเปอร์ออกไซด์ และแผ่นธาตุลบที่มีส่วนประกอบเป็นตะกั่วบริสุทธิ์หรือตะกั่วพรุน แต่ละเซลล์แยกออกจากกันโดยใช้แผ่นกั้นเซล (CELL PARTITIONS) เซลล์แบตเตอรี่ทั้งหมดถูกบรรจุในตัวเรือนแบตเตอรี่ที่มีสารละลาย (ELECTROLITE) ที่ได้จากการผสมของน้ำและกรดซัลฟูริค (SULFURIC ACID)อยู่ภายใน และปิดด้วยฝาครอบ (COVER) สำหรับส่วนประกอบที่อยู่เหนือฝาครอบจะประกอบไปด้วยขั้วบวกขั้วลบ (TERMINAL POSTS) ที่ทำจากแท่งตะกั่วกลมโดยทั่วไปขั้วบวกจะมีขนาดที่โตกว่าขั้วลบ สำหรับกรณีที่เป็นแบตเตอรี่แบบเปียกจะมีฝาหรือจุก (VENT CAPS) สำหรับเติมสารละลาย เท่ากับจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ โดยที่แต่ละฝาจะมีรูเล็กๆ สำหรับระบายกาซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นเมื่อทำการประจุแบตเตอรี่ [1]



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่ว-กรด

สำหรับแบตเตอรี่รถยนต์ โดยทั่วไป จะมีคุณสมบัติที่สำคัญที่จำเป็นสำหรับการสตาร์ทรถยนต์ และการสำรองไฟฟ้าไว้ใช้ในกรณีที่ดับเครื่องยนต์ ประกอบไปด้วย กระแสเครงกิ้งเย็นหรือกระแสซีซีเอ และค่าแอมป์-ชั่วโมง

กระแสแครงกิ้งเย็นหรือกระแสซีซีเอ คือค่ากระแสไฟฟ้า สูงสุดที่สามารถทำได้ในการจ่ายค่ากระแสไฟฟ้า ภายใน 30 วินาที โดยที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ไม่ลดลงต่ำกว่า 7.2 โวลต์ ที่ ศูนย์องศาฟาเรนไฮต์ [2]

แอมป์-ชั่วโมง หมายถึงค่าจำนวนกระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ประจุเต็มสามารถจ่ายได้ 20 ชั่วโมง โดยที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าไม่ลดลงต่ำกว่า 10.5 โวลต์ เช่นแบตเตอรี่ขนาด 80 แอมป์-ชั่วโมง ก็จะสามารถจ่ายกระแสได้ 4 แอมป์ เป็นเวลา 20 ชั่วโมง

3.2 การประมาณค่าความสัมพันธ์แบบ Least Square Regression

การประมาณค่าสมการของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยวิธี Least-Squares Regression เป็นรูปแบบการหาความสัมพันธ์ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย วิธีการประมาณค่าการแบบนี้ สมการที่ได้ไม่จำเป็นต้องผ่านข้อมูลทุกจุด เพียงแต่กำลังสองของค่าความผิดพลาด (error) ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ประมาณขึ้นต้องมีผลรวมน้อยที่สุด โดยการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสม [3] ถ้ากำหนดให้ y แทนค่าของข้อมูลแท้จริง และ y_c แทนค่าของข้อมูลจากการประมาณค่า และ D แทนค่าของกำลังสองของค่าความผิดพลาด

$$y_c = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \ldots + a_m x^m \qquad \ldots(1)$$

$$\mathrm{D} = \sum_{i=1}^{N} \left(y_i - (a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \ldots + a_m x^m \right)^2 \qquad \ldots(2)$$

การประมาณค่าโดยวิธี Least Square Regression ต้องทำให้ D มีค่าน้อยที่สุดนั่นคือ

$$dD = \frac{\partial D}{\partial a_0} da_0 + \frac{\partial D}{\partial a_1} da_1 + \frac{\partial D}{\partial a_3} da_3 + \ldots + \frac{\partial D}{\partial a_m} da_m = 0 \qquad \ldots(3)$$

สำหรับการประมาณค่าเป็นสมการเส้นตรง $y_c = a_0 + a_1 x$ จากสมการที่ (3) เราได้

$$\frac{\partial D}{\partial a_0} = \frac{\partial}{\partial a_0}\left(\sum_{i=1}^{N} \left(y_i - (a_0 + a_1 x_i \right)^2 \right) = -2\sum_{i=1}^{N} \left(y_i - (a_0 + a_1 x_i \right) = 0 \qquad \ldots(4)$$

$$\frac{\partial D}{\partial a_1} = \frac{\partial}{\partial a_1}\left(\sum_{i=1}^{N} \left(y_i - (a_0 + a_1 x_i \right)^2 \right) = -2\sum_{i=1}^{N} \left(y_i - (a_0 + a_1 x_i) \right) x_i = 0 \qquad \ldots(5)$$

จากสมการที่ (4)และ (5) สามารถหาระบบสมการ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ ได้จากความสัมพันธ์

$$a_0 N + a_1 \sum x_i = \sum y_i \qquad \ldots(6)$$

$$a_0 \sum x_i + a_1 \sum x_i^2 = \sum x_i y_i \qquad \ldots(7)$$

4. วิธีการทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 วิธีการทดสอบเก็บข้อมูล

4.1.1 ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์วิเคราะห์แบตเตอรี่เข้ากับแบตเตอรี่ของรถยนต์ โดยต่อสายสีแดงเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ และต่อสายสีดำเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่

รูปที่ 2 แสดงการเชื่อมต่อขั้วแบตเตอรี่กับเครื่องมือวัด

4.1.2 ทำการเลือกแรงดันของแบตเตอรี่ที่จะทำการทดสอบ (โดยเลือกขนาดแรงดันของแบตเตอรีเป็นขนาด 12V) และทำการเลือกการทดสอบแบตเตอรีแบบไม่ติดเครื่องยนต์

รูปที่ 3 แสดงการระบุขนาดและเลือกรูปแบบการทดสอบแบตเตอรี่

4.1.3 ระบุประเภทของแบตเตอรี่ ซึ่งประเภทที่ทำการทดสอบเป็นแบบปกติ และระบุรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น CCA และเลือกทดสอบที่อุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาเซลเซียส

รูปที่ 4 แสดงการเลือกประเภทของแบตเตอรี่และรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลและอุณหภูมิทดสอบ

4.1.4 รอเครื่องมือทำการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลผล จนกว่าเครื่องจะแสดงผลการวิเคราะห์ จึงทำการบันทึกผลการทดสอบ

รูปที่ 5 แสดงการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลของเครื่องมือวัด

4.2 ผลการทดสอบเก็บข้อมูล

จากการเก็บข้อมูลของแบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่วกรดของศูนย์บริการยานยนต์แห่งหนึ่งช่วงเดือนมกราคม-พฤษภาคม 2562 โดยทำการทดสอบเก็บข้อมูลรถยนต์ชนิดเดียวกัน และแบตเตอรีรถยนต์แบรนด์เดียวกัน โดยแบ่งเป็นแบตเตอรี่ขนาด 50 แอมป์-ชั่วโมง จำนวน 8 ข้อมูล แบตเตอรี่ขนาด 65 แอมป์-ชั่วโมงจำนวน 13 ข้อมูล และแบตเตอรี่ขนาด 80 แอมป์-ชั่วโมง จำนวน 7 ข้อมูล ได้ผลการเก็บข้อมูลดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 1 แสดงค่าของข้อมูลสำหรับแบตเตอรี่ขนาด 50 แอมป์-ชั่วโมง(B24 50Ah)

Car Model	กระแสแครงกิ้งเย็น (CCA : แอมป์)	อายุการใช้งาน (T: เดือน)	แรงดันไฟฟ้า (V:โวลต์)	สถานะการประจุ (Q : %)
Mazda 2:2018	47	2	9.19	0
Mazda 2:2018	524	2	12.43	79
Mazda 2:2016	378	4	12.64	85
Mazda 2:2018	370	5	12.78	90
Mazda 2:2018	510	8	12.42	95
Mazda 2:2018	346	10	12.65	75
Mazda 2:2017	352	14	11.71	0
Mazda 2:2015	336	15	12.45	80

พิจารณาจากข้อมูลในตารางที่ 1 เมื่อทำการประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแครงกิ้งเย็นและอายุการใช้งาน สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 50 แอมป์-ชั่วโมงโดยใช้สมการที่ 6 และ 7 จะได้ความสัมพันธ์เป็น CCA=481.76-9.6T และค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแครงกิ้งเย็นและสถานะการประจุจะได้ความสัมพันธ์เป็น CCA=71.6+4.03Q (โดยใช้เฉพาะข้อมูลที่มีแรงดันไฟฟ้าในช่วง 12-12.9 โวลต์ สำหรับการประมาณค่า)

ตารางที่ 2 แสดงค่าของข้อมูลสำหรับแบตเตอรี่ขนาด 65 แอมป์-ชั่วโมง(D23 65Ah)

Car Model	กระแสแครงกิ้งเย็น (CCA : แอมป์)	อายุการใช้งาน (T: เดือน)	แรงดันไฟฟ้า (V:โวลต์)	สถานะการประจุ (Q : %)
Mazda 2D:2017	300	15	11.84	5
Mazda 2D:2018	678	2	12.53	100
Mazda 2D:2018	587	5	12.62	100
Mazda 3:2016	659	13	12.91	85
Mazda 3:2017	312	14	12.92	60
Mazda 3:2017	422	14	12.29	80
Mazda 3:2018	528	5	12.48	85
Mazda 3:2018	483	3	11.95	19
MazdaCX- 3:2017	377	13	12.5	65
MazdaCX- 3:2018	603	7	12.23	54
MazdaCX- 3:2018	487	18	12.58	85
MazdaCX- 3:2018	133	4	11.10	0
MazdaCX- 5:2017	500	16	12.65	100

พิจารณาจากข้อมูลในตารางที่ 2 เมื่อทำการประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแครงกิ้งเย็นและอายุการใช้งาน สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 65 แอมป์-ชั่วโมงโดยใช้สมการที่ 6 และ 7 จะได้ความสัมพันธ์เป็น

CCA=622.18-12.24T และค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแครงกิ้งเย็นและสถานะการประจุจะได้ความสัมพันธ์เป็น CCA=334.6+2.29Q (โดยใช้เฉพาะข้อมูลที่มีแรงดันไฟฟ้าในช่วง 12-12.9 โวลต์ สำหรับการประมาณค่า)

ตารางที่ 3 แสดงค่าของข้อมูลสำหรับแบตเตอรี่ขนาด 80 แอมป์-ชั่วโมง(D31 80Ah)

Car Model	กระแสแครงกิ้งเย็น (CCA : แอมป์)	อายุการใช้งาน (T: เดือน)	แรงดันไฟฟ้า (V:โวลต์)	สถานะการประจุ (Q : %)
Mazda Cx-5D:2018	813	2	12.52	100
Mazda Cx-5D:2018	627	5	12.26	80
Mazda Cx-5D:2018	813	5	12.52	100
Mazda Cx-5D:2018	761	15	12.49	86
Mazda3 Cx-5D:2018	461	15	12.92	55
Mazda2 Cx-5D:2018	591	17	12.62	60
Mazda2 Cx-5D:2018	461	17	12.92	55

พิจารณาจากข้อมูลในตารางที่ 3 เมื่อทำการประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแครงกิ้งเย็นและอายุการใช้งาน สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 80 แอมป์-ชั่วโมงโดยใช้สมการที่ 6 และ 7 จะได้ความสัมพันธ์เป็น CCA=820.45-16T และค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแครงกิ้งเย็นและสถานะการประจุจะได้ความสัมพันธ์เป็น CCA=81.68+7.38Q (โดยใช้เฉพาะข้อมูลที่มีแรงดันไฟฟ้าในช่วง 12-12.9 โวลต์ สำหรับการประมาณค่า)

พิจารณาจากข้อมูลในตารางที่1- 3 เมื่อทำการประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแครงกิ้งเย็นกับขนาดแอมป์-ชั่วโมง (Ah) ของแบตเตอรี่โดยใช้สมการที่ 6 และ 7 โดยใช้เฉพาะข้อมูลที่มีแรงดันไฟฟ้าในช่วง 12-12.9 โวลต์ สำหรับการประมาณค่าจะได้ความสัมพันธ์เป็น CCA = - 114.2´ 10.62Ah

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการเก็บข้อมูลของแบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่วกรด และทำการประมาณค่าแบบ least square regression เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสแครงกิ้งเย็นหรือกระแสซีซีเอ (CCA)กับค่าแอมป์-ชั่วโมง (Ah) จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์เป็น CCA = - 114.2´ 10.62Ah

เมื่อพิจารณาประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแครงกิ้งเย็นและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่วกรด พบว่าค่าของกระแสแครงกิ้งเย็นมีค่าลดลงตามความสัมพันธ์

CCA=481.76-9.6T สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 50 แอมป์-ชั่วโมง

CCA=622.18-12.24T สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 65 แอมป์-ชั่วโมง

CCA=820.45-16T สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 80 แอมป์-ชั่วโมง

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแครงกิ้งเย็นกับสถานการณ์ประจุของแบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่วกรด จะได้ตามความสัมพันธ์

CCA=71.6+4.03Q สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 50 แอมป์-ชั่วโมง

CCA=334.6+2.29Q สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 65 แอมป์-ชั่วโมง

CCA=81.68+7.38Q สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 80 แอมป์-ชั่วโมง

จากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแครงกิ้งเย็นกับสถานการประจุของแบตเตอรี่ และสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแครงกิ้งเย็นและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ทำให้เราสามารถประมาณการอายุการใช้งานของแบตเตอรี่รถยนต์แบบตะกั่วกรดได้

ยกตัวอย่างสำหรับแบตเตอรี่ขนาด 65 แอมป์-ชั่วโมง เมื่อ Q = 25 เปอร์เซ็นต์ (สถานะการประจุต่ำสุดที่ยังสามารถสตาร์ทรถยนต์ได้) จากสมการ CCA=334.6+2.29*25 = 391.85 แทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแครงกิ้งเย็นและอายุการใช้งานจะได้ 391.85=622.18-12.24T จะได้อายุการใช้งาน T= 18.8 เดือน

อย่างไรก็ตามสมการประมาณค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจะมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นจำเป็นต้องเก็บข้อมูลให้มีจำนวนมากขึ้นทั้งจำนวนชนิดของรถยนต์ที่ใช้ ขนาดของแบตเตอรี่ ตลอดจนแบรนด์ของแบตเตอรี่

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Battery Basics. [Online Instruction]. Available: http://www.auto101.com (26 ตุลาคม 2562)

[2] William H. Crouse & Donald L. Anglin, “Automotive Mechanics” Tata Mc Graw-Hill Publishing editions 2007, pp. 354-355

[3] Richard S. Figliola & Donald E. Beasley , Theory and Design for Mechanical Measurement” 5th edition s John Wiley and Sons, 2011, pp. 149-158

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และชนิดปลายแฉก

LIGHTNING ROD PERFORMAMANCE COMPARISON BETWEEN BLUNT AIR TERMINAL AND MULTI AIR TERMINATOR

สาธิต มาเฮง
นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: satit.mae@spumail.net
สำเริง ฮินท่าไม้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: samroeng.hi@spu.ac.th
นิมิต บุญภิรมย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: nimit.bo@spu.ac.th
กษิเดช ทิพอมรวิวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: kasidej.ti@gmail.com

บทคัดย่อ

ในบทความนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และชนิดปลายแฉก โดยพิจารณาค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิด, U_i ด้วยการทดสอบด้วยแรงดันสูงกระแสตรงขั้วลบ และค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์, $U_{50\%}$ ด้วยการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าขั้วลบและขั้วบวก ที่เวลาหน้าคลื่นเท่ากับ 1.2/50 μS ภายในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง โดยการจำลองก้อนเมฆด้วยแผ่นโลหะขนาด 6x6 เมตร ห่างจากปลายตัวนำล่อฟ้า 2 เมตร จากผลการทดลองเมื่อทำการจ่ายแรงดันสูงกระแสตรงขั้วลบเข้าไปที่แผ่นโลหะด้วยการปรับแรงดันให้มีค่าเพิ่มขึ้น พบว่าค่า แรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแฉกจะมีค่าต่ำกว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่ ส่วนในกรณีทำการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าขั้วลบและขั้วบวกให้กับแผ่นโลหะ พบว่า แรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแฉกจะมีค่าต่ำกว่าปลายทู่ และแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ขั้วลบหรือตัวนำล่อฟ้าขั้วบวกจะมีค่าต่ำกว่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ขั้วบวกหรือตัวนำล่อฟ้าขั้วลบ ดังนั้นจากผลการทดลองจะสอดคล้องกับภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ และช่วยให้เข้าใจถึงประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ตัวนำล่อฟ้า ประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้า แรงดันโคโรน่าเริ่มเกิด แรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์

ABSTRACT

This paper presents the lightning rod performance comparison between blunt air terminal and multi air terminal by focus on the initial corona voltage value, U_i using high voltage direct current test for negative polarity and the breakdown impulse voltage value, $U_{50\%}$ using lightning impulse test for the negative and positive polarity of 1.2/50 µS standard wave simulating inside the high voltage laboratory. A metal screen, 6x6 m simulating cloud was placed above the device at 2 m air gap. When supplying the high voltage direct current for negative polarity to the metal screen and adjusting voltage increase, found that the initial corona voltage value of the multi air terminal is lower than the blunt air terminal. In the case of lightning impulse test both negative and positive polarity energize to the metal sheet found the breakdown impulse voltage value of the multi air terminal is lower than the blunt air terminal. Moreover, the lightning impulse test results found the breakdown impulse voltage in the case of the metal screen was energized with the negative lightning impulse lower than the positive lightning impulse. Finally, the test results provide a better understanding of the lightning protection device's electrical performance.

Keywords: Air Terminal Device, Air Terminal Device Effectiveness, Initial Corona Voltage, Breakdown Impulse Voltage.

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศเขตร้อนชื้นที่มีอัตราการเกิดฝนฟ้าคะนองค่อนข้างสูง ฟ้าผ่าจึงเป็นภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นอย่างไม่แน่นอนและมีความซับซ้อน ปัจจุบันอาคารสำนักงานและสิ่งปลูกสร้างมีความสูงเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันฟ้าผ่า เพื่อลดความเสี่ยงต่อการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน ทั้งนี้อันตรายจากฟ้าผ่าอาจเกิดขึ้นจาก 3 สาเหตุด้วยกันคือ ความร้อน แรงกลหรือแรงระเบิด และผลทางไฟฟ้า ซึ่งความร้อนจะเป็นเหตุให้เกิดเพลิงไหม้ แรงระเบิดเป็นผลทำให้สิ่งที่ถูกผ่าพังทะลายได้และผลทางไฟฟ้าอาจเป็นอันตรายแก่ทั้งชีวิตคนและสัตว์ ระบบป้องกันฟ้าผ่าจึงมีไว้ เพื่อเป็นทางผ่านของกระแสฟ้าผ่าลงสู่พื้นดิน แต่ไม่สามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากการฟ้าผ่าได้ทั้งหมด การเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการเลือกใช้ตัวนำล่อฟ้า ซึ่งในปัจจุบันตัวนำล่อฟ้ามีรูปทรงอยู่หลากหลาย เช่น ปลายแหลม ปลายทู่และปลายแฉก และที่ผ่านมา C.B.Moore และคณะ(2000) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับรูปทรงของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า เพื่อทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการป้องกันฟ้าผ่าทางกายภาพของตัวนำล่อฟ้ารูปทรงต่างๆ ผลจากการวัดและการคำนวณชี้ให้เห็นว่า ตัวนำล่อฟ้าแบบแฟลงคลินชนิดปลายทู่นั้นดีกว่ารูปทรงอื่นๆ ซึ่งข้อมูลที่ได้ G. Berger (1993) เป็นผลการทดลองในห้องปฏิบัติการนี้ และสามารถนำไปใช้เพื่อประเมินปริมาณการปล่อยประจุจากอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่านอกจากนี้ นอกจากนี้ S. Grzybowski และคณะ(2005, 2007 และ 2008) ได้นำเสนอการศึกษาทดลองการปล่อยกระแสไฟฟ้าจากอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน ผลกระทบของประจุค้างต่อประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ล่อฟ้าจะมีสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับอีกหลายปัจจัยด้วยกัน ซึ่งปัจจัยเหล่านั้นรวมถึงรูปทรงของอุปกรณ์ล่อฟ้า ภูมิประเทศ ขั้วของประจุในก้อนเมฆ อุณหภูมิ ความดัน และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศรอบๆ ประจุค้างที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์ ล่อฟ้า จะมีผลโดยตรงกับการกระจายสนามไฟฟ้าและระยะโจมตีของลำกระแสฟ้าผ่า

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และปลายแฉก โดยทำการทดสอบเพื่อหาค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดและค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นโลหะ(แทนก้อนเมฆ)กับตัวนำล่อฟ้าภายใต้สภาวะการจำลองการเกิดฟ้าผ่าภายในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งในการหาค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้า จะทำการทดสอบด้วยแรงดันสูงกระแสตรงขั้วลบเข้าไปที่แผ่นโลหะ แล้วทำการบันทึกด้วยกล้องตรวจวัด โคโรน่าดิสชาร์จ ส่วนการทดสอบหาค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ จะทำการทดสอบด้วยเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ฟ้าผ่าทั้งรูปคลื่นขั้วลบและขั้วบวก ที่เวลาหน้าคลื่นเท่ากับ 1.2/50 μS แล้วทำการวัดค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคปโดยผ่านโวลเตจดิไวเดอร์(Voltage Divider)

2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และปลายแฉก

2.2 เพื่อศึกษาเวลาล่าช้าของการเบรกดาวน์(Time Lag Breakdown), ของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และปลายแฉก

2.3 เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และปลายแฉก

3. การออกแบบการทดสอบประสิทธิภาพของตัวนำฟ้าผ่า

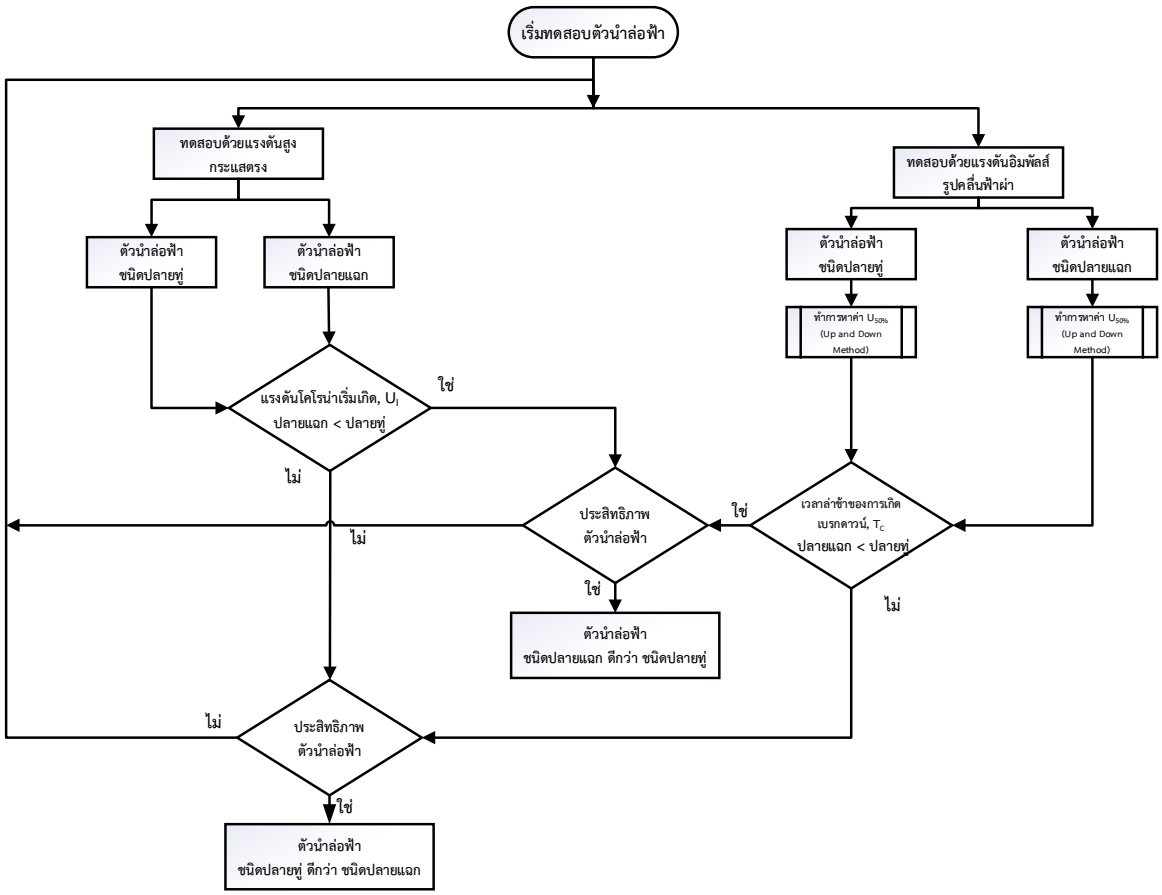
3.1 ทดสอบตัวนำล่อฟ้า

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดสอบตัวนำล่อฟ้าที่นิยมใช้กันในปัจจุบันคือ ตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และชนิดปลายแฉก ซึ่งตัวนำล่อฟ้าทั้ง 2 ชนิดมีขนาด 5/8” ดังแสดงตามในรูปที่ 1 และการออกแบบขั้นตอนการทดสอบตามในรูปที่ 2

ก) ปลายทู่

ข) ปลายแฉก

รูปที่ 1 ตัวนำล่อฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 2 การออกแบบขั้นตอนการทดสอบตัวนำล่อฟ้า

3.2 การทดสอบประสิทธิภาพตัวนำล่อฟ้าในห้องปฏิบัติการ

ในการทดสอบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้า จะใช้แผ่นโลหะขนาด 6x6 เมตร จำลองแทนก้อนเมฆ ติดตั้งสูงจากปลายล่อฟ้า 2 เมตร และทำการทดสอบหาค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดและแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ของตัวนำล่อฟ้า ดังนี้

3.2.1 แรงดันโคโรน่าเริ่มเกิด (Initial Corona Voltage)

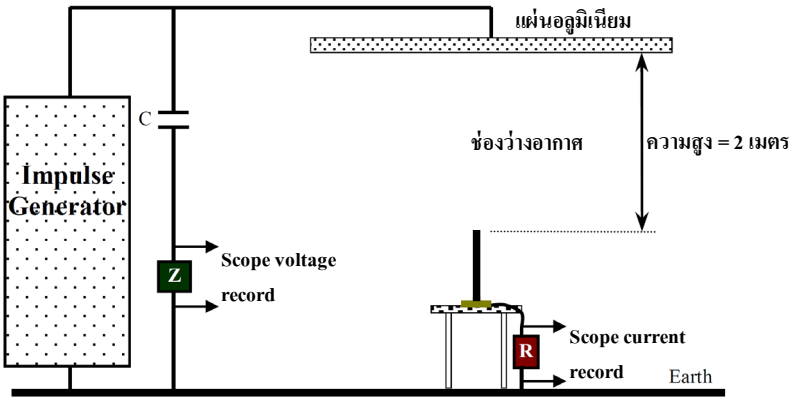
ในการทดสอบหาค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้า จะทำการทดสอบด้วยแรงดันสูงกระแสตรงขั้วลบเข้าไปที่แผ่นโลหะ ด้วยการปรับแรงดันให้มีค่าเพิ่มขึ้นจากแรงดัน 100, 150, 200, 250 และ 300 kV ดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 3 การทดสอบแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้า
ด้วยเครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรงขั้วลบ

3.2.2 แรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์(Breakdown Impulse voltage)

ในทดสอบหาค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ระหว่างแผ่นโลหะกับตัวนำล่อฟ้า จะทำการทดสอบด้วยเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ฟ้าผ่า โดยทดสอบทั้งรูปคลื่นฟ้าผ่าขั้วลบและขั้วบวก ด้วยเวลาหน้าคลื่นเท่ากับ 1.2/50 μS แล้วทำการวัดค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคปโดยผ่านโวลเตจดิไวเดอร์(Voltage Divider) ดังแสดงในรูปที่ 4

ก) ทดสอบด้วยเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ฟ้าผ่า



ข) วงจรทดสอบด้วยเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ฟ้าผ่า

รูปที่ 4 การทดสอบแรงดันอิมพัลส์ของตัวนำล่อฟ้า

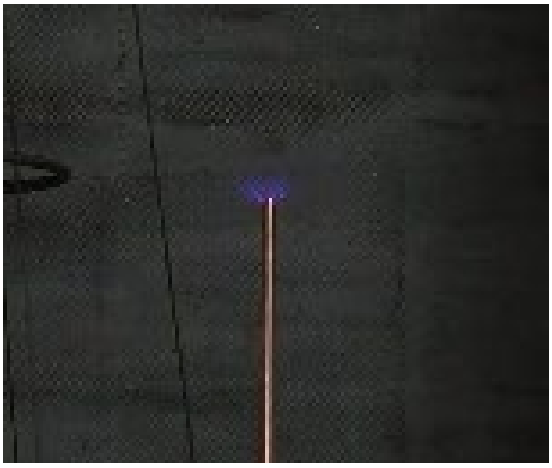
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 แรงดันโคโรน่าเริ่มเกิด (Initial Corona Voltage)

ในการหาค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้าแต่ละชนิด โดยทดสอบด้วยแรงดันสูงกระแสตรงขั้วลบ ด้วยการปรับแรงดันให้มีค่าเพิ่มขึ้นจากแรงดัน 100, 150, 200, 250 และ 300 kV แล้วทำการบันทึกค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิด และบันทึกภาพโคโรน่าด้วยกล้องถ่ายภาพ โคโรน่าดิสชาร์จ ดังแสดงตามในตารางที่ 1 และในรูปที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิด กรณีทดสอบด้วยแรงดันสูงกระแสตรงขั้วลบ

ตัวนำล่อฟ้า	แรงดันโคโรน่าเริ่มเกิด, U_i (kV)
ปลายทู่	132
ปลายแฉก	48



ก) ปลายทู่

ข) ปลายแฉก

รูปที่ 5 แรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้าแต่ละชนิด

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 พบว่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้าจะมีค่าแตกต่างกัน โดยตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแฉกและปลายทู่ จะเริ่มเกิดโคโรน่าที่แรงดันประมาณ 48 และ 132 kV ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแฉกมีแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดต่ำกว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่ เนื่องจากตัวนำล่อฟ้าชนิดนี้จะมีความสามารถในการสร้างสตรีมเมอร์ที่ปลายตัวนำล่อฟ้าได้เร็วกว่า และนำไปสู่การเหนี่ยวนำหัวนำร่องฟ้าผ่ามาลงยังจุดนี้ได้เร็วกว่า

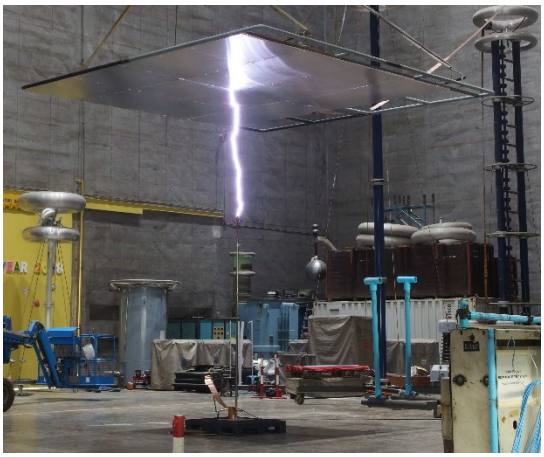
4.2 แรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์(Breakdown Impulse Voltage)

ในที่นี้ได้ทำการทดสอบหาค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ของตัวนำล่อฟ้า โดยใช้แผ่นโลหะแทนก้อนเมฆวางไว้ที่ความสูง 2 เมตรจากตัวนำล่อฟ้า แล้วจ่ายแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าทั้งขั้วลบและขั้วบวกเข้าไปที่แผ่นโลหะ โดยมีหน้าคลื่นเท่ากับ 1.2/50 μS แล้วทำการปรับแรงดันเพิ่มขึ้นและลดลง, Up and down เพื่อหาค่าแรงดันเบรกดาวน์ที่ 50%, $U_{50\%}$ แล้วบันทึกผลของค่าแรงดันเบรกดาวน์ดังแสดงในตารางที่ 2 อิมพัลส์เบรกดาวน์ของตัวนำล่อฟ้าดังในรูปที่ 6 และกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 7

ตารางที่ 2 ค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ กรณีหน้าคลื่น 1.2/50 μS

ตัวนำล่อฟ้า	ขั้วลบ (Negative Polarity)		ขั้วบวก (Positive Polarity)	
	แรงดัน (kV)	T_C (μS)	แรงดัน (kV)	T_C (μS)
ปลายทู่	-1216	10.67	1708	7.818
ปลายแฉก	-1184	12.7	1710	8.649

ก) ตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่

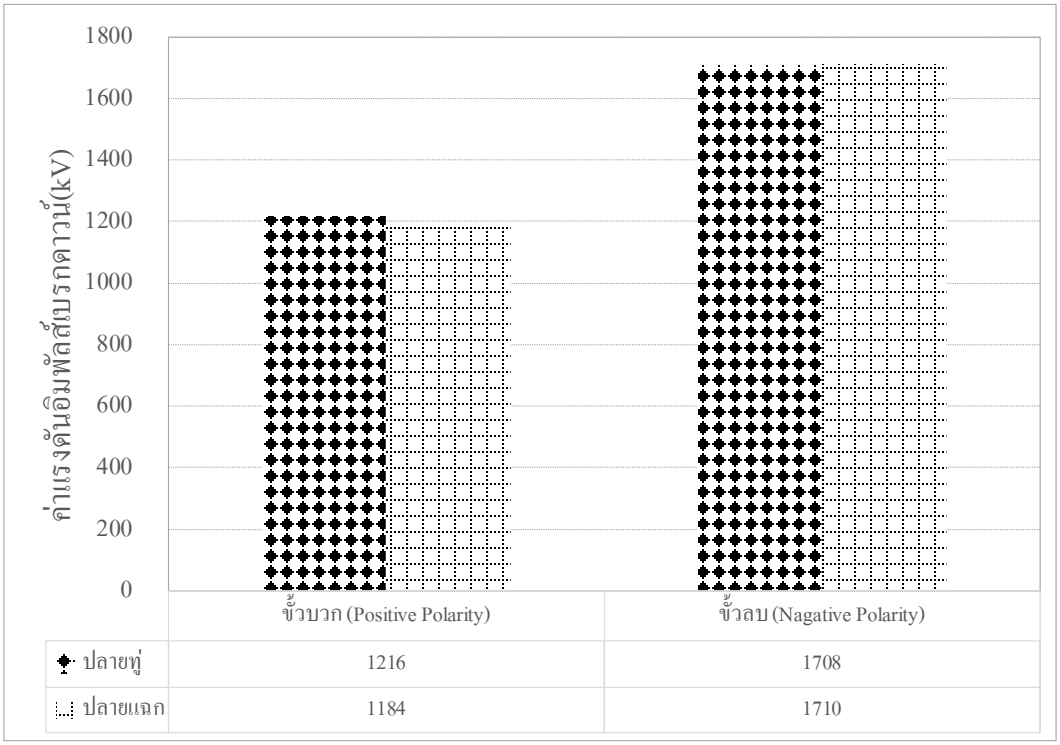


ข) ตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแฉก

รูปที่ 6 การเกิดเบรกดาวน์อิมพัลส์ของตัวนำล่อฟ้า เมื่อทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ากรณีหน้าคลื่น 1.2/50 μS

จากผลการทดลองตามตารางที่ 2 และกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าทั้งสองชนิดตามในรูปที่ 7 พบว่าค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ของตัวนำล่อฟ้า กรณีจ่ายแรงดันขั้วบวกเข้าไปที่แผ่นโลหะ(ก้อนเมฆ) จะมีค่าสูงกว่ากรณีจ่ายแรงดันขั้วลบเข้าไป ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากการจ่ายแรงดันอิมพัลส์ขั้วบวกให้กับแผ่นโลหะ จะเกิดขั้วลบขึ้นที่ตัวนำล่อฟ้า อิเล็กกตรอนที่เกิดจากการไอออไนเซชันจะเคลื่อนที่ไปหาระนาบอะโนด (Anode)หรือแผ่นโลหะ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำ อิเล็กตรอนอาจเกาะตัวบนโมเลกุลได้ และรวมตัวเป็นกลางที่อะโนด(Anode) ส่วนประจุไอออนบวกเคลื่อนที่ได้ช้าเข้าหาคะโถด (Cathode) ก็คือปลายตัวนำ

ล่อฟ้า จะค้างอยู่บริเวณปลายตัวนำล่อฟ้า ทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างหมอกประจุค้างกับอะโนด(Anode) จะกลับสม่ำเสมอดีขึ้นเนื่องจากประจุค้าง จึงทำให้เกิดเบรกดาวน์ได้ยากขึ้น ฉะนั้นจึงทำให้แรงดันเบรกดาวน์มีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าแต่ละชนิด เมื่อทำการทดสอบ
ด้วยแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า กรณีหน้าคลื่น 1.2/50 μS

เมื่อพิจารณาผลของแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ของตัวนำล่อฟ้า พบว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแฉกจะเกิดเบรกดาวน์ -1184 kV, T_C=12.7 μS และตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่จะเกิดเบรกดาวน์ -1216 kV, T_C=10.67 μS ตามลำดับ การสร้างอิเล็กตรอนอิสระภายใต้สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ เพื่อ ก่ออะวาลานซ์ให้ได้ค่าวิกฤตินั้นจะต้องใช้เวลา ถ้าช่วงเวลาแรงดันคงตัวมีอยู่น้อย จำเป็นต้องใช้ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงขึ้น เพื่อให้สตรีมเมอร์เกิดขึ้นได้ตามเงื่อนไขในเวลารวดเร็ว นั่นคือค่าแรงดันเบรกดาวน์จะสูงขึ้น ถ้าหากช่วงเวลาคงตัวของแรงดันสั้นลง ซึ่งในที่นี้ก็หมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์กับเวลาคลื่นตัด, T_C นั่นเอง

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และปลายแฉก ด้วยแรงดันสูงกระแสตรงและแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าภายในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้าจะมีค่าแตกต่างกัน พบว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแฉกจะมีค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดต่ำกว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่

2. ค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแฉก จะเกิดเบรกดาวน์ได้ง่ายกว่าชนิดปลายทู่

3. จากผลการทดสอบพบว่าค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิด, U_i และแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์, $U_{50\%}$ ของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแฉกจะมีค่าต่ำกว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแฉก จะสามารถดึงดูดกระแสฟ้าผ่าได้ดีกว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่

4. ดังนั้นประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้า จะขึ้นอยู่อัตราการเกิดของแรงดันโคโรน่าดิสชาร์จ หากเกิดได้เร็วและขยายตัวออกไปด้วยความเร็ว ก็มีโอกาสขึ้นไปพบกับหัวนำร่องได้เร็วขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท คริติคอล แฟซิลิตี้(ประเทศไทย) จำกัด และกองทดสอบไฟฟ้าแรงสูง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

G. Berger. 1993. “Determination of the Inception Electric Field of the Lightning Upward Leader.”, **Proceeding of International Symposium on High Voltage Engineering,** 3: 225-228.

C. B. Moore, W. Rison, J. Mathis, G. Aulich. 2000. “Lightning Rod Improvement Studies.”, **Journal of Applied Meteorology,** 39: 593-609.

S. Grzybowski, C. D. Taylor, B. Rodriguez-Medina, C. Bean, D.Haygood. 2005. “Emission Current from Static Dissipator Devices at Switching Impulses.”, **Proceeding of International Symposium on Lightning Protection:** 201-206.

S. Grzybowski, C. D. Taylor, C. Bean, H. Gupta, J. Grasty. 2007. “Experimental Study of Emission Current from Lightning Protection Devices under Rain and Wind Conditions.” **Proceeding of International Symposium on Lightning Protection**: 244-249.

S. Grzybowski, T. Disyadej, S. Mallick. 2008. “Effectiveness of Lightning Protection Devices.” **Proceeding of International Conference on High Voltage Engineering and Application**: 9-13.

การประเมินความต้องการกำลังคนในอุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ สำหรับเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก

ESTIMATION OF WORKFORCE DEMAND IN NEXT-GENERATION AUTOMOTIVE INDUSTRY FOR EASTERN ECONOMIC CORRIDOR (EEC)

ผศ.ดร.ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: Chonlathis.ei@spu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาความต้องการกำลังคนสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ในอนาคต 5 ปี (พ.ศ.2562-2566) เพื่อเป็นข้อมูลแก่คณะทำงานประสานงานด้านการพัฒนาบุคลากรในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC-HDC) ได้ดำเนินการบนพื้นฐานของข้อมูลและความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ (Expert Opinion) โดยใช้การคำนวณจำลองสถานะการณ์ จากแนวโน้มการเติบโตทางเศรษฐกิจ การผลิตและใช้ยานยนต์ของประเทศ การเปลี่ยนแปลงกำลังแรงงานต่อปริมาณการผลิตและการใช้ยานยนต์ คาดการณ์ว่าจะมีความต้องการอัตรากำลังคนสำหรับธุรกิจอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าอีก 53,738 อัตรา ทั้งในกลุ่มการผลิตและการบริการ จากวิชาชีพวิศวกร 3,621 อัตรา ช่างเทคนิค 9,550 อัตรา พนักงานปฏิบัติการ 32,533 อัตรา และเจ้าหน้าที่สนับสนุน 8,034 อัตรา โดยแบ่งเป็นคุณวุฒิระดับ อาชีวศึกษา 44,492 อัตรา ปริญญาตรี 9,155 อัตรา และสูงกว่าปริญญาตรี 91 อัตรา

คำสำคัญ: ยานยนต์ไฟฟ้า อัตราการลังคน อุตสาหกรรมยานยนต์ เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก

ABSTRACT

The 5 years outlook of workforce requirement in the Thailand's next-generation automotive industry was conducted to provide for the EEC Human Development Center. The study was carried out based on scattered industrial articles as well as expert opinions. An outlook model was developed to evaluate workforce demand trend according to projected changes in economic growth, automotive production capacity and accumulation, and normalized factor of workforce per vehicle unit. The model results that the automotive industry will need additional 53,738 positions for electric vehicle productions and services in the next 5 years. This includes 3,621 engineers, 9,550 technician, 32,533 operators, and 8,034 administrators.

Keywords: Electric Vehicle, Workforce, Automotive Industry, EEC

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทยปัจจุบันมีมูลค่าถึงร้อยละ 5.8 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) และยังเป็นอุตสาหกรรมที่ได้รับผลกระทบอย่างมากจากเทคโนโลยีสมัยใหม่ ดังนั้นเพื่อสนับสนุนการเติบโตในอนาคตอย่างต่อเนื่อง ตามนโยบายการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศจาก 10 อุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ (หรือ 10 S-Curve Industries) จึงได้มุ่งเน้นสนับสนุนการพัฒนาฐานการผลิตยานยนต์สมัยใหม่ ด้วยเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า หรือ Electric Vehicle (EV) โดยการขยายธุรกิจในห่วงโซ่คุณค่าของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า โดยเฉพาะในด้านการผลิตและออกแบบ การส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีการผลิตที่มีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูง ตลอดจนพัฒนาธุรกิจอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง ทั้งด้าน วัสดุ ชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์ที่ก้าวทันมาตรฐานสากล รวมถึง อุตสาหกรรมทางด้านเทคโนโลยีไฟฟ้าอิเลคทรอนิกส์ และการพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ ทำให้มีความต้องการจำนวนบุคลากรจำนวนมาก ที่มีทักษะในการรองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า จากการผลักดันส่งเสริมการลงทุนในพื้นที่ เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก หรือ EEC ซึ่งเป็นพื้นที่ตั้งของอุตสาหกรรมยานยนต์ของประเทศส่วนใหญ่ในปัจจุบัน

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการประเมินความต้องการจำนวนบุคลากร สำหรับการสนับสนุนการขยายตัวของธุรกิจ อุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า ในระยะเวลา 5 ปี ทั้งส่วนอุตสาหกรรมการประกอบรถยนต์ (OEM) การผลิตชิ้นส่วนอะไหล่ยานยนต์ (Tier) อะไหล่ทดแทน (REM) และการบริการยานยนต์ (Services) ในกลุ่มวิชาชีพหลัก คือ วิศวกร ช่างเทคนิค พนักงานปฏิบัติงาน และรวมถึงเจ้าหน้าที่สนับสนุนฝ่ายธุรการต่างๆ ที่มีความรู้ความเข้าใจและทักษะในเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้า เป็นการเร่งด่วน เพื่อให้สามารถวางแผนในการพัฒนากำลังคนได้อย่างมีเป้าหมาย และมีประสิทธิภาพ

บทความนี้อธิบายลักษณะการศึกษารวบรวมข้อมูล ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยในปัจจุบัน และการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในอนาคตเมื่อสัดส่วนการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ในระยะ 5 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2566 เพื่อนำมาประเมินจำนวนบุคลากรแรงงาน แยกตามกลุ่มวิชาชีพและทักษะที่จำเป็น ในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า และ รายงานต่อคณะทำงานประสานงานด้านการพัฒนาบุคลากรในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC-HDC) บนพื้นฐานของข้อคิดเห็นจากนักวิชาการ นักอุตสาหกรรม (หรือ Expert Opinion) เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเบื้องต้นสำหรับ EEC-HDC ใช้ประกอบเป็นแนวทางในการกำหนดแผนผลิตกำลังคน ร่วมกับอีก 10 อุตสาหกรรมขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศตามนโยบายรัฐบาล โดยระยะเวลาในการดำเนินงานอยู่ระหว่าง เดือน มกราคม ถึง มีนาคม พศ. 2562

2. วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาสภาวะกำลังคนในอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยในปัจจุบัน และการเปลี่ยนแปลงจากแนวโน้มของการเปลี่ยนผ่านสู่เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า (EV)

2) เพื่อประเมินจำนวนและทักษะกำลังคนที่ต้องการ สำหรับการสนับสนุนการขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตและธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้า

3) เพื่อเป็นข้อมูลรายงานแก่ คณะทำงานประสานงานด้านการพัฒนาบุคลากรในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC-HDC) สำหรับเป็นส่วนหนึ่งในการวางแผนการผลิตกำลังคนใน 10 อุตสาหกรรม S-Curve ในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศตามนโยบายของรัฐบาล

3. แนวทางการดำเนินงาน

การศึกษาเพื่อประเมินความต้องการกำลังคนในอุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ ภายใต้ข้อจำกัดของเวลาและแหล่งข้อมูลของอุตสาหกรรมยานยต์ โดยใช้วิธีประมวลข้อมูลร่วมกับข้อคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ (Expert Opinion) โดยมีแนวทางลำดับขั้น ดังนี้

- ศึกษาข้อมูลสถิติ แนวโน้ม ลักษณะการผลิตของอุตสาหกรรมยานยนต์ ของประเทศ
- ศึกษาสภาวะอุตสาหกรรมยานยนต์ และคาดการทิศทางการขยายตัวและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าหลากหลายประเภท (xEV) โดยการสัมภาษณ์จากข้อคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ที่รวมถึง นักวิชาการ นักธุรกิจ และ นักอุตสาหกรรม [1]
- กำหนดประเภทยานยนต์ไฟฟ้า (xEV) แบ่งเป็น HEV (Hybridge Electric Vehicle), PHEV (Plug-in Hybridge Electric Vehicle) และ BEV (Battery Electric Vehicle)
- วิเคราะห์โครงสร้างของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยและจำนวนแรงงาน ใน 4 กลุ่มหลัก คือ โรงงานประกอบรถยนต์ (OEM) โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ (Tiers) ผู้ผลิตชิ้นส่วนอะไหล่ยานยนต์ (REM) และ บริการยานยนต์ในประเทศ (Services)
- พัฒนาโปรแกรมแบบจำลองในการคำนวณ (Outlook Model) โดยใช้ MS Excel Sheet เพื่อนำข้อมูลตั้งต้นจากโครงสร้างแรงงานอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย ประมาณการการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ นำมาคำนวณปริมาณการผลิตรถยนต์ไฟฟ้า (xEV) และกำลังแรงงานที่ต้องการในอนาคต ในแต่ละกลุ่มวิชาชีพและทักษะ (Skill Sets)

4. พัฒนาโปรแกรมการคำนวณแบบจำลอง

โปรแกรมการคำนวณโดยใช้ MS Excel เพื่อประมาณการจำนวนแรงงานในอนาคตสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตและบริการยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยมีโครงสร้างลำดับแนวทางการคำนวณดังนี้

- ประเมินอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ เพื่อใช้ประมาณปริมาณการผลิตยานยนต์ปกติและยานยนต์ไฟฟ้า (xEV) รายปีในอนาคต
- ประเมินโครงสร้างแรงงาน โดยกำหนดค่าดัชนี Normalized Factor (NF) หรือ จำนวนแรงงานต่อจำนวนยานยนต์ ในแต่ละกลุ่มประเภทของอุตสาหกรรมยานยนต์ในปัจจุบัน
- ประเมินการเปลี่ยนแปลงของ NF ที่เปลี่ยนไปในอนาคตรายปี เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีการผลิต และสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของ xEV โดยกำหนดค่า NF แยกเป็น 4 กลุ่มวิชาชีพหลัก ในแต่ละอุตสาหกรรมคือ วิศวกร (Engineer) ช่วงเทคนิค (Technician) พนักงานปฏิบัติงาน (Operator) เจ้าหน้าที่ส่วนสนับสนุน (Administrator)
- กำหนดสัดส่วนกลุ่มทักษะ (Skill Set) ของแต่ละกลุ่มวิชาชีพหลัก แบ่งเป็น 3 ทักษะหลัก ทางกล (Mechanical) ทางไฟฟ้าอิเลคทรอนิกส์ (Electrical & Electronics) และทางระบบโปรแกรม (System & Programming)
- คำนวณปริมาณแรงงานในอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้ารายปี ในแต่ละ 4 กลุ่มวิชาชีพและ 3 ทักษะหลัก จากผลคูณของค่า Normalized Factor (NF) กับปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าที่ผลิตและสะสมในประเทศ

ค่าตั้งต้นในการจัดทำรายการคำนวณสำหรับแบบจำลองบนพื้นฐานข้อคิดเห็นจาก นักวิชาการ นักอุตสาหกรรม รวมถึงผู้เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมยานยนต์ [1] สามารถอธิบายได้ดังนี้

4.1 การประมาณการผลิต

- ปริมาณรถยนต์ผลิตในประเทศ เมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2561 มีจำนวน 2.1 ล้านคัน โดยเป็นการใช้ภายในประเทศประมาณ 1 ล้านคัน และ ส่งออกจำนวนประมาณ 1.1 ล้านคัน [2, 3]
- ปริมาณรถยนต์ส่วนบุคคลและกระบะขึ้นทะเบียน เมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2561 มีจำนวณ 15,322,012 คัน [4]
- อัตราการขยายตัวของการใช้ในประเทศตาม GDP ที่ร้อยละ 3.8 – 4 และการส่งออกไม่เติบโต 10 ปี [5]
- ใน 10 ปีข้างหน้า มีสัดส่วนการผลิต xEV ร้อยละ 25 ของการผลิตรถยนต์ในประเทศ และ เป็น BEV ร้อยละ 50 ของ EV ที่ผลิต [1, 5]

4.2 ประมาณแรงงานในปัจจุบัน [1, 6]

- แรงงานในอุตสาหกรรมผลิตยานยนต์ = 550,000 คน : คิดเป็น OEM ร้อยละ 15 และ Tiers ร้อยละ 85
- แรงงานในอุตสาหกรรมผลิตอะไหล่ทดแทน (REM) = 50,000 คน
- แรงงานในภาคการบริการ (Services) 100,000 คน

4.3 กำหนดดัชนีกำลังคนต่อปริมาณยานยนต์ Normalized Factor

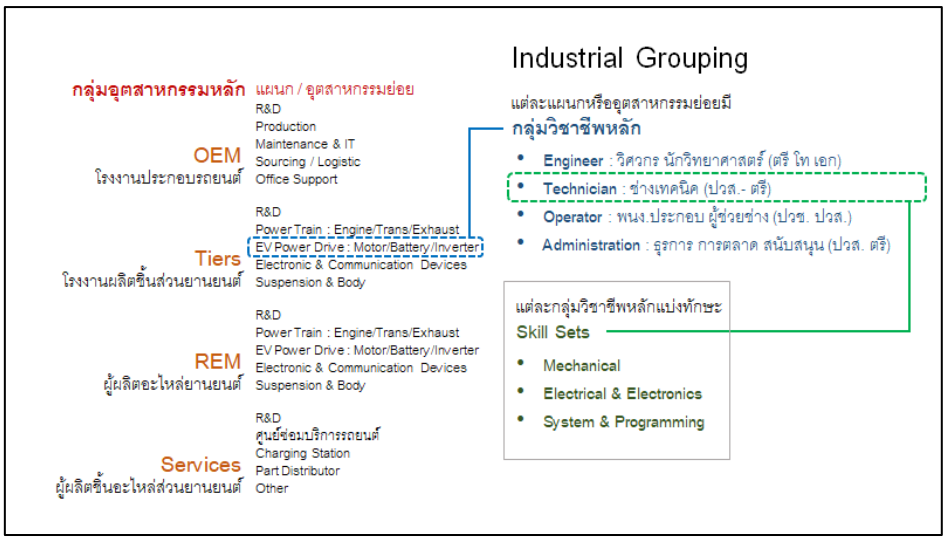
- อุตสาหกรรมผลิตยานยนต์ OEM และ Tier 1, 2, 3 เป็น คนต่อการผลิต 1,000 คัน [4]
- อุตสาหกรรมผลิตอะไหล่และบริการ เป็น คนต่อปริมาณรถสะสม 1,000 คัน [4]

4.4 การประเมินกำลังคนสำหรับรถ xEV ใน 5 ปี

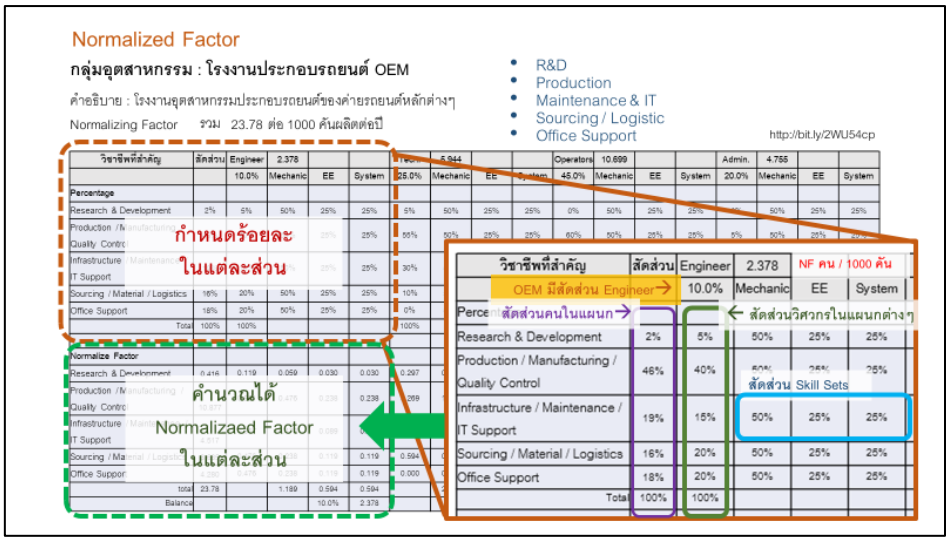
- เทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ ทำให้ Normalized Factor ลดลงจากปัจจุบันคงเหลือสำหรับ OEM Tiers REM และ Services ที่ร้อยละ 75, 80, 85, และ 85 ตามลำดับ [1]
- ชิ้นส่วนของ BEV ทำให้ปริมาณชิ้นส่วนรถลดลงร้อยละ 30 [7, 8]
- สัดส่วนการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าทุกประเภท (xEV) ต่อปริมาณผลิตรถทั้งหมด [1, 9]
  - ภายใน 10 ปี มีสัดส่วนร้อยละของ xEV = 25 เป็น BEV ร้อยละ 50
  - ภายใน 5 ปี มีสัดส่วนร้อยละของ xEv = 13.5 เป็น BEV ร้อยละ 25.27

บุคลกรในแต่ละกลุ่มประเภทธุรกิจอุตสาหกรรมยานยนต์ 4 กลุ่มหลัก (OEM, Tier, REM, Services) กำหนดให้มีกลุ่ม 4 วิชาชีพคือ วิศวกร (Engineer) ช่างเทคนิค (Technician) พนักงานปฏิบัติการ (Operator) และเจ้าหน้าที่สนับสนุน (Administrator) โดยแต่ละกลุ่มวิชาชีพระบุให้มีทักษะ (Skill Sets) ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยียานยนต์ 3 ด้านหลักๆ คือ ทางกล (Mechanical) ไฟฟ้าอิเลคทรอนิกส์ (Electrical and Electronic) และงานระบบและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (System and Programming) ดังแสดงในแผนภูมิรายการด้านขวามือของแผนภาพที่ 1

เมื่อกำหนดให้อัตราการใช้รถภายในประเทศมีการขยายตัวเป็นไปตามอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจ โดยการส่งออกไม่ได้มีการขยายตัว เนื่องจากแนวโน้มสภาวะการแข่งขันของผู้ผลิตภายนอกประเทศ [1, 3] ทำให้สามารถคาดการณ์ปริมาณการผลิตยานยนต์แบบเดิมและยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคต และเมื่อคูณด้วยค่าดัชนี Normalization Factor (NF) ที่มีการเปลี่ยนแปลงลดลงตามการพัฒนาของเทคโนโลยีการผลิตและจำนวนชิ้นส่วนของยานยนต์ไฟฟ้าที่ลดลง และค่าสัดส่วนร้อยละการกระจายตัว ของ 4 กลุ่มอาชีพและ 3 ทักษะ ในแต่ละส่วนภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม ที่ได้จากการประชุมและสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ [1] จะทำให้สามารถประเมินจำนวนแรงงานในแต่ละส่วนได้ ตามแนวทางการคำนวณแสดงไว้ในแผนภูมิ ในแผนภาพที่ 2



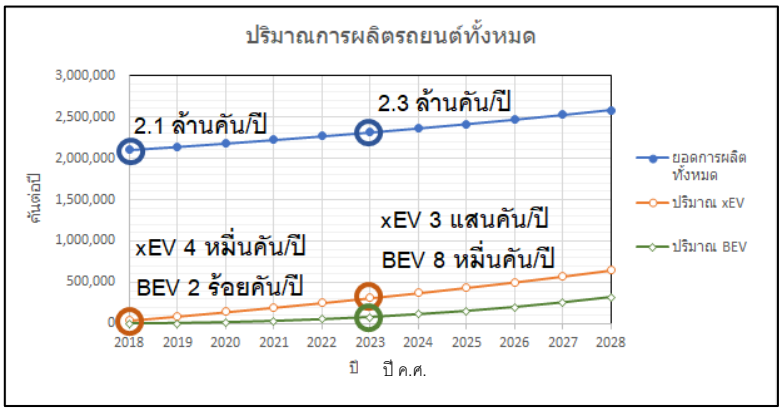
แผนภาพที่ 1 กลุ่มธุรกิจอุตสาหกรรมหลัก แผนกหรืออุตสาหกรรมย่อย และการกำหนดกลุ่มวิชาชีพ และทักษะ ในอุตสาหกรรมยานยนต์



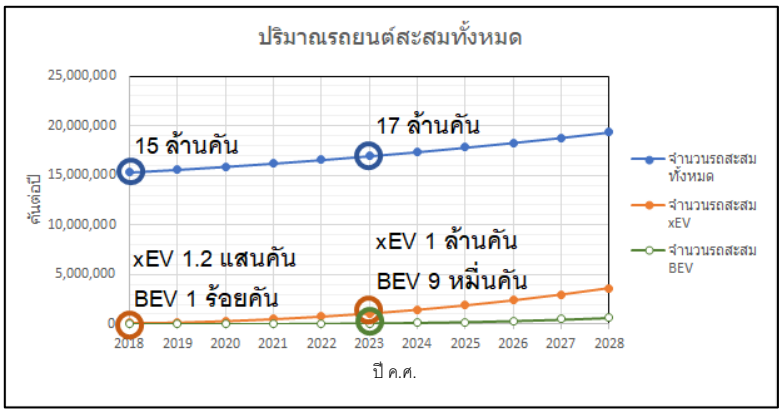
แผนภาพที่ 2 ตัวอย่างโปรแกรมการคำนวณดัชนี Normalized Factor โดยกำหนดการกระจายสัดส่วนร้อยละของแรงงานสำหรับ กลุ่มอาชีพและทักษะ ในแต่ละแผนก/หน่วยย่อย ของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมหลัก (link http://bit.ly/2WU54cp)

5. ผลการศึกษา

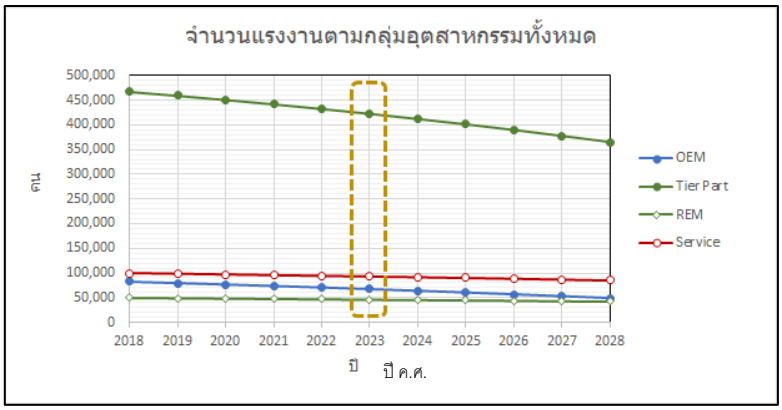
การคำนวณจากโปรแกรมจำลองสามารถคาดการณ์ ปริมาณการผลิตและจำนวนยานยนต์สะสม และจำนวนแรงงานในกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ทั้งหมด ในช่วงอนาคต 10 ปี ข้างหน้า ดังแสดงในแผนภาพที่ 3



(a) ปริมาณการผลิตยานยนต์



(b) ปริมาณยานยนต์สะสม

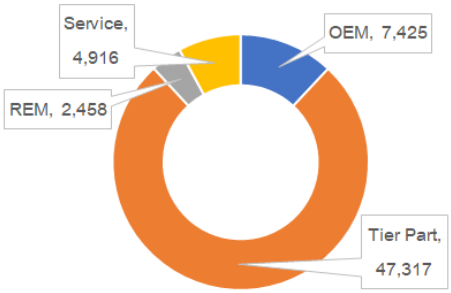


(c) จำนวนแรงงานตามกลุ่มอุตสาหกรรมหลัก

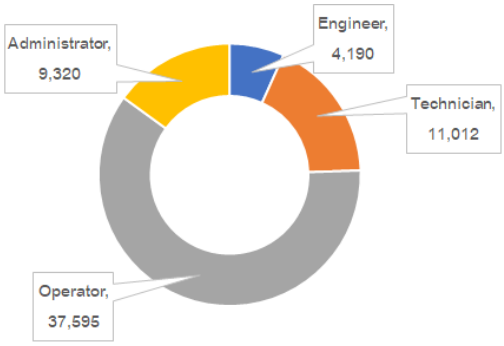
แผนภาพที่ 3 ผลการคำนวณจากโปรแกรมจำลอง

โดยในปีที่ 5 (ค.ศ. 2023) คาดว่าปริมาณการผลิตยานยนต์จะเพิ่มขึ้นเป็น 2.3 ล้านคันต่อปี และมีปริมาณสะสมในประเทศที่ 17 ล้านคัน โดยในจำนวนนี้คิดเป็นสัดส่วนยานยนต์ไฟฟ้าทุกประเภท (xEV) ที่อัตราการผลิต 3 แสนคันต่อปี และสะสมใช้งานในประเทศที่ 1 ล้านคัน (ในจำนวนนี้เป็น BEV ที่การผลิต 8 หมื่นคันต่อปี และสะสมที่ 9 หมื่นคัน) ในขณะที่แนวโน้มจำนวนแรงงานลดลงในภาพรวมเนื่องจากการใช้เทคโนโลยีอัตโนมัติในการผลิตเพิ่มมากขึ้น และการผลิต BEV ที่เพิ่มขึ้น (ชิ้นส่วนลดลง) โดยเฉพาะในส่วนของพนักงานปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่สนับสนุน

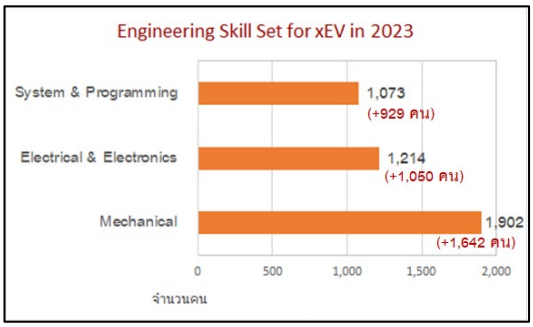
หากพิจารณาเฉพาะในส่วนการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าทุกประเภท คาดการณ์ว่ามีความต้องการแรงงานรวมทุกกลุ่มอุตสาหกรรมจำนวณมากกว่า 6 หมื่นอัตรา โดยอัตราแบ่งตามกลุ่มอุตสาหกรรมหลักและวิชาชีพ ดังแสดงในแผนภาพที่ 4(a) และ 4(b) ซึ่งเป็นจำนวนที่ต้องการเพิ่มขึ้นจากที่มีอยู่ในปัจจุบันถึง 53,738 อัตรา ในวิชาชีพวิศวกร 3,621 อัตรา ช่างเทคนิค 9,550 อัตรา พนักงานปฏิบัติการ 32,533 อัตรา และเจ้าหน้าที่สนับสนุน 8,034 อัตรา เนื่องจากการขยายตัวของปริมาณการผลิตและสะสมยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศ โดยแบ่งเป็นคุณวุฒิระดับอาชีวศึกษา 44,492 อัตรา ปริญญาตรี 9,155 อัตรา และ สูงกว่าปริญญาตรี 91 อัตรา



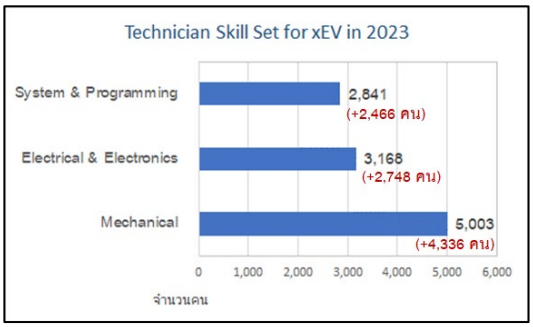
(a) แรงงานแยกตามกลุ่มอุตสาหกรรม



(b) แรงงานแยกตามกลุ่มวิชาชีพ



(c) จำนวนวิศวกรเพิ่มรวม 3,621 คน
(ในวงเล็บคือจำนวนที่เพิ่มขึ้น)



(d) จำนวนช่างเทคนิค เพิ่มรวม 9,550 คน
(ในวงเล็บคือจำนวนที่เพิ่มขึ้น)

แผนภาพที่ 4 ผลการคำนวณจำนวนแรงงานในการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าทุกประเภทในปี ค.ศ.2023

หากพิจารณาในส่วนของวิชาชีพวิศวกรและช่างเทคนิค ที่มีความจำเป็นเร่งด่วนในการผลิต ดังแสดงในแผนภาพที่ 4(c) และ 4(d) ถึงแม้จำนวนความต้องทักษะด้านทางกล (Mechanical) จะมีความต้องการในปริมาณที่สูงกว่าทักษะด้านอื่น แต่หากเป็นทักษะที่บุคลากรในอุตสาหกรรมยานยนต์เดิมมีพื้นฐานอยู่แล้วสามารถพัฒนาต่อ

ยอดได้สะดวก ในขณะที่ทักษะทางด้าน ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ และงานระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นั้นยังขาดแคลนบุคลากร เนื่องที่ผ่านมาอุตสาหกรรมภายในประเทศด้านนี้ไม่ได้เติบโตเท่าที่ควร จึงมีความจำเป็นเร่งด่วนในการส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาวิศวกร และช่างเทคนิค ในด้านนี้จำนวนรวมมากกว่า 9 พันอัตรา ให้ทันต่อความต้องการของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศในอนาคตอันใกล้

6. สรุป

การศึกษาเพื่อประเมินความต้องการอัตรากำลังคนในอุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ ได้ดำเนินการระหว่างเดือน มกราคม ถึง มีนาคม พศ. 2562 เพื่อเป็นข้อมูลรายงานแก่ คณะทำงานประสานงานด้านการพัฒนาบุคลากรในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC-HDC) สำหรับเป็น ส่วนหนึ่งในการวางแผนการผลิตกำลังคนใน 10 อุตสาหกรรม S-Curve ในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ ตามนโยบายของรัฐบาล โดยการประมวลผลจากข้อมูลที่มีรายงานอยู่อย่างกระจัดกระจายและความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ (Expert Opinion) ผ่านโปรแกรมแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ให้ผลคาดการณ์ว่าในอีก 5 ปี (พ.ศ. 2566) อุตสาหกรรมยานยนต์จะมีการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าทุกประเภท (xEV) ประมาณจำนวน 3 แสนคันต่อปี และยานยนต์ไฟฟ้าสะสมถึงประมาณ 1 ล้านคัน ทำให้มีความต้องการบุคลกรเพิ่มขึ้นมากกว่า 5 หมื่นอัตรา ในวิชาชีพวิศวกรรม ช่างเทคนิค พนักงานปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่สนับสนุน ในกลุ่มธุรกิจอุตสาหกรรม ประกอบยานยนต์ ผลิตอะไหล่ และการบริการสนับสนุนต่าง ๆ

7. ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานศึกษาประเมินความต้องการกำลังคนสำหนับอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าในครั้งนี้ มีข้อคิดเห็นเสนอแนะดังนี้

1) การศึกษาอยู่บนพื้นฐานของประสบการณ์ข้อคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ (Expert Opinion) ที่เป็นนักวิชาการ นักอุตสาหกรรมในอุตสาหกรรมยานยนต์ และข้อจำกัดของข้อมูลในสถานะการณ์ปัจจุบัน ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงประมวลผลข้อมูลใหม่เป็นระยะอย่างต่อเนื่อง ให้สอดคล้องกับสภาวะของอุตสาหกรรมที่กำลังเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

2) หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ทั้งภาครัฐและเอกชน ควรมีการบูรณาการบันทึกสถิติข้อมูลอุตสาหกรรมและการประมวลผลร่วมกัน เพื่อเป็นประโยชน์ในการกำหนดนโยบายและแผนดำเนินการในส่วนที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีประสิทธิผล

3) สร้างความร่วมมือและปรับปรุงข้อกำหนด ในส่วนทั้งภาครัฐ ภาคธุรกิจอุตสาหกรรม และภาคการศึกษา ในการผลิตอัตรากำลังคน ให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ทั้งในระดับปริญญาและโดยเฉพาะอย่างยิ่งการอบรมทักษะระยะสั้นในลักษณะ Re-Skill และ Up-Skill

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล. 2562. **รายงานการนำเสนอสรุปการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจากภาคธุรกิจอุตสาหกรรมยานยนต์**, โครงการการศึกษาความต้องการก าลังคนในอุตสาหกรรมเป้าหมายในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออกกลุ่ม อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ (Next-Generation Automotive). แหล่งที่มา: http://bit.ly/2NuHDTL 16 มีนาคม 2562

[2] กลุ่มอุตสาหกรรมชิ้นส่วนและอะไหล่ยานยนต์ สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. 2562. **การประชุมคณะกรรมการและที่ปรึกษากลุ่มอุตสาหกรรมชิ้นส่วนและอะไหล่ยานยนต์ ครั้งที่ 1/2562**. แหล่งที่มา: http://bit.ly/2RuvRYi 15 มกราคม 2562

[3] SCB. 2562. **Automotive outlook 2019 for Federation of Thai Industries**. แหล่งที่มา: http://bit.ly/2E9w9iz 20 กุมภาพันธ์ 2562

[4] กรมขนส่งทางบก. 2561. **สถิติจำนวนรถจดทะเบียนสะสม DATA_CR02-2561**. แหล่งที่มา: https://data.go.th/DatasetDetail.aspx?id=e793f788-c03d-49fc-8d73-fd596f5f5096 13 มีนาคม 2561

[5] SCB. 2562. **Economic Outlook 2019 for Federation of Thai Industries**. http://bit.ly/2E4AyDD 20 กุมภาพันธ์ 2562

[6] เกรียงไกร เตชกานนท์. 2562. **นโยบายอุตสาหกรรมยานยนต์และการเปลี่ยนผ่าน สู่ New S-Curve**. ECON Symposium 2019. คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. แหล่งที่มา: https://youtu.be/UNUATf9soh8 24 มกราคม 2562

[7] อดิศักดิ์ โรหิตะศุน. 2561. **มาตรฐานเทคโนโลยีและศักยภาพการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าไทย เมื่อเปรียบเทียบกับยานยนต์ปัจจุบัน ความจำเป็นในการสร้างศูนย์ทดสอบยานยนต์และศูนย์ทดสอบแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า.** งานเสวนา “คนไทยควรซื้อรถยนต์ไฟฟ้าแล้วหรือยัง”. Motor Expo ครั้งที่ 35. แหล่งที่มา: http://bit.ly/2Si1xVg 6 ธันวาคม 2561

[8] Wikipedia. 2562. **Hybridge Vehicle**. แหล่งที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_vehicle กุมภาพันธ์ 2562

[9] สมาคมยานยนต์ไฟฟ้าไทย. 2561. **สถานการณ์ยานยนต์ไฟฟ้าของไทย**. แหล่งที่มา: http://bit.ly/2DYblum ธันวาคม 2561

BI-INTERIOR IDEALS AND INTERIOR IDEAL OF ORDERED SEMIGROUPS

Wichayaporn Jantanan

Department of Mathematics/Faculty of Science/Buriram Rajabhat University

E-mail: wichayaporn.jan@bru.ac.th

Onanong Johdee

Department of Mathematics/Faculty of Science/Buriram Rajabhat University

E-mail: onanong.joh@bru.ac.th

Nuengthida Praththong

Department of Mathematics/Faculty of Science/Buriram Rajabhat University

E-mail: nuengthida.pra@bru.ac.th

ABSTRACT

In this paper, we show the way we pass from semigroups into ordered semigroups and characterize ordered semigroups in terms of bi-interior ideals. We characterize quasi-ideal, bi-ideal and interior ideal in terms of bi-interior ideals and study the properties of bi-interior ideals of ordered semigroup, simple ordered semigroup and regular ordered semigroup.

Keywords: ordered semigroup, quasi ideal, bi-ideal, interior ideal, bi-interior ideal, bi-quasi ideal, regular ordered semigroup, bi-interior simple ordered semigroup.

1. Introduction

In 1950, ordered semigroup was studied by several researchers. The theory of different types of ideals in semigroups and in ordered semigroups was studied by several researchers. The notion of ideals was introduced by Dedekind for the theory of algebraic numbers. Ponizovskii and Tsingelis [9] studied bi-ideals in ordered semigroups. In 2006, Lee and Lee [8] gave some characterizations of the intra-regular ordered semigroups in terms of bi-ideals and quasi-ideals, bi-ideals and left ideals, bi-ideals and right ideals of ordered semigroups. In 2008, Iampan [6] studied the concept of (0-) minimal and maximal ordered quasi-ideals in ordered semigroups. Ansari, Khan and Kaushik [1] characterized the notion of (m, n) quasi-ideals in semigroups. In 2010, Khan, Khan and Hussain [10] characterized regular, left and right simple ordered semigroups and completely regular ordered semigroups in terms of intuitionistic fuzzy left (resp. right) ideals. Tang and Xie [14] characterized ordered semigroups in which the radical of every ideal (right ideal, bi-ideal) is an ordered subsemigroup (resp., ideal, right ideal, left ideal, bi-ideal, interior ideal) by using some binary relations on an ordered semigroup.

As a further generalization of ideals, Murali Krishna Rao [8] introduced the notion of bi-interior ideal of semigroup as a generalization of ideal, left ideal, right ideal, bi-ideal, quasi ideal and interior ideal of semigroup. In this paper, we will present the notion of bi-interior ideal of ordered semigroup.

2. Objectives

We extend the notion of bi-interior ideals of ordered semigroup, as a generalization of bi-ideals and interior ideals of ordered semigroup and study the properties of bi-interior ideals of ordered semigroup.

3. Preliminaries

In this section we will recall some of the fundamental concepts and definitions, which are necessary for this paper.

Definition 3.1. [7] An ordered semigroup we mean a structure $(S, \times, \leq)$ in which the following are satisfied:

(i) $(S, \times)$ is a semigroup,

(ii) $(S, \leq)$ is a poset,

(iii) $a \leq b \Rightarrow ax \leq bx$ and $xa \leq xb$. for all $a, b, x \in S$.

For a non-empty subset $A \subseteq S$, we denote $(A] := \{t \in S \mid t \leq h$ for some $h \in A\}$. If $A = \{a\}$, then we write $(a]$ instead of $(\{a\}]$. For non-empty subsets $A, B \subseteq S$, we denote, $(AB] := \{ab \mid a \in A, b \in B\}$.

We mention the properties we use in the paper. Clearly $S = (S]$, and for subset A, B of S, we have the following:

- $A \subseteq (A]$;
- If $A \subseteq B$, then $(A] \subseteq (B]$;
- $(A](B] \subseteq (AB]$;
- $((A](B]] = ((A]B] = (A(B]] = (AB]$;
- $(A \cap B] \subseteq (A] \cap (B]$
- $(A \cup B] = (A] \cup (B]$;
- $((A]] = (A]$.

Definition 3.2. [2] Let $(S, \times, \leq)$ be an ordered semigroup. A nonempty subset A of S is called a *subsemigroup* of S if $A^2 \subseteq A$.

Definition 3.3. [5] Let $(S, \times, \leq)$ be an ordered semigroup. A non-empty subset A of S is called a *quasi-ideal* of S if:

(i) $(AS] \cap (SA] \subseteq A$;

(ii) For $a \in A$ and $b \in S, b \leq a \Rightarrow b \in A$,

(equivalently $(A] \subseteq A$, which in turn is equivalent to $(A] = A$).

Definition 3.4. [1] A non-empty subset A of a n ordered semigroup $(S, \times, \leq)$ is called a *left* (resp. *right*) *ideal* of S if it satisfies the following conditions:

(i) $SA \subseteq A$ (resp. $AS \subseteq A$);

(ii) for $a \in A$ and $b \in S$, $b \leq a \Rightarrow b \in A$ or $(A] = A$.

And a non-empty subset A of S is called an *ideal* of S if it is both a left ideal and a right ideal of S.

Definition 3.5. [7] Let $(S, \times, \leq)$ be an ordered semigroup. A subsemigroup B of S is called a *bi-ideal* of S if it satisfies the following conditions:

(i) $BSB \subseteq B$;

(ii) For $a \in B$ and $b \in S, b \leq a \Rightarrow b \in B$ or $(B] = B$.

Definition 3.6. [6] Let $(S, \times, \leq)$ be an ordered semigroup. A subsemigroup B of S is called an *interior ideal* of S if it satisfies the following conditions:

(i) $SBS \subseteq B$;

(ii) For $a \in B$ and $b \in S, b \leq a \Rightarrow b \in B$ or $(B] = B$.

Definition 3.7. [11] An ordered semigroup $(S, \times, \leq)$ is called a *regular* if for every $a \in S$ there exists $x \in S$ such that $a \leq axa$. Equivalent definitions:

(i) $A \subseteq (ASA]$ $(\forall A \subseteq S)$;

(ii) $a \in (aSa]$ $(\forall a \in S)$.

Definition 3.8. [8] An element $1 \in S$ is said to be *unity* if $x1 = 1x = x$ for all $a \in S$.

Definition 3.9. [4] An ordered semigroup $(S, \times, \leq)$ is called an idempotent ordered semigroup if $e \leq e^2$ for every $e \in S$.

Definition 3.9. A subsemigroup A of ordered semigroup $(S, \times, \leq)$ is called a *left* (resp. *right*) *bi-quasi ideal* of S if:

(i) $(SA] \cap (ASA] \subseteq A$ (resp. $(AS] \cap (ASA] \subseteq A$);

(ii) For $a \in A$ and $b \in S$, $b \leq a \Rightarrow b \in A$ or $(A] = A$.

Definition 3.10. A subsemigroup A of ordered semigroup $(S, \times, \leq)$ is called a *bi-quasi ideal* of S if A is a left bi-quasi ideal and a right bi-quasi ideal of S.

Example 3.1. Let $S = \{a, b, c, d\}$ be an ordered semigroup with the following multiplication table

$\times$	a	b	c	d
a	a	a	a	a
b	a	a	a	a
c	a	a	b	a
d	a	a	b	b

Let $A = \{a\}$

We define the order relation "$\leq$" as follows:

$\leq := \{(a, a), (a, b), (b, b), (c, c), (d, d)\}$

Then A is a bi-quasi ideal of ordered semigroup S.

Definition 3.11. [7]. An ordered semigroup $(S, \times, \leq)$ is said to be a *left* (resp. *right*) *simple ordered semigroup* if S does not contain proper left (resp. right) ideals of S.

Definition 3.12. An ordered semigroup $(S, \times, \leq)$ is a *bi-quasi simple ordered semigroup* if S has no proper bi-quasi ideal of S.

4. Bi-interior ideals of ordered semigroups

In this section, we study the properties of bi-interior ideals of ordered semigroups, simple ordered semigroups and regular ordered semigroups. And we apply S instead $(S, \times, \leq)$. Throughout this paper, S is an ordered semigroup with unity.

Definition 4.1. A non-empty subset B of ordered semigroup S is said to be *bi-interior ideal* of S if:

(i) $(SBS] \cap (BSB] \subseteq B$;

(ii) For $a \in B$ and $b \in S, b \leq a \Rightarrow b \in B$ or $(B] = B$.

Example 4.1. Let $S = \{a, b, c, d\}$ be an ordered semigroup with the following multiplication table

$\times$	a	b	c	d
a	a	a	a	a
b	a	a	a	a
c	a	a	b	a
d	a	a	b	b

Let $B = \{a\}$

We define the order relation "$\leq$" as follows:

$\leq := \{(a, a), (a, b), (b, b), (c, c), (d, d)\}$

Then B is a bi-quasi ideal of ordered semigroup S.

Definition 4.2. An ordered semigroup S is said to be *bi-interior simple ordered semigroup* if S has no bi-interior ideals other than S itself.

Theorem 4.1. Let S be an ordered semigroup. Then the following are hold.

(i) Every left ideal is a bi-interior ideal of S.

(ii) Every right ideal is a bi-interior ideal of S.

(iii) Every quasi ideal is a bi-interior ideal of S.

(iv) If L is a bi-interior ideal of ordered semigroup S then $LL \subseteq L$.

(v) Intersection of a right ideal and a left ideal of S is a bi-interior ideal of S.

(vi) If B is a bi-interior ideal of S, then $(BS]$ and $(SB]$ are bi-interior ideals of S.

(vii) If B is a bi-interior ideal and T is a right ideal of S, then $B \cap T$ is a bi-interior ideal of semigroup S.

Corollary 4.1. If A and B are bi-interior ideals of S, then $A \cap B$ is a bi-interior ideal of S.

Corollary 4.2. Every ideal is a bi-interior ideal of ordered semigroup S.

Theorem 4.2. Let S be a simple ordered semigroup. Every bi-interior ideal is an ideal of S.

Proof. Let S be a simple ordered semigroup and B be a bi-interior ideal of S. Then $(SBS] \cap (BSB] \subseteq B$. By considering $(SBS]S \subseteq (SBS](S] \subseteq (SBSS] \subseteq (SBS]$, and $S(SBS] \subseteq (S](SBS] \subseteq (SSBS] \subseteq (SBS]$. Clearly, if $x \in (SBS]$ and $y \in S$ such that $y \leq x$, we have $y \in (SBS]$. Hence $(SBS]$ is an ideal of S. Since S is a simple ordered semigroup, then $(SBS] = S$. We have $(SBS] \cap (BSB] \subseteq B$ and $(SBS] = S$, then $S \cap (BSB] \subseteq B$. Thus $(BSB] \subseteq B$. Since $BSB \subseteq (BSB] \subseteq B$, we have $BSB \subseteq B$. Clearly, $(B] = B$. Hence the theorem.

Theorem 4.3. Let S be an ordered semigroup. Then S is a bi-interior simple ordered semigroup if and only if $(SaS] \cap (aSa] = S$ for all $a \in S$.

Proof. Suppose S is a bi-interior simple ordered semigroup and $a \in S$. We have

$$\begin{aligned}(S((SaS] \cap (aSa])S] \cap (((SaS] \cap (aSa])S((SaS] \cap (aSa])] \\ \subseteq ((S](SaS](S]] \cap ((aSa](S](aSa]] \\ \subseteq ((SaS]] \cap ((aSa]] \\ = (SaS] \cap (aSa].\end{aligned}$$

Clearly, if $x \in (SaS] \cap (aSa]$ and $y \in S$ such that $y \leq x$, we have $y \in (SaS] \cap (aSa]$. Hence $(SaS] \cap (aSa]$ is a bi-interior ideal of S. Hence $(SaS] \cap (aSa] = S$, for all $a \in S$.

Conversely suppose that $(SaS] \cap (aSa] = S$, for all $a \in S$. Let B be a bi-interior ideal of ordered semigroup S and $a \in B$. Consider $S = (SaS] \cap (aSa] \subseteq (SBS] \cap (BSB] \subseteq B$. Therefore $S = B$. Hence S is a bi-interior simple ordered semigroup.

Theorem 4.4. Every bi-ideal of ordered semigroup S is a bi-interior ideal of S.

Proof. Let B be a bi-ideal of ordered semigroup S. Then $(SBS] \cap (BSB] \subseteq (BSB] \subseteq (B] = B$. Clearly, $(B] = B$. Hence every bi-ideal of ordered semigroup S is a bi-interior ideal of S.

Theorem 4.5. Every interior ideal of ordered semigroup S is a bi-interior ideal of S.

Proof. Let B be an interior ideal of ordered semigroup S. Then $(SBS] \cap (BSB] \subseteq (SBS] \subseteq (B] = B$. Clearly, $(B] = B$. Hence every interior ideal of ordered semigroup S is a bi-interior ideal of S.

Theorem 4.6. Let S be a regular ordered semigroup. Then every interior ideal of S is an ideal of S.

Proof. Let B be an interior ideal of S. Then $SBS \subseteq B$. By Theorem 3.5, we have B is a bi-interior ideal of ordered semigroup S. Let $x \in BS$. Since S is regular, we have $x \in (xSx]$ for all $x \in S$. Hence $x \leq xyx$ for some $y \in S$. By considering $x \leq xyx \in BSSBS \subseteq SBS$. Then $x \in (SBS]$. And $x \leq xyx \in BSSBS \subseteq BSB$. Hence $x \in (BSB]$. Therefore $BS \subseteq (SBS] \cap (BSB] \subseteq B$. Let $x \in SB$. Since S is regular, we have $x \in (xSx]$ for all $x \in S$. Hence $x \leq xyx$ for some $y \in S$. By considering $x \leq xyx \in SBSSB \subseteq SBS$. Then $x \in (SBS]$. And $x \leq xyx \in SBSSB \subseteq BSB$. Then $x \in (BSB]$. Therefore $SB \subseteq (SBS] \cap (BSB] \subseteq B$. Clearly, $(B] = B$. Hence B is an ideal of regular ordered semigroup S.

Theorem 4.7. If L is a minimal left ideal and R is a minimal right ideal of ordered semigroup S, then $B = (RL]$ is a minimal bi-interior ideal of S.

Proof. Let $B = (RL]$ where L is a minimal left ideal and R is a minimal right ideal of ordered semigroup S. So we have

$$\begin{aligned}(S(RL]S] \cap ((RL]S(RL]] &\subseteq ((S](RL](S]] \cap ((RL](S](RL]] \\ &\subseteq ((S(RL)S]] \cap (((RL)S(RL)]] \\ &\subseteq (S(RL)S] \cap (RL] \\ &\subseteq (RL].\end{aligned}$$

If $x \in (RL]$ and $y \in S$ such that $y \leq x$, we have $y \in (RL]$. Hence $B = (RL]$ is a bi-interior ideal of S. Suppose A is a bi-interior ideal of S, such that $A \subseteq B$. Consider $(SA] \subseteq (SB] = (S(RL]] \subseteq ((S](RL]] \subseteq ((SRL]] \subseteq ((L]] = (L] = L$, since L is a left ideal of S. Similarly, we can prove $(AS] \subseteq (BS] = ((RL]S] \subseteq ((RL](S]] \subseteq ((RLS]] \subseteq ((R]] = (R] = R$. Therefore $(SA] = L$, $(AS] = R$. Hence $B = (RL] = ((AS](SA]] \subseteq (ASSA] \subseteq (ASA]$ and $B = (RL] = ((AS](SA]] \subseteq (ASSA] \subseteq (SA] \subseteq (SAS]$. Therefore $B \subseteq (ASA] \cap (SAS] \subseteq A$. Thus $A = B$. Hence B is a minimal bi-interior ideal of S.

Theorem 4.8. Let A and C be subsemigroups of ordered semigroup S and $B = (AC]$. If A is the left ideal of S then B is a bi-interior ideal of S.

Proof. Let A and C be subsemigroups of ordered semigroup S and $B = (AC]$. Suppose A is the left ideal of S. We have

$(SBS] = ((AC]S(AC]] \subseteq ((AC](S](AC]] \subseteq ((ACSAC]] \subseteq ((ACAC]] \subseteq ((AC]] = (AC] = B$. Therefore $(BSB] \cap (SBS] \subseteq (SBS] \subseteq B$. Let $x \in B$ and $y \in S$ such that $y \leq x$, then $y \in B$. Hence B is a bi-interior ideal of S.

Corollary 4.9. Let A and C be subsemigroup of ordered semigroup S and $B = (CA]$. If C is the right ideal then B is a bi-interior ideal of S.

Proof. Let A and C be subsemigroups of ordered semigroup S and $B = (CA]$. Suppose C is the right ideal of S. We have $(SBS] = ((CA]S(CA]] \subseteq ((CA](S](CA]] \subseteq ((CASCA]] \subseteq ((CSCA]] \subseteq ((CA]] = (CA] = B$. Therefore $(BSB] \cap (SBS] \subseteq (SBS] \subseteq B$. Clearly, if $x \in B$ and $y \in S$ such that $y \leq x$, then $y \in B$. Hence B is a bi-interior ideal of S.

Lemma 4.1. [10] Let S an ordered semigroup. Then S is regular if and only if for every right ideal R and every left ideal L of S, we have $(RL] = (R \cap L]$.

Theorem 4.10. S is a regular ordered semigroup if and only if $B \cap I \cap L \subseteq BIL$, for any bi-interior ideal B, ideal I and left ideal L of S.

Proof. Suppose S is a regular ordered semigroup, B, I and L are bi-interior ideal, ideal and left ideal of respectively. Let $a \in B \cap I \cap L$. Then $a \in (aSa]$, since S is a regular. Consider $a \in (aSa] \subseteq ((aSa]S(aSa]] \subseteq (aSaSaSa] \subseteq (BSB]$, and $a \in (aSa] \subseteq ((aSa]S(aSa]] \subseteq (aSaSaSa] \subseteq (SBS]$. Hence $a \in (BSB] \cap (SBS] \subseteq B$. Therefore $B \cap I \cap L \subseteq B$.

Conversely suppose that $B \cap I \cap L \subseteq BIL$, for any bi-interior ideal B, ideal I and left ideal L of S. Let R be a right ideal and L a left ideal of S. Then by assumption, $R \cap L = R \cap S \cap L \subseteq RSL \subseteq RL \subseteq (RL]$. We have $(RL] \subseteq R$, $(RL] \subseteq L$. Therefore $(RL] \subseteq R \cap L$. Hence $R \cap L = (RL]$. Thus S is a regular ordered semigroup.

Corollary 4.11. Let S be an ordered semigroup and e be an idempotent. Then $(eS]$ and $(Se]$ are bi-interior ideal of S respectively.

Proof. Let S be an ordered semigroup and e be an idempotent. We will show that $(eS]$ and $(Se]$ are bi-interior ideal of S respectively. Consider $(eS](eS] \subseteq (eSeS] \subseteq (eS]$ and
$(S(eS]S] \cap ((eS]S(eS]] \subseteq (eSSeS] \subseteq (eS]$.
If $x \in (eS]$ and $y \in S$ such that $y \leq x$, we have $y \in (eS]$. Therefore $(eS]$ is a bi-interior ideal of S. We have $(Se](Se] \subseteq (SeSe] \subseteq (Se]$ and $(S(Se]S] \cap ((Se]S(Se]] \subseteq (SeSSe] \subseteq (Se]$. If $x \in (Se]$ and $y \in S$ such that $y \leq x$, we have $y \in (Se]$. Therefore $(Se]$ is a bi-interior ideal of S. Hence the theorem.

Theorem 4.12. Let B be a bi-ideal of ordered semigroup S and I be an interior ideal of S. Then $(B \cap I]$ is a bi-interior ideal of S.

Proof. Suppose B is a bi-ideal of ordered semigroup S and I is an interior ideal of S.
By considering $(B \cap I](B \cap I] \subseteq ((B \cap I](B \cap I]] \subseteq (BB] \subseteq (B] = B$ and $(B \cap I](B \cap I] \subseteq ((B \cap I](B \cap I]] \subseteq (II] \subseteq (I] = I$. Then $(B \cap I](B \cap I] \subseteq B \cap I \subseteq (B \cap I]$. Hence $(B \cap I]$ is a subsemigroup of S. Therefore $(B \cap I]S(B \cap I] \subseteq (B]S(B] = BSB \subseteq B$ and $S(B \cap I]S \subseteq S(I]S = SIS \subseteq I$. Then $((B \cap I]S(B \cap I]] \cap (S(B \cap I]S] \subseteq (B] \cap (I] \subseteq B \cap I \subseteq (B \cap I]$. Clearly, if $x \in (B \cap I]$ and $y \in S$ such that $y \leq x$, then $y \in (B \cap I]$. Hence $(B \cap I]$ is a bi-interior ideal of S.

Theorem 4.13. Let S be an ordered semigroup. If $S = Sa$, for all $a \in S$. Then every bi-interior ideal of S is a quasi-ideal of S.

Proof. Let B be a bi- interior ideal of ordered semigroup S and $a \in B$. Then $(SBS] \cap (BSB] \subseteq B$. By considering $Sa \subseteq SB$, then $S \subseteq SB \subseteq S$. Hence $SB = S$. By considering $(SB] \cap (BS] = (SBS] \cap (BSB] \subseteq B$. Clearly, $(B] = B$. Therefore B is a quasi-ideal of S. Hence the theorem.

Theorem 4.14. Let S be a regular ordered semigroup. Then B is a bi-interior ideal of S if and only if $(SBS] \cap (BSB] = B$, for all bi-interior ideals B of S.

Proof. Suppose S is a regular ordered semigroup, B is a bi-interior ideal of S and $x \in B$. Then $(SBS] \cap (BSB] \subseteq B$. Since x is regular, there exists $y \in S$ such that $x \leq xyx \in BSB$ and $x \leq xyxyx \in SBS$. Therefore $x \in (SBS] \cap (BSB]$. Hence $(SBS] \cap (BSB] = B$.

Conversely suppose that $(SBS] \cap (BSB] = BIL$, for all bi- interior ideals B of S. Let $B = R \cap L$, where R is a right ideal and L is a left ideal of S. Therefore

$$(S(R \cap L)S] \cap ((R \cap L]S(R \cap L]] \subseteq ((R \cap L]S(R \cap L]] \subseteq (RSL] \subseteq (RL] \subseteq R \cap L$$

since $(RL] \subseteq L$ and $(RL] \subseteq R$. Hence B is a bi-interior ideal of S.

Theorem 4.15. The intersection of $\{B_i \mid i \in A\}$ bi-interior ideal of an ordered semigroup S is a bi-interior ideal of S.

Proof. Let $B = \bigcup_{i \in A} B_i$. Then B is a subsemigroup of S. Since B_i is a bi-interior ideal of S, we have $(B_i S B_i] \cap (S B_i S] \subseteq B_i$, for all $i \in A$. By considering $((\bigcup B_i) S (\bigcup B_i)] \cap (S(\bigcup B_i) S] \subseteq (B_i S B_i] \cap (S B_i S]$, for all $i \in A$. Hence $((\bigcup_{i \in A} B_i) S (\bigcup_{i \in A} B_i)] \cap (S(\bigcup_{i \in A} B_i) S] \subseteq (\bigcup_{i \in A} B_i)$. Therefore $(BSB] \cap (SBS] \subseteq B$. Let $x \in B$ and $y \in S$ such that $y \leq x$, then $y \in B$. Hence B is a bi-interior ideal of S.

Theorem 4. 16. Let B be subsemigroup of a regular ordered semigroup S. Then B can be represented as $B = (RL]$, where R is a right ideal and L is a left ideal of S if and only if B is a bi-interior ideal of B.

Proof. Suppose $B = (RL]$, where R is a right ideal and L is a left ideal of regular ordered semigroup S. We have $(BSB] = ((RL]S(RL]] \subseteq ((RLSRL]] \subseteq (RL]$, and $(SBS] \cap (BSB] \subseteq (BSB] \subseteq (RL] = B$. Clearly, $((R]] = RL$. Hence B is a bi-interior ideal of S.

Conversely suppose that B is a bi-interior ideal of regular ordered semigroup S. By Theorem 4.14, we have $(SBS] \cap (BSB] = B$. Let $R = (BS]$ and $L = (SB]$. Consider $(BS)S \subseteq (BSS) \subseteq (BS] = R$. Clearly, $((BS]] = (BS]$, Then $(BS] = (R]$ Then is a right ideal of S. $S(SB) \subseteq (SSB) \subseteq (SSB) \subseteq (SB] = L$. Clearly, $((SB]] = SB$, Then $(SB] = L$ is a left ideal of S. We have $(BS] \cap (SB] \subseteq (SBS] \cap (BSB] = B$, then $(BS] \cap (SB] \subseteq B$, thus $R \cap L \subseteq B$. We have $B \subseteq (BS] = R$ and $B \subseteq (SB] = L$. Then $B \subseteq R \cap L$, thus $B = R \cap L = (RL]$, since S is a regular semigroup. Hence B can be represented as $(RL]$, where R is the right ideal and L is the left ideal of S. Hence the theorem.

Theorem 4.17. If B is an interior ideal of regular ordered semigroup S, then B is a bi-quasi ideal of S.

Proof. Suppose B is an interior ideal of regular ordered semigroup S. By Theorem 4.5, we have B is a bi-interior ideal of S. Let $x \in (SB]$. Hence $x \in (xSx]$. Then $x \leq xsx$ for some $y \in S$. By considering $x \leq xyx \in SBSSB \subseteq SBS$. Then $x \in (SBS]$. Let $x \in (BS]$. Therefore $x \in (xSx]$. Then $x \leq xsx$ for some $y \in S$. Consider $x \leq xyx \in BSSBS \subseteq SBS$. Hence $x \in (SBS]$. Then $(SB] \cap (BSB] \subseteq (SBS] \cap (BSB] \subseteq B$ and $(BS] \cap (BSB] \subseteq (SBS] \cap (BSB] \subseteq B$. Hence B is a bi-quasi ideal of S.

Theorem 3.18. If ordered semigroup S is a left (right) simple ordered semigroup then every bi-interior ideal of S. is a right (left) ideal of S.

Proof. Let B be a bi-interior ideal of left simple ordered semigroup S. Consider $(SB](SB] \subseteq (SB]$. Then $S(SB] \subseteq (SSB] \subseteq (SB]$. If $x \in (SB]$ and $y \in S$ such that $y \leq x$, then $y \in (SB]$. And $(SB] \subseteq S$. Therefore $(SB]$ is a left ideal of S. Hence $(SB] = S$. Then $(BS] \subseteq (SS] = ((SB]S] \subseteq ((SBS]] \subseteq (SBS]$ and $(BS] \subseteq (B(BS]] \subseteq (BSB]$. Hence $BS \subseteq (BS] \subseteq (SBS] \cap (BSB] \subseteq B$. Therefore B is a right ideal of S. Let B be a bi-interior ideal of right simple ordered semigroup S. Consider $(BS](BS] \subseteq (BS]$. Then $(BS]S \subseteq (BSS] \subseteq (BS]$. If $x \in (BS]$ and $y \in S$ such that $y \leq x$, then $y \in (BS]$. And $(BS] \subseteq S$. Therefore $(BS]$ is a right ideal of S. Hence $(B] = S$. Then

$(SB] \subseteq (SS] = ((BS]B] \subseteq ((BSB]] = (BSB]$ and $(SB] \subseteq (S(SB]] \subseteq (SBS]$. Hence $SB \subseteq (SB] \subseteq (BSB] \cap (SBS] \subseteq B$. Therefore B is a left ideal of S.

Corollary 4.3. If ordered semigroup S is a simple ordered semigroup then bi-interior ideal of S is an ideal of S.

5. Conclusion

Here we introduced the notion of bi-interior ideal of ordered semigroup as a generalization of ideal, left ideal, right ideal, bi-ideal, quasi ideal and interior ideal of ordered semigroup and studied some of their properties. We introduced the notion of bi-interior simple ordered semigroup and characterized the bi-interior simple ordered semigroup, the bi-interior regular ordered semigroup using bi-interior ideals, we proved every bi-interior ideal of ordered semigroup is a bi-quasi ideal and studied some of the properties of bi-interior ideals of ordered semigroup.

6. Acknowledgement

The authors are extremely grateful to the referees for their valuable comments and helpful suggestions which help to improve the presentation of this paper.

7. References

[1] M. A. Ansari, M. R. Khan, and J. P. Kaushik, *A note on (m, n) quasi-ideals in semigroups*, Int. J. Math. Anal. 3, 18531858 (2009).

[2] L. Bussaban and T. Changphas, *A note on (m,n)-ideals in regular duo ordered semigroups*, Quasigroups Related Symtems, No. 23 (2015), 221 216.

[3] B. Davvaz and A. Khan, *Generalized fuzzy filters in ordered semigroups*, Iranian Journal of Science and Technology, Transaction A, 36 (A1) (2012) 77-86.

[4] R.A. Good and D.R. Hughes, *Associated groups for a semigroup*, Bull. Amer. Math. Soc. 58 (1952) 624-625.

[5] K. Hansda, *Idempotent ordered semigroup*, India, May29, 2017.

[6] A. Iampan, *Minimality and maximality of ordered quasi-ideals in ordered semigroups,* Asian-Eur. J. Math.1, 8592 (2008).

[7] N. Kehayopulu, *Remark on quasi-ideals of ordered semigroups*, Pure Math. Appl. 25 (2015), no. 2, 144-150.

[8] N. Kehayopulu, *Note on interior ideals, ideal elements in ordered semigroups*, Scientiae Mathematicae Vol. 2, No. 3 (1999), 407-409.

[9] N. Kehayopulu, J.S. PoniZovskii and M. Tsincelis, *Bi-ideals in ordered semigroups and ordered groups*, Journal of Mathematical Sciences, Vol. 112, No. 4, 2002.

[10] A. Khan, M. Khan, and S. Hussain, *Intuitionistic fuzzy ideals in ordered semigroups*, J. Appl. Math. Inform. 28, 311324 (2010).

[11] D. M. Lee and S. K. Lee, *On intra-regular ordered semigroups,* Kangweon-Kyungki Math. J. 14, 95100 (2006).

[12] M.M.K. Rao, *Bi-interior ideals in semigroups*, Discussiones Mathematicae General Algebra and Applications, 38 (1) (2018), 69-78.

[13] J. Tang and X.Y. Xie, *On radicals of ideals of ordered semigroups*, J. Mark. Res. Expo. 30, 1048-1054 (2010)

[14] Y. Yin and H. Li, The characterization of regular and intra-regular ordered semigroups, Ital J. Pure Appl. Math., 24 (2008) 41-52.

[15] F. Yuan, Q. Lou and X. Sun, The characterization of regular samigroups by-Fuzzy ideals, Mathematica Aeterna, Vol. 6, 2016, no.3, 343-357.

[16] Ze Gu, On bi-interior ideals of ordered semigroups, Quasigroups and Related Systems 26 (2018), 149-154.

A study of generalization of bi-quasi-interior ideal of ordered semigroup.

Wichayaporn Jantanan

E-mail: wichayaporn.jan@bru.ac.th

Sruangsuda Kongkratok

E-mail: suangsuda71343@gmail.com

Atirach Rodcha

E-mail: atirach.rodcha@gmail.com

Department of mathematics/Faculty of science/Buriram Rajabhat University

ABSTRACT

In this paper, as a further generalization of ideals, we introduce the notion of bi-quasi-interior ideals as a generalization of bi-ideal, quasi ideal, interior ideal, bi-interior ideal and bi-quasi ideal of ordered semigroup and study the properties of bi-quasi-interior ideals of ordered semigroup.

KEYWORDS: bi-ideal, quasi-ideal, interior ideal, bi-interior ideal, bi-quasi ideal, bi-quasi-interior ideal, simple ordered semigroup and regular ordered semigroup.

1. Introduction

The study of ordered semigroup began about 1950 by several authors, the theory of different types of ideals in semigroup and in ordered semigroup was studies by several researches such as: In The notion of ordered semigroup was introduced by G. Brikhoff [1]. In 1998, N. Kehayopulu [5] gave some characterization of quasi-ideals and bi-ideals in completely regular ordered semigroup. In 1999 [4] the concept of interior ideals was introduced by N. Kehayopulu for ordered semigroups. In 2002, N. Kehayopulu, J. S. Ponizovskii and M. Tsingelis [3] studies bi-ideals in ordered semigroup and ordered group and introduced the notion of regular ordered semigroups and simple ordered semigroups. After, N. Kehayopulu [6] studies ideals in ordered semigroups and decomposition theorem of the left regular ordered semigroup into left simple ordered. In 2008, Y. Yin and H. Li [10] introduced and characterized the concept of regular and intra-regular semigroup. In 2015, N. Kehayopulu [7] introduced the notion of quasi-ideals of ordered semigroups. The concept of ordered (m,n) quasi ideals was introduced by Suthin and Aiyared Iampan [9]. Ronnason Chinram and Winida Yonthanthum [8] characterized the regularity-preserving element of regular ordered semigroup.In 2018, M. Murali Krishna Rao [2] studies ideals in semigroup and introduced the notion of bi-quasi-interior ideal as a generalization of quasi-ideal, bi-ideal and interior ideal of semigroup and studies the properties of quasi-ideal, bi-ideal and interior ideal of semigroup, simple semigroup and regular semigroup.

In this paper, as a further generalization of ideals, we introduce the notion bi-quasi-interior ideal as a generalization of bi-ideal, quasi-ideal, interior ideal, bi-interior ideal and bi-quasi ideal of ordered semigroup and study the properties of bi-quasi-interior ideal of ordered semigroup and some characterizations of bi-quasi-interior ideal of ordered semigroup, regular ordered semigroup and simple ordered semigroup.

2. Preliminaries and basic definitions

In this section we will recall some of the fundamental concept and definition, which are necessary for this paper.

Definition 1 [1] A semigroup $(S,\cdot)$ together with a partial order $\leq$ (on S) this is compatible with semigroup operation, meaning that for $x,y,z \in S$,

$$x \leq y \Rightarrow zx \leq zy \text{ and } xz \leq yz,$$

is called an ordered semigroup.

Let $(S,\cdot,\leq)$ be an ordered semigroup. If A and B are non-empty subsets of S, we let

$$AB = \{xy \in S \mid x \in A, y \in B\},$$

$$(A] = \{x \in S \mid x \leq a \text{ for some } a \in A\}.$$

Definition 2 [8] Let $(S,\cdot,\leq)$ be an ordered semigroup. A non-empty subset A of S is called a *subsemigroup* of S if $ab \in A$ for all $a,b \in A$. An element a of S is called an *idempotent* if $a \leq a^2$. An element $b \in S$ is called an *inverse* of a if $a \leq aba$ and $b \leq bab$. An element e of S is called an *identity* element of S if $ex = x = xe$ for any $x \in S$.

Definition 3 [6] Let $(S,\cdot,\leq)$ be an ordered semigroup. A non-empty subset A of S is called a left (resp,right) ideal of S if it satisfies the following condition:

(i) $SA \subseteq A$ (resp. $AS \subseteq A$). (ii) for $x \in A$ and $y \in S$, $y \leq x \Rightarrow y \in A$ or $(A] = A$.

Definition 4 [5] A non-empty subset B of an ordered semigroup $(S,\cdot,\leq)$ is called a bi-ideal of S if it satisfies the following condition:

(i) $BSB \subseteq B$. (ii) for $x \in B$ and $y \in S$, $y \leq x \Rightarrow y \in B$ or $(B] = B$.

Definition 5 [4] A subsemigroup B of an ordered semigroup $(S,\cdot,\leq)$ is called an interior ideal of S if it satisfies the following condition:

(i) $SBS \subseteq B$. (ii) for $x \in B$ and $y \in S$, $y \leq x \Rightarrow y \in B$ or $(B] = B$.

Definition 6 [7] A non-empty subset B of an ordered semigroup $(S,\cdot,\leq)$ is called a quasi-ideal of S if it satisfies the following condition:

(i) $(SB] \cap (BS] \subset B$. (ii) for $x \in B$ and $y \in S$, $y \leq x \Rightarrow y \in B$ or $(B] = B$.

Definition 7 [3] An ordered semigroup $(S,\cdot,\leq)$ is called a regular if for every $a \in S$ there exists $x \in S$ such that $a \leq axa$. Equivalent definition:

(i) $A \subseteq (ASA]$ $(\forall A \subseteq S)$. (ii) $a \in (aSa]$ $(\forall a \in S)$.

Definition 8 [3] An ordered semigroup $(S,\cdot,\leq)$ is said to be a left (respectively. right) simple ordered semigroup if S dose not contain proper left (respectively. right) ideal of S.

Definition 9 A non-empty subset B of an ordered semigroup S is said to be bi-interior ideal of S if it satisfies the following condition:

(i) $(SBS]\cap(BSB]\subseteq B$. (ii) for $a\in B$ and $b\in S, b\leq a \Rightarrow b\in B$ or $(B]=B$.

Definition 10 A subsemigroup A of an ordered semigroup $(S,\cdot,\leq)$ is called a left (respectively. right) bi-quasi ideal of S if it satisfies the following condition:

(i) $(SA]\cap(ASA]\subseteq A$ (respectively. $(AS]\cap(ASA]\subseteq A$);

(ii) for $a\in A$ and $b\in S, b\leq a \Rightarrow b\in A$ or $(A]=A$.

Definition 11 A subsemigroup A of an ordered semigroup $(S,\cdot,\leq)$ is called a bi-quasi ideal of S if A is a left bi-quasi ideal and a right bi-quasi ideal of S .

Lemma 1 [9] Let S be an ordered semigroup, A and B are subsets of S. Then the following statements hold.

(i) $A\subseteq(A]$. (ii) $((A]]=(A]$. (iii) If $A\subseteq B$, then $(A]\subseteq(B]$. (iv) $(A\cap B]\subseteq(A]\cap(B]$. (v) $(A\cup B]\subseteq(A]\cup(B]$. (vi) $(A](B]\subseteq(AB]$. (vii) $((A](B]]=(AB]$.

3. Bi-quasi-interior ideals of ordered semigroup

In this section, we introduce the notion of bi-quasi-interior ideal as a generalization of bi-ideal and quasi-ideal of ordered semigroup and study the properties of bi-quasi-interior ideals of ordered semigroup.

Definition 3.1 A non-empty subset B of an ordered semigroup M is said to be a bi-quasi-interior ideal of M if it satisfies the following condition:

(i) $(BMBMB]\subseteq B$. (ii) for $a\in B$ and $b\in M, b\leq a \Rightarrow b\in B$ or $(B]=B$.

Example 3.1. The ordered semigroup $M=\{a,b,c,d\}$ and $B=\{a\}$. Define operation $\cdot$ on M by the following table;

$\cdot$	a	b	c	d
a	a	a	a	a
b	a	a	a	a
c	a	a	b	a
d	a	a	b	b

Define a relation $\leq$ on M by $\leq:\{(a,a),(a,b),(b,b),(c,c),(d,d)\}$. Then B is a bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.1 Every bi-ideal of ordered semigroup M is a bi-quasi-interior ideal of ordered semigroup M.

Theorem 3.2 Every interior ideal of ordered semigroup M is a bi-quasi-interior ideal of ordered semigroup M.

Theorem 3.3 Let M be an ordered semigroup. Every left ideal is a bi-quasi-interior ideal of M.

Corollary 3.1 Let M be an ordered semigroup. Every right ideal is a bi-quasi-interior ideal of M.

Corollary 3.2 Let M be an ordered semigroup. Every ideal is a bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.4 Let M be an ordered semigroup. Every quasi-ideal is a bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.5 Let M be an ordered semigroup. Intersection of a right ideal and a left ideal of M is a bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.6 Let M be an ordered semigroup. If L is a left ideal and is a right ideal of ordered semigroup M and $B=(RL]$ then B is a bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.7 Let M be an ordered semigroup. If B is a bi-quasi-interior ideal and T is a non-empty subset of M such that $(BT]$ is a subsemigroup of M then $(BT]$ is a bi-quasi-interior ideal of M.

Proof. Assume that B is a bi-quasi-interior ideal and T is a non-empty subset of M and $(BT]$ is a subsemigroup of M. Then $((BT]M(BT]M(BT]] \subseteq ((BM]M(BM]M(BT]] \subseteq (BMBMBT] \subseteq (BT]$. Thus $((BT]M(BT]M(BT]] \subseteq (BT]$. Let $x \in (BT]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (BT]$, we have $x \leq z$ for some $z \in BT$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (BT]$. Hence $(BT]$ is a bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.8 The intersection of a bi-quasi-interior ideal B of ordered semigroup M and a right ideal A of M is always bi-quasi-interior ideal of M.

Proof. Assume that $C = B \cap A$, where B is a bi-quasi-interior ideal of M and A is a right ideal of M. Now, $(CMCMC] \subseteq (BMBMB] \subseteq B$ and $(CMCMC] \subseteq (AMAMA] \subseteq (AAA] \subseteq (A] = A$. It is clear that $(CMCMC] \subseteq B \cap A = C$. Let $x \in C$ and $y \in M$ such that $y \leq x$. Since $x \in B \cap A$, we have $y \in B$ and $y \in A$. The assumption applies $y \in C$. Hence the intersection of a bi-quasi-interior ideal B of ordered semigroup M and a right ideal A of M is always bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.9 Let A and C be bi-quasi-interior ideal of ordered semigroup M and $B=(AC]$. If $CC=C$ then B is bi-quasi-interior ideal of M.

Proof. Let A and C be bi-quasi-interior ideal of ordered semigroup M and $B=(AC]$. We have $BB=(AC](AC] \subseteq (ACAC] \subseteq (ACCAC] \subseteq (ACCCAC] \subseteq (ACMCMC] \subseteq (AC] = B$. Thus $B=(AC]$ is a subsemigroup of M. Now, $(BMBMB] = ((AC]M(AC]M(AC]] \subseteq ((ACMACMAC]] \subseteq (ACMACMAC] \subseteq (AMAMAC] \subseteq (AC] = B$. Let $x \in (AC]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (AC]$, we have $x \leq z$ for some $z \in AC$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (AC]$. Hence B is a bi-quasi-interior ideal of M.

Corollary 3.3 Let A and C be a bi-quasi-interior ideal of ordered semigroup M and $B=(CA]$. If $CC=C$ then B is bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.10 Let A and C be subsemigroup of M and $B=(AC]$. If A is a left ideal of M then B is a bi-quasi-interior ideal of M.

Proof. Let A and C be subsemigroup of M and $B=(AC]$. Suppose that A is a left ideal of M. We see that $BB=(AC](AC] \subseteq (ACAC] \subseteq (AMAC] \subseteq (AAC] \subseteq (AC] = B$. Therefore $B=(AC]$ is a subsemigroup of M. Now, $(BMBMB] = ((AC]M(AC]M(AC]] \subseteq ((ACMACMAC]] \subseteq (ACMACMAC]$

$\subseteq (AC] = B$. Let $x \in (AC]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (AC]$, we have $x \leq z$ for some $z \in AC$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (AC]$. Hence B is a bi-quasi-interior ideal of M.

Corollary 3.4 Let A and C be a subsemigroup of M and $B = (AC]$. If A is a right ideal then B is a bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.11 B is a bi-quasi-interior ideal of ordered semigroup M if and only if B is a left ideal of some right ideal of an ordered semigroup M.

Proof. Assume that B is a bi-quasi-interior ideal of an ordered semigroup M. Then $(BMBMB] \subseteq B$.
It follow that $(BMBM]M = (BMBM](M] \subseteq (BMBMM] \subseteq (BMBM]$. Let $x \in (BMBM]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (BMBM]$, we have $x \leq z$ for some $z \in BMBM$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (BMBM]$. Therefore $(BMBM]$ is a right ideal of M. And $(BMBM]B = (BMBM](B] \subseteq (BMBMB]$ $\subseteq (B] = B$. Thus B is a left ideal of some right ideal of M.
Conversely, assume that B is a left ideal of a right ideal R of M. We have $RM \subseteq R$ and $RB \subseteq B$. Then $(BMBMB] \subseteq (RMMMB] \subseteq (RMB] \subseteq (RB] \subseteq (B] = B$. That $(BMBMB] \subseteq B$. Let $x \in B$ and $y \in M$ such that $y \leq x$, then $y \in B$. Hence B is a bi-quasi-interior ideal of M.

Corollary 3.5 B is a bi-quasi-interior ideal of an ordered semigroup M if and only if B is a right ideal of some left ideal of an ordered semigroup.

Theorem 3.12 If B is a bi-quasi-interior ideal of an ordered semigroup M, T is a subsemigroup of M and $T \subseteq B$ then $(BT]$ is a bi-quasi-interior ideal of M.

Proof. Assume that B is a bi-quasi-interior ideal of an ordered semigroup M, T is a subsemigroup of M and $T \subseteq B$. Then, $(BT](BT] \subseteq (BTBT] \subseteq (BT]$. Thus $(BT]$ is a subsemigroup of M. Now, $((BT]M(BT]M(BT]] \subseteq (BTMBTMBT] \subseteq (BMBMBT] \subseteq (BT]$. Let $x \in (BT]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (BT]$, we have $x \leq z$ for some $z \in BT$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (BT]$. Hence $(BT]$ is a bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.13 Let B be a bi-ideal of an ordered semigroup M and I be an interior ideal of M. Then $(B \cap I)$ is a bi-quasi-interior ideal of M.

Proof. Let M is an ordered semigroup. Suppose that B is a bi-ideal of M and I is an interior ideal of M. Then $(B \cap I)(B \cap I) \subseteq BB \subseteq B$ and $(B \cap I)(B \cap I) \subseteq II \subseteq I$. Therefore $(B \cap I)(B \cap I) \subseteq B \cap I$. Hence $(B \cap I)$ is a subsemigroup of M. Now, $((B \cap I)M(B \cap I)M(B \cap I)] \subseteq (BMBMB] \subseteq (BMMMB]$ $\subseteq (BMB] \subseteq (B] = B$ and $((B \cap I)M(B \cap I)M(B \cap I)] \subseteq (IMIMI] \subseteq (IMMMI] \subseteq (IMI] \subseteq (I] = I$. Thus $((B \cap I)M(B \cap I)M(B \cap I)] \subseteq (B \cap I)$. Let $x \in B \cap I$ and $y \in M$ such that $y \leq x$, then $y \in B \cap I$. Hence $B \cap I$ is a bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.14 Let M be an ordered semigroup. If $M = (Ma]$ for all $a \in M$, then every bi-quasi-interior ideal of M is a quasi ideal of M.

Proof. Let B is a bi-quasi-interior ideal of ordered semigroup M and $a \in B$. Then $(BMBMB] \subseteq B$.

We have $M=(Ma]\subseteq(MB], a\in B$. It is clear that $M\subseteq(MB]\subseteq(MM]\subseteq(M]=M$. Hence $(MB]=M$. We have $(BM]=(BMB]=(BMBM]=(BMBBB]\subseteq(BMBMB]\subseteq B$. Therefore $(MB]\cap(BM]\subseteq M\cap B=B$. Clearly, if $x\in B$ and $y\in M$ such that $y\leq x$, then $y\in B$. Hence B is a bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.15 The intersection of bi-quasi-interior ideal $B_\lambda \big| \lambda\in A$ of an ordered semigroup M is a bi-quasi-interior ideal of M.

Proof. Let $B=\bigcap_{\lambda\in A}B_\lambda$. Then B is a subsemigroup of M. Since B_λ is a bi-quasi-interior ideal of M, we get $(B_\lambda MB_\lambda MB_\lambda]\subseteq B_\lambda$ for all $\lambda\in A$. Hence $((\bigcap B_\lambda)M(\bigcap B_\lambda)M(\bigcap B_\lambda)]\subseteq\bigcap B_\lambda=B$. Let $x\in B$ and $y\in M$ such that $y\leq x$, then $y\in B$. Therefore B is a bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.16 Let B be an interior ideal of ordered semigroup M, $e\in B$ and e be an idempotent. Then $(eB]$ is a bi-quasi-interior ideal of M.

Proof. Let B be an interior ideal of ordered semigroup M, obviously $(eM]$ is a subsemigroup of M. By considering $(eM]M(eM]\subseteq(eM](M](eM]\subseteq(eMMeM]\subseteq(eM]$. Let $x\in(eM]$ and $y\in M$ be such that $y\leq x$. Since $x\in(eM]$, we have $x\leq z$ for some $z\in eM$. Then $y\leq x\leq z$, which implies that $y\in(eM]$. Hence $(eM]$ is a bi-ideal of M. Suppose that $x\in B\cap(eM]$, then $x\in B$ and $x\in(eM]$. Since $x\in(eM]$, we have $x\leq ey$, for some $y\in M$. Then $x\leq ey\leq eey\leq eeey\leq eeeey\in eBBBM\subseteq eBMBM\subseteq eBB\subseteq eB$. Hence $x\in(eB]$. Therefore $B\cap(eM]\subseteq eB]$. Since $(eB]\subseteq(B]=B$ and $(eB]\subseteq(eM]$, we have $(eB]\subseteq B\cap(eM]$. This show that $B\cap(eM]=(eB]$. By theorem 3.13 we get that $(eB]$ is a bi-quasi-interior ideal of M.

Corollary 3.6 Let M be an ordered semigroup and e be an idempotent. Then $(eM]$ and $(Me]$ are bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.17 If B be a left bi-quasi ideal of ordered semigroup M, then B is a bi-quasi-interior ideal of M.

Proof. Assume that B is a left bi-quasi ideal of ordered semigroup M. Now, $(BMBMB]\subseteq(MB]$ and $(BMBMB]\subseteq(BMB]$. We have $(BMBMB]\subseteq(MB]\cap(BMB]\subseteq B$. Clearly, if $x\in B$ and $y\in M$ such that $y\leq x$, then $y\in B$. Hence B is a bi-quasi-interior ideal of M.

Corollary 3.7 If B be a right bi-quasi ideal of ordered semigroup M, then B is a bi-quasi-interior ideal of M.

Corollary 3.8 If B be a bi-quasi ideal of ordered semigroup M, then B is a bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.18 If B be a bi-interior ideal of ordered semigroup M, then B is a bi-quasi-interior ideal of M.

Proof. Suppose that B is a bi-interior ideal of ordered semigroup M. We see that $(BMBMB]\subseteq(MBM]$ and $(BMBMB]\subseteq(BMB]$, we obtain $(BMBMB]\subseteq(MBM]\cap(BMB]\subseteq B$. Clearly, if $x\in B$ and $y\in M$ such that $y\leq x$, then $y\in B$. This proves that B is a bi-quasi-interior ideal of M.

We introduce the notion of bi-quasi-interior simple ordered semigroup and characterize the bi-quasi-interior simple ordered semigroup using bi-quasi-interior ideals of ordered semigroup and study the properties of minimal bi-quasi-interior ideal of ordered semigroup.

Definition 3.2 An ordered semigroup M is said to be bi-quasi-interior simple ordered semigroup if M has no bi-quasi-interior ideals other than M itself.

Theorem 3.19 Let M be a simple ordered semigroup. Every bi-quasi-interior ideal is a bi-ideal of M.

Proof. Let B be a bi-quasi-interior ideal of a simple ordered semigroup M. Then $(MBM]M \subseteq (MBMM] \subseteq (MBM]$ and $M(MBM] \subseteq (MMBM] \subseteq (MBM]$. Let $x \in (MBM]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (MBM]$, we have $x \leq z$ for some $z \in MBM$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (MBM]$. Therefore $(MBM]$ is an ideal of M. Since M is a simple ordered semigroup, We have $(MBM] = M$. Now we prove that B is a bi-ideal of M. Consider $BMB \subseteq (BMB] = (B(MBM]B] \subseteq (BMBMB] \subseteq (B(MBM]B(MBM]B] \subseteq (BMBMBMBMB] \subseteq (BMBM(BMBMB]] \subseteq (BMBMB] \subseteq B$. Clearly, if $x \in B$ and $y \in M$ such that $y \leq x$, then $y \in B$. It implies that B is a bi ideal of M. Hence the theorem is prove.

Theorem 3.20 Let M be an ordered semigroup. Then M is a bi-quasi-interior simple ordered semigroup if and only if $(a)_{bqi} = M$, for all $a \in M$, where $(a)_{bqi}$ is bi-quasi-interior ideal generated by a.

Proof. Let M be an ordered semigroup. Suppose that $(a)_{bqi}$ is bi-quasi-interior ideal generated by a. and M is a bi-quasi-interior simple ordered semigroup.Then $(a)_{bqi} = M$, for all $a \in M$.

Conversely, suppose B is a bi-quasi-interior of ordered semigroup M and $(a)_{bqi} = M$, for all $a \in M$. Let $b \in B$. then $(b)_{bqi} \subseteq B$ implies $M = (b)_{bqi} \subseteq B \subseteq M$. Therefore M is a bi-quasi-interior simple ordered semigroup.

Theorem 3.21 Let M be an ordered semigroup. M is a bi-quasi-interior simple ordered semigroup if and only if $\langle a \rangle = M$, for all $a \in M$ and where $\langle a \rangle$ is the smallest bi-quasi-interior ideal generated by a.

Proof. Let M be an ordered semigroup. Suppose that M is a bi-quasi-interior simple ordered semigroup, $a \in M$ and $B = (Ma]$. Then B is a left ideal of M. By theorem 3.3 B a bi-quasi-interior ideal of M. Therefore $B = M$. Hence $(Ma] = M$, for all $a \in M$.

$$(Ma] \subseteq \langle a \rangle \subseteq M,$$
$$M \subseteq \langle a \rangle \subseteq M,$$
$$M = \langle a \rangle.$$

Suppose $\langle a \rangle$ is the smallest bi-quasi-interior ideal of M generated by a, $\langle a \rangle = M$, A is a bi-quasi-interior ideal and $a \in A$. Then,

$$\langle a \rangle \subseteq A \subseteq M,$$
$$M \subseteq A \subseteq M.$$

Hence $A = M$. Hence M is a bi-quasi-interior simple ordered semigroup.

Theorem 3.22 Let M be an ordered semigroup. Then M is a bi-quasi-interior simple ordered semigroup if and only if $(aMaMa] = M$, for all $a \in M$.

Proof. Suppose that M is a bi-quasi-interior simple ordered semigroup and $a \in M$. Now, $((aMaMa]M(aMaMa]M(aMaMa]] \subseteq (aMaMaMaMaMaMaMaM] \subseteq (aMaMa]$. Let $x \in (aMaMa]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (aMaMa]$, we have $x \leq z$ for some $z \in aMaMa$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (aMaMa]$. Hence $(aMaMa]$ is a bi-quasi-interior ideal of M.

Conversely, suppose $(aMaMa] = M$, for all $a \in M$. Let B be a bi-quasi-interior ideal of ordered semigroup M and $a \in B$. Then, $M = (aMaMa] \subseteq (BMBMB] \subseteq B$. So $M = B$, which implies that M is a bi-quasi-interior simple ordered semigroup.

Definition 3.3 An ordered semigroup is a left(right) simple ordered semigroup if M has no proper left(right) ideal of M.

Theorem 3.23 If ordered semigroup M is left simple ordered semigroup then every bi-quasi-interior ideal of M is a right ideal of M.

Proof. Let B be a bi-quasi-interior ideal of left simple ordered semigroup. It is easy to see that $(MB]$ is a left ideal of M and $(MB] \subseteq M$. Let $x \in (MB]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (MB]$, we have $x \leq z$ for some $z \in MB$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (MB]$. Therefore $(MB] = M$. Since $BM = B(MB] = B((MB]B] \subseteq B((MB]M] = B((MB](MB]] \subseteq (BMBMB] \subseteq B$. So $BM \subseteq B$. Hence every bi-quasi-interior ideal is a right ideal of M.

Corollary 3.9 If ordered semigroup M is right simple ordered semigroup then every bi-quasi-interior ideal of M is a left ideal of M.

Corollary 3.10 Every bi-quasi-interior ideal of left and right simple ordered semigroup M is an ideal of M.

Theorem 3.24 Let M be an ordered semigroup and B be a bi-quasi-interior ideal of M. Then B is minimal bi-quasi-interior ideal of M if and only if B is a bi-quasi-interior simple ordered semigroup.

Proof. Let B be a minimal bi-quasi-interior ideal of ordered semigroup M and C be bi-quasi-interior ideal of B. Then $(CBCBC] \subseteq C$. Now, $((CBCBC]M(CBCBC]M(CBCBC]] \subseteq (CBCBCMCBCBCMCBCBC] \subseteq (C(BMBMB]C(BMBMB]C] \subseteq ((C](BMBMB](C](BMBMB](C]] \subseteq (CBCBC] \subseteq C$. Clearly, if $x \in (CBCBC]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (CBCBC]$, we have $x \leq z$ for some $z \in CBCBC$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (CBCBC]$. This show that $(CBCBC]$ is a bi-quasi-interior ideal of M. Since C is a bi-quasi-interior ideal of B then $B = (CBCBC] \subseteq C$. So $B = C$.

Conversely, assume B is a bi-quasi-interior simple ordered semigroup of M. Let C be a bi-quasi-interior ideal of M and $C \subseteq B$. Then we have $C = (CBCBC] \subseteq (CMCMC] \subseteq (BMBMB] \subseteq B$. So $B = C$. Since B is a bi-quasi-interior simple ordered semigroup. Hence B is a minimal bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.25 Let M be an ordered semigroup and $B = (RL]$, where L and R are minimal left ideal and right ideal of M respectively. Then B is a minimal bi-quasi-interior ideal of M.

Proof. Let M be an ordered semigroup and B is a bi-quasi-interior ideal of M. Then $(BMBMB] \subseteq ((RL]M(RL]M(RL]] \subseteq (RMMRLMML] \subseteq (RMRLML] \subseteq (RRLL] \subseteq (RL] = (B]$. Let $x \in (RL]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (RL]$, we have $x \leq z$ for some $z \in RL$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (RL]$. Hence $B = (RL]$ is bi-quasi-interior ideal of M. Let A be a bi-quasi-interior ideal of M. Such that $A \subseteq B$. It is obvious to see that $(MA]$ is a left ideal and $(AM]$ is a right of M. Then $(MA] \subseteq (MB] \subseteq (M(RL]] \subseteq (MRL] \subseteq (ML] \subseteq L$, since L is a left ideal of M. Similarly, we can prove

$(AM] \subseteq (BM] \subseteq ((RL]M] \subseteq (RLM] \subseteq (RM] \subseteq R$, since R is a right ideal of M. Using the minimality of L and R, we get $(MA] = L$ and $(AM] = R$. Now, $B = (RL] = ((AM](MA]] \subseteq ((AMMA]] \subseteq ((BMMB]]$ $\subseteq ((RL]MM(RL]] \subseteq (RLMMRL] \subseteq ((AM](MA]M(MA]] \subseteq (AMMAMMA] \subseteq (AMAMA] \subseteq A$. So $A = B$. Hence B is a minimal bi-quasi-interior ideal of M.

Theorem 3.26 Let M be a regular ordered semigroup. Then every interior ideal of M is an ideal of M.

Proof. Let B be an interior ideal of M by theorem 3.2, we have B is a bi-quasi interior ideal of M. Then $(BMBMB] \subseteq B$. Since M is regular, we have $BM \subseteq (BMB]M \subseteq (BMBM] \subseteq (BM(BMB]M]$ $\subseteq (BMBMBM] \subseteq (BMBM(BMB]M] \subseteq (BMBMBMBM] \subseteq (BMBMB] \subseteq B$ and $MB \subseteq M(BMB]$ $\subseteq (MBMB] \subseteq (MBMBMB] \subseteq (MBMBMBMB] \subseteq (BMBMB] \subseteq B$. Clearly, if $x \in B$ and $y \in M$ such that $y \leq x$, then $y \in B$. Hence the theorem is proved.

Theorem 3.27 [10] M is regular ordered semigroup if and only if $AB = A \cap B$ for any right ideal A and left ideal B of ordered semigroup M.

Theorem 3.28 Let M be a regular ordered semigroup. Then B is bi-quasi-interior ideal of M if and only if $(BMBMB] = B$, for all bi-quasi-interior ideal of M.

Proof. Suppose that M is a regular ordered semigroup, B is bi-quasi-interior ideal of M and $x \in B$. Then $(BMBMB] \subseteq B$ and there exists $y \in M$ such that $x \leq xyx \leq xyxyx \in BMBMB$. This show that $x \in (BMBMB]$. Hence $(BMBMB] = B$.

Conversely, suppose $(BMBMB] = B$, for all B is bi-quasi-interior ideal of M. Let $B = R \cap L$, where R is a right ideal and L is a left ideal of M. Therefore $R \cap L = ((R \cap L)M(R \cap L)M(R \cap L)] \subseteq (RMLML]$ $\subseteq (RL] \subseteq R \cap L$, since $(RL] \subseteq (L] = L$ and $(RL] \subseteq (R] = R$. This show that $R \cap L = (RL]$.

Hence by theorem 3.27, M is a regular ordered semigroup.

Theorem 3.29 Let B be a subsemigroup of regular ordered semigroup M then B can be represented as $B = (RL]$, where R is a right ideal and L is a left ideal of M if and only if B is a bi-quasi-interior ideal of M.

Proof. Suppose that $B = (RL]$, where R is a right ideal and L is a left ideal of M. The following holds $(BMBMB] = ((RL]M(RL]M(RL]] \subseteq (RLMRLMRL] \subseteq (RL] = B$. Let $x \in (RL]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (RL]$, we have $x \leq z$ for some $z \in RL$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (RL]$. Thus B is a bi-quasi-interior ideal of ordered semigroup M. Conversely, suppose that B is a bi-quasi-interior ideal of regular ordered M. By theorem 3.28, we have $(BMBMB] = B$. Setting $R = (BM]$ and $L = (MB]$. Then $R = (BM]$ is a right ideal of M and $L = (MB]$ is a left ideal of M. The following hold $(BM] \cap (MB] = (BM](MB] \subseteq (BMMB] \subseteq (BMBMB] = B$. Hence $R \cap L = (BM] \cap (MB] \subseteq B$. Since $B \subseteq (BM] = R$ and $B \subseteq (MB] = L$, we have $B \subseteq R \cap L$. It is clear that $B = R \cap L = (RL]$. Thus B can represented as $(RL]$, where R is a right ideal and L is a left ideal of M. Hence the theorem is proved.

Theorem 3.30 M is regular ordered semigroup if and only if $B \cap I \cap L \subseteq (BIL]$, for any bi-quasi-interior ideal B, ideal I, and left ideal of M.

Proof. Suppose that M be a regular ordered semigroup, B, I and L are bi-quasi-interior ideal, ideal and left ideal of M respectively. Let $a \in B \cap I \cap L$. Since M is a regular, we have $a \in (aMa]$. So $a \leq aya$ for some $y \in M$. Then $a \leq aya \leq ayaya \in BMIML \subseteq BIL$. Thus $a \in (BIL]$. It is clear that $B \cap I \cap L \subseteq (BIL]$. Conversely, suppose that $B \cap I \cap L \subseteq (BIL]$, for any bi-quasi-interior ideal B, ideal I and left ideal L of M. Let R be a right ideal and L be a left ideal of M. Then by assumption $R \cap L = R \cap M \cap L$ $\subseteq (RML] \subseteq (RL]$. We have $(RL] \subseteq (RM] \subseteq (R] = R$ and $(RL] \subseteq (ML] \subseteq (L] = L$. Therefore $(RL] \subseteq R \cap L$.

4. Conclusion

Here we introduced the notion of bi-quasi-interior ideal of ordered semigroup as a generalization of bi-ideal, quasi ideal, interior ideal, bi-interior ideal and bi-quasi ideal of ordered semigroup and studied some of their properties. We introduced the notion of bi-quasi-interior simple ordered semigroup and characterized bi-quasi-interior simple ordered semigroup, regular ordered semigroup using bi-quasi-interior ideals of ordered semigroup. We proved every bi-quasi ideal of ordered semigroup and bi-interior ideal of ordered semigroup are bi-quasi-interior ideal. In continuity of this paper, we study bi-quasi-interior ideals of gamma ordered semigroup, ordered semihypergroup.

5. References

[1] G. Birkhoff. (1967). Lattice theory. New York: Amer. Math. Soc. Coll. Publ., Vol. 25, Providence.

[2] M. M. K. Rao. (2018). A study of a generalization of bi-ideal quasi ideal an interior ideal of semigroup. Mathematica Moravica, Vol. 22, p. 103-115.

[3] N. Kehayopulu, J. S. Ponizovskii, and M. Tsingelis. (2002). Bi-ideals in ordered semigroou and ordered groups. J. Math. Sci., New York. Vol. 112, No. 4.

[4] N. Kehayopulu. (1999). Note on interior ideals, ideal elements in ordered semigroups. Scientiae Mathematicae, Vol. 2, No. 3, p. 407-409.

[5] N. Kehayopulu. (1998). On completely regular ordered semigroup. Sci Math, 1, p. 27-32.

[6] N. Kehayopulu and M. Tsingelis. (2002). On left regular ordered semigroups. Southeast Asian Bull. Math, 25, p. 609-615.

[7] N. Kehayopulu. (2015). Remark on quasi-ideal of ordered semigroup. PU. M. A. Vol. 25, no. 2, p. 144-150.

[8] R. Chinram and W. Yonthanthum. (2019). On the regularily-preserving element in regular ordered semigroup. International Journal of Mathematics and Computer Science, No. 3, p. 729-736.

[9] Suthin Thongrak and Aiyared Iampan. (20018). characterizations of ordered semigroups by the properties of their ordered (m,n) Quasi ideals. Palestine Journal of Mathematics, Vol. 7 (1).

[10] Y. Yin and H. Li. (2008). The characterization of regular and intra-regular Semigroups. Ital J. Pure Appl. Math, 24, p. 41-52.

A STUDY OF A GENERALIZATION OF BI-HYPERIDEAL, GUASI HYPERIDEAL AND INTERIOR HYPERIDEAL OF ORDERED SEMIHYPERGOUP

Wichayaporn Jantanan

Department of mathematics/Faculty of Science/Buriram Rajabhat University

E-mail: wichayaporn.jan@bru.ac.th

Sunisa Thamjadee

Department of mathematics/Faculty of Science/Buriram Rajabhat University

E-mail: Sunisa.tha@bru.ac.th

Rattana Sutaad

Department of mathematics/Faculty of Science/Buriram Rajabhat University

E-mail: rattana.sut@bru.ac.th

ABSTRACT

In this paper, as a further generalization of hyperideal, we introduce the notion of bi-quasi-interior hyperideal as a generalization of bi-hyperideal, quasi hyperideal, interior hyper-ideal, bi-interior hyperideal and bi-quasi hyperideal of ordered semihypergroup and study the properties of bi-quasi-interior hyperideal of ordered semihypergroup.

Keywords: bi-hyperideal, quasi hyperideal, interior hyperideal, bi-interior hyperideal, bi-quasi hyperideal, bi-quasi-interior hyperideal, regular ordered semihypergroup, simple ordered semihypergroup

1. Introduction

The first step of the development of hyperstructure theory, in particular hypergroup theory, can be traced back to the 8th Congress of Scandinavian Mathematicians in 1934, when Marty [1] introduced the concept of hypergroups, analyzed its properties and applied it to groups, rational fractions and algebraic functions. Later on, people have observed that hyperstructures have many applications to several branches of both pure and applied sciences [2,3]. In particular, semihypergroups are the simplest algebraic hyperstructures which possess the properties of closure and associativity. Nowadays many scholars have studied different aspects of semihypergroups. The concept of ordering hypergroups investigated by Chvalina [22], as a special class of hypergroups and studied by him and many others. Heidari and Davvaz[16], applied the theory of hyper-strudtures to ordered semigroups and introduced the concepts of ordered semihypergroups, which is a generalization of ordersemigroups. Heiderde semihypergroups, also studied hyperideals of ordered semihyper-groups in[16].

Changphas and Davvaz introduced the concepts of bi- hyperideal and quasi hyperideals in ordered semihypergrops[20].

In 2018, M. Murali Krisna Rao[2] studies ideals in semigroup and introduced the notion of bi-quasi-interior ideal as generalization of quasi ideal, bi-ideal and interior ideal of semigroup and studies the properties of quasi-ideal, bi-ideal and interior ideal of semigroup, simple semigroup and regular semigroup.

In this paper, as a further generalization of hyperideal, we introduce the notion of bi-quasi-interior hyperideal as a generalization of bi-hyperideal, quasi hyperideal, interior hyperideal, bi-interior hyperideal and bi-quasi hyperideal, of ordered semihypergroup and study the properties of bi-quasi-interior hyperideal of ordered semihypergroup and some characterizations of bi-quasi-interior hyperideal of ordered semihypergroup, regular ordered semihypergroup and simple ordered semihypergroup.

2. Preliminaries and basic definitions

In this section we will recall some of the fundamental concepts and definitions, which are necessary for this paper.

The concept of ordering hypergroups investigated by Chvalina[3] as a special of hypergroups and studied by himand many othetrs. In [5] Heidari and Davvaz studied a semihypergroup $(M,\circ)$ besides a binary relation $\pounds$ where $\pounds$ is a partial order relation such that satisfies the monotone condition.

Let M be a nonempty set. A mapping $\circ : M \times M \to P^*(M)$ where $P^*(M)$ denotes the family of all nonempty subsets of M, is called a hyperoperation on M. The couple $(M,\circ)$ is called a hypergroupoid. In the above definition, if A and B are two nonempty subsets of S and $x \in S$, then we denote $A \circ B = \bigcup_{a \in A, b \in B} a \circ b$, $x \circ A = \{x\} \circ A$ and $A \circ x = A \circ \{x\}$. A hypergroupoid $(S,\circ)$ is called a semihypergroup if for every x,y,z in S, $x \circ (y \circ z) = (x \circ y) \circ z$. That is, $\bigcup_{u \in y \circ u} x \circ u = \bigcup_{v \in x \circ y} v \circ z$. In [5], Heidari and Davvaz studied a semihypergroup $(M,\circ)$ besides a binary relation $\pounds$, where $\pounds$ is a partial order relation such that satisfies the monotone condition. Indeed, an ordered semihypergroup $(S,\circ,\pounds)$ is a semihypergroup $(M,\circ)$ together with a partial order $\pounds$ that is compatible with the hyperoperation on, meaning that for any x,y,z in M, $x \pounds y \Rightarrow z \circ x \pounds z \circ y$ and $x \circ z \pounds y \circ z$. Here, $z \circ x \pounds z \circ y$ means for any $a \in z \circ x$ there exists $b \in z \circ y$ such that $a \pounds b$. The case $x \circ z \pounds y \circ z$ is defined similarly.

Note that the concept of ordered semihypergroups is a generalization of the concept of ordered semi-groups [1],[6],[7] Indeed, every ordered semigroup is an of ordered semihypergroups. For a nonempty subset A of an ordered semihypergroup $(M,\circ,\pounds)$ we write $(A] = \{x \in M \mid x \pounds a$ for some $x \in A\}$.

The following is easy to sec for nonempty subsets A, B of an ordered semihypergroup $(M,\circ,\pounds)$; (i) $A \subseteq (A]$. (ii) $A \subseteq B \Rightarrow (A] \subseteq (B]$. (iii) $(A] \circ (B] \subseteq (A \circ B]$. (iv) $((A] \circ (B]] = (A \circ B]$. (v) $(A] \cup (B] = (A \cup B]$.

Definition 1[12] An ordered semihypergroup $(M,\circ,\pounds)$ is called an ordered hypergroup if $(M,\circ)$ is a hypergroup. In fact, for all a in M, We have $a \circ M = M \circ a = M$.

Definition 2 A nonempty subset A of an ordered semihypergroup $(M,\circ,\pounds)$ is called idempotent if $A = (A \circ A]$.

Definition 3[12] A nonempty subset A of an ordered semihypergroup $(M, \circ, \leq)$ is called a subsemihypergroup of S if $A \circ A \subseteq A$.

Definition 4[12] A nonempty subset A of an ordered semihypergroup $(M, \circ, \leq)$ is called a left (respectively, right) hyperideal of M if it satisfies the following condition:

(i) $M \circ A \subseteq A$ (respectively, $A \circ M \subseteq A$). (ii) If $x \in A$ and $y \in M$ such that $y \leq x$ then $y \in A$, if A both a left and right hypergroup of M, then it is called a two-sided hyperideal of M, or a hyperideal of M.

Example. 2.1 We have $M = \{a,b,c,d\}$ and $B = \{a,b,c\}$. Define operation $\circ$ on M by the following table;

$\circ$	a	b	c	d
a	a	$\{a,b\}$	$\{a,c\}$	a
b	a	$\{a,b\}$	$\{a,c\}$	a
c	a	$\{a,b\}$	$\{a,c\}$	a
d	a	$\{a,b\}$	$\{a,c\}$	a

$\leq = \{a,a\}, \{b,b\}, \{c,c\}, \{d,d\}, \{b,a\}, \{c,a\}$. Then B is a hyperideal of M.

Definition 5[11] An ordered semihypergroup $(M, \circ, \leq)$ is called regular if for every $a \in M$ there exists $x \in M$ such that $a \leq a \circ x \circ a$. If it satisfies the following conditions:

(i) $A \subseteq (A \circ M \circ A], \forall A \subseteq M$. (ii) $a \in (a \circ M \circ a], \forall a \in M$.

Definition 6[11] A subsemihypergroup A of an ordered semihypergroup $(M, \circ, \leq)$ is called an interior hyperideal of M if it satisfies the following condition:

(i) $M \circ A \circ M \subseteq A$. (ii) If $x \in A$ and $y \in M$ such that $y \leq x$, than $y \in A$.

Definition 7[12] A nonempty subset A of an ordered semihypergroup $(M, \circ, \leq)$ is called quasi-hyperideal of M if it satisfies the following condition:

(i) $(M \circ A) \cap (A \circ M) \subseteq A$. (ii) If $x \in A$ and $y \in M$ such that $y \leq x$, than $y \in A$.

Definition 8[12] A nonempty subset A of an ordered semihypergroup $(M, \circ, \leq)$ is called a bi-hyperideal of M if it satisfies the following condition:

(i) $A \circ M \circ A \subseteq A$. (ii) If $x \in A$ and $y \in M$ such that $y \leq x$, than $y \in A$.

Definition 9 A subsemihypergroup A of an ordered semihypergroup $(M, \circ, \leq)$ is called a bi–interior hyperideal of S if it satisfies following condition:

(i) $(M \circ A \circ M) \cap (A \circ M \circ A) \subseteq A$. (ii) If $x \in A$ and $y \in M$ such that $y \leq x$, than $y \in A$.

Definition 10 A subsemihypergroup B of an ordered semihypergroup $(M, \circ, \leq)$ is called a left (right) bi-quasi hyperideal of M if it satisfies following condition:

(i) $(M \circ A) \cap (A \circ M \circ A) \subseteq A$, $(A \circ M) \cap (A \circ M \circ A) \subseteq A$. (ii) If $x \in A$ and $y \in M$ such that $y \leq x$, than $y \in A$.

And, a non-empty subset A of M called a bi-quasi hyperideal of M if it both a left bi-quasi hyperideal and right bi-quasi hyperideal of M.

3. Research Methodology

In this section we introduce the notion of bi-quasi-interior hyperideal as a generalization of bi-hyperideal, quasi-hyperideal and interior hyperideal of ordered semihypergroup and study the properties of bi-quasi-interior hyperideal of ordered semihypergroup.

Definition 3.1 A non-empty subset B of ordered semihypergroup $(M, \circ, \pounds)$ is called a bi-quasi-interior hyperideal of S if it satisfies the following condition;

(i) $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq B$. (ii) If $x \in B$ and $y \in M$ such that $y \pounds x$, than $y \in B$.

Example. 3.1 We have $M = \{a,b,c,d,f\}$ and $B = \{a,\}$. Define operation $\circ$ on M by the following table;

$\circ$	a	b	c	d	f
a	a	a	a	a	a
b	a	$\{a,b\}$	a	$\{a,d\}$	a
c	a	$\{a,f\}$	$\{a,c\}$	$\{a,c\}$	$\{a,f\}$
d	a	$\{a,b\}$	$\{a,d\}$	$\{a,d\}$	$\{a,b\}$
f	a	$\{a,f\}$	a	$\{a,c\}$	a

$\pounds = \{a,a\}\{b,b\}\{c,c\}\{d,d\}\{f,f\}\{a,b\}\{a,c\}\{a,d\}\{a,f\}$. Then B is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.1 Every bi-hyperideal of ordered semihypergroup M is a bi-quasi-interior hyperideal of ordered semihypergroup M.

Proof. Let B be bi-hyperideal of ordered semihypergroup M. Then $B \circ M \circ B \subseteq B$. Therefore $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq (B \circ M \circ B] \subseteq (B] = B$. Hence $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq B$. If $x \in B$ and $y \in M$ such that $y \pounds x$, we have $y \in B$. Hence B is bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.2 Every interior hyperideal of ordered semihypergroup M is a bi-quasi-interior hyperideal of ordered semihypergroup M.

Theorem 3.3 Let M be an ordered semihypergroup. Every left hyperideal is a bi-quasi-interior of M.

Corollary 3.1 Let M be an ordered semihypergroup. Every right hyperideal is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Corollary 3.2 Let M be an ordered semihypergroup. Every hyperideal is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.4 Let M be an ordered semihypergroup. Every quasi hyperideal is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.5 Let M be an ordered semihypergroup. Intersection of a right hyperideal and a left hyperideal of M is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.6 Let M be an ordered semihypergroup. If L is a left hyperideal and R is a right hyperideal of ordered semihypergroup M and $B = (R \circ L]$ then B is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.7 Let M be an ordered semihypergroup. If B is a bi-quasi-interior hyperideal and T is a non-empty subset of M such that $(B \circ T]$ is a subsemihypergroup of M. Then $(B \circ T]$ is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.8 The intersection of a bi-quasi-interior hyperideal B of ordered semihypergroup M and a right hyperideal A of M is always bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.9 Let A and C be a bi-quasi-interior hyperideal of ordered semihypergroup M and $B = (A \circ C]$. If $C \circ C = C$ then B is bi-quasi-interior hyperideal of M.

Proof. Let A and C be a bi-quasi-interior hyperideal of ordered semihypergroup M and $B = (A \circ C]$. We have $B \circ B = (A \circ C] \circ (A \circ C] \subseteq (A \circ C \circ A \circ C] \subseteq (A \circ C \circ C \circ A \circ C] \subseteq (A \circ C \circ C \circ C \circ A \circ C] \subseteq (A \circ C \circ M \circ C \circ M \circ C] \subseteq (A \circ C] = B$. Thus $B = (A \circ C]$ is a subsemihypergroup of M. Now, $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] = ((A \circ C] \circ M \circ (A \circ C] \circ M \circ (A \circ C]] \subseteq ((A \circ C \circ M \circ A \circ C \circ M \circ A \circ C]] \subseteq (A \circ C \circ M \circ A \circ C \circ M \circ A \circ C] \subseteq (A \circ M \circ A \circ M \circ A \circ C] \subseteq (A \circ C] = B$. Let $x \in (A \circ C]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $y \in (A \circ C]$, we have $x \leq z$ for some $z \in (A \circ C]$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in A \circ C$. Hence B is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Corollary 3.3 Let A and C be a bi-quasi-interior hyperideal of ordered semihypergroup M and $B = (C \circ A]$. If $C \circ C = C$ then B is bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.10 Let A and C be a subsemihypergroup of M and $B = (A \circ C]$. If A is a left hyperideal then B is bi-quasi-interior hyperideal of M.

Corollary 3.4 Let A and C be a subsemihypergroup of M and $B = (A \circ C]$. If A is a right hyperideal then B is bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.11 B is bi-quasi-interior hyperideal of ordered semihypergroup M if and only if B is a left hyperideal of some right hyperideal of an ordered semihypergroup.

Proof. Assume that B is bi-quasi-interior hyperideal of ordered semihypergroup M. Then $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq B$. It follow that $(B \circ M \circ B \circ M] \circ M = ((B \circ M \circ B \circ M] \circ (M] \subseteq (B \circ M \circ B \circ M \circ M] \subseteq (B \circ M \circ B \circ M]$. Let $x \in (B \circ M \circ B \circ M]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (B \circ M \circ B \circ M]$, we have $x \leq z$ for some $z \in B \circ M \circ B \circ M$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (B \circ M \circ B \circ M]$. Therefore $(B \circ M \circ B \circ M]$ is a right hyperideal of M. Then $(B \circ M \circ B \circ M] \circ B = ((B \circ M \circ B \circ M] \circ (B] \subseteq (B \circ M \circ B \circ M] \subseteq (B] = B$. Thus B is a left hyperideal of some right ideal of M.

Conversely, assume that B is a left hyperideal of right hyperideal R of M. We have $R \circ M \subseteq R$ and $R \circ B \subseteq B$. Then $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq ((B \circ M \circ B \circ M] \circ B] \subseteq (B] = B$. Hence $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq B$. If $x \in B$ and $y \in M$ such that $y \leq x$, then $y \in B$. Hence B is bi-quasi-interior hyperideal of M.

Corollary 3.5 B is bi-quasi-interior hyperideal of an ordered semihypergroup M if and only if B is a right hyperideal of some left hyperideal of an ordered semihypergroup.

Theorem 3.12 If B is bi-quasi-interior hyperideal of an ordered semihypergroup M, T is a subsemihypergroup of M and $T \subseteq B$ then $(B \circ T]$ is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.13 Let B be a bi- hyperideal of an ordered semihypergroup M and I be an interior hyperideal of M. Then $B \cap I$ is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.14 Let M be an ordered semihypergroup. If $M = (M \circ a]$ for all $a \in M$. Then every bi-quasi-interior hyperideal of M is a quasi hyperideal of M.

Theorem 3.15 The intersection of bi-quasi-interior hyperideal $\{B_l \mid l \in A\}$ of an ordered semihypergroup M. is bi-quasi-interior hyperideal of M.

Proof. Let $B = \bigcap_{l \in A} B_l$. Then B is a subsemihypergroup of M. Since B_l is a bi-quasi-interior hyperideal of M, we get $(B_l \circ M \circ B_l \circ M \circ B_l] \subseteq B_l$ for all $l \in A$. Hence $((\bigcap B_l) \circ M \circ (\bigcap B_l) \circ M \circ (\bigcap B_l)] \subseteq \bigcap B_l = B$. If $x \in B$ and $y \in M$ such that $y \leq x$, then $y \in B$ Therefore B is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.16 Let B be an interior hyperideal of ordered semihypergroup M, $A \subseteq B$ and A be an idempotent. Then $(A \circ B]$ is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Proof. Let B be an interior hyperideal of ordered semihypergroup M, Obviously $(A \circ B]$ is a subsemihypergroup of M. By considering $(A \circ M] \circ M \circ (A \circ M] \subseteq (A \circ M] \circ (M] \circ (A \circ M] \subseteq (A \circ M \circ M \circ A \circ M] \subseteq (A \circ M]$. Let $x \in (A \circ M]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (A \circ M]$ we have $x \leq z$ for some $z \in A \circ M$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (A \circ M]$. Hence $(A \circ M]$ is a bi- hyperideal of M. Suppose that $x \in B \cap (A \circ M]$, then $x \in B$ and $x \in (A \circ M]$. Since $x \in (A \circ M]$, we have $x \leq e \circ y$ for some $e \circ y \subseteq (A \circ M]$. Then $x \leq e \circ y \subseteq (A \circ M] = ((A \circ A] \circ M] = ((((A \circ A] \circ A] \circ M]$ $= (((A \circ A] \circ (A \circ A]] \circ M] \subseteq (A \circ A \circ A \circ A \circ M] \subseteq (A \circ B \circ M \circ B \circ M] \subseteq (A \circ B \circ B] \subseteq (A \circ B]$. Hence $x \in (A \circ B]$. Therefore $B \cap (A \circ M] \subseteq (A \circ B]$. Since $(A \circ B] \subseteq (B] = B$ and $(A \circ B] \subseteq (A \circ M]$ we have $(A \circ B] \subseteq B \cap (A \circ M]$. This show that $B \cap (A \circ M] = (A \circ B]$. By theorem 3.13 we get that $(A \circ B]$ is a bi-quasi interior hyperideal of M.

Corollary 3.6 Let M be ordered semihypergroup and B be an idempotent. Then $(B \circ M]$ and $(M \circ B]$ are bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.17 If B be a left bi-quasi hyperideal of ordered semihypergroup M, then B is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Proof. Assume that B is a left bi-quasi-interior hyperideal of ordered semihypergroup M. Now, $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq (M \circ B]$ and $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq (B \circ M \circ B]$. We have $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq (M \circ B] \cap (B \circ M \circ B] \subseteq B$. Clearly, if $x \in B$ and $y \in M$ such that $y \leq x$, then $y \in B$. Hence B is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Corollary 3.7 If B be a right bi-quasi hyperideal of ordered semihypergroup M, then B is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Corollary 3.8 If B be a bi-quasi hyperideal of ordered semihypergroup M, then B is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.18 If B be a bi-interior hyperideal of ordered semihypergroup M, then B is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Proof. Suppose that B is a bi-interior hyperideal of ordered semihypergroup M. We see that $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq (M \circ B \circ M]$ and $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq (B \circ M \circ B]$, we obtain $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq (M \circ B \circ M] \cap (B \circ M \circ B] \subseteq B$. Clearly, if $x \in B$ and $y \in M$ such that $y \leq x$, then $y \in B$. This proves that B is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

We introduce the notion of bi-quasi-interior simple ordered semihypergroup and characterize the bi-quasi-interior simple ordered semihypergroup using bi-quasi-interior hyperideal of ordered semihypergroup and study the properties of minimal bi-quasi-interior of ordered semihypergroup .

Definition 3.2 An ordered semihypergroup $(M, \circ, \leq)$ is said to be bi-quasi-interior simple ordered semihypergroup if M has no bi-quasi-interior hyperideals other than M itself.

Theorem 3.19 Let M be a simple ordered semihypergroup. Every bi-quasi-interior hyperideal is a bi-hyperideal of M.

Theorem 3.20 Let M be an ordered semihypergroup. Then M is a bi-quasi-interior simple ordered semi-hypergroup if and only if $(a \circ M \circ a \circ M \circ a] = M$, for all $a \in M$.

Proof. Suppose that M is a bi-quasi-interior simple ordered semihypergroup and $a \in M$. Now,
$x \in ((a \circ M \circ a \circ M \circ a] \circ M \circ (a \circ M \circ a \circ M \circ a] \circ M \circ (a \circ M \circ a \circ M \circ a]]$
$\subseteq (a \circ M \circ a \circ M \circ a \circ M \circ a \circ M \circ a \circ M \circ a \circ M \circ a \circ M \circ a \circ M \circ a] \subseteq (a \circ M \circ a \circ M \circ a]$. Let $x \in (a \circ M \circ a \circ M \circ a]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (a \circ M \circ a \circ M \circ a]$, we have $x \leq z$ for some $z \in a \circ M \circ a \circ M \circ a$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (a \circ M \circ a \circ M \circ a]$. Hence $(a \circ M \circ a \circ M \circ a]$ is a bi-quasi-interior hyperideal of M. Since M is bi-quasi-interior simple, we have $(a \circ M \circ a \circ M \circ a] = M$.

Conversely, suppose $(a \circ M \circ a \circ M \circ a] = M$, for all $a \in M$. Let B be a bi-quasi-interior hyper-ideal of ordered semihypergroup M and $a \in B$. Then, $M = (a \circ M \circ a \circ M \circ a] \subseteq (B \circ M \circ B \circ M \circ B]$ $\subseteq B$. So $M = B$, which implies that M is a bi-quasi-interior simple ordered semihypergroup.

Definition 3.3[10] An ordered semihypergroup $(M, \circ, \leq)$ is said to be left (respectively, right) simple if it does not contain proper left (respectively, right) hyperideals.

Theorem 3.21 If ordered semihypergroup M is left simple ordered semihypergroup then every bi-quasi-interior hyperideal of M is a right hyperideal of M.

Proof. Let B be a bi-quasi-interior hyperideal of left ordered semihypergroup. It is easy to see that $(M \circ B]$ is a left hyperideal of M and $(M \circ B] \subseteq M$. Let $x \in (M \circ B]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (M \circ B]$, we have $x \leq z$ for some $z \in M \circ B$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (M \circ B]$. Therefore $(M \circ B] = M$. Since $B \circ M = B \circ (M \circ B] = B \circ ((M \circ B] \circ B] \subseteq B \circ ((M \circ B] \circ M]$ $\subseteq B \circ ((M \circ B] \circ (M \circ B]] \subseteq (B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq B$. So $B \circ M \subseteq B$. Clearly $(B] = B$. Hence every bi-quasi-interior hyperideal is a right hyperideal of M.

Corollary 3.9 If ordered semihypergroup M is right simple ordered semihypergroup then every bi-quasi-interior hyperideal of M is a left hyperideal of M.

Corollary 3.10 Every bi-quasi-interior hyperideal of left and right simple ordered semihypergroup M is a hyperideal of M.

Theorem 3.22 Let M be an ordered semihypergroup and B be a bi-quasi-interior hyper-ideal of M. Then B is minimal bi-quasi-interior hyperideal of M if and only if B is a bi-quasi-interior simple ordered semihypergroup.

Theorem 3.23 Let M be an ordered semihypergroup and $B = (R \circ L]$, where L and R are minimal left hyperideal and right hyperideal of M respectively. Then B is a minimal bi-quasi-interior hyperideal of M.

Theorem 3.24 Let M be a regular ordered semihypergroup. Then every interior hyperideal of M is a hyper-ideal of M.

Proof. Let B be a interior hyperideal of M by theorem 3.2, we have B is a bi-quasi-interior hyperideal of M. Then $(BMBMB] \subseteq B$. Since M is regular, we have $B \circ M \subseteq (B \circ M \circ B] \circ M \subseteq (B \circ M \circ B \circ M]$ $\subseteq ((B \circ M \circ (B \circ M \circ B] \circ M] \subseteq (B \circ M \circ B \circ M \circ B] \circ ((B \circ M \circ B \circ M \circ (B \circ M \circ B] \circ M]$ $\subseteq (B \circ M \circ B \circ M \circ B \circ M \circ B \circ M] \subseteq (B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq B$. and $M \circ B \subseteq M \circ (B \circ M \circ B]$ $\subseteq (M \circ B \circ M \circ B] \subseteq (M \circ B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq (M \circ B \circ M \circ B \circ M \circ B \circ M \circ B]$ $\subseteq B \circ (M \circ B \circ M \circ B] \subseteq B$. Clearly, it $x \in B$ and $y \in M$ such that $y \leq x$, then $y \in B$. Hence the theorem is proved.

Theorem 3.25 M is regular ordered semihypergroup if and only if $(R \circ L] = R \cap L$ for any right hyperideal R and left hyperideal L of ordered semihypergroup M.

Theorem 3.26 Let M be a regular ordered semihypergroup. Then B is bi-quasi-interior hyperideal of M if and only if $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] = B$, for all bi-quasi-interior hyper-ideal of M.

Proof. Suppose that M is a regular ordered semihypergroup, B is bi-quasi-interior hyperideal of M. and $x \in B$. Then $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] \subseteq B$ and there exists $y \in M$ such that $x \leq x \circ y \circ x \leq x \circ y \circ x \circ y \circ x$ $\in B \circ M \circ B \circ M \circ B$. Thus $x \in (B \circ M \circ B \circ M \circ B]$. So $B \subseteq (B \circ M \circ B \circ M \circ B]$. Hence $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] = B$.

Conversely, suppose $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] = B$, for all B is bi-quasi-interior hyperideal of M. Let $B = R \cap L$, where R is a right hyperideal and is a left hyperideal of M. By theorem 3.5, we have $R \cap L$ is bi-quasi-interior hyperideal of M. Therefore $R \cap L = ((R \cap L] \circ M \circ (R \cap L] \circ M \circ (R \cap L]]$ $\subseteq (R \circ M \circ L \circ M \circ L] \subseteq (R \circ L]$. Since $(R \circ L] \subseteq (L] = L$ and $(R \circ L] \subseteq (R] = R$, Hence $R \cap L =$ $(R \circ L]$. This show that $R \cap L = (R \circ L]$. Hence by theorem 3.25, M is a regular ordered semihypergroup.

Theorem 3.27 Let B a subsemihypergroup of regular ordered semihypergroup M then B can be represented as $B = (R \circ L]$, where R is a right hyperideal and L is a Left hyperideal of M if and only if B is a bi-quasi-interior hyperideal of M.

Proof. Suppose that $B = (R \circ L]$, where R is a right hyperideal and L is a left hyperideal of M. The following holds $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] = ((R \circ L] \circ M \circ (R \circ L] \circ M \circ (R \circ L]]$ $\subseteq (R \circ L \circ M \circ R \circ L \circ M \circ R \circ L] \subseteq (R \circ L] = B$ Let $x \in (R \circ L]$ and $y \in M$ be such that $y \leq x$. Since $x \in (R \circ L]$, we have $x \leq z$ for some $z \in R \circ L$. Then $y \leq x \leq z$, which implies that $y \in (R \circ L]$. Thus B is a bi-quasi-interior hyperideal of ordered semigroup M.

Conversely, suppose That B is a bi-quasi-interior hyperideal of regular ordered semihypergroup M. By Theorem 3.26 we have $(B \circ M \circ B \circ M \circ B] = B$. Setting $R = (B \circ M]$ and $L = (M \circ B]$. We have $R = (B \circ M]$ is a right hyperideal of M and $L = (M \circ B]$ is a left hyperideal of M. Consider $(B \circ M] \cap (M \circ B] = (B \circ M](M \circ B] \subseteq (B \circ M \circ M \circ B] \subseteq (B \circ M \circ B \circ M \circ B] = B$. Hence $R \cap L = (B \circ M] \cap (M \circ B] \subseteq B$. Since $B \subseteq (B \circ M] = R$ and $B \subseteq (M \circ B] = L$ we have $B \subseteq R \cap L$. It

is clear that $B = B \cap L = (R \circ L]$. Thus B can represented as $(R \circ L]$, where R is a right hyperideal and L is a left hyperideal of M. Hence the theorem is proved.

Theorem 3.28 M is regular ordered semihypergroup if and only if $B \cap I \cap L \subseteq (B \circ I \circ L]$, for any bi-quasi-interior hyperideal B, hyperideal I, and left hyperideal of M.

Proof. Suppose that M be a regular ordered semihypergroup, B, I and L are bi-quasi-interior hyperideal, hyperideal and left hyperideal of M respectively. Let $a \in B \cap I \cap L$. Since M is a regular, we have $a \in (a \circ M \circ a]$. So $a \leq a \circ y \circ a$ for same $y \in M$. Then $a \leq a \circ y \circ a \leq a \circ y \circ a \circ y \circ a$ $\in B \circ M \circ I \circ M \circ L \subseteq B \circ I \circ L$. Thus $a \in (B \circ I \circ L]$. It is clear that $B \cap I \cap L \subseteq (B \circ I \circ L]$.

Conversely, suppose that $B \cap I \cap L \subseteq (B \circ I \circ L]$, for any bi-quasi-interior hyperideal B, hyperideal I and left hyperideal L of M. Let R be a right hyperideal and L be a left hyperideal of M. Then by assumption $R \cap L = R \cap M \cap L \subseteq (R \circ M \circ L] \subseteq (R \circ L]$. We have $(R \circ L] \subseteq (R \circ M] \subseteq (R] = R$ and $(R \circ L] \subseteq (M \circ L] \subseteq (L] = L$. Therefore $(R \circ L] \subseteq R \cap L$. Hence the theorem is proved.

4. Research Findings

As a further generalization of hyperideals, we introduced the notion of bi-quasi-interior hyperideal of ordered semihypergroup as a generalization of hyperideal, left hyperideal, right hyperideal, bi- hyperideal, quasi hyperideal and interior hyperideal of ordered semihypergroup and studied some of their properties. We proved every bi-quasi hyperideal of ordered semihypergroup and bi-interior hyperideal of ordered semihypergroup are bi-quasi-interior hyperideals and studied some of the properties of bi-interior hyperideals of ordered semihypergroup. In continuity of this paper, we study prime bi-quasi-interior hyperideals, prime, maximal and minimal bi-quasi-interior hyperideals of ordered semihypergroup.

5. Acknowledgement

This research was well done because of helping from advisor Wichayaporn Jantanan for suggestion and offering some opinions to profit of this research. And help to fixed problems during the proceed. And also we would like to say thank you for friends in our majoring from Buriram Rajabhat University for encouraging and help in this research.

6. References

[1] D. Heidari, B. Davvaz, On ordered hyperstructures, U.P.B. Sci. Bull. Series A., 73 (2011), 85-96.

[2] D.M. Lee, S.K. Lee, On intra-regular ordered semigroups, Kangweon Kyungki Math. Jour., 14 (2006), 95-100.

[3] F. Marty, Sur une generalization de la notion de group. 8th Congress Mathematics Scandinaves, Stockholm, 1934, 45-49.

[4] G. Birkhoft, Lattice theory, 25, Rhode Island, American Mathematical Society Colloquium Publications, Am. Math. Soc., Providence, 1984.

[5] J. Chvalina, Commutative hypergroups in the sense of Marty and ordered sets, General algebra and ordered sets (Horni Lipova, 1994), 19-30.

[6] Jianming Zhan, Fuzzy regular reletions on hyperquasigroups, J. Math. Res. Exposition, 30 (6) 2010, 1083-1090.

[7] M. De Salvo, D. Freni, G. Lo aro, Fully simple semihypergroups, J. Algebra, 699 (1014), 358-377.

[8] M. M. K. Rao, A study of a generalizalization of bi-ideal, quasi ideal and interior ideal of semigroup, Discussiones Mathematicae General Algebra and Aplications, 22 (2) (2018), 103-115.

[9] M. M. K. Rao, Bi-interior ideal of semigroup, Discussiones Mathematicae General Algebra and Aplications, 38 (2018), 69-78.

[10] N. Khayopulu, On intra-regular ordered semigroups, semigroup Forum, 46 (1993), 271-278.

[11] P. Corsini, V. Leoreanu-Fotea, Applications of hyperstructure theory, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003.

[12] T. Changphas, B. Davvaz, B-hyperideal and quasi-hyperideals in ordered semihypergroups, Italian. J. Pure Appl. Math. 35 (2015), 493-508.

[13] T. Changphas, B. Davvaz, Properties of hyperideals in ordered semihypergroup, Italian. J. Pure Appl. Math. 33 (2014), 425-432.