วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี
Journal of Engineering, RMUTT

ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2558 www.engineer.rmutt.ac.th/journal ISSN 1685-5280

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2558 www.engineer.rmutt.ac.th/journal ISSN 1685-5280

การประเมินสมรรถนะเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวด สำหรับเกษตรกรรายย่อย
Performance Evaluation of a Rasp Bar Type Small Rice Thresher for Small Scale Farmers

รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์[1] กฤตธัช โมราสุทธิ์[2] และ วันชัย เชาวรักษ์[2]
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
Email: rrka1965@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราการทำงานของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวดที่นิยมใช้กันทั่วไปโดยเฉพาะเกษตรกรรายย่อยในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กประกอบด้วย เครื่องยนต์ต้นกำลัง ชุดลูกนวดแบบแถบนวด ช่องป้อนฟ่อนข้าว ชุดถ่ายทอดกำลัง ฝาครอบลูกนวดและพัดลมทำความสะอาด ปัจจัยที่ศึกษา ประกอบด้วย จำนวนแถบนวด 5 และ 6 แถบนวด ความเร็วรอบของลูกนวด 200 300 และ 400 รอบต่อนาที ตามลำดับ และวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้งานเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กสำหรับเกษตรกรรายย่อย

ผลการทดสอบพบว่าจำนวนแถบนวดที่มีความเหมาะสมเท่ากับ 5 แถบนวด ความเร็วรอบของลูกนวดที่เหมาะสมเท่ากับ 300 รอบต่อนาที มีอัตราการทำงานของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กเท่ากับ 396 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดเท่ากับ 0.28 เปอร์เซ็นต์ ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 0.46 ลิตรต่อชั่วโมง และเมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กพบว่ามีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 125.8 บาทต่อชั่วโมง หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายประมาณ 0.32 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาอัตราการรับจ้างที่ 200 บาทต่อชั่วโมง ทำให้มีจุดคุ้มทุนในการทำงานเท่ากับ 14.6 ชั่วโมงต่อปี และระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องนวดขนาดเล็กแบบแถบนวดเท่ากับ 1.3 ปี

คำสำคัญ: สมรรถนะ เครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวด เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ด

---

[1]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2]นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ABSTRACT

The parameters effecting to the working capacity of a rasp bar type small rice thresher were studied. This machines are popularly used among the small scale farmers in the north east of Thailand. The small rice thresher consisted of engine, rasp bar thresher, feed board, transmission system, threshing cylinder cover and cleaning fan. The parameters used consist of number of rasp bar and threshing drum speed. Five and six rasp bar and three level of threshing drum speed (200, 300 and 400 rpm) were determined. Additionally an engineering economic analysis was determined the optimum use of the machine for small scale farmers.

Results showed that the optimum number of rasp bar and threshing drum speed were 5 and 300 rpm, respectively. Working capacity of the machine was 396 kg/hour with the total grain loss of 0.28%. Fuel consumption of the machine was 0.46 litre/hour. While economic analysis showed that the operation cost of the machine was 125.8 Baht/hour or approximately 0.32 Baht per kilogram. Considering the contract rate of 200 Baht/hour, the break-even point of machine was 14.6 hour/year and the pay-back period of the machine was 1.3 year.

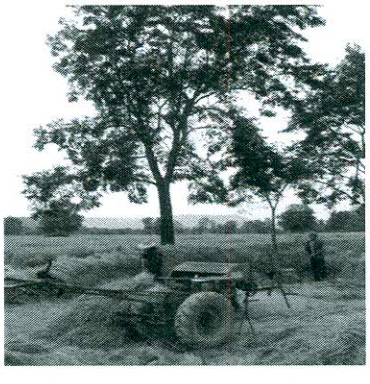
Keywords: performance, rasp bar type small rice thresher, percentage of grain loss

1. บทนำ

ในเขตพื้นที่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เกษตรกรส่วนใหญ่มีอาชีพทำนา ซึ่งในปีการผลิต 2556/57 พบว่ามีพื้นที่ในการปลูกข้าวนาปี จำนวน 37,066,629 ไร่ และมีปริมาณผลผลิตรวม 12,295,137 ตัน มีผลผลิตเฉลี่ย 332 กิโลกรัมต่อไร่ [1] ขั้นตอนการนวดข้าวเป็นขั้นตอนที่สำคัญหลังการเก็บเกี่ยวข้าว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเมล็ดข้าวออกจากรวงข้าว การนวดข้าวนั้นในแถบตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน เกษตรกรรายย่อยส่วนใหญ่จะใช้วิธีการนวดข้าวด้วยมือ (ฟาดข้าว) ซึ่งเป็นวิธีการแบบดั้งเดิม โดยการนำแผ่นผ้าตาข่ายมาปูเป็นลานกว้างเพื่อเตรียมเป็นพื้นที่สำหรับการนวดข้าว โดยเกษตรกรจะตากข้าวให้แห้งหลังการเก็บเกี่ยวด้วยมือแล้วประมาณ 2-3 วัน ทำการมัดเป็นฟ่อน ขนาด 5-7 กำมือ จากนั้นทำการขนย้ายข้าวมายังบริเวณที่เตรียมไว้เพื่อทำการนวดข้าว วิธีการนวดอาศัยอุปกรณ์ซึ่งเป็นไม้ 2 ท่อนที่มีเชือกผูกตรงปลายระหว่างไม้ทั้ง 2 ท่อนห่างกันประมาณ 20 ซม. โดยปลายไม้ของอีกด้านหนึ่งยาวกว่าประมาณ 10 ซม. เพื่อใช้เป็นไม้หนีบมัดข้าวในการนวด วิธีการใช้งานก็จะนำเอาไม้หนีบข้าวมาคล้องตรงบริเวณมัดข้าว หลังจากนั้นทำการฟาดข้าวลงไปบนแผ่นไม้ที่วางเป็นแนวเอียง ซึ่งทำขึ้นมาไว้สำหรับนวดข้าว เมล็ดข้าวที่ถูกฟาดจะหลุดออกจากรวงข้าว หล่นลงบริเวณ ที่ปูผ้าตาข่ายรองไว้ [2]

ในปัจจุบันเนื่องจากปริมาณเครื่องเกี่ยวนวดข้าวมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความ

ต้องการของเกษตรกร ซึ่งจากการสำรวจในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่ายังมีปริมาณไม่เพียงพอสูงถึงร้อยละ 34.38 [3] ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหานี้จึงได้มีการพัฒนาเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กชนิดแถบนวด ใช้เครื่องยนต์จากรถไถเดินตามเป็นต้นกำลังในการขับลูกนวด วิธีเตรียมการนวดคล้ายกับการนวดด้วยมือ โดยมีการปูตาข่ายรองและนำฟ่อนข้าวมาวางเรียงไว้ในตาข่าย (รูปที่ 1) หลังจากนำเครื่องนวดติดตั้งลงบนตาข่าย การนวดจะใช้แรงงานคนในการป้อนฟ่อนข้าว โดยการนำมัดข้าวป้อนยังช่องป้อนแล้วถือฟ่อนข้าวไว้ (Hold on) รวงข้าวจะถูกลูกนวดตีทำให้เมล็ดข้าวหล่นลงบนผ้าตาข่ายที่รองไว้ พัดลมที่ติดตั้งที่บริเวณด้านหลังของเครื่องนวดจะเป่าเศษฟางขนาดเล็กและเมล็ดข้าวลีบให้ออกจากพื้นที่การนวดข้าว จากนั้นนำฟ่อนข้าว



รูปที่ 1 การจัดเรียงข้าวเพื่อเตรียมการนวด

ที่ทำการตีเมล็ดข้าวออกจากรวงแล้วออกทางช่องเดิม ซึ่งการนวดลักษณะนี้เป็นการนวดแบบใช้แรงงานคนร่วมกับเครื่องจักร เป็นวิธีการนวดข้าวที่ประหยัดค่าใช้จ่ายและมีความสามารถในการทำงานเป็นที่ยอมรับของเกษตรกรรายย่อย แต่เนื่องจากเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวด ที่มีใช้กันทั่วไปในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการออกแบบจำนวนแถบนวดอยู่ระหว่าง 4 ถึง 6 แถบนวด ขึ้นอยู่กับการออกแบบของโรงงานผู้ผลิต ซึ่งจำนวนแถบนวดที่แตกต่างกันจะมีผลต่อสมรรถนะการทำงาน (Threshing capacity) และประสิทธิภาพการนวด (Threshing efficiency) ในขณะที่การปรับตั้งความเร็วรอบของลูกนวดที่ไม่เหมาะสมในการนวดข้าวเปลือก มีผลต่อการสูญเสียเมล็ดข้าวเปลือกที่นวดไม่หมดซึ่งยังคงเหลือติดฟ่อนข้าวอยู่ (Unthreshed grain loss) และทำให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงเกินความจำเป็น [4] ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้ มุ่งเน้นปัจจัยของความเร็วรอบของลูกนวดและจำนวนแถบนวดที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กชนิดแถบนวด และการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้งานเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กชนิดแถบนวดสำหรับเกษตรกรรายย่อย เพื่อการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิตข้าวของเกษตรกรในประเทศไทย

2. อุปกรณ์และวิธีการ

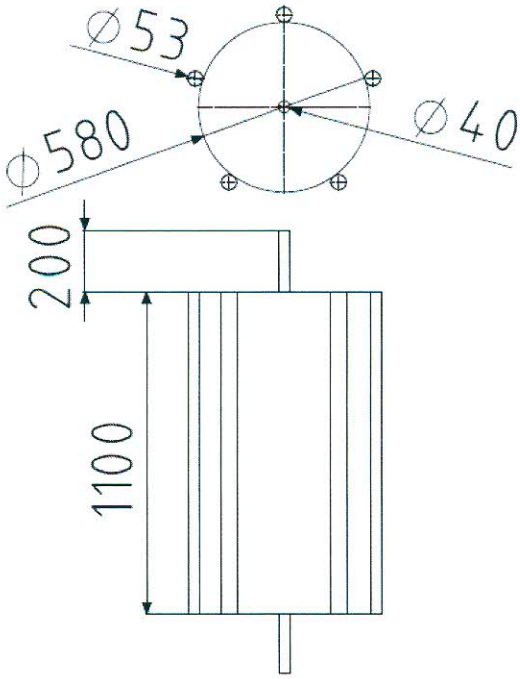
1. การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

ตั้งโครงเครื่องนวดและเชื่อมแผ่นฝาครอบลูกนวด แถบนวดทำจากเหล็กท่อกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. ยาว 110 ซม. หนา 3 มิลลิเมตร นำแถบนวดที่ทำการตัดไว้แล้ว จำนวน 5 และ 6 แถบนวด ตามลำดับ มาติดตั้งลงบนลูกนวดที่ทำจากถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร โดยให้แถบนวดที่ติดตั้งลงบนลูกนวดมีระยะห่างเท่ากัน ทำการติดตั้งแถบนวด 5 และ 6 ลงบนลูกนวด เชื่อมยึดแถบนวดเข้ากับลูกนวดตรงบริเวณกลางแถบนวดเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ติดตั้งถาดช่องป้อนฟ่อนข้าวเปลือก (feed board) พูลเลย์เข้ากับเพลาลูกนวด และเชื่อมเหล็กยึดลูกนวด ติดตั้งชุดวางใบพัดทำความสะอาดข้าวเปลือก (cleaning fan) บริเวณด้านหลังของเครื่องนวด และใบพัดบนชุดวางใบพัด เชื่อมขึ้นโครงฝาครอบ ติดฝาครอบใบพัด

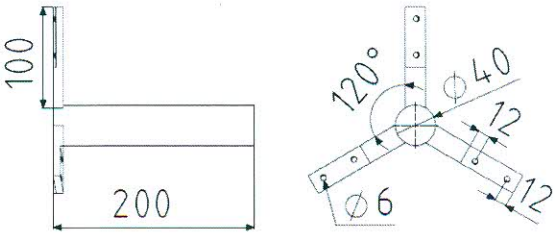
(threshing cylinder cover) รูปที่ 2-7 แสดงขั้นตอนการสร้างและแบบของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวด ขณะที่ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวดที่ใช้ในการศึกษาจัดเป็นเครื่องนวดแบบนวดตามขวาง (cross flow) ชนิดแถบนวด การป้อนฟ่อนข้าวแบบ Hold on ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกนวด 580 mm ความกว้างของลูกนวด 1100 mm

รูปที่ 2 การตั้งโครงเครื่องนวดและติดฝาครอบลูกนวด

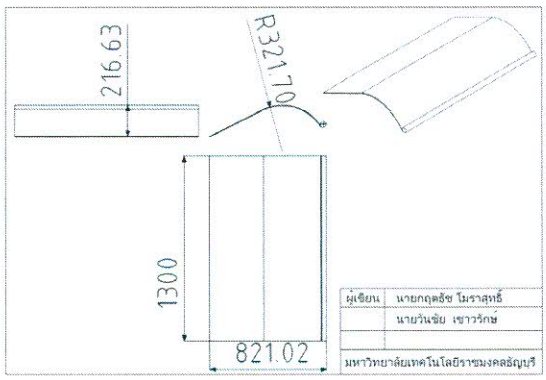
รูปที่ 3 การเชื่อมติดแถบนวดเข้ากับลูกนวด



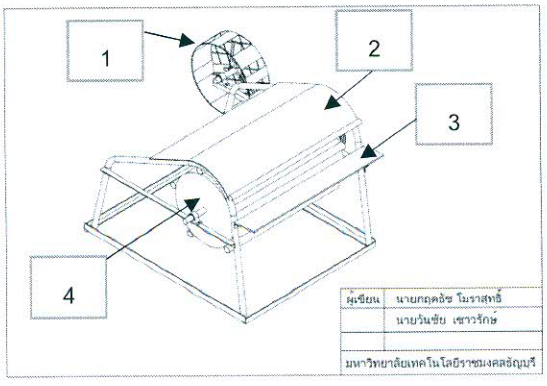
รูปที่ 4 ขนาดของลูกนวดและแถบนวด



รูปที่ 5 ขนาดของใบพัดทำความสะอาดข้าวเปลือก



รูปที่ 6 ขนาดฝาครอบลูกนวด



1. พัดลมทำความสะอาดข้าวเปลือก
2. ฝาครอบลูกนวด
3. ช่องป้อนฟ่อนข้าวเปลือก
4. ลูกนวดแบบแถบนวด

รูปที่ 7 เครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวด

ตารางที่ 1 รายละเอียดของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวด

หัวข้อ	รายละเอียด
ประเภทของเครื่องนวด	นวดตามขวาง
ชนิดของลูกนวด	แถบนวด
วิธีการป้อนฟ่อนข้าว	Hold on
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกนวด	580 mm
ความกว้างของลูกนวด	1100 mm

2 การประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องนวดข้าว

(1) สมการคำนวณหาความสามารถในการทำงานของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กชนิดแถบนวด ความสามารถในการนวดหาได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาณข้าวเปลือกที่ได้ต่อเวลาที่ใช้ในการนวด ดังสมการที่ 1 [5]

$$C_a = 60\frac{P}{t} \qquad (1)$$

เมื่อ

C_a = ความสามารถในการนวด (kg/h)

P = ปริมาณข้าวเปลือกที่ได้จากการนวด (kg)

t = เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (min)

(2) สมการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดข้าวเปลือกเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดข้าวเปลือกหาได้จากอัตราส่วนระหว่างเมล็ดที่ไม่ผ่านการนวดต่อปริมาณข้าวเปลือกทั้งหมด ดังสมการที่ 2 [5]

$$T_L = \frac{G}{P+G} \times 100 \qquad (2)$$

เมื่อ

TL = เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ด (%)

G = เมล็ดที่สูญเสียระหว่างการนวด (g)

P = ปริมาณข้าวเปลือกที่นวดได้ (g)

(3) สมการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความสะอาดของข้าวเปลือกความสะอาดของข้าวเปลือกหาได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือกสะอาดต่อน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือกทั้งหมด ดังสมการที่ 3 [5]

$$P_p = \frac{G_p}{G_p+G_i} \times 100 \qquad (3)$$

เมื่อ

P_p = เปอร์เซ็นต์เมล็ดสะอาด (%)

G_p = น้ำหนักเมล็ดสะอาด (g)

G_i = น้ำหนักสิ่งเจือปน (g)

(4) สมการคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงหาได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาณการใช้น้ำมันต่อเวลาที่ใช้ในการทดสอบ ดังสมการที่ 4 [6]

$$F_c = \frac{g}{t} \quad (4)$$

เมื่อ

F_c = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (litre/hr)

g = ปริมาณการใช้น้ำมัน (l)

t = เวลาในการทดสอบ (hr)

(5) สมการคำนวณหาประสิทธิภาพการนวด ประสิทธิภาพการนวดหาได้จากผลต่างระหว่าง 100 และ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดข้าวเปลือก ดังสมการที่ 5 [7]

$$T_H = 100 - T_L \quad (5)$$

เมื่อ

T_H = ประสิทธิภาพการนวด (%)

T_L = เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ด (%)

3. การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์

(1) ค่าเสื่อมราคา

ค่าเสื่อมราคาคำนวณโดยใช้วิธีแบบเส้นตรง พิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างผลต่างของราคาเครื่องจักรและมูลค่าซากของเครื่องจักรต่ออายุการใช้งานของเครื่องจักรดังสมการที่ 6 [6]

$$D = \frac{P_r - S}{L} \quad (6)$$

เมื่อ

D = ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร (Baht/year)

P_r = ราคาของเครื่องจักร (Baht)

S = มูลค่าซากของเครื่องจักร (Baht)

L = อายุการใช้งานของเครื่องจักร (year)

(2) ค่าดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส

ค่าดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสคำนวณดังสมการที่ 7 [6]

$$I = \frac{i}{100} \cdot \frac{P_r + s}{2} \quad (7)$$

เมื่อ

I = ค่าดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Baht/year)

i = อัตราดอกเบี้ย (%)

P_r = ราคาของเครื่องจักร (Baht)

s = มูลค่าซากของเครื่องจักร (Baht)

(3) จุดคุ้มทุนในการทำงาน

จุดคุ้มทุนในการทำงาน (Break-even point) คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างต้นทุนคงที่ต่อผลต่างระหว่างอัตราการรับจ้างและค่าใช้จ่ายผันแปรดังสมการที่ 8 [8]

$$BEP = \frac{FC}{B\text{-}VC} \quad (8)$$

เมื่อ

BEP = จุดคุ้มทุน (hour/y)

FC = ค่าใช้จ่ายคงที่ (Baht/year)

B = อัตราการรับจ้าง (Baht/hour)

VC = ค่าใช้จ่ายผันแปร (Baht/hour)

(4) ระยะเวลาในการคืนทุนระยะเวลาในการคืนทุนหาได้จากอัตราส่วนระหว่างราคาของเครื่องจักรต่อกำไรสุทธิเฉลี่ยต่อปี ดังสมการที่ 9 [8]

$$PBP = \frac{P_r}{R} \quad (9)$$

เมื่อ

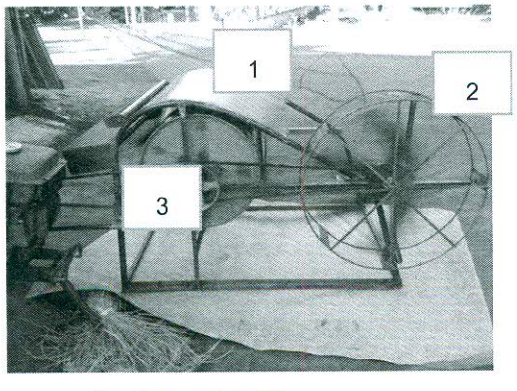
PBP = ระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องจักร (y)

P_r = ราคาของเครื่องจักร (Baht)

R = กำไรสุทธิเฉลี่ยต่อปี (Baht/y)

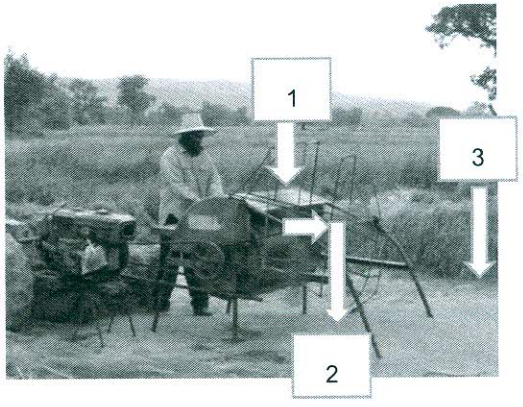
ทำการทดสอบและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องนวดข้าวแบบ 5 แถบนวด พันธ์ข้าวที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ พันธ์ กข 6 ความชื้นข้าวเปลือกเฉลี่ย 13 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) อัตราส่วนระหว่างเมล็ดต่อฟางเฉลี่ย 0.64 (grain straw ratio) โดยชั่งน้ำหนักฟ่อนข้าวจำนวน 15 ฟ่อน เพื่อหาน้ำหนักเฉลี่ยของฟ่อนข้าว สุ่มเมล็ดข้าวเปลือกเพื่อวัดค่าความชื้นด้วยเครื่องวัดค่าความชื้นข้าวเปลือก (grain moisture meter) ความเร็วรอบของลูกนวดในการทดสอบ 200 300 และ 400 รอบต่อนาที ตามลำดับ ใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบแบบตัวเลข (digital laser tachometer) สำหรับวัดความเร็วรอบของลูกนวด บันทึกผลข้อมูลต่างๆ ดังนี้ น้ำหนักข้าวเปลือกที่ได้จากการนวด น้ำหนักของเมล็ดข้าวเปลือกที่สูญเสียจากการนวด น้ำหนักสิ่งเจือปน ในแต่ละการทดลองจะทำซ้ำ 3 ครั้ง จำนวนแถบนวดที่ทำการทดสอบ ได้แก่ 5 และ 6 แถบนวด ตามลำดับ และใช้วิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ

รูปที่ 8-9 แสดงการเตรียมเครื่องนวดข้าวก่อนการทดสอบ และการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวดที่จังหวัดมุกดาหาร



1. ฝาครอบลูกนวด
2. พัดลมทำความสะอาดข้าวเปลือก
3. ลูกนวด

รูปที่ 8 เตรียมเครื่องนวดข้าวก่อนการทดสอบ



1. ช่องป้อนฟ่อนข้าวเปลือก
2. ช่องทางออกข้าวเปลือกสะอาดที่ได้จากการนวด
3. ข้าวเปลือกที่ไม่สมบูรณ์ (ข้าวลีบ) และเศษฟางที่ถูกพัดออกด้วยพัดลมทำความสะอาดข้าวเปลือก

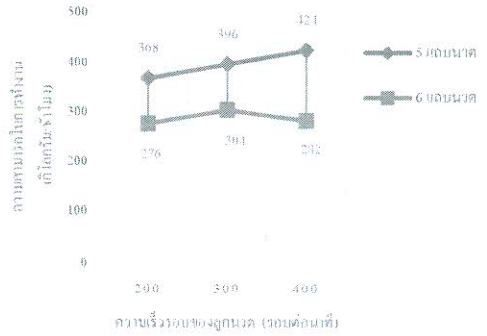
รูปที่ 9 การนวดข้าวโดยใช้เครื่องนวดข้าวขนาดเล็ก

3. การทดสอบและประเมินผล

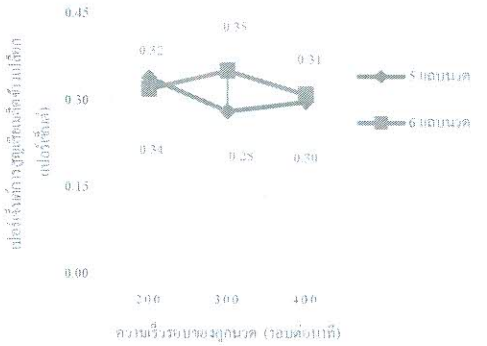
3.1 สมรรถนะการทำงานของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กชนิดแถบนวด

ผลการทดสอบความสามารถในการทำงานของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กชนิด 5 แถบนวด มีค่าอยู่ระหว่าง 368-424 กิโลกรัมข้าวเปลือกต่อชั่วโมง หรือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 396 กิโลกรัมข้าวเปลือกต่อชั่วโมง ในขณะที่เครื่องนวดข้าวขนาดเล็กชนิด 6 แถบนวด มีค่าสมรรถนะการทำงานอยู่ระหว่าง 276-304 กิโลกรัมข้าวเปลือกต่อชั่วโมง หรือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 287 กิโลกรัมข้าวเปลือกต่อชั่วโมง (รูปที่ 10) พิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดข้าวเปลือกพบว่าเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กชนิด 5 แถบนวด มีค่าการสูญเสียเมล็ดข้าวเปลือกอยู่ระหว่าง 0.28-0.34 หรือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.31 เปอร์เซ็นต์ ค่าประสิทธิภาพการนวดเฉลี่ย 99.69 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เครื่องนวดข้าวขนาดเล็กชนิด 6 แถบนวด มีค่าการสูญเสียเมล็ดข้าวเปลือกอยู่ระหว่าง 0.31 - 0.35 เปอร์เซ็นต์ หรือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.33

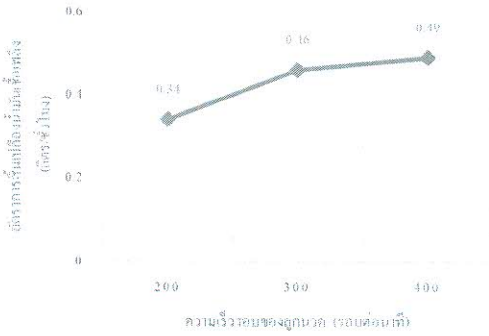
เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 11) ค่าประสิทธิภาพการนวดเฉลี่ย 99.67 เปอร์เซ็นต์ พิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ความสะอาดของข้าวเปลือกพบว่า เครื่องนวดข้าวชนิด 5 แถบนวดและ 6 แถบนวด มีค่าความสะอาดเท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดสอบเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องนวดข้าวที่มีจำนวน 5 และ 6 แถบนวด พบว่าจำนวนแถบนวดที่มีความเหมาะสมเท่ากับ 5 แถบนวด ความเร็วรอบของลูกนวดที่เหมาะสมเท่ากับ 300 รอบต่อนาที โดยมีอัตราการทำงานของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กเท่ากับ 396 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดเท่ากับ 0.28 เปอร์เซ็นต์ ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 0.46 ลิตรต่อชั่วโมง (รูปที่ 12) เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องนวดข้าวขนาด 3 ฟุต ใช้เครื่องยนต์ 8-10 แรงม้า เป็นต้นกำลังมีอัตราการทำงานอยู่ระหว่าง 700-1000 กิโลกรัมข้าวเปลือกต่อชั่วโมง มีค่าความสะอาดของข้าวเปลือกเฉลี่ย 97 เปอร์เซ็นต์ ค่าความสูญเสียเมล็ดน้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ [7] สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ปราโมทย์ คำเมือง และคณะ [9] ซึ่งทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาเครื่องนวดข้าวและถั่วเหลืองขนาดเล็ก โดยมีความสามารถในการทำงาน 226.71 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการทำความสะอาด 98 เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียรวม 2.36 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กชนิดแถบนวดสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่า เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดข้าวเปลือกที่ต่ำและมีสมรรถนะการทำงานเป็นที่ยอมรับของเกษตรกร



รูปที่ 10 ผลของความเร็วรอบลูกนวดที่มีต่อความสามารถในการทำงาน



รูปที่ 11 ผลของความเร็วรอบลูกนวดที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดข้าวเปลือก



รูปที่ 12 ผลของความเร็วรอบลูกนวดที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

3.2 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวด พิจารณาค่าใช้จ่ายคงที่และค่าใช้จ่ายผันแปรของเครื่องจักร ค่าใช้จ่ายคงที่ของเครื่องจักรได้แก่ ค่าดอกเบี้ย ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร ในขณะที่ค่าใช้จ่ายผันแปรของเครื่องจักรประกอบด้วย ค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าน้ำมันหล่อลื่น ค่าแรงงาน ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาเครื่องจักร โดยพิจารณาชั่วโมงการทำงานเท่ากับ 50 ชั่วโมงต่อปี และอัตราการรับจ้างพิจารณาเท่ากับ 200 บาทต่อชั่วโมงหรือประมาณ 1600 บาทต่อวัน อายุการใช้งานของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กพิจารณาที่ 5 ปี อัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ [4]

เมื่อพิจารณาอัตราการรับจ้างที่ 200 บาท/ชั่วโมง จุดคุ้มทุนของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กอยู่ที่ 14.6 ชั่วโมงต่อปี ขณะที่เมื่อพิจารณาการทำงานของเครื่องนวดข้าวที่ 50 ชั่วโมงต่อปี จะมีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 125.8 บาทต่อชั่วโมง (0.32 บาทต่อกิโลกรัมข้าวเปลือก) ถ้าเพิ่มชั่วโมงการทำงานเป็น 75 ชั่วโมงต่อปี จะมีค่าใช้จ่ายในการทำงานรวมเท่ากับ 115.6 บาทต่อชั่วโมง หรือเท่ากับ 0.29 บาทต่อกิโลกรัมข้าวเปลือก ซึ่งจากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นในจังหวัดมุกดาหารพบว่าเกษตรกรรายย่อยที่เป็นเจ้าของเครื่องนวดข้าวชนิดแถบนวด จะใช้งานเครื่องนวดข้าวชนิดแถบนวดเฉลี่ย 50 ชั่วโมงต่อปี ซึ่งเกษตรกรเหล่านี้จะมีพื้นที่ในปลูกข้าวเฉลี่ย 5 ไร่ต่อครัวเรือน

ในการวิเคราะห์หาระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวด (Pay- back period, PBP) โดยราคาของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กชนิดแถบนวด เท่ากับ 6,500 บาท การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายประจำปีของเครื่องจักรมีค่าเท่ากับ 5,118 บาท/ปี รายได้มีค่าเท่ากับ 10,000 บาท/ปี ดังนั้นระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องจักรมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างราคาของเครื่องจักรต่อกำไรสุทธิต่อปีเท่ากับ 6,500/4,882 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.3 ปี หรือประมาณ 1 ปี 4 เดือน ดังนั้นเกษตรกรที่ลงทุนซื้อเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวดจะมีระยะเวลาในการคืนทุนประมาณ 1 ปี 4 เดือน แต่ถ้าเกษตรกรนำไปรับจ้างเพิ่มเติมหลังจากที่ใช้งานเสร็จแล้วจะทำให้ระยะเวลาในการคืนทุนเร็วขึ้น

ดังนั้นการใช้เครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวด สำหรับเกษตรกรรายย่อย ในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ยังไม่สามารถเข้าถึงเครื่องเกี่ยวนวดข้าวได้เพราะปัญหาเรื่องสภาพพื้นที่เพาะปลูก และความไม่พอเพียงในการให้บริการรับจ้างเกี่ยวนวดข้าว จึงมีความเหมาะสมและช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายของเกษตรกรรายย่อย ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตข้าวลดลง เป็นผลดีกับประเทศชาติ ในการแข่งขันกับต่างประเทศได้

4. สรุปผลการทดลอง

การทดสอบสมรรถนะเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวดสำหรับเกษตรกรรายย่อย โดยใช้ค่าชี้วัดการศึกษา คือ ความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์การสูญเสียข้าวเปลือก ความสะอาดของข้าวเปลือก และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ผลการทดสอบพบว่าจำนวนแถบนวดและความเร็วรอบในการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องนวดข้าวขนาดเล็ก คือ จำนวน 5 แถบนวดและความเร็วรอบในการทำงาน 300 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยมีความสามารถในการนวดข้าวเปลือกเท่ากับ 396 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การสูญเสียข้าวเปลือกเท่ากับ 0.28 เปอร์เซ็นต์ ความสะอาดของข้าวเปลือกเท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์ และมี

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.46 ลิตรชั่วโมง

การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้งานเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า มีค่าใช้จ่ายในการทำงานรวมเท่ากับ 125.8 บาทต่อชั่วโมง (0.32 บาทต่อกิโลกรัมข้าวเปลือก) มีจุดคุ้มทุนในการทำงานเท่ากับ 14.6 ชั่วโมงต่อปี เมื่อพิจารณาอัตราการรับจ้างที่ 200 บาทต่อชั่วโมง และเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กชนิดแถบนวดจะมีระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 1.3 ปี

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักเศรษฐกิจการเกษตร ข้อมูลพื้นที่ผลผลิตข้าว พื้นที่เพาะปลูก [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.oae.go.th (2 กรกฎาคม 2558)

[2] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เครื่องมือทุ่นแรงและเครื่องจักรกลเกษตร [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.kanchanapisek.or.th (3 กรกฎาคม 2558)

[3] สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ระบบการใช้รถเกี่ยวนวดข้าว [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.oae.go.th (3 กรกฎาคม 2558)

[4] กฤตธัช โมราสุทธิ์ และ วันชัย เชาวรักษ์ 2556. การประเมินสมรรถนะเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กชนิดแถบนวด ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[5] กระทรวงอุตสาหกรรม. 2544. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2967 (พ.ศ. 2544) เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เครื่องนวดข้าวตามแกนลูกนวด มอก. 768 -2544.

[6] Regional Network for Agricultural Machinery. 1995. RNAM test codes and procedure for farm machinery. Technical Series No. 12. IRRI. Philippines.

[7] รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์ (ม.ป.ป.) เครื่องจักรกลเกษตร 2 [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.203.158.253.5/wbi/Engineer (3 กรกฎาคม 2558)

[8] Donnell Hunt. 2001. Farm Power and Machinery Management. Tenth Edition. Iowa State Press. Iowa 50014

[9] ปราโมทย์ คำเมือง สุทร จ้อยพจน์ พงษ์ศักดิ์ ต่ายก้อนทอง และ สำราญ สีตาล การวิจัยและพัฒนาเครื่องนวดข้าวและถั่วเหลืองขนาดเล็ก [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.phtnet.org/research/view-abstract (3 กรกฎาคม 2558)

การผลิตและศึกษาคุณสมบัติแผ่นฉนวนผนังเบาจากเส้นใยชานอ้อย เพื่อใช้ในงานสถาปัตยกรรม

The Production and Study property of Insulation wall light Board from Bagasse Fiber for using in Architecture work

นิตยา พัดเกาะ[1]

บทคัดย่อ

การทำวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อการผลิตและศึกษาสมบัติแผ่นฉนวนผนังเบาจากเส้นใยชานอ้อยเพื่อใช้ในงานสถาปัตยกรรมที่ใช้เส้นใยชานอ้อยเป็นวัตถุดิบ และใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน (pMDI) 10 % และกาวพอลีแลคติคแอซิด (PLA) 10 % ทำหน้าที่เป็นสารยึดติด โดยวิธีอัดร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ด้วยความดันในการอัด 150 kg/m2 มีความหนาแน่นที่ 400 -600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความหนาแผ่น 15 และ 20 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า สมบัติเชิงความร้อนแผ่นฉนวนผนังเบาจากเส้นใยชานอ้อยจัดเป็นฉนวนความร้อนที่ดีประเภทหนึ่งซึ่งพิจารณาจากค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.028 - 0.041 W/m.k และ 0.026 - 0.042 W/m.k และค่าความต้านทานความร้อนโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.113 - 0.146 m2.k/W และ 0.112 - 0.151 m2.k/W ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ความหนาแผ่น ปริมาณสารยึดติด และชนิดของสารยึดติด จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ และการทดสอบสมบัติเชิงกล แสดงให้เห็นว่าแผ่นฉนวนผนังเบาจากเส้นใยชานอ้อย ที่ใช้ปริมาณกาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนต เรซิน (pMDI) และกาวธรรมชาติพอลีแลคติคแอซิด (PLA) ที่มีความหนาแน่นที่ 400-600 kg/m3 สามารถใช้เป็นแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ และ วัสดุก่อสร้างได้อีกทางเลือกหนึ่ง ที่มีสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 876-2547

คำสำคัญ: แผ่นฉนวนผนังเบา เส้นใยชานอ้อย สมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อน สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

Abstract

The purpose of bagasse research was to produce and study insulator wall light property from bagasse fiber for using in architecture work. The fiber was used as raw material. Diphenylmethane di-isocyanate (pMDI) 10 % or Poly lactic Acid (PLA) 10% were used as adhesive. Made by heating at 120 °C with a compression pressure of 150 kg/m2 a density of 400 -600 kg/m3. with a thickness of 15 and 20 mm.

[1]อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

Test results showed that Thermal insulation properties of the wall of pulp fibers were classed as a good Thermal insulation and the type of which is determined by the Thermal conductivity and thermal resistance with an average between 0.028 - 0.041 W / m.k and 0.026 - 0.042 W/m.k, The thermal resistance is the average is between 0.113-0.146 m2.k/W and 0.112-0.151 m2.k/W respectively, depending on the thickness of an adhesive. And type of adhesive. In addition the Physical properties testing, Mechanical properties testing. Indicated that the insulation wall of fibers. The amount of adhesive synthetic resin with a diphenylmethane di-isocyanate (pMDI) and Poly lactic acid (PLA) of the density of 400-600 kg/m3. Can be used as compress the stand points of infantry. the building was used as an alternative. Properties in accordance with TIS 876-2547 standard.

Keywords: Insulating wall light, Bagasse fiber, Physical properties, Mechanical properties, Thermal properties, Sound absorption coefficient.

1. บทนำ

ปัจจุบันแผ่นผนังเบานิยมใช้กันมาก เพราะมีน้ำหนักที่เบา ประหยัด และติดตั้งได้รวดเร็ว ที่มีขายตามท้องตลาด [1] คือแผ่นไม้อัดจีน แผ่นไม้อัดยางและแผ่นไม้อัดสัก แต่จะมีปัญหาในเรื่องความชื้น จึงนิยมใช้เป็นผนังภายใน และผนังตกแต่งอาคาร อุตสาหกรรมการทำไม้อัดไม้ประกอบหรือการออกแบบวัสดุทดแทนได้รับความนิยม [2] รวมถึงมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อการช่วยเหลือสิ่งแวดล้อม และใส่ใจเรื่องการอนุรักษ์พลังงาน [3] เนื่องจากลดการใช้ไม้แล้วยังมีการนำวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่อีกด้วย และวัตถุดิบทดแทนก็ยังสามารถหาได้ง่าย ซึ่งมีอยู่ในพื้นที่

นอกจากไม้แล้วยังมีการใช้วัสดุเศษเหลือที่ให้เส้นใย นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิล[4,5]มีองค์ประกอบหลักทางอินทรีย์เคมี 3 ชนิด คือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และ ลิกนิน (Lignin) ในอัตราส่วน 4:3:2 โดยประมาณ โดยอยู่รวมกันในผนังเซลล์พืช

เส้นใยชานอ้อย [4] วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรส่วนประกอบทางเคมีของกากอ้อยที่ให้เส้นใย มีส่วนประกอบเช่นเดียวกับเนื้อไม้ เส้นใยเซลลูโลสเป็นส่วนที่มีความเหนียว ผนังเซลล์แข็งและหนา มีรูปร่างเป็นเส้นกลม ไฟเบอร์ยาวคล้ายทรงกระบอก

งานวิจัยนี้ ผลิตและศึกษาคุณสมบัติแผ่นฉนวนผนังเบา จากเส้นใยชานอ้อยเพื่อใช้ในงานสถาปัตยกรรมโดยใช้ กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน (pMDI) และกาวพอลีแลค-ติคแอซิด (PLA) ขนาดความหนาแผ่น 15, 20 มม. ค่าความหนาแน่นแผ่นเท่ากับ 400, 500 และ 600 kg/m3 ตามลำดับและทำการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล เชิงความร้อน รวมทั้งสมบัติค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง จากนั้นเปรียบเทียบแผ่นฉนวนผนังเบา จากเส้นใยชานอ้อยที่ผลิตได้กับแผ่นวัสดุอื่นๆ ในเชิงพาณิชย์ทั้งนี้เพื่อไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมด้วย [6] และช่วยส่งเสริมการสร้างแผ่นผลิตภัณฑ์ใหม่ให้กับอุตสาหกรรมก่อสร้าง พร้อม

กับการช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติได้ โดยใช้เส้นใยอ้อย มาเป็นส่วนประกอบหลักผสมกับกาวสังเคราะห์ และกาวธรรมชาติที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าในการผลิตแผ่นผนังเบา โดยอาศัยเทคโนโลยีภูมิปัญญาของคนไทย และวัตถุดิบภายในประเทศเพื่อที่จะได้แผ่นผนังเบาที่มีราคาถูกและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้อีกทางเลือกหนึ่ง

2. วิธีการทดลอง

2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเร่งปฏิกิริยา (Hardener) เป็นตัวช่วยเร่ง อัตราการเกิดปฏิกิริยาแข็งตัวของกาวให้เร็วขึ้น ลดระยะเวลาในการอัดร้อนให้สั้นลง สารเคลือบผิวกันซึม (Sizing agent) มีสมบัติคือ ลดการดูดซึมน้ำโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นไม้ประกอบ [7] กาวไอโซไซยาเนตเรซิน (pMDI) เป็นกาวชนิด polymeric diphenylmethan diisocyanate จะถูกใช้เป็น Casting resins และตัวกลางของสี ปัจจุบันถูกใช้ในการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด ที่ต้องการชิ้นงานที่มีความทนทานสูงและกาวพอลีแลคติคแอซิด (Polylactic Acid หรือ PLA) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คือแป้งที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ข้าวโพด และมันสำปะหลัง คุณสมบัติมีความใส ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่สามารถย่อยสลายได้เองเมื่อนำไปฝังกลบในดิน

2.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

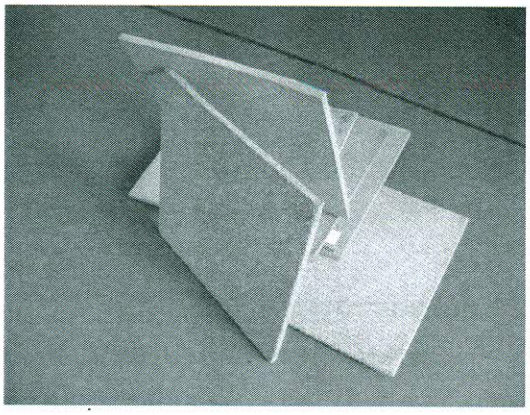
ชานอ้อย จากโรงงานน้ำตาล อำเภอหนองหาน จังหวัดสกลนคร ใช้เป็นวัสดุทดลองในงานวิจัยครั้งนี้

รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยชานอ้อย

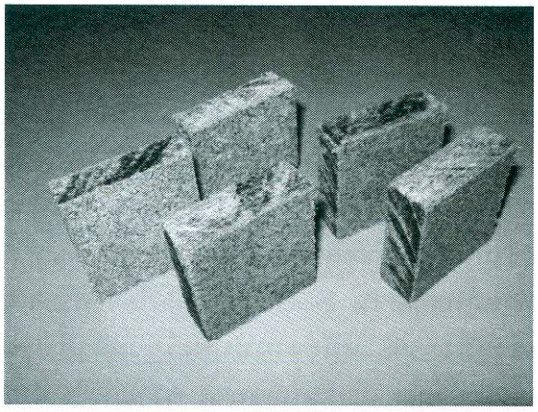
2.3 ขั้นตอนการทดลอง

นำชานอ้อยมาบดย่อยให้มีขนาดเล็ก โดยเครื่องบดเส้นใยแล้วร่อนแยกขนาดเส้นใยใช้เครื่อง (Screening) ให้มีขนาดของเส้นใยความกว้างประมาณ 0.44 มิลลิเมตร ความยาวโดยประมาณ 12.02 มิลลิเมตรและความหนา 0.20 มิลลิเมตร และมีสัดส่วนความเพรียว 60.10 เท่า ความชื้นของเส้นใยชานอ้อยก่อนผสมกาว 3-5%และความชื้นหลังผสม 10-12% จากนั้นผสมกาวไอโซไซยาเนต เรซิน และกาวธรรมชาติพอลีแลคติคแอซิค 10 % และใส่สารพาราฟินอิมั่ลชั่น 1 %สารเร่งปฏิกิริยา หรือสารเร่งแข็ง 1% หลังจากนั้นเตรียมการขึ้นรูปแผ่นผนังเบา ใช้แม่แบบขนาด ความกว้าง 400 มิลลิเมตร x ความยาว 400 มิลลิเมตร ความหนาของแผ่นเท่ากับ 15มิลลิเมตรและ 20 มิลลิเมตร ตามลำดับ อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตแผ่นผนังเบาในการอัดร้อน (Hot pressing) อยู่ที่ระหว่าง 120-122 องศาเซลเซียส แรงดันในการอัดร้อนประมาณ 150-160 kg/cm^2 และใช้ระยะเวลาการอัดร้อน 9-10 นาที หลังจากอัดร้อนแล้วนำแผ่นที่ได้ไปปรับสภาวะความชื้นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิของแผ่นลดลง จากนั้นนำแผ่นฉนวนผนังเบานำไปตัดเป็นชิ้นส่วนขนาด50 มิลลิเมตร X 50 มิลลิเมตร และนำไปทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล

เชิงความร้อนและการดูดซับเสียง ตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 [8] แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ หรือ JIS 5908-2003 (8 type) [9]



รูปที่ 2 แผ่นฉนวนผนังเบาจากเส้นใยชานอ้อย



รูปที่ 3 ชิ้นส่วนที่ตัดและนำไปทดสอบสมบัติขนาด 50 มิลลิเมตร X 50 มิลลิเมตร

3. ผลการทดลอง

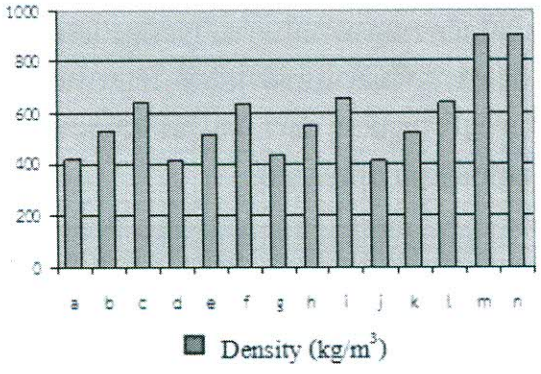
การเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นฉนวนผนังเบาจากเส้นใยชานอ้อยที่ผลิตได้กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์ตามสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล เชิงความร้อน และสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ตามมาตรฐาน ASTM D 256-90 a [10] และ ASTM D 1037 -06a [11] , ASTM C 177-10, [12] ASTM C384-04 (2011) [13] ค่าความหนาแน่นที่กำหนดที่ผลิต 400, 500, 600 kg/m3

ตารางที่ 1 รายละเอียดของการทดสอบแผ่นผนังเบา

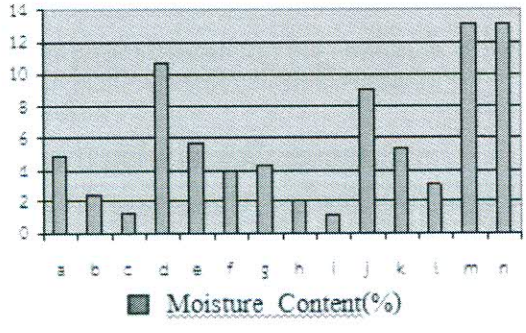
ประเภทสารยึดติด	ค่าเฉลี่ยความหนาของแผ่น (มม.)	ความหนาแน่นที่กำหนด (kg/m3)	สัญลักษณ์
กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน (pMDI)	15.04	400	a
	15.04	500	b
	15.03	600	c
กาว Poly lactic Acid (PLA)	15.04	400	d
	15.03	500	e
	15.04	600	f
กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน (pMDI)	20.02	400	g
	20.02	500	h
	20.04	600	i
กาว Poly lactic Acid (PLA)	20.04	400	j
	20.02	500	k
	20.02	600	l
มาตราฐาน JIS A 5908-2003 (8 type)		400-900	m
มอก.876-2547		400-900	n

3.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล เชิงความร้อน และสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

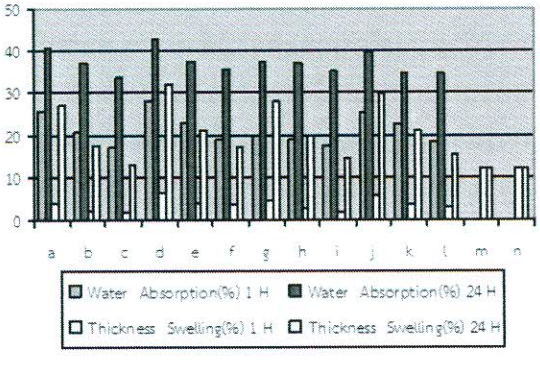
การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ ประกอบด้วย ทดสอบค่าความหนาแน่น (Density) ปริมาณความชื้น (Moisture content) ด้วยเครื่อง Oven testing machine การดูดซึมน้ำที่ 1 และ 24 ชั่วโมง (Water absorption) และการพองตัวทางความหนาที่ 1 และ 24 ชั่วโมง (Thickness swelling) อาศัยการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ หรือ JIS A 5908-2003 (8 type) ตามลำดับ



รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน (pMDI) และ Poly Lactic Acid (PLA) ความหนาของแผ่น 15 และ 20 มิลลิเมตร



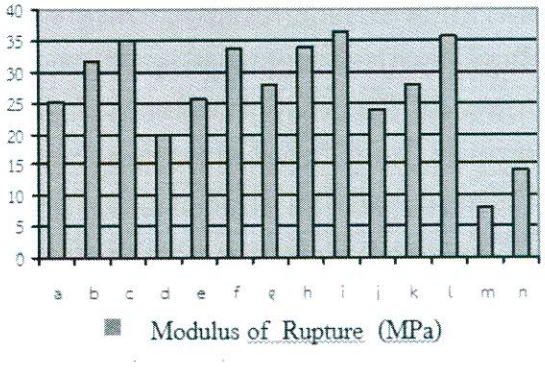
รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้น



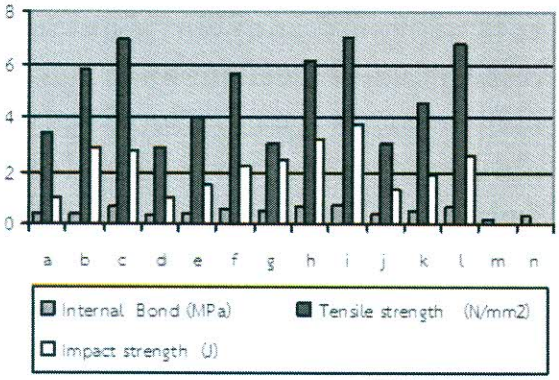
รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำที่ 1 และ 24 ชั่วโมง และการพองตัวทางความหนาที่ 1 และ 24 ชั่วโมง

ผลการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพพบว่า ค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำที่ 1 และ 24 ชั่วโมง และการพองตัวทางความหนาที่ 1 และ 24 ชั่วโมง ที่ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจะทำให้สมบัติดังกล่าวเพิ่มขึ้น แต่ขึ้นอยู่กับชนิดของสารยึดติดที่ใช้ แผ่นที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน จะมีสมบัติที่ดีกว่าแผ่นที่ใช้กาวธรรมชาติ จากการเปรียบเทียบทั้งนี้เนื่องมาจากการประสานตัวของชิ้นเส้นใยที่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดการเกาะเกี่ยวกันของชิ้นเส้นใยและการเรียงตัวของเส้นใยที่ดี ส่วนของเส้นใยที่หยาบและละเอียดประสานกันอย่างลงตัว ทำให้เกิดรูพรุนน้อย ทั้งยังมีการกระจายตัวของสารเคลือบผิวกันซึมที่ทั่วถึงขณะการอัดแผ่น ซึ่งเป็นการช่วยได้อีกทางหนึ่งด้วย เนื่องจากการเพิ่มความหนาแน่นของแผ่น จะส่งผลให้การจับหรือสัมผัสกันระหว่างชิ้นเส้นใย ที่มีสารยึดเกาะอยู่ใกล้ชิดแน่นขึ้นในระหว่างการอัดร้อน ทำให้เกิดการเชื่อมตัวกันได้ดีกว่า ความสามารถในการบีบอัด ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของชิ้นวัสดุ

การทดสอบสมบัติเชิงกล ด้วยเครื่อง Universal testing machine ประกอบด้วยการทดสอบค่าความต้านทานมอดูลัสแตกร้าว (Modulus of rupture, MOR) หรือความต้านทานแรงดัด และค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity, MOE) ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Tensile strength perpendicular to plane of board) ค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว ค่าความแข็งแรงการกระแทกและค่าความแข็งแรงดึง

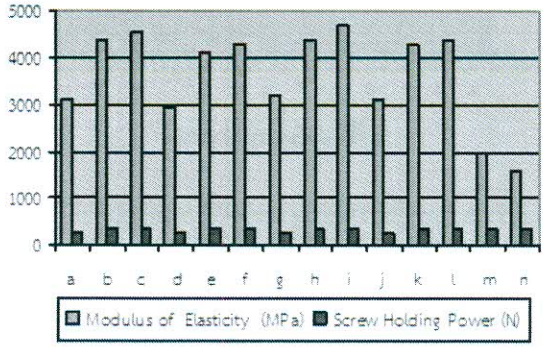


รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัด



รูปที่ 8 ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ความแข็งแรงการกระแทก ความแข็งแรงดึง

ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่า ค่าความต้านทานแรงดัด (รูปที่ 7) และความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่น (รูปที่9) ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (รูปที่ 8) ความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวด้านผิว (รูปที่9) ที่ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจะทำให้สมบัติดังกล่าวเพิ่มขึ้น แต่ขึ้นอยู่กับชนิดของสารยึดติดที่ใช้ แผ่นที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนต เรซิน (pMDI) จะมีสมบัติที่ดีกว่าแผ่นที่ใช้กาวธรรมชาติ Poly lactic Acid (PLA) จากการเปรียบเทียบชนิดของสารยึดติด ของแผ่นที่เปลี่ยนแปลงจะส่งผลทำให้สารยึดติดแต่ละชนิดเกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุลระหว่างชิ้นเส้นใยอย่างมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ยังทำให้แผ่นเกิดความต้านทานสมบัติทางกล ได้ดีด้วย สารยึดติดจัดว่าเป็นสารประกอบประเภทมีขั้วทั้งคู่ ทำให้วัสดุทั้งสองประเภทเกิดแรงดึงดูด ความเป็นกรดของไม้ เป็นปัจจัยที่กระทบโดยตรงต่ออัตราความเร็ว ในปฏิกิริยาแข็งตัวของวัสดุประสานในระหว่างการอัดร้อน สมบัติความเป็นกรดของไม้นี้มีผลกระทบอย่างมากสภาวะความเป็นกรดทำให้กาวสังเคราะห์ เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชั่น [7] แข็งตัวได้เร็วขึ้นในขณะอัดร้อน ลดระยะเวลาในการอัดร้อนให้สั้นลงได้ความสามารถในการเปียกของไม้ เป็นปัจจัยสำคัญมากในการเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกาวกับไม้ เนื่องจาก ผิวหน้าไม้ชนิดใดมีความสามารถในการเปียกที่สูง แสดงว่ากาวสามารถซึมเข้าไปในผิวไม้ได้ดี โดยการแทรกตัวกาวไปในรูเล็กๆ แล้วเกิดเป็นพันธะระหว่างโมเลกุลของกาวกับผิววัสดุ

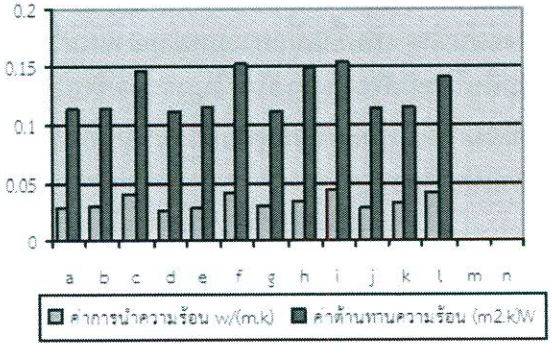


รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่นความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวด้านผิว

การทดสอบสมบัติเชิงความร้อน Thermal Analysisโดยใช้เครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) เป็นกระบวนการวัดค่าการนำความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนผนังเบา ได้ทำการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C 177- 10

ผลการศึกษาพบว่าสมบัติเชิงความร้อนการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนผนังจากเส้นใยชานอ้อย มีค่าการนำความร้อนต่ำกว่า แผ่นยิบซัม (ค่าการนำความร้อน 0.2820 W/m.K, ค่าความต้านทานความร้อน 0.0430 m2.k/w) ไม้อัด (ค่าการนำความร้อน 0.2290 W/m.K, ค่าความต้านทานความร้อน 0.0450 m2.k/w) ที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน แต่สูงกว่า แผ่นฉนวนใยแก้วเล็กน้อย สามารถกล่าวได้ว่า แผ่นฉนวนผนังเบาที่ผลิตได้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีประเภทหนึ่งผลการเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนพบว่า ความหนาแน่นของแผ่นที่กำหนด 400-600 kg/m3 ที่ใช้กาวสังเคราะห์ ไอโซไซยาเนต เรซิน (pMDI) และ กาว Poly lactic Acid (PLA) ความหนาของแผ่น

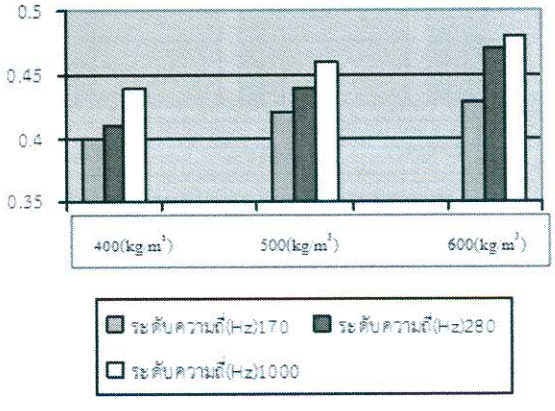
15 มิลลิเมตร ค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนของแผ่นที่ได้ โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.028-0.045 W/m.K, 0.026-0.046 W/m.K และ 0.114-0.146m2.k/W, 0.112-0.151 m2.k/w ตามลำดับความหนาของแผ่น 20 มิลลิเมตร ค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อน ของแผ่นที่ได้ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง0.030-0.049W/m.K,0.028-0.042 W/m.Kตามลำดับและ 0.112-0.153 m2. k/w, 0.113-0.141 m2. k/w ตามลำดับดังรูปที่ 10



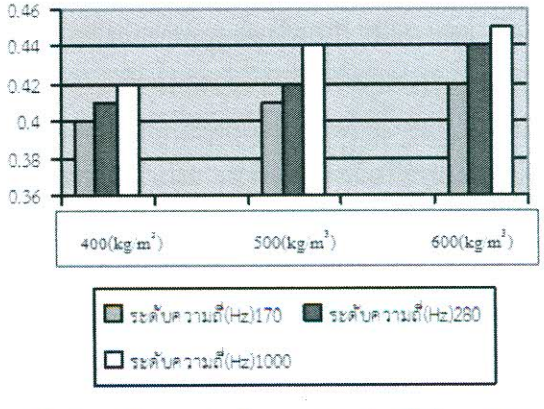
รูปที่ 10 การนำความร้อนและความต้านทานความร้อน การนำความร้อนและความต้านทานความร้อน

การเพิ่มความหนาแน่นของแผ่น จะส่งผลให้ชิ้นวัสดุที่ผสมกาวแล้วหรือสัมผัสระหว่างกันใกล้ชิดแน่นขึ้น หากเป็นแผ่นที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า จะมีช่องว่างมากกว่า ทำให้ค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าแผ่นที่มีความหนาแน่นสูง ทำให้วัสดุประสานที่เกาะอยู่ขาดประสิทธิภาพในการยึดเกาะไปแต่จะตรงกันข้ามกับค่าความต้านทานความร้อนจะสูง แต่ถ้าการอัดแผ่นให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้ชิ้นวัสดุใกล้ชิดจับกันดีทำให้ค่าการนำความร้อนสูง แต่ค่าความต้านทานความร้อนจะต่ำ และทำให้วัสดุประสานที่อยู่บนชิ้นไม้เกิดการจับยึดอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น สมบัติทางความร้อน ความสามารถในการต้านทานความร้อนหรือค่า R-Value จะเป็นค่าที่บอกถึงอัตราส่วนระหว่างความหนาของวัสดุตามแนวที่ความร้อนไหลผ่านกับความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ

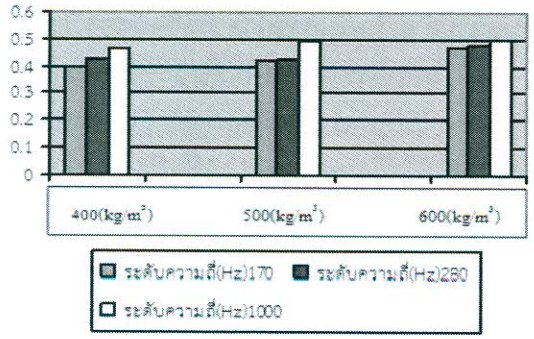
ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดคลื่นเสียง (Audio signal generator) ท่อนำคลื่นเสียง (Impedance tube) เครื่องวัดสัญญานคลื่นเสียง (Wave form recorder) ขนาดความหนาของแผ่น 15 และ 20 มิลลิเมตร ความหนาแน่นที่กำหนด 400 , 500 และ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศน์เมตร และมีลักษณะการดูดซับเสียงที่ช่วงความถี่ 170, 280 และ 1,000 เฮิร์ตซ์ ตามมาตรฐาน ASTM C 384-90 (1990)



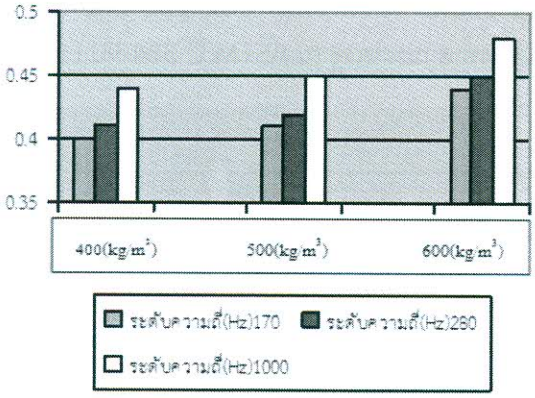
รูปที่ 11 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน (pMDI) ความหนาของแผ่น 15 มิลลิเมตร



รูปที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ใช้กาว Poly Lactic Acid (PLA) ความหนาของแผ่น 15 มิลลิเมตร



รูปที่ 13 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน (pMDI) ความหนาของแผ่น 20 มิลลิเมตร



รูปที่ 14 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ใช้กาว Poly Lactic Acid (PLA)ความหนาของแผ่น 20 มิลลิเมตร

การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient, α) ของแผ่นวัสดุที่มีความหนาของแผ่น 15 และ 20 มิลลิเมตร ความหนาแน่นที่กำหนด 400, 500 และ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศน์เมตร และมีลักษณะการดูดซับเสียงที่ช่วงความถี่ 170, 280 และ 1,000 เฮิร์ตซ์ เป็นวัสดุซับเสียงประเภทที่เป็นเส้นใยหรือวัสดุที่มีรูพรุน แผ่นวัสดุที่ทำจากเส้นใยชานอ้อยที่มีลักษณะการดูดซับเสียงแบบรุพรุนคือ มีความหนาแน่นและมีความสม่ำเสมอของเส้นใยสูง มีผลทำให้โพรงช่องที่เกิดมีลักษณะที่สม่ำเสมอ คือ มีความสามารถในการดูดซับเสียงสูงขึ้น เมื่อความถี่เสียงสูงขึ้นที่ความหนาแผ่นมากขึ้น ถึงแม้ว่าจะมีลักษณะโครงสร้างภายในคือมีเซลล์เปิดอยู่ภายใน แต่เนื่องจากเซลล์เปิดเหล่านี้ไม่มีรูปแบบที่สม่ำเสมอ เนื่องจากอิทธิพลของแผ่นที่มีความหนาแน่นต่ำของเส้นใยชานอ้อย ทำให้พฤติกรรมการดูดซับเสียงมีลักษณะกลไกเป็นแบบรุพรุน คือ สามารถดูดซับเสียงในช่วงความถี่ต่ำๆ ได้ดีและมีความสามารถในการดูดซับเสียงลดลง เมื่อความถี่สูงขึ้น ส่วนแผ่นที่ความหนาแน่นสูง ที่ทึบกว่าเกินกว่าการส่งผ่านพลังงานเสียงเข้าไปในเส้นใยได้หรือกล่าวคือ เกิดการสะท้อนกลับ ของพลังงานเสียงเมื่อมีความถี่สูงขึ้นและจากการศึกษาของความหนาของวัสดุ ที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของแผ่นวัสดุ เพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของแผ่นวัสดุเพิ่มขึ้นโดยมีลักษณะกลไก ในการดูดซับเสียงเหมือนกันในทุกแผ่นวัสดุที่มีความหนาที่ความหนาแน่นเดียวกัน

4. สรุปผลการทดลอง

การใช้เส้นใยชานอ้อยมาทำแผ่นฉนวนผนังเบา โดยใช้ปริมาณกาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน (pMDI) และกาวธรรมชาติพอลีแลคติคแอซิค (PLA) ที่ความหนาแน่นที่ 400-600 kg/m3 เป็นแผ่นฉนวนผนังเบาที่ดีตามสมบัติมาตรฐาน มอก.876-2547 ซึ่งแผ่นที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจะทำให้สมบัติดังกล่าวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารยึดติด โดยการศึกษาพบว่าการใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนต เรซินเกิดแรงยึดเหนี่ยวดี ความต้านทานแรงดัดของแผ่นสูง และมีความแข็งแรงดี ทางด้านความร้อนเนื่องจากแผ่นที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นทำให้ชิ้นวัสดุใกล้ชิดจับกันดีจึงทำให้ค่าการนำความร้อนสูงแต่ค่าการต้านทานความร้อนจะต่ำ นอกจากนี้ค่าความหนาที่เพิ่มขึ้น ความถี่เสียงสูงขึ้นสามารถดูดซับเสียงได้มากขึ้นตามลำดับและราคาแผ่นฉนวนผนังเบา มีราคาต่ำกว่าท้องตลาดทั่วไป (ราคาวัสดุก่อสร้างปี 2557)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ให้ทุนสนับสนุนร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

คุณวรธรรม อุ่นจิตติชัย นักวิชาการ 8 ว. ซึ่งให้แนวคิดและคำแนะนำและอำนวยความสะดวกต่อการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] อำนวย เรืองวารี,ศิริชัย ต่อสกุล และ วารุณี เปรมานนท์, 2555. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม. กรุงเทพ:เอสทีชี มีเดีย แอนด์ มาเก็ตติ้ง. 49-54

[2] สรชา ไววรกิจ, ผลิตปูนซีเมนต์ธรรมชาติจากขยะเหลือบริโภคและวัสดุเหลือใช้ [ออนไลน์].คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. เข้าถึงได้จาก http://www.rmutt.ac.th/?p=35659 (สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2558)

[3] วชิระ แสงรัศมี, บล็อกประสานน้ำหนักเบาจากเยื่อ กระดาษเหลือทิ้ง [ออนไลน์]. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.เข้าถึงได้จาก http://www.rmutt.ac.th/?p=35659 (สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2558)

[4] กิตติศักดิ์ บัวศรี, วรธรรม อุ่นจิตติชัย, 2550 . การพัฒนาแผ่นฉนวนความร้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์.สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ร่วมกับสำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา.

[5] ประยูร สุรินทร์ , 2544 . การศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติของแผ่นฉนวนความร้อนจากชานอ้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต . สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี .99 หน้า.

[6] ธนัญชัย ปคุณวรกิจ, 2548. การพัฒนาฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมและการผังเมือง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 154 หน้า.

[7] วรธรรม อุ่นจิตติชัย,2543. กาวในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์แผ่นไม้ประกอบ. เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ. สมาคมวิทยาศาสตร์การเกษตรแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์, วันที่ 12-13 กรกฎาคม 2543. กรุงเทพฯ. 178 หน้า.

[8] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นชิ้นไม้ อัดชนิดอัดราบ, มอก. 876-2547. กระทรวงอุตสาหกรรม. 17 หน้า.

[9] Japanese Standards Association Particleboard, 2003, JIS A 5908-2003 "Japanese Industrial Standard Tokyo. Hohbunsha Co.Ltd. 23 p.

[10] American Society for Testing and Materials, 1990,ASTM D 256 -06a "Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials , In 1990 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 08.01, Philadelphia, ASTM. pp. 57-73.

[11] American Society for Testing and Materials, 1999, ASTM D 1037-99 Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials, In Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.10, Phiadephia ,ASTM.pp.137-166.

[12] American Society for Testing and Materials. 2010, ASTM C 177-10 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Quarded-Host-Plate Apparatus. In Annual Book of ASTM Standards, MD,U.S.A., Vol. 04.06. pp. 21-32.

[13] American Society for Testing and Materials, 1990, ASTM C 384 -90a Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance Tube Method, In Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.06, Phiadephia, ASTM.pp.100-110.

การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทอดโดยเทคนิคการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กรณีศึกษา โรงงานอาหารกึ่งสำเร็จรูป

The Operational Effectiveness Improvement of Fryer Machine by Preventive Maintenance: A Case Study of Delicatessen Manufacturing Factory

อุเทน เฉลยโฉม[1] ระพี กาญจนะ[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มผลผลิตของผลิตภัณฑ์ไก่ปรุงสุก ด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องทอดเนื่องจากผลผลิตของเครื่องทอดไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งตั้งไว้ที่ 120,000 กิโลกรัมต่อเดือน กรณีศึกษา บริษัทยังผลิตได้เฉลี่ย 85,427 กิโลกรัมต่อเดือน คิดเป็น 71.2% เท่านั้น

การวิจัยครั้งนี้ได้เริ่มเก็บข้อมูลการผลิตและการทำงานของเครื่องทอดไก่ปรุงสุกของบริษัทกรณีศึกษา และทำการวิเคราะห์ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องทอด พบว่าเครื่องทอดมีค่าประสิทธิผลโดยรวมอยู่ 60.73% ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ จึงได้วิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เครื่องเกิดเหตุขัดข้อง โดยการนำ พาเรโตมาเป็นเกณฑ์ตัดสินในการเลือกหัวข้อของปัญหา มาทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้การวิเคราะห์แบบ Why-Why

หลังจากทราบถึงสาเหตุของปัญหาแล้ว จึงมีการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องและดำเนินการตามแผนที่กำหนด เพื่อลดความสูญเสียจากเหตุขัดข้องและประเมินประสิทธิภาพการนำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมาใช้ ด้วยการวิเคราะห์ค่าความพร้อมใช้งานของเครื่องทอดและการวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องทอดผลก่อนและหลังดำเนินการปรับปรุงตามแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน พบว่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทอดไก่ปรุงสุกเพิ่มขึ้นคิดเป็น 1.6 เปอร์เซ็นต์ ค่าความพร้อมใช้งานของเครื่องทอดเพิ่มขึ้นคิดเป็น 1.60 เปอร์เซ็นต์ และค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องทอดเพิ่มขึ้นคิดเป็น 32.13 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ส่งผลให้ผลผลิตเนื้อไก่ปรุงสุกเพิ่มขึ้น 39,038 กิโลกรัม/เดือน หรือคิดเป็น 31.3 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การวัดค่าประสิทธิผลโดยรวม การวิเคราะห์ปัญหาด้วยหลักการทำไม-ทำไม เครื่องทอด

[1]นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Abstract

This research aimed to increase output of cooked chicken products because the current average capacity was 85,427 kilogram per month, equal to 71.2%, had below 120,000 kilogram per month as the company's objective. From initial analysis, it found that the fryer machine is a main problem which had a lower performance with the overall equipment effectiveness (OEE) at 60.73%.

The research methodology began with collecting data and analyzing the root cause of breakdown problem of fryer machine. Pareto principle was consequently applied to prioritize the problem and then why-why analysis was also used to root cause of the problem. The preventive maintenance technique was implemented to improve the machine performance and finally, the fryer machine availability and the OEE were analyzed and evaluated.

After improvement by preventive maintenance technique, the result showed that the performance and availability of fryer machine were both increased 1.6% due to the fact that the OEE was also increased 32.13%. As a result of improving the fryer machine performance, the output of cooked chicken products increased to 39,038 kilogram per month or 31.30% improvement which was able to achieve the company's objective.

Keywords: preventive maintenance, overall equipment effectiveness, why-why analysis, fryer

1. บทนำ

ปัจจุบันเกิดการแข่งขันทางด้านธุรกิจอย่างรุนแรงปัจจัยที่สำคัญที่จะทำให้ธุรกิจอยู่รอดและสามารถแข่งกับคู่ต่อสู้ทางธุรกิจได้คือการลดต้นทุนในกระบวนการผลิตไม่ว่าจะเป็นด้านการผลิตผลิตภัณฑ์ หรือบริการ ทั้งนี้เพื่อทำให้ผลิตสินค้าที่มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ มีคุณภาพดี ส่งมอบสินค้าได้ทันตามเวลาที่กำหนด สำหรับปัจจัยการผลิตที่สำคัญที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในยุคสมัยใหม่ก็คือเรื่องของเครื่องจักรอุปกรณ์ ซึ่งเครื่องจักรอุปกรณ์สมัยใหม่จะมีการทำงานที่เป็นแบบอัตโนมัติ และมีความเร็วในการทำงานเพิ่มมากขึ้นซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตแก่ผู้ผลิตได้เป็นอย่างดี แต่ถ้าเครื่องจักรอุปกรณ์เหล่านั้นเกิดการชำรุดเสียหาย, หยุดการทำงานกะทันหันหรือมีสภาพไม่สมบูรณ์ก็จะทำให้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตต้องหยุดชะงัก คุณภาพสินค้าไม่ได้มาตรฐาน ส่งมอบสินค้าไม่ทันเวลา และที่สำคัญคือค่าใช้จ่ายในการผลิตสูง โดยเฉพาะอย่างค่าใช้จ่ายในด้านการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่ชำรุดเสียหายซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายหลักในการผลิตสินค้า การจัดการระบบบำรุงรักษาเครื่องจักรที่ดีถือเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรได้ บริษัทกรณีศึกษาประสบปัญหาในส่วนของกำลังการผลิตของผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ปรุงสุกที่ไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาด ซึ่งกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อไก่

ปรุงสุกประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ ซึ่งบางส่วนของกระบวนการเป็นการใช้เครื่องจักรช่วยในการผลิต

โดยเป้าหมายในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ปรุงสุกของฝ่ายการตลาดของบริษัทกำหนดในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ปรุงสุกอยู่ที่ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมงซึ่งจากการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์แล้วพบว่ากระบวนการทอดเนื้อไก่ยังไม่เป็นไปตามเป้าหมาย ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ยต่อเดือนของเครื่องทอดอาหารยังต่ำกว่าเป้าหมายที่ทางบริษัทตั้งไว้ โดยที่เครื่องทอดมีค่าประสิทธิผลโดยรวมอยู่ 60.73% ทั้งนี้เกิดจากเหตุขัดข้อง (Breakdown) ของเครื่องทอดอาหาร ซึ่งวิเคราะห์ได้ว่าสาเหตุหลักเกิดจากการซ่อมบำรุงเครื่องทอดอาหาร และระบบการทำงานของเครื่องทอดอาหาร ด้วยเหตุนี้จึงมุ่งหวังที่จะนำหลักการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องทอดอาหาร และมีการดำเนินการตามแผนอย่างถูกต้องเพื่อจะทำให้เครื่องทอดอาหาร มีประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น

2.วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อวางแผนและจัดทำระบบการบำรุงเชิงป้องกันกับเครื่องทอดอาหาร

1.2.2 เพื่อลดความสูญเสียเวลาการทำงานของเครื่องทอดอาหารอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน [6]

2.1.1 การทำความสะอาดเครื่องจักร

การทำความสะอาดเครื่องจักรเป็นแม่บทของการซ่อมบำรุง ซึ่งนอกเหนือจะเป็นกระจกสะท้อนให้เห็นภาพของการจัดการในโรงงานแล้วยังให้ผลสะท้อนถึงความรู้สึกของพนักงาน อีกทั้งการทำความสะอาดยังนับเป็นก้าวแรกของการบำรุงรักษาเชิงป้องกันอีกด้วย

2.1.2 การหล่อลื่น

การหล่อลื่นเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับเครื่องจักรจากการสึกหรอและความร้อนแล้วการหล่อลื่นยังช่วยให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักรสูงขึ้น

2.1.3 การตรวจสภาพ

การบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาข้อบกพร่องขั้นต้นหรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ซึ่งอาจนำไปสู่ความขัดข้อง และสภาพแวดล้อมที่จะต้องได้รับการตรวจสอบแก้ไข เพื่อให้เข้าสู่สภาวะการทำงานปกติของเครื่องจักร

2.1.4 การปรับแต่งและการปรับเปลี่ยนชิ้นส่วน

การซ่อมบำรุงเครื่องจักรแม้ว่าจะมีการรักษาความสะอาดและหล่อลื่นเพียงใดความสึกหรอของชิ้นส่วนมักเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นการปรับเปลี่ยนและการปรับแต่งชิ้นส่วนจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะให้เครื่องจักรกลับสู่สภาพปกติพร้อมใช้งานภายในขอบเขตที่กำหนดของเครื่องแต่ละเครื่อง

2.2 ประสิทธิผลเครื่องจักรโดยรวม (Overall Equipment Effectiveness)

การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE – Overall Equipment Effectiveness) เป็นวิธีการที่ดีวิธีหนึ่งที่นอกจากทำให้รู้ประสิทธิผลของเครื่องจักรแล้วยังรู้ถึงสาเหตุของความสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้งในภาพใหญ่ คือ สามารถแยกประเภทการสูญเสียและรายละเอียดของสาเหตุนั้น ทำให้สามารถที่จะปรับปรุงลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องและเป็นระบบ[1]

การวัดจากเครื่องจักรแต่ละเครื่องโดยตรงของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดวิธีวัดค่า OEE จะขึ้นกับปัจจัยดังนี้

A คือสมรรถนะความพร้อมใช้งาน (Availability Performance) ของเครื่องจักร

= (เวลาเดินเครื่อง/เวลาการรับภาระงาน) x 100

P คือสมรรถนะอัตราเร็วการผลิต (Production Speed Performance) ของเครื่องจักร

= (เวลาเดินเครื่องสุทธิ/เวลาเดินเครื่อง) x 100

Q คือสมรรถนะคุณภาพ (Quality Performance) ของผลผลิต

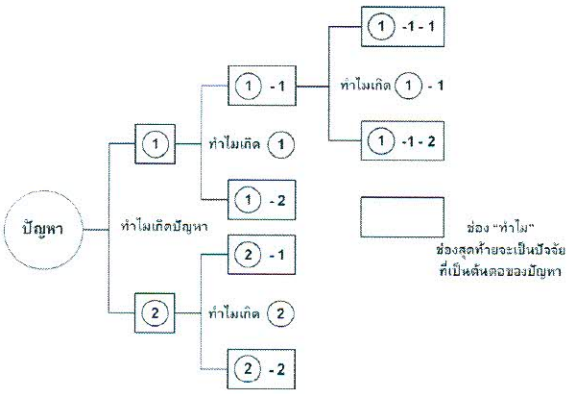
= (จำนวนชิ้นงานที่ดี/จำนวนชิ้นงานทั้งหมด) x 100

ประสิทธิผลเครื่องจักรโดยรวมสามารถคำนวณได้ดังนี้ Overall Equipment Effectiveness, OEE = A x P x Q

ค่าเป้าหมายของ OEE ระดับที่มาตรฐานสากล = 85%

2.3 Why-Why Analysis

Why-Why Analysis เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุให้เกิดปรากฏการณ์อย่างเป็นระบบ มีขั้นมีตอน ไม่เกิดการตกหล่น ซึ่งไม่ใช่การคิดแบบคาดเดาหรือนั่งเทียน [3]



ภาพที่ 1 การถามคำถาม Why-Why

วิธีคิดของ Why Why Analysis เมื่อมีปรากฏการณ์อย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้นให้ทำการพิจารณาประกอบกับสังเกต ณ สถานที่เกิดปรากฏการณ์นั้นหัวข้อสำรวจใดเป็น NG และ OK หลังพิจารณาต่อเฉพาะปัจจัยที่เป็น NG โดยการตั้งคำถามว่า "ทำไม" ไปเรื่อยจนกว่าจะพบสาเหตุที่แท้จริงของการที่ทำให้หัวข้อที่สำรวจเกิดการ NG และกำหนดมาตรการการแก้ไข

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศักดา (2550) ได้นำหลักการ การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องทอผ้า เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเครื่องทอผ้าโดยและเพื่อเพิ่มผลผลิตผ้าทอ เนื่องจากผลผลิตของเครื่องทอไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด โดยงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์สาเหตุหลักที่ทำให้เครื่องเกิดเหตุขัดข้อง กำหนดแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องและดำเนินการตามแผนที่กำหนด เพื่อลดความสูญเสียจากเหตุขัดข้อง ผลจากการดำเนินการปรับปรุงตามแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน พบว่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทอเพิ่มขึ้นคิดเป็น 8.63 เปอร์เซ็นต์ ค่าความพร้อมใช้งานของเครื่องทอเพิ่มขึ้นคิดเป็น 0.56 เปอร์เซ็นต์ และค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องทอเพิ่มขึ้นคิดเป็น 2.56 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ส่งผลให้ผลผลิตผ้าทอเพิ่มขึ้น 772.33 หลา/เดือน หรือคิดเป็น 1.5 เปอร์เซ็นต์

เกียรติบัลลังก์ และระพี (2556) ได้กำจัดความสูญเสียในกระบวนการผลิตเฟรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยใช้ OEE เป็นเครื่องมือที่ต้องพิจารณา 3 ส่วน คือ อัตราการเดินเครื่อง ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง และอัตราคุณภาพ ใช้วัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรพบว่าอยู่ที่ 77.88% และนำเทคนิคการวิเคราะห์ Why-Why มาใช้เพื่อค้นหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาการขัดข้องของเครื่องจักร นอกจากนี้ในการปรับปรุงแก้ไขยังได้นำเทคนิคการบำรุงรักษาแบบทวีผล มาดำเนินการแก้ไขปรับปรุง หลังการปรับปรุงพบว่าค่า OEE มีค่าเพิ่มขึ้น 82.25% จากผลลัพธ์ดังกล่าว

ยังกล่าวยังสามารถทำให้ลดค่าใช้จ่ายความสูญเสียโดยรวมของกระบวนการผลิตเฟรมลดลงได้ 30.57%

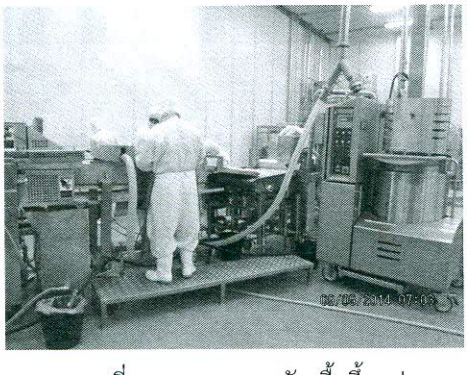
3. ขั้นตอนการวิจัย

3.1 ทำการศึกษา และวิเคราะห์แต่ละขั้นตอนการผลิตของเครื่องทอดอาหาร

1. ผสมเนื้อ ลักษณะการทำงานคือนำเนื้อที่เตรียมไว้มาผสมโดยการเทเข้าเครื่องเพื่อการผสม (Forming)

ภาพที่ 2 กระบวนการผสมเนื้อ

2. อัดเนื้อขึ้นรูป ลักษณะการทำงานโดยเครื่องผสมเนื้อ ทำหน้าที่อัดเนื้อขึ้นรูปอีกด้านหนึ่ง

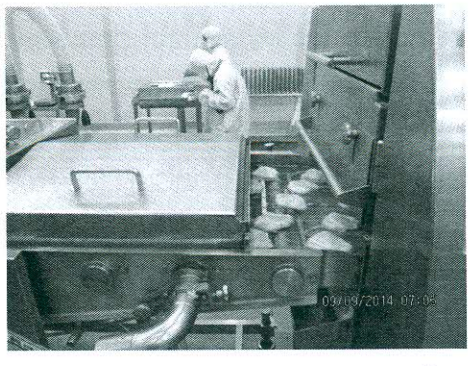


ภาพที่ 3 กระบวนการอัดเนื้อขึ้นรูป

3. คัดแยกเนื้อ ลักษณะการทำงานคือจะมีพนักงานคัดแยกเนื้อที่วิ่งผ่านสายพานถ้าชิ้นไหนไม่สมบูรณ์พนักงานจะคัดออกและนำไปเข้าเครื่องผสมเนื้อ อัดขึ้นรูปใหม่

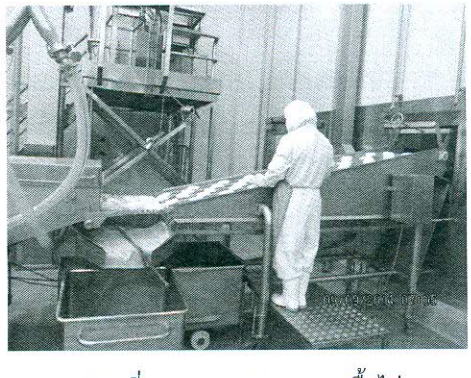
ภาพที่ 4 กระบวนการคัดแยกเนื้อ

4. ผสมน้ำแป้งราดบนเนื้อไก่ ลักษณะการทำงานคือการนำเนื้อออกจากสายพานเพื่อเข้าเครื่องผสมน้ำแป้ง (milk wash)



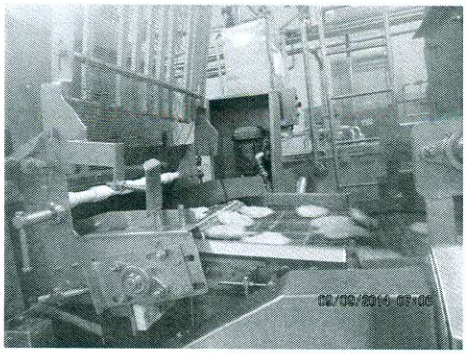
ภาพที่ 5 กระบวนการผสมน้ำแป้งราดบนเนื้อไก่

5. ทอดเนื้อไก่ ลักษณะการทำงานคือการนำเนื้อไก่เข้าเครื่องทอดลงผ่านสายพานลำเลียงตามเวลาที่กำหนดแต่ละผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 6 กระบวนการทอดเนื้อไก่

6. ทอดเนื้อไก่ (2) ลักษณะการทำงานคือการจัดเรียงเนื้อไก่หลังการทอดเนื้อไก่ครั้งแรก เพื่อเข้าทอดครั้งที่ 2 โดย ต่างกันที่ไม่มีสายพานเทปล่อน

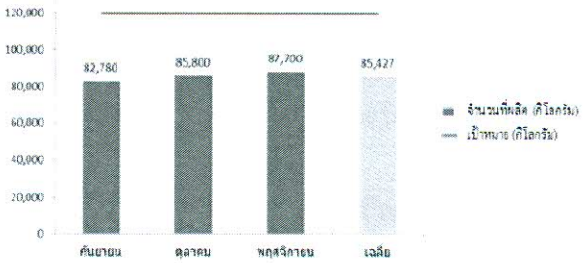


ภาพที่ 7 กระบวนการทอดเนื้อไก่ (2)

7. ตรวจสอบ และจัดเรียงเนื้อไก่ ก่อนเข้าเตาอบ Oven ลักษณะการทำงานคือการตรวจสอบน้ำหนักเนื้อไก่โดยสุ่มเป็นชิ้นใช้กิโลชั่ง และชิ้นเนื้อไก่หากพบชิ้นที่ไม่ดีเข้าไม่ให้นำเข้าเตา (Oven)

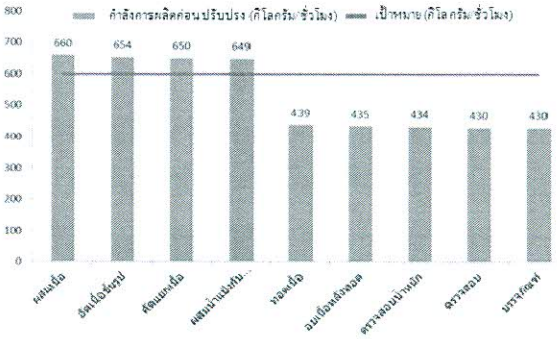
ภาพที่ 8 ตรวจสอบ และจัดเรียงเนื้อไก่ก่อนเข้าเตาอบ

จากการศึกษากระบวนการผลิตอาหารสำเร็จรูปยังไม่ได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ โดยสามารถผลิตได้ 120,000 กิโลกรัมต่อเดือน บริษัทกรณีศึกษายังผลิตได้เฉลี่ย 85,427 กิโลกรัมต่อเดือนเท่านั้นคิดเป็น 71.2% เท่านั้น



ภาพที่ 9 กราฟแสดงกำลังการผลิตอาหารสำเร็จรูป

การทำงานวิจัยนี้พบว่ากระบวนการทอดเนื้อไก่เป็นกระบวนการที่กำลังผลิตต่ำกว่าเป้าหมายของที่ฝ่ายวางแผนการผลิตต้องการ ซึ่งกำลังเป้าหมายที่กระบวนการนี้อยู่ที่ 600 กิโลกรัม/ชม. ซึ่งสามารถผลิตได้เพียง 439 กิโลกรัม/ชม.เท่านั้น โดยคิดเป็น 73.1% ดังแสดงในรูปภาพที่ 10 ดังนั้นงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นให้เกิดการแก้ปัญหาที่กระบวนการทอดเนื้อไก่ เพื่อให้ได้เป้าหมายตามความต้องการ



ภาพที่ 10 กราฟเปรียบเทียบกำลังการผลิตเฉลี่ยต่อชั่วโมง

3.2 ทำการวิเคราะห์วัดค่าสมรรถนะความพร้อมใช้งานเครื่องจักร (Availability Performance) และการวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness)

จากการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลก่อนการปรับปรุงช่วงเดือนกันยายน ถึง พฤศจิกายน 2557 พบว่าประวัติการหยุดการทำงานและเวลาในการทำงานเครื่องทอดแสดงดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ประวัติการหยุดทำงานของเครื่องทอด

ตารางที่ 3.2 แสดงประวัติการหยุดทำงานของเครื่องทอดเมื่อทั้งก่อนใช้ระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ระหว่างเดือนกันยายน ถึง พฤศจิกายน 2557

สาเหตุ	กันยายน		ตุลาคม		พฤศจิกายน		ค่าเฉลี่ยเดือน	
	ความถี่ (ครั้ง)	เวลาสูญเสีย (นาที)	ความถี่ (ครั้ง)	เวลาสูญเสีย (นาที)	ความถี่ (ครั้ง)	เวลาสูญเสีย (นาที)	ความถี่ (ครั้ง)	เวลาสูญเสีย (นาที)
คอนเวอร์เตอร์ขาดชำรุด	-	62	5	110	4	47	6	74
สายพานเครื่องขาดชำรุด	1	43	0	0	0	0	0	15
เพลาต่อสายพานชำรุด	1	25	2	67	6	0	3	31
สายพานเปลือยชำรุด	0	0	0	0	0	0	0	0
ระบบพานแน่นชำรุด	0	0	0	0	0	0	0	0
เบริ่งชำรุด	0	0	0	0	0	0	0	0
โซ่สายพานเปลือนชำรุด	3	124	1	85	0	0	1	57
ไฮโดรนิ้วเปลือนบั้น ชำรุด	1	18	0	0	0	0	0	4
ไฮโดรแมชชีน ชำรุด	0	0	0	0	1	30	0	10
เลนซิงชำรุด	2	43	3	73	5	97	3	71
โปรโปไลเลอร์ชำรุด	9	30	7	65	8	95	8	63
สายพาน Exhaust ชำรุด	0	0	0	0	0	0	0	0
เพลา Exhaust ชำรุด	0	0	0	0	0	0	0	0
เปลือยรอลสายพานชำรุด	0	0	0	0	0	0	0	0
การอื่นๆ	0	0	1	15	0	0	0	5
รวม	26	350	25	365	24	269	25	323

ตารางที่ 2 เวลาในการทำงานของเครื่องทอด

	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	เฉลี่ย
จำนวนวันทำงาน (วัน)	26	27	25	26
เวลาเดินเครื่อง (ชั่วโมง)	208	216	200	208
ความถี่ในการเกิดเหตุขัดข้อง (ครั้ง)	26	25	24	25
เวลาที่เครื่องทอดขัดข้อง (ชั่วโมง)	5.84	6.08	4.49	5.47

จากข้อมูลเบื้องต้นจาการการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพโดยรวมเฉลี่ย 3 เดือนของเครื่องทอดอาหารก่อนการประยุกต์ใช้ระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การคำนวณค่าความพร้อมใช้งานเครื่องทอดอาหาร ในการผลิตอาหารกึ่งสำเร็จรูปในบริษัทกรณีศึกษาจำนวนครั้งที่เครื่องจักรหยุดโดยเฉลี่ย

[(26+25+24) /3] = 25 ครั้ง/เดือน

เวลาในการทำงานเดือนกันยายน

(8 x 26) = 208 ชั่วโมง

เวลาในการทำงานเดือนตุลาคม

(8 x 27) = 216 ชั่วโมง

เวลาในการทำงานเดือนพฤศจิกายน

(8 x 25) = 200 ชั่วโมง

ความพร้อมใช้งานเครื่องจักร

= [(เวลาทำงานทั้งหมด-เวลาที่เครื่องจักรขัดข้อง) / เวลาทำงานทั้งหมด] x 100

= [(208– 5.47) / 208] x 100

= 97.37 %

เวลาสูญเสียจากเครื่องหยุด

= (ระยะเวลาการหยุดเครื่อง/เวลาในการใช้งานเครื่องจักร) x 100

= 5.47 / 208 x 100

= 2.62 %

เวลาเฉลี่ยระหว่างเกิดเหตุขัดข้อง (Mean Time Between Failures : MTBF)

= เวลาที่เครื่องจักรปฏิบัติงานจริง (ชม.) / จำนวนครั้งที่เครื่องหยุด

= 208/25

= 8.32 ชั่วโมง/ครั้ง

เวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซม (Mean Time to Repair : MTTR)

= เวลาที่เครื่องหยุดงานทั้งหมด (ชม.) /จำนวนครั้งที่เครื่องหยุด

= 5.47/25

= 0.22 ชั่วโมง/ครั้ง

เวลาเฉลี่ยในการหยุดเครื่องจักรต่อเดือน

= เวลาที่เครื่องจักรหยุดงานทั้งหมด (ชม.) / จำนวนเดือนทำงาน

= 5.47/1

= 5.47 ชั่วโมง/เดือน

ประสิทธิภาพโดยรวม

= ความพร้อมใช้งานเครื่องจักร x ประสิทธิภาพเชิงสมรรถนะ x สมรรถนะคุณภาพ (อัตราของดี)

ประสิทธิภาพเชิงสมรรถนะ

= [(จำนวนชิ้นงานที่ทำได้) / (เวลาทำงาน x รอบเวลาทฤษฎี)] x 100

= [(85,427) / (208 x 650)] x100

= 63.27 %

สมรรถนะคุณภาพ

= (จำนวนชิ้นงานที่ทำได้ - จำนวนชิ้นงานที่เสีย)

จำนวนชิ้นงานที่ทำได้

= (85,427-1,248) /85,427

= 98.5 %

ประสิทธิภาพโดยรวม

= 0.974 x 0.633 x 0.985

= 0.547 x 100

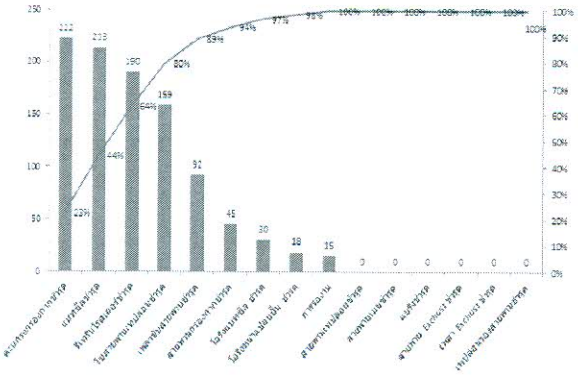
= 60.73 %

ตารางที่ 3 สรุปค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องทอดของบริษัทกรณีศึกษา

ค่าการใช้งานเครื่องทอดอาหาร	ผลการคำนวณ	
ความพร้อมใช้งานเครื่องจักร	97.37 %	
เวลาสูญเสียจากเครื่องหยุด	2.62 %	
เวลาเฉลี่ยระหว่างเกิดเหตุขัดข้อง	8.32	ชั่วโมงต่อครั้ง
เวลาเฉลี่ยในการซ่อม	0.22	ชั่วโมงต่อครั้ง
เวลาเฉลี่ยในการหยุดต่อเดือน	5.47	ชั่วโมงต่อเดือน
ประสิทธิภาพเชิงสมรรถนะ	63.27 %	
สมรรถนะคุณภาพ	98.5 %	
ประสิทธิภาพโดยรวม(OEE)	60.73 %	

3.3 ทำการวิเคราะห์สาเหตุหลักของปัญหาการหยุดทำงานของเครื่องทอด

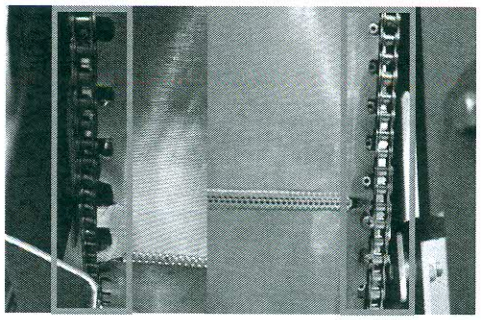
จากการรวบรวมสาเหตุที่เกิดขึ้นของปัญหาการหยุดทำงานของเครื่องทอด มีหลายสาเหตุ จึงนำหลักการของพาเรโตนำมาคัดเลือกที่เป็นสาเหตุหลักที่แท้จริง จากภาพที่ 11 พบว่ามีจำนวนของสาเหตุขัดข้องทั้งหมด 4 เหตุขัดข้องดังนี้



ภาพที่ 11 แผนภูมิพาเรโตแสดงประวัติระยะเวลารวมการขัดข้องของเครื่อง

1. ตะแกรงกรองกากชำรุด

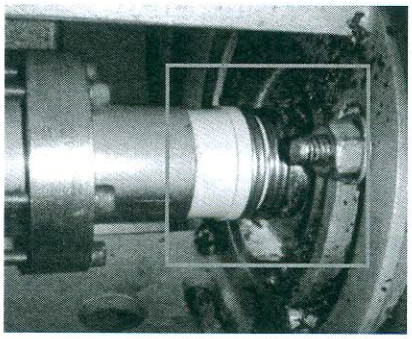
ลักษณะการชำรุดคือตะแกรงสแตนเลสแตกตามข้อโซ่ขับสายพาน ซึ่งส่งผลให้น้ำมันที่จะต้องนำกลับไปใช้ซ้ำใช้ไม่ได้ แสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ตะแกรงกรองกากชำรุด

2. แมทซีล (Mach seal) ชำรุด

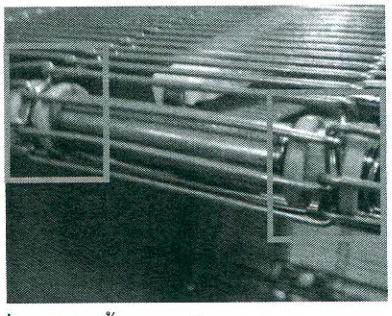
ลักษณะแมทซีลชำรุดคือจะมีน้ำมันรั่วออกจากแมทซีลชำรุด ส่งผลให้น้ำมันเครื่องทอดลดลงจากระดับที่กำหนด และการรั่วของน้ำมันก็จะส่งผลให้พอที่บริเวณเครื่องสกปรก



ภาพที่ 13 แมทซีล (Mach seal) ชำรุด

3. ลูกกลิ้งหมุนกลับ (Return roller) ชำรุด

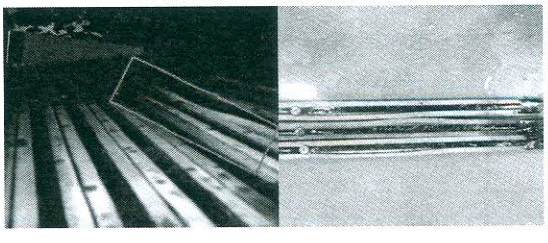
ลักษณะการชำรุดลูกกลิ้งหมุนกลับเป็นวัสดุพลาสติก เมื่อใช้งานไปสักระยะก็จะเกิดการสึกกร่อนจากการเสียดสีของสายพานสแตนเลส และเมื่อลูกกลิ้งหมุนกลับ ชำรุดไม่มีวัสดุรองรับ สายพานสแตนเลส จะส่งผลให้สายพานสแตนเลสเสียดสีกับสแตนเลสของแกนลูกกลิ้ง ซึ่งจะทำให้เกิดเศษผงสแตนเลสติดกับชิ้นเนื้อที่ทำการทอด



ภาพที่ 14 ลูกกลิ้งหมุนกลับ (Return roller) ชำรุด

4. โซ่สายพานเทปล่อน (Teflon) ชำรุด

ลักษณะโซ่สายพานเทปล่อนชำรุด คือใบของสายพานเกิดการคดงอเสียรูป ส่งผลให้สายพานเทปล่อนไปเกาะ หรือขัดกับสายพานชุดอื่น

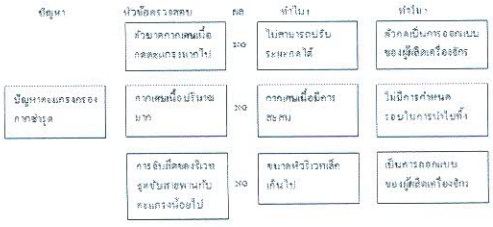


ภาพที่ 15 โซ่สายพานเทปล่อน (Teflon) ชำรุด

3.4 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาหลักของการขัดข้องของเครื่องทอด

จากขั้นตอนการดำเนินงานที่ได้วางแผน โดยนำข้อมูลจากข้างต้น มาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เพื่อดำเนินหามาตรการป้องกัน และปรับปรุง ในบทนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการวิเคราะห์ปัญหาโดยการใช้หลักการ ทำไม ทำไม (Why -Why Diagrams) และนำดำเนินหามาตรการป้องกันและปรับปรุงโดยการใช้หลักการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

3.4.1. ปัญหาตะแกรงกรองกากชำรุด

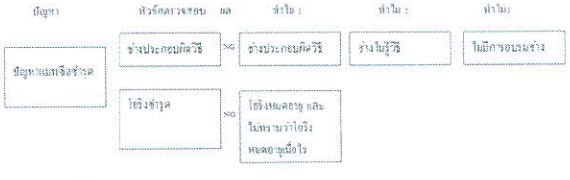


ภาพที่ 16 การวิเคราะห์ Why-Why Analysis ของปัญหาตะแกรงกรองกากชำรุด

ตารางที่ 4 สรุปการวิเคราะห์ Why-Why Analysis ของ ปัจจัยด้านบุคลากร

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
ปัญหาตะแกรงกรองกากชำรุด	ตัวบาดกากเศษเนื้อกดตะแกรงมากไป	ออกแบบตัวกดบาดกากให้สามารถปรับระยะได้
	ไม่มีการกำหนดรอบในการนำกากเศษเนื้อไปทิ้ง	กำหนดมาตรฐานรอบของการกากเศษเนื้อไปทิ้ง
	เป็นการออกแบบขนาดหัววีเวทเล็กเกินไปของผู้ผลิตเครื่องจักร	ออกแบบการยึดใหม่ของวีเวทชุดขับสายพานกับตะแกรง

3.4.2. ปัญหาของแมทซีล (Mach seal) ชำรุด

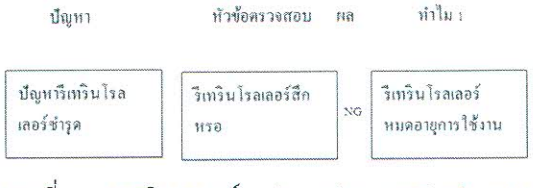


ภาพที่ 17 การวิเคราะห์ Why-Why Analysis ของปัจจัย แมทซีล (Mach seal) ชำรุด

ตารางที่ 5 สรุปการวิเคราะห์ Why-Why Analysis ของปัญหาแมทซีลชำรุด (Mach seal)

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
ปัญหาแมทซีลชำรุด	ไม่มีการอบรมช่าง	จัดการอบรมช่างก่อนเข้าทำงาน
	ไม่ทราบว่าโอริงหมดอายุเมื่อไร	กำหนดตาราง PM เพื่อป้องกันการแมทซีลชำรุด

3.4.3. ปัญหาของลูกกลิ้งหมุนกลับ (Return roller) ชำรุด

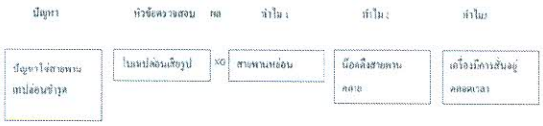


ภาพที่ 18 การวิเคราะห์ Why-Why Analysis ของปัญหาลูกกลิ้งหมุนกลับ (Return roller) ชำรุด

ตารางที่ 6 สรุปการวิเคราะห์ Why-Why Analysis ของปัญหารีเทรินโรลเลอร์ (Return roller) ชำรุด

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
ปัญหารีเทรินโรลเลอร์ชำรุด	รีเทรินโรลเลอร์หมดอายุการใช้งาน	กำหนดการ PM เพื่อป้องกันการรีเทรินโรลเลอร์ชำรุด

3.4.4. ปัญหาของโซ่สายพานเทปล่อน (Teflon) ชำรุด



ภาพที่ 19 การวิเคราะห์ Why-Why Analysis ของปัญหาโซ่สายพานเทปล่อน (Teflon) ชำรุด

ตารางที่ 7 สรุปการวิเคราะห์ Why-Why Analysis ของปัญหาโซ่สายพานเทปล่อน (Teflon) ชำรุด

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
ปัญหาโซ่สายพานเทปล่อนชำรุด	เครื่องมีการสั่นอยู่ตลอดเวลา ทำให้น็อตดึงสายพานคลาย	→เปลี่ยนน็อตที่ป้องกันการคลายตัว →กำหนดการ PM เพื่อป้องกันการโซ่สายพานเทปล่อนชำรุด

4. ผลการดำเนินงาน

จากการวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ Why-Why Analysis สามารถสรุปแนวทางการป้องกันได้ดังนี้

4.1 กำหนดมาตรฐานรอบของการทิ้งกากเศษเนื้อ

มีกำหนดให้พนักงานทำการดึงกากเศษเนื้อออกทุกวันก่อนเลิกงานโดยให้พนักงานประจำเครื่องทอดเป็นผู้รับผิดชอบ

4.2 ออกแบบการจับยึดใหม่ของน๊อตชุดขับสายพานกับตะแกรง

เพิ่มเติมในส่วนของแหวนรองน๊อตเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับแผ่นตะแกรง จึงส่งผลให้ตะแกรงมีความแข็งแรงขึ้น

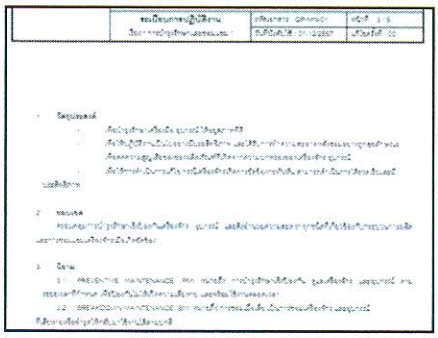
4.3 เปลี่ยนน๊อตที่ป้องกันการคลายตัวดังแสดงตามภาพที่ 21-22

ภาพที่ 20 น๊อตธรรมดา ภาพที่ 21 น๊อตกันคลาย

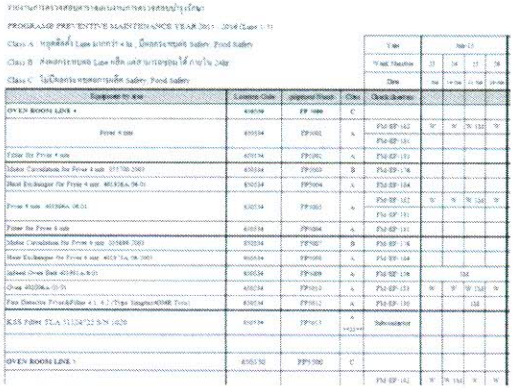
4.4 กำหนดการ PM เพื่อป้องกันขัดข้องของเครื่องทอด

ในขั้นตอนแรกได้แก่การเตรียมความพร้อม เพื่อที่จะนำระบบงานการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมาใช้ในบริษัทกรณีศึกษาโดยมีขั้นการดำเนินงานดังนี้

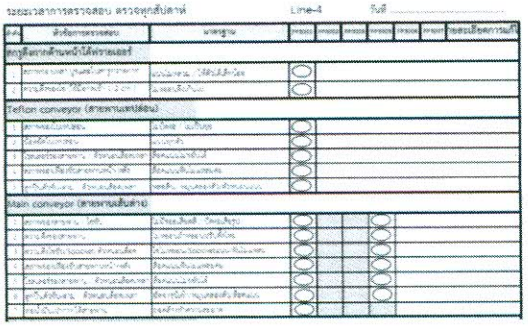
1. การจัดเตรียมเอกสารเพื่อรองรับระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันดังแสดงตามภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ระเบียบการปฏิบัติงานเรื่องการบำรุงรักษาและซ่อมแซม



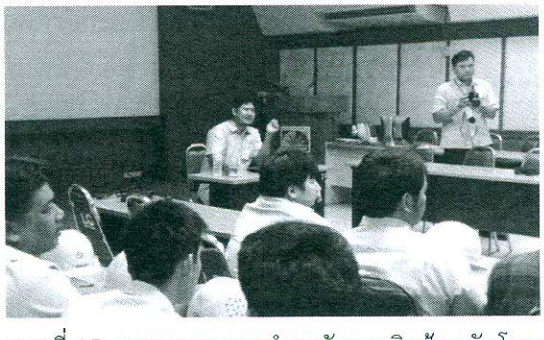
ภาพที่ 23 รายงานการตรวจสอบตารางแผนงานการตรวจสอบบำรุงรักษา



ภาพที่ 24 Check sheet การตรวจสอบเครื่องจักร

2. การฝึกอบรมพนักงานในการใช้เอกสาร รวมถึงการบันทึกข้อมูลในเอกสาร และให้ความรู้ความเข้าใจและประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

การเริ่มทำระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันในโรงงานกรณีศึกษาจำเป็นต้อง อบรมความรู้ในเรื่องระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้กับพนักงานที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อการทำงานจะเป็นในทิศทางเดียวกัน พร้อมทั้งปรับทัศนคติกับพนักงานที่เกี่ยวข้องให้เห็นความสำคัญของเวลาที่สูญเสียไป ดังภาพที่ 25 และ 26



ภาพที่ 25 การอบรมการบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยวิทยากรผู้เชี่ยวชาญ

ภาพที่ 26 บรรยากาศการเข้าอบรมการบำรุงรักษาเชิงของพนักงาน

3. การทำความสะอาดเบื้องต้น คือการทำความสะอาดเครื่องทอดทั้งหมดอย่างละเอียด เพื่อที่เป็นการตรวจสอบเครื่องทอดที่ได้ใช้งานอยู่ว่ามีสภาพเป็นอย่างไร

4.5 ทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบข้อมูลผลการดำเนินงานก่อน-หลังการปรับปรุง

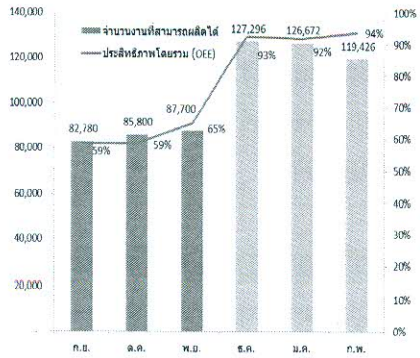
หลังจากการประยุกต์ใช้หลักการบำรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกันปรับปรุงระบบการทำงานของเครื่องทอด ระหว่างเดือนธันวาคม 2557 – กุมภาพันธ์ 2558 ผลการดำเนินงานดังตารางที่ 8, 9 และ ภาพที่ 27 และ 28

ตารางที่ 8 แสดงประวัติการหยุดทำงานของเครื่องทอด

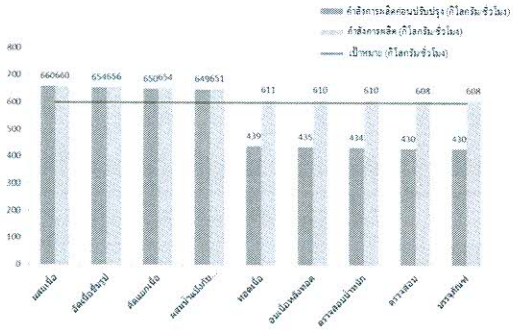
สาเหตุ	ธันวาคม		มกราคม		กุมภาพันธ์		ค่าเฉลี่ย	
	ความถี่ (ครั้ง)	เวลาสูญเสีย (นาที)	ความถี่(ครั้ง)	เวลาสูญเสีย (นาที)	ความถี่(ครั้ง)	เวลาสูญเสีย (นาที)	ความถี่ (ครั้ง)	เวลาสูญเสีย (นาที)
คนแต่งสายกรองอาหารชำรุด	4	32	5	41	5	37	5	29
สายพานกรองอาหารชำรุด	0	0	0	0	0	0	0	0
เพลาขับสายพานชำรุด	2	17	2	13	0	0	1	13
สายพานลำเลียงชำรุด	0	0	0	0	0	0	0	0
สายพานแม่เหล็กชำรุด	0	0	0	0	0	0	0	0
เบรกชำรุด	0	0	0	0	0	0	0	0
โซ่สายพานเปลี่ยนชำรุด	1	18	1	16	1	20	1	18
โครงหน้าเปลี่ยนชิ้นชำรุด	0	0	0	0	1	16	0	7
โครงแมกนิตชำรุด	0	0	0	0	0	0	0	0
เฟรมชำรุด	1	12	2	32	1	17	1	17
ริงในโรงเรอชำรุด	2	17	3	35	2	19	2	22
สายพาน Belt ชำรุด	0	0	0	0	0	0	0	0
เพลาลูกปืนชำรุด	0	0	0	0	0	0	0	0
เซนเซอร์ของสายพานชำรุด	0	0	0	0	0	0	0	0
การอื่นๆ	0	0	0	0	0	0	0	0
รวม	10	96	13	147	8	129	9	95

ตารางที่ 9 ตารางแสดงความพร้อมใช้งานเครื่องทอดอาหารก่อนและหลังการปรับปรุงของบริษัทกรณีศึกษา

ค่าการใช้งานเครื่องทอดอาหาร	ก่อนปรับปรุง			หลังปรับปรุง			หมายเหตุ
	ก.ย. 57	ต.ค. 57	พ.ย. 57	ธ.ค. 58	ม.ค. 58	ก.พ. 58	
ความพร้อมใช้งานเครื่องจักร	97.20%	97.18%	97.76%	99.23%	98.82%	98.88%	
เวลาสูญเสียจากเครื่องหยุด	2.80%	2.82%	2.24%	0.77%	1.18%	1.12%	
เวลาเฉลี่ยระหว่างเสีย(หยุดซ่อม)	8.00	8.64	8.33	20.80	16.00	24.00	ชั่วโมงต่อครั้ง
เวลาเฉลี่ยในการซ่อม	0.52	0.56	0.43	0.37	0.43	0.62	ชั่วโมงต่อครั้ง
เวลาเสียในการหยุดต่อเดือน	25			10			ชั่วโมงต่อเดือน
ประสิทธิภาพเชิงสมรรถนะ	61.23%	61.11%	67.46%	94.15%	93.69%	95.69%	
สมรรถนะคุณภาพ	98.38%	98.62%	98.61%	99.24%	99.25%	99.26%	
ประสิทธิภาพโดยรวม (OEE)	58.55%	58.57%	65.03%	92.72%	91.90%	93.93%	
จำนวนงานที่สามารถผลิตได้	82,780	85,300	97,700	127,396	126,672	119,426	



ภาพที่ 27 กราฟแสดงจำนวนงานที่ผลิตได้ ประสิทธิภาพโดยรวมก่อนและหลังการปรับปรุง



ภาพที่ 28 กราฟเปรียบเทียบกำลังการผลิตเฉลี่ยต่อชั่วโมงก่อนและหลังปรับปรุง

5. สรุปผล

ผลการปรับปรุงโดยการนำระบบการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันมาประยุกต์ใช้ เพื่อเพิ่มค่าประสิทธิภาพเครื่องจักรโดยรวม (OEE) ก่อนการปรับปรุงจำนวนการผลิตเฉลี่ย 3 เดือนเท่ากับ 85,426 กิโลกรัมต่อเดือน หลังการปรับปรุงจำนวนการผลิตเฉลี่ย 3 เดือนเท่ากับ 124,464 กิโลกรัมต่อเดือน หรือเพิ่มขึ้น 31.36% และค่าประสิทธิภาพเครื่องจักรโดยรวมก่อนการปรับปรุงจำนวนการผลิตเฉลี่ย 3 เดือนเท่ากับ 60.72%หลังการปรับปรุงจำนวนการผลิตเฉลี่ย 3 เดือนเท่ากับ 92.72%

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอย่างสูง ดร.ระพี กาญจนะ อาจารย์ที่ปรึกษา และคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีทุกท่าน รวมถึงวิศวกร พนักงานที่ร่วมกิจกรรมของ การดำเนินการปรับปรุงการผลิตไก่ทอดของ บริษัทกรณีศึกษา ที่ให้ร่วมมือ ความรู้ คำปรึกษา และคำแนะนำ ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] เกียรติบัลลังก์ คิดหมาย และระพี กาญจนะ 2556, การลดความสูญเสียของขั้นตอนการเชื่อมครีบระบายความร้อนโดยใช้เทคนิคประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร กรณีศึกษาสายการผลิตเฟรม การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2556 พัทยา ชลบุรี

[2] ศักดา ปรีชาวัฒนสกุล 2550, การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเครื่องทอผ้าโดยการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[3] Hitoshi Ogura, Why-Why Analysis เทคนิคการวิเคราะห์อย่างถึงแก่นเพื่อปรับปรุงสถานประกอบการโดยเริ่มต้นจากคำว่าทำไม? สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

[4] รัฐกร อุดมสุข 2553, การปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องในกระบวนการผลิตอิฐทนไฟภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[5] ธานี อ่วมอ้อ 2545, การบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม สถาบันเพิ่มผลผลิต: กรุงเทพ

[6] พูลพร แสงบางปลา 2542, การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการบำรุงรักษา พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[7] เษกสรร สิงห์ธนู 2550, การบำรุงรักษาเชิงป้องแผนงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรกรณีศึกษาสายการบรรจุน้ำยาทำความสะอาดสุขภัณฑ์ ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[8] ประเสริฐ เดชนคริทร์ 2550, การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยเทคนิค TPM กรณีศึกษาโรงงานอาหารกึ่งสำเร็จรูป ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การศึกษาการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสเมล็ดมะขามแบบช้า
Studies on Usage of Products from Slow Pyrolysis of Tamarind Seed

รินลดา สิริแสงสว่าง[1] จรรยา โพธิ์บาย[2] ชนิกาญจน์ เพชรเลิศ[2] และ ธัญชนก เพ็ชร์ย้อย[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซิสเมล็ดมะขาม ที่ทำการไพโรไลซิส ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส โดย ทำการไพโรไลซิสแบบไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา และแบบเติมซีโอไลท์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ร้อยละ 0.25 และ 0.5 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิส ประกอบด้วย ถ่านชาร์ น้ำมันไพโรไลซิส และก๊าซ ผลการศึกษาพบว่าการไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาให้ผลผลิตเป็นน้ำมันสูงสุดเป็น ร้อยละ 36.79 และปริมาณก๊าซสูงสุดเป็นร้อยละ 37.80 เมื่อเติมตัวเร่งร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก เมื่อนำน้ำมันที่ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย GC-MS พบว่าน้ำมันชั้นล่างมีองค์ประกอบที่เป็นกรดปริมาณมาก ขณะที่น้ำมันชั้นบนมีองค์ประกอบของสารฟีนอล ปริมาณมาก เมื่อนำน้ำมันชั้นบนมาวัดค่าทางความร้อนพบว่าได้ค่า 22.13 MJ/kg สำหรับถ่านชาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสถูกนำมาศึกษาการดูดซับสารละลายเมททิลีนบลู พบว่าถ่านชาร์ที่ได้จากการ ไพโรไลซิสแบบเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วนำไปผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และกระตุ้นด้วยการเผา มีแนวโน้มที่จะสามารถดูดซับได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับถ่านชาร์ที่เตรียมด้วยวิธีที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา และแบบเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วนำไปผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ: การดูดซับ เมล็ดมะขาม การไพโรไลซิสแบบช้า

Abstract

This research studied on the products from pyrolysis of tamarind seed. The reaction occurred at 400 °C. The effect of non-filled catalyst, filled zeolite as catalysts at 0.25 and 0.5% wt. on the product yield was investigated. The products from pyrolysis were char, pyrolysis oil and gas. The results showed that the highest yield of pyrolysis oil was 36.79% as non-using catalyst. The highest yield of gas was 37.80% as using 0.25%wt catalyst. The pyrolysis oil was analyzed by GC-MS. The main composite in lower and upper oil were carboxylic acid and phenol, respectively. The heating value of upper oil was 22.13 MJ/kg. The char which made from pyrolysis was used for study the adsorption of methylene blue.

[1]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2]นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

The results showed that char which was prepared from pyrolysis with 0.25%wt catalyst and then stimulated with potassium hydroxide and combustion tend to get the higher efficiency of adsorption than char which was prepared from non-catalyst pyrolysis and char which was prepared from pyrolysis with 0.25%wt catalyst and activated with potassium hydroxide.

Keywords: adsorption, tamarind seed, slow pyrolysis

1. บทนำ

การไพโรไลซิส (pyrolysis) คือ กระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนภายใต้บรรยากาศแบบไร้ออกซิเจน โดยได้ผลิตภัณฑ์หลัก 3 ชนิด คือส่วนของแข็ง ส่วนนี้เป็นถ่าน สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงและทำถ่านกัมมันต์ ส่วนของเหลวสามารถนำมาพัฒนาเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง สารเคมี และสารปราบศัตรูพืชได้ และส่วนสุดท้าย ส่วนของก๊าซใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้ม วัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสมีหลายชนิด เช่น โพลิเมอร์ น้ำมันเครื่องใช้แล้ว หรือชีวมวล เป็นต้น สำหรับการไพโรไลซิสชีวมวลในปัจจุบันได้รับความสนใจใน หลายๆ ประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศเกษตรกรรม เนื่องจากมีแหล่งชีวมวลจำนวนมาก โดยชีวมวลที่นำมาใช้ในการไพโรไลซิสมีหลายชนิด เช่น กากชานอ้อย, เนื้อในเมล็ดปาล์ม [1,2] กากมันสำปะหลัง กะลาปาล์ม [2,3] และ ขี้เลื่อย [3] เป็นต้น กระบวนการไพโรไลซิสชีวมวลแบ่งได้ 2 แบบ คือ การไพโรไลซิสแบบช้า (slow pyrolysis) และการไพโรไลซิสแบบเร็ว (fast pyrolysis) ถึงแม้ว่าจะยังไม่มีการกำหนดคำจำกัดความที่ถูกต้องเกี่ยวกับอัตราการให้ความร้อนและเวลาในการไพโรไลซิสสำหรับการไพโรไลซิสแบบช้าและแบบเร็ว แต่การไพโรไลซิสแบบช้าเป็นการไพโรไลซิสที่มีการใช้เวลาในการความร้อนอย่างช้าๆ แก่สารชีวมวลจนกระทั่งได้อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ซึ่งกินเวลาหลายนาทีหรือเป็นชั่วโมง [4] ส่วนการไพโรไลซิสแบบเร็ว จะมีอัตราการให้ความร้อนสูงมาก อุณหภูมิในการไพโรไลซิสอยู่ที่ประมาณ 500 องศาเซลเซียส และควบคุมเวลาที่ไอสารระเหยปล่อยออกมาต่ำกว่า 2 วินาที [5]

มะขามเป็นพืชที่มีการเพาะปลูกเป็นจำนวนมาก เนื้อมะขามสามารถแปรรูปได้อย่างหลากหลาย เช่น มะขามแก้ว มะขามสามรส และ น้ำมะขาม เป็นต้น มะขามสามารถปลูกได้ในดินแทบทุกชนิดแม้แต่ดินเหลวหรือดินลูกรัง ส่วนเมล็ดเป็นวัสดุชีวมวลที่มีเหลือใช้ปริมาณมาก แต่มีการนำไปใช้ประโยชน์น้อย งานวิจัยนี้จึงสนใจในการเพิ่มมูลค่าเมล็ดมะขาม โดยการศึกษาความเป็นไปได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเมล็ดมะขามด้วยการไพโรไลซิส โดยผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวจะได้น้ำมันชีวภาพ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งนำไปทดสอบการดูดซับด้วยสารละลายเมททิลีนบลู

2. วัตถุดิบและอุปกรณ์

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบที่ใช้ คือ เมล็ดมะขาม นำไปลดขนาดด้วยเครื่องบดยี่ห้อ BOSCO และทำการคัดขนาดอนุภาคให้ได้ขนาดเมล็ดมะขาม 2.8–4 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้ มีดังนี้

1. ซีโอไลท์ ยี่ห้อ Sigma
2. โซเดียมซัลเฟต ยี่ห้อ BDH
3. เมททิลีนบลู ยี่ห้อ Unilab
4. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ยี่ห้อ Univar

2.2 การทดสอบ

ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิส ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟฟี-แมสสเปคโตรมิเตอร์ ยี่ห้อ Agilent รุ่น 6890N

ทำการวิเคราะห์ค่าทางความร้อนของน้ำมัน ไพโรไลซิสที่ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ยี่ห้อ Gallenkamp autobomb

ทำการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาถ่านชาร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น Jsm-S410LV

3. วิธีการทดลอง

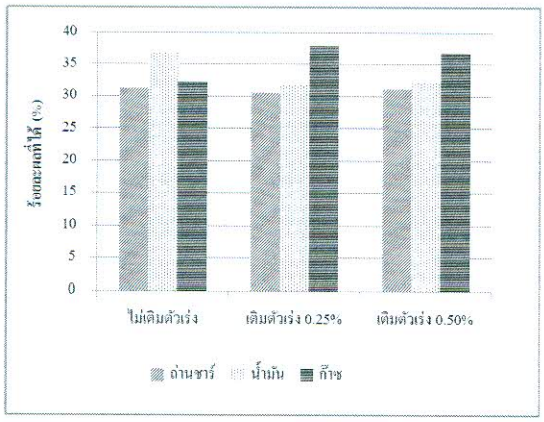
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการไพโรไลซิสเมล็ดมะขาม โดยนำเมล็ดมะขามที่เตรียมไว้ ปริมาณ 400 กรัม ใส่ในขวดก้นกลมขนาด 2 ลิตร ทำการทดลองเปรียบเทียบโดยการไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 0.25 และ 0.5 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่ความดันบรรยากาศ แล้วชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เป็นถ่านชาร์และน้ำมัน เพื่อคำนวณร้อยละผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์ สำหรับก๊าซได้จากการสมดุลมวล ต่อมาให้นำของเหลวที่ได้ใส่กรวยแยกทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะได้ของเหลว 2 ชั้น นำของเหลวชั้นบนไปเติมโซเดียมซัลเฟต แล้วนำไปกวนเป็นเวลา 30 นาทีตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แยกโซเดียมซัลเฟตออกด้วยการกรองสุญญากาศ จากนั้นนำของเหลวชั้นบนไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคโทรมิเตอร์ และทดสอบค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์ แคลอริมิเตอร์ ส่วนของเหลวชั้นล่างจะวิเคราะห์เพียงองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคโทรมิเตอร์ สำหรับถ่านชาร์ที่ได้จากการ ไพโรไลซิสแบบไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เตรียมดังตารางที่ 1 จากนั้นนำถ่านชาร์ที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากนั้นทำการศึกษาผลการดูดซับของถ่านชาร์โดยการเตรียมสารละลายสีเมททิลีนบลูความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วปิเปตสารละลายเมททิลีนบลู ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ นำถ่านที่ผ่านการเตรียมแล้วทั้ง 6 วิธี ปริมาณ 0.162 กรัม ใส่ในสารละลายเมททิลีนบลู กวนต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง แล้วเก็บตัวอย่างที่เวลา 10, 30, 50, 70, 120 และ 150 นาที นำตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร หาประสิทธิภาพการดูดซับ

4. ผลการทดลอง

จากผลการทดลองกระบวนการไพโรไลซิสเมล็ดมะขามภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นถ่านชาร์ น้ำมัน และก๊าซ

โดยการศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการไพโรไลซิสเมล็ดมะขาม ในการทดลองนี้จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ที่ปริมาณร้อยละ 0.25 และ 0.5 โดยน้ำหนัก พบว่า ร้อยละผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 แสดงในรูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไพโรไลซิส คือ ถ่านชาร์ น้ำมัน และก๊าซ



รูปที่ 1 ผลการทดลองการไพโรไลซิสเมล็ดมะขามที่เติมและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา

จากรูปที่ 1 พบว่าปริมาณถ่านชาร์ในทุกการทดลองมีปริมาณใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาปริมาณของน้ำมันที่ได้เมื่อไม่เติมตัวเร่งกับ เติมตัวเร่งที่ร้อยละ 0.25 และ 0.50 โดยน้ำหนัก ผลผลิตเป็นร้อยละ 36.79, 31.76 และ 32.22 ตามลำดับ พบว่า การไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาให้ปริมาณของเหลวสูงสุด และเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ประเภทก๊าซจะมีค่ามากสุด โดยมีค่าเป็น ร้อยละ 37.8 เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Atutxa และคณะ [6] เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าให้ปริมาณของก๊าซเพิ่มขึ้น และปริมาณของเหลวลดลง เมื่อเทียบกับเมื่อไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 1 การเตรียมถ่านชาร์

การเตรียมถ่านชาร์	ถ่านชาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา	ถ่านชาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	แช่ในสารละลาย KOH นาน 8 ชั่วโมง	เผาด้วยความร้อน 500 °C นาน 90 นาที
1	X			
2		X		
3	X		X	
4		X	X	
5	X		X	X
6		X	X	X

จากการพิจารณาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์ พบว่าการเพิ่มปริมาณตัวเร่งจากร้อยละ 0.25 เป็น 0.5 โดยน้ำหนัก ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่แตกต่างกัน

เมื่อนำน้ำมันที่ได้จากการศึกษาที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยามาตั้งทิ้งไว้ พบว่าน้ำมันแบ่งเป็น 2 ส่วน น้ำมันชั้นบน และน้ำมันชั้นล่าง ซึ่งมีลักษณะเป็นน้ำมันสีน้ำตาล ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิส

เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่อง GC-MS พบว่าองค์ประกอบของน้ำมันชั้นล่างมีสาร 48 ชนิด ประกอบด้วยสารประกอบประเภท Carboxylic Acids, Furan derivatives, Phenol derivatives และ Ketones เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยสารประกอบที่ได้ส่วนใหญ่เป็นกรด องค์ประกอบที่ได้มีองค์ประกอบคล้ายกับน้ำส้มควันไม้ ซึ่งนำมาใช้ในการเกษตรได้ดี ส่วนองค์ประกอบของน้ำมันชั้นบนมีสาร 67 ชนิด โดยส่วนใหญ่เป็นสารประกอบประเภท Phenols derivatives, Alkane and Cycloalkane และ Carboxylic Acids เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 3

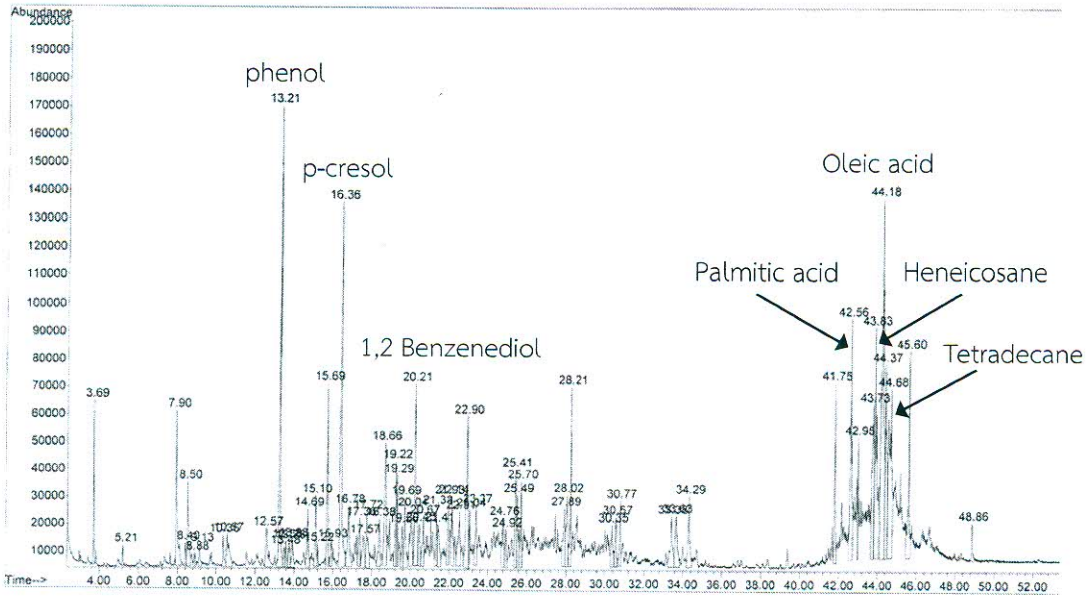
ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ของน้ำมันชั้นล่าง

สารประกอบ	ร้อยละ
Carboxylic Acids	29.735
Furan derivatives	11.180
Phenol derivatives	10.114
Ketones	7.984
Other	40.987

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ของน้ำมันชั้นบน

สารประกอบ	ร้อยละ
Phenols derivatives	25.984
Alkane & Cycloalkane	21.282
Carboxylic Acids	14.662
Other	38.072

น้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสชั้นบนจะมีค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันชั้นล่าง [7] ในงานวิจัยนี้ได้นำน้ำมันชั้นบนที่ได้จากการไพโรไลซิสเมล็ดมะขามที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาทดสอบคุณสมบัติค่าทางความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ พบว่ามีคุณสมบัติทางความร้อนเป็น 22.13 MJ/kg เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันชีวภาพชนิดอื่นที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส พบว่าเป็นดังตารางที่ 4 โดยค่าความร้อนของน้ำมันชีวภาพยังคงมีค่าต่ำ เมื่อเทียบกับค่าทางความร้อนของน้ำมันดีเซล เนื่องจากน้ำมันชีวภาพมีองค์ประกอบของออกซิเจนอยู่มาก ทำให้ค่าทางความร้อนต่ำ [8] นอกจากนั้นพบว่าในน้ำมันที่ได้มีองค์ประกอบที่เป็นกรดอยู่ค่อนข้างมาก หากนำน้ำมันที่ได้ไปใช้งาน จะมีผลให้เกิดการกัดกร่อนกับวัสดุที่ใช้ ดังนั้นควรทำการปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปใช้



รูปที่ 3 สารประกอบของน้ำมันชั้นบนที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟฟี-แมสสเปคโตรมิเตอร์

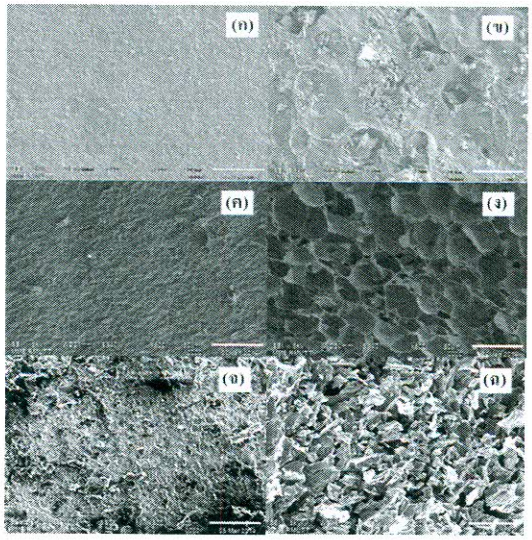
ตารางที่ 4 ค่าความร้อนของน้ำมันจากการไพโรไลซิสชีวมวล

น้ำมันจากการไพโรไลซิส	อุณหภูมิไพโรไลซิส (°C)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ที่มา
เมล็ดมะขาม	400	22.13	กรณีศึกษา
ขี้เลื่อย	450	18.63	[3]
กะลาปาล์ม	450	31.28	[3]
ดีเซลหมุนเร็ว	-	45.56	[9]

ถ่านชาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสทั้งที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและที่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก ที่เตรียมดังตารางที่ 1 มาทำการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราดและนำไปทำการดูดซับสารละลายเมททิลีนบลูได้ผลดังนี้

1) การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา

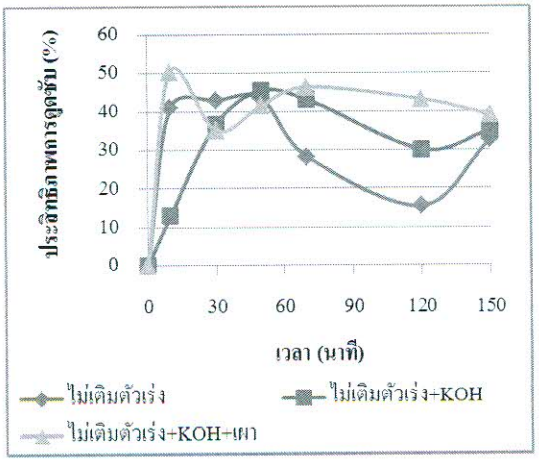
การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านชาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสเมล็ดมะขามโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงในรูปที่ 4 พบว่าถ่านชาร์ที่ได้จากการ ไพโรไลซิสแบบไม่เติมตัวเร่งมีพื้นผิวมีความขรุขระน้อยกว่าแบบเติมตัวเร่งปฏิกิริยา และพบว่าถ่านชาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสมาทำการกระตุ้นด้วยสารเคมี และการเผา ทำให้ลักษณะพื้นผิวมีความขรุขระเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการกระตุ้นถ่านน่าจะช่วยให้มีพื้นที่ผิวดูดซับสารมากขึ้น



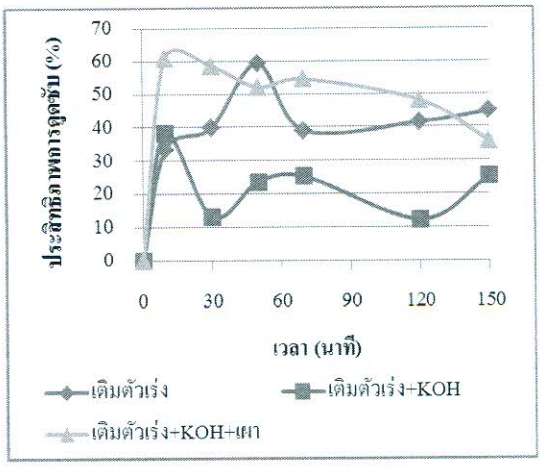
รูปที่ 4 ถ่านชาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสสภาวะต่างๆ
(ก) ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาไม่กระตุ้น
(ข) เติมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยไม่กระตุ้น
(ค) ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่กระตุ้นด้วย KOH
(ง) เติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่กระตุ้นด้วย KOH
(จ) ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH และการเผา
(ฉ) เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและผ่านการกระตุ้นด้วย KOH และการเผา

2) ผลการทดสอบการดูดซับ

เมื่อนำถ่านชาร์ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ มาทำการทดสอบการดูดซับพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับด้วยถ่านชาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบไม่เติมและเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงประมาณ 10 นาทีแรก หลังจากนั้นประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลง อาจเนื่องจากความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารดูดซับและโมเลกุลที่ถูกดูดซับมีน้อย ทำให้เกิดการหลุดออกไปของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ และเมื่อพิจารณาการเตรียมถ่านชาร์ทั้งแบบเติมและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าการกระตุ้นถ่านด้วยสารเคมีร่วมกับการกระตุ้นด้วยความร้อนช่วยให้ถ่านมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายเมททิลีนบลูได้ดีขึ้นกว่าการกระตุ้นด้วยสารเคมีเพียงอย่างเดียว โดยประสิทธิภาพการดูดซับถ่านสูงสุด เป็น 60.99% ที่เวลาการดูดซับ 10 นาที สำหรับถ่านที่ได้จากการไพโรไลซิสที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียม-ไฮดรอกไซด์ร่วมกับการเผากระตุ้น



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายเมททิลีนบลูโดยดูดซับด้วยถ่านชาร์ที่ได้จากการ ไพโรไลซิสแบบไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายเมททิลีนบลูโดยดูดซับด้วยถ่านชาร์ที่ได้จากการ ไพโรไลซิสแบบเติมตัวเร่งปฏิกิริยา

5. สรุปผล

5.1 ที่สภาวะการทดลอง การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาให้ปริมาณน้ำมันที่ได้ลดลง เมื่อเทียบกับการไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ให้ปริมาณของก๊าซเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของของเหลวที่ได้สูงสุดเป็นร้อยละ 36.79 เมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ขณะที่ก๊าซที่ได้สูงสุดเป็นร้อยละ 37.80 เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก ขณะที่ปริมาณของแข็งใกล้เคียงกันทุกการทดลอง

5.2 องค์ประกอบหลักของน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้คือสารประกอบฟีนอลและกรดคาร์บอกซิลิก

5.3 ค่าความร้อนของน้ำมันชั้นบนที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสเมล็ดมะขามมีค่าเป็น 22.13 MJ/kg

5.4 ถ่านชาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วนำไปผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์และกระตุ้นด้วยการเผามีแนวโน้มที่จะสามารถดูดซับได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับถ่านชาร์ที่เตรียมด้วยวิธีอื่นๆ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องบดเมล็ดมะขาม และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สำหรับการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

[1] Yongwoon, L., Jinje, P., Changkook, R., Ki, S.G., Wong, Y., Young-Kwon, P., Jinho, J. and Seunghun, H. 2013. Comparison of biochar properties from biomass residues produced by slow pyrolysis at 500 °C. Bioresource Technology. 148: 196-201.

[2] ปิยรัตน์ วีระชาญชัย, ชัยยศ ตั้งสถิตย์กุลชัย และ มาลี ตั้งสถิตย์สกุลชัย. 2549. คุณลักษณะของน้ำมันชีวภาพจากการสลายมวลชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิส. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2. 27-29 กรกฎาคม 2549.

[3] จิดานันท์ ศรีกระจ่าง และ ฉัตรเกล้า มะชะศรี. 2552. การไพโรไลซิสชีวมวลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[4] Mohan, E., Pittman, Jr. and Steele, P.H. 2006. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil : a critical review. Energy & Fuels. 20: 848-889.

[5] Bridgwater, A.V. 2003. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. Chemical Engineering Journal. 91: 87-102.

[6] Atutxa, A., Aguado, R., Gayubo, A.G., Olazar, M. and Bilbao, J. 2005. Kinetic Description of the Catalytic Pyrolysis of Biomass in a Conical Spouted Bed Reactor. Energy & Fuels. 19: 765-774.

[7] Yang, S.I., Wu, M.S. and Wu, C.Y. 2014. Application of biomass fast pyrolysis part I: Pyrolysis characteristics and products. Energy. 66: 162-171.

[8] Lu, Q., Li W-Z and Zhu X-F. 2014. Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils. Energy Conversion and Management. 50: 1376-1383.

[9] บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). ค่าความร้อนดีเซล. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.pttplc.com/th/Media-Center/Energy-Knowledge/Documents/MD25%20knowledge02/nc_en_ee-01_01.pdf (29 พฤษภาคม 2558)

ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นของโครงสร้างสะพานลอยในเขตชุมชนจังหวัดนครปฐม
The Risk of Carbonation Induced Corrosion of Pedestrian Bridge Structuresin Community Area Nakhonpathom Province

บัญญัติ วารินทร์ไหล[1] และ ปิติศานต์ กร้ำมาตร[2]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการประเมินความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นของโครงสร้างสะพานลอยในเขตชุมชนจังหวัดนครปฐม โดยทำการทดสอบวัดระยะหุ้มเหล็กเสริม รวมถึงวัดปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม และการเจาะเก็บชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบระยะคาร์บอเนชั่นของโครงสร้างสะพานลอยทั้งหมด 15 โครงการ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ตามหลักสถิติหาความสัมพันธ์ระหว่างความเสี่ยงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นกับอายุของโครงสร้าง พบว่าความเสี่ยงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นของโครงสร้างสะพานลอยที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมืองนครปฐมมีแนวโน้มสูงกว่าโครงสร้างสะพานลอยที่มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในเขตปริมณฑลอื่นที่อายุและวัสดุใกล้เคียงกัน สุดท้ายสามารถประเมินความเสี่ยงของการเกิดสนิมในเหล็กเสริมเนื่องจาก คาร์บอเนชั่นที่อายุต่างกันได้จากความสัมพันธ์ของระยะคาร์บอเนชั่น ระยะหุ้มเหล็กเสริมและอายุของโครงสร้าง

คำสำคัญ: ความเสี่ยง คาร์บอเนชั่น ระยะหุ้มเหล็ก การเกิดสนิม สะพานลอย

Abstract

Thisstudy estimates therisk of carbonation induced corrosionofpedestrian bridge structuresincommunity area at NakhonpathomProvince. Cover thickness, carbon dioxide and humidity of the environment and carbonation depth of pedestrian 15 bridge structureswere measured and analyzedby usingstatisticalmethodsto find the relationship betweenriskofcorrosioncausedbycarbonationandageofthestructures. It was foundthat with equivalent age and materials,theriskofcarbonation induced corrosionofpedestrian bridge structuresincommunity area Nakhonpathomprovince was higher than that of the pedestrian bridge structures in the suburb area. Finally, therisk of carbonation induced corrosion of each pedestrian bridgestructures at different ages was estimated.

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Keywords: Risk, Carbonation, Cover thickness, Corrosion, Pedestrian Bridge

1. บทนำ

โครงสร้างอาคารหรือโครงสร้างสาธารณะในปัจจุบัน เช่น สะพานลอย ถนน ส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีอายุการใช้งานต่างๆ กันหรือการใช้วัสดุในการก่อสร้างที่แตกต่างกันไป รวมถึงสภาพแวดล้อมของโครงสร้างก็ล้วนแล้วแต่แตกต่างกันทั้งสิ้น โดยสภาพแวดล้อมเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเสื่อมสภาพเนื่องจากปัญหาความคงทนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในเขตที่มีการจราจรหนาแน่น จะสัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในปริมาณที่สูง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังกล่าวจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH)_2$ ในซีเมนต์เพสต์ ทำให้เกิดแคลเซียมคาร์บอเนตดังสมการที่ (1)

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O \qquad (1)$$

ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น ทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตลดลงและส่งผลให้เหล็กเสริมเกิดสนิมได้

จากผลการวิจัยในอดีตพบว่าอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นในคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น จากผลงานวิจัยในอดีตของ Royet al[1] พบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิมีผลต่อการเกิดคาร์บอเนชั่น โดยความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 50-75 ทำให้อัตราการเกิด คาร์บอเนชั่นสูง ส่วนในกรณีของ Khunthongkeawet al[2] พบว่าชนิดของวัสดุประสานมีผลต่อการเกิด คาร์บอเนชั่น โดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยทำให้เกิดคาร์บอเนชั่นได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ Fattuhi[3] ยังพบอีกว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ในอัตราที่สูงจะทำให้เกิดคาร์บอเนชั่นได้เร็วขึ้น

อย่างไรก็ดียังไม่มีการตระหนักอย่างเพียงพอถึงผลกระทบของคาร์บอเนชั่นที่จะเกิดขึ้นกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในบริเวณเสี่ยงต่อการเกิด คาร์บอเนชั่น รวมถึงยังขาดการตรวจสอบดูแลบำรุงรักษาและประเมินความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กดังกล่าว ด้วยเหตุนี้การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการประเมินความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นของโครงสร้างสาธารณะประเภทสะพานลอยในเขตปริมณฑลจังหวัดนครปฐมซึ่งเป็นพื้นที่ที่ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง (ประมาณ 600 ppm) และมีความเสี่ยงต่อการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นสูง โดยผลการศึกษาที่ได้จะสามารถนำไปใช้ในการวางแผนดูแลบำรุงรักษาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในอนาคตต่อไป

2.ระเบียบวิธีการศึกษา

2.1การคัดเลือกตัวอย่างสะพานลอย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ทำการตรวจสอบโครงสร้างสะพานลอยคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีสภาวะเสี่ยงต่อปัญหาความคงทนเกี่ยวกับคาร์บอเนชั่นเป็นหลัก รวมทั้งหมด 15 โครงการ รายละเอียดของโครงสร้างสะพานลอยดังกล่าวแสดงในตารางที่ 1

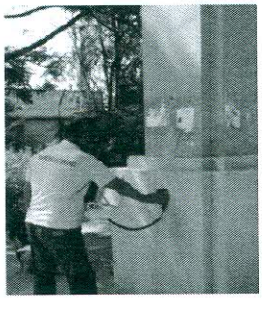
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของโครงสร้างสะพานลอยที่ตรวจสอบ (จังหวัดนครปฐม)

	แล้วเสร็จ (พ.ศ.)	อายุโครงสร้าง* (ปี)	ตำแหน่งที่ตั้ง	
			ละติจูด (N)	ลองติจูด (E)
พื้นที่อำเภอกำแพงแสน				
ก.ม.24+166 (โลตัสกำแพงแสน)	2542	15	13'59'34"	99'59'43"
ก.ม.23+325 (ร.ร.กำแพงแสนวิทยา)	2542	15	13'59'07"	99'59'41"
ก.ม.19+235 (หนองปลาไหล)	2542	15	13'57'03"	100'00'14"
ก.ม.17+835 (ทุ่งเศรษฐี)	2542	15	13'56'17"	100'00'13"
ก.ม.15+760 (ลาดหญ้าไทร)	2542	15	13'54'36"	99'58'50"
พื้นที่อำเภอเมือง				
ก.ม.5+650 (กิโล 5)	2542	15	13'51'25"	100'00'47"
ก.ม.66+780 (ร.ร.พัฒนบริหารธุรกิจ)	2543	15	13'47'48"	99'57'55"
ก.ม.64+075 (หนองดินแดง)	2542	16	13'47'58"	99'59'21"
ก.ม.63+230 (ศาลเยาวชน)	2544	14	13'48'06"	99'59'49"
ก.ม.61+585 (บ้านหนองหิน)	2546	12	13'48'11"	100'00'43"
ก.ม.59+785 (วัดลาดปลาเค้า)	2546	12	13'48'14"	100'01'43"
ก.ม.50+174 (วัดธรรมศาลา)	2541	17	13'48'46"	100'06'59"
พื้นที่อำเภอนครชัยศรี				
ก.ม.47+485 (วัดเสถียร)	2543	14	13'48'31"	100'08'27"
ก.ม.45+648 (วัดศีรษะทอง)	2541	17	13'48'23"	100'09'13"
ก.ม.42+960 (วัดท่าตำหนัก)	2535	22	13'47'17"	100'10'20"

*อายุโครงสร้างนับจากวันที่ก่อสร้างเสร็จไปจนถึงวันที่ตรวจสอบ (พ.ศ.2558)

2.2 การหาตำแหน่งเหล็กเสริมและวัดระยะหุ้มเหล็กเสริม

ทำการทดสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมด้วยเครื่องวัดระยะหุ้มเหล็กเสริม (Cover Meter) ก่อนที่จะเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบระยะ คาร์บอเนชั่น โดยวัดระยะหุ้มเหล็กเสริมในตำแหน่งที่ใกล้กับตำแหน่งที่เจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตทดสอบระยะคาร์บอเนชั่น (รูปที่1) โดยแต่ละตำแหน่งที่เจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตจะวัดค่าระยะหุ้มเหล็กเสริม 4 ค่า เก็บข้อมูลระยะหุ้มเหล็กเสริม6 ตำแหน่งต่อสะพานลอย 1 แห่ง ทำให้ได้ค่าระยะหุ้มเหล็กเสริมทั้งหมด 24 ค่าต่อสะพานลอย1 แห่ง



รูปที่ 1 การหาตำแหน่งเหล็กเสริมและการวัดระยะหุ้มเหล็กเสริมของโครงสร้างสะพานลอย

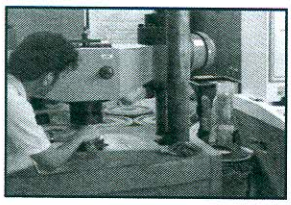
2.3 ตำแหน่งที่ทำการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตทดสอบระยะคาร์บอเนชั่น

ทำการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบระยะคาร์บอเนชั่น (Carbonation Depth) จากบริเวณเสาของสะพานลอย ที่ระดับความสูง 1.50 – 2.50 เมตร (ทั้ง 15 สะพานลอย) โดยเจาะเก็บตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อ 1 สะพานลอย

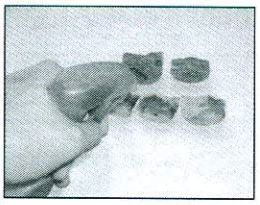
2.4 การเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตและการทดสอบระยะคาร์บอเนชั่น

ตัวอย่างคอนกรีตที่นำมาทดสอบระยะคาร์บอเนชั่นครั้งนี้ได้จากการเจาะด้วยสว่านหัวเจาะแบบ HOLESAW ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ลึกประมาณ 5-6 เซนติเมตร

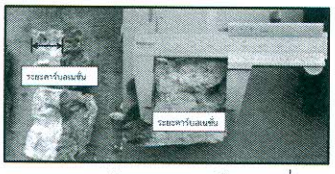
จากตำแหน่งที่กล่าวมาข้างต้น โดยนำตัวอย่างคอนกรีตดังกล่าวมาทำการผ่าซีกเพื่อทดสอบระยะคาร์บอเนชั่น ***(รูปที่ 2ก)*** ปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตลดลง (โดยทั่วไปค่า pH ของคอนกรีตประมาณ 13) โดยฉีดพ่นด้วยสารละลายฟีนอล์ฟธาลีนไปยังคอนกรีตที่ผ่าซีกแล้ว ***(รูปที่ 2ข)*** ซึ่งสารละลายสารละลายฟีนอล์ฟธาลีนจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูเข้มในบริเวณที่ค่า pH ของคอนกรีตมีค่ามากกว่า 9 จากนั้นวัดค่าระยะคาร์บอเนชั่น ***(รูปที่ 2ค)*** ซึ่งเป็นระยะที่คอนกรีตไม่มีการเปลี่ยนแปลงสี



(ก) การผ่าซีกตัวอย่างคอนกรีต



(ข) นำก้อนตัวอย่างที่ผ่าซีกฉีดพ่นด้วยสารละลายฟีนอล์ฟธาลีน



(ค) การวัดระยะคาร์บอเนชั่น

รูปที่ 2 การทดสอบและวัดระยะคาร์บอเนชั่น

2.4 การวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม

ในการตรวจวัดครั้งนี้ใช้เครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยี่ห้อ EXTECH รุ่น CO250 เก็บวัดค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) บริเวณโครงสร้างสะพานลอยที่ทำการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตทดสอบระยะคาร์บอเนชั่น ทำการวัดค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ทั้งหมด 3 เดือน (ในช่วงเดือนมีนาคมเมษายนและพฤษภาคม พ.ศ.2558) โดยในแต่ละวันจะวัดค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ 3 ช่วงเวลาคือ ช่วงเช้า (เวลาประมาณ 9-10 น.) ช่วงเที่ยง (เวลาประมาณ 12-13 น.) และช่วงเย็น (เวลาประมาณ 17-18 น.) ในแต่ละสะพานลอยที่มีการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตทดสอบระยะคาร์บอเนชั่นจะเก็บค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ 162 ค่า ทั้งนี้การวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ครั้งนี้เป็นการวัด ณ ช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น ซึ่งอาจจะไม่ใช่ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ตลอดทั้งปี รวมถึงอาจจะไม่เป็นตัวแทนที่ดีของข้อมูลดังกล่าว อย่างไรก็ตามเพื่อทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิด คาร์บอเนชั่นของโครงสร้างสะพานลอยครั้งนี้ จะใช้ข้อมูลที่วัดได้ ณ ช่วงเวลาดังกล่าว และมีการวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์อย่างต่อเนื่องเพื่อนำมาปรับปรุงการวิเคราะห์ต่อไปในอนาคต

3.ผลการทดสอบและวิเคราะห์

จากผลการทดสอบโครงสร้างสะพานลอยทั้งหมด พบว่าระยะหุ้มเหล็กเสริมของโครงสร้างสะพานลอยทั้ง 15 แห่ง ที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง48-75มม. ดังแสดงใน***ตารางที่ 2*** ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ออกแบบมาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 30 มม. [4]แสดงให้เห็นว่าการควบคุมคุณภาพการก่อสร้างของสะพานลอยดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ในส่วนของระยะคาร์บอเนชั่นดังแสดงใน***ตารางที่ 2*** พบว่าสะพานลอยที่มีสถานที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมืองนครปฐมมีแนวโน้มของระยะคาร์บอเนชั่นที่มากกว่าที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอนครชัยศรีและอำเภอกำแพงแสน ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ อาทิ 1) อายุของ

โครงสร้าง 2) สภาวะแวดล้อมบริเวณโครงสร้างสะพานลอย 3) คุณสมบัติของคอนกรีต ซึ่งคุณสมบัติทั้งหลายเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ทำให้ความเสี่ยงที่เหล็กเสริมจะเกิดสนิมแตกต่างกัน

สำหรับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ ดังแสดงใน***ตารางที่ 3*** เป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้อัตราการพัฒนาระยะคาร์บอเนชั่นเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอเนชั่น ดังแสดงใน***ตารางที่ 2*** โดยนำโครงสร้างสะพานลอยที่มีคุณสมบัติของคอนกรีตและอายุโครงสร้างที่ใกล้เคียงกันมาเปรียบเทียบเช่น สะพานลอยหนองดินแดง (ก.ม.64+075) ศาลเยาวชน (ก.ม.63+230) โรงเรียนกำแพงแสนวิทยา (ก.ม.23+325) และหนองปลาไหล (ก.ม.19+235) พบว่าสะพานลอยหนองดินแดงและศาลเยาวชนมีอัตราการพัฒนาระยะคาร์บอเนชั่นมากกว่าสะพานลอยโรงเรียนกำแพงแสนวิทยาและหนองปลาไหลทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในอากาศมีปริมาณที่สูงจึงเป็นภาวะปัจจัยส่วนหนึ่งที่ทำให้การพัฒนาระยะ คาร์บอเนชั่นสูงขึ้น

จาก***ตารางที่ 2 และ 3*** พบว่าสะพานลอยโลตัสกำแพงแสน (ก.ม.24+166) ทุ่งเศรษฐี (ก.ม.17+835) และกิโล 5 (ก.ม.5+650) มีอายุโครงสร้างและสภาวะแวดล้อมใกล้เคียงกัน แต่โอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นณ เวลาที่ทำการทดสอบ (พ.ศ.2558) ของสะพานลอยกิโล 5 มีค่ามากกว่าทุ่งเศรษฐีและโลตัสกำแพงแสน ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากคุณสมบัติด้านวัสดุที่อาจจะต่างกัน เช่น อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เป็นต้น ซึ่งอาจจะทำให้โอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นต่างกัน ในขณะเดียวกันสะพานลอยวัดท่าตำหนัก (ก.ม.42+960) ซึ่งมีอายุ 269 เดือน พบว่ามีโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นน้อยกว่าสะพานลอยศาลเยาวชน (ก.ม.63+230) อายุ 167 เดือน และวัดลาดปลาเค้า (ก.ม.59+785) อายุ 142 เดือน อาจจะเนื่องมาจากคุณสมบัติของคอนกรีตที่แตกต่างกันและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่า

จาก***รูปที่ 3ก*** แสดงแบบจำลองโค้งปกติของระยะคาร์บอเนชั่นและระยะหุ้มเหล็กเสริมซึ่งข้อมูลทั้งสองเป็นอิสระต่อกัน จากนั้นเมื่ออายุโครงสร้างมากขึ้นความสัมพันธ์ของโค้งปกติของระยะคาร์บอเนชั่นจะซ้อนทับโค้งปกติของระยะหุ้มเหล็กเสริม ทำให้โค้งปกติของข้อมูลทั้งสองเกิดส่วนที่ซ้อนทับกันขึ้น ดังแสดงใน***รูปที่ 3ข*** ซึ่งเป็นการแสดงแบบจำลองความเสี่ยงที่เหล็กเสริมภายในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีโอกาสเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่น โดยการแปรผันตามอายุของโครงสร้าง ซึ่งรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ความน่าจะเป็นของระยะหุ้มเหล็กเสริมเฉลี่ย x_1 จะมีค่าคงที่ตลอดอายุการใช้งานในขณะที่พื้นที่ความน่าจะเป็นของระยะคาร์บอเนชั่นจะเพิ่มขึ้นทุกช่วงอายุการใช้งานจาก d_1 ไป d_2 หรือ d_3 เป็นต้น จนกระทั่ง ณ ช่วงอายุหนึ่งของโครงสร้าง ความน่าจะเป็นของระยะคาร์บอเนชั่นจะซ้อนทับกับความน่าจะเป็นของระยะหุ้มเหล็กเสริม ซึ่งส่วนที่ซ้อนทับก็คือความเสี่ยงที่เหล็กเสริมจะเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่น จากการซ้อนทับของระยะหุ้มเหล็กเสริมและระยะคาร์บอเนชั่นทำให้เกิดค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวใหม่ของข้อมูลระยะคาร์บอเนชั่นและระยะหุ้มเหล็กเสริม ซึ่งแสดงดัง***รูปที่ 3ค***

ตารางที่ 2 ผลระยะหุ้มเหล็กเสริม, ระยะคาร์บอเนชั่น และสัมประสิทธิ์คาร์บอเนชั่น

โครงสร้างสะพานลอยที่เข้าตรวจสอบ	สถานที่ตั้ง (อำเภอ)	ระยะหุ้มเหล็กเสริม		ระยะคาร์บอเนชั่น		สัมประสิทธิ์คาร์บอเนชั่น (K)	
		ระยะเฉลี่ย (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มม.)	ระยะเฉลี่ย (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มม.)	K เฉลี่ย (มม./เดือน$^{1/2}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มม./เดือน$^{1/2}$)
ก.ม.24+166 (โลตัสกำแพงแสน)	กำแพงแสน	69.71	7.61	18.70	1.47	1.38	0.11
ก.ม.23+325 (ร.ร.กำแพงแสนวิทยา)	กำแพงแสน	74.08	10.18	20.50	3.50	1.52	0.26
ก.ม.19+235 (หนองปลาไหล)	กำแพงแสน	64.71	7.23	19.20	1.45	1.42	0.11
ก.ม.17+835 (ทุ่งเศรษฐี)	กำแพงแสน	53.79	4.15	14.00	2.99	1.03	0.22
ก.ม.15+760 (ลาดหญ้าไทร)	กำแพงแสน	73.33	8.8	25.50	6.49	1.89	0.48
ก.ม.5+650 (กิโล 5)	เมือง	48.13	4.74	18.80	3.00	1.39	0.22
ก.ม.66+780 (ร.ร.พัฒนบริหารธุรกิจ)	เมือง	54.00	10.66	31.60	2.00	2.35	0.15
ก.ม.64+075 (หนองดินแดง)	เมือง	58.33	11.81	39.30	4.31	2.82	0.31
ก.ม.63+230 (ศาลเยาวชน)	เมือง	61.58	9.67	60.00	0.48	4.64	0.04
ก.ม.61+585 (บ้านหนองหิน)	เมือง	51.46	6.09	37.80	1.04	3.17	0.09
ก.ม.59+785 (วัดลาดปลาเค้า)	เมือง	51.96	4.55	34.50	4.82	2.89	0.40
ก.ม.50+174 (วัดธรรมศาลา)	เมือง	75.13	4.44	18.30	1.14	1.27	0.08
ก.ม.47+485 (วัดเสถียร)	นครชัยศรี	63.08	3.61	21.70	4.38	1.66	0.33
ก.ม.45+648 (วัดศีรษะทอง)	นครชัยศรี	48.63	4.78	17.40	1.07	1.21	0.07
ก.ม.42+960 (วัดท่าตำหนัก)	นครชัยศรี	60.96	5.34	24.50	4.60	1.50	0.28

จากข้อมูลใน***ตารางที่ 2*** สามารถทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่เหล็กเสริมจะมีโอกาสเกิดสนิมตามอายุต่างๆ ของโครงสร้างได้โดยประยุกต์หลักทางสถิติเกี่ยวกับการแจกแจงความน่าจะเป็นต่อเนื่องของผู้แต่งจากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [5] เข้ามาทำการวิเคราะห์ ตามแบบจำลอง ***รูปที่ 3ก, ข, ค*** อาศัยความสัมพันธ์ของการแจกแจงของผลต่างค่าเฉลี่ยของระยะหุ้มเหล็กเสริมและระยะคาร์บอเนชั่น โดยระยะคาร์บอเนชั่นที่จะนำมาสร้างความสัมพันธ์วิเคราะห์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นจะมีการบวกระยะเพิ่มเข้าไป 10 มิลลิเมตรทุกระยะคาร์บอเนชั่นที่วัดได้จากโครงสร้างตามมาตรฐาน JSCE [6] ที่ระบุไว้ว่าระยะคาร์บอเนชั่นที่วัดจากโครงสร้างโดยการฉีดสารละลายฟีนอล์ฟธาลีนไปยังตัวอย่างคอนกรีตนั้น สารละลายฟีนอล์ฟธาลีนจะมีการเปลี่ยนสีที่ค่า pHประมาณ 9.2 แต่ในทางทฤษฎีพบว่าโอกาสที่เหล็กเสริมจะเกิดสนิมจะมีค่ามากกว่าค่า pH ที่ 9.2 ซึ่งอยู่ระหว่างค่า pH ที่ 9.2-13 ดังนั้นมาตรฐาน JSCE จึงมีการบวกระยะคาร์บอเนชั่นเพิ่มไปอีก 10 มิลลิเมตร เพื่อความปลอดภัยของโครงสร้างดังสมการที่ (3) สำหรับสมการที่ (2) คือสมการพื้นฐานของการหาระยะคาร์บอเนชั่น

$$x_{car,real} = k\sqrt{t_0} \qquad (2)$$

$$k\sqrt{t} + 10 = x_{car,real(pH)} \qquad (3)$$

โดยที่ $x_{car,real}$ คือระยะคาร์บอเนชั่นที่วัดได้จากโครงสร้าง ณ อายุที่ทำการทดสอบ (มม.), $x_{car,real(pH)}$ คือระยะคาร์บอเนชั่นที่มีการบวกเพิ่ม 10 มม.ตามมาตรฐาน JSCE, k คือค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอเนชั่น (มม./ เดือน1/2), t_0 คืออายุของโครงสร้าง ณ เวลาที่ทำการทดสอบระยะคาร์บอเนชั่น (เดือน) และ t คืออายุของโครงสร้างที่ต้องการวิเคราะห์ (เดือน)

อย่างไรก็ตามจากสมการที่ (2) เป็นการคำนวณหาระยะคาร์บอเนชั่น ณ อายุที่ทำการทดสอบเท่านั้น ในกรณีที่จะหาระยะคาร์บอเนชั่นที่มีการแปรผันตามอายุโครงสร้าง จะต้องมีการเปลี่ยนค่า t ในสมการที่ (3) เป็น $t_{1,2....n}$ โดย 1,2...n คืออายุโครงสร้างที่มีการแปรผันตามเวลาที่ต้องการพิจารณา

จากแผนภาพจำลองความเสี่ยงที่เหล็กเสริมเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นดังแสดงใน***รูปที่ 3ก, ข, ค*** ต้องมีการหาตัวแปรที่จะนำไปวิเคราะห์ตามหลักสถิติเพื่อหาความเสี่ยงที่เหล็กเสริมเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่น ประกอบด้วย 1) ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะหุ้มเหล็กเสริม โดยสมมุติให้ค่าทั้งสองค่าดังกล่าวคงที่ตลอดอายุการใช้งาน 2) ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะคาร์บอเนชั่นจะมีการวิเคราะห์ค่าดังกล่าวแตกต่างกันคือให้ค่าเฉลี่ยของระยะคาร์บอเนชั่นจะมีการแปรผันตามเวลาของอายุโครงสร้าง สำหรับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะคาร์บอเนชั่นเฉลี่ยจะสมมุติให้คงที่ตลอดอายุการใช้งาน หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐานของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นโดยอาศัยสมการที่ (4) ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นผลของช่วงอายุใดอายุหนึ่งของโครงสร้างเท่านั้น เพราะฉะนั้นถ้าต้องการให้ตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐานอายุโครงสร้างที่มีการแปรผันไปตามเวลาจึงจำเป็นต้องอาศัยสมการที่ (3) ที่มีตัวแปรเกี่ยวกับอายุโครงสร้างอยู่ด้วย สำหรับที่จะทำการแปรผันอายุโครงสร้างให้ได้ค่าระยะคาร์บอเนชั่นที่อายุโครงสร้างต่างๆ กัน จึงทำให้ค่าตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐานของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นที่ได้หลากหลายอายุมากยิ่งขึ้น

$$Z = \frac{(\bar{X}_{car,real(pH)} - \bar{X}_{cover}) - (0)}{\sqrt{s^2_{car,real} + s^2_{cover}}} \qquad (4)$$

โดยที่ Z คือค่าตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐาน (นำไปเปิดตารางพื้นที่ใต้โค้ง) ของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่น, 0 คือค่าผลต่างของข้อมูลระยะคาร์บอเนชั่นเฉลี่ยและระยะหุ้มเหล็กเสริมเฉลี่ยที่ทำให้เหล็กเสริมมีโอกาสเกิดสนิม $(\bar{X}_{car,real(pH)} > \bar{X}_{cover})$ $\bar{X}_{cover}$ คือระยะหุ้มเหล็กเสริมเฉลี่ย (มม.), $\bar{X}_{car,real(pH)}$ คือระยะคาร์บอเนชั่นเฉลี่ยที่มีการบวกเพิ่ม 10 มม. ตามมาตรฐาน JSCE (มม.), $s_{car,real}$ คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะคาร์บอเนชั่นเฉลี่ย และ s_{cover} คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะหุ้มเหล็กเสริมเฉลี่ย

เมื่อได้ค่าตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐานของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นแล้ว นำค่าดังกล่าวมาเปิดตารางพื้นที่ใต้โค้งปกติมาตรฐาน ซึ่งพื้นที่ใต้โค้งปกติมาตรฐานนี้คือความน่าจะเป็นที่เหล็กเสริมจะเกิดสนิม

จาก***รูปที่ 4, 5 และ 6*** แสดงความสัมพันธ์ของอายุโครงสร้างกับความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจาก คาร์บอเนชั่นของโครงสร้างสะพานลอยที่มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอกำแพงแสน อำเภอเมือง และอำเภอนครชัยศรี ตามลำดับ ซึ่งพบว่าทุกช่วงอายุของโครงสร้างในทุกๆ สะพานลอยมีความเสี่ยงของการเกิดสนิมแตกต่างกัน เช่นเมื่อเปรียบเทียบอายุการใช้งานของโครงสร้าง 100 ปี ความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจาก คาร์บอเนชั่นของสะพานลอยที่มี

สถานที่ตั้งในเขตอำเภอเมือง นครปฐม อาทิ สะพานลอย กม. 95+51 (หนองดินแดง) ความเสี่ยงของการเกิดสนิมร้อยละ 95.51 สะพานลอย กม.63+230 (ศาลเยาวชน) ความเสี่ยงของการเกิดสนิมร้อยละ 99.99, สะพานลอย กม.61+585 (บ้านหนองหิน) ความเสี่ยงของการเกิดสนิมร้อยละ 91.98 เป็นต้น มีความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจาก คาร์บอเนชั่นสูงกว่าสะพานลอยที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอ นครชัยศรีและอำเภอกำแพงแสน เช่น สะพานลอย กม.47+485 (วัดเสถียร) ความเสี่ยงของการเกิดสนิมร้อยละ 56.38 และสะพานลอย กม.23+325 (ร.ร. กำแพงแสนวิทยา) ความเสี่ยงของการเกิดสนิมร้อยละ 30.91 เป็นต้น

ในขณะเดียวกันถ้าพิจารณาโครงสร้างที่ตั้งอยู่ในสภาวะสิ่งแวดล้อมที่คล้ายคลึงกัน เช่น สะพานลอย กม. 24+166 (โลตัสกำแพงแสน) และสะพานลอย กม. 17+835 (ทุ่งเศรษฐี) พบว่าค่าสัมประสิทธ์คาร์บอเนชั่นของสะพานลอยโลตัสกำแพงแสนสูงกว่าสะพานลอยทุ่งเศรษฐี แต่เมื่อเปรียบเทียบอายุการใช้งานของโครงสร้าง 100 ปีเท่ากัน พบว่าความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจาก คาร์บอเนชั่นของสะพานลอยทุ่งเศรษฐีเท่ากับร้อยละ 38.95 ซึ่งสูงกว่าสะพานลอยโลตัสกำแพงแสน เท่ากับร้อยละ 28.56 ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมที่ต่างกัน คือสะพานลอยทุ่งเศรษฐีมีระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมน้อยกว่าสะพานลอยโลตัสกำแพงแสน ย่อมส่งผลให้ระยะ คาร์บอเนชั่นเข้าทำลายคอนกรีตจนส่งผลกระทบต่อเหล็กเสริมภายในคอนกรีตได้เร็วขึ้น

นอกจากนี้จาก***ตารางที่ 2*** และ***รูปที่ 5 และ 6*** ยังพบอีกว่าโครงสร้างสะพานลอยที่มีอายุใกล้เคียงกัน คือสะพานลอย กม. 50 + 174 (วัดธรรมศาลา) ซึ่งมีที่ตั้งโครงสร้างอยู่ในอำเภอเมืองนครปฐมมีค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอเนชั่นสูงกว่าสะพานลอย 45 + 648 (วัดศีรษะทอง) แต่เมื่อเปรียบเทียบความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นพบว่าสะพานลอยวัดธรรมศาลา (ความเสี่ยงของการเกิดสนิมร้อยละ 21.66 ที่อายุการใช้งาน 100 ปี) มีความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นน้อยกว่าสะพานลอยวัดศีรษะทอง (ความเสี่ยงของการเกิดสนิมร้อยละ 54.79 ที่อายุการใช้งาน 100 ปี) ทั้งนี้เนื่องจากระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมที่ต่างกันคือระยะหุ้มเหล็กเสริมของสะพานลอยวัดศีรษะทองมีค่าน้อยกว่าสะพานลอยวัดธรรมศาลา ย่อมส่งผลให้ระยะคาร์บอเนชั่นเข้าทำลายคอนกรีตจนส่งผลกระทบต่อเหล็กเสริมภายในคอนกรีตได้เร็วขึ้น

ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณา***รูปที่ 4, 5 และ 6*** พบว่าความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นที่อายุการใช้งานโครงสร้าง 100 ปีของสะพานลอยที่มีตำแหน่งที่ตั้งในอำเภอนครชัยศรีมีแนวโน้มความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นสูงกว่าโครงสร้างที่มีตำแหน่งที่ตั้งในเขตอำเภอกำแพงแสน แต่ต่ำกว่าโครงสร้างที่มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในอำเภอเมืองนครปฐม

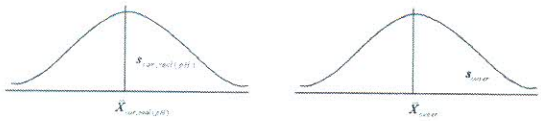
สำหรับความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่น ณ เวลาที่ทำการทดสอบระยะคาร์บอเนชั่น (พ.ศ.2558) ดังแสดงใน***ตารางที่ 3*** พบว่าสะพานลอยที่มีที่ตั้งในเขตอำเภอเมืองนครปฐมมีความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นสูงกว่าสะพานลอยที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอนครชัยศรีและกำแพงแสน จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นมีสาเหตุเนื่องมาจาก 1) อัตราการพัฒนาระยะคาร์บอเนชั่นต่างกัน คือในเขตอำเภอเมืองนครปฐมมีอัตราการพัฒนาระยะคาร์บอเนชั่นสูงกว่าในเขตอำเภอนครชัยศรีและกำแพงแสน 2) ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมที่มีระยะต่างกัน ซึ่งจะมีส่วนทำให้คาร์บอเนชั่นเข้าไปถึงตำแหน่งเหล็กเสริม จนทำให้ความเป็นด่าง

ของคอนกรีตรอบเหล็กเสริมลดต่ำลงใกล้หรือต่ำกว่าระดับวิกฤติได้ต่างกัน 3) ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ที่มีปริมาณพอเหมาะต่อการเกิดคาร์บอเนชั่นในอัตราที่ต่างกัน คือในเขตอำเภอเมืองนครปฐมมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าในเขตอำเภอนครชัยศรีและกำแพงแสน 4) คุณภาพของคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างของแต่ละพื้นที่ต่างกัน และ 5) อายุของโครงสร้างต่างกัน คือโครงสร้างสะพานลอยในเขตอำเภอเมืองนครปฐมมีแนวโน้มการก่อสร้างก่อนโครงสร้างอาคารในเขตอำเภอกำแพงแสน จึงทำให้โครงสร้างสะพานลอยในเขตอำเภอเมืองนครปฐมมีอายุมากกว่าในเขตอื่นๆ

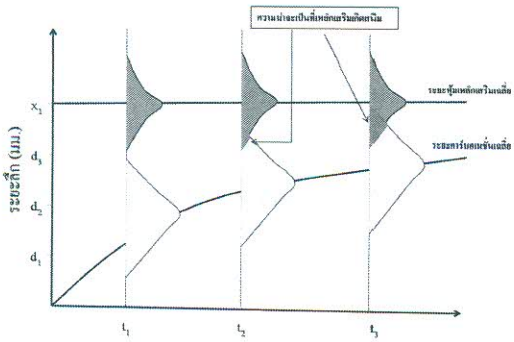
ตารางที่ 3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) และร้อยละความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่น ณ เวลาที่ทำการทดสอบ (พ.ศ. 2558)

โครงสร้างสะพานลอยที่เข้าตรวจสอบ	สถานที่ตั้ง (อำเภอ)	อายุ (เดือน)	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์		ความชื้นสัมพัทธ์		ร้อยละความเสี่ยงการเกิดสนิม*
			ความเข้มข้นเฉลี่ย (ppm)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ppm)	ระยะเฉลี่ย (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มม.)	
ก.ม.24+166 (โลตัสกำแพงแสน)	กำแพงแสน	183	670.19	12.01	37.05	12.79	0.03
ก.ม.23+325 (ร.ร.กำแพงแสนวิทยา)	กำแพงแสน	183	657.18	10.95	47.97	1.68	1.11
ก.ม.19+235 (หนองปลาไหล)	กำแพงแสน	183	661.72	10.38	44.20	8.90	9.44
ก.ม.17+835 (ทุ่งเศรษฐี)	กำแพงแสน	183	668.56	11.55	43.92	7.89	14.76
ก.ม.15+760 (ลาดหญ้าไทร)	กำแพงแสน	183	658.11	9.32	48.68	3.25	4.79
ก.ม.5+650 (กิโล 5)	เมือง	183	669.36	10.11	53.84	1.11	23.72
ก.ม.66+780 (ร.ร.พัฒนบริหารธุรกิจ)	เมือง	180	663.70	9.93	41.03	14.35	33.22
ก.ม.64+075 (หนองดินแดง)	เมือง	194	675.83	11.25	33.80	9.41	37.81
ก.ม.63+230 (ศาลเยาวชน)	เมือง	167	690.85	7.21	34.95	8.69	61.72
ก.ม.61+585 (บ้านหนองหิน)	เมือง	269	696.15	6.21	40.14	12.62	44.62
ก.ม.59+785 (วัดลาดปลาเค้า)	เมือง	142	692.75	7.67	40.60	12.56	39.08
ก.ม.50+174 (วัดธรรมศาลา)	เมือง	207	697.16	4.85	51.77	7.19	4.12
ก.ม.47+485 (วัดเสถียร)	นครชัยศรี	171	695.17	6.40	46.45	10.71	12.10
ก.ม.45+648 (วัดศีรษะทอง)	นครชัยศรี	207	675.77	11.32	43.84	12.14	23.52
ก.ม.42+960 (วัดท่าตำหนัก)	นครชัยศรี	269	673.51	7.12	45.58	11.10	17.79

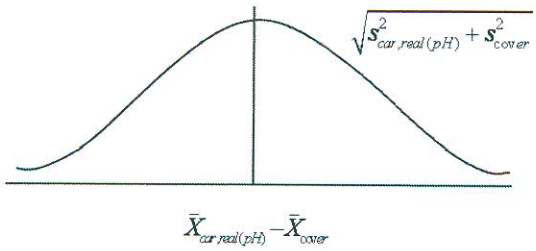
*ร้อยละความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่น ณ เวลาที่ทดสอบระยะคาร์บอเนชั่น (พ.ศ. 2558)



(ก) แผนภาพจำลองโค้งปกติของระยะคาร์บอเนชั่นและระยะหุ้มเหล็กเสริม

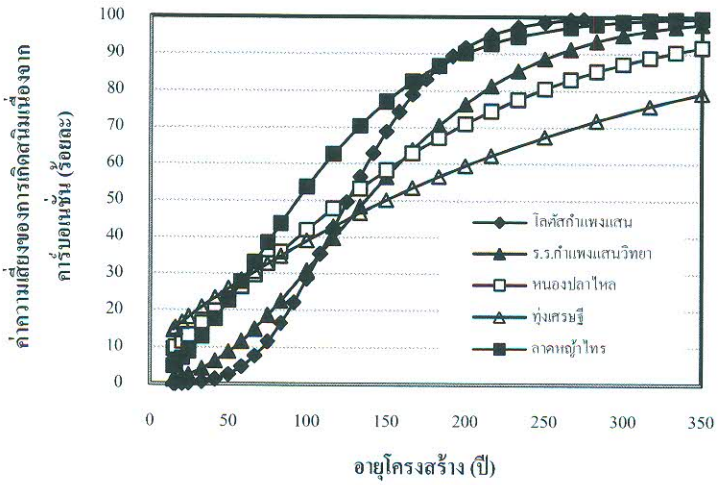


(ข) แผนภาพจำลองความเสี่ยงของระยะคาร์บอเนชั่นและระยะหุ้มเหล็กเสริมที่มีการแปรผันตามอายุโครงสร้าง

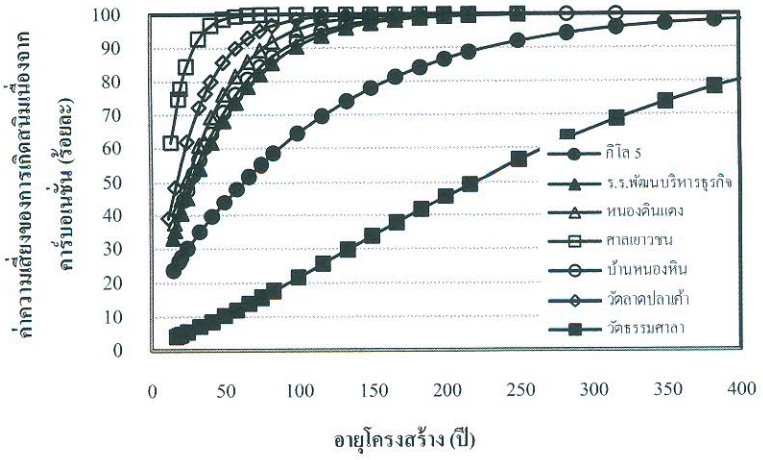


(ค) แผนภาพจำลองโค้งปกติที่เกิดจากการซ้อนทับของระยะคาร์บอเนชั่นและระยะหุ้มเหล็กเสริม

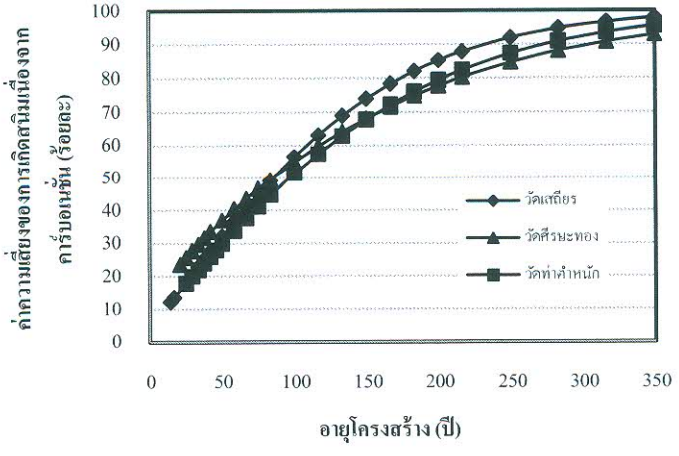
รูปที่ 3 แผนภาพแสดงกลไกความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นตามหลักความน่าจะเป็นทางสถิติ



รูปที่ 4 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นของสะพานลอยที่มีตำแหน่งที่ตั้งในเขตอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 5 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นของสะพานลอยที่มีตำแหน่งที่ตั้งในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 6 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นของสะพานลอยที่มีตำแหน่งที่ตั้งในเขตอำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม

4. สรุป

จากผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นของโครงสร้างสะพานลอยที่อยู่ในเขตอำเภอเมืองนครปฐมมีค่าสูงกว่าในเขตอำเภอนครชัยศรีและกำแพงแสน

2) ด้วยวิธีการนำเสนอ สามารถคำนวณความเสี่ยงการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชั่นที่อายุต่างๆ กันของโครงสร้างได้ โดยผลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนดูแลบำรุงรักษาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องเผชิญกับสภาวะแวดล้อมคาร์บอเนชั่นตลอดจนป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ได้สนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] S.K.Roy, K.B.Poh and D.O.Northwood, 1998. Durability of concrete accelerated carbonation and weathering studies.Building and Environment, Vol.34: 597-606.

[2] J.Khunthongkeaw, S.Tangtermsirikul and T.Leelawat, 2006. A study on carbonation depth prediction for fly ash concrete. Construction and Building Materials, Vol.20: 744-753.

[3] N.I. Fattuhi, 1986. Carbonation of concrete as affected by mix constituents and initial water curing period.Materiauxet Constructions, Vol.19: 131-136.

[4] Standard drawings,1994. Kingdom of Thailand ministry of transport and communications department of highways.

[5] คณาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์, 2535. ความน่าจะเป็นและสถิติ. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] JSCE Guidelines for Concrete No.6: Standard Specifications for Concrete Structures – 2002 "Materials and Construction"

[7] บัญญัติ วารินทร์ใหล, รักติพงษ์สหมิตร มงคล,ปิติศานต์ กร้ำมาตร และ สมนึก ตั้งเติมสิริกุล, 2553. การสำรวจอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นของอาคารที่พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล,เอกสารประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติครั้งที่ 6, ชะอำ เพชรบุรี, บทความเลขที่ MAT 64.

[8] Tangtermsirikul S., 2003. Durability and mix design of concrete. FirstEdition, Printing House of ThammasatUniversity.

แนวทางการเตรียมตัวเข้าทำงานในกลุ่มประเทศอาเซียน ของแรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้าง
Guidelines for the Preparation Work on the ASEAN for Skill Labour in Construction

กัณฐิกา จันทนา[1] กิตติพัชญ์ เสาแก้ว[2] และสุริยนต์ สุนิศทรามาศ[3]

บทคัดย่อ

โครงงานเรื่อง แนวทางการเตรียมตัวเข้าทำงานในกลุ่มประเทศอาเซียนของแรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้างมีวัตถุ ประสงค์เพื่อ ศึกษากลุ่มประเทศอาเซียนที่แรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้างสนใจ จัดอันดับความต้องการของแรงงาน เพื่อนำมาศึกษาถึงการเตรียมความพร้อมของแรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้าง จัดอันดับความสำคัญของการพัฒนา และการเตรียมความพร้อมด้านร่างกายและทัศนคติในการดำรงชีวิตในต่างประเทศ และเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างความมั่นใจเบื้องต้นในการเตรียมตัวเดินทางและสถานที่ติดต่อทางราชการที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษาไปเป็นแนวทางในการพัฒนาฝีมือแรงงานด้านงานก่อสร้าง และสร้างความมั่นใจในการดำรงชีวิตในต่างประเทศ จากการศึกษาเรื่องแนวทางการเตรียมตัวเข้าทำงานในกลุ่มประเทศอาเซียนของแรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้าง โดยการเก็บรวบรวมข้อมูล จากแบบสอบถามแบ่งเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 สอบถามถึงประเทศที่สนใจที่จะเดินทางไปทำงานในอาเซียน ชุดที่ 2 เป็นการสอบถามถึงข้อมูลส่วนตัว การเดินทาง การเตรียมความพร้อม และหน่วยราชการที่สามารถติดต่อได้ เก็บข้อมูลโดยการสอบถามจากกลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ในชั้นปีสุดท้าย ของโรงเรียนวิชาชีพของภาครัฐและเอกชน จำนวน 6 โรงเรียน ในเขตพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร ฯลฯ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย เพื่อจัดอันดับแนวทางการพัฒนาฝีมือแรงงานด้านงานก่อสร้าง ผลการศึกษาพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เลือกที่จะเดินทางไปทำงานที่ประเทศสิงค์โปรร้อยละ 46.67 เพราะอัตราการจ้างงานที่สูง ความปลอดภัยในการดำรงชีวิต และความสงบของประเทศ ข้อมูลเรื่องความต้องการที่จะเดินทางผู้ตอบแบบสอบถาม สนใจที่จะเดินทางโดยบริษัทจัดหางานจัดส่ง เป็นผู้ส่งเข้าทำงานที่ต่างประเทศ ข้อมูลเรื่องกองทุนเพื่อช่วยเหลือคนหางานไปทำงานต่างประเทศ ผู้ตอบแบบสอบถามรู้จักหน่วยงานในระดับปานกลาง เท่ากับ 2.73 แสดงถึง ผู้ตอบแบบสอบถามมีความรู้จักถึงหน่วยงานที่สามารถช่วยเหลือพอควร ข้อมูลเรื่องทักษะที่จำเป็นในด้านของมาตรฐานแรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้าง ผู้ตอบแบบสอบถาม มีประสบการณ์ในการทำงานอยู่ในระดับน้อย เท่ากับ 2.59

[1] นักศึกษา สาขาการจัดการงานก่อสร้าง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

[2] นักศึกษา สาขาการจัดการงานก่อสร้าง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

[3] อาจารย์ สาขาการจัดการงานก่อสร้าง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

แสดงถึง ผู้ตอบแบบสอบถามมีประสบการณ์ในการทำงานที่น้อย อาจจะเป็นอุปสรรคในการหางาน และข้อมูลเรื่องการเตรียมความพร้อมผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความพร้อมด้านภาษาการสื่อสาร อยู่ในระดับที่ น้อย เท่ากับ 2.55 แสดงถึง การเตรียมความพร้อม ควรเน้นเรื่องการใช้ภาษา และการสื่อสาร ซึ่งสรุปได้ว่าแนวทางการพัฒนาฝีมือแรงงานด้านงานก่อสร้างควรเน้นในเรื่องการทำความรู้จักกับหน่วยงานราชการที่สามารถติดต่อไปทำงานที่ต่างประเทศ และระหว่างอยู่นอกประเทศ เพื่อการทำงานในต่างประเทศอย่างสะดวกและถูกกฎหมาย เพิ่มความรู้ความสามารถด้านการทำงาน เพื่อเสริมสร้างประสบการณ์การทำงานที่มากขึ้น และเพิ่มทักษะการใช้ภาษาในการติดต่อสื่อสาร เพื่อการทำงานและดำรงชีวิต

คำสำคัญ: แรงงานก่อสร้าง การพัฒนาแรงงานฝีมือด้านก่อสร้าง การเดินทางไปทำงานต่างประเทศ

Abstract

The purpose of this project is to study in term of the interesting of construction skills labor to select workplace in ASEAN group of countries. And to research the ranking of workplace which the construction skills labors was interesting. To study and analyze the preparation of construction skills labors. To find the guideline of priority processing of development and preparation of health and attitude for living in other countries. And to be a guideline to make the first confidence to prepare journey and contact the related governments service office. The project involves the knowledge to be a guideline for developing the skills in term of construction and enhancing their confidence for living and working in other countries.

In studying and analyzing this project, the research was performed by information collecting. The questionnaire is 2 sets, the first is questionnaire about the aimed country which construction skills labors was interesting to go for working, the second is questionnaire about their biography, journey, preparation and the government service offices which able to contact. The researcher collected the information in samples that is the students in vocational certificate and high vocational certificate, in senior final year of the vocational school of government and private individual, 6 places in educational area of Bangkok. To involve the information to analyze the average and to make importance order for developing skills in term of construction of those labors.

The results of this study found that most of questionnaire answerers choose going to work in Singapore, 46.67%. Cause of high wage, life safety, and peace of this country. The information of requirements of answerers, they were interesting to go for working by job recruitment service companies. The information of fund

for help person who finding job to go for working in other countries. The answerers knew the related service office in moderately level, equal to 2.73. That means the answerers had fairly knowledge about this. The information of important skills in standard of construction skills, the answerers had working experiences in rather low, equal to 2.59 that means it may be the obstructions to find job. And information about the skill of language and communication, most of the answerers had rather bad skills, equal to 2.55, that mean the preparation for working should be focus on language and communication.

The conclusion of this study indicated that method for developing should be focus on knowledge about related government service offices including the extraneous office, for convenience and legal working, increasing knowledge and skills to enhance more experiences, and enhancing the skills in language and communication for working and living.

Keywords: Construction Workers, The Development of Skilled Construction Workers, Travel to Tork Abroad.

1. บทนำ

จากสถานการณ์ความเปลี่ยนแปลงของเส้นทางแรงงานไทย ด้วยการปรับขึ้นค่าจ้างขั้นต่ำเป็นวันละ 300 บาทพร้อมกันทั้งประเทศ เมื่อเดือนมกราคม 2556 ที่ผ่านมา ได้ส่งผลให้สถานประกอบการต่างต้องเร่งสร้างสมรรถนะให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อตอบโจทย์ความเหมาะสมกับค่าแรงที่เพิ่มสูงขึ้น รวมไปถึงการเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันของสถานประกอบการไทยกับประเทศสมาชิกในอาเซียน

รศ.ดร.ณรงค์ เพ็ชรประเสริฐ อาจารย์ประจำคณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เผยผลรายงานการวิจัยการเตรียมการรองรับการเคลื่อนย้ายของแรงงานสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนในปี 2558 ที่กระทรวงแรงงานมอบหมายให้วิจัย โดยผลวิจัยดังกล่าวมีข้อสรุปว่า การเปิดเออีซี จะทำให้มีการเคลื่อนย้ายแรงงานอย่างเสรี ทำให้ตลาดแรงงานมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น และแรงงานจากทั้ง 10 ประเทศสมาชิกเออีซีมีการแข่งขันกันสูงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในส่วนของแรงงานไทยมีจุดเด่นในเรื่องการมีอัธยาศัยที่ดี มีใจรักงานบริการ ปรับตัวและเรียนรู้งานต่างๆ ได้เร็ว แต่มีจุดอ่อนด้านทักษะภาษาอังกฤษ เทคโนโลยี [1]

ด้านผลกระทบด้านอื่นๆ คือแรงงานฝีมือไทยซึ่งมีข้อตกลงยอมรับร่วมในคุณสมบัตินักวิชาชีพของอาเซียนใน 7 สาขา ได้แก่ แพทย์ ทันตแพทย์ พยาบาล วิศวกรสถาปนิก นักบัญชี และช่างสำรวจ จะมีอัตราการแข่งขันที่สูง และมีบุคลากรวิชาชีพบางส่วนอาจจะเคลื่อนย้ายออกไปทำงานต่างประเทศมากขึ้น ดังนั้นการยกระดับรายได้แรงงานให้เท่าเทียมกันทั่วประเทศ รวมไปถึงการสร้างมาตรฐานสากลภายใต้หลักสิทธิมนุษยชน ทั้งแรงงานไทย และแรงงานข้ามชาติ ล้วนเป็นนโยบายเร่งด่วนของรัฐบาล ซึ่งทุกภาคส่วนต้องทำงานอย่างบูรณาการร่วมกัน ดังนั้นกระทรวงแรงงานริเริ่มแนวคิดในการสร้างมาตรฐานฝีมือกลางอาเซียน โดยจะหารือกับประเทศสมาชิกอาเซียน เพื่อจัด

ทำมาตรฐานฝีมือแรงงานกลางของอาเซียน เพื่อพัฒนาแรงงานให้มีมาตรฐานในระดับสากล และยังเป็นการพัฒนาระบบแรงงานในอาเซียนอย่างยั่งยืนต่อไป [2]

การศึกษาครั้งนี้มุ่งที่จะศึกษาเรื่องแนวทางการพัฒนาแรงงานฝีมือเป็นสำคัญ โดยคาดว่าผลการศึกษาที่ได้จะใช้ประโยชน์ในการเป็นแนวทางให้แรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้างที่กำลังหางาน ได้เรียนรู้ถึงข้อบังคับกฎเกณฑ์ต่างๆ ที่ทางประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนได้กำหนดไว้ เพราะบางเรื่องต้องมีการเรียนรู้เพิ่มเติม เช่นการตกแต่งต่างๆ วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่อาจจะเปลี่ยนแปลงไป และภาษา การติดต่อประสานงานอาจจะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ซึ่งการศึกษานี้ ผู้ศึกษาได้เห็นถึงความสำคัญของอนาคตของแรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้างของไทย จึงได้ทำการค้นคว้าและจัดทำขึ้นมา

2 ทฤษฎี

2.1 แรงงาน

2.1.1 ความหมายของแรงงาน

พจนา วไล (2553) แรงงาน (Labour) หมายถึง การทำงานทุกชนิดของมนุษย์ทั้งที่ใช้แรงงาน สติปัญญาความสามารถ แรงกายแรงใจที่ทุ่มเทในการผลิตสินค้าและบริการ โดยทั่วไปแบ่งเป็นแรงงานฝีมือ เช่น วิศวกร นักวิชาการ แรงงานกึ่งฝีมือ เช่น ช่างเทคนิค เสมียน และแรงงานไร้ฝีมือ เช่น กรรมกรแบกหาม ยามนักการภารโรง ผลตอบแทนคือ ค่าจ้าง [3]

ม.ล. ชาญโชติ ชมพูนุท (2556) แรงงานมีความสำคัญในฐานะที่เป็นปัจจัยการผลิตในการผลิตสินค้า และเป็นทุนมนุษย์ที่สามารถพัฒนาศักยภาพให้สูงขึ้นได้ ตามความหมายของแรงงานเป็นประชากรที่อยู่ในวัยทำงานที่สามารถทำงานได้โดยใช้กำลังกายและกำลังความคิดที่มีหลายระดับความรู้ ความสามารถอันเป็นประโยชน์ในทางเศรษฐกิจของประเทศชาติ ซึ่งความหมายของแรงงานมีคำที่เกี่ยวข้องหลากหลายคำ ได้แก่ กำลังคน และกำลังแรงงาน นอกจากนี้ยังมีความหมายที่แบ่งย่อยลงไปเป็นผู้มีงานทำ ผู้ว่างงาน ผู้ที่อยู่และไม่อยู่ในกำลังแรงงาน โดยที่ผู้มีงานทำยังจำแนกได้ตามสาขาการผลิตอีกหลายประเภท ซึ่งแรงงานในทุกสาขาการผลิตมีความสำคัญอย่างยิ่ง และสร้างประโยชน์ทั้งในระดับสถานประกอบการ สังคม และประเทศชาติ[4]

2.2 การพัฒนาฝีมือแรงงาน

2.2.1 ความหมายของการพัฒนาฝีมือแรงงาน

คำว่า “ฝีมือ” ในพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525 ได้ให้ความหมายไว้ว่าเป็นความเชี่ยวชาญในการใช้มือ การช่างทำด้วยมือ ส่วนคำว่า “แรงงาน” ได้ให้ความหมายไว้ว่าเป็นความสามารถในการทำงานเพื่อประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ กิจการที่คนงานทำในการผลิตเศรษฐทรัพย์ ดังนั้น “ฝีมือแรงงาน” จึงหมายถึง ความเชี่ยวชาญในการลงมือ ลงแรงทำงานเพื่อประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ

สังคมไทยปัจจุบันกำลังก้าวสู่ยุคแห่งการถ่ายทอดกำลังแรงงานจากภาคเกษตรกรรมในชนบทเข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมในเมือง ประกอบกับการเพิ่มตัวของประชากรเป็นไปอย่างรวดเร็ว ที่ดินเพื่อการเกษตรมีจำนวนจำกัด ทรัพยากรผิวดินของเราที่เคยอุดมสมบูรณ์โดยธรรมชาติเริ่มขาดแคลนลง จะต้องนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาใช้ให้มากขึ้น เช่น พัฒนาการบำรุงดินการใช้ปุ๋ย การใช้ยาปราบศัตรูพืช การคัดเลือกพันธุ์ การปลูกพืชในพื้นที่น้อยๆ แต่ใช้เทคโนโลยีเพื่อให้ได้ผลิตผลมาก ในด้านการส่งเสริมอุตสาหกรรมก็เช่นเดียวกัน เรามีความจำเป็นต้องพัฒนาฝีมือแรงงานในด้านต่างๆ เช่น ช่างโลหะ ช่างกล ช่างไม้ และช่างอื่นๆ ให้

ทันความต้องการ ของตลาด ตลอดจนมีคุณภาพประณีต สวยงามเพื่อให้สามารถผลิตผลงานให้ทัดเทียมประเทศอื่นเพื่อการแข่งขันในตลาดโลก คนที่เคยประกอบอาชีพอยู่อย่างไร ถ้ายังทำอยู่อย่างนั้น ไม่พัฒนางานอาชีพ ไม่พัฒนาฝีมือของตนเอง หนทางการทำมาหากินเพื่อให้มี

ปัจจุบันอิทธิพลและค่านิยมเดิมยังทำให้โรงเรียนเป็นจำนวนมากมุ่งเน้นการเรียนรู้ภาคทฤษฎีเป็นสำคัญ การฝึกทักษะอาชีพที่จัดขึ้นในโรงเรียนยังไม่ได้รับความสนใจเพียงพอ และการเรียนการสอนยังไม่ทำให้นักเรียนสามารถนำไปใช้ในการประกอบอาชีพในชีวิตได้ตามวัตถุประสงค์ของหลักสูตรเท่าที่ควร ประกอบกับประชากรจำนวนกว่าร้อยละ 70 ของประเทศไทยเป็นประชากรภาคชนบทที่มีการศึกษาระดับประถมศึกษาหรือต่ำกว่า จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาฝีมือแรงงานหรือยกระดับทักษะให้สอดคล้องกับอาชีพ เพื่อให้ประชากรมีประสิทธิภาพในการทำงานและดำรงชีวิตด้วยดียิ่งขึ้น[5]

2.3 เตรียมความพร้อมอย่างไรเมื่อตัดสินใจไปทำงานต่างประเทศ

เมื่อตัดสินใจไปทำงานต่างประเทศควรทราบความเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นกับตนเองจึงต้องมีการเตรียมพร้อม เช่น รู้ข้อมูลพื้นฐานของประเทศที่จะไปทำงานเพื่อเตรียมการปรับสภาพความเป็นอยู่ได้ทั้งกายและใจสามารถปรับตัวเมื่อต้องไปอยู่ในที่ซึ่งห่างไกล อาจขาดความสุขจากความใกล้ชิดกับคนที่เรารักและห่วงใยมีรายได้สูงขึ้น แต่อาจจะต้องเสียค่าใช้จ่ายมากจึงต้องคิดคำนึงถึงต้นทุนที่เหมาะสม และการบริหารจัดการที่ดีอาจมีปัญหาด้านการสื่อสารหากไม่มีทักษะการใช้ภาษาต่างประเทศจะทำให้ถูกเอารัดเอาเปรียบการทำงานต่างประเทศจะได้รับการคุ้มครองตามสัญญาจ้างภายใต้การบังคับของกฎหมายประเทศที่จะไปทำงาน รัฐบาลไทยอาจให้ความคุ้มครองไม่ได้ทั้งหมด เมื่อขาดหลักฐานที่ชัดเจนจึงต้องรู้วิธีการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นด้วยตนเองขณะทำงานในต่างประเทศทำให้ต้องขาดแคลนแรงงานในครอบครัวและบางครั้งต้องเสียโอกาสทำงานที่มั่นคงในประเทศจึงต้องเตรียมการวางแผนว่ากลับจากต่างประเทศแล้วจะทำอาชีพอะไรต่อไป และจะต้องพัฒนาตนเองอยู่เสมอขณะทำงานในต่างประเทศ

2.3.1 แรงงานไทยควรเตรียมความพร้อมให้กับตนเองก่อนออกไปทำงานต่างประเทศอย่างไรบ้าง

2.3.1.1 สุขภาพดี มีความแข็งแรงพร้อมที่จะอดทนต่อความเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในการใช้ชีวิตและการทำงานในต่างประเทศ

2.3.1.2 มีคุณสมบัติพร้อมที่จะทำงานตาม ที่นายจ้างต้องการ

2.3.1.3 มีความรู้และความสามารถที่จะทำงานและใช้ชีวิตในต่างประเทศได้เป็นอย่างดี คือ

1) มีทักษะและการใช้ภาษาต่างประเทศ เพื่อใช้ในการสื่อสารและทำงานอย่างมีความสุข

2) รู้ทักษะและหน้าที่เพื่อจะทำงานกับนายจ้างตามสัญญาฯ

3) มีความประพฤติดี และรู้วิธีการปฏิบัติตนที่เหมาะสมขณะทำงานและใช้ชีวิตในต่างประเทศ

4) รู้จักหน่วยงานของรัฐและเอกชน ตลอดจนวิธีการแก้ไขปัญหา หรือประสานขอความช่วยเหลือขณะประสบปัญหา หรือมีภัยอันตรายในต่างประเทศ

5) มีวิธีการใช้เวลาว่างที่เหมาะสมและพัฒนาตนเองอยู่เสมอเมื่ออยู่ในต่าง ประเทศ

2.3.2 การไปทำงานต่างประเทศอย่างถูกต้องมี 5 วิธีคือ

2.3.2.1 บริษัทหางานจัดส่ง คือ บริษัทที่จะจัดส่งคนหางานไปทำงานต่างประเทศได้จะต้องเป็นบริษัทจัดหางานที่ได้รับอนุญาตจากกรมการจัดหางานเท่านั้นและก่อนเดินทางคนหางานจะต้องได้รับการอบรมจากกรมการจัดหางานสำนักงานจัดหางานกรุงเทพฯ เขตพื้นที่ 1-10 หรือที่สำนักงานจัดหางานทุกครั้ง

2.3.2.2 กรมการจัดหางานจัดส่ง คือ ผู้ที่ประสงค์จะไปทำงานต่างประเทศ สามารถลงทะเบียนสมัครงานจัดส่งไปทำงานต่างประเทศได้ที่กรมการจัดหางานสำนักงานจัดหางานกรุงเทพฯ เขตพื้นที่ 1-10 หรือที่สำนักงานจัดหางานทุกจังหวัด

2.3.2.3 เดินทางด้วยตนเอง คือ ผู้ที่จะเดินทางไปทำงานต่างประเทศ ติดต่อนายจ้างเพื่อเข้าไปทำงานในต่างประเทศได้ด้วยตนเอง ซึ่งก่อนเดินทางจะต้องแจ้งเขตพื้นที่ 1-10 หรือที่สำนักงานจัดหางานทุกจังหวัด

2.3.2.4. นายจ้างในประเทศส่งลูกจ้างของตนไปทำงานต่างประเทศ

2.3.2.5 นายจ้างในประเทศไทยส่งลูกจ้างของตนไปฝึกงานในต่างประเทศ กรณีที่ 4 [6]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 งานวิจัยภายในประเทศ

นิวัติ กุลศรี (2548) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาฝีมือแรงงานของคนงานก่อสร้างด้านงานปูนและงานไม้ : กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็น พลัส คอนสตรัคชั่น จังหวัดเชียงใหม่ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาทักษะฝีมือแรงงานของคนงานก่อสร้างด้านงานปูนและงานไม้ในกรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็น พลัส ออนสตรัคชั่น จังหวัดเชียงใหม่ 2) เปรียบเทียบทักษะฝีมือแรงงานของคนงานก่อสร้าง ด้านงานปูนและงานไม้ระหว่างก่อนและหลังเข้ารับการอบรม ช่างปูน 15 คน และช่างไม้ 15 คน เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ โครงการพัฒนาทักษะฝีมือแรงงาน แบบประเมินทักษะฝีมือแรงงาน และแบบประเมินผลโครงการ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที (t-test) ผลการศึกษาพบว่า ก่อนอบรม คนงานก่อสร้างมีทักษะฝีมือแรงงานมีอยู่ในระดับพอใช้ แต่หลังการอบรมคนงานก่อสร้างส่วนใหญ่มีทักษะฝีมือแรงงานอยู่ในระดับดี ผลการทดสอบค่าที (t-test) พบว่า หลังเข้ารับการอบรมสูงกว่าก่อนเข้ารับการอบรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 ทักษะความรู้ที่ได้จากโครงการอบรมเพื่อพัฒนาทักษะฝีมือแรงงานสามารถนำไปใช้ได้ในระดับมาก และคนงานก่อสร้างทุกคนเห็นว่าควรมีการจัดฝึกอบรมเพื่อพัฒนาทักษะฝีมือแรงงานอีกในครั้งต่อไป จากการประเมินผลโครงการอบรมเพื่อพัฒนาทักษะฝีมือแรงงาน พบว่า คนงานก่อสร้างส่วนใหญ่เห็นว่าทักษะความรู้ที่ได้จากโครงการอบรมเพื่อพัฒนาทักษะฝีมือแรงงานสามารถนำไปใช้ได้มาก ร้อยละ 83.3 โดยมีเรื่องเทคนิคการทำงาน และการใช้วัสดุอุปการณ์มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในการนำไปใช้ได้มาก 86.7 เท่ากัน และคนงานก่อสร้างทุกคนเห็นว่าควรจัดโครงการอบรมเพื่อพัฒนาทักษะฝีมือแรงงานอีกในครั้งต่อๆ ไป[7]

กีรติ สีมากุล (2555) ได้ทำการวิจัยเรื่องผลกระทบของการลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศต่อการจ้างงานของประเทศในอาเซียน การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศต่อการจ้างงานของประเทศในอาเซียน ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ การลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศและการจ้างงานโดยจะใช้ข้อมูลทุติยภูมิเป็นรายปี ตั้งแต่ปี

พ.ศ. 2539 ถึง พ.ศ. 2553 จำนวนทั้งหมด 5 ประเทศ ได้แก่ ประเทศไทย มาเลเซีย เวียดนาม อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ ผลการทดสอบพาแนลยูนิทรูท พบว่าข้อมูลตัวแปรทุกตัวมีลักษณะนิ่งและมีอันดับความสัมพันธ์ของข้อมูลเท่ากับ 1 ผลการทดสอบสมการพาแนล พบว่าการลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศและการจ้างงานมีความสัมพันธ์กัน จึงได้ทำการประมาณค่าแบบจำลองเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสม พบว่าควรทำการประมาณค่าแบบจำลองในรูปแบบอิทธิพลสุ่ม ผลการประมาณค่าแบบจำลองด้วยวิธีที่กำลังสองน้อยที่สุด พบว่าการลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศและการจ้างงานมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อมีการลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศเพิ่มขึ้นก็จะมีผลกระทบทำให้การจ้างเพิ่มขึ้นตามไปด้วยในทางกลับกันถ้าการลงทุนจัดโดยตรงจากต่างประเทศลดลงก็จะมีผลทำให้การจ้างงานลดลงตามไปด้วยโดยค่าคงนี้จะเป็นค่าคงที่จากการสุ่มจากทุกๆ ประเทศโดยค่าคงที่นั้นจะมีผลกระทบมาจากปัจจัยภายนอกเท่านั้น จากผลการทดสอบพบว่าถ้าการลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศเพิ่มขึ้น 1 ดอลลาร์จะส่งผลให้การจ้างงานเพิ่มขึ้น 0.000459 คน ซึ่งในแต่ละประเทศมีค่าคงที่ที่แตกต่างกันคือ 40843066 EM เพราะ เนื่องจากมีปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของการจ้างงานในแต่ละประเทศ เช่น จำนวน ประชากรในแต่ละประเทศ ความเจริญทางด้านเทคโนโลยีเป็นต้น[8]

กองวิจัยตลาดแรงงาน (2553) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การเคลื่อนย้ายแรงงานเสรีในกลุ่มประเทศอาเซียน ประชาคมอาเซียนมีข้อตกลงร่วมกันที่จะให้มีการเคลื่อนย้ายแรงงานเสรีในอีก 5 ปี ข้างหน้า หรือปีพ.ศ. 2558 โดยในช่วงเริ่มต้นจะมีการเคลื่อนย้ายแรงงานเฉพาะกลุ่มที่มีฝีมือ ซึ่งจะส่งผล กระทบต่อตลาดแรงงานของไทยทั้งในด้านที่เป็นประโยชน์คือแรงงานในกลุ่มนี้มีโอกาสเลือกทำงานใน สถานที่ที่แสดงศักยภาพสูงสุดและมีรายได้ที่สูงขึ้น แต่การเคลื่อนย้ายแรงงานดังกล่าวก็มีข้อเสียควบคู่กัน คือแรงงานในประเทศได้รับผลกระทบจากการไหลเข้ามาของแรงงานจากประเทศอื่นทำให้มีการแข่งขันกันมากขึ้น ในขณะที่แรงงานของไทยที่มีความรู้ความสามารถ ก็จะไปทำงานในประเทศอื่นเช่นกัน ซึ่งจะทำให้เกิดสภาพ “สมองไหล” ดังนั้นผู้ที่จะได้รับผลกระทบโดยเฉพาะกลุ่มที่ จะเข้าสู่ตลาดแรงงาน ในอีก 5 ปีควรมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายแรงงานเสรีในประชาคมอาเซียน เพื่อให้มีความ พร้อมในการเข้าสู่ตลาดแรงงานในอนาคต[9]

ณัฐพงษ์ ฤทธิ์เดช (2556) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาผลิตภาพแรงงานของกลุ่มประเทศสมาชิกประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลิตภาพแรง งานของประเทศในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน และเพื่อศึกษาผลกระทบของผลิตภาพแรงงานที่มีต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ผลการศึกษา พบว่าสิงคโปร์เป็นประเทศที่มีระดับผลิตภาพแรงงานสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบ กับกลุ่มประเทศในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน รองลงมาคือบรูไน และมาเลเซีย ส่วนประเทศอื่นๆ มีระดับผลิตภาพแรงงานที่ต่ำมาก โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศผู้นำทางเศรษฐกิจอย่างประเทศญี่ปุ่น ที่มีระดับผลิตภาพแรงงานสูงถึง 82.29 พันดอลลาร์สหรัฐฯ อย่างไรก็ตามจีนและ อินเดียกลับมีระดับผลิตภาพแรงงานที่ต่ำ เนื่องจากทั้งจีนและอินเดียมีประชากรรวมกันมากกว่า 1,147ล้านคน จึงทำให้ผลิตภาพแรงงานซึ่งประมาณค่าจากกำลังแรงงานมีระดับต่ำ นอกจากนั้นยัง พบว่า สิงคโปร์ บรูไน และมาเลเซีย มีระดับผลิตภาพแรงงานมากกว่าไทยถึง 9.38 เท่า 6.79เท่า และ 2.45 เท่าตามลำดับ

แต่ประเทศไทยยังคงมีระดับผลิตภาพแรงงานสูงกว่าอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ สปป.ลาว เวียดนาม และกมพูชา ซึ่งเป็นประเทศคู่แข่งทางการค้าที่สำคัญ 1.35 เท่า 1.57 เท่า 3.57 เท่า 3.89 เท่า และ 5.74 เท่า ตามลำดับ นอกจากนั้น ผลิตภาพแรงงานมีขนาดของผลกระทบต่อการ เจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอยู่ระหว่างร้อยละ 3.12-3.16 กล่าวคือ หากระดับผลิตภาพแรงงานเปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 1 จะส่งผลทำให้การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจเปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 3.12- 3.16 ในทิศทางเดียวกัน ผลการประมาณค่าแบบจำลองทั้ง 3 วิธีพบว่า ผลการประมาณค่าที่ได้มีความ ใกล้เคียงกัน ซึ่ง ผลการประมาณค่าแบบจำลอง พาแนล (Panel Estimation) ดังกล่าวได้ชี้ให้เห็นว่า ผลิตภาพแรงงานของกลุ่มประเทศสมาชิกประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนมีขนาดของผลกระทบต่อการ เจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอยู่ระหว่างร้อยละ 3.12-3.16 กล่าวคือ หากระดับผลิตภาพแรงงานของ กลุ่มประเทศในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนเปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 1 จะส่งผลทำให้การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจเปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 3.12-3.16 ในทิศทางเดียว ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ผลิตภาพแรงงานมีผลในเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ กล่าวคือ ถ้าทุกประเทศใน ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนให้ความสำคัญกับการพัฒนาฝีมือและทักษะของแรงงานจนทำให้ระดับ ของผลิตภาพแรงงานเพิ่มสูงขึ้น ก็จะส่งผลให้การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจมีการเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย[10]

2.4.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Bart Pegge (2550) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ สถานะภาพตลาดแรงงานของประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยการนำเข้าของแรงงานที่มีทักษะ สิ่งที่เป็นปัจจัยในการเคลื่อนย้ายของแรงงานคือ อัตราการว่าจ้าง ความปลอดภัยในการดำรงชีวิต สวัสดิการ การประกันชีวิต อัตราการไล่ออกของบริษัท และความต้องการของประเทศ การเคลื่อนย้ายแรงงานที่มีทักษะสูงจะมีโอกาสสูงในการประสบความสำเร็จ ซึ่งถ้าแรงงานทักษะที่มีประสบการณ์สูงมีความสามารถสูง จะทำให้หางานในประเทศนั้นง่ายขึ้น ซึ่งวิจัยนี้ได้วิจัยประเทศเนเธอร์แลนด์ ประเทศเดนมาร์ก ประเทศเยอรมนี และประเทศสวิส การวิจัยนี้ใช้วิธีการสำภาษณ์กับแรงงานที่มีทักษะในระดับมีฝีมือ ระดับกึ่งฝีมือ และระดับไม่มีฝีมือ ว่าต้องการเดินทางไปทำงานในประเทศไหน เพราะอะไร ซึ่งผลสรุป ได้ว่า แรงงานที่มีทักษะส่วนใหญ่สนใจที่จะไปประเทศเยอรมนีซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.47 เพราะสนใจในนโยบายของภาครัฐในประเทศนั้น ซึ่งสนับสนุนในการทำงานและดำรงชีวิต ซึ่งประเทศเยอรมนีอัตราค่าจ้างการทำงานที่สูง [11]

3. วิธีการดำเนินการ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Exploratory Research) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาแรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้างสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน และหาแนวทางการพัฒนาและแก้ไขปัญหาเพื่อให้แรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้างของไทยมีโอกาสหางานให้ได้มากที่สุด มีรายละเอียดขั้นตอนการวิจัย ดังนี้

3.1 ประชากร และกลุ่มตัวอย่าง

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลผู้ศึกษาจะทำการส่งแบบ สอบถามไปยังสถาบันที่มีการฝึกอบรมแรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้าง ทั้งภาครัฐ และเอกชน รวมทั้งกลุ่มแรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้างที่กำลังก้าวเข้าสู่ตลาดแรงงาน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

วิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยแบบสอบถามปัญหา และการพัฒนาฝีมือแรงงานซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

3.2.1.1 ตอนที่ 1 เป็นแบบสอบถามสถาน ภาพส่วนบุคคล โดยประกอบด้วย เพศ อายุ ระดับการศึกษา โดยลักษณะการตอบแบบสอบถาม คือ แบบเลือกตอบ

3.2.1.2 ตอนที่ 2 เป็นแบบสอบถามถึงการเตรียมความพร้อม การเดินทาง และสถานที่หน่วยงานราชการที่สามารถติดต่อไปทำงานในประเทศอาเซียนได้ การตอบแบบสอบถามเป็นแบบเลือกตอบและเติมข้อเสนอแนะเพิ่มเติม โดยมีลักษณะของคำถามดังนี้ แบบสอบถามระดับความรู้ความเข้าใจต่างๆ ดังนี้

1) การเตรียมความพร้อม

2) การเดินทาง

3) สถานที่หน่วยงานราชการที่สามารถติดต่อไปทำงานในประเทศอาเซียนได้

3.2.1.3 ตอนที่ 3 สอบถามข้อเสนอแนะเพิ่มเติม เป็นรูปแบบคำถามปลายเปิด

3.2.2 การสร้าง และตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

ขั้นตอนในการสร้างแบบสอบถามที่ผู้ศึกษาใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล คือแบบสอบถามจำนวน 4 ตอน มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

3.2.2.1 ศึกษาแนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องรวมทั้งหลักการ และวิธีการสร้างแบบสอบถามเพื่อวิจัย โดยได้รับคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา และค้นคว้าหาข้อมูลจาก หนังสือ เอกสาร ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการสร้างข้อคำถาม

3.2.2.2 กำหนดประเด็น และขอบเขตของข้อคำถามให้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ แนวคิด และทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย และดำเนินการสร้างแบบ สอบถามฉบับร่าง

3.2.2.3 นำแบบสอบถามฉบับร่างที่สร้างขึ้นจากการพัฒนาปรับปรุงจากงานวิจัยฉบับอื่นให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความสมบูรณ์ และถูกต้อง หลังจากอาจารย์ที่ปรึกษาได้พิจารณา และตรวจสอบพร้อมให้ข้อแนะนำแล้ว ผู้ศึกษาจึงนำมาแก้ไขปรับปรุงอีกครั้ง

3.2.2.4 นำแบบสอบถามฉบับร่างที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปให้อาจารย์ทีปรึกษาเพื่อพิจารณาความตรงเชิงเนื้อหา ความถูกต้อง และความครอบคลุมในเนื้อหาของแบบสอบถาม

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 นำเอกสารแบบสอบถามให้แก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับแรงงาน เพื่อขออนุญาต และขอความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.2 เมื่อได้รับอนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับแรงงาน จึงติดต่อประสานงานกับแรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้างนั้นๆ เพื่อทำการขอเก็บข้อมูลตามแบบสอบถาม

3.4 สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

3.4.1 ค่าร้อยละ (Percentage)

$$P = \frac{f}{n} x100 \qquad (1)$$

เมื่อ P แทน ค่าร้อยละ

f แทน จำนวนข้อมูล

n แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3.4.2 ค่าเฉลี่ย

ใช้สูตร $\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$ (2)

$\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ แทน ผลรวมของความถี่ของคะแนนทั้งหมด

N แทน จำนวนผู้ประเมินทั้งหมด

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผล

3.5.1 การใช้สถิติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล

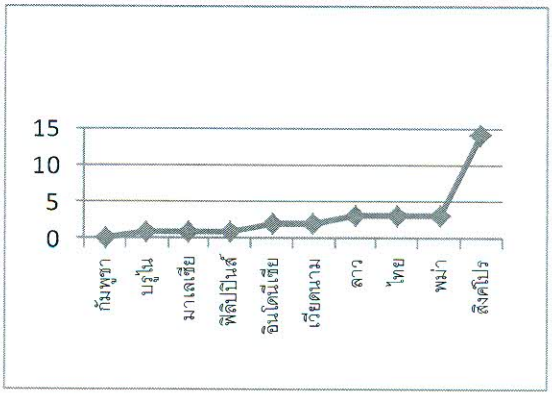
การวิเคราะห์เพื่อหาข้อมูลสถานภาพส่วนบุคคล ระดับผลความรู้ความเข้าใจแนวทางการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนาฝีมือแรงงานด้านงานก่อสร้างของไทย

โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบ ถาม สามารถนำมาวิเคราะห์โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

4. ผลการศึกษา และการอภิปรายผล

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเรื่องแนวทางการเตรียมตัวเข้าทำงานในกลุ่มประเทศอาเซียนของแรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้าง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประเทศที่กลุ่มแรงงานฝีมือในด้านงานก่อสร้างต้องการไปทำงาน ศึกษาการเตรียมความพร้อมในด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินทางไปทำงานในกลุ่มประเทศอาเซียน เพื่อเป็นแนวทางสร้างความมั่นใจเบื้องต้นในการเตรียมตัวเดินทางและสถานที่ติดต่อทางราชการที่เกี่ยวข้อง และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ว่าแรงงานด้านงานก่อสร้างมีความพร้อมในด้านใด ไม่มีความพร้อมในด้านใด เพื่อนำข้อมูลไปพัฒนาแรงงานด้านงานก่อสร้างในอนาคต โดยใช้กลุ่มตัวอย่างนักศึกษาระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขางานก่อสร้าง ชั้นปีสุดท้าย ของโรงเรียนและวิทยาลัยของภาครัฐและเอกชน ในกรุงเทพมหานคร ฯลฯ ผู้ศึกษาได้แบ่งแบบสอบถามเป็น 2 ชุด ดังนี้

ชุดที่ 1 สอบถามความสนใจของนักศึกษาในเรื่องของความสนใจในการทำงานประเทศใดในกลุ่มประเทศอาเซียน เป็นการสุ่มสำรวจนักศึกษาจำนวน 30 คนว่าสนใจ ที่จะไปทำงานที่ประเทศอะไรในกลุ่มประเทศอาเซียนเป็นข้อมูลแสดงถึงความสนใจของนักศึกษา โดยจะนำรายละเอียด ของข้อมูลดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์เป็นจำนวนร้อยละ ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างสนใจที่จะเดินทางไปทำงานในประเทศสิงค์โปร จำนวน 14 คน คิดเป็นร้อยละ 46.67 ประเทศพม่า ไทย ลาว แต่ละประเทศจำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 10 เวียดนาม อินโดนีเซีย จำนวน 2 คิดเป็นร้อยละ 6.67 ฟิลิปปินส์ มาเลเซีย บรูไน จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 3.33 กัมพูชา จำนวน 0 คิดเป็นร้อยละ 0 ตามลำดับที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสนใจในการทำงานในประเทศอาเซียนของกลุ่มตัวอย่าง

ชุดที่ 2 ส่วนที่ 1 สอบถามถึงเพศ อายุ ระดับการ ศึกษา สุขภาพร่างกาย และวิธีการเดินทาง และส่วนที่ 2 สอบถามถึงการเตรียมความพร้อม ด้านทักษะที่จำเป็นในด้านมาตรฐานแรงงาน และสถานที่หน่วยงานราชการที่สามารถติดต่อไปทำงานในกลุ่มประเทศอาเซียน เป็นการทำแบบสอบถามจำนวน 132 ชุดซึ่งเท่ากับจำนวนนักศึกษาจริงที่ได้ไปสุ่มสำรวจในรอบแรก โดยส่วนที่ 1 นำข้อมูลมาวิเคราะห์เป็นจำนวนร้อยละ และส่วนที่ 2 นำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ย และแปลความหมาย ซึ่งเกณฑ์การแปลความหมายค่าเฉลี่ยมีค่าดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.24 – 5.00 แปลความว่า มากที่สุด

คะแนนเฉลี่ย 3.43 – 4.23 แปลความว่า มาก

คะแนนเฉลี่ย 2.62 – 3.42 แปลความว่า ปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.81 - 2.61 แปลความว่า น้อย

คะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.80 แปลความว่า น้อยที่สุด

ส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านเพศ อายุ การศึกษา สุขภาพร่างการ และการเดินทางของกลุ่มตัวอย่าง

1) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเรื่องเพศของกลุ่มตัวอย่าง

ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย จำนวน 114 คน คิดเป็นร้อยละ 86.4 และเป็นเพศหญิง จำนวน 18 คน คิดเป็นร้อยละ 13.6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอายุของกลุ่มตัวอย่าง

2) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอายุของกลุ่มตัวอย่าง

ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อายุต่ำกว่า 20 ปี จำนวน 101 คน คิดเป็นร้อยละ 76.5 และอายุสูงกว่า 20 ปี จำนวน 31 คน คิดเป็นร้อยละ 23.5

3) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการศึกษาของกลุ่มตัวอย่าง

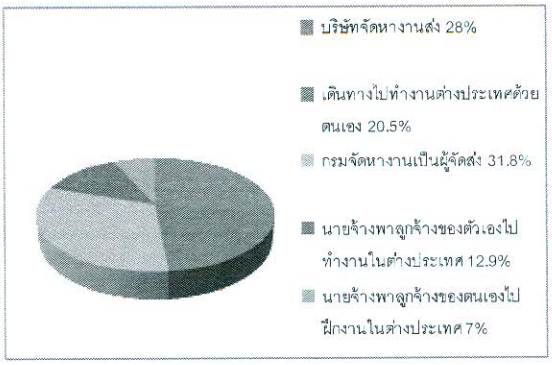
ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่กำลังศึกษาชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ จำนวน 92 คน คิดเป็นร้อยละ 69.7 และกำลังศึกษาชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง จำนวน 40 คน คิดเป็นร้อยละ 30.3

4) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านสุขภาพร่างกายของกลุ่มตัวอย่าง

ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่มีโรคติดต่อร้ายแรง จำนวน 132 คน คิดเป็นร้อยละ 100 ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่มีโรคประจำตัว จำนวน 129 คน คิดเป็นร้อยละ 97.7 ท่านที่มีโรคประจำตัว จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 2.3

5) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการเดินทางของกลุ่มตัวอย่าง

ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เลือกวิธีการเดินทางไปทำงานต่างประเทศด้วยวิธีกรมการจัดหางานเป็นผู้จัดส่ง จำนวน 42 คน คิดเป็นร้อยละ 31.8 บริษัทจัดหางานจัดส่ง จำนวน 37 คน คิดเป็นร้อยละ 28.0 เดินทางไปทำงานต่างประเทศด้วยตัวเอง จำนวน 27 คน คิดเป็นร้อยละ 20.5 นายจ้างพาลูกจ้างของตัวเองไปทำงานในต่างประเทศ จำนวน 17 คน คิดเป็นร้อยละ 12.9 นายจ้างพาลูกจ้างของตัวเองไปฝึกงานในต่างประเทศ จำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 6.8 ที่แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 วิธีการเดินทางไปทำงานประเทศอาเซียนของกลุ่มตัวอย่าง

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่แสดงถึงการวิเคราะห์เรื่องการเตรียมความพร้อม ด้านทักษะที่จำเป็นในด้านมาตรฐานแรงงาน และสถานที่หน่วยงานราชการที่สามารถติดต่อไปทำงานในกลุ่มประเทศอาเซียน สรุปได้ดังนี้

1) กองทุนเพื่อช่วยเหลือคนหางานไปทำงานต่างประเทศ

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	แปลความหมาย
1. ท่านรู้จักกองทุนเพื่อช่วยเหลือคนหางานไปทำงานต่างประเทศเพียงใด	2.73	ปานกลาง
2. ท่านทราบถึงวัตถุประสงค์ของการช่วยเหลือสงค์เคราะห์แรงงานเพียงใด	3.08	ปานกลาง
3. ท่านรู้ถึงสิทธิประโยชน์ของกองทุนมากน้อยเพียงใด	3.23	ปานกลาง

พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ รู้จักกองทุนเพื่อช่วยเหลือคนหางานไปทำงานต่างประเทศ รู้ถึงวัตถุ ประสงค์ของการช่วยเหลือแรงงาน และรู้ถึงสิทธิประโยชน์ของกองทุน ในระดับปานกลาง

2) ทักษะที่จำเป็นในด้านของมาตรฐานแรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้าง

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	แปลความหมาย
1.ด้านความรู้		
1.1 นำความรู้ความเข้าใจไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ได้	3.67	มาก
1.2 วิเคราะห์งานที่ได้รับมอบหมาย	3.83	มาก
1.3 สามารถทำความเข้าใจของงานแต่ละงาน ถูกต้องตามหลักวิชาการ	3.89	มาก
2. ด้านความสามารถ		
2.1 มีประสบการณ์การทำงาน	2.59	น้อย
2.2 มีความชำนาญด้านงานก่อสร้าง	3.05	ปานกลาง
2.3 มีความสามารถที่จะทำงานได้อย่างมีคุณภาพ	3.39	ปานกลาง
2.4 มีมาตรฐานในการทำงานมากแค่ไหน	3.70	มาก
3. ด้านทัศนคติ		
3.1 มีจิตสำนึกในการทำงานที่ดีมีจรรยาบรรณ	3.98	มาก
3.2 มีแนวคิดในการประหยัดวัสดุก่อสร้าง	3.98	มาก
3.3 ตอนทำงานมีความตระหนักถึงความปลอดภัยแค่ไหน	4.54	มากที่สุด
3.4 มีการตะหนักถึงการรักษาอุปกรณ์เครื่องก่อสร้าง	4.60	มากที่สุด

ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความสามารถด้านประสบการณ์ในการทำงานที่อยู่ในระดับที่ น้อย และมีทัศนคติในเรื่องความตระหนักถึงความปลอดภัยและการรักษาอุปกรณ์เครื่องมือก่อสร้างในระดับมากที่สุด

3) การเตรียมความพร้อม

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	แปลความหมาย
1. การทนต่อสภาพแวดล้อมที่จะเปลี่ยนแปลงได้	3.04	ปานกลาง
2. การเตรียมความพร้อมที่จะทำงานด้านฝีมือด้านงานก่อสร้าง	3.17	ปานกลาง
3. มีความรู้ความสามารถที่จะทำงานด้านฝีมืองานก่อสร้าง	3.16	ปานกลาง
4. การเตรียมความพร้อมที่จะใช้ชีวิตในต่างประเทศ	2.96	ปานกลาง
5. ทักษะในการใช้ภาษาต่างประเทศในการสื่อสาร	2.55	น้อย
6. ทราบถึงวิธีการปฏิบัติตนที่เหมาะสมขณะทำงานและใช้ชีวิตประจำวัน	3.14	ปานกลาง
7. ทราบถึงหน่วยงานของภาครัฐและเอกชนในประเทศสิงคโปร์ที่สามารถให้ความช่วยเหลือหากเกิดเหตุฉุกเฉิน	3.27	ปานกลาง
8. ทราบถึงการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าที่เกี่ยวข้องกับงานและการใช้ชีวิตประจำวันได้	3.83	มาก
9. พัฒนาตนเองเมื่ออยู่ต่างประเทศความกระตือรือร้นในการพัฒนา	3.95	มาก

ผลการศึกษาพบว่า การเตรียมความพร้อม กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ตอบ มีความพร้อมด้านทักษะการใช้ภาษาต่าง ประเทศในการสื่อสารอยู่ในระดับ น้อย

4) ความคิดเห็นเพิ่มเติม

คนส่วนใหญ่มักเห็นด้วยกับการเดินทางไปทำงานต่างประเทศ เพราะต้องการฝึกพัฒนาด้านภาษาและการเปลี่ยนทัศนคติด้านวัฒนธรรม ความรู้ และต้องการเก็บเกี่ยวหาประสบการณ์ด้านใหม่ๆ ในด้านฝีมือเพื่อนำพัฒนาและปรับปรุงในการทำงาน เพื่อเพิ่มความรู้ในตนเองให้ดีๆ และมีคุณภาพมากขึ้น และต้องการเพิ่มความมั่นคงและความเจริญก้าวหน้าในด้านการทำงาน และต้องการความปลอดภัยในการไปทำงานต่างประเทศ และต้องการค่าครองชีพที่เหมาะสมและคุ้มค่ากับการที่ต้องเดินทางไป

5 สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษา แรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้าง ไม่พร้อมในเรื่องของภาษาในการสื่อสารและการดำรงชีวิต จึงเป็นแนวทางในการพัฒนาด้านการใช้ภาษาเพื่อการสื่อ สารและการดำรงชีวิต ด้านการรู้จักกับหน่วยงานราชการที่สามารถติดต่อได้ในต่างประเทศ แรงงานฝีมือ

ด้านงานก่อ สร้างมีความรู้และความเข้าใจในระดับปานกลาง ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการดำรงชีวิตในต่างประเทศ ในกรณีมีเหตุฉุกเฉิน ควรหาแนวทางการสร้างความรู้รู้จักให้แก่แรงงาน เช่น การเข้าแนะแนวตามวิทยาลัย เป็นต้น และในเรื่องการเตรียมความพร้อมด้านทักษะ แรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้างที่สำรวจมีประสบการณ์ที่น้อย ควรสร้างประสบการณ์ให้แก่แรงงาน เช่น การเปิดอบรมเกี่ยวกับวิชาที่เรียนที่มากขึ้น การเปิดค่ายอาสา เพื่อเพิ่มประสบการณ์ให้แก่แรงงาน

กิตติกรรมประกาศ

จากการศึกษาเรื่อง แนวทางการพัฒนาแรงงานฝีมือด้านงานก่อสร้างสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณ อาจารย์กัณฐิกา จันทนา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานการจัดการงานก่อสร้าง ผู้ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและทำให้การศึกษามีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ตลอดจนขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจาสาขาวิชาการจัดการงานก่อสร้าง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่กรุณาให้ความรู้ทางด้านวิชาการจัดการงานก่อสร้าง อันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาโครงงานในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณทางสำนักงานจัดหางานจังหวัดนครปฐม และกรมการจัดหางานที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คาปรึกษาและให้ข้อมูลเรื่องการเตรียมความพร้อมเพื่อไปทำงานต่างประเทศ กฎหมายน่ารู้เกี่ยวกับการจัดหางาน และคำแนะนำการขอรับสิทธิประโยชน์จากกองทุนเพื่อช่วยเหลือคนหางานไปทำงานต่างประเทศ เพื่อนำมาทำแบบสอบถามที่ใช้ในการจัดทาโครงงานครั้งนี้อย่างถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณผู้ที่ตอบแบบสอบถามทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการแสดงความคิดเห็น และการรวบรวมข้อมูล

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่อุปการะเลี้ยงดูผู้ศึกษามาจนเติบโต ซึ่งเป็นทั้งกำลังใจ กำลังทุนในการทาการศึกษา และคอยให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษามาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] รศ.ดร.ณรงค์ เพ็ชรประเสริฐ, 2556. ชี้เปิดเสรีอาเซียน แรงงานไทย 7 สาขาเสี่ยงถูกแย่งอาชีพ (ออนไลน์). แหล่งที่มา http://www.manager.co.th/iBizchannel/ViewNews.aspx?NewsID=9560000066432&TabID=3& (10 มกราคม 2550).

[2] กิตติพงษ์ อินทโฉม. 2556 เปิดเสรีอาเซียน แรงงานมีอัตราแข่งขันสูง (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://thainews.prd.go.th/centerweb/Archive/NewsDetail?NT01_NewsID=WNRPT5606060010001 (10 มกราคม 2557)

[3] พจนา วไล. 2554 นิยาม แรงงานอย่างที่ควรจะเป็น เพื่อมองคนให้เป็นคน (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://prachatai.com/journal/2011/02/32984. (10 มกราคม 2557).

[4] ชาญโชติ ชมพูนุช.(2555). "ความหมายของแรงงาน" (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.gotoknow.org/posts/504753. (6 พฤศจิกายน 2556).

[5] โกวิท วรพิพัฒน์ 2556 สภาร่างรัฐธรรมนูญ พ.ศ. 2550 (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://guru.sanook.com/enc_preview.php?id=2895&tile=%A1%D2%C3%BE%D1%B2%B9%B9%E1%C5%D0%CD%D8%BB%A1%C3%B3%EC%A1%D2%C3%BC%C5%D4%B5 (10 มกราคม 2557).

[6] สำนักงานจัดหางานจังหวัดนครปฐม. 2557 ใบคำแนะนำการขอรับสิทธิประโยชน์. กองทุน ช่วยเหลือคนหางาน. นครปฐม: สำนักงานจัดหางานจังหวัดนครปฐม.

[7] นิวัติ กุลศรี. 2548 การพัฒนาทักษะฝีมือแรงงานของคนงานก่อสร้าง ด้านงานปูนละงานไม้ : กรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็น พลัส คอนสตรัคชั่น จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

[8] กีรติ สีมากุล 2555 ผลกระทบของการลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศต่อการจ้างงานของประเทศในอาเซียน. วิทยานิพนธ์ (เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

[9] กองวิจัยตลาดแรงงาน. (2553). การเคลื่อนย้ายแรงงานเสรีในกลุ่มประเทศอาเซียน วิจัยตลาดแรงงาน กรมจัดหางาน. กระทรวงแรงงาน, กรุงเทพมหานครฯ.(ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://research.mol.go.th/2013/rsdat/prg/eachview.php?okey=LHTMGX1&prg=srech.php&optionradio=PJname&xkw=%A1%D2%C3%E0%A4%C5%D7%E8%CD%B9%C2%E9%D2%C2%E1%C3%A7%A7%D2%B9&Page=1

[10] ณัฐพงษ์ ฤทธิ์เดช. (2556). การศึกษาผลิตภาพแรงงานของกลุ่มประเทศสมาชิกประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน. วิทยานิพนธ์ (เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

[11] Bart Pegge (2550) LABOUR MIGRATION POLICY FOR THE NETHERLANDS A STUDY ON SKILL IMPORT TO MEET LABOUR DEMAND (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://essay.utwente.nl/57983/1/scriptie_Pegge.pdf (26 กุมภาพันธ์ 2557).

ผลกระทบของการมีแผ่นพื้นต่อเส้นโค้งการทรุดตัวกับเวลาของชั้นดินเหนียวอ่อนที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก

Effect of Slab Existence on Settlement-Time Curve of Soft Clayey Deposit Improved by Floating Soil-Cement Column

ศุภสิทธิ พงศ์ศิวะสถิตย์[1] สมพร มั่นใจ[2] และสุธี ปิยะพิพัฒน์[3]

บทคัดย่อ

แบบจำลองการทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.45 เมตร สูง 1.00 เมตร ถูกนำมาใช้ศึกษาพฤติกรรมการยุบอัดตัวคายน้ำของชั้นดินเหนียวอ่อนเสริมด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก ทั้งแบบมีและแบบไม่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์บนผิวดิน เพื่อตรวจสอบถึงผลกระทบของการมีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ที่มีผลต่อเส้นโค้งการทรุดตัวกับเวลา ทดสอบ 2 กรณี ได้แก่ กรณีไม่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ และกรณีมีแผ่นพื้นดินซีเมนต์หนา 25 เซนติเมตร ดินที่นำมาทดสอบเป็นดินเหนียวกรุงเทพฯ มีขั้นตอนการทดสอบด้วยกัน 3 ขั้นตอนดังนี้ 1) การทำชั้นดิน 2) การใส่เสาเข็มดินซีเมนต์ 3) การทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำ โดยให้น้ำหนักกระทำรวมเท่ากับ 120 kPa ในทั้ง 2 กรณี ส่วนค่าพารามิเตอร์ได้แก่ อัตราส่วนการปรับปรุงพื้นที่ และอัตราส่วนการปรับปรุงความลึกถูกกำหนดให้คงที่ ผลการทดสอบพบว่า ค่าการทรุดตัวกรณีมีแผ่นพื้นดินซีเมนต์หนา 25 เซนติเมตร จะน้อยกว่าค่าการทรุดตัวกรณีไม่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นใช้สูตรการประมาณค่าการทรุดตัวกับเวลาของ Pongsivasathit et al. (2012) หาค่าการทรุดตัวกับเวลาของทั้งสองกรณี พบว่าในกรณีมีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ วิธีดังกล่าวจะได้ค่าการทรุดที่มากเกิน จำเป็นต้องทำการปรับปรุงวิธีของ Pongsivasathit et al. (2012) โดยให้สามารถพิจารณาถึงผลกระทบของแผ่นพื้นดินซีเมนต์เสียก่อน

คำสำคัญ: เสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก แผ่นพื้นดินซีเมนต์ อัตราส่วนการปรับปรุงพื้นที่ อัตราส่วนการปรับปรุงความลึก

[1]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2]นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[3]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Abstract

Large scale laboratory model tests (diameter of 0.45 m and height of 1.0 m) were conducted to investigate the consolidation behavior of floating soil-cement column improved soft clayey model grounds with or without a cement stabilized slab on the ground surface. The aim of study is to investigate the influence of slab existence on the settlement-time curve. Two cases of testing were conducted as without slab and with slab of 25 cm in thickness. Bangkok clay was used as soft clayey deposit for investigation. There are 3 steps of testing as 1) Making ground 2) Soil-cement column installation 3) Consolidation test. The consolidation pressure applied 120 kPa for 2 cases. The other parameters as the area improvement ratio and the depth improvement ratio were fixed. Test results show that the consolidation settlement of with slab of 25 cm in thickness case is less than that of without slab case significantly. Then the method of calculating the settlement-time curve by Pongsivasathit et al. (2012) was applied to the 2 cases of laboratory model. As results, for with a slab on ground surface, this method overestimated. The method for calculating the settlement-time curve by Pongsivasathit et al.(2012) is essential to be modified which can consider the effect of cement stabilized slab.

Keywords: floating soil-cement column, cement stabilized slab, area improvement ratio, depth improvement ratio.

1. บทนำ

ปัจจุบันได้มีการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกทั้งแบบมีและไม่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์บนผิวดิน เพื่อใช้ปรับปรุงคุณภาพชั้นดินเหนียวอ่อนกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถลดผลกระทบที่มีต่อชั้นน้ำใต้ดินและค่าก่อสร้างลงได้ (Shen et al., 2001; Chai et al., 2009) ในการออกแบบเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องหาค่าการทรุดตัวปฐมภูมิของชั้นดินที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มประเภทนี้ แต่เนื่องจากคุณสมบัติการยุบอัดตัวคายน้ำของเสาเข็มประเภทนี้มีความซับซ้อนมากกว่าเสาเข็มที่มีความยาวแบบปกติ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาคุณสมบัติดังกล่าวเพิ่ม

Pongsivasathit et al. (2012) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติการยุบอัดตัวคายน้ำของชั้นดินเหนียวอ่อนที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกทั้งแบบมีและไม่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนท์ และนำผลที่ได้มาเสนอวิธีการคำนวณหาค่าการทรุดตัวกับเวลา โดยสามารถพิจารณาถึงผลกระทบของอัตราส่วนการปรับปรุงพื้นที่ (a = Ac/Ae, Ac คือพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มดินซีเมนต์ และ Ae คือพื้นที่หน้าตัดของทรงกระบอกหนึ่งหน่วยของดินที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์), อัตราส่วนการปรับปรุงความลึก (b = HL/H, HL คือความยาวของเสาเข็มดินซีเมนต์ และ H คือความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อน), น้ำหนักที่กระทำ

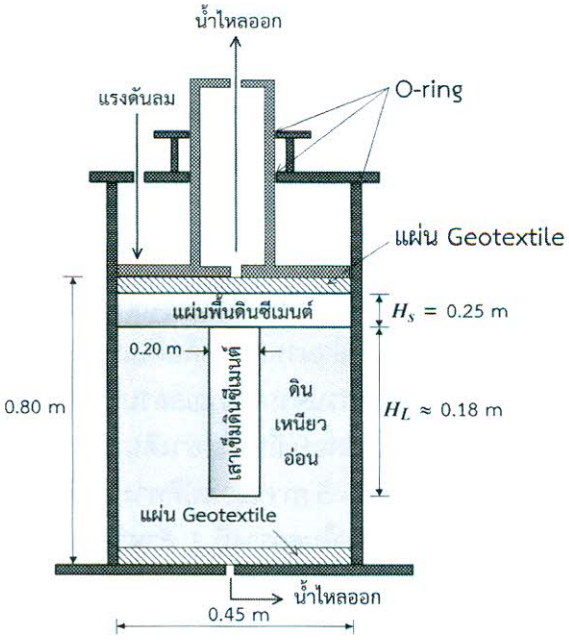
(p) และกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (su) ของดินบริเวณปลายเสาเข็ม โดยผลการคำนวณค่าการทรุดตัวกับเวลานำมาสอบเทียบกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการด้วยแบบจำลองทดสอบและผลการทดสอบในภาคสนามของกรณีศึกษาในอดีตจำนวน 4 กรณี อย่างไรก็ตามวิธีนี้เมื่อนำมาประมาณค่าการทรุดตัวของกรณีศึกษาในอดีตกลับพบว่า ในกรณีที่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ที่หนา 2.5 m หรือมีอัตราส่วนระหว่างความหนาของแผ่นพื้น (Hs) กับความหนาของชั้นดินใต้แผ่นพื้นลงไป เท่ากับร้อยละ 0.40 ซึ่งสูงมากกว่าทุกกรณี จะให้ผลการคำนวณเกินกว่าค่าที่วัดได้ในภาคสนามอยู่มาก ส่วนกรณีอื่นๆ ที่มีค่าความหนาของแผ่นพื้นดินซีเมนต์ไม่เกิน 0.5 m จะได้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ในภาคสนาม ซึ่ง Pongsivasathit et al. (2012) ยังขาดผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการในกรณีที่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ เพื่อยืนยันถึงปรากฏการณ์ดังกล่าว

ดังนั้นโครงงานวิจัยนี้ จะทำการทดสอบหาค่าการทรุดตัวกับเวลา ของชั้นดินเหนียวอ่อนที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกในกรณีที่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ ด้วยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ใช้แบบจำลองหนึ่งหน่วยสมมาตรแนวแกน โดยจะกำหนดให้มีอัตราส่วนระหว่างความหนาของแผ่นพื้นกับความหนาของชั้นดินใต้แผ่นพื้นลงไปเท่ากับร้อยละ 0.40 นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยใช้สูตรของ Pongsivasathit et al. (2012) และทำการเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของกรณีที่ไม่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการมีของแผ่นพื้นดินซีเมนต์ และเป็นแนวทางในการปรับปรุงสูตรการคำนวณที่มีอยู่

2. แบบจำลองการทดสอบ

2.1 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดสอบ

แบบจำลองการทดสอบหนึ่งหน่วยสมมาตรแนวแกน ทำจากท่อวัสดุ PVC ทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.45 m สูง 1 m การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบแสดงในรูปที่ 1 ตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบคือดินเหนียว ซึ่งถูกเก็บแบบถูกรบกวนจากบริเวณสถานที่ก่อสร้างไบเทค บางนา โดยก่อนเก็บตัวอย่างดินทำการขุดเปิดหน้าดิน ลึก 4 – 5 m คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเป็นดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับเสาเข็มดินซีเมนต์และแผ่นพื้นดินซีเมนต์ ได้ถูกกำหนดไว้ให้มีค่าแรงกดอัดทิศทางเดียว (q_u) เท่ากับ 400 kPa ส่วนค่าโมดูลัสของยังค์ (Young's Modulus, E) เท่ากับ 40,000 kPa (อ้างอิงจากผลการทดสอบ Unconfined compression test) ใช้ปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 ในการผสม สำหรับค่า k_v ได้มาจากผลการทดสอบ Consolidation test ที่มีหน่วยแรงประสิทธิผลกดทับอยู่เท่ากับ 40 kPa และสมมติให้ค่า k_h มีค่าเท่ากับ k_v สำหรับค่าอัตราส่วนปัวค์ซองสมมติเท่ากับ 0.2 สำหรับแผ่น Geotextile มีความหนาประมาณ 2.5 mm. ใช้เป็นวัสดุในการระบายน้ำออกจากตัวอย่างที่ด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ (อ้างอิงจาก Chai and Pongsivasathit, 2010) ดังนี้



รูปที่ 1 แบบจำลองทดสอบหนึ่งหน่วยสมมาตร

2.1.1 ขั้นตอนการทำชั้นดินเหนียว

สำหรับขั้นตอนนี้จะเป็นการให้แรงดันกระทำกับดิน ให้ดินยุบอัดตัวคายน้ำสมบูรณ์ เพื่อเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนที่ใช้ในการทดสอบ เริ่มจากวางแผ่น Geotextile จำนวน 3 แผ่นที่ด้านล่างของแบบจำลองทดสอบ เพื่อเป็นวัสดุช่วยระบายน้ำ โดยน้ำจะไหลออกที่บริเวณด้านล่างดังแสดงในรูปที่ 1 ทาจาระบีที่บริเวณด้านในของแบบจำลองทดสอบให้ทั่ว เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างดินเหนียวและแบบจำลองทดสอบที่อาจจะเกิดขึ้น จากนั้นบรรจุดินเหนียวที่ผสมน้ำให้มีปริมาณความชื้นสูงกว่าค่าขีดจำกัดเหลว (ประมาณ 68%) เมื่อดินเหนียวมีความหนา 0.80 m วางแผ่น Geotextile ทับด้านบนเพื่อเป็นวัสดุช่วยระบายน้ำออกจากตัวอย่างทดสอบ จากนั้นบรรจุ Mini-PVD ที่ตรงกลางของแบบจำลองทดสอบ โดยการใช้แท่งเหล็กดันดังแสดงในรูปที่ 2 สำหรับ Mini-PVD ทำจากแผ่น Geotextile ม้วนซ้อนกันจำนวน 3 รอบ โดยให้มีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 30 mm x 9 mm จะทำหน้าที่ช่วยเร่งอัตราการยุบอัดตัวคายน้ำให้สมบูรณ์เร็วขึ้น ประกอบลูกสูบและอุปกรณ์ฝาปิดด้านบนสุด จากนั้นทำการให้แรงดันลม 40 kPa กระทำในแบบจำลองทดสอบเพื่อให้ดินเหนียวยุบอัดตัวคายน้ำ แรงดันลมนี้จะถือว่าเป็น Pre-consolidation pressure (p_0) มีสภาพการไหลของน้ำออกจากตัวอย่างแบบสองทาง (Two-way drainage condition) ระหว่างทดสอบทำการบันทึกค่าการทรุดตัวของชั้นดิน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเบื้องต้นของดินที่นำมาทดสอบ

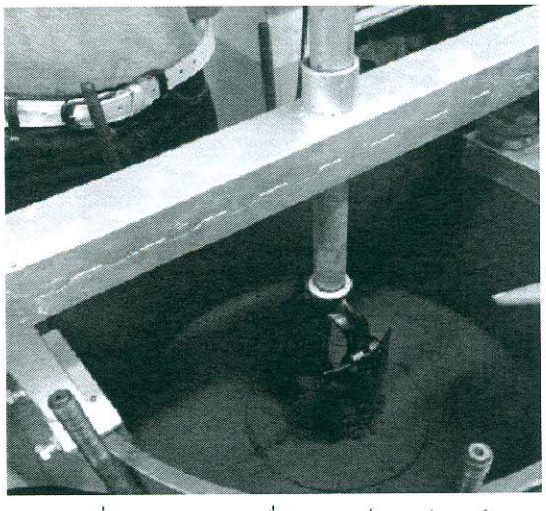
ประเภทดิน	w_L (%)	w_p (%)	g_t (kN/m^3)	n	λ	e_0	G_s	k_h (x 10^{-5} m/day)	k_v (x 10^{-5} m/day)
ดินเหนียวกรุงเทพฯ	46.64	35.15	16.321	0.3	0.2496	1.38	2.67	0.432	0.432

** w_L คือค่าขีดจำกัดความเหลว, w_p คือค่าขีดจำกัดพลาสติก, γ_t คือหน่วยน้ำหนักรวม, ν คือค่าอัตราส่วนปัวค์ซอง, λ คือความชันของเส้น virgin compression ในกราฟความสัมพันธ์ e – ln p', e คือค่าอัตราส่วนช่องว่าง, G_s คือค่าความถ่วงจำเพาะ และ k_h และ k_v คือค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดินในแนวระนาบและในแนวดิ่ง ตามลำดับ

รูปที่ 2 การใส่ Mini-PVD

2.1.2 ขั้นตอนการบรรจุเสาเข็มดินซีเมนต์และแผ่นพื้นดินซีเมนต์

เมื่อตัวอย่างดินเหนียวมีค่าระดับการยุบอัดตัวคายน้ำประมาณ 95% (สังเกตจากรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวกับเวลาที่ได้จากขั้นตอนการทำชั้นดินเหนียว) ยุติการให้แรงดัน ถอดอุปกรณ์ฝาปิดด้านบนสุดและลูกสูบพร้อมทั้งแผ่น Geotextile และ Mini-PVD ออก จากนั้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางของตัวอย่างทดสอบทำการเจาะดินด้วยสว่านเจาะ (Hand augur) และแท่นยึดสว่าน ดังแสดงในรูปที่ 3 เนื่องจากค่า a = 20% ดังนั้นเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะจึงเท่ากับ 20 cm ส่วนความลึกได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 ด้านล่างที่เกิดจากการฝัง Mini-PVD ให้ทำการอุดโดยใช้เศษดินเหนียวจนเต็มรู สำหรับกรณีที่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์บนผิวดิน เพื่อที่จะให้ค่าอัตราส่วนระหว่างความหนาของแผ่นพื้นและความหนาของชั้นดินใต้แผ่นพื้นลงไปเท่ากับร้อยละ 0.40 จึงต้องทำการขุดเอาหน้าดินออกให้มีความลึก (H) ประมาณเท่ากับ 0.25 m จากนั้นนำดินที่ถูกขุดออกทั้งหมดมาผสมกับซีเมนต์ประมาณ 16.47% ของน้ำหนักดินแห้ง แบบผสมเปียกด้วยอัตราส่วนน้ำต่อปริมาณซีเมนต์เท่ากับ 1:1 และเพื่อให้ง่ายต่อการผสมจะนำดินมาทำการผสมน้ำให้มีปริมาณความชื้นประมาณ 68% ก่อนที่จะผสมกับซีเมนต์เพสท์ นำดินซีเมนต์ที่ผสมเสร็จแล้วเทกลับเข้าไปหลุม เมื่อแข็งตัวจะกลายเป็นเสาเข็มดินซีเมนต์ ส่วนกรณีที่มีแผ่นพื้นจะใส่ดินซีเมนต์ส่วนที่เหลือ แทนที่กลับลงไปในแบบจำลองทดสอบเท่ากับดินที่ถูกขุดหน้าดินออกมา บ่มดินซีเมนต์ประมาณ 28 วัน จากนั้นจึงเริ่มการทดสอบในขั้นถัดไป



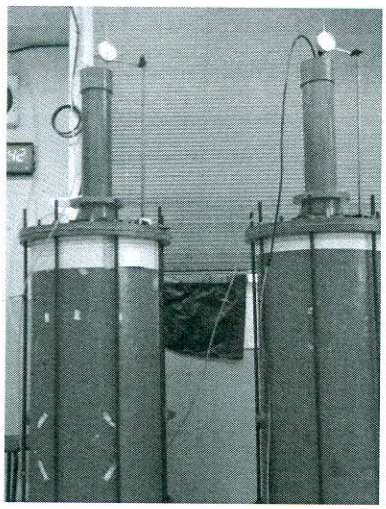
รูปที่ 3 การเจาะดินเพื่อทำเสาเข็มดินซีเมนต์

2.1.3 ขั้นตอนการทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำ

สำหรับขั้นตอนสุดท้าย เมื่ออายุการบ่มครบ 28 วัน ทำการใส่แผ่น Geotextile จำนวน 3 แผ่น พร้อมทั้งใส่ลูกสูบและประกอบอุปกรณ์ฝาปิดกลับที่ด้านบนของแบบจำลองทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4 ก่อนเริ่มทำการทดสอบจะให้แรงดัน 40 kPa กระทำแก่ตัวอย่างดินเป็นเวลา 2 วัน เพื่อให้แน่ใจว่าหน้าสัมผัสของลูกสูบสัมผัสกับผิวบนของตัวอย่างทดสอบอย่างสมบูรณ์และทำให้ตัวอย่างทดสอบเข้าสู่สภาวะการยุบอัดตัวแบบปกติ จากนั้นเริ่มทำการทดสอบโดยปรับแรงดันเพิ่มจนมีค่าเท่ากับ 120 kPa ซึ่งหมายความว่าจะมีแรงดันกระทำ

กับตัวอย่างทดสอบ (Δp) เท่ากับ 80 kPa ในระหว่างการทดสอบบันทึกค่าการทรุดตัวของตัวอย่างกับเวลา

และเพื่อทำการเปรียบเทียบผลการศึกษากรณีที่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์กับกรณีที่ไม่แผ่นพื้นดินซีเมนต์ ด้วยค่าอัตราส่วนการปรับปรุงความลึกเดียวกัน ค่าพารามิเตอร์ใหม่สำหรับกรณีที่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ได้ถูกนำเสนอดังนี้



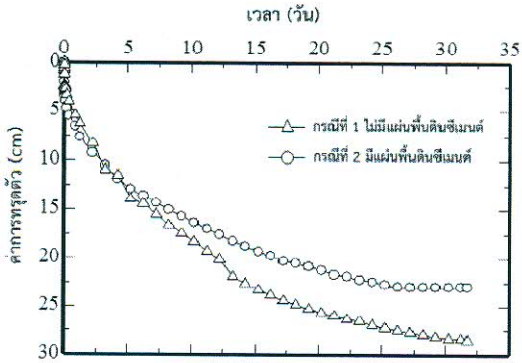
รูปที่ 4 แบบจำลองหนึ่งหน่วยระหว่างทดสอบ

$$\beta' = \frac{H_L + H_s}{H + H_s} \qquad (1)$$

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดสอบ 2 กรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อกรณีที่ 1 เป็นกรณีที่ไม่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ และส่วนกรณีที่ 2 เป็นกรณีที่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ที่มีความหนา (H_s) เท่ากับ 0.25 m สำหรับพารามิเตอร์อื่นๆ จะกำหนดให้คงที่ ดังนี้ α = 20%, β หรือ (β') = 70%, p_0 = 40 kPa และ Δp = 80 kPa

2.2 ผลการทดสอบ

เมื่ออัตราการยุบอัดตัวคายน้ำเกิน 95% การทดสอบจะยุติ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 32 วัน การเปรียบเทียบผลทดสอบเพื่อดูผลกระทบของการมีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ของชั้นดินเหนียวอ่อนที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกได้แสดงไว้ในรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าการทรุดตัวกับเวลา

พบว่าค่าการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกในกรณีที่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์จะมีค่าน้อยกว่าในกรณีที่ไม่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าการมีแผ่นพื้นดินซีเมนต์อยู่บนเสาเข็มดินซีเมนต์จะมีผลต่อคุณสมบัติการยุบอัดตัวคายน้ำของชั้นดินที่ถูกปรับปรุง

3.การคำนวณการทรุดตัวกับเวลาของชั้นดินเหนียวอ่อนที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก

3.1 การคำนวณหาเส้นโค้งการทรุดตัวกับเวลา

ในการคำนวณค่าการทรุดตัวกับเวลา วิธีของ Pongsivasathit et al. (2012) จะแบ่งดินออกเป็นสองชั้น ได้แก่ ชั้นดินด้านบนมีความหนาเท่ากับ H_1 ($H_1 = H_L - H_c$) ซึ่งให้ถือว่าเป็นชั้นดินที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์ และชั้นดินด้านล่าง มีความหนาเท่ากับ H_2 ($H_2 = H - H_1$) ซึ่งถือว่าเป็นชั้นดินที่ไม่ได้ถูกปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 6 เมื่อ H_c สามารถหาได้จาก

สำหรับกรณีมีแผ่นพื้นดินซีเมนต์

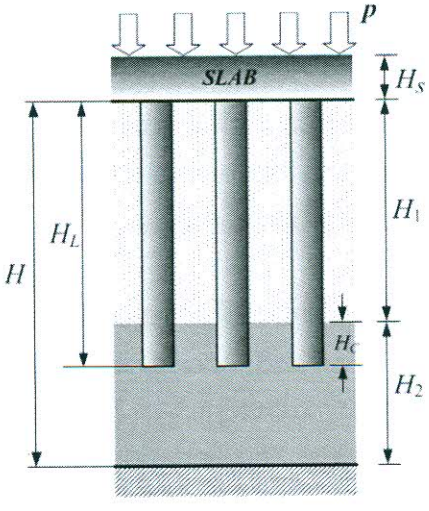
$$H_c = H_L \cdot f(\alpha) \cdot g(\beta) \cdot h(\gamma) \qquad (2)$$

สำหรับกรณีที่ไม่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์

$$H_c = H_L \cdot f_1(\alpha) \cdot g(\beta) \cdot h(\gamma) \qquad (3)$$

ตารางที่ 2 กรณีศึกษา

กรณีที่	ชนิดดิน	a (%)	β หรือ β' (%)	p_0 (kPa)	p (kPa)	H_L (m)	H_s (m)	H (m)
1	ดินเหนียว กรุงเทพฯ	20	70	40	80	0.438	0	0.626
2	ดินเหนียว กรุงเทพฯ	20	70	40	80	0.182	0.250	0.617



รูปที่ 6 เสาเข็มแบบไม่หยั่งลึกที่ปรับปรุงชั้นดินเหนียวอ่อน

เมื่อ

$$f(\alpha) = \begin{cases} 0.75-0.025(\alpha) & (\alpha \le 20\%) \\ 0.45-0.010(\alpha) & (20\% < \alpha \le 45\%) \\ 0 & (\alpha > 45\%) \end{cases} \quad (4)$$

$$g(\beta) = \begin{cases} 1.62-0.016\beta & (20\% \le \beta \le 70\%) \\ 0.5 & (70\% \le \beta \le 90\%) \end{cases} \quad (5)$$

$$h(\gamma) = 0.27\ln(\gamma)-0.41 \quad (\gamma > 10) \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{p \cdot p_a^{1.5}}{s_u^{2.5}} \quad (7)$$

เมื่อ p_a คือความดันบรรยากาศ และ s_u คือค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียวบริเวณใต้เสาเข็มซึ่งสามารถประมาณได้จาก

$$s_u = \frac{1}{2^{\Lambda+1}} M p_0' (OCR)^{\Lambda} \quad (8)$$

$$p_0' = \left(\frac{M^2+\eta^2}{M^2}\right)^{\Lambda} (p' + c'.\cot\phi') \quad (9)$$

$$\eta = \frac{q}{p' + c.\cot\phi} \quad (10)$$

เมื่อ p' คือค่า Effective mean stress, M คือค่าความชันของเส้นวิบัติใน $q - p'$ พล็อต, q คือค่า Deviator stress, c' คือค่าแรงยึดเกาะประสิทธิผลของดินเหนียว, OCR คือค่าอัตราส่วนการยุบอัดตัวเกินปกติ และ $\Lambda = (1 - k/l)$.

ดังนั้นค่าการทรุดตัวกับเวลาของชั้นดินเหนียวที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก สามารถหาได้จาก

สำหรับชั้นดินด้านบน (H1) :

$$s_1(t) = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta p_{1i} H_{1i} U(t)}{D_{ci}\alpha + (1-\alpha) D_{si}} \quad (11)$$

สำหรับชั้นดินด้านล่าง (H2) :

$$s_2(t) = \sum_{i=1}^{n} H_{2i} \frac{\lambda_i}{1+e_{0i}} \ln\left(1 + \frac{\Delta p_{2i}}{\sigma'_{vi}} U(t)\right) \quad (12)$$

เมื่อ H_{1i} และ H_{2i} คือความหนาของชั้นดินเหนียวที่ถูกแบ่งย่อยจากชั้นดินเหนียวที่มีความหนา H_1 และ H_2 ตามลำดับ ทั้งนี้การแบ่งชั้นดินนี้เพื่อผลการคำนวณที่ละเอียดขึ้น, σ'_{vi} คือหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งก่อนมีน้ำหนักกระทำในชั้นดิน H_{2i}, e_{0i} คือค่าอัตราส่วนช่องว่างก่อนมีน้ำหนักมากระทำ, λ_i คือความชันของเส้น virgin compression ในกราฟ

ความสัมพันธ์ $e - \ln p'$, Δp_{1i} และ $\Delta p2i$ คือหน่วยแรงรวมที่เพิ่มขึ้นในแนวดิ่งในชั้นดิน H_{1i} และชั้นดิน H_{2i} ตามลำดับ, D_{ci} และ D_{si} คือค่าโมดูลัสของเสาเข็มดินซีเมนต์และดินที่อยู่รอบเสาเข็มนั้นในชั้นดิน H_{1i} ซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้:

$$D_{ci} = \frac{E_i(1-\nu_i)}{(1+\nu_i)(1-2\nu_i)} \quad (13)$$

$$D_{si} = \frac{(1+e_i)\sigma'_{avi}}{\lambda_i} \quad (14)$$

เมื่อ E_i คือค่าโมดูลัสของยังค์สำหรับเสาเข็ม, ν_i คือค่าอัตราส่วนปัวค์ซองของเสาเข็ม, e_i คืออัตราส่วนช่องว่างของเสาเข็ม และ σ'_{avi} คือหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งเฉลี่ยของชั้นดินรวมกับหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องจากน้ำหนักที่กระทำ สำหรับค่า $U(t)$ ในสมการที่ (11) และ (12) เป็นค่าระดับการยุบอัดตัวคายน้ำเฉลี่ยที่เวลา t ใดๆ ซึ่งมีวิธีการคำนวณหาดังที่จะเสนอในหัวข้อถัดไป

ในสมการที่ (12) และ (14) ให้ใช้ค่าความชันของเส้น unloading – reloading ในกราฟความสัมพันธ์ $e - \ln p'$ นั้นคือใช้ค่า K_i แทนค่า λ_i ในกรณีที่ชั้นดินอยู่ในช่วงสภาวะการยุบอัดตัวเกินปกติ (Overconsolidated state) ดังนั้นค่าการทรุดตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับเวลา ($s(t)$) สามารถหาได้จาก:

$$s(t) = s_1(t) + s_2(t) \quad (15)$$

สำหรับค่าการทรุดสุดท้าย (s_f) ให้หาจากการแทนค่า $U(t)$ = 100% ลงไปในสมการที่ (11) และ (12)

3.2 ระดับการยุบอัดตัวคายน้ำของชั้นดินเหนียวอ่อนที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก

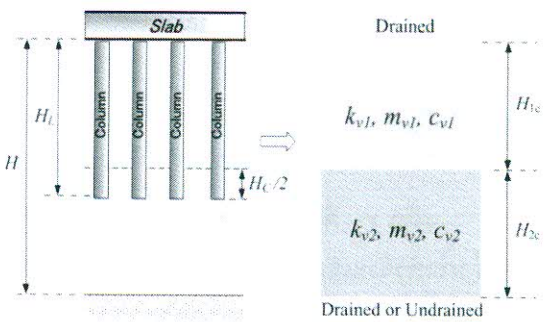
ในการหาค่าระดับการยุบอัดตัวคายน้ำที่เวลา t ใดๆ ($U(t)$) ของชั้นดินที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก สามารถพิจารณาชั้นดินออกเป็น 2 ชั้นใหญ่ๆ ได้แก่ ชั้นดินที่ถูกแทนที่ด้วยเสาเข็ม (ชั้นดินที่ถูกปรับปรุง) และชั้นดินที่อยู่ใต้เสาเข็ม (ชั้นดินที่ไม่ได้ถูกปรับปรุง) ดังแสดงในรูปที่ 7 และหน่วยแรงรวมที่เพิ่มขึ้นในแนวดิ่งเกิดจากน้ำหนักกระทำต่อชั้นดินแปรเปลี่ยนไปตามความลึกและเวลา ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้วิธีการหาอัตราการทรุดตัวของเสาเข็มดินซีเมนต์แบบยาว (Fully penetration column) มาใช้กับเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกได้

3.2.1 วิธีการหาค่าระดับการยุบอัดตัวคายน้ำ

Chai and Pongsivasathit (2010) ได้เสนอวิธีการประมาณค่า $U(t)$ โดยใช้สูตรการคำนวณของ Zhu and Yin (1999) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่า $U(t)$ ของชั้นดินที่เป็นระบบสองชั้นดังแสดงในรูปที่ 7 เมื่อค่าพารามิเตอร์ k_{v1} และ c_{v1} ของชั้นดินที่ถูกปรับปรุง และค่าความหนา H_{1c} และ H_{2c} ที่จำเป็นในการคำนวณได้ถูกนำเสนอดังนี้

$$m_{v1} = \frac{1}{\alpha D_c + (1-\alpha)D_s} \quad (16)$$

$$k_{v1} = \left(1 + \frac{2.5H_{1c}^2}{\mu d_e^2}\frac{k_h}{k_v}\right) \quad (17)$$



รูปที่ 7 ระบบชั้นดินสองชั้นของ Zhu and Yin (1999)

เมื่อ D_c และ D_s คือค่าโมดูลัสของเสาเข็มดินซีเมนต์และดินเหนียวที่อยู่รอบๆ ดินซีเมนต์ตามลำดับ, H_{1c} คือความหนาของชั้นดินด้านบน และค่า μ สามารถหาได้จากสมการที่เสนอโดย Hansbo (1981) ดังนี้

$$\mu = \ln\frac{n}{s} + \frac{k_h}{k_s}\ln(s) - \frac{3}{4} + \frac{8H_{1c}^2 k_h}{3d_c^2 k_c} \qquad (18)$$

เมื่อ $n = d_e/d_c$, $s = d_s/d_c$ (d_c, d_s และ d_e คือเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม, smear zone และเซลล์หนึ่งหน่วย (Unit cell) ที่แทนเสาเข็มดินซีเมนต์จำนวนหนึ่งต้นกับพื้นที่หน้าตัดที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มนั้น ตามลำดับ, k_c และ k_s คือค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในเสาเข็มและในดินบริเวณ smear zone ตามลำดับ โดยที่ $k_c = k_v$ และค่า k_{v1} จะมากกว่า k_v เนื่องจากสมมติฐานที่ว่าน้ำบริเวณรอบๆ เสาจะไหลเข้าสู่ภายในตัวเสาเข็มดินซีเมนต์

สำหรับความหนา H_{1c} และ H_{2c} หาได้จาก

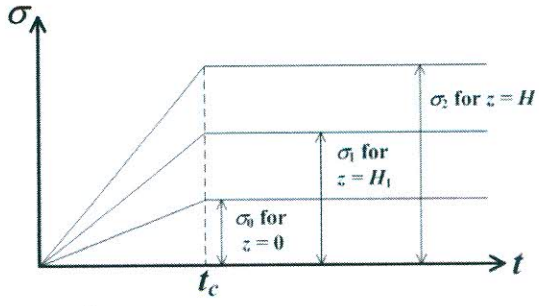
$$H_{1c} = H_L - \frac{H_c}{2} \qquad (19)$$

$$H_{2c} = H_{2o} - \frac{s_f}{2} \qquad (20)$$

เมื่อ H_{2o} คือค่าความหนาเริ่มต้นของชั้นดินที่ถือว่าไม่ได้ถูกปรับปรุงก่อนมีน้ำหนักมากระทำหรือ $H_{2o} = H - H_{1c}$ และ s_f คือค่าการทรุดตัวสุดท้ายของระบบ

3.2.2 สูตรของ Zhu and Yin (1999)

Zhu และ Yin (1999) ได้เสนอสมการในการประมาณค่าอัตราการทรุดตัวของชั้นดินที่มีลักษณะเป็นสองชั้นภายใต้น้ำหนักที่แปรผันกับความลึกของชั้นดินเหนียวและเวลาการก่อสร้างดินถม (Embankment) โดยน้ำหนักที่มากระทำจะคงที่เมื่อเสร็จสิ้นการก่อสร้าง หรือเรียกลักษณะน้ำหนักกระทำแบบนี้ว่า Depth-dependent ramp load มีลักษณะดังในรูปที่ 8 โดยจะยังคงใช้สมมติฐานเดียวกันกับทฤษฎีการยุบอัดตัวคายน้ำของ Terzaghi เว้นแต่ลักษณะของแรงที่มากระทำต่อชั้นดินเหนียว



รูปที่ 8 น้ำหนักกระทำแบบ Depth-dependent ramp load

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาระดับการยุบอัดตัวคายน้ำของชั้นดินเหนียวที่มีลักษณะเป็นสองชั้น มีดังต่อไปนี้

$$\xi = \frac{\sqrt{(k_{v2}m_{v2})} - \sqrt{(k_{v1}m_{v1})}}{\sqrt{(k_{v2}m_{v2})} + \sqrt{(k_{v1}m_{v1})}} \qquad (21)$$

$$\eta = \frac{H_{1c}\sqrt{c_{v2}} - H_{2c}\sqrt{c_{v1}}}{H_{1c}\sqrt{c_{v2}} + H_{2c}\sqrt{c_{v1}}} \qquad (22)$$

$$T_v = \frac{c_{v1}\, c_{v2}\, t}{\left(H_{1c}\sqrt{c_{v2}} + H_{2c}\sqrt{c_{v1}}\right)^2} \qquad (23)$$

$$T_c = \frac{c_{v1}\, c_{v2}\, t_c}{\left(H_{1c}\sqrt{c_{v2}} + H_{2c}\sqrt{c_{v1}}\right)^2} \qquad (24)$$

$$\chi = \frac{1}{2}(1+\eta) \qquad (25)$$

$$\psi = \frac{1}{2}(1-\eta) \qquad (26)$$

เมื่อ t คือระยะเวลารวม และ t_c คือระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างคันดินถม ดังนั้นในกรณีที่น้ำสามารถไหลได้สองทาง (Two-way drainage boundary condition) ระดับการยุบอัดตัวคายน้ำของชั้นดินที่มีลักษณะเป็นสองชั้นหาได้จาก

$$U(T_v) = \min\left(1, \frac{T_v}{T_c}\right)$$

$$-\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2[m_{v1}H_{1c} / \chi \sin(\lambda_n \chi)]T_n(T_v)}{\lambda_n[m_{v1}H_{1c}(\sigma_0+\sigma_1)+m_{v2}H_{2c}(\sigma_1+\sigma_2)]}$$

$$-\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2[m_{v2}H_{2c} / \psi \sin(\lambda_n \psi)]T_n(T_v)}{\lambda_n[m_{v1}H_{1c}(\sigma_0+\sigma_1)+m_{v2}H_{2c}(\sigma_1+\sigma_2)]} \quad (27)$$

เมื่อ min หมายถึงใช้ค่าที่น้อยที่สุดระหว่างค่า 1 และ T_v/T_c

กรณี $T_v \leq T_c$;

$$T_n(T_v) = \frac{b_n}{\lambda_n^3 T_c}\left[1-\exp(-\lambda_n^2 T_v)\right] \quad (28)$$

กรณี $T_v > T_c$;

$$T_n(T_v) = \frac{b_n}{\lambda_n^3 T_c}\left[1-\exp(-\lambda_n^2 T_c)\right]\left[\exp\left(-\lambda_n^2(T_v - T_c)\right)\right] \quad (29)$$

และค่า b_n สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$b_n = \left(\frac{1}{[m_{v1}H_{1c}/2\sin^2(\lambda_n\chi)] + [m_{v2}H_{2c}/2\sin^2(\lambda_n\psi)]}\right) \times \left\{\left[\frac{m_{v1}H_{1c}}{\chi\sin(\lambda_n\chi)}\right]\sigma_0 + \left[\frac{m_{v2}H_{2c}}{\psi\sin(\lambda_n\psi)}\right]\sigma_2 + \left[\frac{m_{v1}H_{1c}}{\chi^2\lambda_n}\right](\sigma_1-\sigma_0) + \left[\frac{m_{v2}H_{2c}}{\psi^2\lambda_n}\right](\sigma_1-\sigma_2)\right\} \quad (30)$$

เมื่อค่า λ_n คือรากลำดับที่ n ของสมการต่อไปนี้

$$\sin\theta + \xi\sin(\eta\theta) = 0 \quad (31)$$

สำหรับกรณีที่น้ำสามารถไหลได้ด้านเดียว (One-way drainage boundary condition) ค่าระดับการยุบอัดตัวคายน้ำของชั้นดินที่มีลักษณะเป็นสองชั้นสามารถหาได้ดังนี้

$$U(T_v) = \min\left(1, \frac{T_v}{T_c}\right) - \sum_{n=1}^{\infty}\left\{\frac{2m_{v1}H_{1c}T_n(T_v)}{\lambda_n\alpha\sin(\lambda_n\alpha)} \times \frac{1}{[m_{v1}H_{1c}(\sigma_0+\sigma_1)+m_{v2}H_{2c}(\sigma_1+\sigma_2)]}\right\} \quad (32)$$

และค่า b_n สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

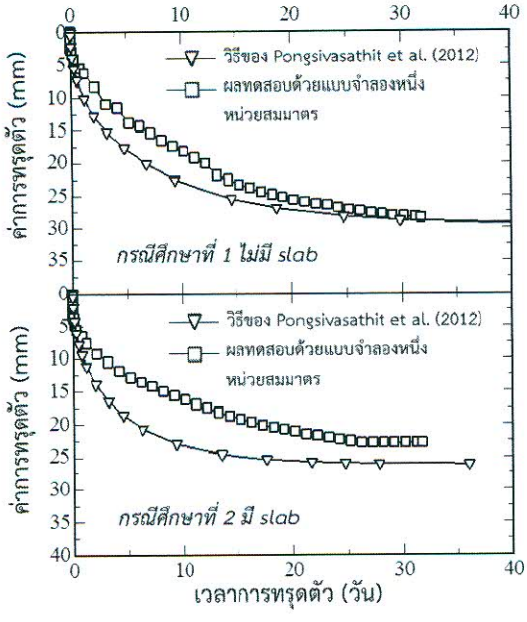
$$b_n = \frac{\left[\frac{m_{v1}H_{1c}}{\chi\sin(\lambda_n\chi)}\right]\sigma_0 + \left[\frac{m_{v1}H_{1c}}{\chi^2\lambda_n}\right](\sigma_1-\sigma_0)}{[m_{v1}H_{1c}/2\sin^2(\lambda_n\chi)] + [m_{v2}H_{2c}/2\cos^2(\lambda_n\psi)]} + \frac{\left[\frac{m_{v2}H_{2c}[\cos(\lambda_n\psi)-1]}{\psi^2\lambda_n\cos(\lambda_n\psi)}\right](\sigma_1-\sigma_2)}{[m_{v1}H_{1c}/2\sin^2(\lambda_n\chi)] + [m_{v2}H_{2c}/2\cos^2(\lambda_n\psi)]} \quad (33)$$

เมื่อค่า λ_n คือรากลำดับที่ n ของสมการต่อไปนี้

$$\cos\theta - \xi\cos(\eta\theta) = 0 \quad (34)$$

3.3 เปรียบเทียบค่าการทรุดตัวกับเวลาที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากผลทดสอบ

สำหรับค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวกรุงเทพฯ ที่นำมาทดสอบในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 นั้นได้จากการทดสอบ Consolidation Test ด้วยเครื่อง Oedometer และ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณระดับการยุบอัดตัวคายน้ำของชั้นดินเหนียวที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์ ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ เมื่อดินเหนียวเป็นดินที่มีการยุบอัดตัวแบบปกติ โดยที่ค่า Δp_{1i} และ Δp_{2i} มีค่าเท่ากันคือ 80 kPa การเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าการทรุดตัวกับเวลากับผลทดสอบของแบบจำลองหนึ่งหน่วยสมมาตรแนวแกนได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 9



รูปที่ 9 เปรียบเทียบผลทดสอบกับผลคำนวณของค่าการทรุดตัวกับเวลา

จากรูปที่ 9 พบว่าเส้นโค้งการทรุดตัวกับเวลาที่ได้จากวิธีของ Pongsivasathit et al. (2012) เข้าใกล้ผลการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ไม่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ สำหรับในกรณีที่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ ค่าการทรุดตัวสุดท้ายที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีดังกล่าวมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากผลการทดสอบอยู่ 14.22% ทั้งนี้อาจเป็นเพราะวิธีดังกล่าวไม่สามารถพิจารณาผลกระทบของการมีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ในกรณีที่มีค่าอัตราส่วนระหว่างความหนาของแผ่นพื้นกับความหนาของชั้นดินใต้แผ่นพื้นลงไปเท่ากับ 0.4

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวที่นำมาทดสอบ

ชนิดดิน	γ_{sat} (kN/m^3)	s_u (kPa)	ν	λ	e_0	m_v (x10^{-4} m^2/kN)	k_h (´10^{-5} m/day)	k_v (´10^{-5} m/day)
ดินเหนียวกรุงเทพ	16.32	10.92	0.3	0.2496	1.38	4.05	0.432	0.432

** เมื่อ γ_{sat} คือหน่วยน้ำหนักอิ่มน้ำของดิน และ m_v คือค่า Coefficient of volume change ที่น้ำหนักกระทำรวมเท่ากับ $p_0+\Delta p$

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณค่าระดับการยุบอัดตัวคายน้ำ

กรณีศึกษา	e_0	c_{v1} (´10^{-3} m^2/day)	c_{v2} (´10^{-3} m^2/day)	k_{v1} (´10^{-5} m/day)	k_{v2} (´10^{-5} m/day)	m_{v1} (´10^{-4} m^2/kN)	m_{v2} (´10^{-4} m^2/kN)	H_c (m)	s_f (m)	H_{1c} (m)	H_{2c} (m)
1	1.38	10.404	1.087	1.108	0.432	1.086	4.050	0.0552	0.0299	0.4106	0.2005
2	1.38	9.141	1.087	0.974	0.432	1.087	4.050	0.0388	0.0262	0.1625	0.1914

4. บทสรุป

จากผลการทดสอบแบบจำลองหนึ่งหน่วยแกนสมมาตร ของดินเหนียวกรุงเทพฯ ที่ถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก เพื่อพิจารณาผลกระทบของการมีแผ่นพื้นดินซีเมนต์บนเสาเข็ม พบว่าในกรณี a, β (β'), p และ s_u เดียวกัน การมีแผ่นพื้นดินซีเมนต์บนผิวดินทำให้ค่าการทรุดตัวสุดท้ายน้อยกว่าการไม่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบของกรณีการมีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนระหว่างความหนาของแผ่นพื้น

กับความหนาของชั้นดินใต้แผ่นพื้นลงไปเท่ากับร้อยละ 0.40 กับผลการคำนวณด้วยวิธีของ Pongsivasathit et al. (2012) พบว่าให้ค่าการทรุดตัวที่เกินกว่าผลทดสอบ เป็นการยืนยันผลการศึกษาในภาคสนามของ Pongsivasathit et al. (2012) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุงวิธีของ Pongsivasathit et al. (2012) ให้สามารถพิจารณาถึงผลกระทบของการมีแผ่นพื้นดินซีเมนต์ โดยเฉพาะในกรณีที่มีค่าอัตราส่วนระหว่างความหนาของแผ่นพื้นต่อความหนาของชั้นดินใต้แผ่นพื้นที่อัตราส่วนต่างๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเรื่องการพัฒนาการใช้คันดินเสริมด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบลอยเพื่อป้องกันน้ำท่วม ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ด้วยทุนงบประมาณแผนดิน ประจำปี 2557 (วช.) จึงขอขอบคุณมา ณ.โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Chai, J. C., Miura, N., Kirekawa, T. and Hino, T. (2009). Settlement prediction for soft ground improved by columns. **Ground Improvement, Proceeding of Institute of Civil Engineers.** UK. Vol. 162 : 109-119.

[2] Chai, J. C., and Pongsivasathit S. (2010). A method for calculating consolidation settlements of floating column improved clayey subsoil. **Frontiers of Architecture and Civil engineering in China.** 4(2) : 241-251.

[3] Pongsivasathit, S., Chai, J. C. and Ding W. (2012). Consolidation settlement of floating-column-improved soft clayey deposit. **Ground Improvement, Proceeding of Institute of Civil Engineers.** UK. Vol. 166 : 44-58.

[4] Pongsivasathit, S., Jitsuwan, P., Chai. J.C., and Hino. T (2014) Methodology for calculating the consolidation settlement of floating soil cement column improved soft clayey deposit. **Proc.^{9th} International Symposium on Lowland Technology.** Japan. : 285-293.

[5] Zhu, G. and Yin, J. H. (1999). Consolidation of double soil layers under depth-dependent ramp load. **Geotechnique.** 49(3) : 415-421.

[6] Shen, S. L., Chai, J. C. and Miura, N. (2001). Stress distribution in composite ground of column-slab system under road pavement. **Proc.^{1st} Asian-Pacific Congress on Computational Mechanics.** Elsevier Science Ltd. : 485-490.

ผลกระทบของแผ่นพื้นดินซีเมนต์ต่อพฤติกรรมตอบสนองกลไก ระหว่างเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกและดินบริเวณรอบเสาเข็ม

Effect of Cement Stabilized Slab on the Interaction Behavior between Floating Soil Cement Column and Surrounding Soil

สุธี ปิยะพิพัฒน์[1] พันศักดิ์ จิตรสุวรรณ[2] และ ศุภสิทธิ พงศ์ศิวะสถิตย์[3]

บทคัดย่อ

การนำแบบจำลองหนึ่งหน่วยแกนสมมาตร มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยวิธีไฟไนต์อิลิเมนท์ ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาพฤติกรรมตอบสนองกลไก ระหว่างเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกกับดินบริเวณรอบๆ เสาเข็ม และค่าความเข้มข้นของหน่วยแรงอันเนื่องจากผลกระทบของความแข็งแกร่งและความหนาของแผ่นพื้นดินซีเมนต์บนผิวดิน โดยผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนท์ที่ได้จะใช้เป็นฐานข้อมูลและแนวทางในการปรับปรุงวิธีการคำนวณหาเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวปฐมภูมิกับเวลาของ Pongsivasathit et al. (2012) ที่เกิดขึ้นในชั้นดินเหนียวอ่อนที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก จากผลการวิเคราะห์พบว่า การเพิ่มขึ้นของความหนาแผ่นพื้นดินซีเมนต์ทำให้ระยะจมสัมพัทธ์ของเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกกับดินเหนียวที่อยู่รอบๆ เสาเข็มลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของแผ่นพื้นดินซีเมนต์มีผลต่อการจมสัมพัทธ์ของเสาเข็มดินซีเมนต์กับดินเหนียวที่อยู่รอบๆ เสาเข็มน้อย ค่าความเข้มข้นของหน่วยแรงที่ทุกระดับความลึกจะลดลงเมื่อความหนาของแผ่นพื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และการเปลี่ยนแปลงของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของแผ่นพื้นดินซีเมนต์ส่งผลกระทบต่อค่าความเข้มข้นของหน่วยแรงไม่มาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงวิธีการหาเส้นโค้งการทรุดตัวกับเวลาของชั้นดินที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกโดย Pongsivasathit et al. (2012) เพื่อให้สามารถพิจารณาผลกระทบอันเนื่องจากความหนาของแผ่นพื้นดินซีเมนต์ได้

คำสำคัญ: วิธีไฟไนต์อิลิเมนท์ พฤติกรรมตอบสนองกลไก แผ่นพื้นดินซีเมนต์ การจมสัมพัทธ์

[1]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[2]อาจารย์ประจำสาขาวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคอุตรดิตถ์

[3]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Abstract

Numerical analysis technique by the finite element method (FEM) using a symmetric unit cell model was conducted to investigate the interaction behaviors between the floating column and the surrounding soft soil and the stress concentration focusing on the effect of strength and stiffness and thickness of slab on the ground surface. The FEM results can be used as the database and guideline for improving the method of consolidation settlement-time curve by Pongsivasathit et al. (2012). As results, the increasing thickness of cement stabilized slab decreases significantly the relative penetration of floating soil-cement column with the surrounding soil. The undrained shear strength of slab slightly effects on the relative penetration. The stress concentration at any depth decreases with increasing of slab thickness and the change of undrained shear strength of the slab slightly effects on the stress concentration. So, it is necessary to improve the method of settlement-time curve calculation by Pongsivasathit et al. (2012) in order to be able to take the effect of slab thickness.

Keywords: finite element method, interaction behavior, cement stabilized slab, relative penetration.

1. บทนำ

ในการก่อสร้างคันดินถมบนชั้นดินเหนียวอ่อน มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปรับปรุงความแข็งแกร่งและเพิ่มค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของชั้นดินเหนียวก่อนก่อสร้างเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักของคันดินถมได้ โดยเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินเหนียวอ่อนที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การใช้ปูนซีเมนต์เข้าไปผสมลึกกับชั้นดินเหนียวอ่อนเพื่อเป็นเสาเข็มดินซีเมนต์ในชั้นดิน (Broms and Boman, 1979; Bergado et al., 1994) ทำให้ชั้นดินเหนียวอ่อนมีค่าการทรุดตัวลดลงและมีความสามารถในการรับน้ำหนักที่สูงขึ้น ในปัจจุบันมีความพยายามที่ลดราคาค่าก่อสร้างและลดผลกระทบอันเนื่องจากความยาวเสาเข็มไปรบกวนระดับน้ำใต้ดิน โดยการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก (Floating Soil-Cement Column) ทั้งแบบที่มีและไม่มีแผ่นพื้นดินผสมซีเมนต์ (Cement Stabilized Slab) บนผิวดินหรือหัวเสาเข็มดินซีเมนต์ (Shen et al., 2001; Chai et al., 2009) การออกแบบเสาเข็มดินซีเมนต์ประเภทนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนวณหาค่าการทรุดตัวขั้นปฐมภูมิ แต่เนื่องจากพฤติกรรมการยุบอัดตัวคายน้ำของเสาเข็มดินซีเมนต์ประเภทนี้จะมีความซับซ้อนมากกว่าเสาเข็มดินซีเมนต์ที่มีความยาวแบบปกติ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม

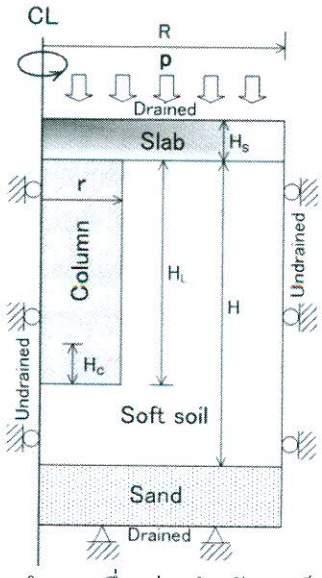
Pongsivasathit et al. (2012) ได้ทำการศึกษากลไกภายในระหว่างเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกกับดินที่อยู่บริเวณรอบๆ ทั้งแบบมีและไม่มีแผ่นพื้น ด้วยการทดลองแบบจำลองในห้องปฏิบัติการควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์โดยใช้แบบจำลองหนึ่งหน่วยสมมาตร (Axisymmetric

Unit Cell Model) นำผลการศึกษาที่ได้มาปรับปรุงวิธีการคำนวณหาเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวกับเวลาของ Chai and Pongsivasathit (2010) โดยวิธีนี้จะคำนวณหาค่าระยะ H_c ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 เมื่อค่า H_c เป็นค่าที่ใช้ในการพิจารณาหาค่าการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำของเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกที่ใช้ปรับปรุงชั้นดินเหนียวอ่อน (Chai et al., 2009) ชั้นดินจะถูกแบ่งออกเป็นสองชั้น คือชั้นดินที่ถูกปรับปรุง ได้แก่ชั้นดินที่หนาเท่ากับความยาวเสาเข็มหักลบระยะ H_c ออก และชั้นดินที่มีความหนาเท่ากับความหนาของชั้นดินเหนียวจากปลายเสาเข็มถึงชั้นทรายรวมกับระยะ H_c จากนั้นคำนวณหาค่าการทรุดตัวกับเวลาของดินทั้งสองชั้นโดยใช้สูตรที่นำเสนอ โดยที่ H_c เป็นฟังก์ชั่นของอัตราส่วนการปรับปรุงพื้นที่ (Area improvement ratio, α), อัตราส่วนการปรับปรุงความลึก (Depth improvement ratio, β), น้ำหนักที่กระทำ (Loading intensity, p) และค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength, s_u) ของดินเหนียวบริเวณปลายเสาเข็ม สำหรับอัตราการทรุดตัว Chai and Pongsivasathit (2010) ได้เสนอวิธีการหาค่าระดับการยุบอัดตัวคายน้ำโดยใช้สมการของ Zhu and Yin (1999) เนื่องจากมองว่าชั้นดินที่เสริมด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์เป็นชั้นดินแบบระบบ 2 ชั้น (Two layers system) ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการคำนวณได้ถูกนำเสนอบนพื้นฐานของผลวิเคราะห์แบบจำลองหนึ่งหน่วยสมมาตรแนวแกนด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนท์

อย่างไรก็ตามกรณีที่มีแผ่นพื้นดินซีเมนต์วางบนเสาเข็มเพื่อช่วยลดความเข้มข้นของหน่วยแรง (Stress concentration, n) บนเสาเข็มนั้น พบว่าความยืดหยุ่นของแผ่นพื้นดินซีเมนต์จะลดลงเมื่อมีความหนาของแผ่นพื้นดินซีเมนต์เพิ่มขึ้น ยิ่งความหนาของแผ่นพื้นมากๆ ยิ่งกลายเป็นวัสดุแข็งเกร็ง แต่ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนท์ ถูกตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าแผ่นพื้นดินซีเมนต์เป็นวัสดุยืดหยุ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการศึกษาของ Pongsivasathit et al. (2012) ได้กำหนดให้ความหนาของแผ่นพื้นไม่เกิน 1 เมตร ที่ความหนานี้แผ่นพื้นสามารถยืดหยุ่นได้เมื่อรับน้ำหนักกระทำ ดังนั้นในการศึกษานี้ จะทำการตรวจสอบพฤติกรรมตอบสนองกลไก (Interaction behavior) ระหว่างเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกที่นำมาเสริมความแข็งแกร่งของชั้นดินเหนียวอ่อนกับดินเหนียวที่ล้อมรอบเสาเข็มด้วยแบบจำลองหนึ่งหน่วยสมมาตรแนวแกน (Axisymmetric unit cell Model) โดยใช้วิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ เน้นศึกษาถึงผลกระทบของแผ่นพื้นดินซีเมนต์บนเสาเข็ม ในเทอมของค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำและความหนาของแผ่นพื้นดินซีเมนต์โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่มีความหนาของแผ่นพื้นมากๆ นอกจากนั้นยังศึกษาถึงค่าความเข้มข้นของหน่วยแรงกับความลึกของชั้นดินเนื่องจากผลกระทบของแผ่นพื้นดินซีเมนต์ดังกล่าว สุดท้ายหาข้อสรุปผลการศึกษา

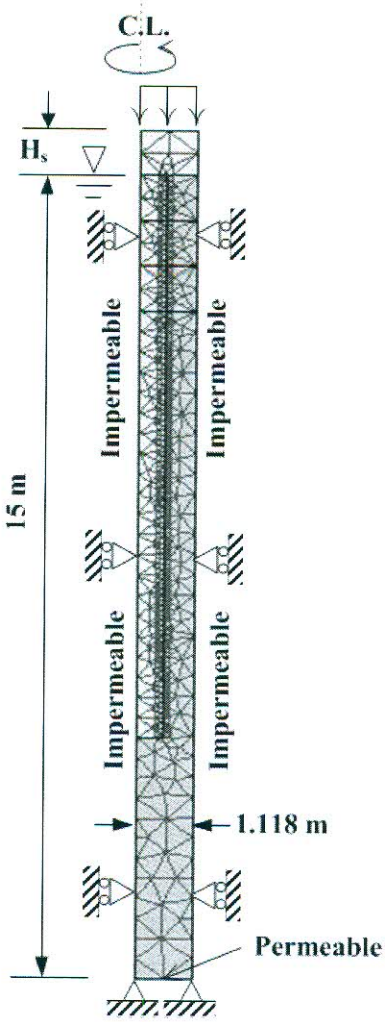
2. แบบจำลองหนึ่งหน่วยสมมาตร

รูปที่ 1 แสดงถึงลักษณะของแบบจำลองหนึ่งหน่วยสมมาตรแนวแกนที่ถูกใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ โดยการวิเคราะห์จะใช้โปรแกรม Plaxis 2D version 2012 มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้ แบบจำลองหนึ่งหน่วยจะถูกยึดแบบจุดหมุนที่บริเวณฐานของแบบจำลอง ส่วนด้านข้างจะถูกยึดแบบฐานกลิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 2 ในขณะที่ด้านบนและด้านล่างของแบบจำลองถูกตั้งให้สามารถระบายน้ำได้ ส่วนที่ด้านซ้ายและด้านขวาของแบบจำลองถูกตั้งให้ไม่สามารถระบายน้ำได้



รูปที่ 1 แบบจำลองหนึ่งหน่วยสำหรับเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก

พฤติกรรมดินเหนียวอ่อนจำลองด้วย Soft Soil Model ส่วนพฤติกรรมของเสาเข็มดินซีเมนต์จำลองให้เป็นวัสดุ Linear Elastic และส่วนพฤติกรรมของแผ่นพื้นดินซีเมนต์จำลองด้วย Mohr-Coulomb Failure Criterion โดยส่วนสัมผัส (Interface) ระหว่างเสาเข็มดินซีเมนต์กับดินบริเวณรอบๆ เสาเข็มดินจำลองเป็นแบบ ส่วนประกอบร่วมกัน (Joint Element) ที่มีค่า Rinter = 0.9 จากนั้นอ้างอิงการศึกษาของ Pongsivasathit et al. (2012) โดยสมมติให้ความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อน (*H*) เท่ากับ 15 เมตร และความหนาเริ่มต้นของแผ่นพื้นดินซีเมนต์ (H_s) เท่ากับ 1 เมตร ส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มสมมติให้มีขนาดเท่ากับ 1 เมตร สำหรับพารามิเตอร์อื่นๆ และคุณสมบัติของดินเหนียวกับดินซีเมนต์ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 1



รูปที่ 2 แบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์และคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์

Depth (m)	Soil layer	ν	E (kPa)	κ	λ	c (kPa)	ϕ (°)	K_0^{NC}	OCR	e_0	k_h ($\times 10^{-8}$ m/s)	k_v ($\times 10^{-8}$ m/s)
0-4.0	Clay-1	0.3	-	0.065	0.65	1	30	0.5	4-1.1	3.3	3.0	2.0
4.0-16.0	Clay-1	0.3	-	0.065	0.65	1	30	0.5	1	2.9	3.0	2.0
Column		0.2	55,000	-	-	-	-	-	-	มีค่าเท่ากับดินที่ระดับความลึกเดียวกัน		
Slab		0.2	$100q_u$	-	-	50-750	0	-	-			

เมื่อค่า K_0^{NC} คือค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันด้านข้างของดินที่มีการยุบอัดตัวแบบปกติ; ν คือค่าอัตราส่วนปัวค์ซอง; E คือค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของยังค์; λ คือค่าความชันของเส้นตรง virgin compression ในการพล็อตค่าระหว่าง e-ln p'; κ คือค่าความชันของเส้นตรง unloading-reloading ในการพล็อตค่าระหว่าง e-ln p' ; ψ คือค่า องศาไดเลแทนซี่ (Dilatancy angle); ϕ คือค่ามุมเสียดทานภายใน; c คือค่าแรงยึดเกาะ; OCR คือค่าอัตราส่วนการยุบอัดตัวเกินปกติ; γ_t คือค่าหน่วยน้ำหนักดินอิ่มตัว; e_0 คือค่าอัตราส่วนช่องว่างตอนเริ่มต้น; k_h และ k_v คือค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในแนวนอนและแนวตั้งตามลำดับ

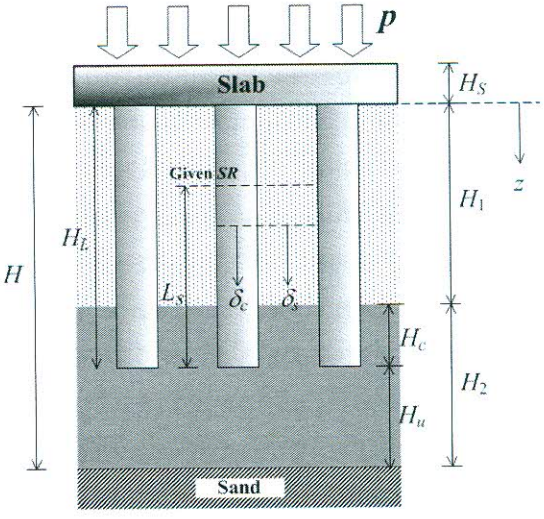
3. ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมกลไกภายใน

เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายพฤติกรรมตอบสนองกลไก จะใช้พารามิเตอร์ได้แก่ อัตราส่วนการทรุดตัว (Settlement ratio, SR) และอัตราส่วนความยาว (Length ratio, LR) มาทำการอธิบายพฤติกรรมดังกล่าว โดยที่

$$SR = \frac{\delta_s}{\delta_c} \quad (1)$$

$$LR = \frac{L_s}{(H_L + H_s)} \quad (2)$$

เมื่อค่า δ_c คือค่าการทรุดตัวของเสาเข็มบริเวณจุดที่ต้องการพิจารณา, ค่า δ_s คือค่าการทรุดตัวของดินที่ระดับเดียวกันกับจุดที่วัดค่า δ_c, δ_s คือความยาวของเสาเข็มจากปลายเสาเข็มถึงจุดที่มีค่า SR เท่ากับค่าที่ต้องการ และ H_L คือความยาวของเสาเข็ม ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งค่า LR ใช้เป็นดัชนีตัวชี้วัดของระดับการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของเสาเข็มดินซีเมนต์เทียบกับดินบริเวณรอบเสาเข็ม และเป็นค่าที่สามารถใช้ประกอบเป็นส่วนสำคัญในการคำนวณค่าระยะ H_c ค่า LR มากขึ้นหมายถึงมีค่าการทรุดตัวสัมพัทธ์ระหว่างเสาเข็มกับดินบริเวณรอบเสาเข็มที่มากขึ้น และค่าที่มากขึ้นนี้นำมาเป็นเสมือนชั้นดินที่ไม่ได้ปรับปรุงเพื่อคำนวณหาค่าการทรุดตัว



รูปที่ 3 นิยามของตัวแปรอื่นๆ

สำหรับค่าความเข้มของหน่วยแรง (n) ที่ระดับความลึก z ใดๆ วัดจากใต้แผ่นพื้นดินซีเมนต์ลงมาดังแสดงในรูปที่ 3 อ้างอิงการศึกษาของ Chai et al. (2009) ค่า n สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$n = \frac{\sigma_c}{\sigma_s} \quad (3)$$

เมื่อ σ_c คือค่าหน่วยแรงประสิทธิผลเฉลี่ยในเสาเข็มดินซีเมนต์ และ σ_s คือค่าหน่วยแรงประสิทธิผลเฉลี่ยในดินที่ล้อมรอบเสาเข็มดินซีเมนต์

4. ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์

เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของแผ่นพื้นดินซีเมนต์ ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ จึงจำเป็นต้องทำการคงที่ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ได้แก่ α = 20%, β = 70% และ p = 100% โดยที่

$$\alpha = \frac{d_c^2}{d_e^2} \quad (4)$$

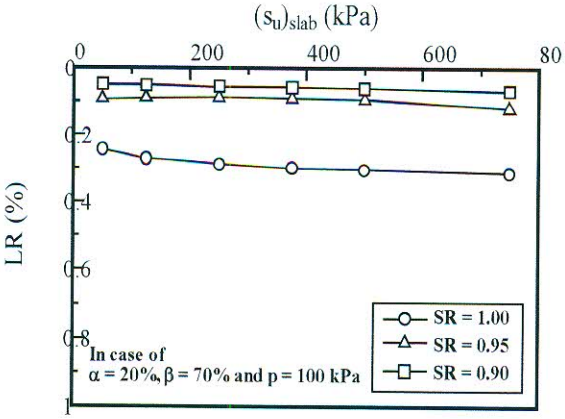
$$\beta = \frac{H_L}{H} \quad (5)$$

เมื่อ d_c และ d_e คือเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มดินซีเมนต์และของทรงกระบอกหนึ่งหน่วยของดินที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์ ตามลำดับ

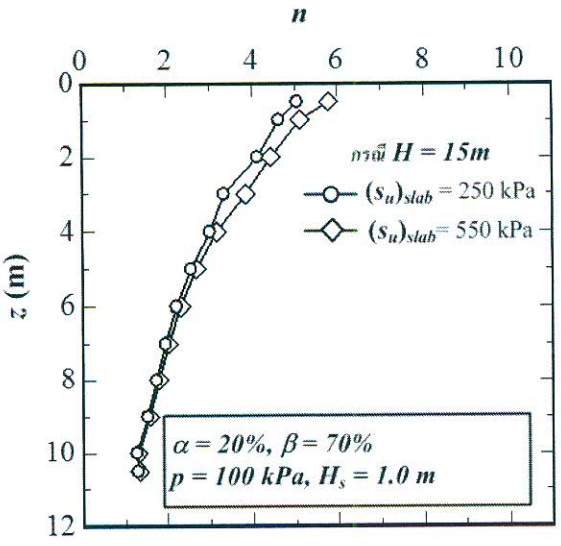
สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบของแผ่นพื้นดินซีเมนต์บนผิวดินที่อยู่บนเสาเข็ม ในเทอมของค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำและความหนาของแผ่นพื้น ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมตอบสนองกลไกระหว่างเสาเข็มดินซีเมนต์และดินบริเวณล้อมรอบเสาเข็ม และค่าความเข้มข้นของหน่วยแรง เพื่อหาข้อสรุปเป็นแนวทางในการปรับปรุงวิธีการหาค่า H_c ของ Pongsivasathit et al. (2012).

4.1 ผลกระทบของค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของแผ่นพื้นดินซีเมนต์

พิจารณาผลกระทบของค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของแผ่นพื้นดินซีเมนต์ ($(s_u)_{slab}$) ที่มีผลต่อพฤติกรรมของกลไกภายในระหว่างเสาเข็มดินซีเมนต์กับดินบริเวณรอบเสาเข็ม สามารถทำได้โดยเปลี่ยนแปลงค่า $(s_u)_{slab}$ เริ่มตั้งแต่ 50 ถึง 750 kPa เพื่อดูผลกระทบที่เกิดกับค่า LR โดยจะคงที่ค่า α, β, p และ H_s เท่ากับ 20%, 70%, 100 kPa และ 1 m ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ การที่เปลี่ยนแปลงค่า $(s_u)_{slab}$ จะทำโดยเปลี่ยนพารามิเตอร์รับแรงเฉือน ได้แก่ ค่า c' และ E ($E = 100\,q_u$) ของแผ่นพื้นดินซีเมนต์ ส่วนคุณสมบัติอื่นให้คงไว้เหมือนเดิม พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า $(s_u)_{slab}$ ส่งผลต่อค่า LR น้อย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4 ซึ่งหมายถึงการจมทะลุสัมพัทธ์ของเสาเข็มไม่ขึ้นกับค่า $(s_u)_{slab}$ นั่นเอง



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง LR กับ $(s_u)_{slab}$



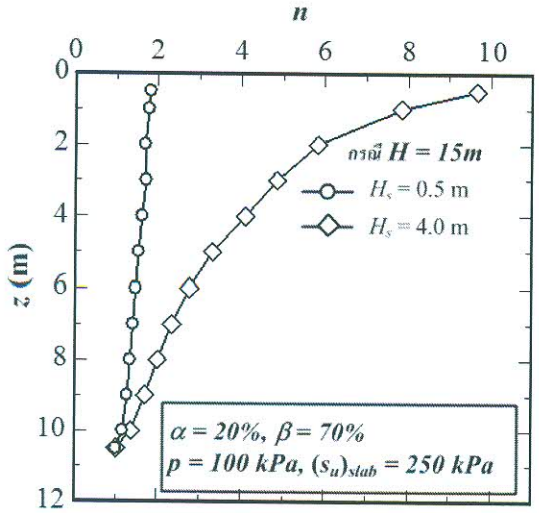
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง n กับความลึก ในกรณีที่ $(s_u)_{slab}$ ต่างกัน

ในการพิจารณาผลกระทบของค่า $(s_u)_{slab}$ ที่มีผลต่อค่า n สามารถทำได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของแผ่นพื้นดินซีเมนต์ที่ใช้ใน Mohr Coulomb Model ได้แก่ ค่า E และค่า c โดยให้ค่า ϕ = 0o , ค่า $c = s_u$ (เนื่องจากเป็นสภาพแบบ Undrained) และ $E = 100q_u$ ในบทความนี้จะสมมติค่า s_u เท่ากับ 250 kPa และ 550 kPa ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ กำหนดให้คงที่ ดังนี้ α = 20%, β = 70% และ p = 100 kPa ส่วนชั้นดินกำหนดให้มีความหนาเท่ากับ 15 เมตร สำหรับผลวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5 พบว่าที่ระดับความลึกจากใต้แผ่นพื้นดินซีเมนต์ลงมาตั้งแต่ 0 – 7 เมตร การเพิ่มขึ้นของค่า $(s_u)_{slab}$ ส่งผลกระทบต่อค่า n เพียงเล็กน้อย และค่า $(s_u)_{slab}$ จะไม่ส่งผลต่อค่า n ในกรณีที่ระดับความลึกจากใต้แผ่นพื้นดินซีเมนต์ลงมามากกว่า 7 เมตรขึ้นไป เนื่องจากไม่มีความแตกต่างกันของค่า n ในทั้งสองกรณีที่ระดับความลึกนี้ลงไป

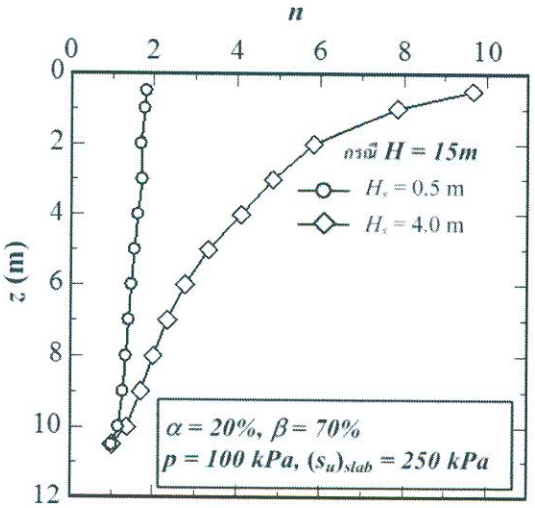
4.2 ผลกระทบของความหนาของแผ่นพื้นดินซีเมนต์

โดยปกติ ในกรณีความหนาของแผ่นพื้นดินซีเมนต์มีค่าน้อย หน้าตัดของแผ่นพื้นระหว่างเสาเข็มจะทรุดตัวอันเนื่องจากน้ำหนักกระทำมากกว่าบริเวณหัวเสาเสมอ ความแตกต่างของค่าการทรุดตัวของเสาเข็มดินซีเมนต์กับดินที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเสาเข็มที่ใกล้กันจะลดลงเมื่อความหนาของแผ่นพื้นเพิ่มขึ้น อันเป็นผลมาจากความยืดหยุ่นที่น้อยลงของแผ่นพื้นที่หนาขึ้นนั่นเอง อย่างไรก็ตามอ้างอิงผลการศึกษาของ Pongsivasathit et al. (2012) พบว่าในการวิเคราะห์พฤติกรรมกลไกภายในด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ ซึ่งเป็นที่มาของสูตรการคำนวณหาค่า H_c จะสมมติแผ่นพื้นเป็นวัสดุยืดหยุ่นเพียงอย่างเดียวเนื่องจากถูกกำหนดให้มีความหนา H_s เท่ากับ 1 เมตร เท่านั้น ที่ความหนานี้แผ่นพื้นยังคงมีความยืดหยุ่นได้มากอยู่ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะลดความยืดหยุ่นของแผ่นพื้นลงโดยการเพิ่มความหนาของแผ่นพื้นให้มากขึ้นเพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่มีผลต่อพฤติกรรมตอบสนองกลไกระหว่างเสาเข็มดินซีเมนต์กับดินที่ล้อมรอบเสาเข็ม

ในการวิเคราะห์ ค่า H_s จะถูกแปรเปลี่ยนตั้งแต่ 1 – 5 เมตร ส่วนพารามิเตอร์อื่นได้แก่ α, β, p และ (su)slab ถูกกำหนดให้คงที่เท่ากับ 20%, 70%, 100 kPa และ 250 kPa ตามลำดับ และพารามิเตอร์และคุณสมบัติอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ถูกนำแสดงไว้ในตารางที่ 1 ระดับน้ำใต้ดินถูกกำหนดให้อยู่ที่ระดับใต้แผ่นพื้นดินซีเมนต์ สำหรับกรณีที่สมมติค่า H_s มากกว่า 1 เมตร ค่า OCR เหนือระดับน้ำใต้ดินเกิน 1 เมตรถูกกำหนดให้คงที่ไว้เท่ากับ 4 และผลการวิเคราะห์ถูกแสดงในรูปที่ 6 พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่า H_s จะทำให้ค่า LR น้อยลงในทุกๆ ค่า SR นั่นหมายความว่ามีการจมทะลุของเสาเข็มดินซีเมนต์น้อยลงถ้าความหนาของแผ่นพื้นดินซีเมนต์เพิ่มขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง *LR* กับ H_s



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง *n* กับ *z* ในกรณีที่ H_s ต่างกัน

สำหรับการพิจารณาผลกระทบของค่า H_s ที่มีผลต่อค่า *n* สามารถทำได้จากการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นพื้นดินซีเมนต์ในแบบจำลองหนึ่งหน่วยสมมาตรแนวแกน ในที่นี้วิเคราะห์ที่ค่า H_s จำนวน 2 ค่าได้แก่ 0.5 เมตร และ 4.0 เมตร เพื่อดูความแตกต่างของค่า *n* เมื่อค่า H_s เปลี่ยนแปลงไป ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ ให้คงที่ไว้ ดังนี้ α, β, p และ $(s_u)_{slab}$ เท่ากับ 20%, 70%, 100 kPa และ 250 kPa ตามลำดับ กำหนดให้ชั้นดินเหนียวอ่อนมีความหนา 15 เมตร และผลการวิเคราะห์ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 7 พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่า H_s ทำให้ค่า *n* ลดน้อยลงทุกความลึก *z* และค่าความแตกต่างของค่า *n* ต่อค่า H_s ที่ต่างกันนี้ จะน้อยลงตามความลึก *z* ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าความหนาเพิ่มขึ้นทำให้ความยืดหยุ่นของแผ่นพื้นดินซีเมนต์ลดน้อยลง ส่งผลให้การกระจายของหน่วยแรงบนเสาเข็มดินซีเมนต์กับดินบริเวณรอบๆ เสาเข็มมีค่าไม่ต่างกันมากตามความหนาของแผ่นพื้นที่เพิ่มขึ้น นั่นคือความหนาของแผ่นพื้นดินซีเมนต์จะมีผลโดยตรงต่อผลการคำนวณการทรุดตัวกับเวลาของชั้นดินที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกอย่างมีนัยสำคัญ

5. สรุปผล

1) ค่า *LR* เป็นดัชนีที่ใช้ชี้วัดระดับการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของเสาเข็มดินซีเมนต์เทียบกับดินบริเวณรอบเสาเข็ม และเป็นค่าที่สามารถใช้ประกอบเป็นส่วนสำคัญในการหาค่าการทรุดตัวของเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก

2) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของแผ่นพื้นดินซีเมนต์กับค่า *LR* พบว่ามีความสัมพันธ์ต่อกันน้อยมาก นั่นหมายความว่าค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของแผ่นพื้นดินซีเมนต์มีต่อผลการคำนวณหาค่าการทรุดตัวอย่างไม่มีนัยสำคัญ

3) ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของแผ่นพื้นดินซีเมนต์ มีผลต่อค่าความเข้มของหน่วยแรงที่กระจายอยู่บนเสาเข็มเพียงเล็กน้อยในช่วงความลึกไม่เกิน 7 เมตร

4) การเพิ่มความหนาของแผ่นพื้นดินซีเมนต์ทำให้ค่า *LR* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในการคำนวณค่าการทรุดตัวของเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกที่มีแผ่นพื้นวางบนหัวเสาเข็ม จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องลดทอนค่า *Hc* ในวิธีของ Pongsivasathit et al. (2012) อันเนื่อง

มาจากผลของความหนาของแผ่นพื้นดินซีเมนต์

5) ความหนาของแผ่นพื้นดินซีเมนต์มีผลต่อค่าความเข้มข้นของหน่วยแรงที่กระจายอยู่บนเสาเข็มอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความเข้มข้นของหน่วยแรงจะมีค่าน้อยลงเมื่อความหนาของแผ่นพื้นดินซีเมนต์เพิ่มขึ้นทุกระดับความลึก

เอกสารอ้างอิง

[1] Bergado, D. T., Chai, J. C., Alfaro, M. C. and Balasubramaniam, A. S., 1994.. **Improvement Techniques of Soft Ground in subsiding and Lowland Environment.** Balkema, Rotterdam, 222 p.

[2] Broms, B. B., and Boman, P. O., 1979. Lime column a new foundation method. **Journal of Geotechnical Engineering Division.** ASCE. 105(GT4) : 539-556.

[3] Brinkgreve, R.B.J., Swolfs, W.M. and Engin, E. **PLAXIS 2D User's Manuals (2010),** Edited by Plaxis BV, Delft, The Netherlands

[4] Chai, J. C., Miura, N., Kirekawa, T. and Hino, T., 2009. Settlement prediction for soft ground improved by columns. **Ground Improvement, Proceeding of Institute of Civil Engineers.** UK. Vol. 162.

[5] Chai, J. C., and Pongsivasathit S., 2010. A method for calculating consolidation settlements of floating column improved clayey subsoil. **Frontiers of Architecture and Civil engineering in China.** 4(2) : 241-251.

[6] Igaya. Y., Hino. T., and Chai. J.C., 2010. Behavior of trial embankments and the results of environmental monitoring for the Ariake sea coastal road project. **Proc.7th International Symposium on Lowland Technology.** Japan. : 260-271.

[7] Pongsivasathit, S., Chai, J. C. and Ding, W. Q., 2012. Consolidation Settlement of floating-column-improved soft clayey deposit. **Ground Improvement, Proceeding of Institute of Civil Engineers.** UK. p.15.

[8] Shen, S. L., Chai, J. C. and Miura, N., 2001. Stress distribution in composite ground of column-slab system under road pavement. **Proc.1st Asian-Pacific Congress on Computational Mechanics.** Elsevier Science Ltd. : 485-490.