

# ห้องที่ 2:

## วิศวกรรมศาสตร์ (2)

## การพยากรณ์สภาพน้ำหลาภพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนล่างโดยแบบจำลอง MIKEFLOOD FLOOD FORECASTING IN THE LOWER CHI RIVER BASIN USING MIKEFLOOD

วรรณชนะ อําห่วง, วรรณดี ไทยสยาม  
ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
E-mail: wantana.um@ku.th, fengwdt@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

พื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนล่างมักประสบปัญหาอุทกภัยในฤดูน้ำหลากเป็นประจำทุกปี ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมล้นตลิ่งเข้าท่วมบ้านเรือนรายถู่ พื้นที่ทำการเกษตร และพื้นที่เศรษฐกิจทั้งสองฝั่งตลอดริมฝั่งแม่น้ำชี ในการศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สภาพการไหลของน้ำหลาภพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนล่างหน้าในลุ่มน้ำชีตอนล่าง ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่สถานีวัดน้ำท่า E.95 อ.เชียงขวัญ จ.ร้อยเอ็ด จนถึง สถานีวัดน้ำท่า E.98 อ.ท่องใน จ.อุบลราชธานี โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ผลการศึกษาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n ของลำน้ำชี อยู่ในช่วง  $0.025 - 0.030$  และพื้นที่ทุ่งน้ำท่วมมีค่าเท่ากัน  $0.065$  และจากการศึกษาฟังก์ชันการพยากรณ์ ระดับน้ำล่วงหน้า พบว่าฟังก์ชันที่ให้ความถูกต้องแม่นยำในการพยากรณ์น้ำดีที่สุดคือแบบ Mixed Exponential โดยการพยากรณ์น้ำในเหตุการณ์น้ำท่วมระหว่าง วันที่ 4 – 15 กันยายน พ.ศ.2562 จะให้ผลการพยากรณ์น้ำล่วงหน้า 2 วัน 3 วัน และ 7 วัน ซึ่งมีค่าความผิดพลาดยกกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) อยู่ระหว่าง  $0.17 - 0.19$  เมตร ตามลำดับ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ได้ nok จากนี้ ได้จัดทำแผนที่น้ำท่วมโดยใช้แบบจำลอง MIKEFLOOD จากผลการทำนายระดับน้ำ ล่วงหน้าและนำไปเปรียบเทียบกับแผนที่น้ำท่วมของ GISTDA ในวันที่ 9 กันยายน 2562 พบว่าพื้นที่น้ำท่วมทั้งสองภาพมีความสอดคล้องกัน มีเบอร์เซ็นต์ความแตกต่างของพื้นที่น้ำท่วมเท่ากัน  $0.78\%$  จากผลการศึกษาจะได้รับแบบจำลองสามารถใช้ประกอบการบริหารจัดการน้ำและเตือนภัยน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนล่าง สามารถช่วยบรรเทาและลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในอนาคตได้

**คำสำคัญ:** การพยากรณ์น้ำท่วม, แบบจำลอง MIKE FLOOD, ลุ่มน้ำชีตอนล่าง

### ABSTRACT

The Lower Chi River basin was suffered from flood in rainy season every year. As a result, municipal area, agricultural area and economic areas were flooded in both sides along the Chi River. The purpose of this study is to analyze flow conditions and water level forecasting in the Lower Chi River Basin during flood period. The study area covers the area from runoff station E.95 Chiang Kwan District Roi Et Province to runoff station E.98 Kerchnai District Ubon Ratchathani Province using mathematical model MIKE 11. The study results showed that the Manning's n roughness coefficient of the river chi was in the range of  $0.025 - 0.030$  and the floodplain area was  $0.065$ . The results of water level forecasting function showed that the function that provided the best accuracy in water forecasting is Mixed Exponential function. It was used to forecast flood water levels

during Time of Forecast (ToF) 4 – 15 September 2019 for 2 days, 3 days, and 7 days ahead. It had a mean squared error (RMSE) between 0.17 – 0.19 m, Which, was within acceptable limits. Moreover, flood map was also performed using Mike flood model. Simulated flood map was compared with GISTDA's flood map on September 9, 2019. It was found that the flooded areas in both maps were consistent. The percentage difference in flooded areas was 0.78%. The results of the study showed that the model can be used for water management and flood warning in the lower Chi River basin. It can help alleviate and reduce future loss.

**Keywords:** Flood Forecasting, MIKE FLOOD, the Lower Chi River Basin

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

คุณน้ำซึ่งตอนล่ามมีต้นกำเนิดจากเทือกเขาเพชรบูรณ์ จังหวัดชัยภูมิ ไหลผ่านจังหวัดร้อยเอ็ด จังหวัดยโสธร และไทรบูรณ์แม่น้ำมูลที่จังหวัดอุบลราชธานี ในฤดูฝนมักจะเกิดปัญหาน้ำท่วมอยู่เป็นประจำ เนื่องจาก มีปริมาณฝนตกหนักประจำปีกับสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ ที่เป็นที่ราบลุ่ม และมีแม่น้ำหลายสายไหลมาร่วมกัน จนเกิดปริมาณน้ำท่า่เกินขีดความสามารถในการระบายน้ำของแม่น้ำซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ และการใช้ที่ดิน มีการก่อสร้างสิ่งกีดขวางทางน้ำส่งผลทำให้พื้นที่เกิดน้ำหลากรเข้าท่วมพื้นที่อย่างมากของประชาชน พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่เศรษฐกิจ อาทิเช่น ในปี พ.ศ. 2562 เกิดฝนตกหนัก มีปริมาณน้ำฝนที่ตก สะสมมากติดต่อกันจากอิทธิพลของพายุโพคุลและกาจิกิในช่วงเดือนสิงหาคม ถึง เดือนกันยายน ส่งผลทำให้ ระดับน้ำและปริมาณน้ำในแม่น้ำซึ่งเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่าที่แม่น้ำซึ่งรับไว้ได้ ทำให้เกิดน้ำไหลล้นตลิ่งเข้าท่วม บ้านเรือนรายวัน พื้นที่การเกษตร และพื้นที่เศรษฐกิจทั้งสองฝั่งตลอดริมแม่น้ำซึ่ง ได้แก่ พื้นที่อำเภอเชียงของ โพธิ์ชัย ชัยนาท เสต๊ะภูมิ ทุ่งเขาหลวง อาจสามารถ และพนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด อำเภอเมืองยโสธร คือวัง คำเขื่อนแก้ว มหาชนะชัย จังหวัดยโสธร อำเภอ กันทราราม ยางชุมน้อย จังหวัดกาฬสินธุ์ และอำเภอเขื่องใน จังหวัด อุบลราชธานี

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยที่นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อคาดการณ์ระดับน้ำ หลากร่วมหน้า สำหรับเป็นแนวทางในการบริหารจัดการน้ำ อาทิเช่น วิษุวัตtag แต่สมบัติและคิดติดพงษ์ ทองเชื้อ (2554) การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 – Data Assimilation เพื่อการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำซึ่ง ตอนบน โดยการประยุกต์ใช้ชุดของแบบจำลอง MIKE11-NAM/HD/DA ในการจำลองลักษณะทางด้านอุทกิทยา และอุทกพศาสตร์ของคุณน้ำและพยากรณ์ระดับน้ำที่เกิดขึ้นในคุณน้ำซึ่งตอนบน โดยผลการพยากรณ์ในช่วง 1 วัน 2 วัน และ 3 วันล่วงหน้า มีความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 98.85 , 97.68 และ 96.34 ตามลำดับ แบบจำลอง MIKE 11 – Data Assimilation ยังได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ย่างแพร่หลาย อาทิ เช่น พิรชาญ ภาคเศช (2564) การพยากรณ์น้ำ ท่วมในลุ่มน้ำป่าสักตอนบน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ พยากรณ์ ณ วันที่ 23 กันยายน จนถึงวันที่ 30 ตุลาคม 2553 ผลการพยากรณ์ในช่วง 2 วัน 3 วัน และ 7 วันล่วงหน้า มีค่าพิเศษดักขอกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) อยู่ ระหว่าง 0.01 – 0.20 m. อัญเชิญกันที่ที่ยอมรับได้ พงษ์รัตน์ อ่อนละมุน (2556) การศึกษาการพยากรณ์น้ำท่วมใน ลุ่มน้ำสังคโลก โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พยากรณ์ ณ วันที่ 1 จนถึงวันที่ 28 กันยายน 2547 ผลการพยากรณ์ในช่วง 1 วัน 2 วัน และ 3 วันล่วงหน้า มีความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 99.23 , 99.07 และ 99.01 ตามลำดับ และสิทธิ์ ใจดี อาชวิกิจ โภศล.(2562) การศึกษาการพยากรณ์น้ำหลากรในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลตอนล่าง พยากรณ์ในเหตุการณ์อุทกภัยปี พ.ศ .2562 พยากรณ์ ณ วันที่ 8 กันยายน ไปล่วงหน้า 7 วัน โดยแบ่งเป็น 2 กรณี

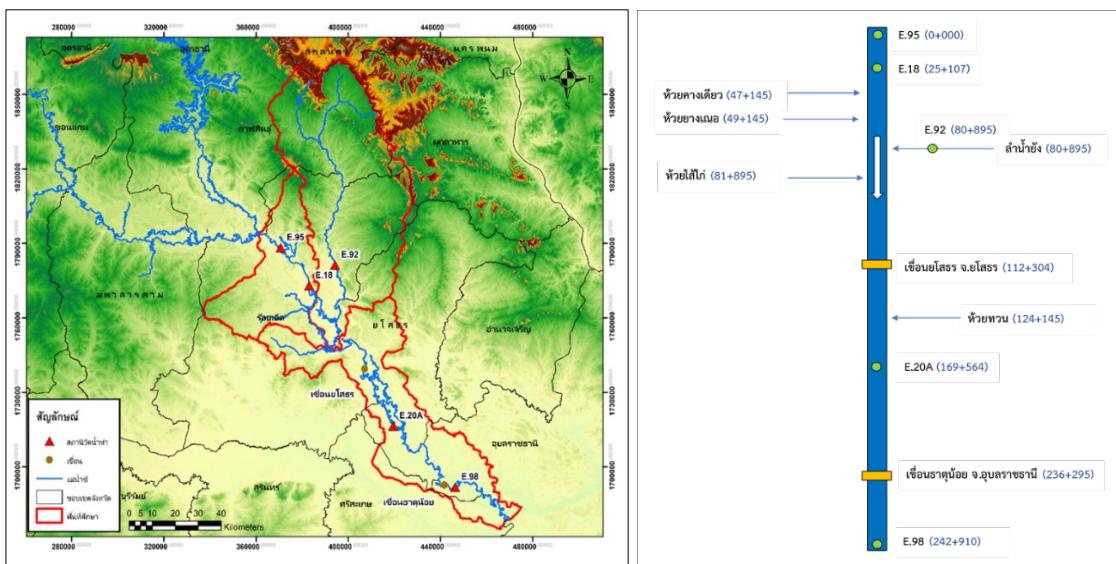
1. กรณีพยากรณ์เมื่อไม่มีฝนตก และ 2. กรณีพยากรณ์เมื่อมีฝนตก พบว่าผลการพยากรณ์ในกรณีที่ 2 มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าในกรณี 1 โดยกรณีที่ 2 มีผลการพยากรณ์ในช่วง 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน ล่วงหน้า มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.02, 0.04 และ 0.07 เมตร ตามลำดับ และในกรณีที่ 1 มีผลการพยากรณ์ในช่วง 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน ล่วงหน้า มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.05, 0.12 และ 0.19 เมตร ตามลำดับ จากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบริหารจัดการน้ำหลักและการณ์ระดับน้ำล่วงหน้า มีค่าความแม่นยำในการคาดการณ์ระดับน้ำอยู่ในระดับดีมาก สามารถช่วยบรรเทาและลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในอนาคตได้

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองสภาพทางอุทกศาสตร์และสภาพการไหลในลุ่มน้ำชีตอนล่าง เพื่อพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าโดยใช้แบบจำลอง MIKE 11 และจัดทำแผนที่น้ำท่วมในพื้นที่ศึกษาโดยใช้แบบจำลอง MIKEFLOOD และนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้เพื่อเตือนภัยน้ำหลักในพื้นที่ศึกษาต่อไป

## 2. พื้นที่ศึกษาและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

### 2.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษารอบคลุ่มแม่น้ำชีตั้งแต่สถานีวัดน้ำท่า E.95 อำเภอเชียงของ จังหวัดร้อยเอ็ด จนถึง สถานีวัดน้ำท่า E.98 อำเภอเชื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี มีความยาวประมาณ 243 กิโลเมตร มีลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่ มีลักษณะเป็นที่ราบลุ่มต่ำสลับซับซ้อนของสันดินริมน้ำ เป็นแนวแคนฯ ไปตามแม่น้ำชี มีความสูงจากน้ำทะเลปานกลางประมาณ 125 – 150 เมตร มีความลาดชัน 1 – 5% ลั่น้ำสาขาในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยลั่น้ำชั้ง ห้วยค่างเดียว ห้วยยางเงือ ห้วยไส้ไก่และห้วยทวน ดังแสดงในแผนภาพที่ 1 และภาพโครงข่ายลำน้ำดังแสดงในแผนภาพที่ 2 โดยปัญหาอุทกภัยที่เกิดในพื้นที่ส่วนใหญ่จะเกิดในบริเวณพื้นที่ราบลุ่มน้ำบริเวณแม่น้ำชี ซึ่งไอลันต์สองฝั่ง ลั่น้ำเข้าท่วมพื้นที่บางส่วนของจังหวัดร้อยเอ็ด บ.โซธ และอุบลราชธานี เนื่องจากมีปริมาณฝนที่ตกหนักในพื้นที่ ลุ่มน้ำ ทำให้เกิดปริมาณน้ำหลักของลุ่มน้ำมากเกินขีดความสามารถในการระบายน้ำของแม่น้ำ ประจำกับลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา เป็นที่ราบลุ่มมีความลาดชันต่ำ และมีการสร้างอาคารกีดขวางทางน้ำ ส่งผลทำให้เกิดน้ำหลักล้นตลั่งของแม่น้ำ



แผนภาพที่ 1 สภาพภูมิประเทศและข้อมูลลุ่มน้ำบริเวณ

แผนภาพที่ 2 โครงข่ายลำน้ำในพื้นที่ศึกษา

## 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับข้องและแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

### 2.2.1 แบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า (Rainfall – Runoff Model, MIKE 11 NAM)

เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่จำลองกระบวนการน้ำฝน-น้ำท่าที่เกิดขึ้นในระดับลุ่มน้ำ (Catchment) และเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ของแบบจำลองระบบแม่น้ำ (River System) ในแบบจำลองการไหล (MIKE11 HD) ซึ่งวิธีการแปลงน้ำฝนเป็นน้ำท่าของแบบจำลอง จะเป็นการเลียนแบบวิจัยทางอุทกวิทยาบนพื้นดิน

### 2.2.2 แบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamic Model, MIKE 11 HD)

แบบจำลองที่จำลองพฤติกรรมการไหลของน้ำในแม่น้ำและพื้นที่ริมฝั่งแม่น้ำ แบบ 1 มิติ ภายใต้ ข้อมูลของเขตและข้อมูลทางกายภาพของลำน้ำ ซึ่งผลการคำนวณจะให้ค่าระดับน้ำและอัตราการไหลในทุกตำแหน่งของแม่น้ำ โดยหลักการสำคัญในการคำนวณทางคลาสตร์ของการไหลในลำน้ำมีทฤษฎีที่สำคัญ 2 ข้อ คือ

- 1) กฎทรงมวล หรือสมการต่อเนื่อง

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

- 2) กฎของแรงกระทำหรือสมการโมเมนตัม

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} + \left( g \frac{A}{B} - \frac{Q^2}{A^2} \right) \frac{\partial A}{\partial x} + gA(S_f - S_0) = 0 \quad (2)$$

โดยที่  $Q$  คือ ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที),  $A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของการไหล (ตร.ม.),  $t$  คือ เวลา (วินาที),  $X$  คือระยะทาง (เมตร),  $B$  คือ ความกว้างของลำน้ำ (เมตร),  $g$  คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (เมตร/วินาที<sup>2</sup>),  $S_f$  คือความลาดเอียงของเส้นพลังงาน,  $S_0$  คือ ความลาดเอียงของพื้นคล้อง

### 2.2.3 แบบจำลองพยากรณ์น้ำ (Flood Forecasting Model, MIKE 11 DA)

แบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ระดับน้ำ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของลำน้ำ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลองปริมาณน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Model) และแบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamic Model) ตามที่ได้ทำการสอบเทียบแบบจำลองจนเป็นที่ยอมรับแล้ว และข้อมูลระดับน้ำที่สถานีวัดน้ำท่า มาจัดทำแบบจำลองพยากรณ์น้ำ โดยแบบจำลองจะใช้สมการ Linear error forecasting model ในการพยากรณ์ความคาดเคลื่อนของแบบจำลอง ดังนี้

$$\varepsilon_k = \alpha \varepsilon_{k-1} \quad (3)$$

โดยที่  $\varepsilon_k$  คือ ค่าความคาดเคลื่อนที่คาดว่าจะเกิด,  $\varepsilon_{k-1}$  คือ ค่าความคาดเคลื่อนที่เคยเกิด และ  $\alpha$  คือค่าสัมประสิทธิ์ โดยการพยากรณ์จะต้องแบ่งช่วงเวลาเป็น 2 ช่วงคือช่วงเวลา ก่อนการพยากรณ์และช่วงเวลา การพยากรณ์น้ำล่วงหน้า ซึ่งก่อนการนำข้อมูลก่อนการพยากรณ์ไปพยากรณ์จะต้องมีการปรับค่าความคาดเคลื่อน ก่อนเพื่อทำให้ผลการพยากรณ์น้ำมีความแม่นยำมากขึ้น เรียกว่า Update Process โดยแบบจำลองจะมีฟังก์ชันในการปรับค่าความคาดเคลื่อน ณ ตำแหน่งที่มีการ Update process มีทั้งหมด 3 แบบ คือ

1. แบบ Constant เป็นการแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในตำแหน่งตรวจวัด (Update Location) จะเป็นการแก้ไขแบบกระจายกันอย่างสม่ำเสมอเท่ากันผ่านจุดระหว่าง จุด Lower และ จุด Upper

2. แบบ Triangular เป็นการแก้ไขข้อผิดพลาด โดยจะเป็นการลดลงเชิงเส้นจากตำแหน่งตรวจวัด (Update Location) ไปเป็น 0 ที่จุด Lower และจุด Upper คล้ายรูปสามเหลี่ยม

3. แบบ Mixed exponential เป็นการแก้ไขข้อผิดพลาด โดยลดลงตามฟังก์ชันเลขเชิงกำลังจากตำแหน่งตรวจ (Update Location) ไปเป็น 0 ที่จุด Lower และจุด Upper

#### 2.2.4 แบบจำลอง MIKE FLOOD

แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองสร้างแผนที่การเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ได้อย่างเสมือนจริง โดยใช้มุมมองการไหลแบบ 1 มิติ และ 2 มิติ เข้าด้วยกัน สามารถทำได้ใน 2 ลักษณะ คือ (1) Standard Links คือเชื่อมต่อกริด 2 มิติ กับปลายลำน้ำ 1 มิติ เพื่อให้น้ำไหลเข้า-ออกระหว่างลำน้ำและกริดได้ (2) Lateral Links คือเชื่อมต่อกริด 2 มิติ ตามแนวด้านข้างช่วงลำน้ำเพื่อให้น้ำไหลลั่นเข้า-ออก ระหว่างลำน้ำและกริดได้

#### 2.2.5 เกณฑ์การตัดสินแบบจำลอง

ในการศึกษานี้จะใช้สถิติทางคณิตศาสตร์เป็นเกณฑ์ในการสอบเทียบความเข้ากันได้ของข้อมูลที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจจากสถานีวัดน้ำท่า จำนวน 3 ตัวแปร คือ

2.2.5.1 สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination,  $R^2$ ) เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) กับตัวแปรตาม (Dependent Variable) ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และสัมพันธ์กันอย่างไร

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^N (Q_{ci} - \bar{Q}_c)(Q_{oi} - \bar{Q}_o)]}{\sqrt{[\sum_{i=1}^N (Q_{ci} - \bar{Q}_c)^2][\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2]}} \quad (4)$$

2.2.5.2 รากที่สองของความผิดพลาดยกกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) เป็นการวัดความแม่นยำของค่าเฉลี่ยผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีหน่วยเดียวกับกำลังสองของหน่วยวัดของค่าตรวจวัด

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_c)^2} \quad (5)$$

2.2.5.3 ความคลาดเคลื่อนของค่าสมดุลน้ำท่าสะสม Water Balance Error (WBL) เป็นการหาความคลาดเคลื่อนของปริมาณน้ำท่าที่สะสมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าสะสมตรวจวัด

$$WBL = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{ci} - \sum_{i=1}^N Q_{oi}}{\sum_{i=1}^N Q_{oi}} \times 100 \quad (6)$$

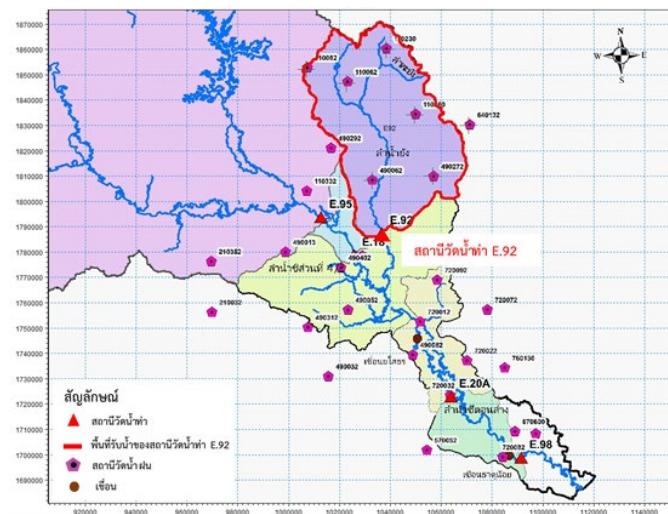
โดยที่  $Q_{oi}$  คือ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดที่เวลา  $i$ ,  $\bar{Q}_c$  คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด,  $Q_{ci}$  คือ ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองที่เวลา  $i$ ,  $\bar{Q}_c$  คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง และ  $N$  คือ จำนวนข้อมูล

### 3. วิธีดำเนินการวิจัย

1) เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดทำ สอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลอง จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา กรมแผนที่ทหาร สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ กรมพัฒนาที่ดิน และ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ประกอบด้วย แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ช่วงปี พ.ศ.2553 - 2563 จำนวน 30 สถานี ข้อมูลปริมาณการระบายน้ำจากสถานีตรวจวัดอากาศ ช่วงปี พ.ศ. 2553 - 2563 จำนวน 4 สถานี ข้อมูลอัตราการไหลรายวันและระดับน้ำรายวัน ของสถานีวัดน้ำท่า ช่วงปี พ.ศ.2553 - 2563 จำนวน 5 สถานี ข้อมูลระดับน้ำด้านหนึ่งน้ำและท้ายน้ำ ระยะเปิด-ปิดบาน

รายวันของเขื่อน ช่วงปี พ.ศ. 2553 - 2563 จำนวน 2 แห่ง ข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำของแม่น้ำชีในช่วงพื้นที่ศึกษา จำนวน 72 หน้าตัด ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) (ความละเอียดของ ชุดภาพ 5 เมตร x 5 เมตร) ปีพ.ศ.2558 และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแผนที่น้ำท่วมในวันที่ 9 กันยายน พ.ศ.2562

- ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน ด้วยวิธีเส้นโถงทวี (double mass curve method)
  - จัดทำแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (RAINFALL – RUNOFF MODEL , MIKE 11 NAM) เลือกใช้สถานี E.92 ซึ่งตั้งอยู่ในลุ่มน้ำยัง ลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำชีตอนล่างเพื่อจำลองสภาพทางอุทกวิทยา ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยใช้ข้อมูลน้ำฝน-น้ำท่าปี พ.ศ. 2560 ถึง 2561 ในการสอบเทียบแบบจำลอง และข้อมูลปี พ.ศ. 2554 ในการตรวจสอบแบบจำลอง ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองจนกว่าทั้งสองจะมีความ согласกัน ผ่านเกณฑ์ทางสถิติกนิตศาสตร์  $R^2$  และ WBL ที่ยอมรับได้ ซึ่งพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยาที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองนี้ จะนำไปใช้กำหนดเป็นพารามิเตอร์เบื้องต้นของลุ่มน้ำย่อยอื่นๆ ที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า



แผนภาพที่ 3 พื้นที่รับน้ำของสถานีวัดน้ำท่า E.92 ในพื้นที่ลุ่มน้ำยัง

- 4) จัดทำแบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamic Model ,MIKE 11 HD) การจัดทำโครงสร้างลำน้ำและรูปตัดขวางของแบบจำลองสภาพการไหล (MIKE 11 HD) ดังแผนภาพที่ 2 ประกอบด้วย เส้นไฮดานาโน้น้ำเป็นปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า E.95 และเส้นไฮดาน้ำเป็นระดับน้ำที่สถานีวัดน้ำท่า E.98 และนำเข้าข้อมูลอาかるบังคับน้ำ คือเขื่อนไฮดรัล จังหวัดไฮดรัล และเขื่อนชาตุน้อย จังหวัดอุบลราชธานี ลงในแบบจำลองสภาพการไหล สอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองสภาพการไหล (MIKE11HD) ที่สถานีวัดน้ำท่า E.18 และ E.20A โดยใช้ข้อมูลน้ำฝน-น้ำท่า ปี พ.ศ. 2561-2562 ในการสอบเทียบ และข้อมูลน้ำฝน-น้ำท่าของปี พ.ศ. 2559-2560 ในการตรวจสอบแบบจำลอง ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และค่าสมประสิทธิ์ความรุนแรงของห้องน้ำ (Manning's n) ในแบบจำลองจนกว่าค่าทั้งสองจะมีความใกล้เคียงกัน ผ่านเกณฑ์ทางสถิติกิจิตศาสตร์  $R^2$  และ RMSE ที่ยอมรับได้

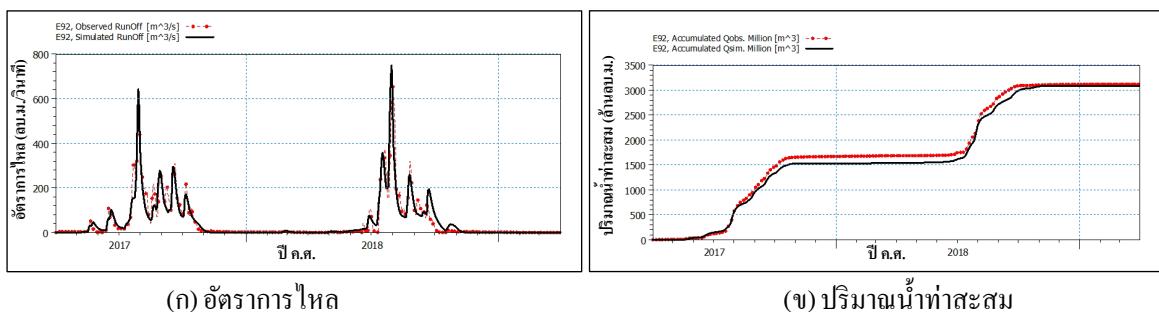
- 5) จัดทำแบบจำลองพยากรณ์น้ำ (Flood Forecasting Model) ปรับค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลก่อนพยากรณ์ (update process) โดยใช้จุด Update ที่สถานีวัดน้ำท่า E.18 และ E.20A ทำการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 7 วัน และทำการเปรียบเทียบฟังก์ชันสำหรับการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าของแบบจำลอง MIKE11DA ทั้ง 3 แบบ คือ 1. แบบ Constant 2. แบบ Triangular และ 3. แบบ Mixed exponential เพื่อหาฟังก์ชันที่ให้ความคลาดเคลื่อนใน

การพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าข้อยที่สุด โดยตรวจสอบความคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูลระดับน้ำที่คำนวณได้จากพังก์ชันทั้ง 3 แบบ กับค่าระดับน้ำที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำท่า E.18 และ E.20A

6) จัดทำแผนที่น้ำท่วม (Flood Map) โดยทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKEFLOOD ร่วมกับข้อมูลแบบจำลองความสูงชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) ความละเอียด 5 เมตร X 5 เมตร บริเวณพื้นที่ศึกษาจากกรมพัฒนาที่ดิน โดยในการศึกษานี้เลือกช่วงเวลาที่มีระดับน้ำสูงสุดในวันที่ 4 กันยายน 2562 ถึง วันที่ 11 กันยายน 2562 เป็นช่วงเวลาสำหรับจัดทำแผนที่น้ำท่วม (Flood Map) และทำการเปรียบเทียบแผนที่น้ำท่วมและพื้นที่น้ำท่วม กับแผนที่น้ำท่วมของ GISTDA ในวันที่ 9 กันยายน 2562 ซึ่งเป็นวันที่ GISTDA มีข้อมูล

#### 4. ผลการวิจัย

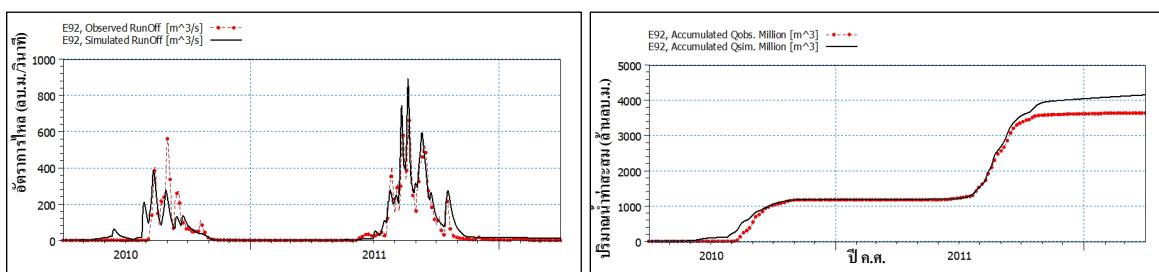
1) ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (MIKE11NAM) ที่สถานีวัดน้ำท่า E.92 ซึ่งตั้งอยู่ในถุนน้ำแข็ง ด้วยข้อมูลปี พ.ศ.2560 - 2561 มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.949 และค่า WBL เท่ากับ 0.20 % ส่วนผลการตรวจสอบแบบจำลอง ด้วยข้อมูลปี พ.ศ.2553 - 2554 มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.915 และค่า WBL เท่ากับ -15.30 % ซึ่งผลการคำนวณกับผลการตรวจสอบมีความสอดคล้องกัน โดยอัตราการไหลที่ได้จากการแก้ไขแบบจำลองมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังแสดงแผนภาพที่ 4 และแผนภาพที่ 5 ตามลำดับ



(ก) อัตราการไหล

(ข) ปริมาณน้ำท่าสะสม

แผนภาพที่ 4 ผลการสอบเทียบอัตราการไหลแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (MIKE11NAM) ที่สถานีวัดน้ำท่า E.92



(ก) อัตราการไหล

(ข) ปริมาณน้ำท่าสะสม

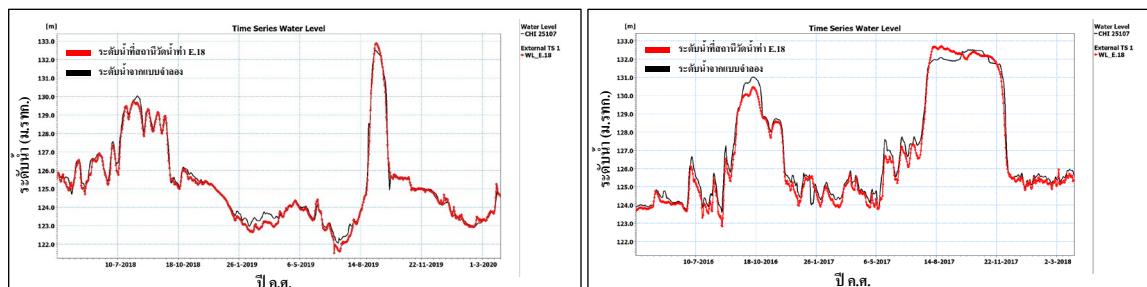
แผนภาพที่ 5 ผลการตรวจสอบอัตราการไหลแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (MIKE11NAM) ที่สถานีวัดน้ำท่า E.92

2) ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองสภาพการไหล (MIKE11HD) ที่สถานีวัดน้ำท่า E.18 และ E.20A เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความรุนแรง (Manning's n) ของลำน้ำชีตตอนล่าง และคงไว้ในแสดงในตารางที่ 1 แผนภาพที่ 6 และแผนภาพที่ 7 ตามลำดับ และจากแผนภาพที่ 6 และ แผนภาพที่ 7 พบร่วมแบบจำลอง MIKE11HD ให้ผลการคำนวณระดับน้ำต่ำกว่าระดับน้ำที่ตรวจวัดทั้งสองสถานี โดยเฉพาะในช่วงน้ำหลักสูงสุด อาจเกิด

เนื่องจากแบบจำลอง MIKE11HD เป็นแบบจำลองหนึ่งมิติ การใส่หน้าตัดด้านข้างของลำน้ำทั้งสองฝั่งต่อระดับที่คำนวณในแบบจำลอง ซึ่งอาจไม่สอดคล้องต่อสภาพพื้นที่จริง แต่ทั้งนี้พบว่าแบบจำลองสามารถคำนวณช่วงเวลาของการเกิดน้ำหลักได้ค่อนข้างแม่นยำ ค่าสัมประสิทธิ์ความบรุษะ(Manning's n) ที่ได้จากการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองสภาพการไหล(MIKE11HD) มีค่า 0.025-0.030 และ 0.065 สำหรับช่วงการไหลในลำน้ำ และทุ่งน้ำท่วมตามลำดับ

**ตารางที่ 1** ผลการสอบเทียบและตรวจสอบอัตราการไหลในแบบจำลองสภาพการไหล (MIKE11HD)

จุดพิจารณา	การสอบเทียบ (Calibration)			การตรวจสอบ (Verification)		
	R <sup>2</sup>	RMSE	ปี (พ.ศ.)	R <sup>2</sup>	RMSE	ปี (พ.ศ.)
สถานี E.18	0.994	0.27	2561 - 2562	0.993	0.43	2559 - 2560
สถานี E.20A	0.990	0.38	2561 - 2562	0.991	0.39	2559 - 2560

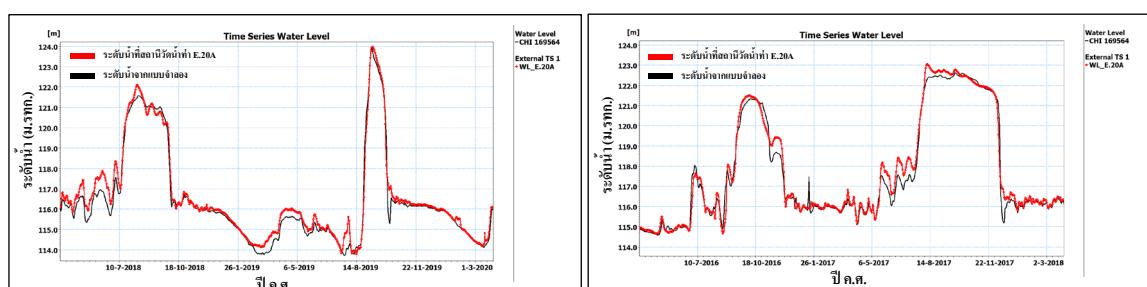


(ก) สอบเทียบระดับน้ำ

(ข) ทวนสอบระดับน้ำ

แผนภาพที่ 6 ผลการเปรียบเทียบระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองสภาพการไหลที่ (MIKE11HD)

กับระดับน้ำตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.18



(ก) สอบเทียบระดับน้ำ

(ข) ทวนสอบระดับน้ำ

แผนภาพที่ 7 ผลการเปรียบเทียบระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองสภาพการไหลที่ (MIKE11HD)

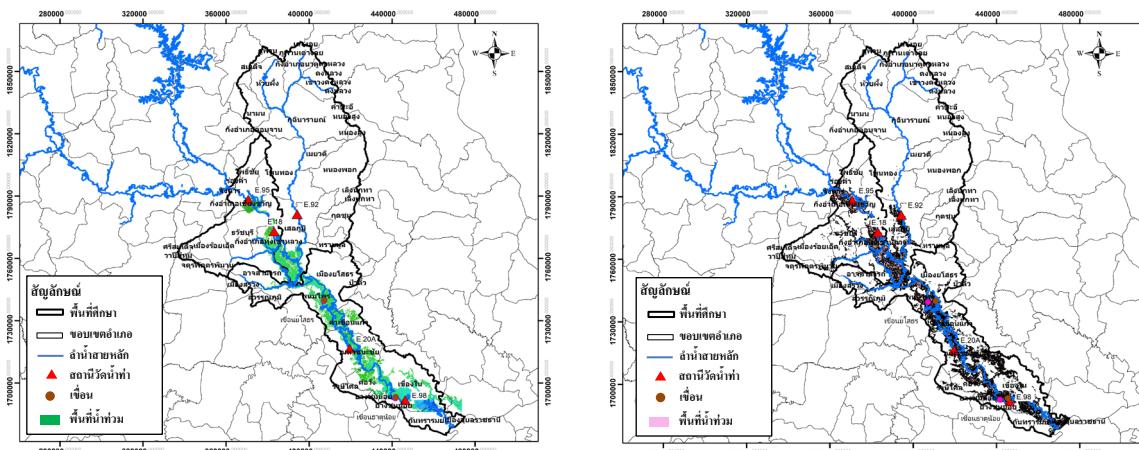
กับระดับน้ำตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A

3) ผลการศึกษาฟังก์ชันของแบบจำลองพยากรณ์น้ำ (MIKE11DA) ที่สถานีวัดน้ำท่า E.18 และ E.20A โดยทำการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 7 วัน จำนวน 5 ครั้ง พยากรณ์ ณ วันที่ 4 วันที่ 5 วันที่ 6 วันที่ 7 และวันที่ 8 กันยายน 2562 พบว่าฟังก์ชันที่ให้ความถูกต้องแม่นยำในการพยากรณ์น้ำคือที่สุดคือแบบ Mixed Exponential ดังแสดงค่ารายที่สองของความผิดพลาดยกกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของฟังก์ชัน Mixed Exponential ที่การพยากรณ์น้ำล่วงหน้า 2 วัน 3 วัน และ 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า E.18 และ E.20A ได้ในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2 ค่ารากที่สองของความผิดพลาดยกกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของฟังก์ชัน Mixed Exponential ที่การพยากรณ์น้ำล่วงหน้า 2 วัน 3 วัน และ 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า E.18 และ E.20A**

จุดพิจารณา	RMSE		
	2 วัน	3 วัน	7 วัน
สถานี E.18	0.17	0.23	0.19
สถานี E.20A	0.12	0.12	0.19

4) ผลการขัดที่มีแผนที่น้ำท่วม ได้เบริร์บเทียบแผนที่น้ำท่วมจากแบบจำลอง MIKE FLOOD กับแผนที่น้ำท่วมจาก GISTDA ในวันที่ 9 กันยายน พ.ศ.2562 พบว่าแผนที่น้ำท่วมทั้งสองภาพมีความสอดคล้องกัน ลักษณะการเกิดอุทกภัยเป็นลักษณะน้ำเอ่อล้นตลิ่ง ดังแสดงในแผนภาพที่ 8 โดยในส่วนของพื้นที่น้ำท่วมบริเวณริมสองฝั่งแม่น้ำซึ่งจากแบบจำลอง MIKEFLOOD มีค่าเท่ากับ 905.76 ตร.กม. และในส่วนของพื้นที่น้ำท่วมบริเวณริมสองฝั่งแม่น้ำซึ่งจากภาพถ่ายทางอากาศของ GISTDA มีค่าเท่ากับ 898.71 ตร.กม. ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าแบบจำลองสามารถพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าและพื้นที่น้ำท่วมได้ค่อนข้างแม่นยำ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการเตือนภัยพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำหลาคลื่นไปได้



(ก) แผนที่น้ำท่วมจากแบบจำลอง MIKE FLOOD

(ข) แผนที่น้ำท่วมในวันที่ 9 กันยายน 2562 ของสำนักงาน

พัฒนาเทคโนโลยีอาชญาและภัยมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

แผนภาพที่ 8 แผนที่น้ำท่วมของพื้นที่ศึกษาในวันที่ 9 กันยายน 2562

## 5. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาเพื่อวิเคราะห์สภาพการไหลของน้ำหลาคลื่นและพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าในคุณน้ำซึ่งตอนล่างครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่สถานีวัดน้ำท่า E.95 อ.เชียงขวัญ จ.ร้อยเอ็ด จนถึง สถานีวัดน้ำท่า E.98 อ.เขื่องใน จ.อุบลราชธานี โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถจำลองสภาพทางอุทกวิทยาแบบจำลองสภาพการไหล และแบบจำลองพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า ให้ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับผลการตรวจวัดในสนาม นอกจากนี้ยังพบว่าฟังก์ชันการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษานี้ได้แก่ วิธี Mixed Exponential ทั้งนี้เมื่อนำผลการพยากรณ์ระดับน้ำมาจัดทำแผนที่น้ำท่วมของพื้นที่ศึกษา พบว่ามีความสอดคล้องกับพื้นที่น้ำท่วมจริงในที่ได้จากการถ่ายทางอากาศ จากผลการศึกษาดังกล่าว สามารถนำ

แบบจำลองที่ได้จากการศึกษาไปวิเคราะห์สภาพการไหลและพยากรณ์น้ำหลักในพื้นที่ศึกษา เพื่อวางแผนบริหารจัดการน้ำหลัก และวางแผนเดือนกันยายนที่ได้รับผลกระทบเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อไปได้

## 6. ข้อเสนอแนะ

7.1 แบบจำลองพยากรณ์น้ำที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับการพยากรณ์ข้อมูลฝนโดยแบบจำลองสภาพภูมิอากาศของหน่วยงานต่างๆ เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ จะทำให้การพยากรณ์ระดับน้ำได้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น เพื่อนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจในการแจ้งเตือนภัยให้กับประชาชน เพื่อบรรเทาและลดความเสียหายอันเนื่องมาจากเหตุการณ์อุทกภัยในบริเวณลุ่มน้ำชีตอนล่างได้

7.2 ควรมีการสำรวจข้อมูลรูปตัดล้ำน้ำให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น เพื่อทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

7.3 หากมีข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีความละเอียดสูงกว่าที่ใช้ในการศึกษานี้ จะทำให้ขนาดกริดในการคำนวณมีความละเอียดมากยิ่งขึ้น จะส่งผลให้แผนที่น้ำท่วมที่ได้มีความละเอียดและถูกต้องมากยิ่งขึ้น

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณหน่วยงานกรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา กรมแผนที่ทหาร สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอาชญากรรมสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการทำวิจัยนี้เป็นอย่างดี

## 8. เอกสารอ้างอิง

กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2563). โครงการวางแผนผังการระบายน้ำจังหวัดในลุ่มน้ำชี. กรุงเทพมหานคร นุชナル ศรีวงศิตานันท์. (2556). อุทกวิทยาชั้นสูง Advance Hydrology. กรุงเทพมหานคร:

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พงษ์รัตน์ อ่อนละมุน. (2556). การศึกษาการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำสังคม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิชาการชลประทาน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิรชาญ ภาคเดช. (2564). การศึกษาการพยากรณ์น้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนล่าง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการทรัพยากรน้ำ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิชัยวัตถ์ แต่สมบัติและกิตติพงษ์ ทองเชื้อ. (2554). การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 – Data Assimilation เพื่อการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำชีตอนบน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16 มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม.

วีระพล แต่สมบัติ. (2528). หลักอุทกวิทยา. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์สิกส์เซ็นเตอร์.

วีระพล แต่สมบัติ. (2531). อุทกวิทยาประยุกต์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สิกส์เซ็นเตอร์.

สิทธิโชค อาชวากิจ โภศด. (2562). การศึกษาการพยากรณ์น้ำหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำน่ายลตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการชลประทาน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

DHI Water Environment and Health. (2007). MIKE11-A Modelling System for Rivers and Channels, Reference Manual : DHI Denmark.

## การศึกษาพื้นที่น้ำท่วมในลำน้ำชีเขตจังหวัดขอนแก่น

THE FLOOD AREA STUDY IN CHI RIVER BASIN,

KHONKAEN PROVINCE AREA

ครุฑ์ โสดาลี, วรรณดี ไทยสยาม

ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: sarutsodalee@gmail.com, fengwdt@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

พื้นที่อ่างเก็บเมืองจังหวัดขอนแก่นเกิดปัญหาน้ำท่วมน้ำที่มากในฤดูน้ำหลากทุกปี สาเหตุเกิดการเกิดปัญหาน้ำท่วมเกิดจากปริมาณฝนตกหนัก สภาพภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบลุ่ม และมีแม่น้ำหลายสายไหลมาร่วมกันจนเกิดปริมาณน้ำท่ามกลางน้ำ ปัญหาความจุของลำน้ำ รวมถึงมีการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและการใช้ที่ดิน ส่งผลให้เกิดปริมาณน้ำหลอกที่มากขึ้นและไหลเข้าท่วมพื้นที่อยู่อาศัยของประชาชน พื้นที่เกย์ตระรรรมและพื้นที่เศรษฐกิจ การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมตามรอบปีการเกิดช้า พื้นที่ศึกษารอบคลุ่มพื้นที่ดังแต่สถานีวัดน้ำท่า E.9 แม่น้ำชี บ้านท่านวงเดือน อำเภอชนบท จังหวัดขอนแก่น ลึกลงสถานีวัดน้ำท่า E.8A แม่น้ำชี บ้านดินคำ อ่างเก็บเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 เพื่อจำลองสภาพน้ำหลอกในพื้นที่ศึกษาในรอบปีการเกิดช้า 25 ปี 50 ปี และ 100 ปี จากผลการศึกษาพบว่า พนบว่าพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของลุ่มน้ำชีเขตจังหวัดขอนแก่นในรอบปีการเกิดช้า 25 ปีขึ้นไป มีพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมได้แก่ อ่างเก็บเมืองของอนแก่น อ่างเก็บมัญจาครี อ่างเก็บบ้านแอด อ่างเก็บชนบท อ่างเก็บบ้านไผ่ และอ่างเก็บพระยืน และผลการวิเคราะห์ น้ำท่วมที่ในรอบปีการเกิดช้า 100 ปี พนบว่าจะมีพื้นที่น้ำท่วมรวม 274.83 ตารางกิโลเมตร ผลการศึกษาสามารถนำไปเป็นข้อมูลเพื่อกำหนดมาตรการบรรเทาอุทกภัยสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำชีในเขตจังหวัดขอนแก่นต่อไปได้

คำสำคัญ: แบบจำลอง MIKE FLOOD, แผนที่น้ำท่วม, ลุ่มน้ำชี

### ABSTRACT

Mueang District in Khon Kaen Province has consistently experienced significant floods throughout the flood season due to the lowland topography, the intersection of main river, and excessive rainfall, exceeds the drainage capacity in the area. More flooding is being caused by the current inadequate river capacity, climate change, and land use. The purpose of this study is to assess flood-risk areas based on selected return periods. The investigation region is ranged from the E.9 Water Level Monitoring Station; Chi River; Ban Thananglean Village; Chonnabot District; to E.8A Water Level Monitoring Station; Chi River; Ban Dindam Village; Mueang District; Khon Kaen Province and in order to simulate the flooding conditions in the exploration areas over periods of 25, 50, and 100 return periods, the MIKE 11 mathematical model was used. The findings showed that

Mueang Khon Kaen District, Mancha Khiri District, Ban Haet District, Chonnabot District, Ban Phai District, and Phra Yuen District are over 25 return period flooding risk areas near the Chi River in Khon Kaen Province. The overall flooding area would be 274.83 square kilometers, according to the analysis of floods over 100 recurrence years. The study outputs can be used to further determine the best way to minimize flooding in the Khon Kaen Province's locations near the Chi River.

**Keywords:** MIKE Flood Model, Flood Map, Chi River Basin, Khonkaen

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

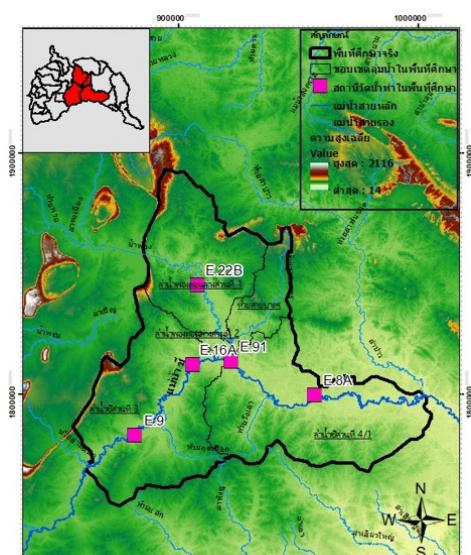
การศึกษานี้ได้จัดทำแบบจำลองคอมพิวเตอร์ MIKE 11 เพื่อจำลองสภาพอุทกิจภัยของพื้นที่ศึกษา จำลองสภาพการไหลในแม่น้ำชี และจัดทำแผนที่น้ำท่วมในพื้นที่ศึกษา โดยประกอบด้วยแบบจำลองย่อย ได้แก่ แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall – Runoff Model , MIKE 11 NAM) แบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamic

Model, MIKE 11 HD) และแบบจำลองแพนที่น้ำท่วม (MIKE FLOOD) ที่รองรับการเกิดขึ้น 25 ปี 50 ปี และ 100 ปี เพื่อให้ได้ขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมและใช้เป็นแนวทางในการป้องกันและบรรเทาภัยน้ำท่วมในพื้นที่ต่อไป

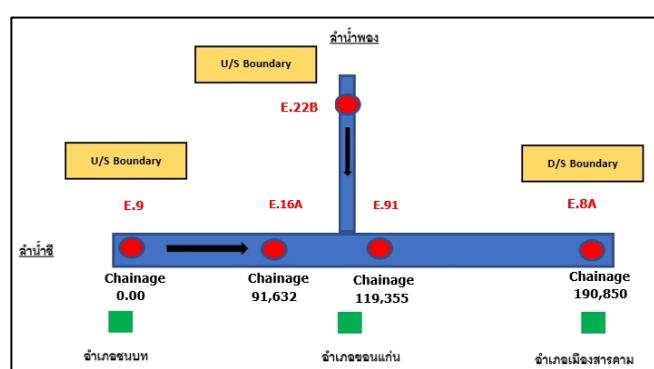
## 2. พื้นที่ศึกษาและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

## 2.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษารอบคลุ่มน้ำชีและลุ่มน้ำสาขาวังหวัดขอนแก่น ตั้งแต่สถานีวัดน้ำท่า E.9 แม่น้ำชี บ้านท่านางเดื่อ อำเภอชนบท จังหวัดขอนแก่น ถึงสถานีวัดน้ำท่า E.8A แม่น้ำชี บ้านดินคำ อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม มีความยาวประมาณ 190 กิโลเมตร มีลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นพื้นที่ร่วน มีลักษณะสูงต่ำสลับเป็นลูกคลื่นลาดเทไปทางทิศตะวันออกและทิศใต้ ลำน้ำสาขาในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยน้ำพอง หัวสาขาบรรหาร หัวยกุดเชือก และหัวง่วงเลา และเขตพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากของบริเวณพื้นที่ศึกษาคือที่อำเภอเมืองขอนแก่น อำเภอเมืองศรีสะเกษ อำเภอชนบท อำเภอปักผ้า และอำเภอพระยัน ขอบเขตพื้นที่ศึกษาแสดงดังภาพที่ 1 และภาพโครงการที่มาดำเนินการที่ 2



## ภาพที่ 1 สภาพภูมิประเทศและขอบเขตคลื่นน้ำ



## ภาพที่ 2 โครงข่ายคำนำ้ในพื้นที่ศึกษา

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

1. แบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า (Rainfall – Runoff Model, MIKE 11 NAM) เป็นแบบจำลองทางอุตสาหกรรมที่จำลองกระบวนการน้ำฝน-น้ำท่าที่เกิดขึ้นในระดับลุ่มน้ำ (Catchment) และเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ของแบบจำลองระบบแม่น้ำ (River System) ในแบบจำลองการไหล (MIKE11 HD)

2. แบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamic Model, MIKE 11 HD) ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้แบบจำลองอุทกผลศาสตร์ MIKE11 ซึ่งมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการคำนวณทางอุทกผลศาสตร์ของการไหลในน้ำคือ 1) กฎทรงมวล โดยยึดหลักว่าด้วยการไม่สูญหายไปของมวลน้ำ 2) กฎของแรงกระทำโดยหากมีแรงกระทำที่ไม่สมดุล จะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่

1) กฎทรงมวล หรือสมการต่อเนื่อง

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

2) กฎของแรงกระทำหรือสมการโโนเมนตัม

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} + \left( g \frac{A}{B} - \frac{Q^2}{A^2} \right) \frac{\partial A}{\partial x} + gA(S_f - S_0) = 0 \quad (2)$$

โดยที่  $Q$  คือ ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที),  $A$  คือ พื้นที่หน้าดitchของการไหล (ตร.ม.),  $t$  คือ เวลา (วินาที),  $X$  คือ ระยะทาง (เมตร),  $B$  คือ ความกว้างของลำน้ำ (เมตร),  $g$  คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (เมตร/วินาที<sup>2</sup>),  $S_f$  คือ ความลาดเอียงของเส้นพลังงาน,  $S_0$  คือ ความลาดเอียงของพื้นคลอง

### 3. แบบจำลอง MIKE FLOOD

แบบจำลอง MIKE FLOOD เป็นเครื่องมือที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการจำลองสภาพการเกิดน้ำท่วมที่ เชื่อมโยงการคำนวณแบบ 1 มิติ และ 2 มิติ เข้าด้วยกัน ซึ่งทำให้สามารถจำลองลักษณะการเกิดน้ำท่วมได้อย่าง เสมือนจริง แบบจำลอง MIKE FLOOD แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1D Engines และ 2D Engines

### 4. เกณฑ์การตัดสินแบบจำลอง

4.1 สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ สาหัสพันธ์ ( $R^2$ ) เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) กับตัวแปรตาม (Dependent Variable) ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และสัมพันธ์กันอย่างไร

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_c)(Q_{oi} - \bar{Q}_o)]}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (Q_{ci} - \bar{Q}_c)^2][\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2]}} \quad (3)$$

4.2 รากที่สองของความผิดพลาดยกกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{ci})^2} \quad (4)$$

4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าสมดุลน้ำท่าสะสม Water Balance Error (WBL) เป็นการหา ความคลาดเคลื่อนของปริมาณน้ำท่าที่สะสมจากการคำนวณเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าสะสมตรวจวัด

$$WBL = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{ci} - \sum_{i=1}^N Q_{oi}}{\sum_{i=1}^N Q_{oi}} \quad (5)$$

โดยที่  $Q_{oi}$  คือ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดที่เวลา  $i$ ,  $\bar{Q}_o$  คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด,  $Q_{ci}$  คือ ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองที่เวลา  $i$ ,  $\bar{Q}_{ci}$  คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง,  $N$  คือ จำนวนข้อมูล

### 3. วิธีดำเนินการวิจัย

1) การเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วยข้อมูลอุทกศาสตร์ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลรูปตัดล้ำน้ำ และ ข้อมูลสภาพภูมิประเทศที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา กรมแผนที่ทหาร สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ กรมพัฒนาที่ดินและสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ประกอบด้วย แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ช่วงปี พ.ศ.2543 - 2562 จำนวน 20 สถานี ข้อมูลปริมาณการระบายน้ำจากสถานีตรวจอากาศ ช่วงปี พ.ศ.2543 - 2562 จำนวน 1 สถานี ข้อมูล

อัตราการไหลรายวันและระดับน้ำรายวัน ของสถานีวัดน้ำท่า ช่วงปี พ.ศ.2543 - 2562 จำนวน 6 สถานี ข้อมูลอัตราการไหลรายวัน ข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำของแม่น้ำชีในช่วงพื้นที่ศึกษา จำนวน 53 หน้าตัด ข้อมูลแผนที่ความสูง เชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) (ความละเอียดของจุดภาพ 5 เมตร x 5 เมตร) และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแผนที่น้ำท่วมในช่วงเวลาเหตุการณ์น้ำท่วมปีพ.ศ.2554

2) ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน ด้วยวิธีเส้นโคลิงทวี(double mass curve method)

3) จัดทำแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (RAINFALL – RUNOFF MODEL, MIKE 11 NAM) โดยเลือกใช้สถานีวัดน้ำท่า E.23 เป็นสถานีตัวแทนเพื่อจำลองสภาพน้ำฝน-น้ำท่าในพื้นที่ศึกษา ใช้ข้อมูลน้ำฝน-น้ำท่าช่วงปี พ.ศ. 2559 ถึง 2560 สำหรับสอนเทียนแบบจำลอง และข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2552-2553 สำหรับตรวจสอบแบบจำลองพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยาที่ได้จากการสอนเทียนแบบจำลอง จะนำไปประยุกต์ใช้สำหรับจำลองสภาพน้ำฝน-น้ำท่าของคุณน้ำที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาต่อไป

4) จัดทำแบบจำลองสภาพภาระไฮโดรไดนามิก (Hydrodynamic Model ,MIKE 11 HD) โดยกำหนดขอบเขตด้านเหนือน้ำ (U/S Boundary) ที่สถานีวัดน้ำท่า E.9 และขอบเขตด้านท้ายน้ำ (D/S Boundary) ที่สถานีวัดน้ำท่า E.8A ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2 และทำการสอนเทียนและตรวจสอบแบบจำลองสภาพภาระไฮโล (MIKE 11 HD) ที่สถานีวัดน้ำท่า E.91 โดยการเปรียบเทียบความเข้ากันได้ของค่าอัตราการハイドและระดับน้ำที่คำนวณจากแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัด โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R<sup>2</sup>) และรากที่สองของความผิดพลาดยกกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error ,RMSE) เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และค่าสัมประสิทธิ์ความธุรระบบทองท้องน้ำ (Manning's n) ข้อมูลสำหรับสอนเทียนแบบจำลองใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2560-2561 และตรวจสอบแบบจำลองใช้ข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2553-2554

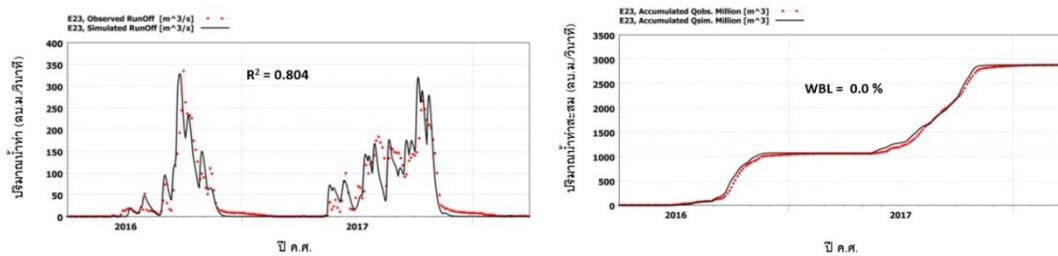
5) จัดทำแบบจำลอง MIKE FLOOD โดยทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไฮ朵 (MIKE11-HD) ที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้า นำมาร่วมกับข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) ความละเอียด 5 เมตร x 5 เมตร บริเวณพื้นที่ศึกษาจากการพัฒนาที่ดิน เพื่อจะสร้างแผนที่น้ำท่วมขึ้นมา ในการศึกษานี้ เลือกช่วงเวลาที่มีระดับน้ำสูงสุดในวันที่ 1 ตุลาคม 2554 ถึง วันที่ 5 ตุลาคม 2554 เป็นช่วงเวลาสำหรับจัดทำแผนที่น้ำท่วม (Flood Map) และทำการเปรียบเทียบแผนที่น้ำท่วมและพื้นที่น้ำท่วมจากผลการศึกษากับแผนที่น้ำท่วมของ GISTDA ในวันที่ 5 ตุลาคม 2554 ซึ่งเป็นวันที่มีระดับน้ำสูงสุดที่ GISDA มีข้อมูล

6) การประเมินปริมาณฝนที่รับปีการเกิดช้าต่างๆ โดยรวมรวมข้อมูลฝนสูงสุด 1 วัน 2 วัน 3 วัน 4 วัน และ 5 วัน ของสถานีฝนทั้ง 17 สถานีในพื้นที่ จำนวน 20 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2543 - 2562 เพื่อทำการแยกแจงความถี่ ด้วยวิธี Gumbel โดยใช้รูปแบบฟังก์ก์ต่อเนื่องกัน 5 วัน และเลือกเหตุการณ์ในช่วงวันที่ 1 ตุลาคม ถึง 5 ตุลาคม 2554 มาใช้เป็นรูปแบบของฝนที่รับปีการเกิดช้า ทั้งนี้ในส่วนของน้ำท่าจะใช้ตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นจริงสำหรับทุกรายศึกษา

7) การจำลองเหตุการณ์น้ำท่าภายในรอบปีการเกิดช้าต่างๆ ตามกรณีศึกษา ได้กำหนดกรณีศึกษาไว้ที่รอบปีการเกิดช้า 25 ปี 50 ปี และ 100 ปี เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินพื้นที่เสี่ยงหรือเป็นปืนแนวทางในการบรรเทาปัญหาอุทกภัย

#### 4. ผลการศึกษา

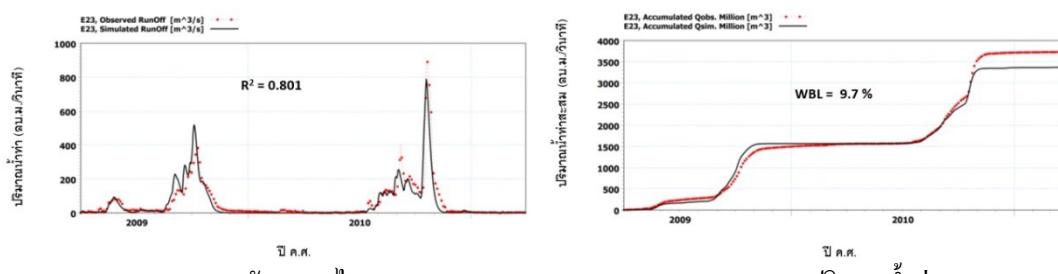
1) ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (MIKE11-NAM) ที่สถานีวัดน้ำท่า E.91 ใน การสอบเทียบใช้ข้อมูลปี พ.ศ.2559 – 2560 ได้ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.804 และค่า WBL เท่ากับ 0.00 % ส่วนผลการตรวจสอบ แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (MIKE11NAM) ด้วยข้อมูลปี พ.ศ.2552 - 2553 มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.801 และค่า WBL เท่ากับ 9.70 % ซึ่งผลการคำนวณกับผลการตรวจวัดมีความสอดคล้องกัน โดยอัตราการไหหลี่ได้จากแบบจำลองมีค่าอยู่ ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังแสดงภาพที่ 3 และภาพที่ 4 ตามลำดับ



(ก) อัตราการไหหลี่

(ข) ปริมาณน้ำท่าสะสม

ภาพที่ 3 ผลการสอบเทียบอัตราการไหหลี่แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (MIKE11-NAM) ที่สถานีวัดน้ำท่า E.23

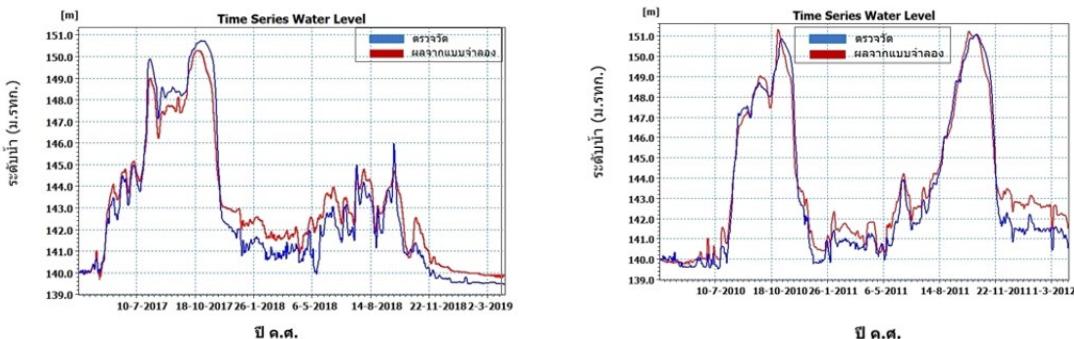


(ก) อัตราการไหหลี่

(ข) ปริมาณน้ำท่าสะสม

ภาพที่ 4 ผลการตรวจสอบอัตราการไหหลี่แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (MIKE11 NAM) ที่สถานีวัดน้ำท่า E.23

2) ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองสภาพการไหหลี่ (MIKE11-HD) ที่สถานีวัดน้ำท่า E.91 ทำการสอบเทียบระดับน้ำและอัตราการไหหลี่ในปี พ.ศ. 2560 - 2561 และตรวจสอบแบบจำลองในปี พ.ศ. 2553 - 2554 ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความธุราระ (Manning's n) ของลำน้ำ อยู่ในช่วง 0.030 – 0.035 และพื้นที่ทุ่มน้ำท่วมมีค่าประมาณ 0.050 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองแสดงในภาพที่ 5 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination,  $R^2$ ) ของการสอบเทียบ (Calibration) มีค่าเท่ากับ 0.968 และการตรวจสอบ (Verification) ของ แบบจำลองสภาพการไหหลี่มีค่าเท่ากับ 0.909 ทั้งนี้จากการตรวจสอบแบบจำลองพบว่าระดับน้ำที่ได้จาก แบบจำลองมีค่าสูงกว่าระดับน้ำที่ตรวจวัดเฉลี่ย 0.73 m. ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองเป็นการจำลองการไหหลี่แบบ 1 มิติ และมีการนำเข้ารูปตัดลักษณะที่ได้จากผลการสำรวจและต่อขยายพื้นที่น้ำท่วมด้านข้างด้วยข้อมูลแผนที่ความสูงเชิง ตัวเลข (DEM) อาจส่งผลให้ไม่สามารถจำลองพื้นที่ที่ระบบน้ำท่วมตรงตามสภาพพื้นที่จริง ได้ทั้งหมด



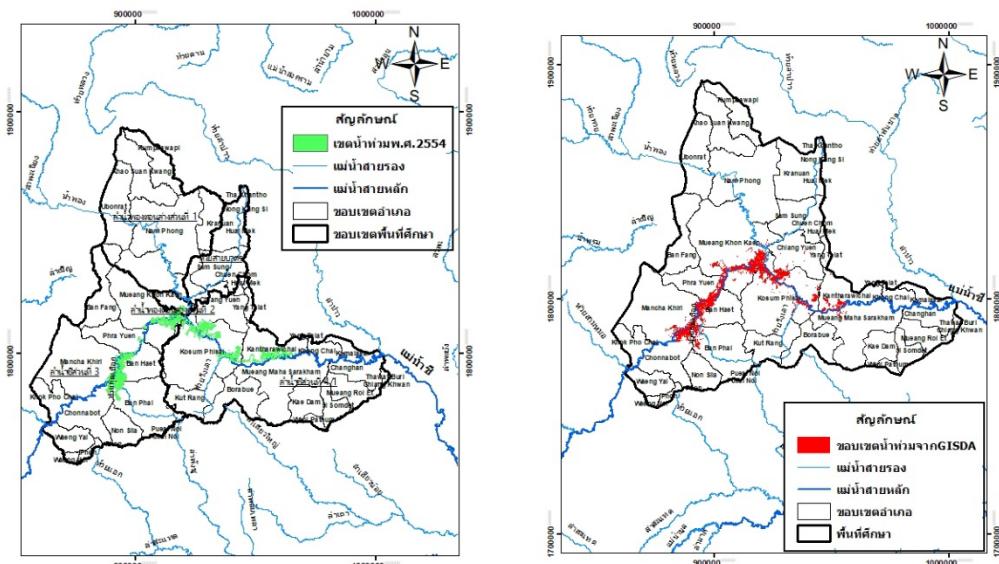
(ก) ผลการสอบเทียบระดับน้ำ

(ข) ตรวจสอบระดับน้ำ

ภาพที่ 5 ผลการเปรียบเทียบระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองสภาพการไหล(MIKE11-HD)

กับระดับน้ำตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.91

3) ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง MIKE FLOOD การตรวจสอบพื้นที่น้ำท่วม ในการศึกษานี้ได้เลือกเหตุการณ์น้ำท่วมวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ.2554 นำมาดำเนินการเปรียบเทียบระหว่างขอบเขตน้ำท่วมจากแบบจำลอง และขอบเขตน้ำท่วมจากการพยากรณ์ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) GISDA ดังแสดงในภาพที่ 6 โดยได้พื้นที่น้ำท่วมจากแบบจำลองเท่ากับ 245.01 ตร.กม. และในส่วนพื้นที่น้ำท่วมของบริเวณริมฝั่งแม่น้ำซึ่งจากการพยากรณ์ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ GISDA ที่นำมาใช้ตรวจสอบมีค่าเท่ากับ 290.18 ตร.กม. จะเห็นว่าข้อมูลแตกต่างกัน 18.46% เนื่องจากแบบจำลองจำลองพื้นที่น้ำท่วมโดยการต่อข่ายรูปตัดลำน้ำด้วยข้อมูล DEM ส่งผลให้ไม่สามารถจำลองสภาพพื้นที่น้ำท่วมได้ทั้งหมด และผลการจำลองระดับน้ำได้สูงกว่าข้อมูลวัดจริงเนื่องจากข้อมูลรูปตัดลำน้ำทำให้มีข้อจำกัดตามความขาวรุปตัดลำน้ำ แต่ในส่วนของพื้นที่น้ำท่วมจำลองกลับได้น้อยกว่าวัดจริงเพราะว่าขาดข้อมูลรูปตัดของคุณน้ำป่าอย่างทำให้ไม่สามารถจำลองข้อมูลบริเวณดังกล่าวได้



(ก) แผนที่น้ำท่วมจากแบบจำลอง

(ข) แผนที่น้ำท่วมจาก GISDA

ภาพที่ 6 ผลการเปรียบเทียบพื้นที่น้ำท่วมที่ได้จากแบบจำลองMIKE FLOOD กับ พื้นที่น้ำท่วมที่ได้จาก GISDA

ในวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ.2554

4) ผลการจำลองสภาพการไหลตามกรณีศึกษา ผลกระทบวิเคราะห์การไหลของฝนที่รอบปีการเกิดช้า 25 ปี 50 ปี และ 100 ปี มีระดับน้ำสูงกว่าต่ำลิ่งดังแต่案ก่อนมัญจาคีรีไปจนถึงอำเภอเมืองสารคาม โดยที่สถานีวัดน้ำท่า E.91 มีระดับน้ำสูงกว่าต่ำลิ่ง -0.02 ม.(ค่าคือระดับต่ำกว่าระดับต่ำลิ่ง), 0.04 ม. และ 0.10 ม. ตามลำดับ และผลกระทบวิเคราะห์ MIKE FLOOD ที่รอบปีการเกิดช้า 25 ปี 50 ปี และ 100 ปี พบร่องพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมที่รอบปีการเกิดช้าต่างๆ เท่ากับ 265.60 ตร.กม., 271.21 ตร.กม และ 274.83 ตร.กม. ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมที่รอบปีการเกิดช้าต่างๆ

จังหวัด	อำเภอ	พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมที่รอบปีการเกิดช้าต่างๆ (ตารางกิโลเมตร)		
		25 ปี	50 ปี	100 ปี
ขอนแก่น	เมืองขอนแก่น	54.90	55.80	56.58
	บ้านแรก	31.80	31.87	32.05
	ชนบท	4.80	4.83	4.95
	บ้านไผ่	38.34	38.41	39.33
	พระยืน	7.46	8.53	9.02
	มัญจาคีรี	11.38	11.42	11.70
	เชียงยืน	7.84	8.36	8.68
	เมืองสารคาม	1.15	1.18	1.20
	โกรสุนพิสัย	84.65	86.44	86.00
	กันทรลิขสัมภพ	23.28	24.37	24.72
รวมพื้นที่น้ำท่วม		265.60	271.21	274.83

## 5. สรุปผลการศึกษา

การจำลองสภาพการไหลในลำน้ำขี้เบตพื้นที่อ.เมือง จ.ขอนแก่น เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมตามรอบปีการเกิดช้าต่างๆ พบร่องแบบจำลอง MIKE11 สามารถจำลองสภาพทางอุตสาหกรรม ผลกระทบทางอุตสาหกรรม ภายในลำน้ำ และจำลองพื้นที่น้ำท่วมได้เป็นที่ยอมรับได้ จากผลกระทบศึกษาพื้นที่น้ำหลักในรอบปีการเกิดช้า 25 ปี 50 ปี และ 100 ปี จะมีพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม 265.60 ตารางกิโลเมตร 271.20 ตารางกิโลเมตร และ 274.83 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดขอนแก่น ได้แก่ อำเภอเมืองขอนแก่น อำเภอชนบท อำเภอบ้านแรก อำเภอ บ้านไผ่ อำเภอพระยืน และอำเภอมัญจาคีรี ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ได้แก่ อำเภอเชียงยืน อำเภอ เมืองสารคาม อำเภอโกรสุนพิสัย และอำเภอ กันทรลิขสัมภพ ทั้งนี้จากการศึกษาดังกล่าวสามารถนำไปเป็นแนวทางในการบริหารจัดการเพื่อเตือนภัยจากเหตุการณ์น้ำหลักในอนาคตต่อไปได้

## 6. ข้อเสนอแนะ

7.1 ที่บริเวณพื้นที่ศึกษาควรมีสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำสาขาที่สามารถเป็นตัวแทนจำลองลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำสาขาอื่นๆ ในบริเวณพื้นที่ศึกษาได้ และ

7.2 ข้อมูลรูปปัตตัลน้ำในลุ่มน้ำสาขาจะช่วยให้แบบจำลองมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยงานกรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา กรมแผนที่ทหาร สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี  
อาชญากรรมสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่ได้มุ่งเคราะห์ข้อมูลสำหรับการทำวิจัยนี้เป็นอย่างดี

## 8. เอกสารอ้างอิง

- นุชナルา ศรีวงศิตานันท์. (2556). อุทกวิทยาชั้นสูง Advance Hydrology. กรุงเทพมหานคร.
- พงษ์รัตน์ อ่อนละมุน. (2556). การศึกษาพยากรณ์น้ำท่วมในคุณน้ำสูง流域 โดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์.
- วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วีระพล แต้สมบัติ. (2528). หลักอุทกวิทยา. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์สิกส์เช็นเตอร์.
- วีระพล แต้สมบัติ. (2531). อุทกวิทยาประยุกต์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์สิกส์เช็นเตอร์.
- ศิริพงษ์ ศรีประเสริฐ. (2562). การศึกษาพื้นที่น้ำท่วมในคุณน้ำยุทธศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. (2563). สรุปข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในรอบ 30 ปี. กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยี  
สารสนเทศและการสื่อสาร.
- สิทธิโชค อาชวากิจ โภคส. (2562). การศึกษาการพยากรณ์น้ำหลักในพื้นที่คุณน้ำมุ่งลดตอนล่าง. วิทยานิพนธ์  
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

DHI Water Environment and Health. (2007). MIKE11-A Modelling System for Rivers and Channels, Reference  
Manual. DHI, Denmark.

## การจำลองสภาพน้ำท่วมบริเวณท้ายน้ำในกรณีการพังทลายของอ่างเก็บน้ำมา窟เหล็ก DOWNSTREAM FLOOD SIMULATION OF MUAK LEK RESERVOIR DUE TO DAM BREAK

วงศ์เดือน ใจเที่ยงธรรม และ วรรณดี ไทยสยาาม  
ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
E-mail: wongduan.ja@ku.th, fengwdt@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อจำลองสภาพการพังทลายและการไหลของคลื่นน้ำจากอ่างเก็บน้ำมา窟เหล็ก ต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยมา窟เหล็กครอบคลุมพื้นที่ด้านท้ายน้ำตั้งแต่บริเวณบ้านคงน้ำจ่าต.คำพราน อ.วังม่วง ถึงจุดบรรจบแม่น้ำป่าสักบริเวณบ้านปากน้ำ ต.แสงพัน อ.วังม่วง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ HEC-RAS ใน การศึกษาได้วิเคราะห์การพังทลายของเขื่อนอันเกิดเนื่องจากปริมาณน้ำหลอกที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและส่งผลให้ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำสูงขึ้นจนเกิดการพังทลายของเขื่อนและการประกอบในรอบปีการเกิดซ้ำ 50 ปี 100 ปี 500 ปี 1,000 ปี และ 10,000 ปี โดยรูปแบบการพังทลายของเขื่อนประกอบด้วย การพังทลายแบบเกิดครุร้าย (Piping failure) และการพังทลายจากน้ำไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping failure) จากผลการศึกษาพบว่า การพังทลายแบบเกิดครุร้าย ในรูปแบบสามเหลี่ยมส่งผลให้เกิดปริมาณน้ำหลอกไหลออกจากรัฐวัฒนาภูที่สุดเท่ากับ 10,490.63 ลบ.ม./วินาที ส่งผลให้เกิดพื้นที่น้ำท่วมด้านท้ายน้ำ 33.63 ตร.กม. หรือ 21,017 ไร่ ระดับน้ำหลอกสูงสุดเท่ากับ 102.07 ม.รทก. และการคิดอ่อนตัวของน้ำจากการพังทลายของเขื่อนไปยังพื้นที่ชุมชนบ้านปากน้ำ ต.คำพราน อ.วังม่วง ใช้เวลาเท่ากับ 48 ชั่วโมง 11 นาที จากผลการศึกษาสามารถทำการกำหนดขอบเขตแผนที่น้ำท่วมทางด้านท้ายน้ำเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการอพยพและบริหารจัดการต่อไป

**คำสำคัญ:** การพังทลายของเขื่อน, แบบจำลอง HEC-RAS, อ่างเก็บน้ำมา窟เหล็ก

### ABSTRACT

The purpose of this study is to simulate destruction and runoff conditions of Muak Lek Reservoir. The downstream area of Muak Lek Reservoir covers the downstream area from Ban Dong Nam Cha, Kham Pran Subdistrict, Wang Muang District, to the junction of Pa Sak River at Ban Pak Nam, Salaeng Pan Subdistrict, Wang Muang District. This study was conducted by using HEC-RAS model, which analyzed the dam collapse that was caused by the amount of water flowing into the reservoir. The flow led the reservoir water level to rise, and caused the collapse of dams and buildings. According to the flood hydrograph at return period of 50 years, 100 years, 500 years, 1,000 years, and 10,000 years, the dam erosion pattern consists of Piping failure and overtopping failure. Based on the study, the dam break form of piping failure with triangle breach shapes in the case of return period of 10,000 years was considered the most critical outbreak with water outflow of 10,490.63

cubic meter per second, which resulted a downstream flood of an area as large as 33.63 square kilometers or 21,017 rai, and the amount of flooding was highly risen up to 102.07 msl. Moreover, the water flowing from the reservoir outbreak to Ban Pak Nam community area, Kham Pran Subdistrict, Wang Muang District, took only 48 hours 11 minutes. The result of this study can be applied to determine the flooding areas at downstream as a guideline for evacuation planning and management

**Keywords:** Dambreak, HEC-RAS, Muak Lek Reservoir

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

อ่างเก็บน้ำมวกเหล็ก เป็นโครงการชลประทานขนาดกลาง ตั้งอยู่ที่บ้านตะพานหิน ตำบลคำพราน อำเภอวังม่วง จังหวัดสระบุรี มีลักษณะเป็นเยื่อนดินแบบ Zone Earthfill Dam สามารถเก็บกักน้ำได้ประมาณ 61 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยได้ก่อสร้างแล้วเสร็จในวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2562 ปัจจุบันอ่างเก็บน้ำมวกเหล็ก สามารถเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตประปา และขั้งสามารถส่งน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำเพื่อเสริมให้กับพื้นที่ชลประทานของโครงการสูบน้ำแก่กรุงเทพฯ-บ้านหม้อ ในช่วงฤดูแล้ง และการอุปโภค-บริโภค ของรายภูรด้านท้ายน้ำ ในเขต ต. วังม่วง และ ต. แสงพัน อ. วังม่วง จังหวัดสระบุรี รวมทั้งการซ่อมบำรุงทางเดินน้ำที่ลุ่มน้ำป่าสัก และลุ่มน้ำเจ้าพระยาบางส่วน ในช่วงวันที่ 3 - 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2563 ได้เกิดพายุฝนในวันที่ 3 พฤษภาคม มีปริมาณน้ำหลักไหล่เข้าสู่อ่างเก็บน้ำจำนวนมากจนทำให้มีปริมาณน้ำสูงขึ้นถึง 63.13 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งมากกว่า ความจุเก็บกักอยู่ 2.13 ล้าน ลบ.ม. ระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำอยู่ที่ระดับ +98.50 ม.รทก. มากกว่าระดับเก็บกักของอ่างเก็บน้ำมวกเหล็กซึ่งอยู่ที่ระดับ +98.00 ม.รทก. จึงทำให้ต้องมีการระบายปริมาณน้ำส่วนที่เกินความจุของอ่างออกทางระบายน้ำล้น (Spillway) ส่งผลให้มีการส่งผลกระทบให้ทางด้านท้ายน้ำอ่างเก็บน้ำมวกเหล็กมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเนื่องปริมาณน้ำหลักที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจำนวนมาก จากเหตุการณ์ดังกล่าวทว่าเท่านั้นได้ว่าปริมาณน้ำหลักที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำเกินความจุอ่างเก็บน้ำอาจส่งผลต่อเสถียรภาพของเขื่อนได้ และแนวโน้มในอนาคต หากมีปริมาณน้ำหลักเพิ่มมากขึ้นอาจทำให้เขื่อนพิบัติได้ ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษาผลกระทบเนื่องจาก การพังพิบัติของเขื่อนพังทลาย อาทิเช่น อาทิตย์ (2555) ศึกษาการพังทลายของเขื่อนแก่งกระจานกรณีมีปริมาณน้ำหลักในรอบปีการเกิดช้า 100 ปี 1,000 ปี 10,000 ปี และการเกิดสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (Probable Maximum Flood, PMF) ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ HEC-RAS พบว่า สำหรับการพังทลายของเขื่อนแบบเกิดรุ่วรุ่นปัลส์เหลี่ยม ความหนา ซึ่งมีปริมาณน้ำหลักไหล่เข้าสูงสุดที่อาจจะเป็นไปได้ (PMF) มีความรุนแรงที่สุดโดยจะทำให้เกิดพื้นที่น้ำท่วม 89,907 ไร่ ส่งผลให้พื้นที่บ้านส่องพื้นห้อง 0. แก่งกระจาน ที่มีความลึกน้ำท่วม 15.80 เมตร คลื่นน้ำหลักใช้เวลาเดินทางถึงจุดนี้ 2 ชั่วโมง 52 นาที และคลื่นน้ำหลักเคลื่อนไปถึงเขื่อนเพชรซึ่งจะใช้เวลา 9 ชั่วโมง 22 นาที นกุมล (2555) ศึกษาการจำลองการพิบัติของเขื่อนศรีนคินทร์กรณีมีปริมาณน้ำหลักเกิดสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (Probable Maximum Flood, PMF) ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ HEC-RAS พบว่าสำหรับการพังทลายของเขื่อนแบบเกิดน้ำไหลล้นข้ามสันเขื่อนรุ่ปส์เหลี่ยมความหนา ซึ่งมีปริมาณน้ำหลักไหล่เข้าสูงสุดที่อาจจะเป็นไปได้ (PMF) มีความรุนแรงที่สุดโดยจะทำให้เกิดพื้นที่น้ำท่วม 2,611,875 ไร่ ส่งผลให้พื้นที่ อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม คลื่นน้ำหลักใช้เวลาเดินทางถึงจุดนี้ 338 ชั่วโมง (14 วัน 2 ชั่วโมง) สร้างมูลค่าความเสียหายต่อพื้นที่เกษตรกรรมจำนวน 3,763 ล้านบาท และ นิติ (2561) ศึกษาสภาพน้ำท่วมบริเวณท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำท้ายๆ ตาม เนื่องจาก

การพังทลายของเขื่อนกรัมภิรമานน้ำหลาภในรอบปีการเกิดช้า 500 ปี ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 พบว่า สำหรับการพังทลายของเขื่อนแบบน้ำไหลล้นขั้นสันเขื่อนรูปสี่เหลี่ยมคงที่ ซึ่งมีปริมาณน้ำหลาภในหลังเข้าสูงสุดที่ในรอบปีการเกิดช้า 500 ปี มีความรุนแรงที่สุด โดยจะทำให้เกิดพื้นที่น้ำท่วมบริเวณ อ.บุนนาญ ระดับน้ำสูงสุดจะอยู่ที่ 159.66 ม.รทก. คลื่นน้ำหลาภใช้เวลาเดินทางถึงจุดนี้ 6 ชั่วโมง 9 นาที โดยมีอัตราการไหลออกจากอ่างเก็บน้ำสูงสุดเท่ากับ 995.07 ลบ.ม./วินาที จากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อจำลองการพังทลายของเขื่อน และสภาพน้ำหลาภด้านท้ายน้ำได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นการศึกษานี้ได้จัดทำแบบจำลองการพังทลายของอ่างเก็บน้ำแม่น้ำแควเหล็กในกรณีที่มีน้ำหลาภไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่รอบปีการเกิดช้า 50 ปี 100 ปี 500 ปี 1,000 ปี และ 10,000 ปี เพื่อท่านายระดับน้ำ ปริมาณการไหล เวลาที่คลื่นน้ำบ่าเบ้าเคลื่อนตัวไปยังท้ายอ่างเก็บน้ำ สำหรับเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการจัดทำแผนที่น้ำท่วม การเตรียมความพร้อมในการเดือนกับอพยพ และบรรเทาสาธารณภัยให้แก่ประชาชนและสิ่งมีชีวิตที่อยู่ทางด้านท้ายเขื่อน เพื่อช่วยลดความเสียหายต่อไปได้

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

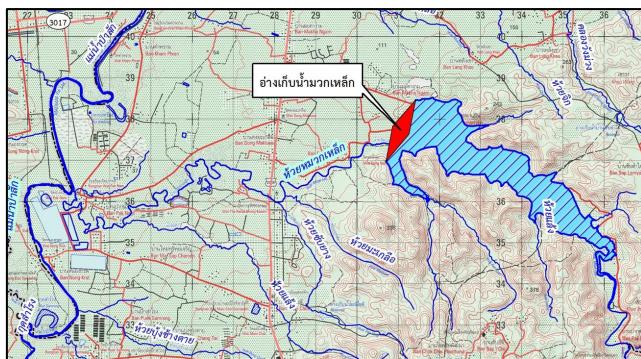
(1)ศึกษาและวิเคราะห์ทำความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ไหลผ่านรอยแยกของเขื่อน ในช่วงเวลาต่างๆ โดยใช้แบบจำลองย่อยการพังทลายของเขื่อนในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ HEC-RAS

(2)ศึกษาและวิเคราะห์สภาพการเกิดน้ำท่วมบริเวณพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำแม่น้ำแควเหล็ก จังหวัดสระบุรี ที่เกิดจากผลกระทบสูงสุดในแต่ละกรณีที่เกิดจากการพังทลายของอ่างเก็บน้ำแม่น้ำแควเหล็ก

## 3. พื้นที่ศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 3.1 พื้นที่ศึกษา

อ่างเก็บน้ำแม่น้ำแควเหล็ก เป็นโครงการชลประทานขนาดกลาง ตั้งอยู่คุณน้ำหัวแม่น้ำแควเหล็กที่บ้านตะพาบทิน ตำบลคำพราวน อำเภอวังน่วง จังหวัดสระบุรี ก่อสร้างเป็นเขื่อนดินแบบ Zone Earthfill Dam และเขื่อนปิดช่องเขาต่า (Saddle Dam) จำนวน 1 แห่ง สามารถเก็บกักน้ำได้ประมาณ 61 ล้านลูกบาศก์เมตร ครอบคลุมพื้นที่อำเภอวังน่วง ได้แก่ ตำบลคำพราวน ในพื้นที่บ้านคำพราวน บ้านปากน้ำ บ้านดงมะเกลือ บ้านมะค่างน้ำ บ้านแก่งราชaway บ้านหนองชะโอดและบ้านดงน้ำปลา และตำบลแสงพัน ในพื้นที่บ้านมณฑิ บ้านหนองกรด และบ้านปิดคำโรง พื้นที่คุณน้ำหัวแม่น้ำแควเหล็กมีพื้นที่โดยประมาณ 652 ตารางกิโลเมตร สูงกว่าระดับน้ำทะเล 240 เมตร สภาพภูมิประเทศทั่วไปเป็นที่ราบสูงเชิงเขา มีภูเขาสลับซับซ้อน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของลุ่มน้ำป่าสักตอนล่าง มีความลาดเทจากทิศเหนือไปยังทิศใต้ ลักษณะพื้นที่ทั่วไปจะมีลักษณะสูงต่ำ มีภูเขาสลับซับซ้อนในตอนเหนือ ตอนกลาง และตอนใต้ ของตำบลแม่น้ำแควเหล็ก ตำแหน่งที่ตั้งอ่างเก็บน้ำหัวแม่น้ำแควเหล็กและลักษณะภูมิประเทศแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สภาพภูมิประเทศของเขตลุ่มน้ำและที่ตั้งอ่างเก็บน้ำห้วยมวกเหล็ก

### 3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การเคลื่อนตัวของน้ำหลักผ่านอ่างเก็บน้ำ (reservoir routing) คำนวนได้จากสมการที่ (1)

$$S = I - 0 \quad (1)$$

เมื่อ  $S$  คือ ปริมาตรของน้ำในอ่างเก็บน้ำ,  $I$  คือ ปริมาณน้ำไหลเข้า (ปริมาตร/เวลา), 0 คือ ปริมาณน้ำไหลออก (ปริมาตร/เวลา) และ  $t$  คือ เวลา (วัน) คำนวนการไหลของน้ำแบบไม่คงตัว ที่ศึกษามาเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลของน้ำหลักในทางน้ำธรรมชาติ โดยการไหลของน้ำในลำน้ำแบบไม่คงตัวเป็นไปตามทฤษฎีของสมการเซนท์-เวแนนท์ (Saint-Venant Equations) คือ ประกอบไปด้วยสมการที่ใช้อธิบายของการไหลทั้ง 2 สมการคือ สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) และสมการโมเมนตัม (MomentumEquation)

สมการต่อเนื่อง (Continuity Equation)

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (2)$$

เมื่อ  $q$  คือ ปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Inflow),  $A$  คือ หน้าตัดขวางของการไหล (ตารางเมตร)  $Q$  คือ ปริมาณการไหล,  $t$  คือ เวลา และ  $x$  คือ ระยะทาง

สมการโมเมนตัม (MomentumEquation)

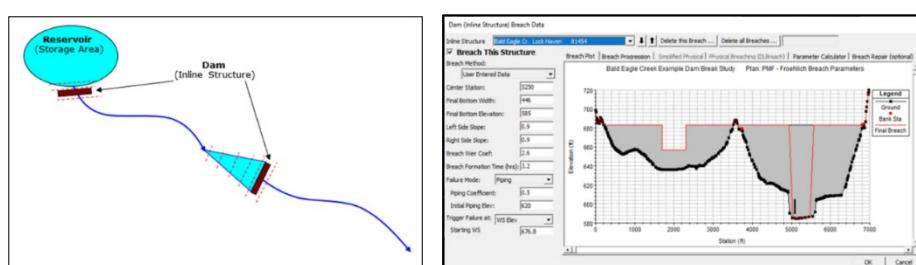
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(\frac{\alpha Q^2}{A})}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (3)$$

$$\text{และ } \sqrt{R} = \frac{1}{A} \int Y^{3/2} dB \quad (4)$$

เมื่อ  $Q$  คือ อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตร/วินาที),  $A$  คือ หน้าตัดขวางของการไหล (ตารางเมตร),  $h$  คือ ระดับน้ำหนึ่งจุดข้างอิง (เมตร),  $C$  คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Chezy,  $R$  คือ รัศมีไซดรอลิกหรือรัศมีของความเสียดทาน (เมตร),  $\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของโมเมนตัม,  $Y$  คือ ความลึกของ Local Water (เมตร) และ  $B$  คือ ความกว้างของผิวน้ำ (เมตร)

### 3.3 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองคอมพิวเตอร์ HEC-RAS คือพัฒนาโดยศูนย์วิศวกรรมอุทกวิทยา สหพันธ์วิศวกรแห่งสหราชอาณาจักร (US Army Corps of Engineers) เป็นโปรแกรมที่เผยแพร่ต่อสาธารณะฟรี (Freeware) โดยใช้หลักการคำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับพื้นผิware ห่วงรูปตัดที่ใกล้เคียงกัน อีกทั้งยังสามารถคาดการณ์และจำลองการไหลของน้ำที่ปริมาณต่างๆ แสดงในหนึ่งมิติ และ สองมิติ ในกรณีจัดทำครั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือ Inline Structure โดยผู้ใช้งานสามารถกำหนดทางระบายน้ำล้วนของเขื่อนและการเปิดประตูระบายน้ำ สามารถควบคุมช่วงระยะเวลาหรือระดับการเปิดประตูระบายน้ำโดยในแบบจำลองสามารถใช้รูปตัดตามขวางหรือพื้นที่อ่างเก็บน้ำดังรูปที่ 2 รูปตัดตามขวางของอ่างเก็บน้ำภายในโครงสร้างของตัวเขื่อนและรูปตัดตามขวางของทางด้านท้ายน้ำ การเคลื่อนตัวของน้ำเป็นการเชื่อมโยงของอ่างเก็บน้ำ (พื้นที่เก็บกัก) กับรูปตัดตามขวางแรก (ด้านหนึ่งน้ำ) ส่วนรูปตัดตามขวางที่สองในพื้นที่อ่างเก็บน้ำซึ่งอยู่ภายใต้โครงสร้างตัวเขื่อน เครื่องมือ Inline Structure ในแบบจำลอง จะนำเข้าข้อมูลและการไหลล้นเข้มสันเขื่อนและเกิดรูรั่ว ภัยในเมนู Weir/Embankment และกรอกค่าพารามิเตอร์การพังทลายของเขื่อนโดยผู้ใช้สามารถนำเข้าข้อมูลการพังทลายของเขื่อนจากเมนู Dam Breach (Inline Structure) และใช้ตัวเลือกเมนู Unsteady Flow Analysis จะแสดงในในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงวิธีการสร้างแบบจำลอง HEC-RAS ของตัวเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ

และแสดงตัวอย่างข้อมูลการพังทลายของเขื่อน

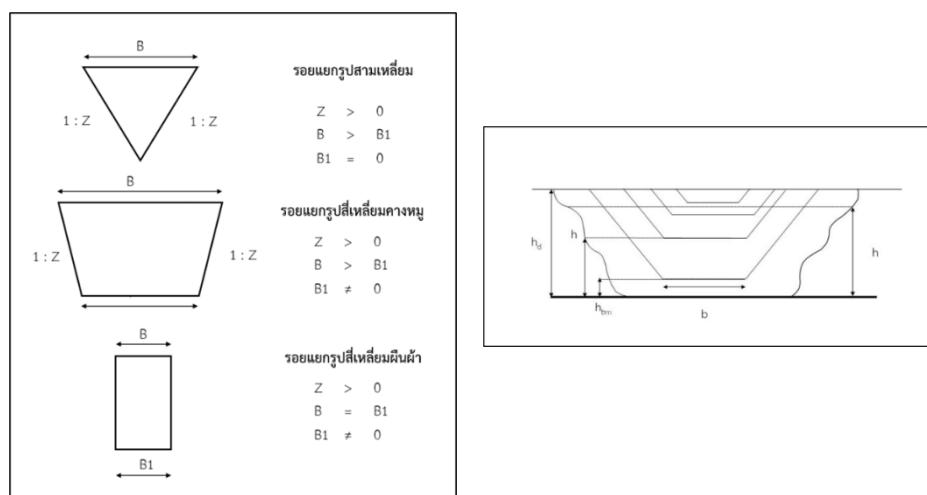
## 4. วิธีดำเนินการวิจัย

1) การรวมรวมข้อมูล ประกอบด้วยข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำมากเหล็ก ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ข้อมูลปริมาณน้ำท่าราษฎร์ รายเดือน รายปี ข้อมูลแบบจำลองระดับเชิงเลข (DEM) และข้อมูลรูปตัดล้ำน้ำ โดยข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำจากการงานการศึกษาผลการทบทวนสิ่งแวดล้อมโครงการอ่างเก็บน้ำมากเหล็ก ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันจากกรมอุตุนิยมวิทยา ช่วงปี พ.ศ. 2534 – 2564 จำนวน 6 สถานี ข้อมูลปริมาณน้ำท่าราษฎร์ รายเดือน รายปี จากกรมชลประทาน ช่วงปี พ.ศ. 2546 – 2563 จำนวน 1 สถานี ข้อมูลการระบายน้ำรายวันของอ่างเก็บน้ำมากเหล็ก จากระบบฐานข้อมูลในอ่างเก็บน้ำมากเหล็กโดยกรมชลประทานตั้งแต่เริ่มมีการบันทึกข้อมูล พ.ศ. 2561 – 2564 ข้อมูลแบบจำลองระดับเชิงเลข (DEM) ความละเอียด 5x5 เมตร จากรูปแบบที่ทหาร และข้อมูลรูปตัดล้ำน้ำทั้งหมด 10 รูปตัด และรูปตัดล้ำน้ำที่สถานีวัดน้ำท่า S.7A ของกรมชลประทาน จำนวนรูปตัดล้ำน้ำทั้งหมด 10 รูปตัด และรูปตัดล้ำน้ำที่สถานีวัดน้ำท่า S.7A ของกรมชลประทาน

2) ในการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนใช้การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลคือ วิธีเส้นโลหต์ทับทวี (double mass cure method)

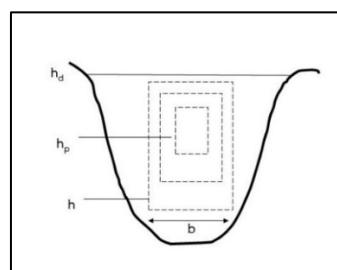
3) คำนวณกราฟน้ำหลักในรอบปีการเกิดช้าต่างๆ โดยคำนวณออกแบบพาญาณ์จากกราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น - ช่วงเวลา-ความถี่การเกิดช้าของฝน (IDF) ใช้ข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2534 – 2563 วิเคราะห์ฟันตอกต่อเนื่อง 3 วัน ของปริมาณฝนสูงสุด จากการวิเคราะห์การแยกแยะความถี่แบบกัมเบล (Gumbel Distribution) และทำการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าโดยวิธีดัดแปลงจากของ Synder เมื่อทำการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า ต่อไปนำไปประยุกต์กับพาญาณ์ส่วนเกิน (design rainfall excess) เพื่อคำนวณกราฟน้ำหลักต่อไป

4) วิเคราะห์หน้าตัดการพังทลายของเขื่อนแบบน้ำไหลล้นขั้นสันเขื่อน (overtopping) จะจำลองสภาพรูปร่างของรอบแยกเป็นรูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และรูปสี่เหลี่ยมคงที่ แสดงในรูปที่ 3 โดยที่ขนาดของรอบแยกจะเริ่บเพิ่มขึ้นจากสันเขื่อนจนถึงด้านล่างของเขื่อน ดังแสดงในรูปที่ 3 การเริ่มนต้นการพังทลายของเขื่อนจะเริ่มเมื่อค่าระดับน้ำในเขื่อนอยู่สูงกว่าระดับสันเขื่อนหรือระดับแกนของเขื่อน (Specified Value,  $h_f$ ) ค่าปริมาณการไหลที่ผ่านรอยแยก ( $Q_b$ ) จะถูกคำนวณโดยสมการ Broad-Crested Weir



รูปที่ 3 แสดงรูปแยกแบบต่างๆ และความคาดคะนองข้างของรอบแยก และแสดงกรณีการพังทลายแบบน้ำไหลล้นขั้นสันเขื่อน (Overtopping)

5) วิเคราะห์หน้าตัดการพังทลายของเขื่อนแบบรูร้าว (piping) จะจำลองสภาพรูปร่างของรอบแยกเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบ Orifice ดังแสดงในรูปที่ 4 ความคาดคะนองด้านข้าง ( $Z=0$ ) การพังทลายของเขื่อนจะถูกจำลองสภาพที่ระดับจุดศูนย์กลางเริ่มนต้นของรูร้าว ( $h_p$ ) ปริมาณการไหลผ่านรอยแยก ( $Q_b$ ) จะถูกคำนวณโดยสมการแบบ Orifice หรือ Board-Crested Weir ซึ่งขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในเขื่อนกับค่าระดับส่วนบนของ Orifice

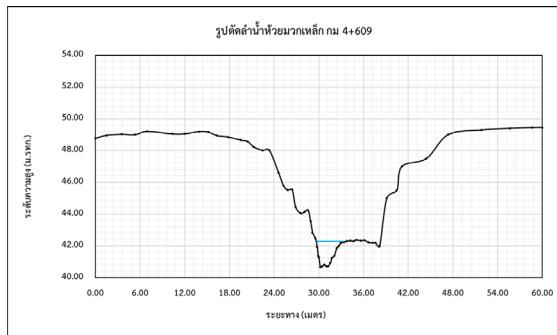


รูปที่ 4 แสดงกรณีการพังทลายจากการรั่วซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อน (Piping)

6) จำลองสภาพน้ำท่วมบริเวณทางด้านท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลอง HEC-RAS ในกรณีอ่างเก็บน้ำให้กับพังทลายโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์มีภาพรวมการทำงาน 3 ขั้นตอนหลักคือ การศึกษาปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง (inflow hydrograph) การศึกษาทางชลศาสตร์เพื่อศึกษาการเคลื่อนตัวของคลื่นน้ำหาก และการใช้ระบบคุณิตศาสตร์สารสนเทศเพื่อจัดทำข้อมูลลักษณะทางกายภาพของพื้นที่สำหรับใช้วิเคราะห์ในแบบจำลองทางชลศาสตร์ ในการสร้างแบบจำลองกำหนดข้อมูลนำเข้ามีดังนี้ ระดับน้ำเริ่มน้ำในอ่างเก็บน้ำจากเหตุการณ์น้ำทัดล้นน้ำ กรณีน้ำหักภายในแต่ละรอบปีการเกิดชา และค่าพารามิเตอร์การพังทลายของเขื่อน ได้แก่ ขนาดความกว้างของการพังทลาย รูปร่างเฉพาะของรอยแยก ในการจัดทำแบบจำลองนี้ศึกษารูปแบบการพังทลายทั้งหมด 2 กรณี คือ การพังทลายแบบน้ำไหลล้นข้ามสันเขื่อน และแบบการเกิดรูร้าว ทั้ง 2 กรณี กำหนด 3 รูปแบบของรอยแยก คือ รูปสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยมผืนผ้า และสี่เหลี่ยมคงที่ แบบจำลอง HEC-RAS ที่ใช้แบบจำลองย่อหุบแม่น้ำ (Inline Structure) Breach Data จากนั้นกำหนดโครงข่ายในแบบจำลองเพื่อใช้กำหนดรูปร่างของลั่นน้ำในทางด้านท้ายอ่าง โดยจำลองสภาพการไหลทางด้านท้ายน้ำจากการพังทลายของอ่างใช้ความยาวลั่นน้ำทั้งหมดประมาณ 16 กิโลเมตร จำนวนหน้าตัดการ ไฟลทั้งหมด 11 หน้าตัดการ ไฟล ในส่วนของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสอนเที่ยบแบบจำลอง HEC-RAS คือ สัมประสิทธิ์ความชรุของ (Manning's n) แสดงถึงความเสียดทานต่อการไหลของน้ำในทางน้ำ เปิด โดยทำการปรับสัมประสิทธิ์ความชรุของแม่น้ำในลั่นน้ำเพื่อให้ระดับน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกันมากที่สุดกับระดับน้ำที่บันทึกที่สถานีวัดปริมาณน้ำท่าที่พิจารณา โดยในขั้นต้นจะจำลองแบบจำลองโดยสมมติค่าสัมประสิทธิ์ความชรุของแม่น้ำในลั่นน้ำเท่ากับ 0.037 ตลอดช่วงการไหลในลั่นน้ำ และปรับหาค่าเหมาะสมสมกับระดับน้ำ โดยจะทำการเบริกเที่ยบกับระดับน้ำจริง กับผลการคำนวณแบบจำลอง การไหลทางด้านท้ายน้ำโดยใช้ข้อมูลสถานี S.7A เพื่อหาระดับน้ำที่จุดตรวจวัดน้ำท่าท้ายอ่างเก็บน้ำจากเหตุการณ์ 4+259 เพื่อหาค่า (Manning's n) ตัวแทนที่เหมาะสมสำหรับลั่นน้ำหัก หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะสามารถจัดทำแผนที่น้ำท่วมจากแบบจำลอง HEC-RAS จะเป็นการกำหนดให้แบบจำลองใช้ข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสอนเที่ยบแบบจำลอง HEC-RAS คือ สัมประสิทธิ์ความชรุของ (Manning's n) แสดงถึงความเสียดทานต่อการไหลของน้ำในทางน้ำเปิด โดยทำการปรับสัมประสิทธิ์ความชรุของแม่น้ำในลั่นน้ำเพื่อให้ระดับน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลองน้ำท่วม เมื่อสั่งคำนวณแล้วเสร็จ จะได้ไฟล์ลักษณะเป็นกริด (Raster Data) ที่เป็นไฟล์ผลคำนวณแผนที่น้ำท่วมซึ่งสามารถเปิดได้ด้วยโปรแกรม ArcGIS เพื่อนำไปจัดทำแผนที่น้ำท่วมที่แสดงรายละเอียดของเขตของพื้นที่น้ำท่วม แผนที่น้ำท่วมที่ได้จัดทำจากการศึกษานี้เป็นแผนที่น้ำท่วมที่เกิดจากการพังทลายของอ่างเก็บน้ำจากเหตุการณ์ที่กล่าวต่างๆ

5. ผลการวิจัย

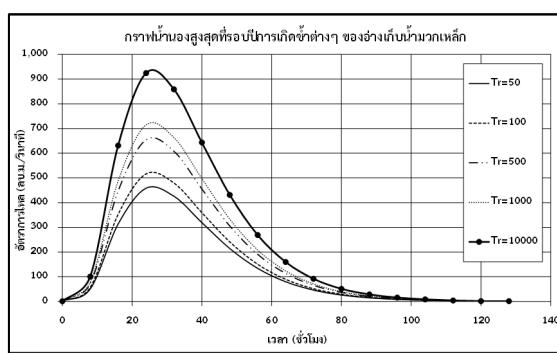
1) การรวมรวมข้อมูล ประกอบด้วยข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำมากเหล็กข้อมูลทางกายภาพของโครงการอ่างเก็บน้ำมากเหล็กที่สำคัญในการศึกษา ดังนี้ อ่างเก็บน้ำมากเหล็กเป็นร่องคันประภากแบ่งโซนความสูงจากฐานราก 42.50 เมตร ความยาวสันเขื่อน 1,150 เมตร ความกว้างสันเขื่อน 8 เมตร ระดับสันเขื่อน +101.50 ม.รทก. ระดับเก็บกักปกติ +98.00 ม.รทก. ความจุอ่างที่ระดับเก็บกักปกติ 61 ล้าน ลบ.ม. และข้อมูลรูปดัดจำนำริเวณทางด้านท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำโดยลงพื้นที่สำรวจโดยเครื่องมือ RTK GNSS Network ด้านอย่างรูปดัดจำนำแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างรูปผัดคัน้ำที่ทำการลงพื้นที่สำรวจ

2) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนใช้การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลคือ วิธีเส้นโถึงทับทิว (double mass curve method) ผลคือข้อมูลมีความน่าเชื่อถือเนื่องจากกราฟเส้นตรงมีความลาดเทเดียวกันตลอดทั้งเส้น

3) ผลการคำนวนกราฟน้ำหลักในรอบปีการเกิดช้าต่างๆ รายละเอียดการคำนวนแสดงในหัวข้ออยู่ 3 โคข陌การคำนวนกราฟน้ำหลักแสดงในรูปที่ 6

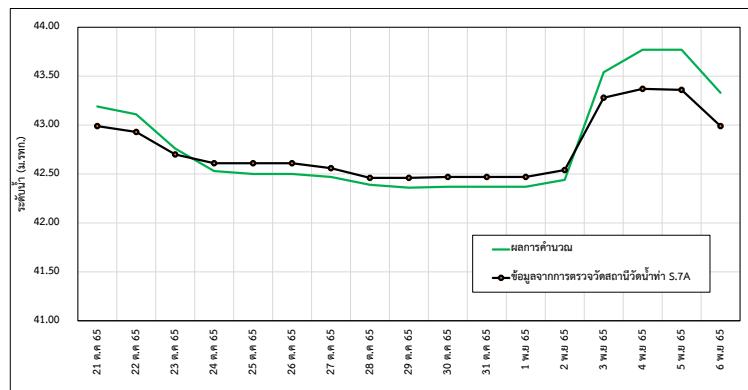


รูปที่ 6 แสดงผลการคำนวนกราฟน้ำหลักในรอบปีการเกิดช้าต่างๆ

4) ผลการวิเคราะห์หน้าตัดการพังทลายของเขื่อนแบบน้ำไหลล้นข้มสันเขื่อน (overtopping) พบว่าที่รอบปีการเกิดช้า 10,000 (จากหัวข้อ 3) รูปแบบการพังทลายบลลี่ย์เมินผ้า เกิดอัตราการไหลสูงสุด 2,997.04 ลบ.ม./วินาที ที่เวลาการเกิดการไหลสูงสุด 37 ชั่วโมง 49 นาที

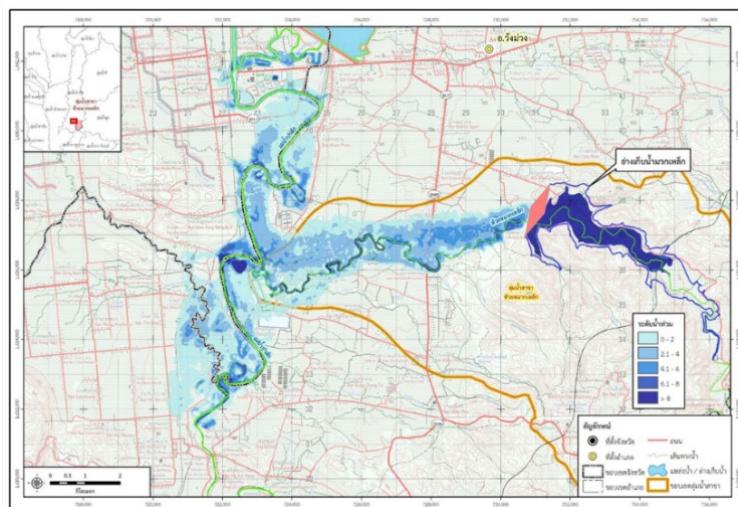
5) ผลการวิเคราะห์หน้าตัดการพังทลายของเขื่อนแบบรูร่วง (piping) พบว่าที่รอบปีการเกิดช้า 10,000 ปี (จากหัวข้อ 3) รูปแบบการพังทลายรูปสามเหลี่ยม เกิดอัตราการไหลสูงสุด 10,490.63 ลบ.ม./วินาที ที่เวลาการเกิดการไหลสูงสุด 67 ชั่วโมง 2 นาที

6) ผลการสอนเทียน แบบจำลอง เนื่องจากในพื้นที่ท้ายเขื่อนมีเพียงสถานีวัดน้ำท่าเพียงสถานีเดียวคือ สถานีวัดน้ำท่า S.7A จึงใช้จุดตรวจวัดน้ำท่ากม. 4+259 บริเวณลำท้าวมวกเหล็ก ด้านท้ายของอ่างเก็บน้ำมวกเหล็ก ในช่วงวันที่ 21 ตุลาคม ถึง วันที่ 6 พฤศจิกายน 2563 ผลที่ได้จากการศึกษาคือได้ค่าสัมประสิทธิ์ ความบรรทุกแน่น นี่ที่จะใช้ในการศึกษาที่  $n = 0.035$  เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของระดับน้ำสูงสุดและเวลาการไหลสูงสุด ระหว่างผลที่ได้มาจากการคำนวนและค่าที่ได้จากการสังเกตการณ์ที่ทำหน่งจุดตรวจวัดน้ำท่าท้ายเขื่อน กม. 4+259 จะได้ค่าความแตกต่างของระดับน้ำสูงสุดเท่ากับ 0.11 เมตร จากการใช้ค่า  $n = 0.035$



รูปที่ 9 แสดงผลการเบริ่งเทียบระดับน้ำที่ดำเนินการ กม. 4+259 ( n = 0.035 )

7) จำลองสภาพน้ำท่วมบริเวณทางด้านท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลอง HEC-RAS ในกรณีอ่างเก็บน้ำกเหล็กพังทลายโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถได้ขอบเขตน้ำท่วมบริเวณด้านท้ายอ่างเก็บน้ำกว่ากเหล็กกรณีสมมติการพังทลายของอ่างเก็บน้ำกว่ากเหล็กโดยกรณีการพังทลายแบบเกิดรุ่ว รูปแบบร oxyเมทริกส์ สามเหลี่ยม ที่รอบปีการเกิดช้ำ 10,000 ปี แสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 10 แสดงพื้นที่น้ำท่วมบริเวณด้านท้ายอ่างเก็บน้ำกว่ากเหล็กโดยกรณีการพังทลายแบบเกิดรุ่ว รูปแบบร oxyเมทริกส์ สามเหลี่ยม ที่รอบปีการเกิดช้ำ 10,000 ปี

## 6. สรุปผลการศึกษา

จากการจำลองสภาพการไหลของ浪น้ำบริเวณด้านท้ายน้ำในกรณีสมมติว่าเกิดการพังทลายของอ่างเก็บน้ำกว่ากเหล็ก ด้วยแบบจำลอง HEC-RAS ได้นำผลของการวิเคราะห์อัตราการไหลผ่านร oxyเมทริกการพังทลายรูปแบบสามเหลี่ยม กรณีการพังทลายแบบเกิดรุ่ว (Piping failure) ที่รอบปีการเกิดช้ำ 10,000 ปี โดยใช้ผลการวิเคราะห์ระดับน้ำสูงสุดในกรณีดังกล่าวมาแสดงผลแผนที่น้ำท่วม การจัดทำขอบเขตน้ำท่วมจากแบบจำลอง HEC-RAS ซึ่งจะเป็นข้อมูล Raster โดยนำข้อมูลของเขตนาท่วมที่ได้มาแสดงผลบนโปรแกรม Arcgis ลงบนแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic map) มาตราส่วน 1 : 50,000 โดยกรมแผนที่ทหาร พบว่าการพังทลายของอ่างเก็บน้ำ

จะส่งผลให้เกิดพื้นที่น้ำท่วมจำนวน 15,746 ไร่ พื้นที่น้ำท่วมมีโภคภาระร่างความเสียหายมาสู่พื้นที่ 3 อำเภอ 4 ตำบล ได้แก่ พื้นที่ที่อำเภอพัฒนาโนนคุม ตำบลหนองบัว จังหวัดพะเยา ทั้งหมด 5,510 ไร่ พื้นที่ที่อำเภอวังม่วง ตำบลคำพราน และแหลงพัน ทั้งหมด 8,393 ไร่ และพื้นที่ที่อำเภอแก่งคอย ตำบลหินซ้อน ทั้งหมด 1,843 ไร่ ระยะเวลาการเดินทางของน้ำที่ไหลออกมาน้ำจากหน้าตัดการพังทลายไปยัง อ.วังม่วง บริเวณจุดบรรจบแม่น้ำป่าสัก ระยะทางประมาณ 17 กิโลเมตร โดยการเดินทางของน้ำหลักใช้ระยะเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง หลังจากที่ตัวเขื่อนพังทลายแบบเกิดรั่วรูปแบบสามเหลี่ยมระดับน้ำท่วมน้ำบริเวณจุดบรรจบแม่น้ำป่าสัก (X-11) อยู่ที่ +34.68 ม.รทก. ระดับคลื่นบริเวณจุดบรรจบแม่น้ำป่าสัก (X-11) โดยประมาณ +30.00 ม.รทก. โดยมีความลึกของน้ำท่วมประมาณ 4.63 เมตร

## 7. ข้อเสนอแนะ

### 7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) สามารถนำไปจัดทำแผนการแจ้งเตือนอุทกภัยทางด้านท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำมากเหล็ก เช่น แผนการอพยพประชาชน เพื่อป้องกันและลดผลกระทบที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินต่อประชาชนในพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำ

### 7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) เพิ่มตำแหน่งสำรวจข้อมูลของรูปตัดตามยาวลำน้ำ (Cross section) ในลำน้ำที่ยังไม่ถูกเหล็กไว้มากขึ้นเพื่อผลการจำลองสภาพพื้นที่ท่วมทางด้านท้ายน้ำมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

(2) ควรมีการจัดทำแผนการแจ้งเตือนอุทกภัยทางด้านท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำมากเหล็ก เช่น แผนการอพยพประชาชนในกรณีที่เกิดการพังทลายของเขื่อน เพื่อป้องกันและลดผลกระทบที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินต่อประชาชนในพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำ

(3) หากต้องการความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นควรนำแผนที่น้ำท่วมที่ได้ทำการสอบถามกับบุคคลที่มีความรู้เชิงลึก เช่น ผู้ที่เคยทำงานอาชีวภาพทางอากาศหรือดาวเทียม

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา คณาจารย์สาขาวิชกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และผู้ที่มีส่วนร่วมทุกท่านที่ให้คำปรึกษาแนะนำและวางแผนการวิจัยในครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

## 9. เอกสารอ้างอิง

นฤมล นาวยนต์. (2555). การจำลองการพิบัติของเขื่อนศรีนครินทร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัย

เกษตรศาสตร์. กรุงเทพ.

สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์ และรากร ไม้เรียง. (2550). เอกสารความปลอดภัยเขื่อน การพิบัติของเขื่อน. ศูนย์วิจัยและ

พัฒนาวิชกรรมปฐพีและฐานราก. ภาควิชาวิชกรรมโยธา. คณะวิศวกรรมศาสตร์.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ.

Hydrologic Engineering Center. Using HEC-RAS for Dam Break Studies.

## ประสิทธิภาพของสารแคลเซียมซิลิกेटไไฮเดรตโพลีкар์บอคซิเลตอีเทอร์ใน

### การเร่งปฏิกิริยาไไฮเดรชันช่วงต้นของถ้าล้อยซีเมนต์เพสต์

EFFECTIVENESS OF CALCIUM SILICATE HYDRATE –

POLYCARBOXYLATE ETHER TO ENHANCE EARLY HYDRATION

REACTION OF FLY ASH BLENDED CEMENT PASTE

สุพรรณี ชีรัตนสาร\*, มนัสกร ราชากรกิจ, กฤตภาส สุวรรณมณี, ธารทิพย์ พันธ์เมฆาฤทธิ์  
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: supanee.tee@hotmail.com\*

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการเปรียบเทียบการใช้แคลเซียมซิลิกेटไไฮเดรตโพลีкар์บอคซิเลตอีเทอร์ในการเร่งปฏิกิริยาไไฮเดรชันของถ้าล้อยซีเมนต์เพสต์ ซึ่งใช้ถ้าล้อยถ่านหินจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยใช้เครื่อง X-ray Diffraction Spectrometer ควบคู่กับโปรแกรม Rietveld refinement ในการวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณผลึกที่เกิดขึ้นและการทำวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ(Specific surface area) ของถ้าล้อยซีเมนต์เพสต์ เพื่อนำมาใช้ในอธิบายและบ่งชี้ถึงศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยาไไฮเดรชัน โดยทำการแทนที่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยถ้าล้อยถ่านหินในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 และมีการเติมแคลเซียมซิลิกेटไไฮเดรตโพลีкар์บอคซิเลตอีเทอร์ ในปริมาณร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้ระยะเวลาในการบ่มซีเมนต์เพสต์ที่ 1 วัน, 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า ถ้าล้อยซีเมนต์เพสต์ที่มีการเติมแคลเซียมซิลิกेटไไฮเดรตโพลีкар์บอคซิเลตอีเทอร์ปริมาณร้อยละ 2 จะมีปริมาณแคลเซียมไไฮดรอไซด์เพิ่มขึ้น 38.61% และมีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ เพิ่มขึ้นมากที่สุด คิดเป็น 69.45% เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ผสมถ้าล้อยปกติ ดังนั้น จึงสามารถบ่งชี้ได้ว่าสารแคลเซียมซิลิกेटไไฮเดรตโพลีкар์บอคซิเลตอีเทอร์สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาไไฮเดรชันในช่วงต้นของถ้าล้อยซีเมนต์เพสต์

**คำสำคัญ:** ปูนซีเมนต์ ถ้าล้อย แคลเซียมซิลิกेटไไฮเดรตโพลีкар์บอคซิเลตอีเทอร์ พื้นที่ผิวจำเพาะ

### ABSTRACT

This research aims to study the application of Calcium Silicate Hydrated - Polycarboxylate Ether (CSH-PCE) in hydration reaction of fly ash blended cement paste, which used coal fly ash from coal power plants in Japan. Phase compositions of crystalline content were examined by X-ray Diffraction and the Rietveld refinement software. Additionally, specific surface areas were determined to indicate the hydration reaction potential. Fly ash samples were used to replace ordinary Portland cement at 10% by weight. Other conditions include water to binder ratio of 0.55, CSH-PCE addition of 1 and 2% by weight and curing age of 1, 7, 14 and 28 days. The results showed that fly ash blended cement paste with the addition of 2% CSH-PCE having an increase

in Calcium Hydroxide by 38.61% and a specific surface area increase by 69.45% compared with control sample. Therefore, it can be indicated that CSH-PCE can enhance early hydration reaction of fly ash blended cement paste.

**Keywords:** Cement, Fly Ash, Calcium Silicate Hydrate – Polycarboxylate Ether, Specific Surface Area

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัจจัยวิจัย

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการก่อสร้างถือได้ว่าอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญในการพัฒนาประเทศอีกทั้งยังมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องควบคู่ไปกับการเดินทางทางเศรษฐกิจและการพัฒนาประเทศ ทำให้มีการใช้งานปูนซีเมนต์อย่างแพร่หลายและปริมาณการใช้ก็เพิ่มสูงขึ้น ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จัดได้ว่าเป็นแหล่งการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญอันเนื่องมาจาก การสลายตัวของหินปูน ( $\text{CaCO}_3$ ) ในกระบวนการเผาที่อุณหภูมิสูงถึง 1,450 องศาเซลเซียส ในการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน จะปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 0.76 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ (Khongprom, P. & Suwanmanee, U., 2017) ดังนั้น เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญในชั้นบรรยากาศ การเลือกใช้ผลิตภัณฑ์หรือวัสดุซีเมนต์เสริม (Supplementary Cementitious Materials: SCMs) เช่น เก้าออย (Fly ash) นั้นเป็นวิธีหนึ่งในการลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกอันเนื่องมาจากการใช้ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์(Ordinary Portland cement: OPC) ประกอบด้วยสารประกอบหลักทั้งสิ้น 4 ชนิด ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิกेट( $\text{C}_3\text{S}$ ), ไดเคนเซียมซิลิกेट( $\text{C}_2\text{S}$ ), ไตรแคลเซียมอลูมิเนต( $\text{C}_3\text{A}$ ) และ เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์( $\text{C}_4\text{AF}$ ) ซึ่งเมื่อผสมกันน้ำจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน(Hydration reaction) ทำให้เกิดสารที่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานและเกิดความแข็งแรง (D. Marchon & R.J. Flatt, 2016) ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ได้แก่ แคลเซียมซิลิกेट ไฮเดรตประมาณ 70% และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 15-25% แต่เนื่องจาก แคลเซียมซิลิกेट ไฮเดรตขัดเป็นอนุภาคที่มีลักษณะเป็นอสัมธาน (Amorphous) มีความเป็นพลิกน้อย ดังนั้นสารประกอบส่วนใหญ่ที่มักจะนิยมใช้ในการศึกษาปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นมักจะเป็น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมคาร์บอนे�ต ที่มีความเป็นพลิกมากกว่า (Jeffery J. et. al., 1999) ในขณะที่บางงานวิจัยได้มีการวัดพื้นที่ผิวของวัสดุในการอธิบายและบ่งชี้ถึงศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ เนื่องจาก ผลิตภัณฑ์หลักของปฏิกิริยาไฮเดรชันคือ แคลเซียมซิลิกेट ไฮเดรต ซึ่งประกอบไปด้วยเครือข่ายที่มีรูพรุนและมีความละเอียดมาก ทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะค่อนข้างสูง (P.K. Mehta, 1986)

เก้าออย (Fly ash) จัดเป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นจากการเผาถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ในปัจจุบันได้รับความนิยมนำมาใช้ในงานคอนกรีต โดยนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน เนื่องจากเก้าออยมีองค์ประกอบของแร่ธาตุซิลิ喀 อะกูมินา และเหล็กอัญมณีปริมาณมาก แร่ธาตุเหล่านี้มีคุณสมบัติที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic Reaction) (Bryan K. Marsh & Robert L. Day, 1987) ก่อให้เกิดสารเชื่อมประสานที่มีคุณสมบัติคล้ายผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ นั่นคือแคลเซียมซิลิกेट ไฮเดรต (บริญญา จินดาประเสริฐ, 2553) ในขณะเดียวกันเก้าออยเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กเมื่อถูกนำไปใช้ผสมในงานคอนกรีต เก้าออยจะไปอุดช่องว่างเล็กๆ ระหว่างปูนซีเมนต์และวัสดุร่วมประสานอื่นๆ ทำให้คอนกรีตแน่นขึ้น นอกจากจะเป็นการจัดการของเสีย ได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังถือได้ว่าเป็นการลดปริมาณการเกิดของเสียและลดความเสี่ยงที่เกิดจากการกำจัดเก้าออยที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

แคลเซียมซิลิกेटไไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate:CSH) เป็นผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดจากปฏิกิริยาไไฮเดรตชั้นของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเป็นวัตถุเชื่อมประสานที่สำคัญ หลายงานวิจัยได้มีการสังเคราะห์ CSH เพื่อนำมาใช้ในการเร่งปฏิกิริยาไไฮเดรตชั้นของปูนซีเมนต์ พบว่า CSH สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาไไฮเดรตชั้นของปูนซีเมนต์ในช่วงแรกของการทำปฏิกิริยา (J.J. Thomas et. al., 2009) (R. Alizadeh et. al., 2009) เนื่องจาก CSH ที่สังเคราะห์ขึ้นจะทำหน้าที่เป็น Seeding Material ใน การลดพลังงาน Nucleation ของ CSH gel ในปูนซีเมนต์ แต่ก็ลับพบร่วมนาคของอนุภาคแคลเซียมซิลิกेटไไฮเดรตมีขนาดค่อนข้างใหญ่ทำให้การเร่งการเกิดปฏิกิริยาไไฮเดรตชั้นในช่วงแรกไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ จึงมีการเติมสารช่วยในการกระจายตัว เช่น โพลีคาร์บอซิเลต (Polycarboxylate) เพื่อช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น (Kanchanason & Plank, 2018)

แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นในการอธิบายคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล การศึกษาในระดับโครงสร้างทางจุลภาคมีก่อนข้างจำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพของแคลเซียมซิลิกेटไไฮเดรต โพลีคาร์บอซิเลตอีทีเออร์ ในการเร่งปฏิกิริยาไไฮเดรตชั้นของถ้าโลยซีเมนต์เพสต์ โดยพิจารณาเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นและพื้นที่ผิวจำเพาะของถ้าโลยซีเมนต์เพสต์

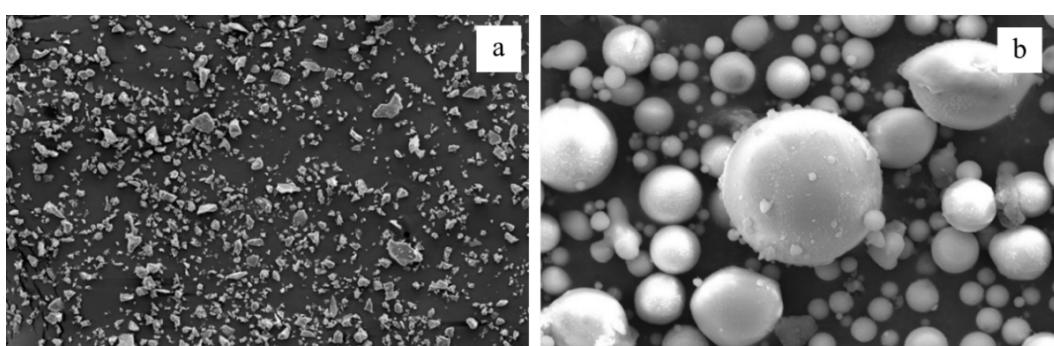
## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของสารแคลเซียมซิลิกेटไไฮเดรต โพลีคาร์บอซิเลตอีทีเออร์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาไไฮเดรตชั้นของปูนซีเมนต์ผสมถ้าโลยจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน

## 3. วิธีการศึกษา

### 3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) และ ถ้าโลยถ่านหิน (FA) จากโรงไฟฟ้าถ่านหินจากประเทศไทยซึ่งมีขนาดน้ำเงินกว่า 45 ไมครอน โดยมีลักษณะทางสัมฐานวิทยาแสดงตามรูปที่ 1 และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และถ้าโลยถ่าน แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า ถ้าโลยกดังกล่าว จัดเป็น ถ้าโลย Class F ตามมาตรฐาน ASTM C 618



ภาพที่ 1 แสดงภาพถ่ายของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์(a) ที่กำลังขยาย 1,000x และ  
ถ้าโลยถ่านหิน(b) ที่กำลังขยาย 10,000x ด้วยเครื่อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

### ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์(OPC) และถ้าล้อย่างหิน(FA)

Chemical composition(%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	LOI %
OPC	16.98	4.69	3.38	65.58	0.34	1.78	0.65	2.75	0.51	0.03
FA	52.04	22.82	0.26	6.36	1.46	1.40	1.52	0.38	2.10	0.03

### 3.2 การสังเคราะห์แคลเซียมซิลิกेटไอกเรตโพลีкар์บอซิเลตอีเทอร์ (CSH-PCE)

แคลเซียมซิลิกेटไอกเรตโพลีкар์บอซิเลตอีเทอร์ เตรียมจากสารละลายน้ำ Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 1.31 โมลต่อลิตร และ Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 1.97 โมลต่อลิตร ในสารละลายน้ำโพลีкар์บอซิเลตโดยมีอัตราการผสม 13 มิลลิลิตรต่อน้ำที่ และ 6.8 มิลลิลิตรต่อน้ำที่ ตามลำดับ ซึ่งทำการกวนผสมเป็นเวลา 24 ชั่วโมงด้วยความเร็ว 300 รอบต่อน้ำที่ หลังจากนั้นนำไปปั่นเยวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อน้ำที่ เป็นเวลา 5 นาที และถังด้วยน้ำกลั่นจำนวน 2 รอบ และดำเนินการอบแห้งเยือกแข็ง (Freeze dry) จนถาวรเป็นผงสีขาว

### 3.3 อัตราส่วนผสมและการเตรียมตัวอย่าง

ถ้าล้อยซีเมนต์เพสต์เกิดจากการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยถ้าล้อยอย่างหินในอัตราส่วน ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน(W/B ratio) เท่ากับ 0.55 และเพิ่มแคลเซียมซิลิกेटไอกเรตโพลีкар์บอซิเลตอีเทอร์(CSH-PCE) ในอัตราส่วนร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 2 และทำการบ่มตัวอย่างเป็นเวลา 1, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

### ตารางที่ 2 ส่วนผสมของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตัวอย่าง	อัตราส่วนผสม (%)			อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน
	OPC	FA	CSH-PCE	
Control	90	10	-	0.55
1% CSH-PCE	90	10	1	0.55
2% CSH-PCE	90	10	2	0.55

### 3.4 วิธีการทดสอบ

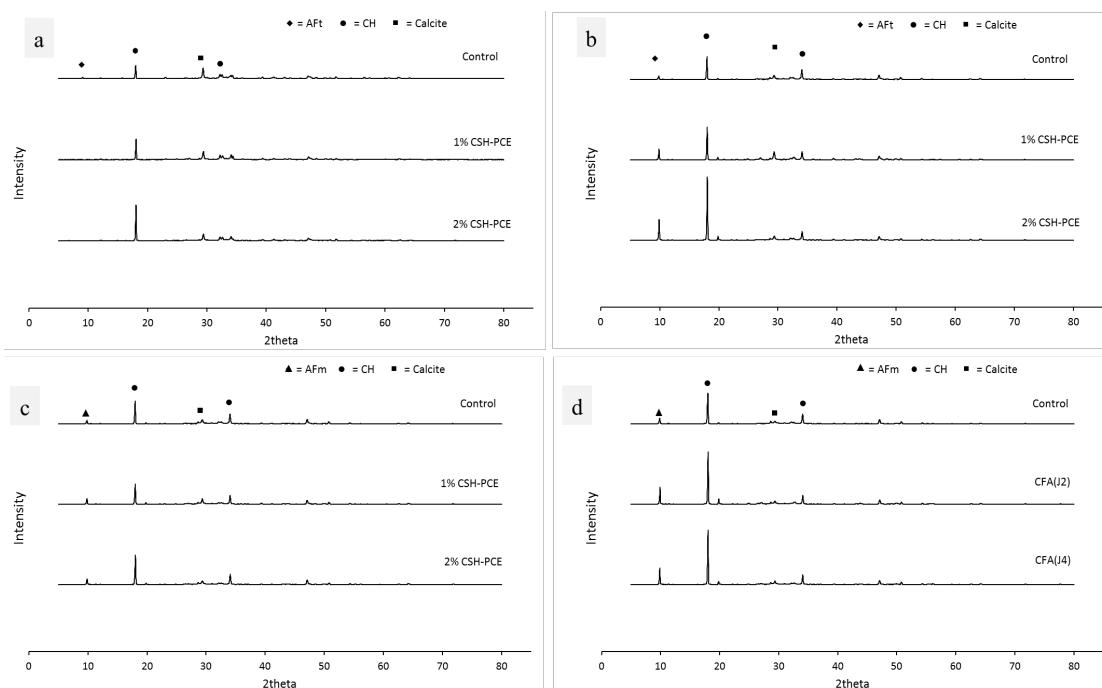
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และถ้าล้อยจะถูกนำมาสอบสวนบดีทางกายภาพเบื้องต้นอันประกอบด้วยการศึกษาลักษณะทางด้านสัมฐานวิทยาในระดับจุลภาค โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องราก (Scanning Electron Microscope) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้วิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectroscopy)

ตัวอย่างจะถูกผสมตามอัตราส่วนผสมดังตารางที่ 2 และเมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดถ้าล้อยซีเมนต์เพสต์จะถูกนำมาหยุดปฏิกิริยาไอกเรตชั่นและนำมาทำการบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะกรงมาตรฐานเบอร์ 100 หลังจากนั้นจึงจะดำเนินการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ทางด้านองค์ประกอบและปริมาณผลึก (Phase composition) โดยใช้เครื่อง X-ray Diffraction Spectrometer ควบคู่กับโปรแกรม Rietveld refinement ในการหาปริมาณโครงสร้างผลึกที่เกิดขึ้นและศึกษาพื้นที่ผิวจะเพาะ(Specific surface area) โดยใช้เครื่อง BET Analyzer ซึ่งอาศัยหลักการคุณซับก๊าซในไตรเจนต่อไป

#### 4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

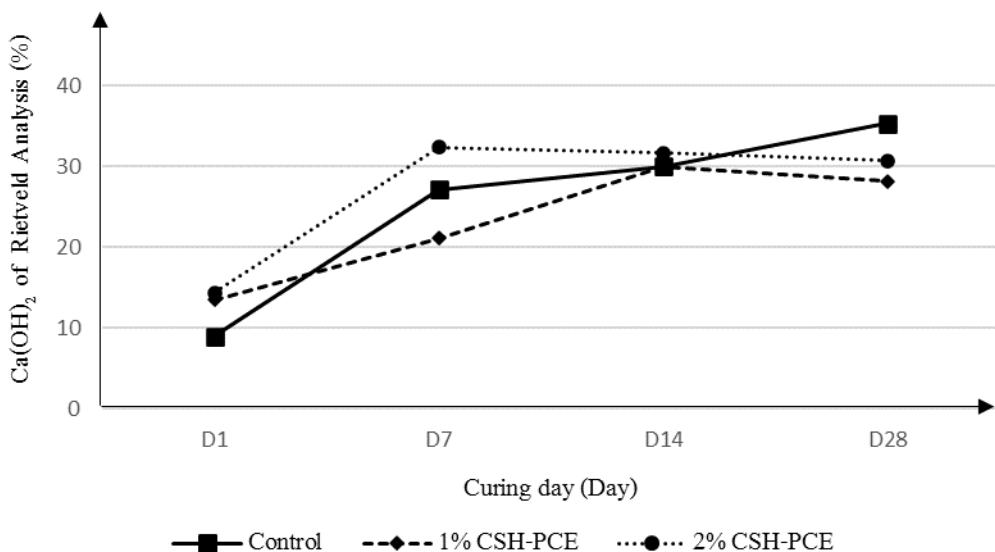
##### 4.1 ผลการวิเคราะห์ด้านองค์ประกอบและปริมาณผลึก

ภาพที่ 2(a-d) แสดงผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เรย์ ของตัวอย่างควบคุม (Control), 1%CSH-PCE และ 2% CSH-PCE ที่อายุการบ่ม 1 วัน, 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าผลึกหลักๆ ที่สามารถเห็นได้ชัดเจนจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เรย์ ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์(CH), เอททิริงไกต์(AFt), โนโนนิชล์เฟต(AFm) และ แคลเซียมคาร์บอนेट(Calcite)



ภาพที่ 2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของถ้าลองชีเมนต์เพสต์ เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 1 วัน (a), 7 วัน (b), 14 วัน (c) และ 28 วัน (d)

ภาพที่ 2 (a-d) แสดงการหักเหของรังสีปรากฏที่มุน 2-theta เมื่อพิจารณาจะพบว่า จุดยอด (Peak Intensity) ของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ก่อนข้างเห็นได้ย่างชัดเจน และความสูงของพีกจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลา การบ่มนานขึ้น ในขณะเดียวกันในช่วงระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน และ 7 วัน จะปรากฏผลึกของเอททิริงไกต์ ทึ้งในตัวอย่างควบคุมและในตัวอย่างถ้าลองชีเมนต์เพสต์ที่ได้ทำการผสม CSH-PCE จันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยา ไฮเดรชั่นของ ไตรแคลเซียมอลูมิเนต( $C_3A$ ) ที่มีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยาได้ก่อนข้างรวดเร็ว กับสารชิปชั่นที่ผสมอยู่ภายในปูนชีเมนต์ ทำให้เกิดชั่นเอททิริงไกต์บนผิวของอนุภาค  $C_3A$  เพื่อหน่วงปฎิกิริยา จะปรากฏ จนกระทั่งชั่ลเฟต์ไอ้อนจากชิปชั่นมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิดเอททิริงไกต์ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก เอททิริงไกต์กลยายน์โนโนนิชล์เฟต (D. Marchon & R.J. Flatt, 2016) (บริษัทปูนชีเมนต์อุตสาหกรรมจำกัด, 2545).



ภาพที่ 3 ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการวัดโดยใช้เครื่อง XRD-Rietveld Refinement

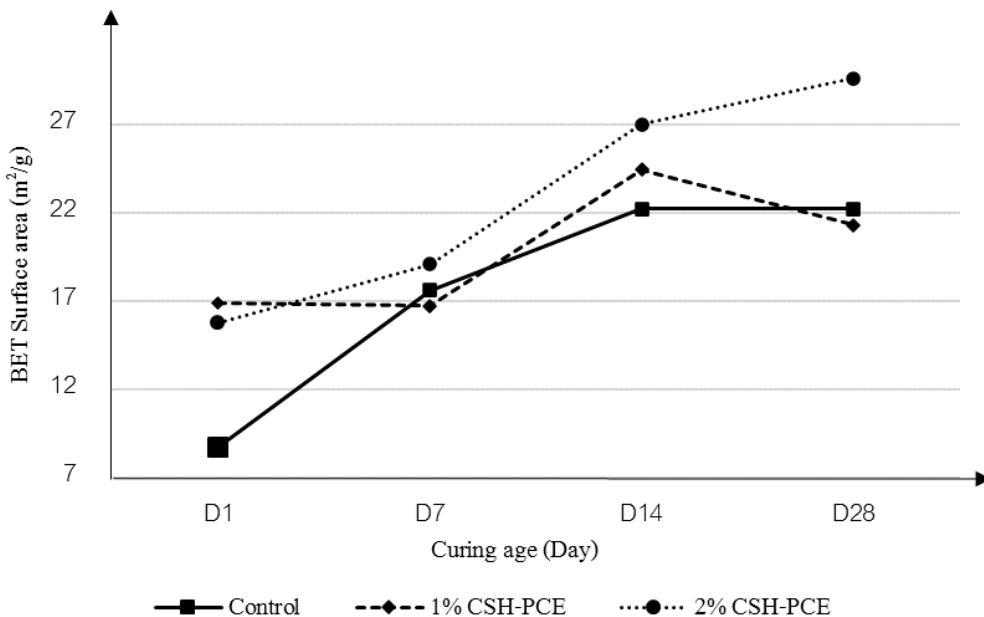
เมื่อพิจารณาปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันซึ่งได้จากการตรวจวัดโดยวิธี Rietveld refinement ดังภาพที่ 3 พบว่า ตัวอย่างควบคุม (Control) จะมี  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ยังคงดำเนินอย่างต่อเนื่อง โดยปกติ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  นั้นจะก่อလดลง เมื่อระยะเวลาการบ่มที่ 28 วันผ่านไปอันเนื่องจากปฏิกิริยาปอชโซลานิก (Kanchanason & Plank, 2018)

ในขณะที่ถ้าลองซีเมนต์เพสต์ที่มีการผสม CSH-PCE ในอัตราส่วน 1% และ 2% CSH-PCE จะมีปริมาณ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  เพิ่มขึ้น ในช่วงระยะเวลาการบ่มที่ 1 วันและ 7 วัน เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรก ก่อนที่จะลดลงเมื่อทำการบ่มที่ 14 และ 28 วันเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาปอชโซลานที่เร็วขึ้นระหว่างถ้าลองและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้เกิดสารแคลเซียมซิลิกेट ไฮเดรตที่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานส่งผลให้เกิดการรวมตัวและขีดเค็มกันเป็นโครงสร้างที่มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น (Moh Z.C., 1969) ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญทั้งในขณะที่ทำการก่อสร้างตลอดจนอาชญาการใช้งานของคอนกรีต(บริษัทปูนซีเมนต์อุตสาหกรรมจำกัด, 2548).

โดยช่วงระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน ถึง 14 วัน ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยถ้าลองซีเมนต์เพสต์ที่ผสม CSH-PCE ในอัตราส่วน 1% และ 2% จะมีปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน 37.09% และ 38.61% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม (Control)

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์ด้านพื้นที่ผิวจำเพาะ

พื้นที่ผิวจำเพาะ ได้ถูกนำมาใช้ในการอธิบายและบ่งชี้ถึงศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ดังแสดงดังภาพที่ 4 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวจำเพาะเมื่อทำการวิเคราะห์ โดยอาศัยหลักการคูดซับก๊าซในไตรเจน พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไปพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างถ้าลองซีเมนต์เพสต์จะเพิ่มขึ้น (Asad Hanif et. Al., 2017) เนื่องจากเกิดแคลเซียมซิลิกेट ไฮเดรตผลของการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน



ภาพที่ 4 ปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างถ้าล้อยซีเมนต์เพสต์และถ้าล้อยซีเมนต์เพสต์ที่ผสม CSH-PCE

ณ การบ่มที่ 1 วัน จนถึง 28 วัน ถ้าล้อยซีเมนต์เพสต์ที่ผสม CSH-PCE ในอัตราส่วน 1% และ 2% จะมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นถึง 16.80% และ 56.73 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม (Control) เนื่องจากคุณสมบัติในการเป็น Seeding Material ของ CSH-PCE ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นส่งผลต่อปฏิกิริยาไฮเดรชันของ  $C_3S$  และ  $C_2S$  ในช่วงแรกของถ้าล้อยซีเมนต์เพสต์เพิ่มมากขึ้น (Kanchanason, V., & Plank, J., 2015) หากแต่พื้นที่ผิวจำเพาะที่วิเคราะห์ได้นั้นไม่จำเป็นที่จะมีค่าเป็นสัดส่วนกับปริมาณของแคลเซียมซิลิกเกตที่เกิดขึ้น ภายในปูนซีเมนต์เพสต์ ซึ่งมักจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอิอกไอลายส่วน อาทิ องค์ประกอบของซีเมนต์ อุณหภูมิ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ ประสาณเป็นต้น (Jeffery J. Thomas et. Al., 1999) ซึ่งถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่ควรจะได้รับการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาประสิทธิภาพของสารแคลเซียมซิลิกเกตไฮเดรตโพลีคาร์บอซิเลตอีเทอร์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ผสมถ้าล้อยจากโรงไฟฟ้าล้านหิน ซึ่งพิจารณาองค์ประกอบ ปริมาณโพลีที่เกิดขึ้นและการวิเคราะห์พื้นที่ผิวสัมผัสของถ้าล้อยซีเมนต์เพสต์ พบว่า ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มนานขึ้น ซึ่งเมื่อเติมสาร 2% CSH-PCE ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะเพิ่มขึ้นถึง 38.61% ในขณะเดียวกันพื้นที่ผิวจำเพาะก็มีปริมาณเพิ่มขึ้น 56.73 % เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นได้ว่า สารแคลเซียมซิลิกเกตไฮเดรตโพลีคาร์บอซิเลตอีเทอร์ สามารถใช้ในการเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ผสมถ้าล้อยได้

## 6. ข้อเสนอแนะ

ยังมีปัจจัยอื่นๆ อิอกไอลายปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ เช่น องค์ประกอบของซีเมนต์ อุณหภูมิ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาณ เป็นต้น ซึ่งถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่ควรจะได้รับการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต และสามารถนำไปประยุกต์ใช้

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคุณ ชมพนุท วิรเศรษฐี ในการอนุเคราะห์ตัวอย่างปูนซีเมนต์และ เก้าอี้อย่างทันท่วงที ไฟฟ้าอย่างทันท่วงที นอกจากนี้ขอขอบพระคุณ คุณ ฉันทนา อินทิม ในการให้ความสำคัญ ทางด้านอุปกรณ์และเครื่องมือปฏิบัติการ และคุณจิราพร ทองแย้ม ในการสนับสนุนข้อมูลประกอบงานวิจัย

## 8. เอกสารอ้างอิง

- บริษัทปูนซีเมนต์อุตสาหกรรมจำกัด. (2548). *ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน (Cement and Applications)*.  
ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2553). *เก้าอี้อย่างทันท่วงที ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างทันท่วงที*.  
Asad Hanif a, Pavithra Parthasarathy a, Hongyan Ma b, Tianyuan Fan a, Zongjin Li c\*(2017). *Properties Improvement of Fly Ash Cenosphere Modified Cement Pastes 1 Using Nano Silica*. Department of Civil and Environmental Engineering, The Hong Kong University of Science 4 and Technology, Clear Water Bay, Kowloon, Hong Kong, S.A.R. China.
- Bryan K. Marsh and Robert L. Day (1987). *Pozzolanic and cementitious reactions of fly ash blended cement paste*. Department of civil engineering., University of Calgary , Alberta, Canada.
- D. Marchon, R.J. Flatt, (2016). *Mechanism of cement hydration*. Institute for Building Materials, ETH Zurich, Zurich, Switzerland
- Jeffery J. Thomas, Hamlin M. Jennings and Andrew J. Allen. (1999). *The Surface Area of Hardened Cement Paste as Measured by Various Techniques*. Departments of Civil Engineering and †Materials Science and Engineering, Northwestern University, Evanston, IL, and the ‡National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
- J.J. Thomas, H.M. Jennings, J.J. Chen, Influence of nucleation seeding on the hydration mechanisms of tricalcium silicate and cement, *Journal of Physical Chemistry C*, 113, 2009, 4327-4334.
- J. Sun, H. Shi, B. Qian, Z. Xu, W. Li, X. Shen, Effects of synthetic C-S-H/PCE nanocomposites on early cement hydration, *Construction and Building Materials*, 140, 2017, 282-292.
- Kanchanason, V., & Plank, J. (2015). *CSH-PCE nanocomposites for enhancement of early strength of cement*. 19 ibausil, Bauhaus-University Weimar, Tangungsband 1, Weimar, Germany.
- Kanchanason, V., & Plank, J. (2018). Effectiveness of a calcium silicate hydrate – Polycarboxylate ether (C-S-H–PCE) nanocomposite on early strength development of fly ash cement. *Construction and Building Materials*, 169, 20-27.
- Khongprom, P., & Suwanmanee, U. (2017). Environmental benefits of the integrated alternative technologies of the Portland Cement Production: A case study in Thailand. *Engineering Journal*, 21(7), 15-27.
- L. Nicoleau, T. Gäd, L. Chitu, G. Maier, O. Paris, Oriented aggregation of calcium silicate hydrate platelets by the use of comb-like copolymer, *Soft Matter*, 9, 2013, 4864-4874.

- Moghaddam, F., Sirivivatnanon, V., & Vessalas, K. (2019). *The effect of fly ash fineness on heat of hydration, microstructure, flow and compressive strength of blended cement pastes*. Case Studies in Construction Materials, 10, e00218. ([https://doi.org/https://doi.org/ 10.1016/j.cscm.2019.e00218](https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00218)).
- Moh Z.C. (1969). “Reaction Soil Mineral with Cement and Chemical” Highway Research Board. *Bull. 86*, 42-46.
- P.K. Mehta, Concrete. (1986). *Structure, Properties and Materials*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- R. Alizadeh, L. Raki, J.M. Makar, J.J. Beaudoin, I. Moudrakovski, Hydration of tricalcium silicate in the presence of synthetic calcium-silicate-hydrate. *Journal of Materials Chemistry*, 19, 2009, 7937-7946.
- Thomas, J. J., Jennings, H. M., & Chen, J. J. (2009). Influence of Nucleation Seeding on the Hydration Mechanisms of Tricalcium Silicate and Cement. *The Journal of Physical Chemistry C*, 113(11), 4327-4334.

## การปรับปรุงสถานีงานเพื่อลดความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ ในอุตสาหกรรมผลิตคอนกรีตมวลเบา

### WORKSTATION IMPROVEMENT TO REDUCING ERGONOMIC RISK IN THE PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT CONCRETE

รัชฎา นามิดา

นิสิตมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: Golfmamida@gmail.com

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เจร เลิศสุดวิชัย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: charay.l@ku.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อการออกแบบและปรับปรุงขั้นตอนการทำงานเพื่อลดความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ในอุตสาหกรรมผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยการใช้แบบสอบถาม Nordic Body Discomfort สัมภาษณ์ความเมื่อยล้าของพนักงาน 12 คน โดยเลือกแผนกที่มีสถิติการทำงานที่ใช้บริการห้องพยาบาลในปี 2562-2563 สูงสุด 3 อันดับแรก และสำรวจหน้างานพบขั้นตอนการทำงานที่มีท่าทางที่อาจก่อให้เกิดความเมื่อยล้า 6 ขั้นตอน ประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ REBA และ NIOSH Lifting Equation จากผลการประเมินความเสี่ยงพบว่า ขั้นตอนการผสมเจลาตินและน้ำมันและขั้นตอนการทำอาหารบีชองแพนกเทล้วนผสมลงแม่พิมพ์มีคะแนน REBA 8 คะแนนซึ่งถือเป็นงานที่มีความเสี่ยงสูง เมื่อพิจารณาคะแนนในแต่ละส่วนจะพบว่าทั้ง 2 ขั้นตอนมีส่วนของร่างกายที่มีคะแนนสูง ได้แก่ ลำตัวมีคะแนนอยู่ที่ 4 คะแนน รองลงมาคือแขนส่วนบน ซึ่งสอดคล้องกับผลการสำรวจความเมื่อยล้าด้วยแบบสอบถามที่พบปัญหาจากความเมื่อยล้าในรอบ 7 วันที่ผ่านมาสูงสุดถือที่ไหลร้อยละ 66.7 รองลงมาถือที่ข้อมือหรือมือร้อยละ 50 และหลังส่วนล่างร้อยละ 33.3 ผู้วิจัยจึงได้จดอบรมการยศาสตร์ให้กับพนักงานเพื่อปรับท่าทางการทำงานที่เหมาะสม หลังการอบรมผู้วิจัยพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปพนักงานจะกลับมาทำงานในท่าทางเดิมเนื่องจากความเคยชินทำให้ความเสี่ยงกลับไปอีกในระดับสูงเช่นเดิม ผู้วิจัยจึงออกแบบเครื่องท่าอาหารบีอัตโนมัติเพื่อลดขั้นตอนในการผสมเจลาตินและน้ำมันและท่าอาหารบี ผลการแก้ไขสามารถลดขั้นตอนการผสมเจลาตินและน้ำมัน และท่าอาหารบี นอกจากนี้ยังสามารถลดขั้นตอนการทำงานตักอาหารบี ตักน้ำมันและเข็นอาหารบีในแพนกเทล้วนผสมลงแม่พิมพ์ได้ ส่งผลให้สามารถลดคนทำงานในแพนกเทล้วนผสมลงแม่พิมพ์ได้ 6 คน สรุปผลการวิจัยพบว่าการออกแบบและการปรับปรุงด้านวิศวกรรมโดยการออกแบบเครื่องท่าอาหารบีอัตโนมัติสามารถลดความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ลงได้ และไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการผลิต

คำสำคัญ: การยศาสตร์ ท่าทางการทำงาน การประเมินร่างกายส่วนบนอย่างรวดเร็ว

## ABSTRACT

This research presents the analysis for designing and improving workstations to reduce ergonomic risks in the aerated concrete industry. By using the Nordic Body Discomfort questionnaire, fatigue was interviewed among 12 employees from departments with the top three statistics of hospital visits in 2019-2020. The result of workplace surveys found that there are 6 steps which fatigue may be caused. REBA and the NIOSH Lifting Equation were tools for this research to estimate ergonomic risks. The results showed that the grease mixing, and grease application steps of the mold pour department had a REBA score of 8, which was considered a high-risk task. When considering the scores in each section, it was found that both stages had the highest scores of organs, namely the torso was scored at 4 points, followed by the upper arms. This is consistent with the results of the survey of fatigue with questionnaires that found the highest problem from fatigue in the past 7 days was at the shoulder 66.7 percent, followed by 50 percent at the wrist or hand, and the lower back. 33.3 percent. Based on the analysis of the data, the researcher has arranged ergonomic training for employees to adjust their proper working posture. After training, the employees would return to work in the same manner, as their habituation caused the risk to return to a high level. Therefore, the researcher has designed an automatic grease applicator that reduces the process of applying and mixing grease. After the installation of the automatic grease apparatus, it was found that risk level in the mold pouring department could be reduced to be 6. This concludes that workstation redesign and engineering improvements which is the automatic grease apparatus can be reduced ergonomic risks effectively.

**Keywords:** Ergonomic; Working Posture; Reba

### 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

จากความต้องการในการใช้งานคอนกรีตมวลเบาที่มากขึ้น ทำให้ผู้ผลิตหลายรายสนใจเข้ามาลงทุนในธุรกิจนี้มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการแข่งขันสูงขึ้น (เกรศราภรณ์ นิราภรณ์, 2552) เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการของตลาด จึงมีการเพิ่มกำลังการผลิตและรูปแบบของ ผลิตภัณฑ์ที่มีหลากหลายมากขึ้น รวมถึงการนำเอา เทคโนโลยีที่ทันสมัยและระบบเครื่องจักร อัตโนมัติเข้ามาใช้ในการกระบวนการผลิต เพื่อทำให้สามารถผลิต ลินค์ได้ทันต่อความต้องการของลูกค้า อย่างไรก็ตาม เครื่องจักรบางคงมีข้อจำกัดในหลายๆ ด้านที่ไม่สามารถ ทดแทนแรงงานคน ได้ทั้งหมด ผลที่ตามมาคือเกิดการทำงานระหว่างคนและเครื่องจักรเกิดขึ้น คนต้องเร่งทำงาน ให้ทันต่อความเร็วของเครื่องจักรจนอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือการเจ็บป่วยจากลักษณะการปฏิบัติงานดังกล่าว ส่งผลเสียทึ่งต่อร่างกายและจิตใจ ตลอดจนทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง

จากการสำรวจข้อมูลการใช้ห้องพยาบาลของพนักงานทั้ง โรงงานจำนวน 147 คน พบร่วปี 2562- 2563 อันดับ 1 คือ อาการทางระบบหัวใจ อันดับ 2 คือ ระบบกล้ามเนื้อ แต่อาการเจ็บป่วยระบบทางเดินหายใจอาจเกิด จากไข้หวัดเนื่องจากผลกระทบจากสภาพแวดล้อมในการทำงานไม่เกิดค่ามาตรฐาน จึงไม่พิจารณาเป็นโรคจาก การทำงาน ดังนั้นก่อนถ้วนอาการระบบกล้ามเนื้อจึงถือเป็นอันดับ 1 ของโรคที่เกิดจากการทำงาน โดยพบอาการล้วน ใหญ่ได้แก่อาการปวดหลัง ปวดไหล่ และปวดเมื่อยตามร่างกาย จากข้อมูลดังกล่าวซึ่งให้เห็นว่าเกิดปัญหาทางด้าน การยศาสตร์ขึ้นในกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาปัญหาด้านการยศาสตร์และ เสนอแนะแนวทางการปรับปรุงแก้ไข เพื่อลดความเสี่ยงด้านการยศาสตร์อันจะนำไปสู่การลดและป้องกัน ความเมื่อยล้า การบาดเจ็บและการเจ็บป่วยจากการทำงาน ให้ผู้ปฏิบัติงานมีสุขภาพที่ดี

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

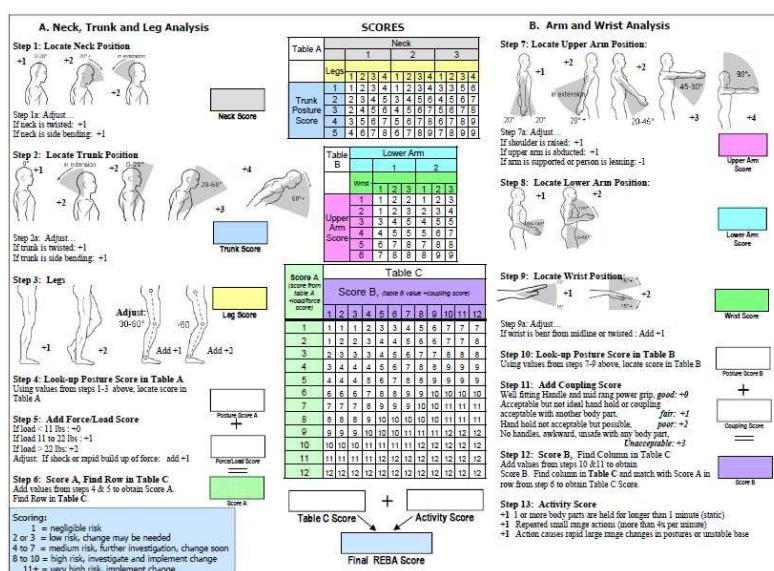
(1) เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาด้านการยศาสตร์ของพนักงานในกระบวนการผลิตองกรีตมวลเบาโดยใช้แบบประเมินความเสี่ยงทางด้านการยศาสตร์

(2) ปรับปรุงขั้นตอนการทำงานเพื่อลดความเสี่ยงด้านการยศาสตร์จากการทำงานในกระบวนการผลิตคุณภาพตามเวลา

### 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 3.1 การประเมินความเสี่ยงทางด้านการยุติศาสตร์ด้วยเทคโนโลยี REBA

การประเมินท่าทางการทำงานด้วยเทคนิค REBA คือการประเมินความเสี่ยงต่อระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ ถูกพัฒนาขึ้นโดย Hignett and McAtamney จากสถาบันการยศาสตร์ในการทำงานแห่งมหาวิทยาลัยน็อตติงแฮม ประเทศอังกฤษ โดยการประเมิน REBA นั้นจะใช้วิธีการให้คะแนนในแต่ละส่วนของ และได้แบ่งอวัยวะในการพิจารณาออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม A ประกอบด้วย ลำตัว คอ และขา กลุ่ม B ได้แก่ ศีรษะ แขน และข้อมือ ดังภาพที่ 1 คะแนนที่ได้จากการประเมิน REBA จะใช้ในการตัดสินใจพิจารณาการปรับปรุงแก้ไขในการทำงาน (S. Hignett, S., and L. McAtamney., L. 2000)



ภาพที่ 1 การประเมินท่าทางการทํางานด้วยแบบประเมิน REBA (S. Hignett, S., and L. McAtamney., L. 2000)

### 3.2 การประเมินความเสี่ยงด้วยสมการการยกของ NIOSH หรือ NIOSH Lifting Equation

NIOSH lifting equation หรือสมการการยกของ NIOSH ถูกพัฒนาขึ้นโดย NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health) เป็นหน่วยงานทางสุขศาสตร์อุตสาหกรรมในสหรัฐอเมริกา นำเสนอสมการการยกครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1981 และนำเสนอฉบับปรับปรุงอีกครั้งในปี ค.ศ. 1991 สมการการยกของ NIOSH จะทำการประเมินโดยพิจารณาตามหลักการที่ว่า น้ำหนักของวัตถุสิ่งของที่ทำการยก (Load weight) จะต้องมีค่าไม่เกินค่าความสามารถของกล้ามเนื้อในท่าทางที่เหมาะสมของร่างกายหรือปิดจำกัดของน้ำหนักที่แนะนำ (Recommended Weight Limit, RWL) โดยอัตราส่วนของน้ำหนักที่ยกกับปิดจำกัดของน้ำหนักที่แนะนำเรียกว่า ดัชนีการยก (Lifting Index, LI) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆดังนี้

### 3.2.1 การคำนวณค่าปีกจำกัดของน้ำหนักที่แนะนำ (Recommended Weight Limit ;RWL)

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM \quad (1)$$

H = Horizontal location of the object relative to the body

V = Vertical location of the object relative to the floor

D = Distance the object is moved vertically

A = Asymmetry angle or twisting requirement

F = Frequency and duration of lifting activity

C = Coupling or quality of the workers grip on the object

### 3.2.2. การคำนวณดัชนีความเสี่ยงในการยก (NIOSH Lifting Index)

$$\text{Lifting Index (LI)} = RWL \div \text{Weight} \quad (2)$$

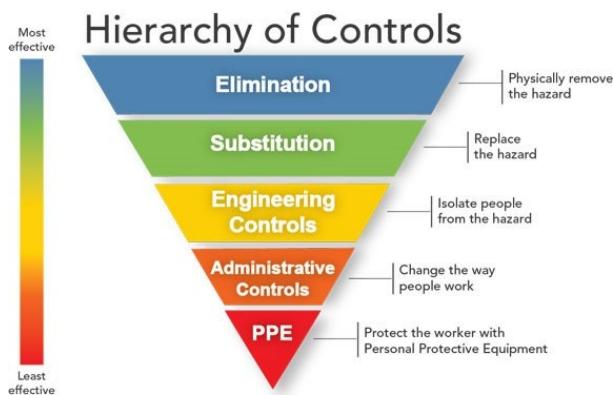
กรณีที่ค่า LI น้อยกว่า 1 แสดงว่า สถานการณ์งานยกข้ายังมีความปลอดภัย

กรณีที่ค่า LI อยู่ระหว่าง 1 กับ 3 แสดงว่างานยกข้ายังนั้น ไม่มีความปลอดภัยต้องมีมาตรการด้านวิชากรรมเข้ามาปรับปรุง

กรณีที่ค่า LI มากกว่า 3 แสดงว่า งานยกข้ายังนั้นมีอันตรายมากต้องสั่งห้ามให้มีการทำงานดังกล่าวโดยเด็ดขาด

### 3.3 การควบคุมปัจจัยเสี่ยงตามหลักการยศาสตร์

การควบคุมปัจจัยเสี่ยงตามหลักการยศาสตร์ มีหลักวิธีที่จะช่วยลดความเสี่ยงและควบคุมปัจจัยเสี่ยงเพื่อปรับงานให้เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งจะใช้ Hierarchy of Control มาเป็นหลักการในการควบคุมทางการยศาสตร์ รายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2 Hierarchy of Control (ศรุดา จิรัสรุกุลชนา, 2564)

3.1.1. Elimination การกำจัดอันตราย/ปัจจัยเสี่ยง เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด แต่ดำเนินการได้ยากที่สุด ตัวอย่างการควบคุมการยศาสตร์ด้วยวิธีการ Elimination เช่น การออกแบบลักษณะงานใหม่ (job redesign) เพื่อลดการทำงานที่ไม่เหมาะสมที่อาจจะเกิดขึ้น

3.1.2. Substitution การแทนที่อันตราย/ปัจจัยเสี่ยง เช่น การเปลี่ยนไปใช้เครื่องมือที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานและพื้นที่การทำงาน หรือการเปลี่ยนไปใช้เครื่องมือที่มีความเสี่ยงและอันตรายน้อยกว่าแทน

3.1.3 Engineering Controls การควบคุมด้วยวิธีทางวิศวกรรม เช่น การใช้สายพานลำเลียง (Conveyor) เพื่อลดการทำงานซ้ำซากและลดแรงที่ใช้ในการเคลื่อนชิ้นงาน เป็นต้น

3.1.4 Administrative Controls / Work practice controls การควบคุมทางการบริหารจัดการ โดยเปลี่ยนวิธีการทำงาน มีแนวทางและขั้นตอนที่เหมาะสม เพื่อสร้างกระบวนการหรือขั้นตอนการทำงานที่มีประสิทธิภาพ

3.1.5 Personal Protective Equipment (PPE) การใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล เพื่อลดการสัมผัสกับปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการยาสตร์

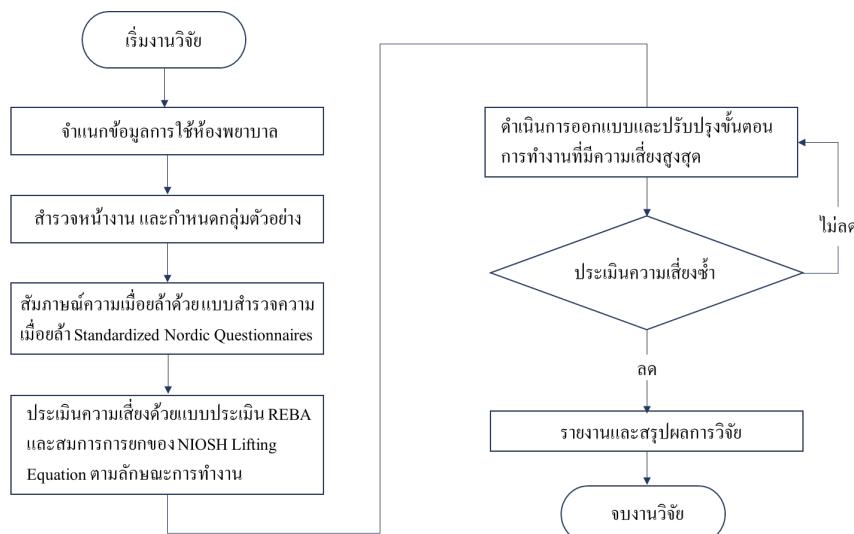
### 3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(ธีรพงษ์ ทับพร, 2563) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงท่าทางการทำงานของพนักงานบรรทุกพ่วงโดยใช้หลักการยาสตร์ พบว่ากระบวนการบรรทุกพ่วงมีความเสี่ยงต่อสุขภาพของบุคลากรที่ต้องน้ำหนักตัวอย่างมาก จึงดำเนินการปรับปรุงท่าทางการทำงานของพนักงานให้มีความเสี่ยงต่ำลง โดยใช้เครื่องมือประเมินท่าทางด้วยวิธี RULA และวิธี REBA ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าประเมินท่าทางด้วยวิธี RULA เท่ากับ 3.90 หมายถึง จำเป็นต้องมีการออกแบบงานใหม่ และมีค่าประเมินท่าทางด้วยวิธี REBA เท่ากับ 4.95 หมายถึง เริ่มเป็นปัญหาควรทำการปรับปรุงแก้ไข งานวิจัยนี้จึงปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงาน ตามแนวโน้มการทำงาน และออกแบบอุปกรณ์ช่วยลดการออกแรงในการทำงาน โดยการใช้เครื่องซึ่งเป็นอุปกรณ์ช่วยยกอัตโนมัติที่มีอยู่ในจุดปฏิบัติงานมาช่วยปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน ส่งผลให้ขั้นตอนการยกหุ้มพลาสติกหายไปเนื่องจากเปลี่ยนการใช้กำลังคนเป็นการใช้กำลังของเครื่องจักรแทน ผลการประเมินหลังการปรับปรุงการทำงานพบว่าค่าความเสี่ยงทางการยาสตร์ ประเมินท่าทางด้วยวิธี RULA เท่ากับ 2.64 มีค่าประเมินด้วยวิธี REBA เท่ากับ 3.53

## 4. วิธีดำเนินการวิจัย

### 4.1 แบบแผนการวิจัย

เริ่มต้นทำการค้นคว้าข้อมูลทางด้านทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำข้อมูลจากงานวิจัยมาพิจารณา ประเด็นปัญหาและผลลัพธ์ในการแก้ไขสถานะในงานเพื่อลดความเสี่ยงต่อการยาสตร์ งานนี้เริ่มดำเนินการวิจัยตามแบบแผนการวิจัยที่แสดงรายละเอียดในภาพที่ 3 ดังรูป



ภาพที่ 3 แบบแผนการวิจัย

#### 4.2 ประชากรและตัวอย่าง

สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในครั้งนี้ คือพนักงานในโรงงานผลิตคอนกรีตมวลเบาแห่งหนึ่ง ในจังหวัดสระบุรี ของแผนกที่มีผลการเข้าใช้ห้องพยาบาลสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ แผนกเทส่วนผสมลงแม่พิมพ์ 6 คน แผนกบรรจุ (เสริมงาน) 4 คน และแผนกบรรจุ 2 คน

### 5. ผลการวิจัย

#### 5.1 ศึกษาปัญหาโดยการสำรวจหน้างาน

ดำเนินการสำรวจหน้างานแผนกที่มีอัตราการเข้ารับบริการห้องพยาบาลสูงสุด 3 อันดับแรก คือ แผนกเทส่วนผสมลงแม่พิมพ์ แผนกบรรจุ(เสริมงาน) และแผนกบรรจุ พนักงานที่เข้าใช้ห้องพยาบาลสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ แผนกเทส่วนผสมลงแม่พิมพ์ แผนกบรรจุ(เสริมงาน) และแผนกบรรจุ 2 คน ทำงานที่มีท่าทางการทำงานที่อาจจะเป็นสาเหตุก่อให้เกิดอาการเจ็บป่วยทางระบบกล้ามเนื้อดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของแผนกเทส่วนผสมลงแม่พิมพ์ แผนกบรรจุ(เสริมงานแตก) และแผนกบรรจุ

แผนก พนักงาน	จำนวน พนักงาน	ขั้นตอนการทำงาน	ส่วนของร่างกาย	ภาพการทำงาน
เทส่วนผสม ลงแม่พิมพ์	6	ตักเจารีบ เจ็บเจารีบ	แขนล่างบน, ไหล่, หลังล่างบน	
				
		ตักน้ำมันทาแม่พิมพ์	แขนล่างบน, ไหล่	
		ผสมเจารีบกันน้ำมัน	หลังล่างล่าง, ไหล่, มือ/ข้อมือ	
		ทาเจารีบ	ไหล่, มือ/ข้อมือ	
บรรจุ (เสริมงานแตก)	4	เสริมงานแตก	หลังล่างบน, หลัง ส่วนล่าง, ไหล่	
บรรจุ	2	ทำความสะอาดตระแกรง ร่องงาน	ไหล่, มือ/ข้อมือ	

#### 5.2 สำรวจความเมื่อยล้าของระบบกล้ามเนื้อ

สำรวจความเมื่อยล้าของพนักงานด้วยแบบสำรวจความเมื่อยล้าของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ Standardized Nordic Questionnaires ในแผนกเทส่วนผสมลงแม่พิมพ์ จำนวน 6 คน และแผนกบรรจุ 6 คน

## ตารางที่ 2 ส่วนของร่างกายที่ผิดปกติ

ช่วงเวลาของอาการที่ผิดปกติ	ส่วนของร่างกายที่ผิดปกติ (ร้อยละ)								
	คง	ไหหล	หลัง ส่วนบน	ข้อศอก	ข้อมือ/มือ	หลัง ส่วนล่าง	สะโพก/ ต้นขา	หัวเข่า	ข้อเท้า/ เท้า
<b>แผนกส่วนผสมลงแม่พิมพ์</b>									
มีอาการในรอบ 7 วันที่ผ่านมา	16.7	66.7	0.0	16.7	50.0	33.3	0.0	16.7	0.0
มีอาการในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา	16.7	50.0	16.7	16.7	33.3	16.7	0.0	16.7	0.0
หยุดงานหรือเข้ารับการรักษาในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>แผนกบรรจุ</b>									
มีอาการในรอบ 7 วันที่ผ่านมา	0.00	83.33	50.00	16.67	0.00	50.00	0.00	16.67	0.00
มีอาการในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา	0.00	50.00	33.33	16.67	16.67	50.00	0.00	33.33	0.00
หยุดงานหรือเข้ารับการรักษาในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

จำแนกส่วนของร่างกายที่มีความผิดปกติพบว่าส่วนของร่างกายที่มีความผิดปกติของทั้ง 2 แผนกมีความสอดคล้องกับผลการสำรวจหน้างานในลักษณะท่าทางการทำงานที่อาจจะส่งผลให้เกิดปัญหาความเมื่อยล้า

### 5.3 ผลการประเมินความเสี่ยง

ประเมินความเสี่ยงด้านการขาดร่องแต่ละขั้นตอนการทำงานโดยพิจารณาใช้เครื่องมือ REBA กับขั้นตอนการทำงานที่มีการเคลื่อนไหวร่างกายทั้งดัว และเครื่องมือ NIOSH Lifting Equation สำหรับงานที่มีการยกเคลื่อนย้าย

## ตารางที่ 3 ผลการประเมินความเสี่ยงด้วย REBA และ NIOSH Lifting Equation

แผนก	ขั้นตอนการทำงาน	เครื่องมือที่	คะแนน		ระดับความเสี่ยง
			ใช้	ไม่ใช้	
เกส่วนผสมลงแม่พิมพ์	ตักจารบี	REBA	7	ความเสี่ยงปานกลาง	
	เบ็นจารบี	REBA	4	ความเสี่ยงปานกลาง	
	ตักน้ำมันทาแม่พิมพ์	REBA	5	ความเสี่ยงปานกลาง	
	ผสมจารบีและน้ำมัน	REBA	8	ความเสี่ยงสูง	
	ทาจารบี	REBA	8	ความเสี่ยงสูง	
บรรจุ	เสริมงานเตก	NIOSH	2.10	งานนี้ไม่มีความปลดปล่อย แต่สามารถกระทำต่อไปได้ แต่ต้องมีมาตรการทางด้านวิศวกรรมเข้ามาควบคุมงานยกขึ้นไป	
	ทำความสะอาด	REBA	5	ความเสี่ยงปานกลาง	
	แกรงร่องงาน				

ผลการประเมินความเสี่ยงพบว่าขั้นตอนการผสมจารบีและน้ำมันมีความเสี่ยงอยู่ในระดับสูงสุด มีคะแนนความเสี่ยง 8 คะแนน เป็นขั้นตอนการทำงานที่มีความเสี่ยงสูง ควรวิเคราะห์เพิ่มเติมและควรรีบปรับปรุงผู้วิจัยจึงเลือกลดความเสี่ยงด้านการยกของในขั้นตอนการผสมจารบีและน้ำมันและขั้นตอนทาจารบี

#### 5.4 การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงด้านการยศาสตร์

ผู้จัดฯ ได้จัดอบรมด้านการยศาสตร์ให้กับพนักงานที่ทำงานในขั้นตอนการพสมารบีและน้ำมันและขั้นตอนทางารบีและได้กำหนดค่าทางการทำงานที่เหมาะสมให้กับพนักงานรายละเอียดดังนี้

5.4.1 ขั้นตอนการพสมารบีและน้ำมัน ก่อนนำไปท่าทางแม่พิมพ์ โดยปรับท่าทางตำแหน่งของคอในการก้มทำงานจากมากกว่า 20 องศาเป็น 0-20 องศา ช่วงลำตัวมีการโน้มของลำตัวเปลี่ยนองศาจากมากกว่า 60 องศา เป็น 0-20 องศา ช่วงแขนส่วนบนมีการปรับองศาจาก 20-45 องศาเป็นไม่เกิน 20 องศา และแขนส่วนล่างในการองมากกว่า 100 องศาเป็นองระหว่าง 60-100 องศา

5.4.2 ขั้นตอนการทำงานที่พสมารบีที่ผลิตเครื่องลงบนแม่พิมพ์ โดยการปรับท่าทางส่วนของลำตัวจากการบิดตัวและก้มระหว่าง 20-60 องศาให้ไม่มีการบิดตัวและปรับการก้มตัวเป็น 0-20 องศา แขนส่วนบนมีการยกมากกว่า 90 องศาเป็นยกไม่เกิน 20 องศา และแขนส่วนล่างในการองมากกว่า 100 องศาเป็นองระหว่าง 60-100 องศา

<b>Q-CON</b>	บริษัท ควอลิตี้คอนสตรัคชันโปรดักส์ จำกัด (มหาชน) Quality Construction Products Public Co., Ltd.			หมายเลขอ客สาร	SD-PD5-7001
	เอกสารสนับสนุน (supporting Document)			หน้าที่	1 ชุด 1
	เรื่อง : ท่าทางการทำงานในขั้นตอนพสมารบีและน้ำมัน และทางารบีแม่พิมพ์			แบบฟอร์มที่	0
				วันที่อนุมัติ	1 ก.พ. 2564
ลำดับ		ขั้นตอน	รายละเอียดการทำงานปฏิบัติงาน	ภาพประกอบ	ท่าทางการทำงานที่เหมาะสม
1	พสมารบีและน้ำมัน	พนักงานยกตัวงอมา 20 ลิตรเท่านั้น ขั้นตอน 10 ลิตรลงพรมกับน้ำอัน โดยมีการทำกางก้ม และเก็บกล่องเดินเข้าห้องน้ำทันที ต่อพสมารบี 210 รอบ/วัน		1. การก้มของคอไม่ควรเกิน 20 องศา 2. การโน้มของลำตัวควรอยู่ระหว่าง 0-20 องศา <sup>3. เมื่อนอนส่วนบนมีความแกร่งของขาแนวส่วนที่ไม่ตั้ง 20 องศา<sup>4. เมื่อแขนส่วนล่างอยู่ระหว่าง 60-100 องศาจากแขนส่วนบน</sup></sup>	
2	ทางารบี	ใช้อุปกรณ์ทางารบีที่เหมาะสมกับน้ำเงี้ยวข้อ แล้วให้ทัวแม่พิมพ์ ความถี่ 15 ครั้ง/นาทีโดย วันละ 210 แม่พิมพ์		1. การก้มของคอไม่ควรเกิน 20 องศา <sup>2. การโน้มของลำตัวควรอยู่ระหว่าง 0-20 องศา<sup>3. เมื่อนอนส่วนบนมีความแกร่งของขาแนวส่วนที่ไม่ตั้ง 20 องศา<sup>4. เมื่อแขนส่วนล่างอยู่ระหว่าง 60-100 องศาจากแขนส่วนบน</sup></sup></sup>	

โดยแทนคุณภาพ " ติดเชือกฐานะคุณภาพยอดเยี่ยม ติดเชือง Q-CON "

ภาพที่ 4 กำหนดค่าทางการทำงานที่เหมาะสม

หลังอบรมผู้จัดฯ ได้สังเกตท่าทางการทำงานของพนักงาน 3 เดือนด้วยแบบประเมิน REBA พบพล การประเมินท่าทางการทำงานดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการสังเกตท่าทางการทำงานครั้งที่ 1

ขั้นตอนการทำงาน	ผลประเมินท่าทาง	ผลประเมิน	ผลประเมิน	ส่วนของร่างกาย ที่มีปัญหา
	เดือนที่ 1	ท่าทางเดือนที่ 2	ท่าทางเดือนที่ 3	
พสมารบีและน้ำมัน	4	7	8	หลัง, คอ, ไหล่
ทางารบี	4	6	8	หลัง, คอ, แขน
ระดับความเสี่ยง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	

จากตารางที่ 4 พบว่าหลังอบรมพนักงานมีท่าทางการทำงานที่เหมาะสม ทำให้คะแนนความเสี่ยงลดลง แต่เมื่อเวลาผ่านไปคะแนนความเสี่ยงจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากมีท่าทางการทำงานกลับไปในลักษณะเดิม ผู้วิจัยจึงจัดอบรมทบทวนด้านการยศาสตร์ครั้งที่ 2 และสังเกตท่าทางการทำงานเพิ่มอีก 3 เดือน

ตารางที่ 5 ผลการสังเกตท่าทางการทำงานครั้งที่ 2

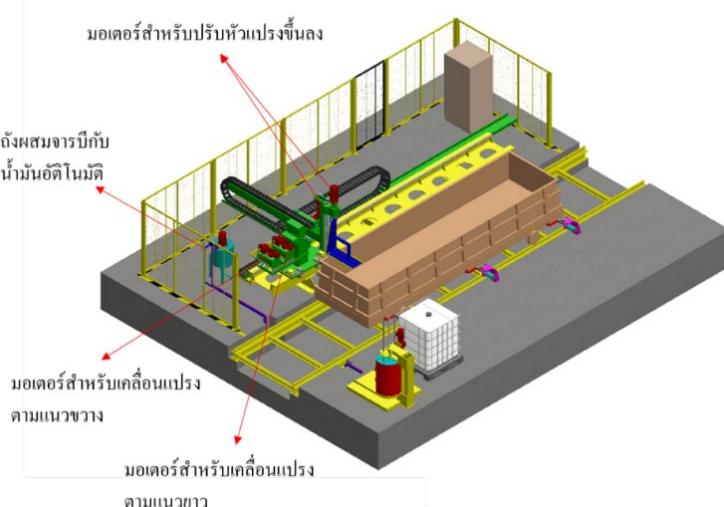
ขั้นตอนการทำงาน	ผลประเมินท่าทาง	ผลประเมิน ท่าทางเดือนที่ 5	ผลประเมิน ท่าทางเดือนที่ 6	ส่วนของร่างกาย ที่มีปัญหา
	เดือนที่ 4			
พสมารบีและน้ำมัน	5	7	8	หลัง, คอ, ไหล่
ทอาจารบี	6	7	8	หลัง, คอ, แขน
ระดับความเสี่ยง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	

จากตารางที่ 5 พบว่าเดือนที่ 4-5 หลังการอบรมพนักงานจะมีท่าทางการทำงานที่เหมาะสมแต่แนวโน้มคะแนนสูงขึ้น และเดือนที่ 6 ผลประเมินท่าทางการทำงานอยู่ในระดับสูง เนื่องจากพนักงานกลับไปทำงานในลักษณะเดิม ซึ่งจากการสอบถามพนักงานพบว่าพนักงานมีความเคยชินกับลักษณะการทำงานแบบเดิมประกอบกับงานมีความเร่งรีบจึงทำให้ไม่สามารถทำงานในท่าทางที่เหมาะสมได้

ดังนั้นการแก้ไขด้วยการอบรมและให้ความรู้เกี่ยวกับการยศาสตร์จึงช่วยให้พนักงานลดความเสี่ยงลงได้ ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เมื่อเวลาผ่านไปพนักงานจะกลับมาทำงานในลักษณะเดิมเนื่องจากความเคยชิน ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาแนวทางการแก้ไขรูปแบบใหม่คือการออกแบบเครื่องท่าอาจารบีอัตโนมัติ

### 5.5 การออกแบบเครื่องท่าอาจารบีอัตโนมัติ

พิจารณาออกแบบเครื่องท่าอาจารบีอัตโนมัติเพื่อแก้ไขขั้นตอนการพสมารบีและน้ำมันและขั้นตอนการทำอาจารบี แต่หลังจากออกแบบเครื่องท่าอาจารบีอัตโนมัติพบว่าสามารถแก้ไขครอบคลุมไปยังขั้นตอนการตักอาจารบี ขั้นตอนการตักน้ำมันทาแม่พิมพ์และขั้นตอนการเข็นอาจารบีมีความเสี่ยงระดับปานกลาง ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ภาพจำลองการออกแบบเครื่องท่าอาจารบี

### ตารางที่ 6 การออกแบบเครื่องท่าjarบี

ขั้นตอน การปฏิบัติงาน	ระดับ ความเสี่ยง	การออกแบบ	แนวทางการพิจารณา
ตักjarบี	ปานกลาง	ออกแบบระบบอัตโนมัติ	เนื่องจากการบีมีความหนืด จึงเลือกใช้ระบบแรงดันอัตโนมัติ จาบีโดยใช้ มอเตอร์แบบ Helical Gear Motor ขนาด 1.5 Kw ดันjarบีออกจากถัง 200 ลิตร และทำการต่อห่อส่งไปยังถังผสมjarบีอัตโนมัติ
เพ็นjarบี	ปานกลาง	ออกแบบระบบอัตโนมัติ	ติดตั้งbeamคุดน้ำมันทาแม่พิมพ์จากถัง 1000 ลิตร และต่อท่อส่งไปยังถังผสม
ตักน้ำมัน	ปานกลาง	ออกแบบระบบถุง	ติดตั้งbeamคุดน้ำมันทาแม่พิมพ์จากถัง 1000 ลิตร และต่อท่อส่งไปยังถังผสม
ทาแม่พิมพ์		น้ำมันทาแม่พิมพ์ อัตโนมัติ	
ผสมjarบี กับน้ำมัน	สูง	ออกแบบระบบถัง	ออกแบบขนาดถังผสมที่ 80 ลิตร และใช้มอเตอร์เกียร์ตรงขนาด 0.75 Kw ในการหมุนในการถังผสมอัตโนมัติ
ท่าjarบี	สูง	ออกแบบระบบแรง	ออกแบบระบบท่าjarบีโดยใช้แปรงทาสีสำหรับทาแม่พิมพ์ เลือกแปรงตรง 2 ชั้นวางแผนบนสำหรับทาพื้นแม่พิมพ์และวางแผนด้วยสำหรับทาด้านข้างแม่พิมพ์ ใช้แปรงแบบให้jarบีและน้ำมันซึมผ่านเพื่อป้องกันการฟื้งกระจาบทองละออง



ภาพที่ 6 ภาพเครื่องท่าjarบี

### 5.6 การประเมินค่าใช้จ่ายและระยะเวลาคืนทุน

#### ตารางที่ 7 การประเมินค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายต่อปี (บาท)		ผลประหยัดต่อปี (บาท)	
ค่าเสื่อมราคา	237,500	ค่าวัสดุพยาบาลด้วยระบบโกรงร่างและกล้ามเนื้อ	5,822
ค่าไฟฟ้า	125,513	ค่าใช้จ้างแรงงานลูกจ้าง 8 ชั่วโมงการทำงานจำนวน 6 คน	700,494
ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร	50,000	ค่าใช้จ้างแรงงานโดยทึบบังคับ 4 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 6 คน	464,805
		ค่าวัสดุพยาบาลด้วยระบบผ้าหันจากการแพ็จารบีและน้ำมัน	4,840
รวมรายจ่าย	413,013	รวมผลประหยัด	1,175,961
ผลประโยชน์สุทธิ			762,948

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนี้} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \frac{\text{ราคากล่องทอาจารบีอัตโนมัติ}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิ}} \\
 &= \frac{2,500,000}{762,948} \\
 &= 3.27 \text{ ปี}
 \end{aligned}$$

จากการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของเครื่องทอาจารบีอัตโนมัติที่ดำเนินการติดตั้งในการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานของแผนกเท่ากับ 3.27 ปี

### 6. อภิปรายผล

จากการพิจารณาแนวทางการแก้ไขด้านการอบรมการยศาสตร์และกำหนดท่าทางการทำงานที่เหมาะสม ไม่สามารถลดความเสี่ยงในระยะยาวได้เนื่องจากพนักงานมีความเชี่ยวชาญในลักษณะท่าทางการทำงานแบบเดิม และผลจากการพิจารณาออกแบบเครื่องทอาจารบีอัตโนมัติพบว่าเครื่องทอาจารบีอัตโนมัติสามารถลดการทำงานได้ ครอบคลุมทั้งขั้นตอนการเขียนจารบี ตักจารบี ตักน้ำมัน ผสมจารบีและน้ำมัน และทอาจารบี โดยมีร่องการทำงานในการทอาจารบี 1 แม่พิมพ์คือ 5 นาที ซึ่งเท่ากับเวลาที่ใช้แรงคนทำงาน และเมื่อพิจารณาในด้านคุณภาพพบว่าผลจากการทอาจารบีด้วยเครื่องทอาจารบีอัตโนมัติของเสียงอยู่ที่ 3% ในขณะที่แรงคนมีของเสียงอยู่ที่ 2.8% จึงถือได้ว่าไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพ หลังการติดตั้งเครื่องทอาจารบีอัตโนมัติสามารถลดขั้นตอนการผสมจารบีกับน้ำมัน และขั้นตอนการทำงานที่มีความเสี่ยงด้านการยศาสตร์อยู่ในระดับสูง รวมไปถึงขั้นตอนการตักจารบี เขียนจารบี และตักแม่พิมพ์ที่มีความเสี่ยงในระดับปานกลาง ได้ส่งผลให้สามารถลดจำนวนคนทำงานได้จำนวน 6 คน

ดังนั้นการออกแบบเครื่องทอาจารบีอัตโนมัติสามารถลดความเสี่ยงด้านการยศาสตร์จากการทำงานในกระบวนการผลิตكونกรีตมวลเบาได้

### 7. ข้อเสนอแนะ

(1) ควรพิจารณาแนวทางการปรับปรุงแก้ไขในแผนกบรรจุ (เสริมงาน) และแผนกบรรจุ ที่มีคะแนนความเสี่ยงรองลงมา

(2) ในกระบวนการผลิตแผนกอื่นๆ จะมีการทำงานร่วมกับเครื่องจักรในลักษณะของการควบคุม เครื่องจักรเป็นจำนวนมาก ควรมีการประเมินท่าทางการนั่งทำงานควบคุมเครื่องจักรดังกล่าวด้วยแบบประเมิน

Rapid Upper Limb Assessment หรือแบบประเมิน RULA เพื่อค้นหาความเสี่ยงและปรับปรุงสถานีงานให้มีความเหมาะสม

(3) ควรพิจารณาจัดทำแพทย์เฉพาะทางด้านระบบกล้ามเนื้อและกระดูกเพื่อเข้าให้มาให้คำปรึกษาแนะนำท่าทางการทำงานที่ปลอดภัย พร้อมทั้งแนะนำวิธีการดูแลกล้ามเนื้อและกระดูกอย่างถูกวิธีให้กับพนักงาน

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์เจ เลิศสุควิชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่กรุณายังคำชี้แจงและการช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ตลอดจนเกี่ยวข้องในการดำเนินการวิจัยจนดำเนินเสร็จสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณสถานประกอบกิจการที่เอื้ออำนวยชื่อมูล เครื่องมือ อุปกรณ์ งบประมาณและทรัพยากรอื่นๆ

## 9. เอกสารอ้างอิง

- เกครากรณ์ นิรากรณ์. (2552). ปัจจัยที่มีผลต่อการซึ่งผิดกันทั้กอนกีฬาเด็กที่มีผลต่อการพัฒนาทักษะทางกายภาพของเด็ก. *นิตยสารวิชาการ มนตรีศึกษา*, 1(1), 1-10.
- ธีระพงษ์ ทับพร. (2563). การปรับปรุงท่าทางการทำงานของพนักงานบรรจุห่อพีวีซีโดยใช้หลักการยศาสตร์ กรณีศึกษา : บริษัท อุตสาหกรรมท่อน้ำไทย จำกัด. *Journal of Thonburi University (Science and Technology)*, 4(1) Jan – June 2020, 1-14.
- ศรุดา จริญกุลธนा.(2564). วิธีการควบคุมตามหลักการยศาสตร์.[ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2564, จาก: <https://www.ohswa.or.th/17817454/ergonomics-and-workstation-design-series-ep2>
- สำนักเคราะห์กิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2563). ภาพรวมเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมไทยปี 2562 [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2563, จาก: <http://www.oie.go.th/assets/portals/1/fileups/2/files/Industry%20conditions/annual2019trends2020.pdf.pdf>
- S. Hignett, S., and L. McAtamney., L. (2000). Rapid Entire Body Assessment, REBA. *Applied Ergonomics*. 31, pp. 201-205.

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของไผ่ช่างหม่นที่ผ่านการถ่าน  
โดยการใช้สารเคมีและภูมิปัญญาพื้นถิ่น

THE COMPARISON OF PHYSICAL PROPERTIES OF BAMBOO  
TREATMENT USING CHEMICAL TREATMENT  
AND LOCAL WISDOM TREATMENT

ปฎิภาณ จันสือ, ศิรเดช สุริต, ณัฐรี ศรีดารานนท์, โสภาคิย์ศักดิ์  
ภาควิชานวัตกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
E-mail: sopa.v@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษากระบวนการถ่านомลำไผ่โดยการใช้สารเคมีและไม่ใช้สารเคมีซึ่งเป็นภูมิปัญญาพื้นถิ่น โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ และทางวิศวกรรม และเลือกวิธีการถ่านแบบไม่ใช้สารเคมีที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายแต่ยังขาดการศึกษาข้อมูลทางวิชาการ (การทดสอบด้วยน้ำมัน และการแช่น้ำเกลือ อุตสาหกรรม) และวิธีการถ่านแบบใช้สารเคมี (การแช่สารบอร์แอกซ์, Borax) โดยใช้ไผ่ช่างหม่น ในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ลำไผ่ช่างหม่นที่ไม่ผ่านการถ่านอบพนกการเข้าทำลายของมอดและเชื้อราเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ไม่พบการเข้าทำลายของมอดและเชื้อราในไผ่แช่น้ำเกลือ ไผ่ช่างหม่นทดสอบมีการเข้าทำลายของมอดเพียงเล็กน้อยและพบปัญหาเชื้อราที่เกิดจากน้ำมันที่ตกค้างในไผ่หลังกระบวนการทดสอบ ส่วนไผ่แช่สารบอร์แอกซ์ (Borax) พบการเข้าทำลายของมอดและเศษชากมอดที่เข้าทำลายน้อยกว่าไผ่ทดสอบ และไม่พบการเข้าทำลายของเชื้อรา ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม ไผ่ช่างหม่นที่ผ่านการถ่านโดยวิธีการทดสอบ แช่น้ำเกลือ และแช่สารบอร์แอกซ์ (Borax) สามารถรับแรงอัดได้ใกล้เคียงกันคือ 699, 694, และ 681 ksc ซึ่งลดลง 18.3%, 19.9% และ 21.4% ตามลำดับ ไผ่ช่างหม่นที่ไม่ผ่านการถ่านอบสามารถรับแรงดึงได้ที่สุดคือ 3,163 ksc ส่วนไผ่ช่างหม่นที่ผ่านการถ่านโดยวิธีการทดสอบ แช่น้ำเกลือ และแช่สารบอร์แอกซ์ (Borax) สามารถรับแรงดึงได้ 1,449, 1,575, และ 1,853 ksc ซึ่งลดลง 54.2%, 50.2%, และ 42% ตามลำดับ จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าการถ่านอบไผ่โดยการแช่น้ำเกลืออุตสาหกรรมเป็นวิธีการที่ให้ประสิทธิภาพในการร่วมคิดที่สุด จึงมีศักยภาพในการนำไปใช้และพัฒนาต่อขอดภูมิปัญญาพื้นถิ่นที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ไผ่ช่างหม่น, การถ่านอบไผ่, การทดสอบไผ่, เทคโนโลยีที่เหมาะสม, วัสดุสีเขียว

## ABSTRACT

This research aims to study the process of preserving bamboo by using chemical treatment and non-chemical treatments which are local wisdom by comparing physical and engineering properties and choosing treatment methods, which are easily accessible but there is still a limit of academic data (oil-frying and industrial saltwater soaking), and a chemical preservation method (borax soaking). The physical property tests showed that the untreated Sang-Mon bamboo were found to be infested by many weevils and fungi, while the physical infestation of weevils and fungi were not found in salted bamboo. Fried Sang-Mon bamboo had a slight infestation of weevils, but there was a problem of mold caused by oil residues in the bamboo after the frying process. As for the bamboo soaked in Borax, there was less infestation of weevils and weevils than fried bamboo and no fungal infestation. Engineering property test results showed that the fried, salt soaked, and Borax soaked Sang-Mon bamboos had slightly differences of the compressive strength (699, 694, and 681 ksc), which decreased by 18.3%, 19.9, and 21.4%, respectively. The best tensile strength (3,163 ksc) was found in untreated bamboo. The fried, salt soaked, and Borax soaked Sang-Mon bamboos could withstand tensile strength of 1,449, 1,575, and 1,833 ksc, which reduced by 54.2%, 50.2% and 42%, respectively. From the test results, it can be seen that the preservation of bamboo by industrial salt soaking is the method that provides the best overall performance. Therefore, it has potential to be used and further the local wisdom development that is environmentally friendly in a sustainable way.

**Keywords:** Bamboo Shang Mule, Bamboo Preservation, Bamboo Frying, Appropriate technology, Green material

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิต เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่เกิดขึ้นตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย และจากการประชุมภาคีการขับเคลื่อนการปฏิบัติงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย (Thailand Climate Action Conference) เพื่อมุ่งสู่การบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางการ์บอนภายในปี ค.ศ.2050 และการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูตรีเป็นศูนย์ภายในปี ค.ศ.2065 หนึ่งในการใช้พลังงานที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์มากเป็นอันดับต้นๆ คือ การก่อสร้างและผลิตวัสดุประกอบอาคาร วัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างโดยมากมีพลังงานสะสมในวัสดุสูง (Embodied Energy) เช่น เหล็ก ซึ่งเป็นทรัพยากรากธรรมชาติที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ และคอนกรีตซึ่งมีส่วนประกอบของหินที่มาจากการทำลายธรรมชาติ แนวคิดในการใช้วัสดุทดแทนจากธรรมชาติ เช่น ไม้และไผ่ที่สามารถย่อยสลายเองได้ รวมถึงสามารถปลดล็อกทดแทนได้ เป็นวัสดุช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้อย่างยั่งยืน

ไผ่ ปัจจุบันถูกนำมาประรูปในอุตสาหกรรมวัสดุประกอบอาคารอย่างแพร่หลาย ด้วยคุณสมบัติของไผ่ที่มีอัตราการเติบโตสูง ทำให้เป็นที่นิยมนำมาเป็นวัสดุทดแทนไม้จริง แต่ค่านิยมในประเทศไทยตัดสินว่าไผ่เป็นวัสดุคุณภาพดีเนื่องจากลำไผ่ชารุดและเสื่อมสภาพได้ยากหากไม่ผ่านกรรมวิธีในการถนอมรักษาเนื่องจากไผ่ต้นทุนในการถนอมรักษาค่อนข้างสูง เช่น การแช่สารบอรัคซ์ (Borax) การอบน้ำยาไผ่โดยต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือการรมไผ่ด้วยควันกำมะถัน (จิตต์แก้ว et al., 2010) อย่างไรก็ตามการถนอมลำไผ่ด้วย

วิธีการถอนแบบภูมิปัญญาพื้นถิ่นที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายและงบประมาณในการถอนไม่สูงเมื่ออยู่ห่างจากแหล่งวิธี เช่น การเช่น้ำ การต้ม การย่าง การรมควัน แต่การทอดด้วยน้ำมันและการเช่น้ำเกลือมีอยู่น้อยมาก และการศึกษาข้อมูลทางวิชาการที่มีจำนวนจำกัดทั้งในด้านวิธีการทำและประสิทธิภาพของการถอนที่เหมาะสม

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการถอนแบบ้ำไฟที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากภูมิปัญญาพื้นถิ่นที่ขาดการศึกษาข้อมูลทางวิชาการทั้งในด้านวิธีการทำและประสิทธิภาพของการถอน 2 วิธีการ ได้แก่ การทอดด้วยน้ำมันและการเช่น้ำเกลืออุดสาหร่าย เปรียบเทียบกับการใช้สารเคมีซึ่งเป็นวิธีที่นิยมนิยมนำมาถอนแบบ้ำไฟ และมีประสิทธิภาพสูงในปัจจุบัน คือการใช้สารบอร์แอกซ์ (Borax) รวมถึงศึกษาเปรียบเทียบกับแบบ้ำไฟที่ไม่ผ่านการถอน ตลอดจนการทดสอบคุณสมบัติของแบบ้ำไฟดังกล่าว เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปใช้เป็นวัสดุเพื่อการก่อสร้างอาคาร ได้อย่างเหมาะสมและมีคุณภาพ

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 ศึกษาข้อมูลวิธีการถอนแบบ้ำไฟจากภูมิปัญญาพื้นถิ่นที่ยังขาดข้อมูลทางวิชาการ คือการทอดและการใช้เกลือ

2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันมอดและเชื้อรากของแบบ้ำไฟที่ผ่านการถอนโดยภูมิปัญญา ท้องถิ่นกับการใช้สารบอร์แอกซ์ (Borax) และไฟที่ไม่ผ่านการถอน

2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม การรับแรงอัดและแรงดึง ของแบบ้ำไฟช่างหม่นที่มีการถอนโดยภูมิปัญญาท้องถิ่น 2 วิธีการกับการใช้สารบอร์แอกซ์ (Borax) และไฟที่ไม่ผ่านการถอน

## 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบบ้ำไฟที่ผ่านการถอนจากสารเคมีและภูมิปัญญาพื้นถิ่น เป็นการศึกษาข้อมูลทั่วไปของไฟ ชนิดพันธุ์ของไฟที่นิยมนิยมมาใช้งานเป็นวัสดุประกอบอาคาร แมลงศัตรูที่เข้าทำลายแบบ้ำไฟ วิธีการถอนโดยการไม่ใช้สารเคมีและการใช้สารเคมี รวมไปถึงการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

### 3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1.1 ข้อมูลทั่วไปของไฟ

จากการลงพื้นที่สำรวจร้านค้าแบบ้ำไฟในกรุงเทพฯ และจังหวัดเชียงใหม่ พบร่องนิยมนิยมขายและใช้ประโยชน์สำหรับไฟ 3 ชนิด ได้แก่ ไฟช่างหม่น ไฟเลี้ยงและไฟราก ส่วนไฟชิดอื่นๆ เช่น ไฟสีสุก ไฟตง ไฟรากคำ จะพบมากในภาคอีสาน และไฟที่เลือกมาเพื่อทำวิจัยคือไฟช่างหม่น



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 1 (ก) ไฟเลี้ยงจาก กทม. (ข) ไฟช่างหม่น และ (ค) ไฟราก จากอำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่

ภาพถ่ายโดยผู้เขียน, ถ่ายภาพเมื่อวันที่ 6 มีนาคม 2564

### ไฝชาวหม่น ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Dendrocalamus sericeus* Munro วงศ์ : GRAMINEAE

ลักษณะทั่วไป : เป็นก่อไฝขนาดใหญ่ ลำไหสู่ตรง สูงประมาณ 15-20 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลำ 6-10 ซม. ปล่องยาว 30-40 ซม. ลำมีสีเขียวหม่น ลำอ่อนมีแป้งสีขาวที่ปล่อง ลำแก่ สีเขียวเข้ม เนื้อหนา

การกระจายพันธุ์ : พบรากหลายในพื้นที่ภาคเหนือ แฉบจังหวัดเชียงใหม่ แพร่ ลำปาง

การขยายพันธุ์ : โดยวิธีการข้าปล่อง

ประโยชน์ : ลำต้นใช้ในงานก่อสร้าง นำไปปรับรูปเป็นวัสดุประกอบอาคาร เฟอร์นิเจอร์ หน่อ นิยมนำไปปรับรูปเป็นหน่อไม้ดอง อัดปูบและอบแห้ง (เล้าสกุล et al., 2557)

#### 3.2 แมลงศัตรุทำลายลำไฝ

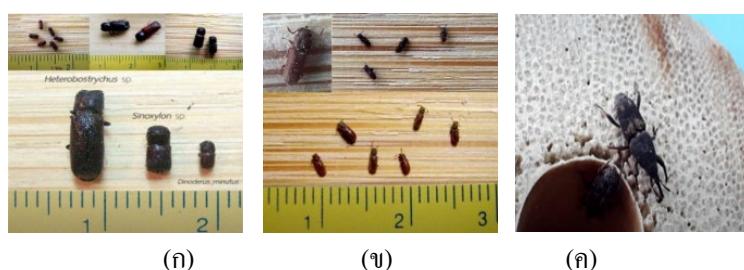
ปัจจุบันปริมาณการใช้ประโยชน์ไฝเพิ่มขึ้นทุกปี จากการนำไฝมาใช้ทดแทนไม้ในการทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีการพัฒนารูปแบบเพื่อเพิ่มนูกล่าของสินค้านานเป็นที่ต้องการของตลาด แต่ปัญหาความอดไม้ไฝและเชื้อร้ายทำลายไม้ ยังคงเป็นปัญหาสำคัญ มองไม้ไฝสามารถเข้าทำลายลำไฝได้ภายในเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากตัดฟัน จึงจำเป็นต้องป้องกันรักษาลำไฝตั้งแต่เริ่มตัดฟันเพื่อยืดอายุการใช้งานลำไฝ (กลุ่มงานแมลงและจุลชีวิทยาป่าไม้, 2012)

การเข้าทำลายของแมลงทำลายลำไฝ ขึ้นอยู่กับปริมาณแป้งในลำไฝและความชื้นของไม้ ชนิดแมลงที่เข้าทำลายลำไฝ ได้แก่

1) มองไม้ไฝสุด เริ่มเข้าทำลายลำไฝตั้งแต่ระยะตัดฟัน พบรอย 3 ชนิด *Heterobostrychus* sp. วงจรชีวิตประมาณ 5 เดือน *Sinoxylon* sp. วงจรชีวิตประมาณ 3 เดือน *Dinoderus minutus* วงจรชีวิตประมาณ 2 เดือน

2) มองไม้ไฝแห้ง *Minthea rugicollis* จัดเป็นมองชนิดเด็ก ลำตัวยาว 1.8-3.2 มิลลิเมตร สีน้ำตาล มองชนิดนี้มักพบเข้าทำลายไม้ที่มีความชื้นก้อนข้างต่ำ โดยพบเข้าทำลายไม้ที่มีความชื้นตั้งแต่ 2 - 30 % แต่ที่พบเข้าทำลายมากจะพบในไม้ที่มีความชื้น 12-15%

3) ด้วงหนวดขาวไม้ไฝ (*Chlorophorus annulatus*) เข้าทำลายได้ทั้งลำไฝที่เพิ่งตัดและลำไฝแห้ง โดยเฉพาะลำไฝที่แห้งแล้วและมีเนื้อไม้หนา วงจรชีวิตประมาณ 6 เดือน มีขนาดลำตัวใหญ่สามารถกินไฝได้ง่ายกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



ภาพที่ 2 ชนิดแมลงศัตรุทำลายไฝ (ก) *Heterobostrychus* sp., *Sinoxylon* sp. และ *Dinoderus minutus* (ข)

ขนาดมองชนิดกินไฝแห้ง *Minthea rugicollis* และ (ค) ด้วงหนวดขาวไม้ไฝ (*Chlorophorus annulatus*)

(กลุ่มงานแมลงและจุลชีวิทยาป่าไม้, 2012)

ชนิดมองที่นำมาวิจัย ซึ่งพบได้ตามเศษลำไฝที่มีในบริเวณพื้นที่ทำการทดลอง เป็นมองชนิดกินไฝแห้ง *Minthea rugicollis*

### 3.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไฝ่ อ้างอิงจากมาตรฐานงานไม้ จาก ASTM D143-09 และมาตรฐานมยพ. 1211-51(Martin et al., 2020) ซึ่งทำการทดสอบคุณสมบัติในการรับแรงอัดและแรงดึง โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 1) การรับแรงอัดของไม้ (Compressive strength)

มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนววนนาเนี้ยนของไม้ (Standard Test Method for Compression Parallel to Grain) ทฤษฎี (principles) แรงอัดของไม้ในแนววนนาเนี้ยนขึ้นอยู่กับความต้านทานของเส้นใยเล็กๆ ที่รวมตัวกันขึ้นเป็นโครงสร้างไม้เส้นไข่ต่ำสุดจะทำหน้าที่เสมือนเป็นเสากลาง (Hollow Column) เล็กๆ ดังรูปที่ 2 ที่ถูกค้ำจุนและให้ความค้ำจุนแก่เส้นไข่ตื้นๆ ที่อยู่รอบข้าง ถ้าหน่วยแรง (Stress) เพิ่มขึ้นจนถึงจุดแตกหัก (Failure) เส้นไข่ตื้นที่ทำหน้าที่ค้ำจุนเหล่านี้จะโก่งหรือองอแอบเดียวกับการแตกหักของเสาที่มีขนาดใหญ่

การหาค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด ทดสอบ ด้วยวิธีการกด (Compressive Test) ซึ่งสามารถหาได้จาก สมการที่ (1) คือ  $\sigma_{uc} = \frac{F_{uc}}{A}$  เมื่อ  $\sigma_{uc}$  คือ ความต้านทานแรงอัดสูงสุด (หน่วย MPa), และ  $F_{uc}$  คือ ภาระกดสูงสุด (หน่วย N) ตามลำดับ

#### 2) การรับแรงดึงของไม้ (Tensile Testing)

ทฤษฎี (principles) การทดสอบแรงดึงเป็นการดึงชิ้นทดสอบซึ่งทำให้ชิ้นทดสอบแตกอยู่ใต้สภาวะการยืด และเป็นกระบวนการที่ทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการเสียรูป โดยการเสียรูปเป็นการเปลี่ยนแปลง รูปทรงของชิ้นทดสอบจากแรงที่กระทำ การตรวจวัดการเสียรูปจะวัดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดชิ้น ทดสอบเทียบกับขนาดเริ่มต้น นั้นคือการเสียรูปจะวัดจากความยาวของระยะทดสอบ (gauge length) ที่เปลี่ยนแปลงไปในการทดสอบ เทียบกับระยะทดสอบเริ่มต้น ระยะทดสอบ เป็นช่วงความยาวมาตรฐานที่ใช้ในการวัดระดับการยืดหรือการเสียรูป ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ

การหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ทดสอบ ด้วยวิธีการดึง (Tensile Test) ซึ่งสามารถหาได้จาก สมการที่ (2) คือ  $\sigma_{ut} = \frac{F_{ut}}{A}$  (2) เมื่อ  $\sigma_{ut}$  คือ ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (หน่วย MPa),  $F_{ut}$  คือ ภาระดึงสูงสุด (หน่วย N), และ A คือ พื้นที่หน้าตัด ที่รับภาระ (หน่วย  $mm^2$ ) ตามลำดับ

ในประเทศไทย ได้มีการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไฝห้องถิน เนื่องจากเลี้ยงเห็นกักษากพที่จะพัฒนาให้เป็นท่อสูญอากาศที่เหมาะสมในชนบท และนำมาก่อสร้างด้วยระบบคอนกรีตเสริม筋 ไฝ โดยใช้การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D143-09 ซึ่งใช้สำหรับการทดสอบไม้ โดยยกมาเพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบของไฝช่างหม่น ได้ค่าคุณสมบัติเชิงกลต่างๆ ดังตาราง

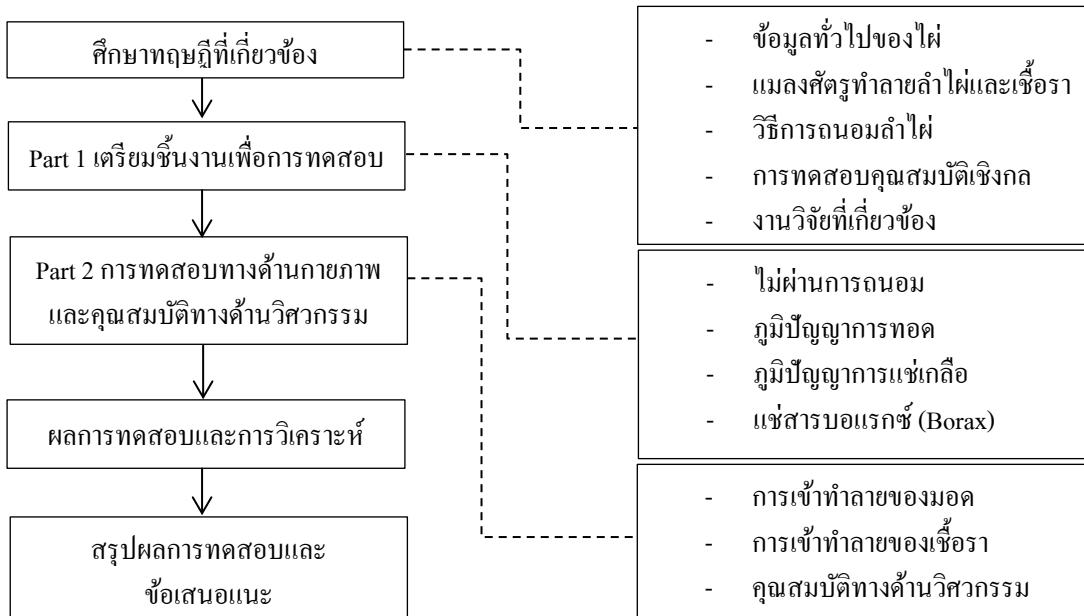
ตารางที่ 1 คุณสมบัติเชิงกลของไฝในประเทศไทยที่ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D143-09 ไม้

พันธุ์ไม้	กำลังรับแรงอัด ( ksc )	กำลังรับแรงดึง ( ksc )
ไฝช่าง	170-571	570-2,400

ที่มา: ปรับปรุงจาก (ธนา อุทัยกัตรaru 2558)

### 3.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของลำไผ่ที่ผ่านการถอนออกจากสารเคมีและภูมิปัญญาพื้นถิ่น ได้กำหนดขั้นตอนวิธีการศึกษา เพื่อเป็นแนวทางดังนี้



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบคุณสมบัติของลำไผ่ที่ผ่านการถอนออกจากสารเคมีและภูมิปัญญาพื้นถิ่น เป็นการวิจัยพัฒนาเชิงทดลอง (Experimental Development) งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการดำเนินงาน 2 ขั้น คือ ขั้นตอนแรก เป็นการศึกษาการพัฒนาระบวนการเพิ่มความคงทนของลำไผ่ โดยภูมิปัญญาท้องถิ่นคือ การทดสอบ การแข็งกล ดูดซึม และการแข็งกลสารบอแรกซ์ (Borax) ขั้นตอนที่สองเป็นการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของลำไผ่ ได้แก่ กำลังอัด กำลังดึง และศึกษาสมบัติทางกายภาพ การเข้าทำลายของแมลงศัตรูไผ่และเชื้อรากของลำไผ่ที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการถอน

ผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของลำไผ่ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความคงทนโดยวิธีการใช้สารเคมี และไม่ใช้สารเคมีจะถูกนำมาวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบกับลำไผ่ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มความคงทน

#### 4.1 วิธีการวิจัย

อัตราส่วนของการแข็งกลสารบอแรกซ์ (Borax) เท่ากับ 5 % เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การแข็งกล ดูดซึม และการแข็งกล จึงใช้อัตราส่วนนี้ เช่นกันในการถอน

4.1.1 การทดสอบ ตั้งกระทะเนื้ามันพืชลงท่อ 1 นาทีเพื่อให้อุณหภูมิเนื้ามัน 80-100 °C นำท่อนไผ่ที่เตรียมไว้ลงท่อ 60 นาที และถอยวัดอุณหภูมน้ำมันไม่ให้เกิน 200 °C ครบกำหนดเวลานำท่อนไผ่ออกส่งให้แห้ง ก่อนนำไปเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบกำลังดึงและกำลังอัด

4.1.2 การแข็งกล อุตสาหกรรม (น้ำ 1 ลิตร: เกลือ 50 กรัม) ชั้นน้ำหนักเกลืออุตสาหกรรม ในปริมาณ 1,000 กรัม เดินน้ำลงในถังพลาสติกที่บรรจุเกลืออุตสาหกรรมที่ชั้นน้ำหนักแล้วประมาณ 5 ลิตร คนให้เกลือคลายในน้ำ แล้วปรับปริมาตรของน้ำเกลือโดยการเติมน้ำให้ครบ 20 ลิตร เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของ

น้ำเกลือมีความที่ต้องการ จำนวนน้ำท่อน ไฟฟ์เตรียมไว้ จุ่มแซ่ลงในน้ำเกลือที่บรรจุในกล่องพลาสติก โดยจัดเรียง ท่อนไฟหัวมอยู่ใต้ระดับน้ำเกลือปิดฝากล่องพลาสติกให้สนิท และบันทึกวันเวลาที่เริ่มทำการทดสอบยกท่อนไฟ ขึ้นจากน้ำเกลือ เมื่อแซ่จนครบ 10 วัน นำท่อนไฟขึ้นมาผิงแล้วนำไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 °C จนมีความชื้นไม่เกิน 15% ใช้เวลา 24 - 48 ชม. ก่อนนำไปเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบกำลังดึงและกำลังอัด

4.1.3 การแซ่ Borax (น้ำ 1 ลิตร: Borax 50 กรัม) ชั่งน้ำหนักสารบอแรกซ์ (Borax) ในปริมาณ 1,000 กรัม เดินน้ำลงในถังพลาสติกที่บรรจุสารเคมีที่ชั่งน้ำหนักแล้ว ประมาณ 5 ลิตร คนให้สารบอแรกซ์ (Borax) ละลาย ในน้ำ แล้วปรับปริมาตรของน้ำยาเคมีโดยการเดินน้ำให้ครบ 20 ลิตร เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของน้ำยาตามที่ต้องการ นำท่อนไฟฟ์เตรียมไว้ จุ่มแซ่ลงในน้ำยาบอแรกซ์ (Borax) ที่บรรจุในกล่องพลาสติก โดยจัดเรียงท่อนไฟ ให้หัวมอยู่ใต้ระดับน้ำยาเคมี ปิดฝากล่องพลาสติกให้สนิท และบันทึกวันเวลาที่เริ่มทำการทดสอบยกท่อนไฟ ขึ้นจากน้ำยาบอแรกซ์ (Borax) เมื่อแซ่จนครบ 10 วัน นำท่อนไฟขึ้นมาผิงแล้วนำไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 °C จนมีความชื้นไม่เกิน 15% ใช้เวลา 24 - 48 ชม. ก่อนนำไปเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบกำลังดึงและกำลังอัด

#### 4.2 เครื่องมือวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับงานวิจัยนี้ได้แก่ เครื่องชั่งน้ำหนักสาร ตู้อบไฟฟ้า ถังแก๊สปิกนิก กระломมังسطenen เลสสำหรับทดสอบ ที่คีบ มีด ถังพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำยาเคมี เครื่องวัดอุณหภูมน้ำมัน เออร์เนีย เทอร์โนพลาสติกแบบดิจิตอล เลือดยางเดือน เครื่องวัดความชื้น และเครื่องทดสอบอุณหภูมิแบบอิเล็กทรอนิกส์ 20 ตัน Universal Testing Machine (UTM)

#### 4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ 1) สังเกตการเปลี่ยนแปลงของลำไผ่ทั้ง 4 ชุด โดยการวางไว้ในกล่องและนำเข้ามอดใส่ลงไปเพื่อ สังเกตการเข้าทำลายของมอดต่อลำไผ่ที่ผ่านและไม่ผ่าน การถอนจากวิธีการต่างๆ โดยใช้เวลาเก็บรวบรวมข้อมูล 6 เดือน 2) นำผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ช่างหน่นในประเทศไทยที่ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D143-09 ไม้

#### 4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากการทดสอบที่ได้มา 2 ชุด ได้แก่ 1) ผลการทดสอบทางกายภาพการเข้าทำลายของมอดและเข็รา จะถูกนำมาเปรียบเทียบโดยการชั่งน้ำหนัก ก่อน-หลัง การทดลองกล่องทดสอบ และสังเกตจำนวนการเข้าทำลาย 2) ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม ได้แก่ การรับแรงอัดและแรงดึง จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ช่างในประเทศไทยที่ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D143-09 ไม้

### 5. ผลการวิจัย

#### 5.1 การทดสอบการเข้าทำลายของมอด

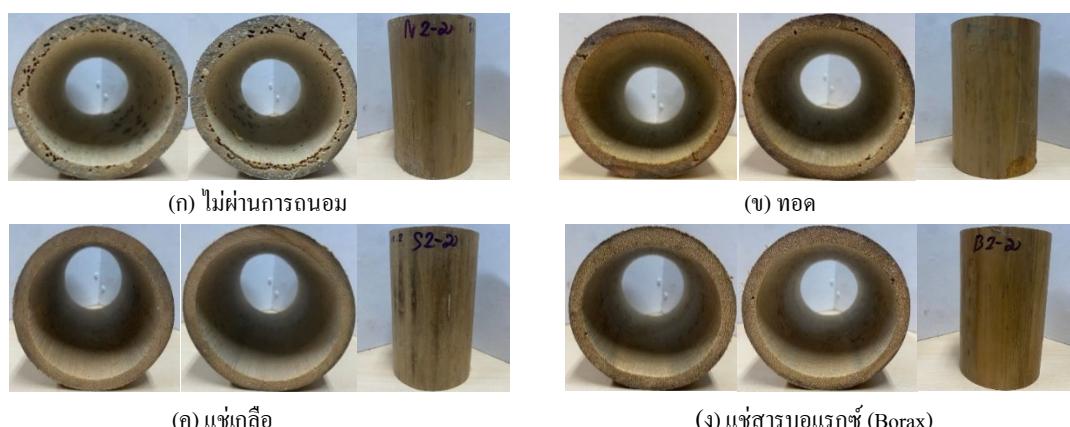
ผลการเก็บข้อมูลโดยสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพและน้ำหนัก ก่อน-หลังของท่อนไฟที่ทำการทดสอบ ระหว่างวันที่ 25 เมษายน 2564 ถึงวันที่ 3 ตุลาคม 2564 (6 เดือน โดยประมาณ)

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของลำไผ่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการกร่อนในช่วงเวลา 6 เดือน

ชนิด	ชื่อชิ้นงาน	ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก (g)		การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของลำไผ่ (%)			
		ก่อน	หลัง	% น้ำหนัก (g)	การเกิดเชื้อรา	การทำลายของแมลง(ตัว)	
ไผ่ช่าง	N2-ม	325.1	287.2	88	-12	ตรวจพบ	20 - 30
ไผ่ช่าง	F2-ม	265.2	275.5	104	+4	ตรวจพบ	3 - 5
หม่น	S2-ม	278.3	275.8	99	-1	ตรวจไม่พบ	ตรวจไม่พบ
หม่น	B2-ม	289.9	293.4	101	+1	ตรวจไม่พบ	1 - 2

N = ไม่กร่อน, F = ทอด, B = แช่สารบอร์แอกซ์ (Borax), S = แช่เกลือ

ลำไผ่ช่างที่ไม่ผ่านกระบวนการกร่อนพบร่องรอยเชื้อรา ตรวจพบจำนวน模 20 – 30 ตัวในลำไผ่ ลำไผ่ช่างทอดพบการเข้าทำลายของมอดเฉพาะขอบๆ รอยตัด ในช่วงสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 3 ไม่พบการเข้าทำลายของมอดเพิ่มเติม ลำไผ่ช่างแช่สารบอร์แอกซ์ (Borax) พบร่องรอยเชื้อรา 2 ตัวในลำไผ่ และลำไผ่ช่างแช่เกลือไม่พบการเข้าทำลายของมอดและเชื้อรา



ภาพที่ 3 ไผ่ช่างหม่นที่ผ่านการนำลงกล่องทดสอบ ภาพถ่ายโดยผู้เขียน, ถ่ายภาพเมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม 2564

## 5.2 ผลการทดสอบทางวิศวกรรม



แผนภูมิที่ 1 ค่าเฉลี่ยแรงดึงไผ่ช่างหม่น (ksc)



แผนภูมิที่ 2 ค่าเฉลี่ยแรงดึงไผ่ช่างหม่น (ksc)

จากแผนภูมิที่ 1 ผลของแรงอัด (Compressive Strength) ของไฝ่ซางหม่นที่ไม่ผ่านกระบวนการอบสามารถรับแรงอัดได้สูงสุดที่ 866 ksc และไฝ่ที่ได้รับการอบน้ำจากการหยอด เช่น เกลือและเช่นสารบอแรกซ์ (Borax) ผลการรับแรงอัดแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยที่ 699,694,681 ksc ตามลำดับ

จากแผนภูมิที่ 2 ไฝ่ซางหม่นที่ไม่ผ่านกระบวนการการอบน้ำสามารถรับแรงดึงได้กว่าไฝ่ที่ผ่านกระบวนการที่ 2,067 ksc โดยการ เช่นสารบอแรกซ์ (Borax) สามารถรับแรงดึงได้รองลงมาจากไฝ่ที่ไม่ผ่านกระบวนการที่ 1,833 ksc ส่วนไฝ่ เช่น เกลือสามารถรับแรงดึงได้ 1,575 ksc และไฝ่หยอดสามารถรับแรงดึงได้ต่ำสุดที่ 1,448 ksc

## 6. อภิปรายผล

### 6.1 ทางกายภาพ

จากผลการทดสอบการอบน้ำทั้ง 3 วิธี แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน ไฝ่ เช่นสารบอแรกซ์ (Borax) มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดแต่บ่ประมาณในการอบน้ำข้างสูงมาก ไฝ่หยอดเป็นวิธีอบน้ำที่นำเอาน้ำมันพืชใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ ด้านทุนในการอบน้ำไม่สูงเท่ากับการ เช่นสารบอแรกซ์ (Borax) และหลังจากการหยอดสามารถนำลำไฝ่ไปใช้งานได้ในทันทีโดยไม่ต้องรอสังเกตุการณ์ว่าสารจะซึมเข้าลำไฝ่ได้ทั่วถึงหรือไม่ แต่การหยอดมีปัญหารื่องเชื้อรา ไฝ่ เช่น เกลือเป็นอีกวิธีที่สามารถป้องกันน้ำดองและเชื้อราได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้านทุนต่ำกว่าวิธีการอบน้ำ ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้เหมือนกับการ เช่นสารบอแรกซ์ แต่ระหว่างการอบน้ำไฝ่ เช่น เกลือจะมีปัญหาในเรื่องของการส่งกลิ่น ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการผึ่งให้กลิ่นหายไป 2-3 เดือน

### 6.2 วิศวกรรม

จากการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม ผลที่ได้จากการ แรงกด การอบน้ำ ไฝ่ทั้ง 3 กระบวนการ ส่งผลต่อแรงกดที่ลดลง และมีค่าไกล์เคียงกัน โดยเทียบกับ ไฝ่ไม่อบน้ำ 866 ksc กับ ไฝ่ที่ผ่านกระบวนการ มีค่าแรงกดระหว่าง 681-699 ksc ในส่วนของแรงดึง ไฝ่ไม่อบน้ำมีค่าแรงดึงที่มากที่สุดเท่ากับ 3,163 ksc และ ไฝ่ที่มีผลต่อการรับแรงดึงที่ลดลงมากที่สุดคือ ไฝ่ที่ผ่านการหยอด มีค่าแรงดึงเท่ากับ 2,223 ksc ทำให้สรุปได้ว่าการอบน้ำส่งผลต่อแรงที่กระทำต่ำลำไฝ่ที่ลดลง

## 7. ข้อเสนอแนะ

### 7.1 ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

ในแต่ละวิธีการอบน้ำมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน การเลือกนำวิธีการอบน้ำไปใช้ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ เวลาและความพร้อมของอุปกรณ์รวมถึงงบประมาณ ซึ่งส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมและความคุ้มทุนของโครงการ

(1) ไฝ่หยอด การอบน้ำด้วยวิธีการหยอดสามารถนำไปใช้กับงานภายนอกอาคาร เนื่องจากการอบน้ำสามารถรับแรงได้ไม่ต่างจากการอบน้ำอื่นๆ แต่จะมีปัญหาเชื้อรา น้ำมันที่กำจัดออกจากลำไฝ่ได้ไม่หมดเป็นอาหารของเชื้อรา แต่การหยอดใช้ระยะเวลาในการอบน้ำสั้นและนำไปใช้งานได้เร็วกว่าวิธีการอบน้ำอื่นๆ

(2) ไฝ่ เช่น เกลือ เป็นการอบน้ำโดยใช้เกลือบริสุทธิ์ สามารถแก้ปัญหาน้ำดองและเชื้อราได้ แต่จะมีกลิ่นเหม็นในระหว่างกระบวนการ เช่น มีงบประมาณในการอบน้ำที่ต่ำกว่าการ เช่นสารบอแรกซ์ (Borax) และใช้ระยะเวลา 2-3 เดือนในการที่จะนำลำไฝ่ไปใช้งานได้

(3) เช่นสารบอแรกซ์ (Borax) เป็นวิธีการอบน้ำที่นิยมในปัจจุบัน เพราะสามารถแก้ปัญหาน้ำดองและเชื้อราได้ แต่บ่ประมาณในการอบน้ำสูงและใช้ระยะเวลา 2-3 เดือนในการที่จะนำลำไฝ่ไปใช้งานได้ เพื่อตรวจสอบการซึมของสารบอแรกซ์ (Borax)

## 7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) หากสามารถหาวิธีกำจัดเชื้อรากจากวิธีการทดสอบได้ การทดสอบไฝจะเป็นวิธีการถอนอ่อนที่เกย์ตระกรสามารถนำไปใช้ได้ รวมถึงเป็นการนำเอาเนื้อมันเก่ากลับมาใช้ประโยชน์ใหม่

(2) การแข่งกีฬาอุตสาหกรรมเป็นวิธีการที่ได้ประสิทธิภาพที่ดีและงบประมาณในการถอนไม่สูง รวมถึงกระบวนการในการทำสามารถเข้าถึงได้ง่ายของเกย์ตระกร เทืนควรให้มีการค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าการถอนไฝโดยการแข่งกีฬาเป็นวิธีการที่ให้ประสิทธิภาพในภาพรวมดีที่สุด จึงมีศักยภาพในการนำไปใช้และพัฒนาต่อขดกฎหมายปัญญาเพื่อนร่วมที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้อย่างยั่งยืน

## 8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนด้านบุคลากรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบด้านกายภาพและวิชากรรมจาก ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร (Center of Building Innovation and Technology/ CBIT) ภาควิชานวัตกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## 9. บรรณานุกรม

กลุ่มงานแมลงและจุลชีววิทยาป่าไม้. (2012). การป้องกันแมลงศัตรุทำลายไม้ไผ่. กรมป่าไม้, 3, 3.

จิตต์แก้ว, ม., เเด่นรุ่งเรือง, พ., สุวรรณผ่อง, ณ., วิราษ, ส., & สุ珊า. (2010). การพัฒนาเทคโนโลยีด้วยการใช้งานไม้ไผ่. กรมป่าไม้.

ธนา อุทัยภัตราภู (2558). การศึกษาระบวนการออกแบบและก่อสร้างอาคารไม้ไผ่ กรณีศึกษาหอศิลป์ไม้ไผ่ สถาบันอาชรมศิลป์. สถาบันอาชรมศิลป์

เด็กุล, ส., บุญเสริมสุข, ส., & สังข์แก้ว, ส. (2557). ไฝในสวนพะนາมเข้าสิริกิติ์ฯ, 58.

Bui, Q.-B., Grillet, A.-C., & Tran, a. H.-D. (2017). *A Bamboo Treatment Procedure: Effects on the Durability and Mechanical Performance*. Sustainability, 11, 1-11.

Martin, D. L. C., Luis, L., Richard, D. J., & Lessandro, G. (2020). *Assessment of Testing Protocols for Bamboo for Tension Rarallel to Fiber*. GEOMATE, 17(74), 31-36.

**วัสดุบุพังผางภายในอาคารจากเส้นใยพอลามีน้ำมันและวัสดุประสานธรรมชาติ**  
**INTERIOR WALL MATERIALS FROM OIL PALM BUNCH FIBER**  
**AND NATURAL BINDER**

กิตติพงศ์ คำเจริญ, ณัฐรี ศรีดาวนันท์, โสภาคิณ วิศิษฐ์สกัด  
ภาควิชานวัตกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
E-mail: sopa.v@ku.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุบุพังผางภายในอาคารจากเส้นใยพอลามีน้ำมันจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ยางบงซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติเป็นตัวประสาน เพื่อให้ได้วัสดุประกอบอาคารที่สร้างสุข ภาวะต่อผู้ใช้อาคาร โดยปราศจากสารระเหยที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพผู้ใช้อาคาร โดยการพัฒนาวัสดุบุพังผางในอาคารจากเส้นใยพอลามีน้ำมันจะเปรียบเทียบคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นชีนไม้อัดชนิดราน ตามมาตรฐานมอก.876-2547 และพัฒนาให้มีประสิทธิภาพช่วยลดความร้อนภายในอาคารโดยศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อนำไปขึ้นรูปในการทดสอบ ขนาด  $10 \times 10 \times 1$  cm. ที่ความหนาแน่น  $400 \text{ kg/m}^3$  ใช้วิธีการอัดร้อนที่อุณหภูมิ  $100^\circ\text{C}$  แรงดัน  $100 \text{ kg/cm}^2$  เป็นเวลา 10 นาที

ผลการทดสอบพบว่า ผนังซึ่งมีส่วนผสมของเส้นใยพอลามีน้ำมัน ต่อยางบง ที่อัตราส่วน 65:35 และปริมาณน้ำ 3.5 เท่าของยางบง โดยน้ำหนัก มีค่าด้านทานแรงดัดสูงที่สุด  $1.617 \text{ Mpa}$ . และค่าความหนาแน่น และค่าการพองตัวตามความหนา อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 โดยวัสดุบุพังผางจากเส้นใยพอลามีน้ำมันทุกสูตรมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ระหว่าง  $0.0616 - 0.0651 \text{ W/m.K}$  ซึ่งต่ำกว่าบิปชั่มบอร์ด (Gypsum Board)

**คำสำคัญ:** วัสดุบุพังผาง, ผนังจากวัสดุธรรมชาติ, การนำความร้อน, เส้นใยพอลามีน้ำมัน, ยางบง

### ABSTRACT

The objective of this research is to develop interior wall panelling from oil palm bunch fibers from palm oil mills by using natural rubber as a binder. To obtain materials that create health for building occupants without volatile substances that harm building occupants' health. Compared materials properties according to TIS 876-2547 standard for particleboard. And set to be effective in reducing heat inside by studying the appropriate mix ratio to be molded in test size  $10 \times 10 \times 1$  cm. with the density of  $400 \text{ kg/m}^3$ . The applied, pressing method. Was at  $100^\circ\text{C}$  with the pressure of  $100 \text{ kg/cm}^2$  for 10 minutes.

The result showed that the sample sheet with the ratio by weight of 65:35 (Oil Palm Bunch Fiber: Yangbong) and amount of water 3.5 times of Yangbong had the highest bending strength at  $1.617 \text{ Mpa}$ . The density, humidity, and thickness swelling values were in the standard levels (TIS 876-2547). The sample

sheets from Oil Palm Bunch Fiber husks have a coefficient of thermal conductivity between 0.0616 - 0.0651 W/m.K, which is lower than that of gypsum board.

**Keywords:** Wall Material, Wall Form Natural Material, Heat Conduction, Palm Bunch Fiber

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัจจัยวิจัย

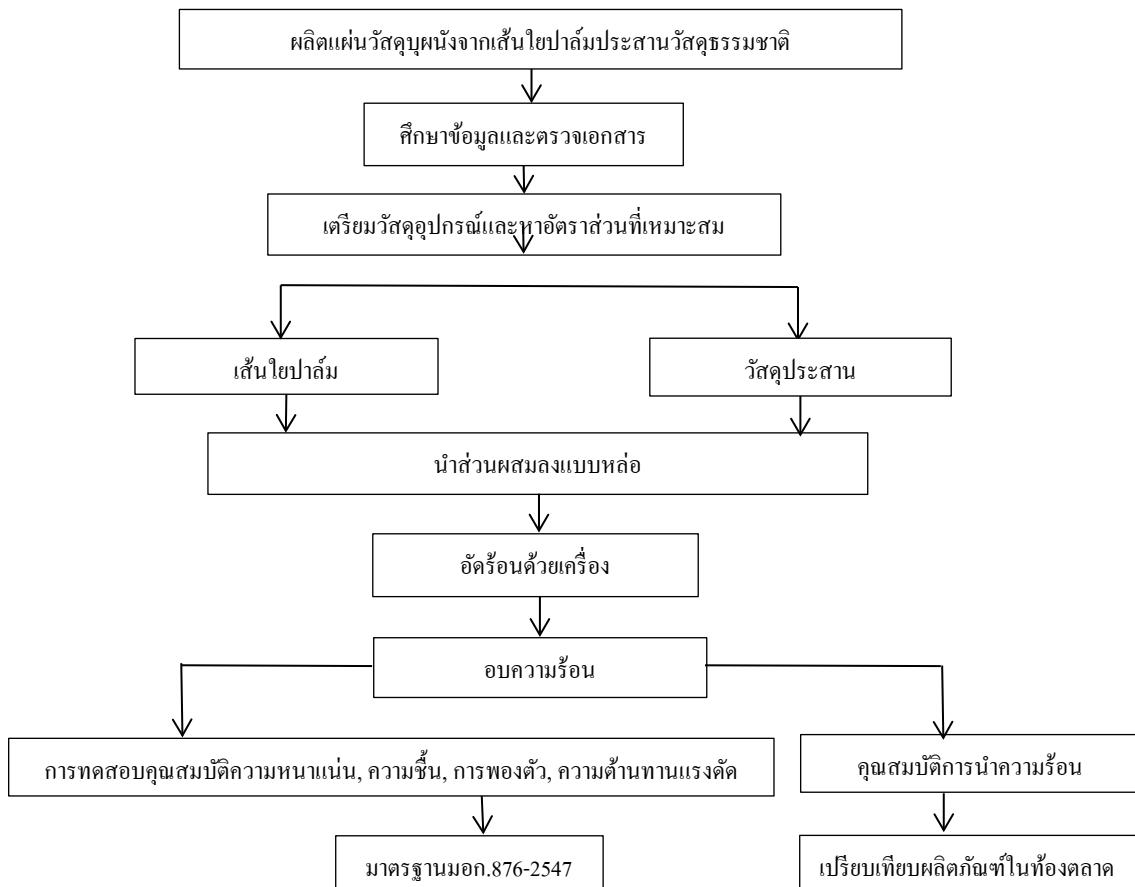
ปาล์มน้ำมัน Palm Oil เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยซึ่งมีพื้นที่ปลูกมากทางภาคใต้ และเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการส่งออกเป็นอันดับ 3 ของโลก ปี 2562 มีพื้นที่เก็บเกี่ยว 5.4 ล้านไร่ ผลผลิต 16.8 ตัน แนวโน้มการผลิตตั้งแต่ปี 2559 – 2562 เพิ่มขึ้นประมาณ 30% (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) สถานการณ์ในปัจจุบันปาล์มน้ำมันมีราคาผลผลิตที่สูงขึ้นจากการนำไปผลิตเป็นน้ำมัน นำไปอุดิเซล ปาล์มน้ำมันสายพันธุ์นินิยม ปลูก คือ สายพันธุ์เทเนอราราชี ให้น้ำมันปริมาณมาก เป็นที่ต้องการของตลาด ในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มจะใช้วิธีการแยกผลปาล์มน้ำมันออกจากหัวเดยเพื่อนำไปบีบสกัดน้ำมันปาล์ม โดยส่วนหัวเดยจะเป็นส่วนที่เหลือจากกระบวนการผลิต ในหัวเดยปาล์มน้ำมันมีส่วนที่เป็นเส้นใยที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเส้นใยมะพร้าว มีความคงทนแข็งแรงและมีความเหนียว ทน สามารถติดต่อได้ดี (สวิทช์ จิตต์, 2555) แต่จะเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบปาล์มเหลือใช้จำนวนมาก แต่การนำไปใช้ประโยชน์มีอย่างจำกัด โดยส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุเพื่อผลิตปุ๋ย ใช้เป็นวัสดุสำหรับเพาะเต็ต หรือนำไปเผาเพื่อเป็นพลังงานหมุนเวียน ใช้ภายในโรงงานหรือภายนอกโรงงาน (ธีระพงษ์ จันทร์นิยม, 2562)

งานวิจัยนี้ จึงมีแนวคิดที่จะนำเส้นใยจากหัวเดยปาล์มน้ำมันส่วนที่เหลือทั้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม มาพัฒนา และนำผงของน้ำมันเป็นวัสดุประสานธารมชาติจากต้นงั้งซึ่งเป็นไม้ที่ขึ้นอยู่ในป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง พบนาก ในบางจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแคน จังหวัดมุกดาหาร นครพนม อุบลราชธานี และเป็นไม้ชนิดหนึ่ง กล่าว ยางไม้บึงมีน้ำยางเมือกใสขาวเหมือนนมสด ใช้อุ่นอบร้อนต่างๆ ได้สามารถป้องกันปลวก แมด เจ้ากินเนื้อไม้ (สวนเกษตรนวัตกรรมพั่งตน, 2022) มาพัฒนาเป็นวัสดุคุณภาพนั้นเพื่ออัตราส่วนผสมที่เหมาะสมโดยการขึ้นรูปแผ่น ขนาด  $10 \times 10 \times 1$  cm. ที่ความหนาแน่น  $400 \text{ kg/m}^3$  และนำแผ่นวัสดุคุณภาพนั้นที่ผลิตได้ไปทดสอบทางประสิทธิภาพเชิงกายภาพ คือ หาค่าความหนาแน่น (Density), ค่าความชื้น (Moisture Content), การพองตัวตามความหนา (Thickness Swelling) และค่าแรงดัน (Strength) เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นชีฟ์ไม้อัดชนิดราบ (มาตรฐาน 876-2547) และศึกษาคุณสมบัติค้านการนำความร้อน (Thermal Conductivity) กับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดเพื่อเป็นวัสดุจากธรรมชาติและสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์

- (1) พัฒนาวัสดุคุณภาพนั้นที่ปลอดสารเคมีจากเส้นใยหัวเดยปาล์มและขางบงเป็นวัสดุประสานธารมชาติ
- (2) ทดสอบคุณสมบัติค้านการนำความร้อน วัสดุคุณภาพนั้นจากเส้นใยหัวเดยปาล์ม และขางบง
- (3) เปรียบเทียบคุณสมบัติค้านการนำความร้อนกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด

### 3. วิธีดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการวิจัย

ในขั้นตอนการพัฒนาแผ่นวัสดุบุบผังจากเส้นใย苧麻ประสานวัสดุธรรมชาติ เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านกายภาพ การนำความร้อนเพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุในท้องตลาดแผ่นขิปซัมบอร์ด มีขั้นตอนการทำวิจัย คือ

- (1) การเตรียมวัสดุในการวิจัย  
การเตรียมเส้นใย苧麻ปาล์ม



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 (ก) เส้นใย苧麻ปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (ข) เส้นใย苧麻ปาล์มน้ำมัน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 (ก) การล้างเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน (ข) การตากเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

(2) การเตรียมวัสดุในการวิจัย

- 1) เครื่องบดขนาด 3 แรงม้า
- 2) เครื่องซั่งน้ำหนักดิจิตอล ความละเอียด 0.01 kg – 30 kg (ML3002E/01)
- 3) เครื่องอัดขี้นรูปด้วยความร้อน (Compression Molding)
- 4) ตู้อบลมร้อนวัสดุ (Hot Air Oven) ยี่ห้อ memmert
- 5) แม่พิมพ์ขนาด 10x10x1 cm.
- 6) อุปกรณ์ในการทดสอบ



(ก)



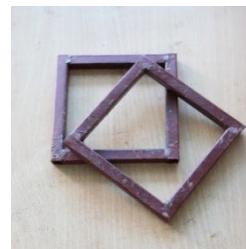
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)

ภาพที่ 4 อุปกรณ์ในการผลิตชิ้นงาน

- ก) เครื่องบดย่อย, ข) เครื่องซั่งน้ำหนัก, ค) เครื่องอัดร้อน และ ง) เครื่องอบร้อน  
จ) และ ฉ) แม่พิมพ์ขนาด 10x10x1 cm. ช) ถุงมือยางสำหรับทดสอบ

(3) กำหนดอัตราส่วนเพื่อขึ้นรูปแผ่นวัสดุนูนังจากเส้นใยอะลามีน้ำมัน

กำหนดอัตราส่วน เส้นใยอะลามีน้ำมัน : ยางบง ที่ใช้ในการขึ้นรูปเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ 70:30 และ 65:35 โดยน้ำหนัก และปริมาณน้ำที่ใช้คิดเป็นอัตราส่วนต่อยางบง 1 ส่วน คือ 3, 3.5 และ 4 โดยน้ำหนัก เพื่อทดสอบในความเป็นไปได้ในการขึ้นรูป



(ก)



(ห)

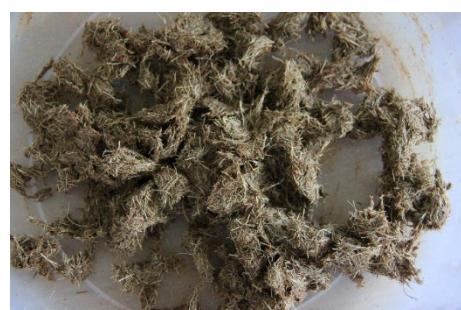


(ก)

ภาพที่ 5 (ก) ชั้นน้ำหนักเส้นใยอะลามีน้ำมัน (ห) ชั้นน้ำหนักยางบง (ก) ชั้นน้ำหนักน้ำ



(ก)



(ห)

ภาพที่ 6 (ก) ผสมเส้นใยอะลามีน้ำมันกับยางบง (ห) คลุกเคล้าวัสดุตามอัตราส่วนที่กำหนด

(4) การขึ้นแผ่นวัสดุ โดยการนำวัสดุที่ผสมใส่ลงในแม่พิมพ์ (บล็อก) ขนาด  $10 \times 10 \times 1$  เซนติเมตร จากนั้นนำเข้าเครื่องอัดร้อนเป็นระยะเวลา 10 นาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วนำแผ่นวัสดุเข้าตู้อบความร้อนเพื่อที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบ



(ก)

(ข)

ภาพที่ 7 (ก) นำส่วนผสมลงในแม่พิมพ์ (ข) นำแผ่นวัสดุเข้าเครื่องอัดร้อน

#### 4. ผลและวิจารณ์

##### (1) ผลจากการขึ้นรูปแผ่นงาน

จากการทดลองขึ้นรูปแผ่นชิ้นวัสดุผ่านกระบวนการเส้นใยอะลาญป่าล้มที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยอะลาญป่าล้ม น้ำมันและปริมาณผงยางบางและน้ำที่แตกต่างกันจะพบว่าปริมาณการ (ผงยางบางและน้ำ) มีผลต่อการผลิตแผ่นวัสดุ ดังกล่าว ดังนั้นอัตราส่วนแผ่นวัสดุที่เหมาะสมในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบ มีดังนี้

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสม โดยน้ำหนักที่เหมาะสมในการพัฒนาเพื่อทดสอบ

สูตรที่	อัตราส่วนผสม เส้นใยอะลาญป่าล้ม:น้ำมัน:ยางบาง	ยางบาง : น้ำ
1	70:30	1 : 3.5
2		1 : 4
3	65:35	1 : 3
4		1: 3.5

##### (2) ผลทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)

ตารางที่ 2 ผลทดสอบค่าความหนาแน่น

สูตร	อัตราส่วนผสม (เส้นใยอะลาญป่าล้ม:ยางบาง)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	หนา (cm)	น้ำหนัก (g)	ความหนาแน่น เฉลี่ย ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
1	อัตราส่วน 70:30 น้ำ 3.5	9.73	9.75	1.20	47.78	420.09	± 21.90
2	อัตราส่วน 70:30 น้ำ 4	9.75	9.64	1.18	46.79	422.16	± 2.66
3	อัตราส่วน 65:35 น้ำ 3	9.63	9.65	1.15	44.54	415.70	± 9.92
4	อัตราส่วน 65:35 น้ำ 3.5	9.74	9.74	1.18	46.49	416.39	± 5.68

ชั้งชีนทดสอบโดยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด  $0.01\text{ g}$ . ให้ได้มวลที่แน่นอน วัดความหนาตรงจุดกึ่งกลางของชีนทดสอบและวัดความกว้างและความยาวโดยวงเครื่องมือให้ทำมุมกับแนวระนาบของชีนทดสอบ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นวัสดุบุพนังจากเส้นไขทะเลยป่าล้ม พบว่าในอัตราส่วนที่ใช้ปริมาณเส้นไขทะเลยป่าล้มมากมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าเนื่องด้วยแผ่นวัสดุที่ผลิตได้มีความหนามากกว่าและน้ำหนักของแผ่นชีนงานในแต่ละสูตรไม่ต่างกันมากนักส่งผลให้ปรับผันต่อค่าความหนาแน่น โดยในแต่ละอัตราส่วนของแผ่นวัสดุที่ผลิตมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้เพียงเล็กน้อยแต่ยังถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547

#### (3) ผลทดสอบความชื้น (Moisture Content)

ตารางที่ 3 ผลทดสอบค่าความชื้น

สูตรที่	อัตราส่วนผสม (เส้นไขทะเลยป่าล้ม:ยางบง)	น้ำหนัก ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก หลังอบ (g)	ค่าความชื้นเฉลี่ย (%)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
1	อัตราส่วน 70:30 น้ำ 3.5	46.34	43.13	7.44	$\pm 0.62$
2	อัตราส่วน 70:30 น้ำ 4	49.47	44.21	11.91	$\pm 0.33$
3	อัตราส่วน 65:35 น้ำ 3	46.90	44.08	6.40	$\pm 0.6$
4	อัตราส่วน 65:35 น้ำ 3.5	49.23	43.59	12.92	$\pm 0.56$

จากการชั้งชีนทดสอบให้ได้มวลที่แน่นอน แล้วอบในตู้อบที่อุณหภูมิ  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  จนได้มวลคงที่ คือมวลชีนทดสอบเมื่อชั่ง 2 ครั้งเวลาห่างกัน 6 ชั่วโมง ค่าแตกต่างกันไม่เกิน 0.1% ของมวลชีนทดสอบ จากนั้นนำชีนทดสอบใส่ในเคซิกเกเตอร์ปล่อยให้เย็น แล้วชั้งชีนทดสอบหลังอบแห้ง(สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ผลปริมาณความชื้นของแผ่นวัสดุบุพนังจากเส้นไขทะเลยป่าล้ม พบว่าสูตรที่ 1 มีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 7.44 % สูตรที่ 2 มีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 11.91 % สูตรที่ 3 มีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 6.40% และสูตรที่ 4 มีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 12.92 % ซึ่งค่าความชื้นมีเปลี่ยนเทียบสูตรที่มีอัตราส่วนเส้นไขทะเลยป่าล้มต่อยางบงเท่ากันค่าความชื้นจะปรับผันตามปริมาณการที่สูงขึ้น โดยพบว่าทุกสูตรhangอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 876-2547

#### (4) การพองตัวตามความหนา (Thickness Swelling)

ตารางที่ 4 ผลทดสอบการพองตัวตามความหนา

สูตร	อัตราส่วนผสม (เส้นไขทะเลยป่าล้ม:ยางบง)	ความหนาเฉลี่ย ก่อนแข็งตัว (cm)	ความหนาเฉลี่ย หลังแข็งตัว (cm)	การพองตัวตาม ความหนาเฉลี่ย (%)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
1	อัตราส่วน 70:30 น้ำ 3.5	1.18	1.20	1.72	$\pm 0.43$
2	อัตราส่วน 70:30 น้ำ 4	1.17	1.25	6.72	$\pm 1.44$
3	อัตราส่วน 65:35 น้ำ 3	1.17	1.31	11.83	$\pm 0.09$
4	อัตราส่วน 65:35 น้ำ 3.5	1.13	1.27	12.42	$\pm 0.8$

ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนาของชิ้นทดสอบเป็นความหนา ก่อนแยกน้ำจากนั้นแข็งชิ้นทดสอบ ตั้งฉากระดับผิวน้ำในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ  $20\pm2^{\circ}\text{C}$  ขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำ 25 mm. โดยแข็งทึบไว้ 1 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นมาซับน้ำดังที่ว่าในอุณหภูมิห้องอีก 1 ชั่วโมงแล้ววัดความหนาตามตำแหน่งที่ทำเครื่องหมาย (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ปรากฏว่าผลการทดสอบการพองตัวตามความหนาของแผ่นวัสดุบุพนัง จากเส้นไขทะเลยปอล์มทุกสูตรมีค่าเฉลี่ยการพองตัวตามความหนาสูงขึ้นตามปริมาณการที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยรวมทุกสูตรอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 อัตราส่วนสูตรที่ 4 คืออัตราส่วนเส้นไขทะเลยปอล์มต่อยางบง 65:35 ปริมาณน้ำ 3.5 เท่าของยางบงที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานอยู่เล็กน้อย

#### (5) ความต้านทานแรงดึง (Bending Strength)

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบแรงดึง

สูตรที่	อัตราส่วนผสม (เส้นไขทะเลยปอล์ม:ยางบง)	หน่วยแรง (N)	ค่ากำลังแรงดึง เฉลี่ย (Mpa)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
1	อัตราส่วน 70:30 น้ำ 3.5	68.000	0.716	$\pm 0.121$
2	อัตราส่วน 70:30 น้ำ 4	133.667	1.425	$\pm 0.331$
3	อัตราส่วน 65:35 น้ำ 3	108.667	1.230	$\pm 0.106$
4	อัตราส่วน 65:35 น้ำ 3.5	149.333	1.617	$\pm 0.115$

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง ของแผ่นวัสดุบุพนังจากเส้นไขทะเลยปอล์ม พบว่าสูตรที่ 4 มีค่าค่าต้านทานแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.617 Mpa เมื่อเปรียบเทียบสูตรที่มีอัตราส่วนเส้นไขทะเลยปอล์มต่อยางบง เท่ากันค่าความต้านทานแรงดึงจะแปรผันตามปริมาณการที่สูงขึ้น เพราะการคือยางบงซึ่งเป็นวัสดุประสานที่มีเมือกทำให้เกิดความเหนียวเมื่อถูกคลุกเคล้ากับเส้นไขทะเลยปอล์มจึงเกิดการผสานและเกาะตัวขึ้นตัวกันจึงทำให้แผ่นขึ้นงานเกิดความแข็งแรงสูงขึ้นตามลำดับ แต่พบว่าทุกสูตรยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 ที่ต้องมีค่าต้านทานแรงดึงไม่น้อยกว่า 13 Mpa

#### (6) คุณสมบัติการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ของแผ่นวัสดุบุพนังจากเส้นไขทะเลยปอล์ม พบว่า สูตรที่ 1 อัตราส่วน 70:30 (เส้นไขทะเลยปอล์มน้ำหนัก:ยางบง) ปริมาณน้ำที่ 3.5 เท่าของยางบง มีค่าเฉลี่ยการนำความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 0.0616 W/m.K คือใช้ปริมาณของเส้นไขทะเลยปอล์มมากมีผลต่อค่าการนำความร้อน เพราะเส้นไขทะเลยปอล์มมีค่าการนำความร้อนต่ำ

ตารางที่ 6 ผลคุณสมบัติการนำความร้อน

สูตรที่	อัตราส่วนผสม (เส้นไขทะเลยปอล์ม:ยางบง)	ค่า k สูงสุด W/m. K	ค่า k ต่ำสุด W/m. K	ค่า k เฉลี่ย W/m. K	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
1	อัตราส่วน 70:30 น้ำ 3.5	0.0690	0.0510	0.0616	$\pm 0.001$
2	อัตราส่วน 70:30 น้ำ 4	0.0710	0.0590	0.0632	$\pm 0.004$
3	อัตราส่วน 65:35 น้ำ 3	0.0680	0.0570	0.0639	$\pm 0.003$
4	อัตราส่วน 65:35 น้ำ 3.5	0.0720	0.0450	0.0651	$\pm 0.001$

## 5. สรุป

งานวิจัยนี้จากการทดลองผลิตแผ่นวัสดุบุพนังภายในอาคารจากเส้นใยอะลาอยปาร์ล์มและวัสดุประสานธรรมชาติ (ยางบง) ที่ความหนาแน่น  $400 \text{ kg/m}^3$  ค่าวิธีการอัดร้อนที่อุณหภูมิ  $100^\circ\text{C}$  แรงในการอัด  $100 \text{ kg/cm}^2$  เป็นเวลา 10 นาที และทำการอบด้วยตู้อบลมร้อนเป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบร่วงสูตรที่ 4 ที่อัตราส่วน คือ  $65 : 35$  (เส้นใยอะลาอยปาร์ล์มน้ำมัน:ยางบง) และน้ำ 3.5 เท่าของยางบง โดยน้ำหนัก เพราะมีค่าความด้านทานแรงดึงมากที่สุดและค่าความหนาแน่น และค่าปริมาณความซึ่งอุ่นเกณฑ์มาตรฐานแผ่นซึ่นไม่มีอัชนิดรวม มอก. 876-2547 แต่ค่าการพองตัวตามความหนาสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานอยู่เล็กน้อย

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ( $k$ ) ของวัสดุบุพนังจากเส้นใยอะลาอยปาร์ล์มน้ำมัน สูตรที่ 1 คืออัตราส่วนเส้นใยอะลาอยปาร์ล์มต่อยางบง  $70:30$  ปริมาณน้ำ 3.5 เท่าของยางบง โดยน้ำหนัก มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด โดยทุกสูตรมีค่าอยู่ระหว่าง  $0.0616 - 0.0651 \text{ W/m.K}$  ซึ่งลือว่าต่ำกว่าวัสดุที่ขายในเชิงพาณิชย์ คือ แผ่นขิปชั่มบอร์ด ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน อยู่ที่  $0.190 \text{ W/m.K}$  เหมาะแก่การนำไปพัฒนาเป็นวัสดุประกอบภายในอาคารต่อไป

## 6. ข้อเสนอแนะ

(1) ควรใช้งานภายในอาคารที่มีการถ่ายเทอากาศได้ดี เพื่อความแก่การนำไปตกแต่งภายในอาคารเพื่อความสวยงามและลดความร้อนภายในอาคาร เพราะเส้นใยอะลาอยปาร์ล์มมีค่าการนำความร้อนต่ำ

(2) เมื่อได้เส้นใยอะลาอยปาร์ล์มจากโรงงานสักดิ์ควรรีบล้างให้สะอาดก่อนแล้วนำไปตากให้แห้งสนิท เพราะในเส้นใยอะลาอยปาร์ล์มน้ำมันจากกระบวนการผลิตปนเปื้อน

(3) การผลิตอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้แรงคน ทำให้เกิดความผิดพลาด ได้รับความเสียหาย กรรมวิธีการผลิตที่ได้มารฐานพื้นดินความผิดพลาด

(4) ควรทำการทดสอบในช่วงที่อากาศไม่แตกต่างกันมากนัก เพราะมีผลต่อผลการทดสอบ

## 7. เอกสารอ้างอิง

ธีระพงษ์ จันทรนิยม. (2562). คู่มือเกณฑ์การทดสอบปาร์ล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ. สงขลา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาร์ล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วรวิทย์ จงจิตต์. (2555). การออกแบบเก้าอี้นั่งเล่นจากไผ่ปาร์ล์มน้ำมันและยางพารา. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท (การออกแบบผลิตภัณฑ์)), มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพฯ.

สวนเกย์ตวนวัตกรรมพัฒนา. (2022).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2564). ผลพยากรณ์ผลผลิต ปาร์ล์มน้ำมัน ปี 2564. มาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นซึ่นไม่มีอัชนิดรวม มอก.876-2547, (2547).

## แนวทางการออกแบบอาคารพักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร

### GUIDELINES FOR DESIGN OF HIGH-RISE COMMON HOUSING BUILDINGS IN BANGKOK

ภณชนาพพันธ์ อัครชิตานันท์

สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

E-mail: Ponchanupat@gmail.com

วนโชค เครือหงษ์

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

E-mail: Wunchock\_kr@rmutto.ac.th

ทองพูล ทาสีเพชร

สาขาวิชาวิศวกรรมก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

E-mail: Deanthongpoon@yahoo.com

ศักดา สันชนะวิทย์

สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

E-mail:Sakda\_sa@rmutto.ac.th

#### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ข้อจำกัดในการออกแบบอาคารพักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงอันเกิดจากภูมิประเทศความคุณภาพที่เกี่ยวข้องและเพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงวิธีการออกแบบอาคารพักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงให้มีความรวดเร็วมากขึ้น ดำเนินการวิจัยโดย นำเสนอข้อมูลกระบวนการออกแบบอาคารที่พักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงที่มีความสูงไม่เกิน 23 เมตรในกรุงเทพมหานครและข้อมูลพื้นฐานด้านการออกแบบสถาปัตยกรรมเบื้องต้น นำข้อมูลจากข้างต้นเสนอแบบสำรวจให้ผู้ทรงคุณวุฒิที่มีประสบการณ์ทำงานด้านการออกแบบอาคารสูง เสนอความคิดเห็น ปัญหา กระบวนการทำงาน และประสบการณ์ทำงานที่ผ่านมา ผลที่ได้จากการวิจัย แนวทางการออกแบบอาคารพักรวมประเภทอาคารสูงที่มีความสูงไม่เกิน 23 เมตรในกรุงเทพมหานคร เพื่อให้กระบวนการออกแบบและกระบวนการการทำงานมีความรวดเร็วมากขึ้นและมีความถูกต้องตามหลักวิชาชีพสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้อยู่อาศัย ระบบสาธารณูปโภคต่างๆ และการรักษาสิ่งแวดล้อมตามข้อกำหนดของกฎหมายเพื่อการอยู่ร่วมกัน จากการศึกษาข้อมูลต่างๆ ทำให้

ทราบถึงปัญหาและกระบวนการทำงานต่างๆ โดยผลการศึกษาพบว่าข้อค้นพบที่ได้จากการวิจัย การตรวจสอบอาคารหรือการขอใบอนุญาตในการก่อสร้างอาคาร ดัดแปลงอาคาร หรือเคลื่อนย้ายอาคารนั้นควรที่จะก่อสร้างกรอบนอกของตัวอาคารต้องเรียบร้อยหรือมีพื้นที่สีเขียว บันไดหนีไฟ ห้องเครื่องหลัก ให้เรียบร้อยและปลอดภัยไม่รวมภายในอาคารก็สามารถได้ในรับรองการก่อสร้างอาคาร ดัดแปลงอาคาร หรือเคลื่อนย้ายอาคารได้

**คำสำคัญ:** การออกแบบ, อาคารพักอาศัยรวม, อาคารสูง

## ABSTRACT

This research aims to study and analyze the limitations in the design of high-rise residential buildings caused by relevant building control laws and to suggest ways to improve the way high-rise residential buildings are designed more quickly. The research was conducted by presenting information on the design process of residential buildings, including types of high-rise buildings up to 23 meters in Bangkok and fundamental architectural design basics. Take the data from the above and offer a survey to qualified people with experience in designing high-rise buildings. The offer feedback, problems, processes, and past work experiences were studied. Results from the research, the design guidelines include high-rise buildings up to 23 meters high in Bangkok to make the design process and work process more expeditious and accurate according to architectural and engineering professions. In addition, they considered the safety of residents in various public systems and environmental protection, following the requirements of the law for coexistence. By studying the data, the problems and processes of the work were identified. The results found that building inspections or obtaining a building construction certificate, modifying the building, or moving the building should be constructed outside the building or have green space, a fire escape staircase, main engine room. To be neat and safe, excluding the interior of the building, you can obtain a certificate of construction, modify the building or move the building.

**Keywords:** Design, Residential Building, High-Rise Building

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาระดับชาติ

ในอดีต ประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายเข้ามาควบคุมการก่อสร้างอาคาร ประชาชนจึงมีอิสระในการก่อสร้างอาคาร ได้ตามความต้องการของตน โดยวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างในสมัยนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นไม้ ไม่ไฟ ในไม่จึงทำให้อาคารขาดความเป็นระเบียบร้อยและขาดความสวยงาม นอกจากนี้ จากการที่สามารถก่อสร้างอาคารได้โดยไม่จำกัดขนาดความสูงของอาคาร ทำให้อาคารที่มีความสูงมากๆ ไม่มีความมั่นคงแข็งแรงและอาจไม่มีความปลอดภัย ทั้งนี้ เป็นเพราะไม่มีกฎหมายควบคุม จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2522 ประเทศไทยได้มีการตรากฎหมาย สำหรับควบคุมอาคาร เรียกว่า พธรรมนัญญาติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและสอดคล้องกับสถานการณ์การก่อสร้างอาคารต่างๆ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมความมั่นคงแข็งแรง ความปลอดภัย การป้องกันอัคคีภัย การสาธารณสุข การรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม การผังเมือง การสถาปัตยกรรม และการอำนวยความสะดวกแก่การจราจร

ปัจจุบันประเทศไทยมีกฎหมายสำหรับควบคุมอาคาร คือ พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ซึ่งมีการแก้ไขจำนวน 4 ครั้ง คือ พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2543 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2550 และพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ 5) พ.ศ. 2558 เพื่อควบคุมและตรวจสอบการก่อสร้าง ดัดแปลง รื้อถอน เคลื่อนย้าย การใช้หรือเปลี่ยนการใช้อาคารที่อยู่ในเขตพื้นที่ควบคุมอาคาร เขตผังเมืองรวมหรือเป็นประเภทอาคาร ที่ถูกควบคุมตามกฎหมาย

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการตรากฎหมายสำหรับควบคุมอาคาร จะช่วยให้เกิดความปลอดภัยและความสงบเรียบร้อยแก่ประชาชนและสังคมผ่านมาตรการทางกฎหมายที่เกี่ยวข้อง โดยมีเจ้าหน้าที่ของคุณเป็นกลไกสำคัญในการบังคับการตามกฎหมายให้มีประสิทธิภาพ เพื่อในการพัฒนาโครงการหรือก่อสร้างอาคาร ผู้พัฒนาโครงการ หรือผู้ออกแบบอาคารย่อมคาดหวังที่จะให้เกิดผลตอบแทนสูงสุดตามหลักการการใช้ประโยชน์ที่สูงที่สุดและดีที่สุด (Highest and Best Use: HBU) เนื่องจากที่ดินซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญในการพัฒนาโครงการมีจำนวนลดน้อยลง ซึ่งส่งผลให้ที่ดินเริ่มหายาก ในขณะที่ที่ดินมีราคาเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนการพัฒนาโครงการให้สูงขึ้นตามไปด้วย ทำให้ผู้พัฒนาโครงการได้อัตราผลตอบแทนน้อยลงหรืออาจต้องกำหนดราคาขายเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้แบ่งขั้นได้ยากขึ้น

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่าผู้ออกแบบที่ไม่มีความรู้ความเข้าใจในกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานออกแบบที่เพียงพอ จะส่งผลให้การออกแบบไม่ถูกต้องตามกฎหมาย ส่งผลกระทบด้านระยะเวลาและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น รวมถึงผลกระทบต่อพื้นที่โดยรอบโครงการตัวยิ่ง (เกศวดี จันทร์แก้ว, 2558) กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมอาคารยังคงมีปัญหาอีกหลายประการ เช่น ความช้าช้อนของกฎหมาย ความหลากหลายและความซับซ้อนของตัวบทกฎหมาย ซึ่งอาจทำให้เกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน ส่งผลให้การนำตัวบทกฎหมายมาใช้งานไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร (สุรีย์ สิงห์ทอง, 2556) นอกจากนี้ ยังพบว่าการออกแบบอาคารอยู่อาศัยรวมเพื่อยืนขออนุญาตก่อสร้างอาคาร ผู้ออกแบบอาคารมักประสบปัญหาด้านข้อกฎหมายอาคารที่เกี่ยวข้องซึ่งมีจำนวนหลายฉบับ จึงเป็นสาเหตุทำให้ผู้ออกแบบออกแบบอาคารไม่ถูกต้องและต้องนำมารับปรุงแก้ไขใหม่ ทำให้งานล่าช้า ส่งผลให้เสียเวลาและเสียโอกาสในการลงทุน (ทองพูล ทาสีเพชร, ธารก กติกาวงศ์ชร และ วิมัชฌกานต์ รัตนธีวงศ์, 2564) ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาแนวทางการออกแบบอาคารพักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ข้อจำกัดในการออกแบบอาคารพักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร อันเกิดจากกฎหมายควบคุมอาคารที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนเสนอแนวทาง การปรับปรุงวิธีการออกแบบอาคารพักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงให้มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น เพื่อประโยชน์ต่อผู้พัฒนาโครงการอาคารพักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงในการออกแบบโครงการให้ถูกต้องตามตัวบทกฎหมาย ควบคุมอาคารที่เกี่ยวข้องและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการควบคุมอาคาร ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาและลดการเสียโอกาสในการลงทุน

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ข้อจำกัดในการออกแบบอาคารพักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงอันเกิดจากกฎหมายควบคุมอาคารที่เกี่ยวข้อง

(2) เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงวิธีการออกแบบอาคารพักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงให้มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

### 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาและทบทวนเอกสาร แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

(1) แนวความคิดด้านทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบอาคารพักอาศัยรวม

(2) แนวความคิดด้านทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้กัญญาณควบคุมอาคาร

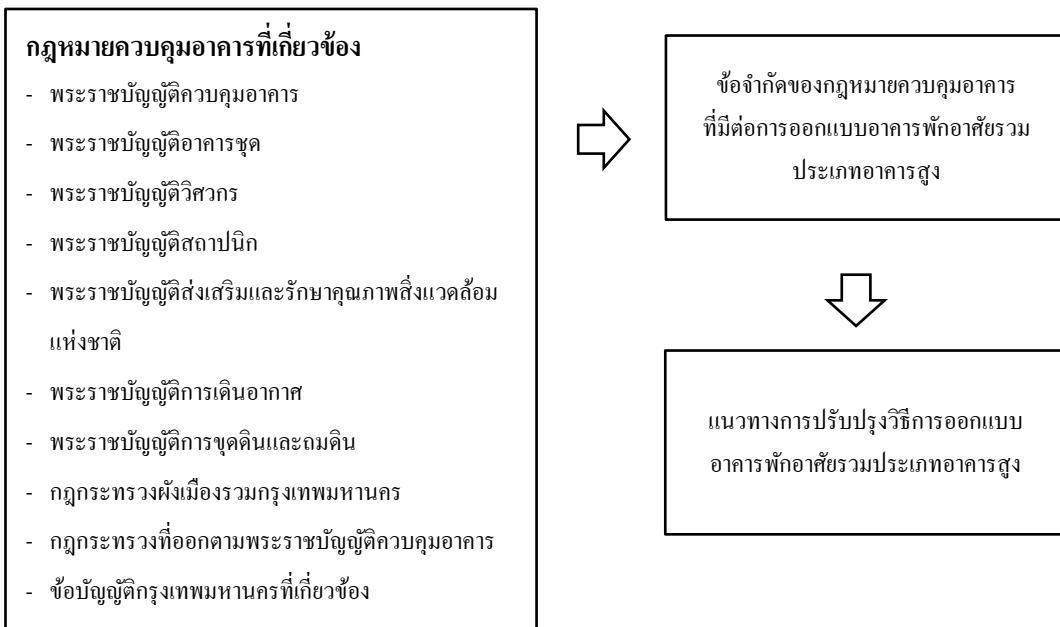
ทองพุด ท้าวสีเพชร, ธรรม ฤทธิ์กิติวงศ์ชร และวีณารักษานต์ รัตนธีรวงศ์ (2564) ได้ทำการศึกษา อุปสรรคของการออกแบบอาคารพักอาศัยรวมขนาดเล็กในกรุงเทพมหานคร โดยทำการได้สืบค้นข้อมูลจาก Google Search ของหน่วยงานต่างๆ ด้านกัญญาณอาคาร เครือข่าย VPN เอกสาร ตำรา คู่มือ และประสบการณ์ของ ผู้วิจัย จากนั้นทำการจัดเรียงอย่างเป็นลำดับขั้นตอน เพื่อตรวจสอบอุปสรรคของการออกแบบอาคารสูงไม่เกิน 5 ชั้น ผลการศึกษาพบว่าที่ดินที่ทำการศึกษาสามารถออกแบบอาคาร ได้สูง 5 ชั้น อาคารมีพื้นที่สูงสุด 730.375 ตาราง เมตร และมีค่า F.A.R.  $\leq 1,560$  ตารางเมตร และ O.S.R.  $\leq 6\%$  มีห้องพักอาศัยได้สูงสุด 20 ห้อง มีขั้นตอน การออกแบบ 11 ขั้นตอน และ 29 ข้อ ไม่มีที่จอดรถยนต์ การออกแบบอาคารมีอุปสรรคหลัก คือ แปลงที่ดินที่มี ขนาดเล็กและมีถนนโดยรอบ 3 ด้าน อาคารต้องมีระเบียบรองรับอาคารตามกฎหมาย แต่แปลงที่ดินมี แนวเดินสายส่งไฟฟ้าแรงสูงตัดผ่าน ทำให้การจัดแนวเสา บันได และการหาพื้นที่ห้องพักทำได้ยาก ส่งผลกระทบ ถึงองค์ประกอบอื่นด้วย ผู้ออกแบบอาคารจึงต้องมีประสบการณ์ประกอบกับต้องรวมรวมและจัดเรียงข้อกฎหมาย เกี่ยวกับอาคารอย่างเป็นระบบก่อน จึงจะสามารถออกแบบได้อย่างรวดเร็วและได้ขนาดอาคารที่ถูกต้อง

พิมุข สุศิลสัมพันธ์ และ พาيس สามารถ (2563) ได้ทำการศึกษาโดยนัยของรัฐในการควบคุมอาคาร มุ่งเน้นด้านกัญญาณ ผลการวิจัยพบว่าประเทศไทยมีนโยบายในการควบคุมอาคารผ่านพระราชบัญญัติควบคุม อาคาร พ.ศ. 2522 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมเกี่ยวกับความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร ความผังปلوดภัยของผู้ใช้อาคาร การป้องกันอัคคีภัยภายในอาคาร การจัดการด้านสาธารณสุข และรักษาความปลอดภัย ล่วงแล้วล้อม การเมือง และการสถาปัตยกรรม แต่มาตรการในการควบคุมอาคารตามกฎหมายนี้ยังคงมีปัญหา เกี่ยวกับการเข้าถึงข้อมูล หลักเกณฑ์การรื้อถอนอาคาร ความไม่สอดคล้องของกัญญาณในกรณีของการเคลื่อนย้าย อาคาร การใช้จ้างงานของเจ้าพนักงานท้องถิ่น และกลไกการตรวจสอบการปฏิบัติตามกัญญาณ ดังนั้น จึงควร แก้ไขเพิ่มเติมพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 เกี่ยวกับการรื้อถอนอาคาร การเคลื่อนย้ายอาคาร การใช้ อำนาจของเจ้าพนักงานท้องถิ่น ให้มีความชัดเจนและเหมาะสมแก่การนำไปบังคับใช้ และหน่วยงานของรัฐที่ เกี่ยวข้องควรมีมาตรการในการสร้างความรับรู้หรือความเข้าใจเกี่ยวกับกัญญาณควบคุมอาคารที่ชัดเจนและเข้าใจ ง่ายแก่ประชาชน รวมทั้งสร้างกลไกและทำงานเชิงรุกเพื่อตรวจสอบ การปฏิบัติตามกัญญาณ

มนตรี บัวมาก (2557) ได้ทำการศึกษาปัญหาเกี่ยวกับการบริหารจัดการอาคารสูงตามกัญญาณ ควบคุมอาคาร ผลการวิจัยพบว่าแม้ว่าพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ที่บังคับใช้กับการบริหารจัดการ อาคารสูง จะมีการแก้ไขโดยออกเป็นกฎกระทรวงเพื่อบังคับใช้กับอาคารสูง แต่ยังคงมีปัญหาหลายประการ เช่น ปัญหาด้านความปลอดภัยด้านอัคคีภัยในอาคารสูง เนื่องจากไม่มีการทดสอบความสามารถในการทนไฟของวัสดุ อุปกรณ์ที่นำมาติดตั้ง ปัญหาเกี่ยวกับมาตรการบังคับอาคารสูงซึ่งได้ขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารที่ ได้เขียนขอไว้ก่อนข้อบัญญัติจะใช้บังคับ ให้ได้รับการยกเว้นไม่ต้องปฏิบัติตามข้อบัญญัตินี้ แต่อาคารมีสภาพชำรุด ทรุดโทรมจนอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ชีวิต ร่างกาย และทรัพย์สินของผู้อยู่อาศัย หรืออาจมีผลกระทบ และก่อให้เกิดความเดือนร้อนรำคาญต่ออาคารข้างเคียง ได้ ปัญหาเกี่ยวกับกัญญาณควบคุมอาคารสูงที่เกี่ยวกับ แผ่นดินไหว ด้วยการออกแบบและรายการคำนวณเพื่อก่อสร้างอาคารสำหรับรองรับการเกิดแผ่นดินไหว ย่อมเป็น

การเพิ่มต้นทุนการก่อสร้าง ทำให้เกิดการไม่ปฏิบัติตามมาตรการที่กฎหมายบังคับ ปัญหาเกี่ยวกับการก่อสร้างอาคาร ไม่ตรงตามแบบที่ขออนุญาต ทำให้ผู้บิ้บริโภคถูกเอาเปรียบจากผู้ประกอบการ

### 3.2 ครอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 ครอบแนวคิดในการวิจัย

### 3.3 สมมติฐานการวิจัย

(1) ขอบเขตด้านการออกแบบอาคารพักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงที่มีความสูงไม่เกิน 23 เมตรในกรุงเทพมหานคร “ตามกฎหมายควบคุมอาคาร” ท่านนี้

(2) ปัจจัยด้านการใช้กฎหมายควบคุมอาคาร ที่เหมาะสมและถูกต้องกับอาคารประเภทนั้นๆ เช่น

ประเภทที่ 1 ในกรณีที่คอนโดยมีพื้นที่อาคารรวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันเกิน 2,000 ตารางเมตร หรืออาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 15 เมตรขึ้นไปแต่ต่ำกว่า 23 เมตร และมีพื้นที่อาคารรวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันเกิน 1,000 ตารางเมตร จะเป็น “อาคารขนาดใหญ่” ที่จะต้องถูกควบคุมโดยกฎหมายกรุงเทพมหานครที่ 55 โดยทั่วไปจะเรียกคอนโดยสร้างโดยมีความสูงไม่เกิน 8 ชั้น หรือต่ำกว่า 23 เมตรนี้ว่า คอนโดย “Low Rise”

ประเภทที่ 2 เป็นกรณีของคอนโดยมีพื้นที่อาคารรวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตรขึ้นไปจะเป็น “อาคารขนาดใหญ่พิเศษ” หรืออาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 23 เมตรขึ้นไป จะเป็น “อาคารสูง” ซึ่งโดยทั่วไปจะเรียกอาคารประเภทนี้ว่าอาคาร “High Rise” โดยอาคารประเภทนี้จะต้องถูกควบคุมโดยกฎหมายเฉพาะซึ่งก็คือกฎหมายกรุงเทพมหานครที่ 33

## 4. วิธีดำเนินการวิจัย

### 4.1 แบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Methodology) รูปแบบการวิจัยเชิงประยุกต์ (Applied Research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ข้อจำกัดในการออกแบบอาคารพักอาศัย

รวมประเภทอาคารสูงอันเกิดจากภูมายความคุณอาคารที่เกี่ยวข้อง รวมถึงเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงวิธีการออกแบบอาคารพักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงให้มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

#### 4.2 ประชากรและตัวอย่าง

ประชากรเป้าหมาย ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ คือ เจ้าของโครงการหรือนิติบุคคลอาคารชุดหรือผู้พักอาศัย โครงการคอนโดมิเนียมในเขตกรุงเทพมหานคร ที่มีความสูงไม่เกิน 23 เมตรเพื่อจัดทำแบบสอบถามจำนวน 25 ชุด

#### 4.3 เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งมีโครงสร้าง (Semi-Structured Interview) ใช้เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ให้ข้อมูลสำหรับซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิ 2 กลุ่ม ประกอบด้วย ผู้ทรงคุณวุฒิกุลมุคลากรระดับบริหารของบริษัทพัฒนาโครงการอาคารพักอาศัย รวมประเภทอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร และผู้ทรงคุณวุฒิกุลมุนกิจเจ้าพนักงานของรัฐซึ่งเป็นบุคลากรหลักในการบังคับใช้กฎหมายความคุณอาคาร ในกรุงเทพมหานคร โดยข้อคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ผู้ให้ข้อมูล เป็นข้อคำถามปลายเปิด (Open-Ended Question) ซึ่งข้อคำถามประกอบด้วย 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้สัมภาษณ์

ส่วนที่ 2 ข้อจำกัดในการออกแบบอาคารพักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงอันเกิดจากภูมายความคุณอาคารที่เกี่ยวข้อง

ส่วนที่ 3 แนวทางการปรับปรุงวิธีการออกแบบอาคารพักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงให้มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

ส่วนที่ 4 แบบสอบถามความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะเพิ่มเติมและตรวจสอบ

#### 4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบข้อมูลแบบสอบถามในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากอาคารพักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงไม่เกิน 23 เมตร จำนวน 25 ในเขตกรุงเทพมหานครของโครงการก่อสร้างตั้งแต่ ปัจจุบัน-ปี 2560

(1) จัดทำแบบสอบถามจำนวน 25 ชุด

(2) แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งมีโครงสร้างเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์ของข้อคำถามและหาค่าสัมประสิทธิ์ความสอดคล้องซึ่งต้องไม่น้อยกว่า 0.5 สำหรับข้อคำถามที่ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสอดคล้องน้อยกว่า 0.5

(3) ผู้วิจัยจะทำการปรับปรุงแก้ไขและเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์อีกรอบ

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ IOC คือ ความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบสอบถาม

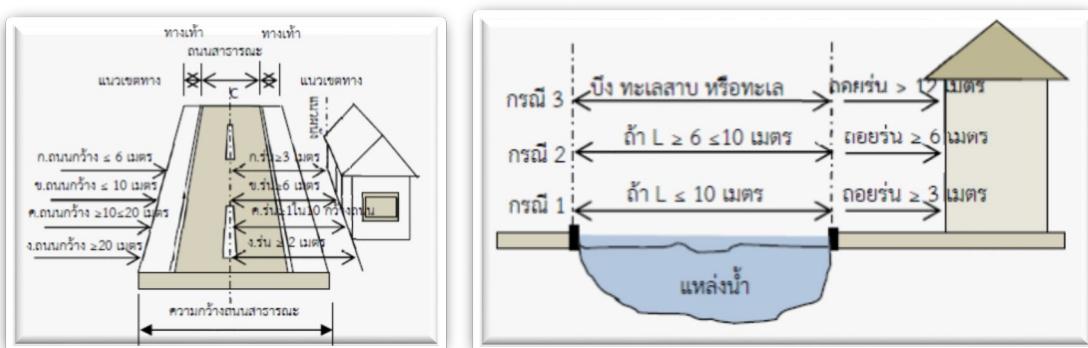
$\sum R$  คือ ผลรวมของคะแนนจากผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

N คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

#### 4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์กึ่งมีโครงสร้างผู้ให้ข้อมูลสำหรับผู้วิจัยจะทำการค่าเฉลี่ยการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) โดยการถอดข้อมูลจากไฟล์บันทึกเสียง ล้วนหาความหมายของข้อความต่างๆ ในข้อมูลที่ได้ จากนั้นทำการหาข้อสรุปและตีความหมายของข้อค้นพบที่ได้ ทั้งนี้ ผู้วิจัยจะทำการยืนยันความน่าเชื่อถือของข้อค้นพบที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ โดยใช้วิธีการตรวจสอบสามเส้นด้านข้อมูล (Data Triangulation) เช่น

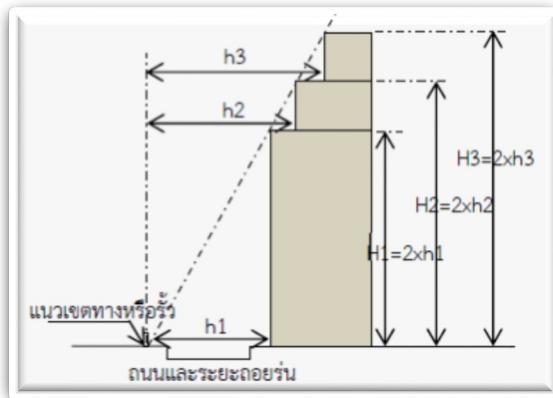
การเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการสังเกตกับการสัมภาษณ์และการเปรียบเทียบข้อมูลเรื่องเดียวกันที่ได้มาจากผู้ให้ข้อมูลหลายคน เป็นต้น (สุภารัตน์ จันทวนิช, 2549) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา สรุปตีความ และการบรรยายเชิงวิเคราะห์ ให้สอดคล้องกับกรอบแนวคิดการวิจัย รวมถึงนำผลการศึกษาที่ได้มาเปรียบเทียบกับแนวความคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ การวิเคราะห์ข้อมูลในรูปของเอกสาร ข้อเขียน และคำพูดที่ได้จากการสัมภาษณ์หรือการสนทน่า จะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ด้วยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเอกสาร หลักกฎหมายคุณอาชญากรรมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารพักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการจัดแบ่งข้อมูลตามแหล่งที่มาของข้อมูลและการใช้งานของข้อมูล จัดเรียงข้อมูล คัดแยกเอกสารเฉพาะส่วนที่มีการอธิบายหรือกล่าวถึงหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารพักอาศัยรวม ประเภทอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร กำหนดหัวข้อที่จะทำการวิเคราะห์ตามเนื้อหาที่ปรากฏ โดยวางเค้าโครงของข้อมูลด้วยการจัดข้อความที่จะถูกนำมาวิเคราะห์แบ่งเป็นประเภท (Categories) คำนึงถึงบริบท (Context) หรือสภาพแวดล้อมประกอบของข้อมูลเอกสารที่นำมาวิเคราะห์ จากนั้นทำการวิเคราะห์เนื้อหาเฉพาะเนื้อหาที่ปรากฏ (Manifest Content) ในเอกสารเท่านั้น การคำนวณขนาดอาคารพักอาศัยรวม สามารถทำได้โดยการตรวจสอบพื้นที่ว่างอาคารและระยะรั่น



แผนภาพที่ 2 ตัวอย่างการคำนวณขนาดอาคารพักอาศัยรวมโดยการตรวจสอบระยะรั่น

ที่มา: ทองพูล ทาสีเพชร และคณะ (2564)

การเสนอแนะแนวทางการออกแบบอาคารพักอาศัยรวม สามารถทำได้โดยการหา อัตราส่วนพื้นที่อาคาร รวมต่อพื้นที่ดิน ((Floor to Area Ratio: FAR) การตรวจสอบความสูงอาคาร การหาอัตราส่วนของพื้นที่ว่างต่อพื้นที่อาคารรวม (Open Space Ratio: OSR) ที่เกิดขึ้นจริง การตรวจสอบการออกแบบและเขียนแบบอาคารจากช่องเปิดอาคารและข้อกฎหมายอื่น



แผนภาพที่ 3 ด้วยการคำนวณหาขนาดอาคารพักอาศัยรวม โดยการตรวจสอบความสูงอาคาร  
ที่มา: ทองพุด ทาสีเพชร และคณะ (2564)

## 5. ผลการวิจัย

1. ปัญหารื่องที่คิน
2. ปัญหารื่องผังเมือง
3. ปัญหารื่องกฎหมายความคุ้มอาคาร
4. ปัญหาด้านการออกแบบ
5. ปัญหาด้านการก่อสร้างในอนาคต

**ตารางที่ 1** สรุปการแสดงวิเคราะห์และสำรวจปัจจัย อาคารอาศัยรวมประเภทอาคารสูงในเขตกรุงเทพมหานคร  
25 โครงการ

รายการที่ตรวจสอบ	มี	ไม่มี	ผลการตรวจสอบ ตามเกณฑ์ที่ กฎหมายกำหนด		หมายเหตุ
			ได้	ไม่ได้	
(1) แผนผังบริเวณ					
- มาตราส่วนขนาดคระยะ ให้ใช้มาตราแบบตริก - แผนผังบริเวณให้ใช้มาตราเว่น ต่อ 500 - แบบแปลนให้ใช้มาตราส่วนไม่น้อยกว่า 1:100 - ตรวจสอบ ที่ดึํงดำเนินแบบที่คิน สำหรับ การใช้ประโยชน์ - ตรวจสอบความกว้างองนสาขาวัสดุค้านหน้าโครงการ - ตรวจสอบขนาดแปลงที่คิน จะโฉนดที่คินที่สี่สี่ด้าน - ตรวจสอบที่ดินบริเวณที่ห้ามก่อสร้าง - การหาอาศาของอู่อาศัยรวม ใช้หลักการหาพื้นที่ใช้ประโยชน์ให้ได้ มากที่สุด(Maximam Area) ตามข้อกฎหมาย	✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓		✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓		ก่อสร้างตามแบบแปลน อาจมี บางที่มีการต่อเติมปรับปรุงแก้ไข  สถานที่โดยรอบโครงการอาจมี การเปลี่ยนแปลง
-ออกแบบ อาคารพักอาศัยรวม -ตรวจสอบแบบอาคารตามข้อกฎหมายสมบูรณ์	✓ ✓		✓ ✓		แบบบางโครงการอาจจะไม่ครบ เนื่องจากระยะเวลา

**ตารางที่ 1 (ต่อ)**

รายการที่ตรวจสอบ	มี	ไม่มี	ผลการตรวจสอบ ตามเกณฑ์ที่ กฎหมายกำหนด		หมายเหตุ
			ได้	ไม่ได้	
(2) ภายนอกอาคาร					
-พื้นที่สีเขียว	✓		✓		นางโครงการไม่มีพื้นที่สีเขียวหรือมีน้อย
-ที่จอดรถ	✓		✓		นางโครงการที่จอดรถน้อยหรือแยกไม่พอดูซึ่งกัน
-ถนนภายในโครงการ	✓		✓		ถนนภายในโครงการระบะบูรณ์ดีสวยงาม
-ทางหนีไฟ	✓		✓		ทางหนีไฟแคบ
-คาดฟ้า	✓		✓		ทางที่ไม่ได้ใช้งาน เกิดทรุดโกร姆
(3) ภายในโครงการ					
-ทางเดินรวมภายในอาคาร	✓		✓		นางโครงการระยะไม่ถึง 150 เมตร
-บันได	✓		✓		
-บันไดหนีไฟ	✓		✓		นางโครงการข้ารุดเสียหาย
-ทางหนีไฟ	✓		✓		นางโครงการบานงห้องข้ารุดเสียหาย
-ป้ายเดือนต่างๆ	✓		✓		
-ห้องน้ำ ห้องส้วม	✓		✓		
(4) ระบบด่างๆ					
-ระบบไฟฟ้า	✓		✓		นางโครงการข้ารุดเสียหาย
-ระบบประปา	✓		✓		
-ระบบสุขาภิบาล	✓		✓		นางโครงการข้ารุดเสียหาย
-ระบบป้องกันอัคคีภัย	✓		✓		

**6. อภิปรายผล**

จากการทำวิจัยการออกแบบอาคารที่พักอาศัยรวมประเภทอาคารสูงที่มีความสูงไม่เกิน 23 เมตรในกรุงเทพมหานคร จำนวน 25 โครงการทำให้ทราบถึงปัญหาดังๆ ในกระบวนการออกแบบในหลายๆ ด้านซึ่งปัญหาดังๆ ล้วนเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่ตลอด เพราะการออกแบบอาคารต้องคำนึงถึงกฎหมายและสภาพแวดล้อมในหลายๆ ด้านแต่การวิจัยครั้งนี้ก็จะท่อนให้เห็นปัญหาในแต่ละจุดชัดเจนยิ่งขึ้น เช่น

**(1) ด้านภายนอกอาคาร**

- ผังอาคารมีการเปลี่ยนแปลงไป อาจมีการต่อเติมปรับปรุงแก้ไขอาคาร
- ทางเดินแบบแปลนอาจไม่ได้เก็บไว้หรือเก่าชำรุด
- พื้นที่ข้างเคียงและบริเวณรอบอาคารมีการเปลี่ยนแปลง อาจมีอาคารข้างเคียงก่อสร้างขึ้นหรือสร้างถนนตัดผ่านหรือถนนมีการเปลี่ยนแปลงเป็นต้น
  - บางโครงการไม่มีพื้นที่สีเขียวหรือเคยมี
  - บางโครงการที่จอดไม่พอแก่ผู้ใช้งาน
  - ชั้นคาดฟ้าเก่าชำรุดหรือไม่ได้ใช้งาน
  - บางโครงการระยะทางเดินของรถดับเพลิงไม่พอเลี้ยวหรือเข้าออกไม่สะดวก

## (2) ด้านภายในอาคาร

- ภายในอาคารทางเดินไม่ถึง 1.50 เมตร
- ระบบป้ายเตือนต่างๆ ชารุด
- ระบบไฟฟ้าและประปา มีชารุด
- ระบบป้องกันอัคคีภัย มีชารุด หรือขั้ดการตรวจสอบและทดสอบการใช้งาน

## 7. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะของแนวทางการวิจัยจะต้องศึกษาฐานแบบแนวทางการออกแบบให้หลากหลายและหลากหลายพื้นที่มากขึ้นเพื่อให้ได้ข้อมูลอิสิคในหลายด้านที่เกี่ยวกับอาคารสูงซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งทางด้านภูมายและสภาพพื้นที่ความซับซ้อนของรูปร่างที่คุณและคนน โโคบอน ในแต่ละแห่งของประเทศไทย

### 7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) ข้อค้นพบที่ได้จากการวิจัยพบว่า ระยะรัตน์ตอนโคล Low Rise ที่มีความสูงไม่เกิน 8 ชั้นอาคารด้านที่ชิดกับที่คุณอื่น จะต้องทำห้องเปิด ประตูหน้าต่างห้องรับแขกหรือที่รับเบี้ยงชั้นสองลงมาหรือสูงไม่เกิน 9 เมตรต้องมีระยะห่างจากเขตที่คุณอื่นไม่น้อยกว่า 2 เมตรและสำหรับชั้นที่ 3 ขึ้นไปสูงกว่า 9 เมตรแต่ไม่ถึง 23 เมตรต้องมีระยะห่างจากแนวเขตที่คุณไม่น้อยกว่า 3 เมตร

(2) ข้อค้นพบที่ได้จากการวิจัย การตรวจสอบอาคารหรือ อ.6 นั้นควรที่จะก่อสร้างกรอบนอกของตัวอาคารต้องเรียบร้อยหรือมีพื้นที่สีเขียว, บันไดหน้าไฟ, ห้องเครื่องหลัก ให้เรียบร้อยและปลอดภัยไม่รวมภายในอาคารก็สามารถผ่าน อ.6 ได้ทั้งแล้วทั้งนั้นก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง

\*\* อ.6 หมายความว่า ใบรับรองการก่อสร้างอาคาร ตัดแปลงอาคาร หรือเคลื่อนย้ายอาคาร

### 7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- (1) การออกแบบให้สอดคล้องกับผู้ใช้งานเพื่อได้ประโยชน์สูงสุด
- (2) ควรศึกษาภูมายາการประเทศไทยนั้นฯ เพื่อความถูกต้องและเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้อาคาร
- (3) ควรสำรวจพื้นที่โครงการและบริเวณใกล้เคียงให้ละเอียดเพราะมีผลต่อการออกแบบและการก่อสร้าง เพื่อประปะ ประโยชน์กับเจ้าของโครงการหรือนักลงทุนหรือผู้พักอาศัย

## 8. กิตติกรรมประกาศ

บทความนับนี้ สำเร็จต้องขอขอบพระคุณ พศ.ดร.วันโชค เครือหงษ์ พศ.ทองพุด ทาสีเพชร และ ดร.กฤษฎา อนันดาภรณ์ ที่ให้คำปรึกษา และขอบคุณคณาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย ให้ความรู้แก่ผู้เขียน จนทำให้ผู้เขียนมีความรู้ ความสามารถในการเขียนบทความได้สำเร็จ

## 9. เอกสารอ้างอิง

กองเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2562). พระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ. 2562.

<https://www.pruksa.com/land/content/25829>

เกศวดี จันทร์แก้ว. (2558). กฎหมายในงานออกแบบกฎหมายสถาปัตยกรรม. (การค้นคว้าอิสระปริญญา  
กฎหมายสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร, ภาควิชาการออกแบบและ  
วางแผนชุมชนเมือง.

ชุมพล นางย์. (2559). บัญหาการบังคับใช้พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522. (รายงานการศึกษาอิสระ  
ปริญญานิพัฒนา). มหาวิทยาลัยรามคำแหง, คณะนิพัฒนา.

ทองพูล ทาสีเพชร, ธรรม กติการวงศ์จร และ วินัยรุ่านต์ รัตนธิรวงศ์. (2564). อุปสรรคของ  
การออกแบบอาคารพักอาศัยรวมขนาดเล็กในกรุงเทพมหานคร. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธา  
แห่งชาติครั้งที่ 26, วันที่ 23-25 มิถุนายน 2564, การประชุมรูปแบบออนไลน์.

บรรจิทย์ เปรื่องวงศ์. (2543). อำนาจหน้าที่ของเจ้าหน้าที่กู้ภัยในกรุงเทพมหานคร. (วิทยานิพนธ์ปริญญานิพัฒนา).  
มหาวิทยาลัยรามคำแหง, สาขาวิชากฎหมาย.

ปราณี หลำเปี้ยนสะ. (2561). การวัดและประเมินผลการศึกษา. กรุงเทพฯ: สมมิตรพัฒนาการพิมพ์ (1992).

พิมุข สุทธิลักษณ์ และ ฟ้าใส สามารถ. (2563). นโยบายของรัฐในการควบคุมอาคาร: มุมมอง  
ด้านกฎหมาย. วารสารวิชาการ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุรศรี,  
7(2), 49-64.

มนตรี บัวมาก. (2557). บัญหาเกี่ยวกับการบริหารจัดการอาคารสูงตามกฎหมายควบคุมอาคาร. (วิทยานิพนธ์  
ปริญญานิพัฒนา). มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, สาขาวิชานิพัฒนา.

สุภังค์ จันทวนิช. (2549). วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 14). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.

สรีชัย ลิงห์ทอง. (2556). บัญหากฎหมายควบคุมอาคารที่ส่งผลกระทบต่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา  
อสังหาริมทรัพย์: ศึกษาเฉพาะกรณีกรุงเทพมหานคร. (วิทยานิพนธ์ปริญญานิพัฒนา).  
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, สาขาวิชานิพัฒนา.

Cresswell, J. W. (2009). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (3rd ed.).

Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

Hair, J. F., Bush, R. P., & Ortinau, D. J. (2003). *Marketing Research: Within a Changing Information Environment*. Irwin: McGraw-Hill.

# ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างบ้านพักอาศัย กรณีศึกษาประชารถใน จังหวัดนนทบุรี

## **FACTORS INFLUENCING THE DECISION TO SELECT**

# **RESIDENTIAL CONSTRUCTION CONTRACTOR:**

## A CASE STUDY OF POPULATION IN NONTHABURI PROVINCE

อําพล สุขประมาณ

# สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

**E-mail:** Noteabilly1984@gmail.com

วันโชค เครื่องหมาย

# สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุทัยธานี

**E-mail:** Wunchock\_kr@rmutt.ac.th

ທອງພລ ທາສີເພຈຣ

# สาขาวิชาวิศวกรรมก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวันออก วิทยาเขตอุบลราชธานี

E-mail: Deanthongpoon@yahoo.com

อาทิตยา นิมอนงค์

# สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวันออก วิทยาเขตอุทัยธานี

**E-mail:** Atittaya\_ni@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างบ้านพักอาศัย กรณีศึกษาประชากรในจังหวัดนนทบุรี ซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่ใช้การวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ บุคคลที่ผ่านการใช้บริการหรือกำลังตัดสินใจเลือกใช้บริการ จำนวน 240 คน และใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการใช้แบบสอบถามออนไลน์ โดยใช้ค่าสถิติในการวิเคราะห์หาความเที่ยงตรง และความเชื่อมั่น ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าความถี่ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า t-test และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ซึ่งผลของการวิจัยสรุปได้วังนี้ ผลการวิจัยได้พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 67.1 อายุ 36-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 40.0 การศึกษาระดับปฐมฐาน คิดเป็นร้อยละ 42.9 อาชีพพนักงานบริษัทเอกชน คิดเป็นร้อยละ 40.4 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 25,001 - 35,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 28.8 สามารถในครอบครัว 3 – 4 คน คิดเป็น

ร้อยละ 39.6 อาศัยอยู่ 6 อำเภอ คิดเป็นร้อยละ 16.7 เคยผ่านการใช้บริการผู้รับเหมา ก่อสร้าง โดยมูลค่าของสิ่งปลูกสร้าง ตั้งแต่กว่า 500,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 33.3 เคยผ่านการใช้บริการ คิดเป็นร้อยละ 56.7 มีผลต่ออิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง โดยรวมอยู่ในระดับมาก ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง กับระดับกระบวนการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง ในจังหวัดนนทบุรี มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) (Pearson Correlation) เท่ากับ 0.864 มีค่าความสัมพันธ์ในระดับสูง

**คำสำคัญ:** ผู้รับเหมา ก่อสร้าง, การคัดเลือก, การตัดสินใจ

## ABSTRACT

This research is aimed to study Factors affecting the decision to select a residential construction contractor: a case study of the population in Nonthaburi province. The samples used in this study were 240 persons, and used the questionnaire to collect information using online questionnaires. The questionnaires have been used as the data collecting tools, and a variety of statistical analyses such as percentage, frequency mean standard deviation, t-test, One-way ANOVA, and Pearson's product-moment correlation coefficient. The results can be summarized as follows. The results found that the majority of respondents were male 67.1 percent, and were aged 36 to 40 years 40.0 percent. The education had a bachelor's degree 42.9 percent, were employed by private companies 40.4 percent, an average monthly income of 25,001-35,000 baht 28.8 percent, family members 3-4 persons 39.6 percent, residents in six districts accounted for 16.7 percent. The respondents had used construction contractor services with a value of buildings below 500,000 baht, or 33.3 percent had used the service, representing 56.7 percent. The factors affecting the decision-making overall were at high levels, and there's a decision-making process for selecting construction contractors. The relationship between factors influencing the decision to choose a construction contractor and the decision-making process for selecting construction contractors in Nonthaburi province were statistically significant at 0.01, with a correlation coefficient  $r$  (Pearson Correlation) of 0.864. It has a high level of affinity.

**Keywords:** Contractor, Selection, Decision

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

มนุษย์เราดำรงอยู่ได้ด้วยปัจจัย 4 ประการ อาหาร ที่อยู่อาศัย เครื่องนุ่งห่ม และยาวยาโรคนับตั้งแต่ยุคเริ่มกำเนิดมนุษย์บนโลกนี้ จึงได้มีการสร้างสรรค์สิ่งต่างๆ มากมาย เพื่อตอบสนองให้ชีวิตของมนุษย์นั้นมีความสุข ความปลอดภัย และมั่นคง หากกล่าวถึงองค์ประกอบหนึ่งที่เป็นส่วนสำคัญในชีวิตของมนุษย์นั้นก็คือ ที่อยู่อาศัย ซึ่งในยุคปัจจุบันในสังคมไทยมีค่านิยมในการเลือกที่อยู่อาศัย ได้หลากหลายมากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการ พื้นฐาน รวมถึงเพื่อสะท้อนถึงพื้นฐานถึงสถานะทางสังคมของตนเอง ดังนั้นที่กล่าวมาที่อยู่อาศัยจึงมีบทบาทที่สำคัญมากขึ้นด้วย

ธุรกิจรับเหมา ก่อสร้าง จัดเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐาน และเป็นธุรกิจที่สอดคล้องตามการเปลี่ยนแปลงของค่านิยมต่างๆ ที่ส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตให้ความเป็นอยู่ที่ดีกว่าเดิม ยกตัวอย่างเช่น หวานโอม บ้านเดี่ยว และห้องชุด ซึ่งมีอัตราการเติบโตเพิ่มสูงขึ้นในทุกพื้นที่ของจังหวัดนนทบุรี ปัจจุบันธุรกิจรับเหมา ก่อสร้าง มีการแข่งขันกันของผู้รับเหมาจำนวนมาก หากผู้ว่าจ้างต้องการผู้รับเหมาที่มีคุณภาพ ควรทำการคัดเลือกผู้รับเหมาเพื่อให้ได้งานที่ได้คุณภาพตรงกับความต้องการของผู้ว่าจ้าง แต่ไม่ได้มีการตรวจสอบความสามารถของผู้รับเหมาที่จะตอบสนองได้ตรงตามความต้องการ ซึ่งบริษัทผู้รับเหมา ก่อสร้างนั้นสามารถที่จะพัฒนาตนเองให้ตรงกับความต้องการของผู้ว่าจ้าง ต้องการผู้รับเหมาที่มีคุณลักษณะเด่นทางด้านใดด้านหนึ่ง

นนทบุรี เป็นเมืองที่น่องที่เดิน โตกวนคู่กับกรุงเทพมหานคร จากการขยายตัวของความเป็นเมือง รวมไปถึงการกระจายความเจริญ ทำให้นนทบุรี ในปัจจุบันนี้ไม่ได้เป็นจังหวัดปริมณฑลที่มีระยะใกล้กับกรุงเทพมหานครเท่านั้น แต่ยังถูกวางบทบาทให้เป็นเมืองหลวงที่สองของกรุงเทพมหานครอีกด้วย นนทบุรี ในปัจจุบันเป็นมากกว่าเมืองที่เดิน โตกวนคู่กับกรุงเทพมหานคร โดยสถิติประชากรแห่งของประเทศไทย พ.ศ.2560 โดยสำนักงานสถิติและสังคมแห่งชาติ เปิดเผยว่า ในจำนวนประชากรแห่งทั้งหมดกว่า 8.07 ล้านคน (ประมาณ 11.9% ของจำนวนประชากรรวมทั้งหมด) ทำให้นนทบุรี ถูกมองว่าเป็นเมืองที่เหมาะสมกับการอยู่อาศัย เพราะมี Work-Life Balance ที่สมดุล ทำให้เกิดโครงการก่อสร้างที่อยู่อาศัยในจังหวัดนนทบุรี เพิ่มขึ้นต่อเนื่องทุกปี โดยในปี 2562 ที่ผ่านมา มีจำนวนโครงการที่อยู่อาศัยแนวราบในจังหวัดนนทบุรี ถึง 1,523 โครงการ และมีโครงการห้องชุดคอนโดมิเนียมถึง 405 โครงการ

จากข้อมูลที่ได้เห็นว่า ได้มีการเดิน โตกวน เพิ่มจำนวนของโครงการสร้างที่อยู่อาศัยในจังหวัดนนทบุรี มีมากขึ้นทุกปี ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง บ้านพักอาศัย ของประชากรในจังหวัดนนทบุรี เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาใช้เพื่อเป็นแนวทางในการตรวจสอบคัดเลือกคุณสมบัติเบื้องต้นของบริษัทผู้รับเหมา ก่อสร้าง และเพื่อพัฒนาวิเคราะห์การตัดสินใจในการคัดเลือกผู้รับเหมา ให้เหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพในการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง มากที่สุด

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง บ้านพักอาศัยของประชากรในจังหวัดนนทบุรี

(2) เพื่อเปรียบเทียบปัจจัยในการตัดสินใจ คัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง บ้านพักอาศัยของประชากรในจังหวัดนนทบุรี

(3) ศึกษาเพื่อรับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการตัดสินใจ และกระบวนการคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง บ้านพักอาศัยของประชากรในจังหวัดนนทบุรี

## 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาและทบทวนเอกสาร แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

(1) แนวความคิดด้านทฤษฎีด้านประชากรศาสตร์

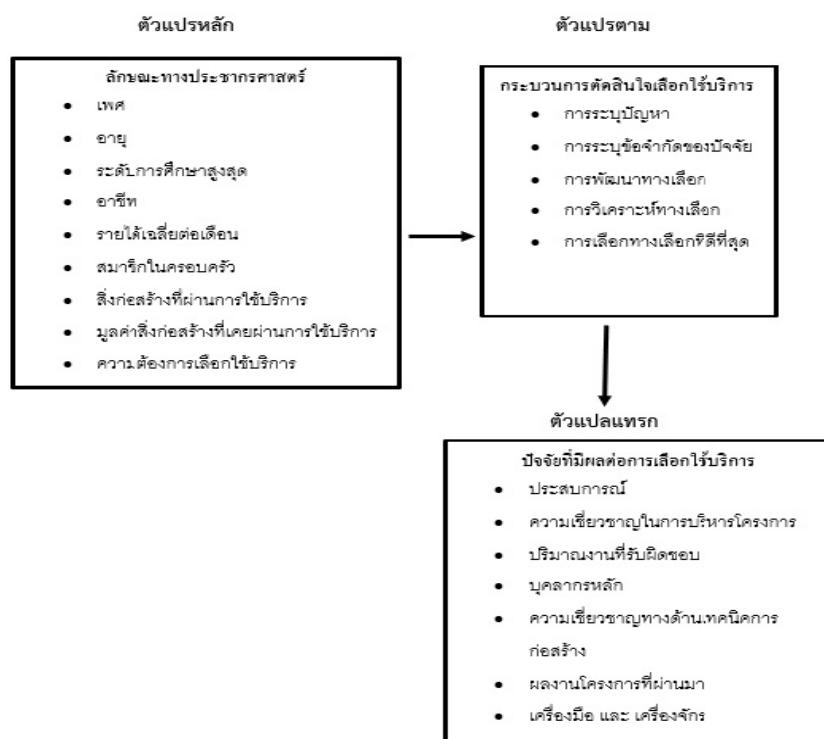
(2) แนวความคิดด้านทฤษฎีเกี่ยวกับการคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง

- (3) แนวความคิดด้านทฤษฎีเกี่ยวกับการตัดสินใจ
- (4) แนวความคิดทฤษฎีการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
- (5) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กองกูณฑ์ โต๊ชัวตัน และวารากร ลิขิตอนุภาค (2555) คุณสมบัติในการคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างงานสาธารณูปโภคในโครงการหมู่บ้านจัดสรร ผลการศึกษาพบว่าค่าถ่วงน้ำหนักของคุณสมบัติในการคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างงานสาธารณูปโภคในโครงการหมู่บ้านจัดสรร มี 8 คุณสมบัติเรียงลำดับได้ดังนี้ 1) ความเชี่ยวชาญใน การบริหาร โครงการ ร้อยละ 25.77 2) ประสบการณ์ร้อยละ 16.89 3) ฐานะทางการเงิน ร้อยละ 14.23 4) ปริมาณงานที่รับผิดชอบอยู่ ร้อยละ 14.17 5) ความเชี่ยวชาญเทคนิคการก่อสร้าง ร้อยละ 12.22 6) บุคลากรหลัก ร้อยละ 6.24 7) ผลงาน โครงการที่ผ่านมา ร้อยละ 5.29 และ 8) ความสัมพันธ์กับผู้ค้าวัสดุ ก่อสร้าง ร้อยละ 5.19 จากผลการวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจคัดเลือกและจัดอันดับผู้รับเหมา ก่อสร้างงานสาธารณูปโภคในโครงการหมู่บ้านจัดสรร ได้

เกิดศักดิ์ มวลบุญทด (2555) "ได้ศึกษาเรื่อง geopolitics การคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างงานสาธารณูปโภค ขององค์กรการปกครองส่วนท้องถิ่น ในเขตอำเภอสูงเนิน จังหวัดนราธิวาส ผลการวิจัยพบว่า ค่าถ่วงน้ำหนักของคุณสมบัติในการคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างงานสาธารณูปโภคขององค์กรการปกครองส่วนท้องถิ่น ในเขต อำเภอสูงเนิน จังหวัดนราธิวาส มี 3 จาก 8 คุณสมบัติที่มีน้ำหนักสูง และรวมกันมีค่าถึง 62.98 % ได้แก่ 1) ประสบการณ์ร้อยละ 22.90 2) ความเชี่ยวชาญในการบริหาร โครงการ ร้อยละ 20.83 และ 3) ความเชี่ยวชาญเทคนิค การก่อสร้างร้อยละ 19.23 ส่วนด้านบุคลากรหลักบริษัทงานที่รับผิดชอบอยู่ฐานะการเงินผลงาน โครงการที่ผ่าน มา และความสัมพันธ์กับผู้ค้าวัสดุ ก่อสร้าง มีค่าน้ำหนักรวมเพียง 37.12% และลดหลั่นกันตามลำดับ ผลจากการวิจัย นี้สามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจคัดเลือกและจัดอันดับผู้รับเหมา ก่อสร้างองค์กรการปกครองส่วนท้องถิ่นอีกด้วย"

### 3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

### 3.3 สมมติฐานการวิจัย

(1) ประชากร ที่มีเพศ อายุ ระดับการศึกษา อาร์ชีพ และรายได้ต่อเดือนที่แตกต่างกัน มีผลต่อ กระบวนการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างบ้านพักอาศัย

(2) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างบ้านพักอาศัย มีความสัมพันธ์กับ กระบวนการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างบ้านพักอาศัย ในจังหวัดนนทบุรี

## 4. วิธีดำเนินการวิจัย

### 4.1 ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยศึกษาเรื่อง “ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง ของประชากรใน จังหวัด นนทบุรี” ครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ให้บรรลุ วัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ดังนี้คือ

- (1) การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
- (2) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- (3) วิธีเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย
- (4) การเก็บรวบรวมข้อมูล
- (5) สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและทดสอบสมมติฐาน

### 4.2 การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

- (1) ประชากรเป้าหมาย

ประชากรเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ผู้บริโภคที่มีที่อยู่อาศัยเป็นของตนเองและ ให้ ความสำคัญในการสร้าง ต่อเติม หรือเปลี่ยนแปลงรูปแบบที่อยู่อาศัยในเขตจังหวัดนนทบุรี

- (2) การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกกลุ่มตัวอย่างจำนวน 240 ตัวอย่าง จากประชากรในจังหวัดนนทบุรี โดยกระจายแบบสอดคล้อง 6 อำเภอ แบ่งอำเภอละ 40 ตัวอย่าง

- (3) วิธีการเลือกตัวอย่าง

การเลือกกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยจะใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) โดยเลือกเฉพาะผู้ที่มีที่อยู่อาศัยเป็นของตนเองและให้ความสำคัญในการสร้าง ต่อเติม หรือเปลี่ยนแปลงรูปแบบที่อยู่ อาศัย โดยการใช้แบบสอบถามออนไลน์ (Online Questionnaire) ให้แก่กลุ่มตัวอย่าง

### 4.3 เครื่องมือวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ เป็นงานวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย คือ แบบสอบถามออนไลน์ (Online Questionnaire) และเพื่อให้แบบสอบถามบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย และ ครอบคลุมตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด ซึ่งผู้วิจัยจะนำข้อมูลที่รวบรวม ได้มาดำเนินการประมวลผลและ วิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS และ วิเคราะห์ความเชื่อมั่น เลือกใช้สูตรสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ เพียร์สันใน SPSS

### 4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือเป็นแบบสอบถามในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากประชากรที่อาศัยอยู่ในจังหวัด นนทบุรี จำนวน 240 ตัวอย่าง มีรายละเอียดดังนี้

- (1) จัดทำแบบสอบถามตามจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ  
(2) วางแผนและกำหนดค่าห่วงระยะเวลา เพื่อดำเนินงานเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง  
(3) ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยทำการแจกแบบสอบถามแบบออนไลน์ (Online Questionnaire)

(4) ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลให้ครบถ้วนตามจำนวนที่กำหนดไว้

#### 4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบสอบถามกลุ่มตัวอย่างของประชากร นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังนี้

1) วิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถามตอนที่ 1 ลักษณะข้อมูลทั่วไปโดยการอธิบายข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามโดยค่าร้อยละ (Percentage) การแจกแจงความถี่ (Frequency Distribution)

2) วิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถามตอนที่ 2 และ 3 คือ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง ของประชากรใน จังหวัดนนทบุรี โดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ลักษณะแบบสอบถามเป็นมาตราส่วนประมาณค่าของลิกิร์ทสเกล (Likert Scale) สถิติเชิงอนุमาน (Inferential Statistics) ใช้ในการทดสอบสมมติฐานของการวิจัยโดยสถิติที่ใช้คือ

1) ค่า T-test ใช้อธิบายและพิสูจน์สมมติฐานที่มีค่าแพร็อสระ 2 กลุ่มด้านเพล  
2) ค่า F-test ใช้อธิบายและพิสูจน์สมมติฐานที่มีค่าแพร็อสรามากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไปด้านอายุระดับการศึกษาสูงสุด อาชีพ และรายได้ต่อเดือน

3) กรณีพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจึงทำการทดสอบเป็นรายคู่ที่ระดับนัยสำคัญ แอลfa = 0.05 หรือระดับความเชื่อมั่น 95% จะใช้วิธี Scheffe's method เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อดูว่าคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน

4) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's Product Moment Correlation Coefficient) ในการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจกับกระบวนการการตัดสินใจ คัดเลือกผู้รับเหมา

การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ จะใช้ตัวเลขค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์ในระดับน้อย หรือไม่มีเลย สำหรับการพิจารณา ค่าไปอาจใช้เกณฑ์ ดังต่อไปนี้

ค่า	ระดับของความสัมพันธ์
0 – 0.30	มีความสัมพันธ์ในระดับต่ำมาก
0.30 – 0.50	มีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ
0.50 – 0.70	มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง
0.70 – 0.90	มีความสัมพันธ์ในระดับสูง
0.90 – 1.00	มีความสัมพันธ์ในระดับสูงมาก

## 5. ผลการวิจัย

การศึกษาเรื่อง “ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างบ้านพักอาศัย กรณีศึกษา ประชากรใน จังหวัดนนทบุรี” มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างของประชากรใน จังหวัดนนทบุรี (2) เพื่อเปรียบเทียบปัจจัยในการตัดสินใจ คัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างของประชากรใน จังหวัดนนทบุรี (3) ศึกษาเพื่อรับ��ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการตัดสินใจ และกระบวนการคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างของประชากรใน จังหวัดนนทบุรี โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

### ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถามพบได้ว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็น เพศชาย คิดเป็นร้อยละ 67.1 มีอายุ 36-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 40.0 มีระดับการศึกษาปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 42.9 มีอาชีพพนักงานบริษัทเอกชน คิดเป็นร้อยละ 40.4 มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 25,001 - 35,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 28.8 มีสมาชิกในครอบครัว 3 – 4 คน คิดเป็นร้อยละ 39.6 ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ที่ อำเภอ เมือง บางกรวย บางใหญ่ ปากเกร็ด บางบัวทอง ไทรน้อย คิดเป็นร้อยละ 16.7 แสดงจำนวนเงินที่กันตามการกำหนดของผลสำรวจ เคยผ่าน การใช้บริการผู้รับเหมา ก่อสร้างโดยมูลค่าของสิ่งปลูกสร้าง ต่ำกว่า 500,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 33.3 เคยผ่าน การใช้บริการ คิดเป็นร้อยละ 56.7

### ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง

ผลการวิเคราะห์ระดับความสำคัญเกี่ยวกับอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างของประชากร ในจังหวัดนนทบุรี โดยได้เห็นภาพรวมของค่าความสำคัญอยู่ที่ระดับที่มีความสำคัญมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน ได้พบว่า ด้านประสบการณ์ในการทำงานมีค่าความสำคัญอยู่ในระดับมาก เป็นอันดับแรก โดยอยู่ในระดับมี ความสำคัญมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ด้านความเชี่ยวชาญในการบริหารโครงการ ค่าความสำคัญอยู่ในระดับมาก, ด้านปริมาณงานที่ผู้รับเหมารับผิดชอบอยู่ ค่าความสำคัญอยู่ในระดับมาก, ด้านบุคลากรหลัก ค่าความสำคัญอยู่ใน ระดับมาก, ด้านความเชี่ยวชาญทางด้านเทคนิคการ ก่อสร้าง ค่าความสำคัญอยู่ในระดับมาก เป็นลำดับสุดท้าย ตามลำดับ

### ตอนที่ 3 กระบวนการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างในจังหวัดนนทบุรี

ผลการวิเคราะห์ระดับความสำคัญเกี่ยวกับกระบวนการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างในจังหวัด นนทบุรี โดยได้เห็นภาพรวมของค่าความสำคัญอยู่ที่ระดับที่มีความสำคัญมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน ได้พบว่า ด้านการพัฒนาทางเลือกมีค่าความสำคัญอยู่ในระดับมาก เป็นอันดับแรก โดยอยู่ในระดับมีความสำคัญมาก รองลงมา ได้แก่ ด้านการระบุข้อจำกัดของปัจจัยมีความสำคัญระดับมาก, ด้านการวิเคราะห์ทางเลือกมีความสำคัญ ระดับมาก, ด้านการระบุปัญหา มีความสำคัญระดับมาก, ด้านการเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด มีความสำคัญระดับมาก เป็นลำดับสุดท้าย ตามลำดับ

### ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง กับ ระดับกระบวนการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง ในจังหวัดนนทบุรี มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยมี ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson Correlation) เท่ากับ 0.864 มีค่าความสัมพันธ์ในระดับสูง



แผนภาพที่ 2 ภาพแผนภูมิแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

(Pearson's Product Moment Correlation Coefficient) รวม 5 ปัจจัย

**ตารางที่ 1** แสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง กับระดับกระบวนการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง ในจังหวัดนนทบุรี

ระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือก ผู้รับเหมา ก่อสร้าง	ระดับกระบวนการตัดสินใจคัดเลือก ผู้รับเหมา ก่อสร้าง ในจังหวัดนนทบุรี
Pearson Correlation	0.864
Sig. (2-tailed)	.000**
n	240
ระดับความสัมพันธ์	สูง

\* \* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

## 6. อภิปรายผล

(1) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง บ้านพักอาศัย กรณีศึกษาประชากรในจังหวัดนนทบุรี พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ มีระดับความคิดเห็นปัจจัยระดับความสำคัญเกี่ยวกับอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างของประชากรในจังหวัดนนทบุรี โดยได้เห็นภาพรวมของค่าความสำคัญอยู่ที่ระดับที่มีความสำคัญมาก โดยได้เห็นว่าปัจจัยด้านประสบการณ์ในการทำงานเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างอยู่ในระดับมากที่สุด แสดงให้เห็นว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับประสบการณ์ทำงาน ก่อสร้างของโครงการที่มีลักษณะใกล้เคียง การวางแผนด้านแรงงาน จำนวนโครงการที่ผู้รับเหมาดำเนินการอยู่ และมีการจัดอบรมระดับบุคลากรของผู้รับเหมา ตลอดถึงกับผลงานวิจัยของกองถุนท์ โอดี้ยัตตน์ และรากร ลิขิตอนุภาค(2555) ได้ศึกษาเรื่องคุณสมบัติในการคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างงานสาธารณูปโภคในโครงการหมู่บ้านจัดสรร

(2) เปรียบเทียบกระบวนการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างของประชาชนในจังหวัดนนทบุรี จำแนกตามลักษณะทางประชาราศาสตร์ ได้พบว่า ปัจจัยด้านเคยผ่านการใช้บริการต่อเดิมหรือซ่อมแซมที่อยู่อาศัย มีกระบวนการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างมากกว่ากลุ่มนี้อยู่ในระดับมาก อภิปรายได้ว่า กลุ่มอาชีพ พนักงานเอกสารส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มที่มีกำลังซื้อสูง จึงคำนึงถึงการมองถึงความสามารถของผู้รับเหมาที่จะเข้ามา ทำงานว่ามีความเหมาะสมกับความต้องการ พร้อมกำหนดมาตรฐานวัสดุ ก่อสร้างที่จะนำมาใช้ ความสามารถในการทบทวนและปรับปรุงแผนงานทุกครั้งที่เกิดปัญหา มีการตัดสินใจเลือกผู้รับเหมาจากสภาพคล่องทางการเงิน และทำการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของผู้รับเหมาแต่ละราย ลดความลังเลกังวลใจ วิจัยของผลงานวิจัยของนางสาว ทิพย์องค์ ลียรัศามวงศ์(2557) ได้ศึกษาเรื่องความพึงพอใจในเรื่องการเลือกบริษัทผู้รับเหมา ก่อสร้างขนาดเล็ก ของประชาชนในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

(3) ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการกับกระบวนการคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างของประชาชน ในจังหวัดนนทบุรี โดยส่วนใหญ่ได้ให้ความสำคัญกับด้านความเชี่ยวชาญทางด้านเทคนิคการก่อสร้าง บุคลากรหลัก บริษัทงานที่ผู้รับเหมารับผิดชอบอยู่ ความเชี่ยวชาญในการบริหารโครงการ และประสบการณ์ในการทำงานอยู่ในระดับสูง อภิปรายได้ว่า ผู้ตอบแบบสอบถามคิดเห็นว่า ผู้รับเหมา ก่อสร้าง ที่ดี ควรมีบุคลากรความเชี่ยวชาญทางด้านเทคนิคการก่อสร้าง สอดคล้องกับผลงานวิจัยของนิรัชชา เมืองเจริญ (2559) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อเจ้าของบ้านชาวต่างชาติในการตัดสินใจ คัดเลือกผู้รับเหมาก่อสร้างบ้านในเชียงใหม่

## 7. ข้อเสนอแนะ

## 7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) จากข้อค้นพบที่ได้จากการวิจัย พบว่า การวางแผนโครงการที่จะสามารถส่งมอบให้ลูกค้าได้ตามคุณภาพที่กำหนดอยู่ในระดับปานกลาง ดังนั้น ทางบริษัทผู้รับเหมา才่อήมาถ่่อสร้างสรรค์ทำการพัฒนาทางเลือกต่างๆ ขึ้นมา ซึ่งทางเลือกเหล่านี้ควรเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพและมีความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหาให้น้อยลง หรือให้ประโยชน์สูงสุด ตัวอย่างเช่น กรณีที่องค์การประสบปัญหาเวลาการผลิตไม่เพียงพอ ผู้บริหารอาจพิจารณาทางเลือกดังนี้ 1) เพิ่มการทำงานกะพิเศษ 2) เพิ่มการทำงานล่วงเวลาโดยใช้ตารางปกติ 3) เพิ่มจำนวนพนักงานเพื่อให้องค์กรมีศักยภาพในการทำงานและสร้างภาพลักษณ์ที่ดีต่อลูกค้า

(2) จากข้อค้นพบที่ได้จากการวิจัย พบว่า จำนวนแรงงานมีเพียงพอต่อโครงการอยู่ในระดับปานกลาง ดังนี้ ทางบริษัทผู้รับเหมา ก่อเหมา ก่อสร้างพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ ขององค์กร โดยพิจารณาจากทรัพยากรซึ่งเป็นองค์ประกอบของการบวนการผลิต ได้แก่ กำลังคน เงินทุน เครื่องจักร สิ่งอันวยความสะดวก อื่นๆ รวมทั้งเวลาซึ่งมักเป็นปัจจัยจำกัดที่พนักงานต้องใช้เวลาทำงาน ดังนั้นบริษัทรับเหมา ก่อสร้างจะต้องเอาใจใส่ในรายละเอียดของขั้นตอนในการปฏิบัติงาน มีความพร้อมของวัสดุ เครื่องมือ และเครื่องจักรในการปฏิบัติงาน เพื่อที่จะได้มีความน่าเชื่อถือและเป็นคุณสมบัติที่ผู้ว่าจ้างให้ความสำคัญในการตัดสินใจที่จะเลือกใช้บริการต่อไป

## 7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ความมีการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจด้านอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น ความสัมพันธ์กับผู้ค้าวัสดุ สภาพคล่องทางการเงิน เพื่อให้ได้ปัจจัยที่ครอบคลุมที่ส่งผลต่ออิทธิพลต่อการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง ในจังหวัดนนทบุรี

(2) ควรศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างในจังหวัดไก่คึ่ง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ต่อการกำหนดแนวทางในการจัดการบริหารองค์กรและสร้างภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กรมากยิ่งขึ้นต่อไป

(3) การศึกษาระดับนี้ เป็นการศึกษาเฉพาะผู้ที่ผ่านการใช้บริการผู้รับเหมา ก่อสร้างในจังหวัดนนทบุรี ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัยเชิงปริมาณ จึงเป็นเพียงส่วนหนึ่งของผู้ที่ผ่านการใช้บริการผู้รับเหมา ก่อสร้างในจังหวัดนนทบุรี ดังนั้น ในการวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณควบคู่กันไป เนื่องด้วย จากการกระบวนการตัดสินใจทางครั้ง ไม่ได้ขึ้นอยู่กับบุคคลใดบุคคลหนึ่ง ดังนั้น ควรมีการที่จะแยกการศึกษา ทั้งการตัดสินใจแบบเดียวและการตัดสินใจแบบกลุ่ม เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้นั้นนำมาเปรียบเทียบและหาข้อสรุป โดยภาพรวมเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง

## 8. กิตติกรรมประกาศ

บทความลับนี้ สำเร็จต้องขอขอบพระคุณ พศ.ดร. วัน โชค เครือหงษ์ พศ.ท่องพูด ทาสีเพชร และ ดร. กฤญา อนันตากลต์ ที่ให้คำปรึกษา และขอบคุณคณาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุทุนถาวร ให้ความรู้แก่ผู้เขียน จนทำให้ผู้เขียนมีความรู้ ความสามารถในการเขียนบทความ ได้สำเร็จ ลำดับต่อมาผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัว ที่สนับสนุนและเป็น แรงผลักดันสำคัญ

## 9. เอกสารอ้างอิง

- ศศิพร บุญชู. (2560). ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อบ้านเดี่ยวของโครงการบ้านจัดสรร ในพื้นที่เขตอำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี. วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- นิรัชชา เมืองเจริญ. (2559). ปัจจัยที่มีผลต่อเจ้าของบ้านชาวต่างชาติในการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างบ้าน ในเชียงใหม่. การค้นคว้าอิสระวิศวกรรมศาสตร์มหบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นางสาวทิพย์องค์ ลี่ยรสางงาน. (2557). การศึกษาความพึงพอใจในเรื่องการเลือกบริษัทผู้รับเหมา ก่อสร้างขนาดเล็กของประชากรในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. การค้นคว้าอิสระบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต.
- มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- กองกุณฑ์ โตชัยวัฒน์ และวรากร ลิขิตอนุภาค. (2555). คุณสมบัติในการคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้าง งาน สาธารณูปโภคในโครงการหมู่บ้านจัดสรร. วารสารวิจัยและพัฒนา มหา.., 35(2) เมษายน-มิถุนายน 2555.
- เกิดศักดิ์ บวนบุฑ. (2555). เกณฑ์การคัดเลือกผู้รับเหมา ก่อสร้างงานสาธารณูปโภคขององค์กรปกครองส่วน ท้องถิ่น ในเขตอำเภอสูงเนิน จังหวัดราชสีมา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีศรีปทุม.
- ปาณิศา ศิริเอกศาสตร์. (2556). ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ปูปลาเผื่อนของ ผู้บริโภค. การค้นคว้าอิสระปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- ภัทรดนัย พิริยะชนกัลทร. (2558). การศึกษาปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ ด้านพฤติกรรมผู้บริโภค และปัจจัยด้าน เว็บไซต์พระเครื่องพานิชย์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อขายหรือ ประมูลพระเครื่องออนไลน์ (E-COMMERCE). การค้นคว้าอิสระบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

## ประสิทธิผลการดำเนินการด้านความปลอดภัยระหว่างการก่อสร้าง อาคารสูง

### โครงการอาคารโรงพยาบาล รามคำแหง 2

#### EFFECTIVENESS OF SAFETY OPERATIONS DURING THE CONSTRUCTION OF HIGH – RISE BUILDING, RAMKHAMHAENG 2 HOSPITAL BUILDING PROJECT

ณัฐกุล บุญยุฒะ, ดร.กฤษฎา อนันตกาลต์, ดร.ธงชัย โพธิ์ทอง, ดร.สุรัติ เส็มหมัด  
สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

E-mail: Nattakul.bun@office.rmutt.ac.th

#### บทคัดย่อ

สิ่งที่เกิดขึ้นตามมาการปฏิบัติงานในงานก่อสร้าง คืออุบัติเหตุซึ่งการเกิดอุบัติเหตุในแต่ละครั้งก่อให้เกิดปัจจัยที่ส่งผลกระทบด้านความปลอดภัยมากที่สุดในการทำงานก่อสร้างอาคารสูง คือพฤติกรรมการปฏิบัติตัวของคนปฏิบัติงาน ในการวิจัยในครั้งนี้วัดถูกประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิผลการดำเนินการด้านความปลอดภัยระหว่างการก่อสร้างอาคารสูง โครงการ อาคารโรงพยาบาล รามคำแหง 2 ซึ่งกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ คนที่ปฏิบัติงานอยู่ในโครงการก่อสร้างอาคารโรงพยาบาลรามคำแหง 2 จำนวน 310 คน และใช้แบบสอบถาม เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยข้อมูลที่รวบรวมมา ทดสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความเที่ยงตรงและความเชื่อมั่น ของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย โดยนำข้อมูลที่รวมรวมมาหาค่าดัชนี ความสอดคล้อง ซึ่งผลของวิจัยสรุปดังนี้

ผู้ตอบแบบสอบถาม มีระดับความรู้ความเข้าใจ เกี่ยวกับประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยอาคารสูง และมาตรการป้องกันอุบัติเหตุในการทำงานในที่สูง ในระดับดี และมีพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงานในที่สูง ไม่ต่างกันเมื่อจากความรักภูมิของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัย มีความเข้าใจ ความรู้ และทักษะติดต่อ กิจกรรมด้านความปลอดภัยอยู่ในระดับดี พนักงานส่วนใหญ่คิดว่ากิจกรรมด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อม เป็นประโยชน์ต่อพนักงาน และการส่วนไส่ อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลเพื่อลดการเกิด อุบัติเหตุ รวมถึง พนักงานซึ่งได้รับการฝึกอบรมด้านความปลอดภัย ผู้ปฏิบัติงานใน โครงการก่อสร้าง มีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัย เสริมสร้างความปลอดภัยเสริมสร้างความปลอดภัยในการทำงาน พนักงาน ส่วนใหญ่ในระดับดี ด้าน การศึกษาอยู่ในระดับดี และด้านการออกกฎหมาย อยู่ในระดับดี โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย เสริมสร้าง ความปลอดภัยกับพฤติกรรมความปลอดภัยมีความสัมพันธ์กัน ไปในทิศทางเดียวกันและทิศทาง ตรงกันข้าม และผลการวิเคราะห์ ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงาน พนักงาน การปฏิบัติงาน อยู่ในระดับดี ด้านการจัดการอยู่ในระดับดี ด้านการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ อยู่ในระดับดี และด้านสภาพแวดล้อม อยู่ในระดับพอใช้

คำสำคัญ: ปลอดภัย, อาคารสูง, สมรรถภาพ

## ABSTRACT

Accidents during construction are caused by each accident. The behavior of workers is the most important factor affecting the construction safety of high-rise buildings. The research aims to improve the safety performance of high-rise buildings and hospital buildings during construction. Ramkhamhaeng 2, the sample of this study is 310 people working in the construction project of Ramkhamhaeng 2 hospital building. People use questionnaires as a tool to collect information. The collected information tests the accuracy of the content. In this study, the accuracy and reliability of the research tools are tested by collecting data to determine the consistency index. The research results are summarized as follows

The respondents have a certain understanding of the safety performance of high-rise buildings and the measures to prevent high-altitude operation accidents. At a good level, due to the strictness of the safety personnel, there is no difference in the safety behavior of working at heights. They have understanding and knowledge. The attitude towards safety activities is very good, and it is found that most people think that safety, occupational health and environmental activities. It is beneficial for employees to wear personal protective equipment to reduce accidents. In addition, the employees also received safety training. The workers of the construction project have opinions on the factors. Strengthen safety and work safety, find that the project is at a good level, and the education is at a good level. And the mandatory release is at a good level, which is determined by the correlation coefficient between complementary factors. Safety and safety behaviors are interrelated in the same direction and in the opposite direction. Information about safe behaviors in the workplace shows good operation, good management and good use of tools. The equipment is at a good level and the environment is at a good level.

**Keywords:** Safety, High-Rise Building, Performance

## 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนา ในกรุงเทพมหานคร จึงมีการก่อสร้างตึกสูง เป็นจำนวนมาก ในการดำเนินการก่อสร้างตึกสูง มีกระบวนการต่างๆ ซึ่งสิ่งที่สำคัญในการก่อสร้างเป็นลำดับต้นๆ ก็คือคนงาน และบุคลากรในการก่อสร้าง เป็นกลุ่มคนที่มีศักยภาพมากที่สุดในการดำเนินงานก่อสร้าง ความ สูญเสียจากการก่อสร้างในปัจจุบันได้ทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นทุกขณะ พนว่าสกilled การเกิดอุบัติเหตุในงานก่อสร้างมี แนวโน้มที่ยังสูงอยู่ทุกปี ในการเก็บสถิติข้อมูล จำนวนการประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงาน ในปี 2563 หากพิจารณาตามประเภทกิจกรรมที่มีการประสบอันตรายสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ การก่อสร้างอาคารที่พัก อาศัย, การก่อสร้างอาคารที่ไม่ใช่ที่พักอาศัย, การก่อสร้างถนนและอุโมงค์ ตามลำดับ

ประเทศไทยให้ความสำคัญในด้านความปลอดภัยในการทำงาน โดยเฉพาะด้านงานก่อสร้าง โดยออก กฎหมายฉบับที่ 69 (พ.ศ.2564) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 กล่าวว่า ให้นำเข้า จัดให้ผู้บริหาร หัวหน้างานและลูกจ้างทุกคนได้รับการฝึกอบรมความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมใน การทำงานเพื่อให้บริหารจัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อม ในการทำงาน "ได้อย่างปลอดภัย"

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบด้านความปลอดภัยมากที่สุดในการทำงานก่อสร้างอาคารสูง คือพฤติกรรมการปฏิบัติตัวของคนงานในการทำงาน การบริหารจัดการ งานด้านความปลอดภัยของคนงานก่อสร้างเพื่อป้องกันและลดความเสี่ยงซึ่งเป็นเรื่องสำคัญ ควรปฏิบัติตามข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้องด้านความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้าง ซึ่งหมายถึงการที่ทุกคนในสังคมแสดงพฤติกรรมที่ถูกต้องเกี่ยวกับความปลอดภัย โดยให้ทุกคนมีส่วนร่วมในการกำหนดและดำเนินการตามมาตรการด้านความปลอดภัยต่างๆ พฤติกรรมใดที่เป็นพฤติกรรมเสี่ยงต้องได้รับการแก้ไข ด้วยการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเสียใหม่ ส่วนพฤติกรรมที่ปลอดภัยก็ให้รักษาไว้ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยอย่างยั่งยืน พฤติกรรมความปลอดภัย จุดสำคัญก็คือ เพื่อป้องกันการเกิดอันตรายระหว่างการก่อสร้าง อาคารสูง โครงการ โรงพยาบาล รวมคำแหง 2 ผู้วิจัยจึงจัดทำแบบสำรวจเพื่อวัดระดับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับมาตรการด้านความปลอดภัย และพัฒนาต่อไปเพื่อวางแผน ออกแบบ ออกแบบ นโยบาย หรือข้อบังคับ เพื่อเพิ่มประสิทธิผลด้านความปลอดภัย

## 2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย

- เพื่อศึกษาพฤติกรรมด้านความปลอดภัยในการทำงานของคนงานในการก่อสร้างอาคารสูง โครงการโรงพยาบาล รวมคำแหง 2 อาคาร โรงพยาบาลสูง 22 ชั้น บริษัท สยาม มัลติ คอน จำกัด
- เพื่อศึกษาความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกฎหมายและพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงานของคนที่ปฏิบัติงานในโครงการ
- เพื่อศึกษาปัจจัยและที่มาในการเกิดอุบัติเหตุในการก่อสร้างอาคารสูง
- เพื่อศึกษาวิธีบริหารจัดการด้านความปลอดภัย และเสนอแนวทางการเพิ่มสมรรถภาพด้านความปลอดภัยในการก่อสร้างอาคารสูง

## 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 3.1 แนวคิดและแนวคิดเรื่องอุบัติเหตุและความปลอดภัย

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้ให้คำจำกัดความของคำที่เกี่ยวข้องไว้ดังนี้

อุบัติการณ์ หรือ เหตุการณ์พิเศษ (Incident) หมายถึง เหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ แต่เกิดขึ้นแล้วมีผลให้เกิดอุบัติเหตุเหตุการณ์เกือบเกิดอุบัติเหตุ (Near Miss) หมายถึง เหตุการณ์ไม่พึงประสงค์แต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดอุบัติเหตุ

อุบัติเหตุ หมายถึง เหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ที่อาจเกิดจากการไม่คาดคิด ไว้ล่วงหน้าไม่ทราบล่วงหน้า หรือขาดการควบคุม แต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วมีผลให้เกิดการบาดเจ็บ เสียป่วยจากการทำงานหรือเสียชีวิตหรือความสูญเสีย ต่อทรัพย์สินหรือความเสียหายต่อสภาพแวดล้อมในการทำงาน

#### 3.1.1 สาเหตุของอุบัติเหตุ

จากคู่มือการฝึกอบรมหลักสูตรเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน ระดับหัวหน้างาน ของกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน แสดงการศึกษาของ H.W. Heinrich ซึ่งศึกษาสาเหตุที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุอย่างจริงจังในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ผลการวิจัยสรุปสาเหตุของอุบัติเหตุ มี 3 ประการคือ

- สาเหตุที่เกิดจากคน (Human Causes) มีจำนวนสูงสุด คือ 88% ของการเกิดอุบัติเหตุทุกครั้ง
- สาเหตุเกิดจากความผิดพลาดของเครื่องจักร (Mechanical Failure) มี 01% ของการเกิดอุบัติเหตุทุกครั้ง

3. สาเหตุที่เกิดจากดวงชะตา (Acts of God) มีประมาณ 2% เป็นสาเหตุที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ นอกเหนือการควบคุมได้ เช่น พายุ น้ำ ท่วม ฟ้าผ่า แผ่นดินไหว เป็นต้น

H.W. Heinrich ได้นำเสนอทฤษฎีโดมิโน (Domino theory) เป็นทฤษฎีเกี่ยวกับความลับของพัฒนา magma จากหลักความจริงเกี่ยวกับความปลดปล่อยในอุตสาหกรรมไว้ดังนี้

1. ในข้อแรกทฤษฎีนี้สามารถเชื่อมโยงกับแนวความคิดและปรัชญาค้านความปลดปล่อย เกี่ยวกับสาเหตุและลำดับขั้นตอนของขบวนการเกิดอุบัติเหตุ

2. เขาได้แสดงแนวความคิดเกี่ยวกับสาเหตุและการเกิดอุบัติเหตุไว้ว่า “เหตุการณ์ที่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บที่สามารถป้องกันได้ เป็นผลสืบเนื่องมาจากองค์ประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวโยงต่อเนื่องกันเป็นลำดับเป็นขั้นเป็นตอน

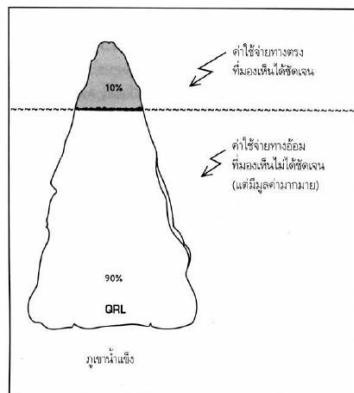
3. องค์ประกอบตัวสุดท้ายก็คือการบาดเจ็บที่ต้องประสบอันเป็นผลเนื่องจากองค์ประกอบที่ติดกันในลำดับก่อนนี้คืออุบัติเหตุ และอุบัติเหตุที่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บเกี่ยวกัน เป็นผลเนื่องมาจาก การกระทำไม่ปลดปล่อยของคน และภัยอันตรายจากเครื่องจักรหรือสภาพการณ์ หรือทางกายภาพ

### 3.1.2 การสูญเสียเนื่องจากการเกิดอุบัติเหตุ

การเกิดอุบัติเหตุในแต่ละครั้ง ย่อมก่อให้เกิดความสูญเสียมากมาย นอกจากระบบทุกอย่างของการบาดเจ็บ การเจ็บป่วย หรือเสียชีวิต หรือแม้แต่ทรัพย์สินเสียหาย อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักรที่เกิดความเสียหายค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงแล้ว ยังรวมถึงการสูญเสียเวลาในการผลิตที่ต้องหยุดและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ หรือแม้แต่เสียภาษีอากร ของบริษัทความสูญเสียหรือค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการเกิดอุบัติเหตุในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้คือ

ความสูญเสียทางอ้อม หมายถึง ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (ซึ่งส่วนใหญ่จะคำนวณเป็นตัวเงินได้) ได้แก่ นอกเหนือจากค่าใช้จ่ายทางตรงสำหรับการเกิดอุบัติเหตุในแต่ละครั้ง การสูญเสียเวลาในการทำงานของ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ได้รับความเสียหาย วัสดุคงเหลือสินค้าที่ได้รับความเสียหาย ผลผลิตลดลง ต้องหยุดชะงัก ค่าวัสดุค่าแรงงานต่างๆ ของผู้บ้าดเจ็บ ค่าจ้างแรงงานของผู้บ้าดเจ็บซึ่งโรงงานยังคงต้องจ่ายตามปกติ การสูญเสียโอกาสในการทำงาน ค่าไฟฟ้า น้ำ ประปา จ่ายตามปกติ แม้ว่าโรงงานจะต้องหยุด การเสียชีวิৎสูญเสียและภาษีอากรของโรงงาน

นอกจากนี้ผู้บ้าดเจ็บจนถึงขั้นพิการหรือทุพพลภาพ จะกลายเป็นภาระของสังคมซึ่งทุกคนมีส่วนร่วมรับผิดชอบด้วย ความสูญเสียทางอ้อมจึงมีค่ามากกว่าความสูญเสียทางตรงมากซึ่งปกติเรามักจะคิดกันไม่ถึงจึงมีผู้บีบเปรียบเทียบว่า ความสูญเสียหรือค่าใช้จ่ายของการเกิดอุบัติเหตุบีบเปรียบเสมือน “ภูเขาไฟเขียว” ส่วนที่โผล่พ้นน้ำ ให้มองเห็น ได้มีเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนที่มองไม่เห็น ในทางเดียวกันค่าใช้จ่ายทางตรงเมื่อเกิดอุบัติเหตุ จะเป็นเพียงส่วนน้อยของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมด



ภาพที่ 1 ภูเขานี้เป็นที่แสดงให้เห็นถึงความสูญเสียทางตรงและทางอ้อม  
(วิทูรย์ สิมะ โชคดี และวีรพงษ์ เนคิมิจิระรัตน์, 2551)

### 3.1.3 การเสริมสร้างความปลอดภัย

วิทูรย์ สิมะ โชคดี และ วีรพงษ์ เนคิมิจิระรัตน์.2548. เสนอในหนังสือวิชากรรมและการบริหารความปลอดภัยในโรงงาน เป็นหลักการ 3E เพื่อความปลอดภัย

1. ความรู้ทางด้านวิชากรรมศาสตร์ (Engineering) เป็นการใช้ความรู้และวิทยาการทำงานด้านวิชากรรมมาทำการปรับปรุงแก้ไขสภาพแวดล้อมในการทำงาน การใช้เครื่องจักรกลและเครื่องมือต่างๆ สำหรับการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพและเกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน

2. การศึกษา (Education) เป็นการให้การศึกษา การแนะนำ หรือการฝึกอบรมให้แก่ผู้ปฏิบัติงาน ได้ทราบและเข้าใจเกี่ยวกับอุบัติภัย หลักการทำงานและแนวทางการดำเนินงานที่มีความปลอดภัยรวมทั้งการเริ่มสร้างทัศนคติที่ดีต่อระบบการทำงานที่ปลอดภัย

3. การออกกฎหมาย (Enforcement) เป็นการออกกฎหมายและระเบียบข้อบังคับต่างๆ การกำหนดแนวทาง มาตรการควบคุมบังคับ ข้อห้ามและวิธีปฏิบัติสำหรับพนักงานเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติภัย และเสริมสร้างความปลอดภัยให้เกิดขึ้นในการทำงานของหน่วยงาน

การเสริมสร้างความปลอดภัยเพื่อป้องกันอุบัติภัยตามหลักการ 3E นี้ จำเป็นต้องกระทำควบคู่กันไปทั้ง 3 ด้าน จึงจะทำให้การป้องกันอุบัติภัยและเสริมสร้างความปลอดภัยให้กับหน่วยงาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สูงสุด

### 3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พารัตน์ แสนสม (2535) ผลกระทบต่อพฤติกรรมเกี่ยวกับความปลอดภัยในการศึกษาปัจจัยที่มีโดยศึกษาในกลุ่มคนงานก่อสร้างจำนวน ทำงานของคนงานก่อสร้างในกรุงเทพมหานคร 270 คน พบว่าคนงานมีความรู้ความเข้าใจ มีทัศนคติและการปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงานอยู่ระดับสูงร้อยละ 51.9 โดยคนงานมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องอุบัติเหตุ ความเสี่ยงจากการเกิดอุบัติเหตุรวมทั้งมีความรู้ความเข้าใจเรื่องการป้องกันอุบัติเหตุ เช่น การหยุดงานกรณีเจ็บป่วย ไม่ดื่มน้ำหรือของมึนเมาขณะทำงาน เป็นต้น นอกจากนี้คนงานก่อสร้างยังขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ และพฤติกรรมของคนงานก่อสร้างยังอยู่ในระดับต่ำ อีกด้วย

อุบัติเหตุเกือบทั้งหมดมีสาเหตุจากคนงาน ชูลซิงเกอร์ (Schulzinger) ได้กล่าวไว้ว่า “เป็นที่พิสูจน์ได้ว่ามีปัจจัยกว่า 250 ประการ ที่มีผลต่อการปรับตัวไม่ได้และการเกิดอุบัติเหตุของคนงาน ปัจจัยส่วนใหญ่เกิดจากสภาพ

ของจิตใจ ซึ่งผิดปกติ เมื่อจากได้รับผลกระทบจากการณ์และสิ่งแวดล้อมภายนอก ” ได้มีการค้นคว้าวิจัย เกี่ยวกับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่มีต่อสภาพจิตใจคนงาน จนมีผลต่อการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งในหลายประเทศ แต่ ข้อมูลจากการทดลองยังไม่มีผลสรุปอุบัติเหตุเป็นที่ยอมรับเท่าที่ควร นอกจากนี้ให้เห็นว่า ปัจจัยภายนอกมี บทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพจิตใจคนงาน ส่วนจะเป็นลักษณะใดนั้นขึ้นกับโอกาสและสภาพการทำงาน ตามแต่กรณีไป

#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เสนอวิธีการเพิ่มสมรรถภาพด้านความปลอดภัยงานก่อสร้างอาคารสูง โดยนำระบบความปลอดภัย มาใช้ในโครงการก่อสร้างอาคาร โรงพยาบาล รวมคำแหง 2 ให้มีสมรรถภาพมากขึ้น โดยมีขั้นตอนดำเนินการศึกษา ประกอบด้วย เนื้อหาเกี่ยวกับภูมายความปลอดภัยในการก่อสร้าง ความถี่ของความไม่ปลอดภัยหรือ อันตราย ประเภทต่างๆ ในงานก่อสร้างอาคารสูง เพื่อวิเคราะห์และหาแนวทางบริหารจัดการแก้ไขปัญหาอย่างถาวรและ เพิ่มสมรรถภาพด้านความปลอดภัยในงานก่อสร้างอาคารสูง

##### 4.1 กลุ่มประชากรตัวอย่าง

กลุ่มประชากร คือ ผู้ปฏิบัติงานใน โครงการก่อสร้างอาคาร โรงพยาบาล รามคำแหง 2 จำนวนทั้งสิ้น 1,252 คน โดยใช้สูตรคำนวณในการคำนวณหาจำนวนของกลุ่มตัวอย่างของ ขามาเน่ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จะได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง ในโครงการก่อสร้างอาคาร โรงพยาบาล รามคำแหง 2 จำนวน 304 คน และเพื่อจะช่วยให้ ผลการวิจัยมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น และป้องกันการความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล ผู้วิจัยจึงทำการเก็บข้อมูลจากกลุ่ม ตัวอย่างเป็นจำนวน 310 คน

##### 4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ แบบสอบถาม (Questionnaire) ใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งสร้างขึ้นจากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งลักษณะของแบบสอบถามเป็น 2 ตอนคั่งนี้ ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม และ ปัจจัยเสริมสร้างความปลอดภัยในการทำงาน 3E

##### 4.3 วิธีการรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยเชิงสำรวจ ( Survey method ) เพื่อศึกษาพฤติกรรมสมรรถภาพความปลอดภัยอาคารสูงใน โครงการก่อสร้างอาคาร โรงพยาบาล รามคำแหง 2 โดยมีการรวบรวมข้อมูลเพื่อวิจัยดังนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) การวิจัยครั้งนี้ได้ขอความอนุเคราะห์ จากบริษัท สยาม มัลติ คอน จำกัด เพื่อทำการสำรวจกลุ่ม ตัวอย่างในโครงการก่อสร้างอาคารสูง โรงพยาบาล รามคำแหง 2 อาคาร โรงพยาบาลสูง 22 ชั้น โดยได้ทำการแจกแบบสอบถามให้กับพนักงาน จำนวน 310 คน หลังจากได้รับ แบบสอบถามที่กรอกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จะนำแบบสอบถามมาตรวจสอบความสมบูรณ์ของ แบบสอบถามและ นำไปทำ การวิเคราะห์ทางสถิติ

2. การเก็บข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ได้จากการศึกษาและค้นคว้าข้อมูลจาก เอกสารต่างๆ ที่ เกี่ยวข้อง ได้แก่ วิทยานิพนธ์ และรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลจาก อินเตอร์เน็ต และ ข้อมูลภายในของบริษัท สยาม มัลติ คอน จำกัด

#### 4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการพุทธิกรรมสมรรถภาพความปลอดภัยอาคารสูงในโครงการก่อสร้างอาคาร โรงพยาบาล รวมคำแหง 2 บริษัทสยาม มัลติ คอน จำกัด นำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาแปรข้อมูลบันทึกและประมวลผลโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับรูป เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการวิจัยนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการทำงาน ประกอบด้วย ความรู้ความเข้าใจ ลักษณะงานทัศนคติต่อ กิจกรรมโดยใช้ค่าร้อยละ (Percentage), ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ( $X$ ) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

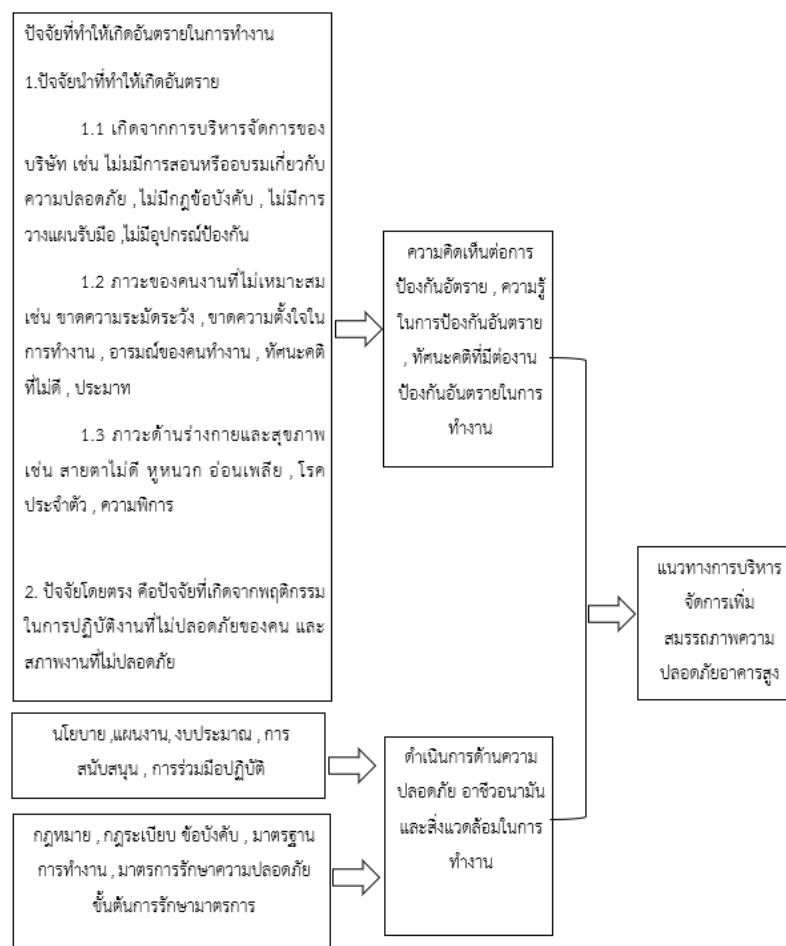
2. วิเคราะห์พุทธิกรรมความปลอดภัย ประกอบด้วย ด้านการปฏิบัติงาน ด้านการใช้เครื่องมือ เครื่องจักรอุปกรณ์ ด้านสภาพแวดล้อม และ ด้านการจัดการ โดยใช้การแจกแจงความถี่, ค่าร้อยละ (Percentage), ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ( $\bar{X}$ ) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

3. วิเคราะห์เบริญเพียงความแตกต่างของพุทธิกรรมความปลอดภัย ที่มีต่อความรู้ความเข้าใจที่ ต่างกันของพนักงาน โดยใช้ค่าการทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว

4. วิเคราะห์เบริญเพียงความแตกต่างของพุทธิกรรมความปลอดภัย ที่มีต่อความรู้ความเข้าใจที่ ต่างกันของพนักงาน โดยใช้ค่าการทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว

5. วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเสริมสร้างความปลอดภัยในการทำงานกับพุทธิกรรม ความปลอดภัยในการทำงาน โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)

#### 4.5 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 : กรอบแนวคิดการวิจัย

## 5. ผลการวิจัย

ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกฎหมายและพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงาน ผู้ตอบแบบสอบถามมีความเข้าใจ ความรู้ และทักษะคิดต่อ กิจกรรมด้านความปลอดภัยในระดับดี พบว่าส่วนใหญ่คิดว่ากิจกรรมด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อม เป็นประโยชน์ต่อพนักงาน และการส่วนไส่ อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลเพื่อลดการเกิด อุบัติเหตุ รวมถึงพนักงานยังได้รับการฝึกอบรมด้านความปลอดภัย เพื่อช่วยให้พนักงานปฏิบัติงาน ได้อย่างปลอดภัย โดยทักษะคิดต่อ กิจกรรมความปลอดภัยต่างกัน มีพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงานแตกต่างกัน

การวิเคราะห์เกี่ยวกับปัจจัยและที่มาในการเกิดอุบัติเหตุในการก่อสร้าง ผู้ปฏิบัติงานในโครงการก่อสร้างอาคาร มีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัย เสริมสร้างความปลอดภัยเสริมสร้างความปลอดภัยในการทำงาน พบว่า ด้านวิชาการศาสตร์ อยู่ในระดับดี ด้านการศึกษาอยู่ในระดับดี และด้านการออกกฎหมาย อยู่ในระดับดี โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเสริมสร้าง ความปลอดภัยกับพฤติกรรมความปลอดภัย มีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกันและทิศทาง ตรงกันข้าม และผลการวิเคราะห์ ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงาน พบว่า ด้านการปฏิบัติงานอยู่ในระดับดี ด้วยการจัดการอยู่ในระดับดี ด้านการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์อยู่ในระดับดี และด้านสภาพแวดล้อม อยู่ในระดับพอใช้

## 6. อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมความที่มีผลต่อสมรรถภาพความปลอดภัยอาคารสูงของ ผู้ปฏิบัติงานในโครงการก่อสร้างอาคารสูง โรงพยาบาล รามคำแหง 2 อาคารโรงพยาบาลสูง 22 ชั้น บริษัท สยาม มัลติ คอน จำกัด พบว่า พนักงานมีความรู้ ความเข้าใจ โดยรวมอยู่ในระดับมาก ผู้บริหารเลื่อนถึง ความสำคัญมาเป็นอันดับหนึ่งเกี่ยวกับ ความปลอดภัยของพนักงาน จึงมีการจัดฝึกอบรมให้กับพนักงานก่อนเริ่มทำงานและขณะทำงาน อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้พนักงานตระหนักรู้วิธีการทำงานที่ถูกต้อง วิธีการทำงานได้ถูก กำหนดชี้แจง จากระยะห่างปี การปรับปรุงให้ดีขึ้น ความรู้ทางวิชาการ มีความหลากหลายมาก ความชำนาญและความรู้ ความเข้าใจ ซึ่งเมื่อถูกต้อง สามารถทำงานที่ถูกต้อง จะทำให้เกิด ความคิดที่จะปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้น แต่ถึงที่จะเปลี่ยนแปลงให้ดีขึ้น ได้นำ ความมีการนำเสนอให้ผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องและผู้บริหารระดับสูง ได้รับทราบ และถูกนำมาปฏิบัติได้ในที่สุด โดยจะต้องได้รับ การยอมรับจากทุกคน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Bloom (1976 ถึง ถึงใน อดีต ศรเกยตริน, 2543, หน้า 72-74) ซึ่งแบ่งเป็น 3 ด้าน คือ ด้านพุทธิพิสัย ด้านจิตพิสัย และด้านทักษะพิสัย รวมถึงการจัดฝึกอบรมเพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน สำหรับและสูง ให้พนักงานได้ทำงาน อย่างถูก วิธี โดยยอมรับและเห็นความสำคัญในการทำงานอย่างปลอดภัยตลอดเวลา

ทักษะคิดต่อ กิจกรรมความปลอดภัย จากการศึกษาทักษะคิดต่อ กิจกรรมความปลอดภัยของของ ผู้ปฏิบัติงานในโครงการก่อสร้างอาคารสูง โรงพยาบาล รามคำแหง 2 พบว่า พนักงานมีความคิดเห็นเกี่ยวกับ ทักษะคิดโดยรวมอยู่ ในระดับดี แสดงให้เห็นว่า ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ ความปลอดภัยในการทำงาน เลื่อนถึง ความสำคัญ เกี่ยวกับการส่งเสริมและเสริมสร้างทักษะคิดต่อ กิจกรรมด้านความปลอดภัยในการทำงาน พนักงาน จะมีทักษะคิดที่ดี ได้นำ ความรู้ความเข้าใจ ประสนการ์ทำงาน เพื่อพนักงานแต่ละคน มี ความรู้ความเข้าใจ และประสบการณ์ไม่เท่ากัน บริษัทฯ จึงนำ กิจกรรมด้าน ความปลอดภัยขึ้นมา กระตุ้นให้กับ พนักงาน เพื่อให้ ระหนักรู้ ความปลอดภัยเป็นสำคัญ และส่งผล ให้พนักงานมีพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงาน

## 7. ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของพฤติกรรมความปลอดภัย เช่น ด้านการป้องกันโรคจาก การทำงานและハウซีการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดโรคจากการทำงาน ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับสาเหตุที่ทำให้เกิด อุบัติเหตุในการทำงานและแนวทาง ในการป้องกันแก้ไขที่เป็นไปได้และสามารถทำได้จริง ควรมีการศึกษาปัจจัย อื่นๆ ที่มีผลในการอธิบายพฤติกรรมความปลอดภัย ในการทำงานได้มากขึ้น เช่น ปริมาณ การสนับสนุนทาง สังคมและแรงจูงใจในการทำงาน เป็นต้น

## 8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการศึกษาพัฒนาสมรรถภาพความปลอดภัยอาคารสูง ซึ่งมีปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมหลายสิ่ง ไม่ว่าจะพฤติกรรมของคนงาน สิ่งแวดล้อมในการทำงาน เพื่อハウซีแก้ไขปัญหาอย่างยั่งยืน ได้รับความช่วยเหลือ เป็นอย่างยิ่งจาก ดร.กฤษฎา อนันตากลัด (อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก) ซึ่งให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ต่อการศึกษาขึ้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ได้รับความเมตตาการกรุณาร่วมถือสละสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณวิศวกรสถาน และวิศวกรความปลอดภัยของ บริษัท สยาม มัลติ คอน จำกัด ผู้รับเหมาและคนงานทุก ท่าน ที่สละเวลาในการตอบแบบสอบถาม ให้ข้อมูลและคำแนะนำต่างๆ จากประสบการณ์ที่เป็นประโยชน์ต่อ งานวิจัยเป็นอย่างมาก

## 9. เอกสารอ้างอิง

กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม ใน การทำงาน (ฉบับที่ 2) 2553. (2553, 24 มิถุนายน). ราชกิจจานุเบกษา. หน้า 1-4.

ทศพร ชั้ดประเสริฐ. (2554). การศึกษานุมนมองและทศนคติต่อระบบบริหารจัดการด้านความปลอดภัยและ สิ่งแวดล้อมของบุคลากรภายในบริษัทไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน). การค้นคว้าอิสระ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมคณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

พระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน 2554. (2554, 17 มกราคม).

ราชกิจจานุเบกษา. หน้า 1-4.

ภาควิชาวิศวกรรมความปลอดภัย. (2556). หลักการ 3E ในการป้องกันอุบัติเหตุ. เข้าถึงได้จาก

[http://wp4.moneyboxz.com/?page\\_id=473](http://wp4.moneyboxz.com/?page_id=473)

Hinkle, D. E., William, W., & Stephen, G. J. (1998). *Applied statistics for the behavior sciences*. (4<sup>th</sup> ed.).

New York: Houghton Mifflin.

## การพัฒนาที่รองรับขยะในอุทยานแห่งชาติที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณ

### DEVELOPMENT OF TRASH BINS FOR NATIONAL PARK TOURISTS UNDER FINANCIAL RESTRICTIONS

องค์กรศิริ เสาร์แก้ว, ณัฐรี ศรีดาวานนท์, โซภา วิศิษฐ์สกัด  
ภาควิชานวัตกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Email: sopav@ku.th

#### บทคัดย่อ

การท่องเที่ยวในอุทยานแห่งชาติโดยที่การจัดการขยะของภายในและภายนอกยังไม่มีมาตรฐานจึงเป็นความประะบงสืบต่อการสร้างผลกระทบโดยตรงต่อธรรมชาติ ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียโดยตรงคือ สัตว์ป่า พันธุ์พืช ที่เป็นองค์ประกอบของสิ่งแวดล้อม ในขณะที่ความก้าวหน้าหรือการพัฒนาการจัดการขยะนั้นมักเกี่ยวข้องกับ งบประมาณในการลงทุนที่ไม่สามารถได้คาดคะเนแน่เป็นกำไรทางการเงิน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาศักยภาพ ทรัพยากรแรงงาน งบประมาณ และข้อจำกัดสิ่งแวดล้อมของอุทยานแห่งชาติน้ำตกสามเหลี่ยม จังหวัดสระบุรี 2) ศึกษาพฤติกรรมการจัดการขยะของเจ้าหน้าที่และพฤติกรรมการทิ้งขยะของนักท่องเที่ยว 3) ออกแบบพัฒนาและสร้างที่รองรับขยะให้เหมาะสมแก่การใช้งานเจ้าหน้าที่และนักท่องเที่ยว 4) ทดสอบ เปรียบเทียบและสังเกตการณ์ใช้งานประสิทธิภาพอุปกรณ์ที่รองรับขยะก่อนพัฒนาและหลังพัฒนา 5) สรุป แนวทางการจัดการขยะที่เหมาะสมสำหรับอุทยานแห่งชาติน้ำตกสามเหลี่ยม ทำการเก็บข้อมูลคำวิธีการทดสอบ ปริมาณเที่ยบประสิทธิภาพการใช้งานของที่รองรับขยะก่อนและหลังพัฒนาและทดสอบสังเกตพฤติกรรมการทิ้ง ขยะ เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอัตราค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผล t-test และนัยสำคัญทางสถิติ .05

ผลการวิจัยหลังการพัฒนาที่รองรับขยะและการปรับสภาพแวดล้อม โดยใช้งบประมาณที่ไม่แพงมาก และต่ำกว่างบประมาณที่กำหนดไว้พบว่า เจ้าหน้าที่มีความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพการใช้งานอุปกรณ์ในระดับ มากจนถึงระดับมากที่สุด ในด้านความสะดวกในการใช้งานและความสามารถในการสนับสนุนให้นักท่องเที่ยว แยกขยะ ได้ดีขึ้น การพัฒนาที่รองรับขยะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน ทั้งด้านประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ด้านการสนับสนุนเจ้าหน้าที่ จัดการขยะ และการสนับสนุนนักท่องเที่ยว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ด้านอุปกรณ์ อุปกรณ์และพฤติกรรมมนุษย์ในทางบวก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีความเห็นสัมพันธ์ไปในทิศทาง เดียวกัน และสอดคล้องกับการทดสอบ โดยการสังเกตการณ์นักท่องเที่ยว จำนวน 288 คน ซึ่งพบว่านักท่องเที่ยว 26 คน หรือร้อยละ 9 มีพฤติกรรมไม่แยกขยะ ไม่มีความรู้ในการแยกขยะและไม่เคยแยกขยะมาก่อน ในขณะที่ นักท่องเที่ยว จำนวน 262 คน หรือร้อยละ 91 มีพฤติกรรมการแยกขยะที่ดี โดยสามารถแยกขยะตามที่กำหนดไว้ อย่างมีจิตสำนึกที่ดีเยี่ยม

**คำสำคัญ:** การจัดการขยะ, การออกแบบถังขยะ, การพัฒนาสิ่งแวดล้อม, อุทยานแห่งชาติ, ขยะมูลฝอย

## ABSTRACT

The direct influence of tourism on nature is vulnerable in national parks without standardized interior and exterior trash management. Wildlife and plant species, which represent environmental components, are direct stakeholders. Whereas the development or advancement of waste management is frequently linked to non-profitable investment budgets. The objective of this research is: 1) To examine of Namtok Samlan National Park; Saraburi potential, labor resources, financial situation, and environmental constraints; 2) to examine how employees manage waste and how visitors dispose of their trash. 3) to create and construct adequate trash cans. 4) To Evaluate of the effectiveness of trash bins equipment before and after development through comparative testing and observation; 5) and to propose guidelines for the best waste management policies for Namtok Samlan National Park. Testing was used to gather data on garbage disposal behavior as well as on the effectiveness of using trash bins before and after development. The data was analyzed on average rate, statistical significance, the standard deviation, and the results of the T-test of dependent.

The findings demonstrated the need for trash bins development and environmental adaptation, which were built and used a very reasonable budget that was lower than the allocated amount. As a result, the personnel had the highest level of satisfaction with the equipment's effectiveness, which had increased usability and enabled it to assist tourists in better sorting their waste. Utilization of the trash bins has improved since they were developed in terms of machinery performance, assisting trash management personnel, and providing tourist assistance that leading to the changes of both human behavior and equipment. Positive change with a 0.05 correlation was in the same direction in the opinions and in line with the 288 tourists, observation test, which found that 26 persons, or 9 percent exhibited poor waste separation behavior and had no prior experience sorting trash, whereas the majority, 262 persons or 91 percent, demonstrated outstanding waste separation behavior by separating the designated waste with high conscience.

**Keywords:** Waste Management, Trash Bins Design, Environmental Development, National Parks, Solid Waste

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ขยะตอกเ帮我เป็นปัญหาใหญ่ที่ทั่วโลกเผชิญด้วยสาเหตุการขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็วการบริโภคมากเกินความจำเป็น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและก่อให้เกิดภัยพิบัติ ธนาคารโลก (World bank) รายงานข้อมูลในปี 2012 ว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทำการกำจัดขยะมูลฝอยทั่วโลก อยู่ประมาณ 5-20 เปอร์เซ็น ของสาเหตุทั้งหมด (Hoornweg and Bhada-Tata, 2012) การจัดการขยะในหลายประเทศซึ่งล้มเหลวและในอนาคต ชุมชนเมืองอาจมีค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรับมือปัญหานะจะและผลกระทบจากภัยพิบัติของอากาศเปลี่ยนแปลงแบบสุดขั้ว การจัดการที่ดีจะอยู่ในประเทศที่พัฒนาแล้ว และประเทศที่ด้อยพัฒนาหรือประเทศที่กำลังพัฒนาขึ้น ไม่มีระบบการจัดการขยะที่ดีหรือมีการจัดการขยะที่ล้มเหลว (Koop and van Leeuwen, 2017) การจัดการขยะมูลฝอยที่ดีหรือไม่ดีส่งผลกระทบต่อบุคคล บะหน้าให้ท่อระบายน้ำอุดตันเกิดน้ำท่วมขัง เป็นที่เพาะพันธุ์เชื้อโรคและพาหะนำโรค เกิดปัญหาระบบททางเดินหายใจ และน้ำเสียกำลังไหลลงมหาสมุทรอย่างรวดเร็ว กระบวนการขยะอย่างสถาบันพลาสติกถาวร เป็นไบโอพลาสติก (Bioplastic) มุ่งยกระดับภาระครุภัณฑ์

ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและอาหาร เป็นปัญหาที่จะต้องแก้ไขอย่างเร่งด่วนในทุกระดับของสังคม (Kaza et al., 2018) ข้อมูลจาก กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2564) รายงานว่าประเทศไทยมีขยะตอกเถาต่อเนื่องทุกปีและในปี 2564 มีขยะมูลฝอยเกิดขึ้น 24.98 ล้านตัน มีขยะที่กำจัดไม่ถูกต้อง 7.81 ล้านตัน และตอกเถาต 7.50 ล้านตัน และสถานที่กำจัดขยะ ได้ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล มีจำนวน 91 แห่ง ไม่ถูกต้อง 1,959 แห่ง ถือเป็นแหล่งผลิตก้าชเวื่อนกระจายขนาดใหญ่ที่เกิดจากการจัดการขยะที่ล้มเหลว พื้นที่กำจัดขยะในประเทศไทยใช้พื้นที่ป่าสงวนมาเป็นพื้นที่กำจัดขยะจำนวนร้อยละ 20 ของพื้นที่ทั้งหมด การจัดการขยะจะต้องเร่งดำเนินการทำอย่างจริงจัง ต่อเนื่อง มีวินัย และมีประสิทธิภาพ ก่อนที่จะเกิดการสูญเสีย เมื่อวันที่ภัยพิบัติมาถึง ค่าใช้จ่ายในการแก้ปัญหานำในการจัดการขยะจะสูงขึ้นและจะก่อให้เกิดอุดตันในสังคมทำให้ยากต่อการลื่อสารและความร่วมมือจากสังคม (Koop and van Leeuwen, 2017)

งานวิจัยนี้เลือกสถานที่อุทบานแห่งชาติน้ำตกสามารถหลั่นเป็นสถานที่วิจัยเนื่องจากมีองค์ประกอบของปัญหาที่หลากหลาย เช่น เป็นพื้นที่อนุรักษ์ธรรมชาติ มีลักษณะเป็นป่าเข้าห่างไกลชุมชนเมืองมีข้อจำกัดเรื่องอุปกรณ์งบประมาณ และศักยภาพมุนุย มีการติดตามปัญหาอย่างต่อเนื่อง และให้ความสนใจที่จะพัฒนาระบบจัดการขยะให้ก้าวหน้า สถานการณ์ภาพรวมมีโครงสร้างสภาพแวดล้อมคล้ายกับสังคมที่มีรายได้ต่ำ และเป็นสถานที่ท่องเที่ยวยอดนิยม วิถีชีวิตการท่องเที่ยวนาฬิกาสร้างขยะที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างมากที่จะพัฒนาแนวทางการจัดการขยะให้เกิดขึ้นเพื่อรักษาไม่ให้ธรรมชาติเสื่อมโทรม ปัจจุบันด้วยข้อจำกัดงบประมาณทำให้เกิดวิธีการกำจัดการขยะอย่างไม่ถูกต้อง มีขยะตอกเถาตเน่าเสียไม่มีการแยกขยะและจัดการขยะด้วยวิธีประทัดเวลาและงบประมาณ สร้างผลกระทบต่อธรรมชาติและสังคม ซึ่งอุทบานอยู่ห่างไกลเมืองมากเท่าไหร่ การกำจัดขยะจะใช้วิธีการเผาหรือฝังกลบในป่าลึก เนื่องจากมีความลำบากในการขนข้ามและค่าใช้จ่ายสูง ทำให้เกิดผลกระทบต่อสัตว์ป่าโดยตรง งานวิจัยนี้ต้องการที่จะพัฒนาระบบการจัดการขยะด้วยการทำความเข้าใจพื้นที่ การปฏิสัมพันธ์กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย สร้างที่รองรับขยะให้เหมาะสม สร้างแรงจูงใจให้นักท่องเที่ยวแยกขยะได้ โดยไม่สร้างภาระ และไม่ก่อให้เกิดความเครียดหรือความคิดในแบ่งกลบในสังคม เพื่อสร้างความเชื่อมั่นและกระตุ้นแรงจูงใจให้เกิดการมีส่วนร่วมต่อการแยกขยะ เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนได้ในอนาคต

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 ศึกษาศักยภาพ ทรัพยากรแรงงาน งบประมาณ และข้อจำกัดสิ่งแวดล้อมของอุทบานแห่งชาติน้ำตกสามารถหลั่น

2.2 ศึกษาพฤติกรรมการจัดการขยะของเจ้าหน้าที่และพฤติกรรมการทิ้งขยะของนักท่องเที่ยว

2.3 ออกแบบแบบพัฒนาและสร้างที่รองรับขยะให้เหมาะสมแก่การใช้งานเจ้าหน้าที่และนักท่องเที่ยว

2.4 ทดสอบเบรียบเทียบและสังเกตการณ์ใช้งานประสิทธิภาพอุปกรณ์ที่รองรับขยะก่อนพัฒนาและหลังพัฒนา

2.5 สรุปแนวทางการจัดการขยะที่เหมาะสมสำหรับอุทบานแห่งชาติน้ำตกสามารถหลั่น

## 3. การศึกษาข้อมูล แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อุทบานแห่งชาติน้ำตกสามารถหลั่น ตั้งอยู่เลขที่ 53 หมู่ 1 ตำบลหนองปลาไหล อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี มีภูมิประเทศประกอบด้วยพื้นที่เทือกเขาสูง และพื้นที่ราบรื่นหุบเขาเป็นพื้นที่ภูเขาสลับซับซ้อน มีพื้นที่ร่น

คะแนนระหว่างทุนเข้าร่วมทางห่างจากชุมชนประมาณ 2.5 กิโลเมตร ในอุทกานฯ มีพนักงานช่าง จำนวน 3 คน เป็น เพศชายทั้งหมด อายุ 43, 50, 54 ปี มีความสามารถทำงานช่างในระดับดี และมีพนักงานจัดเก็บขยะจำนวน 2 คน เป็น เพศชายทั้งหมด มีอายุ 51 และ 52 ปี รับหน้าที่จัดเก็บขยะ ความถี่ในการจัดเก็บขยะเพิ่มขึ้น โดยปกติจะจัดเก็บ วันเสาร์และวันอาทิตย์ 1 ครั้ง เก็บในเวลาประมาณ 16.00 น. ช่วงเวลาใกล้เลิกงาน และวันจันทร์ ถึง วันศุกร์เก็บ 1 ครั้ง เนื่องจากปริมาณขยะไม่มากและอาจจะชนกับวันหยุดของเจ้าหน้าที่ นักท่องเที่ยวในวันหยุดสุด สัปดาห์ เจ้าหน้าที่จึงมีวันหยุดช่วงวันธรรมชาติ ในวันหยุดยาวหรือนักขัตฤกษ์ จะใช้วิธีพิจารณาปริมาณขยะและ จัดเก็บเมื่อขยะล้นถัง การจัดเก็บขยะเป็นงานเพิ่มเติมจากหน้าที่อื่นๆ ที่รับผิดชอบของเจ้าหน้าที่ ทำให้งานครั้งต่อ ง ข้อมูลอย่างไรขั้นตอนค้าง เจ้าหน้าที่อาจจะมาเก็บในวันรุ่งขึ้น หรือวันที่มีเวลาว่าง

พฤติกรรม หมายถึง การกระทำต่างๆ ที่ควบคุมโดยสมองและ ไอล์สันหลัง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท 1) พฤติกรรมภายนอกหรือการแสดงออกมุขย์ เช่น การเดิน การพูด การเล่น การแสดงสีหน้า 2) พฤติกรรมภายใน หรือจิตใจของมนุษย์ เช่น การรับรู้ เจตคติ อารมณ์ ความจำ หรือประสบการณ์ เป็นต้น เมื่อบุคคลมีความรู้สึกนึกคิด ต่อสิ่งเร้าในทางบวกก็จะแสดงความรู้สึกนึกคิดในทางบวก ในทำนองเดียวกัน เมื่อมีความรู้สึกในทางลบก็จะส่งผล ในทางลบเช่นกัน การมีพฤติกรรมหนึ่งหลายครั้ง สามารถสร้างความสำเร็จอย่างต่อเนื่องและทำให้บุคคลเกิด ความเชื่อมั่นในตนเอง ได้ การเข้าใจพฤติกรรมมนุษย์จะต้องเข้าใจวัฒนธรรมและประสบการณ์ของบุคคล การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมก็เช่น ได้จากการพัฒนาตัวเอง แต่ก็ต้องมีความตั้งใจ การมองเห็นคุณค่า เป็นต้น การสร้างแรงจูงใจภายนอกด้วยการกระตุ้นให้เกิดพฤติกรรมอาจจะเป็นการ ได้รับรางวัล เกียรติบัตรเชื่อสิ่งและ คำชม ยกย่อง แรงจูงใจนี้ไม่คงทนและไม่ถาวร เพราะจะตอบสนองลิ่งจูงใจเฉพาะเมื่อต้องการสิ่งตอบแทน (อกุญชัย คุณปการและคณะ, 2545) ในแนวคิดทฤษฎีจิตวิทยาลั่งแวงล้อ คือความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และลั่งแวงล้อมี อิทธิพลต่อกันและกันเสมอการ ซึ่ง ได้รับการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าอย่างต่อเนื่องจะทำให้ประสบความสำเร็จใน การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ หรือเกิดค่านิยมในทางบวกต่อสังคม (สุวิไล เรืองสุวรรณสุข, 2558) การบริหารจัดการขยะมูลฝอย เกิดขึ้น ได้จากปัจจัยในการมีส่วนร่วมซึ่งเป็นส่วนสำคัญต่อรูปแบบการจัดการขยะ และมีแนวโน้มว่าผู้มีรายได้สูงจะให้ความร่วมมือมากกว่าผู้มีรายได้ต่ำ (พระพุทธศาสนาบริรักษ์ (คำห่วง ใหม่วงษ์), ชาตรี ศรีสวัสดิ์, และคณะ, 2561) และการมีรายได้ต่ำส่งผลต่อการจัดการขยะ เนื่องจากข้อจำกัดด้านทุนทางการเงิน เวลา ความเข้าใจ รวมไปถึงพื้นที่ทำให้เกิดการบีบบังคับเชิงสภาพแวดล้อมในการจัดการขยะ (สมพงษ์ แก้วประยูร , 2558) เพศและอายุของนักท่องเที่ยวไม่มีผลต่อการจัดการและชี้วัดความแตกต่างเกี่ยวกับการจัดการขยะ การรับรู้ ข้อมูลในทางบวกสัมพันธ์กับการจัดการขยะในทางบวก (ณัฐพงษ์ คงมิ่ง และสุวารี นามวงศ์, 2556) ประชาชน ส่วนใหญ่มีความรู้ทัศนคติและพฤติกรรมการจัดการขยะในครัวเรือนระดับสูง เพศชาย อายุ อาชีพ ระดับการศึกษา ความแตกต่างของที่อยู่อาศัยส่งผลให้เกิดการจัดการขยะที่แตกต่างกัน รูปทรงลักษณะของระบบ กะไห้ความรู้สึก มั่นคง ทรงสี่เหลี่ยมทำให้ผู้คนรู้สึกถึงปริมาณความเป็นระเบียบเรียบร้อยของขยะรูปสี่เหลี่ยม อาจส่งผลเสียต่อความรู้สึก เด็กได้หากขยะนั้นทำให้รู้สึกสกปรก ควรคำนวณปริมาณขยะให้เข้ากับการใช้งานให้เพียงพอเพื่อไม่ให้เกิดขยะล้น และสิ่งของลังขยะทั่วไปที่พบเห็นจะเป็นสิ่งที่นักท่องเที่ยวเกิดความหม่นหมองต่อการมองเห็น ควรใช้สื่อสื่อสาร เพื่อให้เกิดความส่วนและรู้สึกสนใจ Liu (2018) ออกแบบลังขยะให้น่าดึงดูดด้วยการใช้งานและการเข้าถึงง่าย ขนาดที่เหมาะสมต่อปริมาณขยะแต่ละพื้นที่ เกลื่อนข้ายังสะอาด แข็งแกร่ง ทนทาน (Soewardi et al., 2017)

#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้วิธีเชิงคุณภาพมุ่งเน้นการหาแนวทางการแยกขยะอย่างยั่งยืนซึ่งได้ทำการศึกษาศักยภาพ และข้อจำกัดในด้านต่างๆ ของอุทิyanแห่งชาติน้ำตกสามหล่น ตลอดจนพฤติกรรมการจัดการขยะของเจ้าหน้าที่ และการทิ้งขยะของนักท่องเที่ยวเพื่อทำการออกแบบ การพัฒนาปรับปรุงที่รองรับขยะให้สามารถใช้งานได้ดีขึ้น การสร้างจิตสำนึกรักษาภูมิปัญญาให้กับเจ้าหน้าที่และนักท่องเที่ยวให้เกิดนิสัยการแยกขยะอย่างต่อเนื่องและมีความรับผิดชอบต่อ สิ่งแวดล้อมธรรมชาติ โดยการทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานและการสังเกตพฤติกรรมการทิ้งขยะของ นักท่องเที่ยวก่อนและหลังการพัฒนาปรับปรุงที่รองรับขยะ เพื่อเสนอแนะแนวทางการจัดการขยะที่เหมาะสมกับ อุทิyanแห่งชาติน้ำตกสามหล่น โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

##### 4.1 การออกแบบพัฒนาที่รองรับขยะ

4.1.1 อุทิyanแห่งชาติ ได้จัดทางประมาณ จำนวน 30,000 บาท เพื่อสนับสนุนการพัฒนาปรับปรุง ที่รองรับขยะประเภทต่างๆ ในอุทิyanแห่งชาติน้ำตกสามหล่น ซึ่งสามารถแยกได้ 5 ประเภท ดังนี้ ประเภทที่ 1 ขยะอินทรีย์ประเภทเศษอาหาร ประเภทที่ 2 ขยะทั่วไป ประเภท 3 ขยะรีไซเคิล (recycle) ประเภท 4 ขยะอันตราย ประเภท 5 ขยะติดเชื้อ การพัฒนาที่รองรับขยะจะแบ่งตามขอบเขตการจัดการที่สามารถทำได้ คือ 1) ขยะทั่วไป 2) กระป๋องแก้วและถ่านไฟฉาย 3) กระป๋องอลูมิเนียม 4) ขวดแก้ว 5) ขวดพลาสติก 6) ขยะติดเชื้อ และ 7) เศษอาหาร

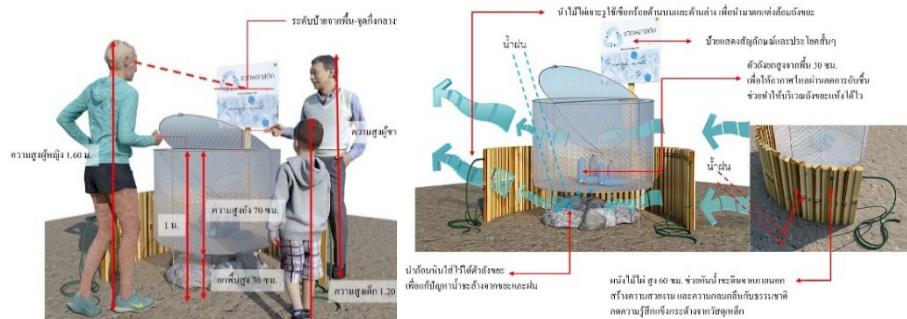
4.1.2 การออกแบบที่รองรับขยะ จะต้องง่ายไม่ซับซ้อน ต้องปลอดภัยต่อเจ้าหน้าที่ช่าง เน้นการใช้ วัสดุอย่างคุ้มค่า ใช้วัสดุที่มีในอุทิyanให้มากที่สุด ควบคุมงบประมาณในการจัดทำวัสดุอุปกรณ์ จึงมีแนวคิดที่ใช้ ไม่ได้ในการตกแต่งซึ่งหาได้ในอุทิyanแห่งชาติน้ำตกสามหล่น ใช้เชือกในลอนเป็นวัสดุเชื่อมยึดชิ้นงานเข้า ด้วยกัน โครงสร้างหลักใช้เหล็กตะแกรงและเหล็กเส้น ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถห้ามคนเข้าไปได้ และ ตั้งกรองเศษอาหารสำหรับจุดล้างจานเดรียมอาหาร



ภาพที่ 1 สภาพที่รองรับขยะของเคมีก่อนการพัฒนา

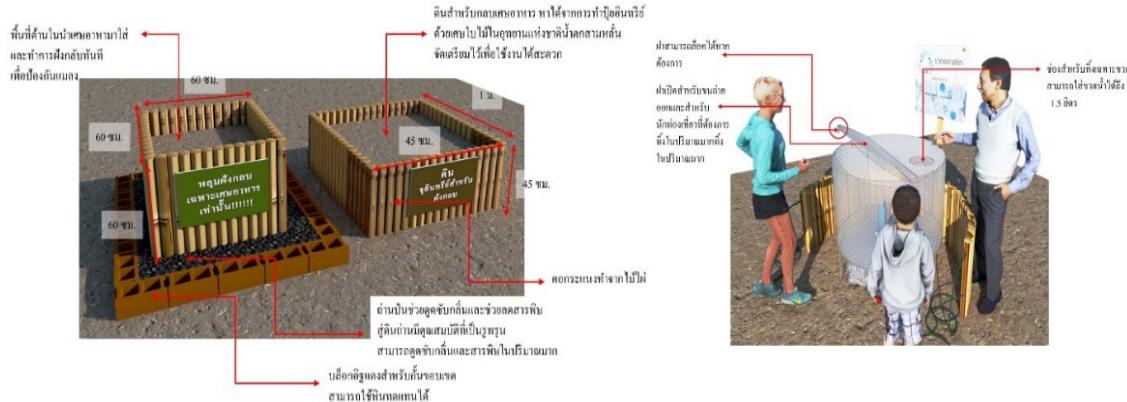
##### 4.1.3 การพัฒนาที่รองรับขยะ

ที่รองรับขยะของเคมีเป็นแบบปิดทึบถูกด้าน ไม่มีการระบายน้ำอากาศทำให้เร่งปฏิริยาการย่อยสลาย ของขยะแบบไออกซเจน (Oxygen) ทำให้ขยะเน่าเสียหมักหมมเป็นที่สะสมเชื้อโรคทำให้นักท่องเที่ยวไม่กล้าทิ้ง และเกิดพฤติกรรมการวางขยะไว้ด้านนอก ด้วยลักษณะเคมีมีความสูง 1.20 ม. ประกอบกับฝ่ามือน้ำหนักมากเนื่องจาก วัสดุที่นำมาใช้สร้าง ทำให้ลำบากในการปิดต่อผู้สูงอายุและเด็ก ฝ่าลังสกปรกเนื่องจากไม่มีการทำความสะอาดจึง ทำให้ผู้ทิ้งไม่ยากสัมผัส รูปแบบป้ายอยู่ในระดับต่ำกว่าสายตาและเต้มไปด้วยตัวหนังสือ บางป้ายสีจางจาก การถูกน้ำทำให้มองไม่เห็น ลังที่ทิ้งยังเป็นที่ชุมนุมของสัตว์ เช่น จิงโจ้ตุ๊กแก สีลังขยะที่ใช้เคมีเป็นสีที่ทิ้งทำให้ บรรยายกาศบุ่นบานไม่สอดคล้อง



ภาพที่ 2 ภาพจำลองการออกแบบพัฒนาท่อร่องรับขยายด้วยโปรแกรม Sketch Up 2020

ท่อร่องรับขยายที่พัฒนาเน้นการระบายน้ำอากาศและลดการเน่าเสีย ตอบแทนผู้คนเพิ่มความเป็นระเบียบเรียบร้อยด้วยไม้ไผ่ล้อมรอบซึ่งจะช่วยกันน้ำชะล้างจากภายนอก ให้ท่อร่องรับขยายรองด้วยก้อนหินเพื่อป้องกันน้ำชะล้างปรับความสูงถังให้เดียวกันที่ระดับ 1 เมตร เพื่อเพิ่มแรงยกให้กับผู้ปฏิบัติภาระและเด็กที่มีความสูงตั้งแต่ 1.20 ม. และความสูงบ่าขยะระดับ 1.40 วัดจากกึ่งกลางบ่าขยะเป็นระดับสามตามนุยร์ตามหลักการออกแบบ Dimension Human Scale เพื่อให้มองเห็นง่าย ฝาลังทำให้มีน้ำหนักเบาและเพิ่มรูปแบบการใช้งาน 2 แบบด้วยการทำซ่องใส่ขยะขนาดเล็ก และฝาเปิดขนาดใหญ่สำหรับขยายชั้นใหญ่และการขนย้าย



ภาพที่ 3 ภาพจำลองการออกแบบพัฒนาท่อร่องรับขยายหลุมฟังกลบเศษอาหารด้วยโปรแกรม Sketch Up 2020

หลุมฟังกลบทำจากไม้ไผ่ทั้งชิ้นออกแบบขนาดให้เหมาะสมแก่การใช้งานพื้นที่ต่อ 1 สปดาห์ ฐานด้านล่างโดยรอบโดยด้วยด้วยถ่านหุงต้มแบบปืนเพื่อเป็นการรับอนในการช่วยดูดซับกลิ่น และปรับความเป็นก่อการให้กับคินบริเวณหลุมฟังกลบ ด้านข้างจะเป็นที่เตรียมคินไวสำหรับฟังกลบ วิธีการฟังกลบเจ้าหน้าที่จะนำเศษอาหารที่ไม่มีน้ำมันเทในหลุมที่เตรียมไว้และทำการฟังกลบทันทีเพื่อไม่ให้เกิดการเน่าเสียและแมลงหรือการหมักหมมเชื้อโรค



ภาพที่ 4 ที่ร่องรับขยะที่ได้ทำการพัฒนาและนำไปใช้ในสถานการณ์จริง

#### 4.1.4 การสร้างชื่นงานและนำมายังสถานการณ์จริง

การพัฒนาที่ร่องรับขยะที่สร้างขึ้นใช้งานประมาณทั้งหมด 23,755 บาท ต่อวันงบประมาณที่ตั้งไว้จากการทดลองใช้งานสามารถใช้การได้ดีและสามารถแก้ปัญหาต่างๆที่พบก่อนการพัฒนาที่ร่องรับขยะ โดยการพัฒนาทั้งหมดแบ่งออกเป็น 3 ด้าน ด้านที่ 1 ประสิทธิภาพอุปกรณ์ประกอบด้วย วัสดุเป็นมิตรกับธรรมชาติ การใช้สีและรูปทรงสร้างแรงจูงใจ ความหมายของขนาดแต่ละประเภทเพียงพอต่อการใช้งาน ความหมายสมในการเลือกใช้อุปกรณ์ ความคงทน สามารถกันน้ำแข็งและกันสัตว์มาคุยเขี่ย ลดความอับชื้นเน่าเสีย ลดมลพิษทางกลิ่น และระบบอากาศได้ดี ด้านที่ 2 ประสิทธิภาพที่สนับสนุนเจ้าหน้าที่จัดการขยะประกอบด้วย สามารถซ่อมแซมบำรุงรักษาอุปกรณ์ได้ง่ายหากเกิดความเสียหายขึ้นในอนาคต ทำความสะอาดได้ง่าย มีน้ำหนักเบาสามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้ และการเข้าถึงของรถที่เข้ามาขนย้ายขยะ สามารถเข้าถึงสะดวกโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง ด้านที่ 3 ประสิทธิภาพที่สนับสนุนนักท่องเที่ยวประกอบด้วย ป้ายบอกชนิดที่ร่องรับขยะมีความชัดเจนและสามารถสื่อสารให้เกิดความเข้าใจในการทิ้งขยะได้ง่ายขึ้น ฝาเปิดลังขยะมีน้ำหนักเบาเด็กและผู้สูงอายุสามารถเปิดได้ไม่ลำบาก และการใช้งานฝาลังสามารถช่วยลดการสัมผัสโดยตรงได้

#### 4.2 เครื่องมือวิจัย

4.2.1 แบบสอบถาม สำรวจพฤติกรรมและทัศนคติการทิ้งขยะ

4.2.2 แบบทดสอบประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของอุปกรณ์

4.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสนับสนุนการทำงานของเจ้าหน้าที่ ก่อนและหลังด้วยผลทดสอบ t – test

4.2.4 แบบทดสอบสังเกตการณ์พฤติกรรมนักท่องเที่ยว

#### 4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์

กำหนดผู้ทดสอบที่มีส่วนได้ส่วนเสียคือเจ้าหน้าที่อุทyanแห่งชาติน้ำตกสามเหลี่ยม 10 คน และนักท่องเที่ยว 10 คน ทำการประเมินที่ร่องรับขยะก่อนการพัฒนาและหลังการพัฒนา ใช้เวลาการประเมินเป็นช่วงเวลาและในวันเดียวกัน เริ่มทดสอบในวันที่ 2 กรกฎาคม 2565 เวลา 11.00–12.00 น. มีวิธีการให้คะแนน ระดับ

ความพึงพอใจ 5 ระดับ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพก่อนและหลังประมาณผล t-test และทดสอบด้วยแบบสังเกต พฤติกรรมการทึ้งขยะของนักท่องเที่ยว จำนวน 288 คน ที่ใช้งานที่ร่องรับขยะพร้อมจดบันทึกข้อมูล

4.3.1 ระดับความพึงพอใจ ก่อนและหลังพัฒนา ทิศทางและความสัมพันธ์ความพึงพอใจและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) S.D

4.3.2 ค่า t-Test โดยใช้โปรแกรม Excel 2016 คำสั่ง t-Test : Paired Two Sample for Means ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.3.3 พฤติกรรมการทึ้งขยะของนักท่องเที่ยวตัวการเปรียบเทียบจำนวนนับมาก และน้อย และแสดงผลเป็นค่าร้อยละ

## 5. ผลการวิจัย

ที่ร่องรับขยะคือเครื่องมือที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน เป็นการพัฒนาใหม่ที่ทดสอบของเดิมด้วยแนววิเคราะห์เชิงพัฒนา เป็นศาสตร์พระราชตามแนวพระราชดำริ พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช ในหลวงรัชกาลที่ 9 งานวิจัยนี้จึงศึกษาข้อมูลเชิงพื้นที่ ศักยภาพมนุษย์ งบประมาณ เพื่อทำความเข้าใจและหารือการสร้างเครื่องมือให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อทุกฝ่าย และคาดหวังว่าจะเกิดความชั่งขึ้นในอนาคต โดยสร้างการมีส่วนร่วม ด้วยวิธีการศึกษาความคิดและความสามารถของเจ้าหน้าที่เพื่อให้มีส่วนร่วงผลงานซึ่งเป็นสิ่งที่ส่งผลถึงคุณค่าและความมั่นใจ ที่กล้าแสดงความคิดเห็นและสร้างสรรค์ผลงาน เนื่องจากเจ้าหน้าที่ช่าง และเจ้าหน้าที่เก็บขยะเป็นผู้ได้ผลกระทบและเป็นผู้พบเห็นปัญหาขยะในทุกมิติ ถือเป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญที่จะนำมาแก้ไขปัญหาในพื้นที่ได้ การพนักความรู้เกี่ยวกับจิตวิทยาสิ่งแวดล้อมและพฤติกรรมมนุษย์ช่วยให้การออกแบบตอบโจทย์การใช้งานและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ช่วยประหยัดเวลา และประหยัดงบประมาณ โดยสามารถสรุปผลทดสอบงานวิจัย ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์ที่ร่องรับขยะในอุทัยนแห่งชาติน้ำตกสามเหลี่ยม

ลำดับ	ประสิทธิภาพอุปกรณ์แต่ละด้าน	N	ค่าเฉลี่ย ก่อนพัฒนา	ค่าเฉลี่ย หลังพัฒนา	S.D.	t
1	ด้านประสิทธิภาพอุปกรณ์	20	2.84	4.33	0.91	31.69
2	ด้านประสิทธิภาพสนับสนุนเจ้าหน้าที่ จัดการขยะ	20	2.95	4.41	0.82	22.24
3	ด้านประสิทธิภาพสนับสนุนนักท่องเที่ยว	20	3.00	4.42	0.82	15.27

ผลทดสอบทั้ง 3 ด้าน พบว่าหลังพัฒนาที่ร่องรับขยะสามารถสร้างสภาพแวดล้อมที่สามารถส่งผลให้เจ้าหน้าที่พึงพอใจระดับมากและนักท่องเที่ยวพึงพอใจในระดับมากที่สุด ภาพรวมเปลี่ยนแปลงในทางบวกในทุกด้าน ค่าเฉลี่ยหลังการพัฒนาสูงกว่าก่อนการพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 เจ้าหน้าที่และนักท่องเที่ยวมีความเห็นสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นการพัฒนาที่ร่องรับขยะให้เหมาะสมกับความสามารถและศักยภาพ การดูแลเจ้าหน้าที่ และเหมาะสมกับพุทธิกรรมนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ให้การใช้งานอุปกรณ์ที่ร่องรับขยะมีประสิทธิภาพ สามารถสนับสนุนการจัดการขยะของเจ้าหน้าที่ได้ดีขึ้น และนักท่องเที่ยวแยกขยะถูกต้องตามระบบ การจัดการของเจ้าหน้าที่ในอุทัยนแห่งชาติเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้สภาพแวดล้อมและสังคมในอุทัยนแห่งชาติ เกิดจิตสำนึกต่อการแยกขยะและมีความรับผิดชอบต่อธรรมชาติมากขึ้น ตลอดถือว่าการทดสอบสังเกตการณ์กับ

นักท่องเที่ยว 288 คน พนักงานท่องเที่ยวจำนวน 262 คน มีพฤติกรรมการแยกขยะที่ดีและอีก 26 คน มีพฤติกรรมไม่แยกขยะ

## 6. อภิปรายผล

ประโยชน์ในการเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้นย่อมส่งผลให้สังคมดีขึ้น (Satterthwaite, 2016) แต่การเปลี่ยนแปลงที่จะสร้างความยั่งยืนได้จะต้องมีองค์ประกอบที่สมบูรณ์ คือ มีเครื่องมือ มีความรู้ ทัศนคติ จิตสำนึกและการปฏิบัติอย่างต่อเนื่องให้เกิดเป็นวินัย (สุวิไล เรียงสุวัฒนสุข, 2558) (ฤกษ์ชัย คุณปการและคณะ, 2545) จึงจะสามารถพัฒนาไปข้างหน้าได้ การแยกขยะและลดขยะตกค้างนั้นมีเป้าหมายเพื่อบรเทาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิภาคลดการนำขยะเข้าสู่กระบวนการจัดการขยะของรัฐที่ยังไม่มีมาตรฐานการกำจัดที่ถูกต้อง (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2564) ซึ่งก่อให้เกิดก้าวเรื่องกระบวนการมีผลกระทบทำให้โลกร้อนเป็นสาเหตุหนึ่งของการอุดตันการเดินทาง การปศุสัตว์ และการใช้พลังงาน ที่ทำให้เกิดภัยพิบัติตามมา การจัดระเบียบสังคม การสร้างคน การใช้ทรัพยากรอย่างพอเพียง ไม่ว่าจะเป็น ดิน น้ำ หรืออากาศ ล้วนเป็นสิ่งที่มนุษย์ต้องใช้ ดำรงชีวิต ดังนั้นทุกคนจึงมีส่วนที่จะต้องให้ความร่วมมือและหันมาสนใจการแยกขยะอย่างจริงจัง

## 7. ข้อเสนอแนะ

นำขยะที่ได้แยกไว้ในเบื้องต้นนำไปจัดการตามระบบการทำงานที่วางแผนไว้ ควรจัดเก็บทุกๆ 2 วันมากสุด ไม่ควรเก็บ 3 วัน เพื่อไม่ให้ขยะเกิดการเน่าเสีย การแยกเศษอาหารจะทำที่จุดล้างภาชนะเตรียมอาหารและร้านอาหารของอุทกานแห่งชาติน้ำตกสามเหลี่ยม ซึ่งมีปริมาณกว่าเศษอาหารที่พบในลังขยะทั่วไป เจ้าหน้าที่จะต้องจัดเก็บ ในตอนเช้า 1 ครั้ง และตอนเย็นหลังเลิกงาน 1 ครั้ง เมื่อนำเศษอาหารไปฝังกลบแล้ว จะต้องล้างลังกรองขยะให้สะอาด หลังจากการจัดเก็บทุกครั้งจะต้องเก็บภาชนะที่บินจุกทึ่งขยะทุกครั้งเพื่อทำให้สภาพแวดล้อมสะอาดท่อนความสะอาดให้นักท่องเที่ยวรับรู้ สร้างความรู้สึกถึงความเป็นแบบอย่างที่ดีทำให้นักท่องเที่ยวมีความรู้สึกประทับใจ การสื่อสารจะใช้วิธีการตักเตือนให้ข้อแนะนำเป็นรายบุคคลด้วยความสุภาพและไร้อคติ เพื่อลดความอึดอัดระหว่างเจ้าหน้าที่และนักท่องเที่ยว

### 7.1 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

พัฒนาที่รองรับขยะให้คุณภาพมั่นคงมากขึ้น การหาแนวทางรักษาคุณภาพดินเพื่อที่รองรับขยะเป็นแบบโปร่ง น้ำขยะจะลงพื้นโดยตรง การหาแนวทางไม่ให้ทึ่งน้ำลงลังขยะทั่วไปจะช่วยลดความชื้นและการปนเปื้อน และการพิสูจน์ว่าที่รองรับขยะแบบนายอำเภอได้สามารถเป็นประโยชน์ในระยะยาว

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โครงการบัณฑิตศึกษา สาขาวิชานวัตกรรมอาคาร ภาควิชานวัตกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สำหรับสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่อุทกานแห่งชาติน้ำตกสามเหลี่ยมที่ช่วยอำนวยความสะดวกและช่วยเหลือตลอดการทำงานวิจัย รวมไปถึงให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

## 9. เอกสารอ้างอิง

- กรรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2564). รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย.
- ฤกษ์ชัย คุณปการและคณะ. (2545). พฤติกรรมมนุษย์กับการพัฒนาคน. พิมพ์โลก: ภาควิชาจิตวิทยาและ การแนะแนว สถาบันพิบูลสงคราม.
- สมพงษ์ แก้วประยูร. (2558). ความรู้ ทักษะและพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือนของประชาชน ในเขตเทศบาลเมืองคุนลัง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. (ปริญญารัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการภาครัฐและภาคเอกชน). มหาวิทยาลัยหาดใหญ่, สงขลา.
- สุวิไล เรียงสุวัฒนสุข. (2558). จิตวิทยาสิ่งแวดล้อม (Vol. 2): กรุงเทพมหานคร.
- Hoornweg, D., and Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: a global review of solid waste management*.
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., et al. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*: World Bank Publications.
- Koop, S. H., and van Leeuwen, C. J. (2017). The challenges of water, waste and climate change in cities. *Environment, development and sustainability*, 19(2), 385-418.
- Liu, L. (2018). Research on Environmentally-friendly Trash Bin Sorting Design Based on Human Factors Experiment. *Industrial Engineering and Innovation Management*, 1(1), 17-25.
- Soewardi, H., Sari, A. D., and Aktoba, R. (2017). Ergonomic participatory approach for designing the innovative trash bin. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(24), 14510-14513.

## การกักเก็บคาร์บอนด้วยถ่านหินเพื่อเป็นวัสดุแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วน CARBON SEQUESTRATION OF FLY ASH AS A PARTIAL REPLACEMENT FOR PORTLAND CEMENT

สวิท วิเศษคุณธรรม\*, มนัสกร ราชากริกจ, ธารทิพย์ พันธ์เมฆาฤทธิ์  
ภาควิชาเคมีกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: Boatboat.420@gmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนด้วยถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่مهaje ที่สัดส่วนถ่านหินต่อน้ำ 50 100 และ 200 g/L และศึกษาความต้องการน้ำและกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ของการใช้ถ่านหินในการรับน้ำเพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนักจากการศึกษาพบว่าปริมาณและประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนสูงสุด 66.69 mgCO<sub>2</sub>/gFA และ 26.5% ตามลำดับ ที่สัดส่วนถ่านหินต่อน้ำ 50 g/L ระยะเวลาเก็บนานที่สุด ที่สัดส่วนน้ำต่อถ่านหิน 200 g/L เมื่อเทียบกับ 50 และ 100 g/L นอกจากนี้ เมื่อนำถ่านหินมาใช้เป็นวัสดุทดแทนน้ำในเครื่องผสมหิน (CFA) ที่สัดส่วนถ่านหินต่อน้ำ 50 g/L ไปทดแทนปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก วิเคราะห์ความต้องการน้ำของถ่านหิน การรับน้ำของถ่านหินที่สัดส่วนน้ำต่อถ่านหิน 50 g/L ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก มีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C618 สำหรับการนำวัสดุปูอิฐลงในโครงสร้าง สำหรับการทดสอบปูนซีเมนต์

**คำสำคัญ:** ถ่านหิน ถ่านหินคาร์บอน เก็บคาร์บอน ความต้องการน้ำ และ กำลังรับแรงอัด

### ABSTRACT

This research investigated the impact of carbon sequestration efficiency of fly ash on the carbonation process at different fly ash (FA) to water ratios (50, 100, and 200 g/L), as well as the effect of water requirement and compressive strength of mortar at different replacement levels of carbonated fly ash (10%, 20%, and 30% (w/w)). When the fly ash (FA) to water ratio is 200 g/L, the carbonation time is the longest, followed by 50 and 100 g/L. Based on the carbonate content, a maximum carbonation efficiency of 26.5% and CO<sub>2</sub> sequestration of 66.69 mgCO<sub>2</sub>/kgFA is calculated for a fly ash (FA) to water ratio of 50 g/L. Furthermore, carbonated fly ash (CFA) with a fly ash to water ratio of 50 g/L is used to prepare cement paste blends in which ordinary Portland cement (OPC) is replaced at 10%, 20%, and 30% (w/w). The water requirement of CFA-OPC mortars is compared to that of pure OPC. The results show that higher replacement levels require less water than pure OPC. Mechanical

properties of CFA-OPC mortars cured for 1, 3, 7, 28 and 56 days. The results show that the compressive strength of CFA-OPC at all replacement levels is lower than that of OPC. However, according to the ASTM C 618 standard, CFA-OPC mortars at 10% and 20% replacement levels are recommended for use.

**Keywords:** Fly Ash, Carbonated Fly Ash, Carbon Sequestration, Water Requirement and Compressive Strength

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

จากผลกระทบของการโลกร้อน ทำให้ประเทศไทยต้องหันมาในการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และสำหรับในประเทศไทยนี้ อุตสาหกรรมหลายแห่งได้ตั้งเป้าที่จะลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ได้ 30% กายในปี พ.ศ. 2573 และมุ่งสู่การอนุส�ทิปเป็นศูนย์ (Net zero carbon) กายในปี พ.ศ. 2593 โดยมีแนวทางที่แตกต่างกันเพื่อไปถึงเป้าหมาย ทั้งนี้อุตสาหกรรมซีเมนต์ถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีส่วนสำคัญในการพัฒนาประเทศ ในมิติด้านพลังงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานในปริมาณก่อนข้างสูงและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มระดับการใช้พลังงานต่อไปตามการขยายตัวของเศรษฐกิจ ได้มีแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยการใช้เชื้อเพลิงทางเลือก หรือการทดสอบปูนเม็ดด้วยการใช้ถ่านหิน แม้ว่าจะมีหลายแนวทางที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่คาดการณ์ว่าเทคโนโลยีดักจับและกักเก็บคาร์บอน จะสามารถผลักดันให้ไปถึงเป้าหมายการอนุส�ทิปเป็นศูนย์ได้ (ภัทรพร คิม, 2561)

จากการศึกษาพบว่าเทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถกักเก็บในรูปแบบซึ่งมีความเสถียร อีกทั้งยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยการกักเก็บดังกล่าว ใช้ร่วมกับวัตถุดินที่มีสภาพความเป็นด่างได้ เช่น ตะกรันเหล็ก ผุนจากเตาเผาซีเมนต์ และถ่านหินเป็นต้น ซึ่งถ่านหินเป็นหนึ่งในวัตถุดินที่น่าสนใจในการนำมาใช้ร่วมกับเทคโนโลยีดักจับถ่านหินเนื่องจากเป็นผลพลอยได้ที่มีองค์ประกอบของแคลเซียมและแมกนีเซียม และมีปริมาณมากจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (Bobicki et al., 2555)

ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการนำถ่านหินที่นับวันจะมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการนำไปกำจัด ให้สามารถนำถ่านหินมาใช้ประโยชน์โดยกลับมาใช้ประโยชน์โดยให้อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นตัวกลางในการใช้เทคโนโลยีดักจับถ่านหิน ที่ซึ่งนำถ่านหินมา กักเก็บคาร์บอนเพื่อเป็นวัตถุดินในกระบวนการผลิตที่นอกจากจะเป็นการช่วยลดปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์ ลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว ยังสามารถพัฒนาสมบัติของปูนซีเมนต์ให้ดีขึ้นได้อีกด้วย

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) ศึกษาผลของประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนด้วยถ่านหิน เพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

(2) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างถ่านหินกับการรับน้ำหนักและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่มีต่อความต้องการน้ำและกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

### 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 การหาปริมาณและประสิทธิภาพของการกักเก็บคาร์บอนด้วยถ้าโลย

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของถ้าโลย สามารถคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงทางน้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ ด้วยเครื่อง Thermogravimetric - Differential Thermal Analysis (TG-DTA) ซึ่งแบ่งการเปลี่ยนแปลงเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การระเหยน้ำระห่ำอุณหภูมิ 25 ถึง 100 °C ส่วนที่ 2 การสลายตัวของการรับอนินทรีย์และแมกนีเซียมкар์บอนेट ( $MgCO_3$ ) ระหว่างอุณหภูมิ 105 ถึง 500 °C และปริมาณการรับอนินทรีย์ที่กักเก็บในรูปของคาร์บอนे�ต สามารถคำนวณได้จากการสูญเสียน้ำหนักจากส่วนที่ 3 คือ การสลายตัวของแคลเซียมкар์บอนे�ตและปล่อยคาร์บอนอนินทรีย์ระหว่างอุณหภูมิ 500 ถึง 1000 °C (Ebrahimi et al., 2560) ดังสมการที่ 1

$$\text{ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากการทดลอง (mg CO}_2/\text{g FA}) = \frac{M_{500\text{ }^{\circ}\text{C}} - M_{1000\text{ }^{\circ}\text{C}}}{M_{105\text{ }^{\circ}\text{C}}} \quad (1)$$

โดย  $M_{105\text{ }^{\circ}\text{C}}$  คือ มวลของถ้าโลย ภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 105°C

$M_{500\text{ }^{\circ}\text{C}}$  คือ มวลของถ้าโลย ภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 500 °C

$M_{1000\text{ }^{\circ}\text{C}}$  คือ มวลของถ้าโลย ภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C

และประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอน ( $\eta$ ) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3 ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนตามทฤษฎี จากสมการ Stenoir's stoichiometric (Nyambura et al., 2554) ดังสมการที่ 2 กับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของการทดลอง

$$CO_2 (\%) = 0.785 (\%CaO - 0.7x\%SO_3) + 1.09 \%MgO + 0.71x\%Na_2O + 0.468x\%K_2O \quad (2)$$

โดยปริมาณ CaO SO<sub>3</sub> MgO Na<sub>2</sub>O และ K<sub>2</sub>O ซึ่งได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ้าโลย ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (XRF)

$$\text{ประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอน} (\eta) = \frac{\text{ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากการทดลอง}}{\text{ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนตามทฤษฎี}} \times 100 \% \quad (3)$$

#### 3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการวิจัยของ Ji et al. 2560 ศึกษาผลของสัดส่วนถ้าโลยต่อน้ำ 50:100 และ 200 g/L ที่มีต่อประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอน โดยใช้ถ้าโลย class F พบร่วมกับการเพิ่มสัดส่วนของถ้าโลยต่อน้ำ ส่งผลให้ระยะเวลาของกระบวนการคาร์บอนันชันจะนานขึ้น แต่ประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณและประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนสูงสุด 45 mgCO<sub>2</sub>/gFA และ 34.7% ตามลำดับ

จากการวิจัยของ Ebrahimi et al. (2560) ศึกษาการกักเก็บคาร์บอน กำหนดสัดส่วนน้ำต่อถ้าโลย 66.69 และ 133.3 g/L พบร่วมกับปริมาณและประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนใกล้เคียงกัน โดยค่าสูงสุด คือ 32 mgCO<sub>2</sub>/gFA และ 83.5% ตามลำดับ และพบร่วมกับค่าพิเศษ 8.3 น้ำ คือค่าต่ำสุดที่ไม่ทำให้หลักของแคลไซต์ ( $CaCO_3$ ) เกิดการละลายกลับไปอีกในรูปของแคลเซียมไอโอน ( $Ca^{2+}$ ) นอกจากนี้ ยังได้ศึกษาการนำถ้าโลยกับคาร์บอนे�ต นำไปใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ ที่อยู่ต่ำกว่า 10 และ 30 โดยน้ำหนักกำหนดอยู่ต่ำกว่าน้ำหนักต่อวัสดุเชื่อมประมาณ 0.4 พบร่วมกับลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ลดลง เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์มอร์tar

จากการวิจัยของ Jo et al. (2555) ศึกษาสัดส่วนถ้าโลยต่อน้ำ 100 140 และ 200 g/L พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนถ้าโลยต่อน้ำ จาก 100 เป็น 140 และ 200 g/L สรุปผลให้ประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนลดลงตามลำดับ โดยมีปริมาณและประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนสูงสุด มีค่าเป็น  $8 \text{ mgCO}_2/\text{gFA}$  และ 8.6% ตามลำดับ ที่สัดส่วนถ้าโลยต่อน้ำ 100 g/L และค่าพีเอช 8.3

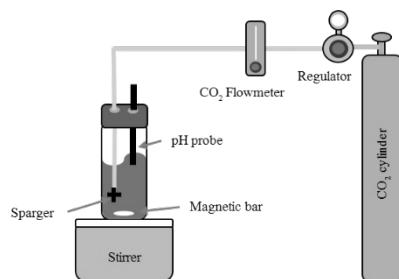
#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

#### 4.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ห้อทีพีไอ เก้าออยจากโรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เมะ จันนาไปใช้ในขั้นตอนการสังเคราะห์เก้าออยคาร์บอนเนต ผ่านการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ เตรียมเก้าออยโดยนำมาร่อนตะแกรงร่องให้มีขนาดอนุภาคลีกลกว่า  $45 \mu\text{m}$  จากนั้นวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และเก้าออยด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) และวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียไปจากการเผา (% LOI)

#### 4.2 การสังเคราะห์ถ้าลอยการ์บอนเนต

เตรียมการติดตั้งถังปฏิกิริณ์ สำหรับการสังเคราะห์ถ้าลอการ์บอนเนต แสดงดังภาพที่ 1 ประกอบด้วย ขวดแก้วขนาด 1000 ml เครื่องกรานสาร แท่งแม่เหล็กกรานสาร เครื่องมือวัดอัตราการไหลยีห้อ IZM-6T หัวพ่นอากาศยีห้อ GEX รุ่น plant CO<sub>2</sub> ต่อ กับท่อชิลิโคนจากถังคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความบริสุทธิ์ >99% และ เครื่องวัดค่าไฟเขียว ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น Five Easy plus



ภาพที่ 1 การติดตั้งถังปฏิกรณ์สำหรับสังเคราะห์ถ้าล้อยการ์บอนเตค

การสังเคราะห์เก้าออยкар์บอนเนต แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ การทดลองหาค่าพีเอชต่อระยะเวลาที่ใช้ในการเติมก๊าซcarbon dioxide ออกไซด์ ที่เวลา 5 10 15 30 60 และ 90 นาที จากการเติมก๊าซ carbon dioxide ออกไซด์ที่อัตราการไหล 25 mL/min เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ และสัดส่วนเก้าออยต่อน้ำ (S/L) ที่ 50 100 และ 200 g/L (Ji et al., 2560)

การสังเคราะห์ถ้าโดยการบูนนต เริ่มจากการผสมถ้าโดยและน้ำประจากไออกอน เป็นเวลา 1 ชม. จากนั้นจึงนำมาเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราการไหล 25 mL/min ผ่านหัวพ่นอากาศ ที่สัดส่วนถ้าโดยต่อ น้ำ (S/L) ต่างๆ (50 100 และ 200 g/L) ในขณะทำการทดลองจะมีการวัดค่าพื้นที่และบันทึกค่าทุกๆ 5 นาที จากนั้นนำตัวอย่างมากรองด้วยกรวยกรองบุชเนอร์และปั๊มสูญญากาศ จนได้เป็นพิลเดอร์เก็บบนกระดาษกรอง และไปอบแห้งที่ อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์ท่ำปริมาณการกักเก็บบูน โดยการวิเคราะห์ เชิงความร้อน ด้วยเครื่อง Thermogravimetry and Differential Thermal Analysis (TG-DTA) ก่อนนำเครื่อมเป็น ชิ้นเน้นด้วยตัวเอง เพื่อวิเคราะห์สมบูรณ์ที่สุด

#### 4.3 การเตรียมซีเมนต์มอร์ตาร์

นำสัดส่วนของถ้าลอย และถ้าลอยかる์บอนเนตที่สามารถกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด มาทดสอบปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก แสดงดังตารางที่ 2 และใช้อัตราส่วนรายต่อวัสดุเชื่อม ประสาน 2.75 ซึ่งปริมาณน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน ได้จากการวัดค่าการไหลแผ่นของมอร์ตาร์ ด้วยโต๊ะการไหลแผ่น (flow table) ตามมาตรฐาน ASTM C1437 ต้องมีค่าไม่เกิน  $110 \pm 5\%$  และทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยใช้มอร์ตาร์ที่ หล่อเป็นทรงลูกบาศก์ขนาด  $50 \times 50 \times 50$  mm. บ่มที่อายุ 1 3 7 28 และ 56 วัน และทำซ้ำแต่ละอายุการบ่ม จำนวน 4 ตัวอย่าง ทดสอบด้วยเครื่องวัดกำลังรับแรงอัด ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C109

ตารางที่ 2 อัตราส่วนของส่วนผสมที่ใช้เตรียมตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่าง	อัตราส่วนผสมวัสดุเชื่อมประสาน (โดยน้ำหนัก)		
	ปูนซีเมนต์ (OPC)	ถ้าลอย (FA)	ถ้าลอยかる์บอนเนต (CFA)
Control	100	0	0
OPC90FA10	90	10	0
OPC80FA20	80	20	0
OPC70FA30	70	30	0
OPC90CFA10	90	0	10
OPC80CFA20	80	0	20
OPC70CFA30	70	0	30

#### 5. ผลงานวิจัย

##### 5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และถ้าลอย

ในงานวิจัย ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ยี่ห้อทีพีไอ และถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมือง นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ผลการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 1 นอกจากนี้ องค์ประกอบทางเคมีของถ้าลอยมีส่วนประกอบของ  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  รวมกัน ได้เท่ากับ 52.7% จัดเป็นถ้าลอย Class C

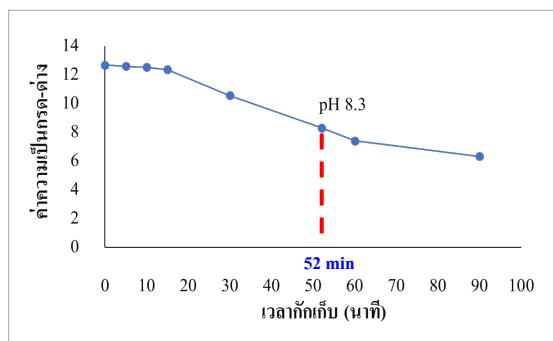
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และถ้าลอย

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี (%)โดยน้ำหนัก													
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$	$\text{SO}_3$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{Cl}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{BaO}$	LOI (%)
ถ้าลอย	25.7	12.6	14.4	30.3	0.29	1.99	2.66	0.16	7.44	0.36	-	2.3	0.14	1.42
ปูนซีเมนต์	19.5	3.96	3.01	64.6	0.34	0.44	1.76	-	3.43	0.11	0.17	0.32	-	2.2

##### 5.2 ผลของเวลาในการกักเก็บคาร์บอนของถ้าลอยかる์บอนเนต

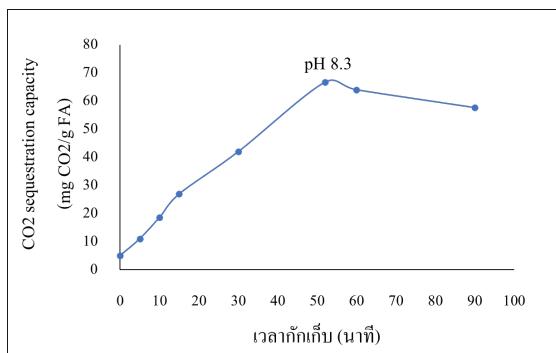
จากการศึกษา การสังเคราะห์ถ้าลอยかる์บอนเนต โดยการเติมก้าชาร์บอนไดออกไซด์ ลงไปในถังปฏิกิริยาน้ำที่บรรจุด้วยสารผสมระหว่างถ้าลอยและน้ำ ที่สัดส่วนถ้าลอยต่อน้ำเป็น 50 g/L เวลา 5 10 15 20 30 60 และ 90 นาที และกำหนดอัตราการเติมก้าชาร์บอนไดออกไซด์  $25 \text{ mL/min}$  พบว่า ความสมมั่นคงจะห่วงค่าเพื่อเชิงลึกเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาที่เติมก้าชาร์บอนไดออกไซด์ ดังภาพที่ 2 โดยในช่วงระยะเวลาของการเติมก้าชาร์บอนไดออกไซด์ค่าเพื่อเชิงลึกอยู่ที่ 20 นาที ค่าเพื่อเชิงลึกอย่างมากจะถึง 60 นาที

จากนั้นลดลงเพียงเล็กน้อย และค่อนข้างคงที่ นอกจาจนี้ จากการทดลอง ได้ทำการหยุดทดลองเมื่อค่า pH เท่ากับ 8.3 เนื่องจากงานวิจัยของ Ebrahimi et al. (2016) ได้ระบุว่า ที่ค่า pH 8.3 นั้นเป็นค่าที่ปฏิกิริยาการ์บอนเอนชั่นอิ่มตัว หากค่า pH เท่ากับ 8.3 จะส่งผลให้ผลิตแคลเซียมไชต์ ( $\text{CaCO}_3$ ) เกิดการละลายกลับสู่สารละลายดังเดิม ทั้งนี้จะได้ว่า เมื่อหยุดการทดลองที่ค่า pH 8.3 แล้ว พบร่วงเวลา 52 นาที



ภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และระยะเวลาในการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่สัดส่วนถ้าโลยต่อน้ำ 50 g/L

ในระหว่างทำการทดลอง ได้นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (TG-DTA) เพื่อนำมาหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในถ้าโลย พบร่วงเวลาที่ใช้ต่อปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในถ้าโลย สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3

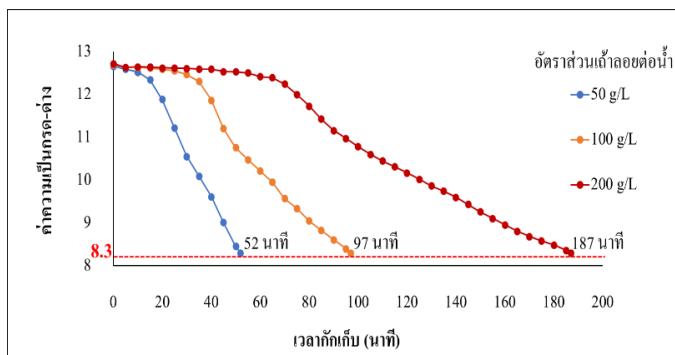


ภาพที่ 3 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่เวลาต่างๆ และที่ค่า pH 8.3 สัดส่วนถ้าโลยต่อน้ำ 50 g/L

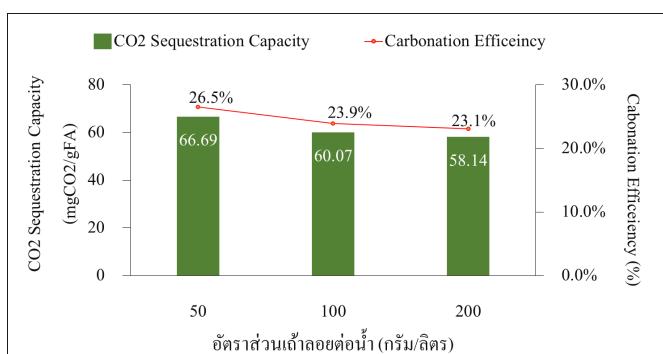
ในช่วงต้นของการทดลองปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในถ้าโลยนั้นค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามเวลา และพบว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในถ้าโลยจะสูงที่สุด เมื่อค่า pH 8.3 และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในถ้าโลยก่อให้กับค่า pH 8.3 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ที่สัดส่วนถ้าโลยต่อน้ำ 50 g/L จะมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในถ้าโลยสูงที่สุด ที่ค่า pH 8.3 ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ  $66.69 \text{ mgCO}_2/\text{gFA}$  และใช้ระยะเวลาในการกักเก็บ 52 นาที

เมื่อเพิ่มสัดส่วนถ้าโลยต่อน้ำ เป็น 100 และ 200 g/L การกักเก็บคาร์บอนในถ้าโลย ที่ค่า pH 8.3 ใช้ระยะเวลาการกักเก็บ 97 และ 187 นาที ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4 และสุดท้าย เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณและประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนของถ้าโลย ด้วยสมการดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1 ที่ทุกสัดส่วนถ้าโลยต่อน้ำ

พบว่า สัดส่วนถ้าลอยต่อน้ำ 50 g/L มีประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนในถ้าลอยสูงที่สุด อยู่ที่ 26.5% และรองลงมา คือ สัดส่วนถ้าลอยต่อน้ำ 100 g/L อยู่ที่ 23.9% และสัดส่วนถ้าลอยต่อน้ำ 200 g/L อยู่ที่ 23.1% ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 5 ทั้งนี้ผู้วิจัยจะนำสัดส่วนถ้าลอยต่อน้ำที่ 50 g/L ไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงกลต่อไป เนื่องจากที่ สัดส่วนถ้าลอยต่อน้ำดังกล่าวมี ปริมาณและประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนสูงที่สุด และจะเรียกถ้าลอยที่กักเก็บคาร์บอนแล้วว่า ถ้าลอยคาร์บอนเนต (CFA)



ภาพที่ 4 แสดงระยะเวลา กักเก็บคาร์บอนที่ค่าพีอีอช 8.3 สัดส่วนถ้าลอยต่อน้ำ 50 100 และ 200 g/L



ภาพที่ 5 แสดงปริมาณและประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอน ที่สัดส่วนถ้าลอยต่อน้ำ 50 100 และ 200 g/L

## 5.2 สมบัติมอร์ตาร์

### 5.2.1 ความต้องการน้ำ (Water requirement)

ผลการทดสอบความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (OPC100) ที่อัตราส่วนทรายต่อวัสดุเชื่อมประสาน 2.75 จะได้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน (W/B) เท่ากับ 0.57 โดยน้ำหนัก

ผลการทดสอบความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ ที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมถ้าลอย พบว่า เมื่อเทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยถ้าลอยร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ความต้องการน้ำลดลงเป็นร้อยละ 98.96 และ 95 ตามลำดับ และเมื่อตัวส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน (W/B) เท่ากับ 0.56 0.55 และ 0.54 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าว เป็นค่าที่เป็นไปตามมาตรฐานการให้ผล ตามมาตรฐาน ASTM C109 (ต้องมีค่าไม่เกิน  $110 \pm 5\%$ )

ผลการทดสอบความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ ที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมถ้าลอยคาร์บอนเนต พบว่า ความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ลดลง เมื่อปริมาณถ้าลอยคาร์บอนเนตเพิ่มขึ้น ยกเว้น การแทนที่ด้วยถ้าลอย คาร์บอนเนตร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ความต้องการน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนการแทนที่ด้วยถ้าลอยคาร์บอนเนต

ร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ความต้องการน้ำลดลงเป็นร้อยละ 98 และ 96 ตามลำดับ และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน เท่ากัน 0.57 0.56 และ 0.55 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าว เป็นค่าที่เป็นไปตามมาตรฐานการใหม่ๆ ตามมาตรฐาน ASTM C109 (ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 110±5%) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน และค่าความต้องการน้ำ

อัตราส่วนผสม	W/B	ค่าการไหล่แม่ (%)	ความต้องการน้ำ (%)
OPC100	0.57	110	100
OPC90FA10	0.56	108	98
OPC80FA20	0.55	113	96
OPC70FA30	0.54	109	95
OPC90CFA10	0.57	109	100
OPC80CFA20	0.56	107	98
OPC70CFA30	0.55	108	96

### 5.2.2 กำลังรับแรงอัดและค่าดัชนีกำลัง

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและค่าดัชนีกำลัง ของปูนซีเมนต์ทอดแทนด้วยถ้าลอย หรือถ้าลอย ควรบอนเดต ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของการแทนที่ กำลังรับแรงอัดและค่าดัชนีกำลังมีค่าลดลง แสดงดังตารางที่ 4 และจากมาตรฐาน ASTM C 618 ได้กำหนดค่าดัชนีกำลังของมอร์ตาร์สำหรับการใช้วัสดุปูชโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ที่อายุ 7 หรือ 28 วัน ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 ของมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานล้วน

ตารางที่ 4 ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าดัชนีกำลัง

อัตราส่วนผสม	กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ (MPa)				
	(ค่าดัชนีกำลัง, %)				
	1 day	3 days	7 days	28 days	56 days
OPC100	8.43 (100%)	16.67 (100%)	20.40 (100%)	29.96 (100%)	30.40 (100%)
OPC90FA10	8.19 (97%)	14.32 (86%)	19.61 (96%)	27.85 (93%)	27.56 (91%)
OPC80FA20	7.40 (87%)	14.12 (85%)	18.63 (91%)	28.88 (96%)	28.44 (94%)
OPC70FA30	6.08 (72%)	13.88 (83%)	16.48 (81%)	23.54 (79%)	29.96 (99%)
OPC90CFA10	6.52 (77%)	14.22 (85%)	17.41 (85%)	24.32 (81%)	27.95 (92%)
OPC80CFA20	5.83 (69%)	14.02 (84%)	16.77 (82%)	22.95 (77%)	28.49 (94%)
OPC70CFA30	4.71 (56%)	13.44 (81%)	15.45 (76%)	21.28 (71%)	28.19 (93%)

## 6. อคิปรายผล

การเปลี่ยนแปลงค่าพีอีช จากการเติมก้าชาร์บอนไนโอดอกไซด์ที่อัตราการไหล 25 mL/min และสัดส่วนเก้าออยต่อน้ำที่ 50 g/L ค่าพีอีช ซึ่งต้นลดลงอย่างช้า และคงที่ในสารผสม (Slurry) หลังจากนั้น เมื่อเติมก้าชาร์บอนไนโอดอกไซด์อย่างต่อเนื่อง ส่งผลค่าพีอีช ลดลงมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ebrahimi et al. (2560) ที่ระบุว่า แคลเซียมไออกอนของเก้าออย เกิดการละลายอย่างต่อเนื่องผ่านกระบวนการไฮเดรชัน ทำให้ค่าพีอีช ซึ่งต้น มีค่าเป็น 12.6 และเมื่อเติมก้าชาร์บอนไนโอดอกไซด์ลงไปในสารผสม ก้าชาร์บอนไนโอดอกไซด์จะละลายน้ำ เกิดเป็นคาร์บอนเนตไออกอน ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไออกอน เกิดเป็นแคลเซียมคาร์บอนเนต ส่งผลให้ความเข้มข้นของแคลเซียมไออกอน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) และไฮดรอกไซด์ไออกอน ( $\text{OH}^-$ ) ลดลง เนื่องจากในขณะที่การเติมก้าชาร์บอนไนโอดอกไซด์อย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการกรองอนิquel ซึ่งลดลงอย่างต่อเนื่อง

นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณและประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการกักเก็บคาร์บอนเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณและประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนจะลดลง หลังค่าพีอีช 8.3 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ebrahimi et al. (2560) และ Jo et al. (2555) ในกรณีศึกษาค่าพีอีช และค่าการนำไฟฟ้า พบว่า แคลเซียมคาร์บอนเนตจะเกิดการละลายกลับไปในรูปของแคลเซียมไออกอน เมื่อค่าพีอีช 8.3 ดังนั้นค่าพีอีช 8.3 จึงเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับใช้หยุดการสังเคราะห์เก้าออยคาร์บอนเนต

ในด้านของการเพิ่มสัดส่วนเก้าออยต่อน้ำ จาก 50 เป็น 100 และ 200 g/L ส่งผลให้สารตั้งต้นเพิ่มขึ้น ทำให้เวลาที่ใช้ในการกักเก็บคาร์บอนนานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ji et al. (2560) นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณและประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนจะลดลง จากการเพิ่มสัดส่วนเก้าออยต่อน้ำ เนื่องจากปริมาณน้ำที่ลดลง ทำให้การละลายของแคลเซียมออกไซด์ และการละลายของคาร์บอนไนโอดอกไซด์ลดลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dananjayan et al. (2559) ดังนั้นจึงเลือกเก้าออยที่สัดส่วนเก้าออยต่อน้ำจาก 50 g/L เนื่องจากมีปริมาณและประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนสูงที่สุด  $66.69 \text{ mgCO}_2/\text{gFA}$  และ 26.5% ตามลำดับ

การเพิ่มร้อยละการทดสอบปูนซีเมนต์ด้วยเก้าออยและเก้าออยคาร์บอนเนต ส่งผลให้ความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ลดลง ตามมาตรฐานการไหลแต่ และเมื่อเปรียบเทียบการใช้เก้าออยและเก้าออยคาร์บอนเนตทดสอบในร้อยละที่เท่ากัน พบว่า มอร์ตาร์ที่ผสมด้วยเก้าออยคาร์บอนเนต มีค่าความต้องการน้ำมากกว่ามอร์ตาร์ที่ผสมด้วยเก้าออย เนื่องจากลักษณะอนุภาคของเก้าออยคาร์บอนเนต มีรูปร่างทรงสี่เหลี่ยม (Jo et al., 2555) ในขณะที่เก้าออย มีลักษณะรูปร่างทรงกลมและมีผิวนิ่ม จึงทำให้ความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมด้วยเก้าออยคาร์บอนเนต มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่ผสมด้วยเก้าออย (Chindaprasirt et al., 2547)

การเพิ่มร้อยละการทดสอบปูนซีเมนต์ด้วยเก้าออย และเก้าออยคาร์บอนเนต ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่อายุนับเดียวทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ebrahimi et al., (2560) ที่นำเก้าออยคาร์บอนเนตทดสอบปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 และ 30 โดยน้ำหนัก ผลคือการทดสอบปูนซีเมนต์ด้วยเก้าออย ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้แคลเซียมซิลิกेट ไฮเดรต (C-S-H) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของปูนซีเมนต์จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน มีปริมาณน้ำของส่งผลให้อัตราการพัฒนากำลังรับแรงอัดลดลงตามไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัด จากการใช้เก้าออย และเก้าออยคาร์บอนเนตทดสอบในร้อยละที่เท่ากัน และที่อายุนับเดียวทั้งนี้ พบว่า การทดสอบด้วยเก้าออย คาร์บอนเนต ให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่น้อยกว่าการทดสอบด้วยเก้าออย เนื่องจากแคลเซียมออกไซด์ในเก้าออยระหว่างการสังเคราะห์ เกิดเป็นแคลเซียมคาร์บอนเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ซึ่งแคลเซียมคาร์บอนเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ดังกล่าวจะไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีร่วมกับปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration reaction) หรือจากปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic reaction) (ประภาศิลป์ ไกร et al., 2561)

ในการเบริญเทียนกัมมอร์ตาร์มาตรฐานโดยพิจารณาจากค่าดัชนีกำลังของมอร์ตาร์ที่ทดสอบด้วยถ้า  
คลอยและถ้าลอยการ์บอนเตอร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ดังแสดงตารางที่ 4 พบว่า ค่าดัชนีกำลังของมอร์ตาร์  
ทุกตัวอย่าง ยกเว้น มอร์ตาร์ที่ทดสอบด้วยถ้าลอยการ์บอนเตอร้อยละ 30 เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C618

จากการศึกษา พบว่า การสังเคราะห์ถ้าลอยการ์บอนเตอร์ที่สัดส่วนน้ำต่อถ้าลอย 50 g/L มีปริมาณและ  
ประสิทธิภาพการกักเก็บการ์บอนสูงที่สุด มีค่าเป็น  $66.69 \text{ mgCO}_2/\text{gFA}$  26.5% ตามลำดับ และมีความเป็นไปได้ใน  
การผลิตเป็นวัสดุทดสอบปูนซีเมนต์ที่ช่วยลดการเกิด  $\text{CO}_2$  ได้ เนื่องจากกำลังรับแรงอัดและดัชนีรับแรงอัดที่ได้  
เป็นไปตามข้อกำหนด สำหรับการนำวัสดุปูชโซล่ามาใช้งานในการทดสอบปูนซีเมนต์ตามมาตรฐาน ASTM  
C618

## 7. ข้อเสนอแนะ

ผลของปริมาณและประสิทธิภาพการกักเก็บการ์บอนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์ใน  
ถ้าลอยซึ่งจะแตกต่างกันตามแหล่งกำเนิดของถ่านหิน

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้เขียนนบทความขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต่องานวิจัย

## 9. เอกสารอ้างอิง

- Bobicki, E. R., Liu, Q., Xu, Z., & Zeng, H. (2012). Carbon capture and storage using alkaline industrial wastes. *Progress in Energy and Combustion Science*, 38(2), 302-320.
- Chindaprasirt, P., Homwuttiwong, S., & Sirivivatnanon, V. (2547). Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar. *Cement and Concrete Research*, 34(7), 1087-1092.
- Dananjayan, R. R. T., Kandasamy, P., & Andimuthu, R. (2559). Direct mineral carbonation of coal fly ash for  $\text{CO}_2$  sequestration. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4173-4182.
- Ebrahimi, A., Saffari, M., Milani, D., Montoya, A., Valix, M., & Abbas, A. (2560). Sustainable transformation of fly ash industrial waste into a construction cement blend via  $\text{CO}_2$  carbonation. *Journal of Cleaner Production*, 156, 660-669.
- Gibbs, M. J., Soyka, P., & Conneely, D. (2544).  $\text{CO}_2$  emissions from cement production. *Good practice guidance and uncertainty management in National Greenhouse gas inventories*, 175-182.
- Ji, L., Yu, H., Wang, X., Grigore, M., French, D., Gözükara, Y. M., Yu, J., & Zeng, M. (2560).  $\text{CO}_2$  sequestration by direct mineralisation using fly ash from Chinese Shenhua coal. *Fuel Processing Technology*, 156, 429-437.
- Jo, H. Y., Kim, J. H., Lee, Y. J., Lee, M., & Choh, S.-J. (2555). Evaluation of factors affecting mineral carbonation of  $\text{CO}_2$  using coal fly ash in aqueous solutions under ambient conditions. *Chemical Engineering Journal*, 183, 77-87.

- Nyambura, M. G., Mugera, G. W., Felicia, P. L., & Gathura, N. P. (2554). Carbonation of brine impacted fractionated coal fly ash: Implications for CO<sub>2</sub> sequestration. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 655-664.
- Zhu, C., Lou, Y., Shen, X., Xu, H., & Yang, J. (2564). Influence of CaO Content on the Fly Ash–Lime System Hydrothermal Synthesis Reaction Under Autoclave Curing. *Frontiers in Physics*, 9. doi: 10.3389/fphy.2021.782309
- ประภาศิษ โลไกร, กิตติคุณ มั่งคั้ง, สถาพร ปกป่อง, จุฬาลักษณ์ ชาญญาล, & ณัฐสุร์ มาภูล. (2561). ผลกระทบของความละเอียดของผงเคลือบซึ่งมีการ์บอนเนตต่อสมบัติเชิงกลของคอนกรีตชนิดอัดแน่น ได้ด้วยตัวเองผ่านการถูกทดสอบ. *วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร*, 13(1), 84-106.
- กัทรพร คิม. (2561). การนำคาร์บอนไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์: สถานการณ์ อุปสรรค และความท้าทาย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [https://chem.eng.chula.ac.th/wp-content/uploads/2021/03/3\\_BCGeTEC\\_Newsletter\\_Feb-2021.pdf](https://chem.eng.chula.ac.th/wp-content/uploads/2021/03/3_BCGeTEC_Newsletter_Feb-2021.pdf)

## การแปลงสภาพของเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนให้เป็นพลังงานเชื้อเพลิง ด้วยการไฮโดรเทอร์มอลการ์บอนไนเซชัน

### TRANSFORMATION OF MANGOSTEEN AND DURIAN PEEL-WASTES TO FUEL ENERGY BY HYDROTHERMAL CARBONIZATION

อรณี คงรินทร์, นุรักษ์ กฤณาธุรกษ์  
สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
E-mail: oranee.kot@dome.tu.ac.th

#### บทคัดย่อ

เปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนที่มีปริมาณมากตามฤดูกาลผลิตเป็นปุ๋ยหาต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจาก การย่อยสลายที่ยากและขังส่งกลิ่น วิจัยนี้จึงนำเทคโนโลยีไฮโดรเทอร์มอลการ์บอนไนเซชันเพื่อแปลงสภาพของเสีย ดังกล่าวให้เป็นพลังงาน ด้วยค่าการบ่อนที่สูงของเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนคือประมาณ 52% และ 47% ตามลำดับ เปลือกดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลการ์บอนไนเซชัน ในอัตราส่วนของน้ำที่ 1:10 ที่ อุณหภูมิ 180, 220 และ 240 องศา ในระยะเวลา 30 และ 60 นาที พบว่าค่าไฮดราร์ที่ได้หลังจากทำปฏิกิริยาของเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนให้ค่าสัดส่วน O/C H/C และค่าความร้อนเช่นเดียวกับถ่าน Bituminous โดยมีค่า ชัลเฟอร์น้อยมากเทียบกับถ่านหิน สภาพดีสุดคือ 240°C 30-60 นาที

คำสำคัญ: ไฮโดรเทอร์มอลการ์บอนไนเซชัน, ชีวมวล, เปลือกมังคุด, เปลือกทุเรียน

#### ABSTRACT

Mangosteen and durian have generated a lot of waste during their seasons. After the open dumping, it causes a nuisance odor. In this study, the hydrothermal carbonization has been applied to develop these waste to possible energy sources. Since the waste contained high carbon content of 52 and 47% wt, respectively, we then tested the reactions by adding water ratio of 10 for every 1 g of waste. The operating time was studied between 30-60 min. It was found that the optimal conditions for both waste were in the same range of 240°C 30-60 min., providing the thermal properties close to bituminous coal quality based on O/C and H/C ratios.

**Keywords:** Hydrothermal Carbonization, Biomass, Mangosteen Peel, Durian Peel

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ประเทศไทยมีผลไม้ทางเศรษฐกิจหลากหลายชนิด เป็นที่นิยมทั่วไปสูงในภาคในและนอกประเทศ ความนิยมทำให้จำพวกทุเรียนและมังคุดมีมากในช่วงเดือนเมษายน ถึง เดือนมิถุนายน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2020) โดยทั่วไปผลไม้จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ เนื้อ (10-30%) เมล็ด (2-20%) และเปลือก (50 – 83%) และมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ น้ำ คาร์บอโนไฮเดรต โปรตีน ไขมัน กรดอินทรีย์ รงควัตถุ สารให้กลิ่นรส และวิตามิน ซึ่งหลักๆ มีเพียงแค่นื้อผลไม้ที่ทำให้เกิดประโยชน์ อาทิ การนำไปแปรรูปอาหารต่างๆ และในส่วนของเปลือก และเมล็ดที่เป็นเศษเหลือทั้งที่มีปริมาณมาก จึงก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและการสูญเสียของประมาณในการกำจัด การเพิ่มน้ำหนักของเศษของเหลือทั้งจากผลไม้ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในปัจจุบัน คือ ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และลดความจำเป็นในการกำจัดของเสีย (นรินทร์, 2018)

ดังนั้นเพื่อเป็นการทำให้เปลือกผลไม้เกิดประโยชน์มากขึ้น ควรแปรสภาพให้กลายเป็นพลังงานเนื่องจากเปลือกผลไม้มีปริมาณเชื้อ หายใจง่าย มีปริมาณการบ่อนเป็นองค์ประกอบสูง และชังมีลิกนินและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ (ประพันธ์และสุภาพร, 2019)

ปัจจุบันเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนยังถูกนำไปกำจัดแบบฟังก์ชันหรือเผาทิ้งเป็นส่วนใหญ่ ยังไม่พบการกำจัดโดยรูปแบบอื่นๆ ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลายด้าน อาทิ กลิ่นจากเปลือกทุเรียน กลิ่นจากการก่อสร้างและสลายของเปลือกผลไม้ที่ฟังก์ชัน และมลพิษกวนจากการเผาไหม้เศษเปลือกผลไม้ เมื่อศึกษาองค์ประกอบของเปลือกผลไม้ จะพบว่าเปลือกผลไม้มีองค์ประกอบของสารบ่อนสูงและมีองค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลส เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสามารถนำมาทำเป็นเชื้อมวลด้วยเชื้อแบคทีเรีย ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นเปลือกผลไม้สามารถนำไปกำจัดหรือนำไปแปรสภาพ เพื่อเพิ่มน้ำหนักหรือเปลี่ยนแปลงให้เป็นพลังงาน ได้ด้วยกระบวนการเกิดปฏิกิริยาอื่นๆ เช่น นำเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนเข้ากระบวนการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลการ์บอนไนเซชัน

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลการ์บอนไนเซชัน (Hydrothermal Carbonization, HTC) เป็นกระบวนการเบลี่ยนรูปปัจจุบันให้มีสภาพเป็นถ่าน เรียกว่า ไฮโดรชาาร์ (Hydrochar) โดยจะมีคุณลักษณะที่มีปริมาณการบ่อนสูง และค่าความร้อนสูงขึ้น ซึ่งกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลการ์บอนไนเซชัน สามารถประยุกต์กับของเสียหลากหลาย เช่น ขยะอินทรีย์จากชุมชน ผลผลิตจากเกษตรกรรมที่มีความชื้นคงเหลืออยู่ ตะกอนน้ำเสีย เป็นต้น ซึ่งวัตถุดินสามารถมีความชื้นได้มากถึงร้อยละ 75-90 โดยไม่ต้องนำไปทำให้แห้งก่อน กระบวนการ HTC เป็นกระบวนการใช้ความดันสูงในช่วง 180-250°C และความดันอยู่ที่ 10 – 50 บาร์ เป็นระยะเวลา 0.5 – 8 ชั่วโมง (ดันสุรัณ, 2019)

ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์คือ การศึกษาการแปรสภาพของเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนให้เกิดประโยชน์ โดยการแปรสภาพให้กลายเป็นพลังงานและนำผลิตภัณฑ์ของแข็งหรือไฮโดรชาาร์ผ่านกระบวนการ HTC

## 2. วัตถุประสงค์ของวิจัย

เพื่อศึกษาการแปรสภาพของเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนให้เปลี่ยนด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

## 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในองค์ประกอบทางเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียน ได้มีการศึกษาพบว่า เปลือกมังคุดมีลักษณะและมีค่าบ่อนสูง มีโครงสร้างประกอบด้วยเซลลูโลส ลิกนิน และเอมิเซลลูโลส จึงเหมาะสมสำหรับนำมาทำเป็นถ่านกัมมันต์ (Aizat et al, 2019) นอกจากนี้เปลือกมังคุดมีปริมาณออกซิเจน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนลดลง เมื่อมี

การนำบัคดี้หลักการไนโตรเจฟ แต่ระดับคาร์บอนกับสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าเปลือกมังคุดมีค่าคาร์บอนที่บริสุทธิ์สูงและมีความเสถียรทางความร้อน (Foo et al, 2012)

ส่วนเปลือกทุเรียน มีผู้ศึกษาพบว่าเปลือกทุเรียนมีคุณสมบัติทางเคมีดังนี้ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) 18.5%, ของแข็งระยะยาว (VS) 17.4%, ปริมาณของแข็งระยะยาวต่อของแข็งทั้งหมด (VS/TS) 94.0% และปริมาณเชลลูโลสและเอมิเซลลูโลส 33.3% และ 17.7% ตามลำดับ โดยมีผลรวม 51.0% ของโครงสร้างการไฟเบอร์ ปริมาณลิกนิน 8.5% โดยปริมาณ (Wang et al, 2022) จากที่เปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบอินทรีย์สูงกว่ามูลสัตว์ เนื่องจากมีปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) 18.5%, อัตราส่วนของแข็งระยะยาวต่อของแข็งทั้งหมด (VS/TS) 96.3% ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าอัตราส่วนของมูลสัตว์ และมีปริมาณเชลลูโลส 23.4% เสมอเซลลูโลส 15.22-24.3% ปริมาณลิกนิน 10.6-18.4% และปริมาณลิกโนเซลลูโลส 18.2% (Shen et al, 2019; Panakal et al, 2021)

#### กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลการ์บอนไซซ์ชัน

HTC เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเปยกจำพวกพืชหลายชนิด ของเสีย รวมทั้งกาตตะกอนน้ำเสีย ขยะมูลฝอยชุมชน เนื่องจากคุณภาพน้ำจะประกอบด้วยชีวมวลลิกโนเซลลูโลสเป็นหลัก ให้เป็นพลังงานและสารเคมี ได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งเรียกว่า ไฮโดรชาาร์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการเตรียมเป็นสารตั้งต้นของถ่านกัมมันต์ ในน้ำเสีย การนำบัคคุมลักษณะ (Wang et al, 2018) ระบบ HTC ที่เป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจนของสารประกอบที่มีอินทรีย์ต่ำในปริมาณสูง เพื่อเปลี่ยนแปลงให้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ สารปรับปรุงคุณภาพ หรือถ่านกัมมันต์ ซึ่งกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลก็เป็นกระบวนการการอย่างหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนแปลงสารประกอบให้มีประสิทธิภาพ ด้านพลังงานสูงขึ้น ในการศึกษานี้ได้ทดลองกับ 2 ตัวอย่างนั่นคือ มูลวัวจากการโรงจานก้าชีวภาพทั่วไปและขยะมูลฝอยจากโรงงานคัดแยกเบะ มาทำการกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ในอัตราส่วนน้ำต่อชีวมวลที่แห้ง คือ 12 : 1 โดยกำหนดจากอัตราส่วนมาก/มวลของน้ำทั้งหมด ต่อ มวลของวัตถุคุณภาพรูปแบบแห้ง (ขนาดของตัวอย่างชีวมวลแห้งโดยประมาณ 200 กรัม) หลังจากนั้นนำชีวมวลและน้ำใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปริมาตร 4 ลิตร และถูกไอล์ดี้ในเตาเรน ตั้งอุณหภูมิที่ 200°C และแรงดัน 15 บาร์ เมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งไว้ให้เริ่มปิดและทิ้งไว้ในเครื่องปฏิกรณ์ไว้ 4.5 ชม. หรือ 270 นาที ให้เย็นลง หลังจากนั้นให้กรองเพื่อแยกของแข็งออกมาให้หมด และมีการตรวจสอบไฮโดรชาาร์ในระบบทะลึ้นและสุดท้าย และวิเคราะห์ด้วย TGA จากการทดลองพบว่ากระบวนการไฮโดรเทอร์มอลทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น (Pawlak et al, 2020) โดยเฉพาะฟางข้าวโพดด้วยสารละลายชีวภาพ ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาด 100 มิลลิลิตร ซึ่งกำหนดอุณหภูมิตั้ง 160 – 280°C และอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวถูกกำหนดไว้ที่ 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, 1:25 หลังจากนั้นนำเข้าเครื่องปฏิกรณ์ที่อัดแรงดันในเตาเรนที่ 1 Mpa เมื่อเครื่องปฏิกรณ์ร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ และพักไว้ในเครื่องปฏิกรณ์ 400 นาที หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปกรองแบบสุญญากาศ เพื่อแยกของแข็งและของเหลว ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้ (ไฮโดรชาาร์) จะถังด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไฮโดรชาาร์แห้งเก็บไว้ในถุงโพลีเอทิลีนที่ปิดสนิทสำหรับนำไปวิเคราะห์เพิ่มเติม ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมสมอยู่ที่อุณหภูมิ 250 °C ในอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:10 การคำนวณน้ำหนักของไฮโดรชาาร์ (Jiang et al, 2022) ดังสมการนี้

$$\text{Hydrochar yield (\%)} = \frac{W(\text{HC, dry})}{W(\text{feedstock, dry})} \times 100\%$$

ในกรณีที่ทดลองกับกาตตะกอนน้ำเสีย เพื่อการนำมาฟอกฟ้อร์สและพลังงานกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งหลักการคือทำไฮโดรเทอร์มอลกำหนดที่อุณหภูมิ 180-210 และ 240 °C ใช้เวลา 1 ชม. หลังจากนั้นก็นำมากรองเพื่อให้ได้ไฮโดรชาาร์ออกมานำไปประกอบ HCl 1 N ในเครื่องแยก 2 ชั้น. (ทำชั้น 2 ครั้ง) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์

และนำไฮdrochar ที่ได้เข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชม. พนว่าไฮdroเทอร์mol ที่อุณหภูมิ 180 °C สามารถให้ประสิทธิภาพของพลังงานที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 95% ส่วนการใช้มูลสัตว์จากฟาร์มโคนม เพื่อนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้อัตราส่วนของเพียงต่อน้ำ 1:3 ในส่วนของปริมาตร 50 ml ของเครื่องปฏิกรณ์ และกำหนดอุณหภูมิที่ 180, 210 และ 240 °C โดยใช้ระยะเวลา 1 ชม. หลังจากนั้นให้นำมาตั้งในอ่างน้ำแข็ง และแยกไฮdrochar กับน้ำออกจากกันโดยเครื่องบีบอัด 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปอบที่ 105 °C 24 ชม. (Marin-Batista et al, 2020; Belete, 2021) Hydrochar yield สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Hydrochar yield (\%)} = \frac{\text{Dry mass of hydrochar}}{\text{Dry mass of feedstock}} \times 100$$

#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาคุณสมบัติของเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนเบื้องต้น โดยนำเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนมาอบด้วยหม้อน้ำร้อน 30 นาที และนำไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติ ค่าความชื้น องค์ประกอบบน (ปริมาณเซลลูโลส เอเมิร์ชลูโลส และลิกนิน) องค์ประกอบบนชาตุ (CHNOS)

เปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนที่อบแล้วจะทำการไฮdroเทอร์mol กระบวนการนี้ในเซชัน โดยการบีบให้ก่อนจากนั้นเอาไปผสมกับน้ำ ตามสัดส่วน 1 กรัม : 10 มิลลิลิตรน้ำโดยน้ำหนัก นำเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ไฮdroเทอร์mol ภายใต้บรรยายของแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 180, 220, และ 240 °C เวลาที่กำหนดคือ 30 และ 60 นาที ลักษณะของช่องซื้อตัวอย่างกำหนดเป็น D และ M ตามค่าอุณหภูมิและเวลา เช่น M180-30 หมายถึง เปลือกมังคุดที่ทำการทดลองที่ 180 °C ใน 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 1



ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกกรองแยกส่วนของเพียงกับของเหลวแล้วนำไปวิเคราะห์ค่าความร้อนและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ด้วยเครื่องมือดังนี้ เครื่องมือวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน (Bomb Calorimeter) รุ่น IKA C600 ISOPERIBOL, เครื่องวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิความร้อน (Thermogravimetric Analysis) รุ่น Mettler Toledo TGA2

เงื่อนไขการทำไฮdroเทอร์mol กระบวนการนี้

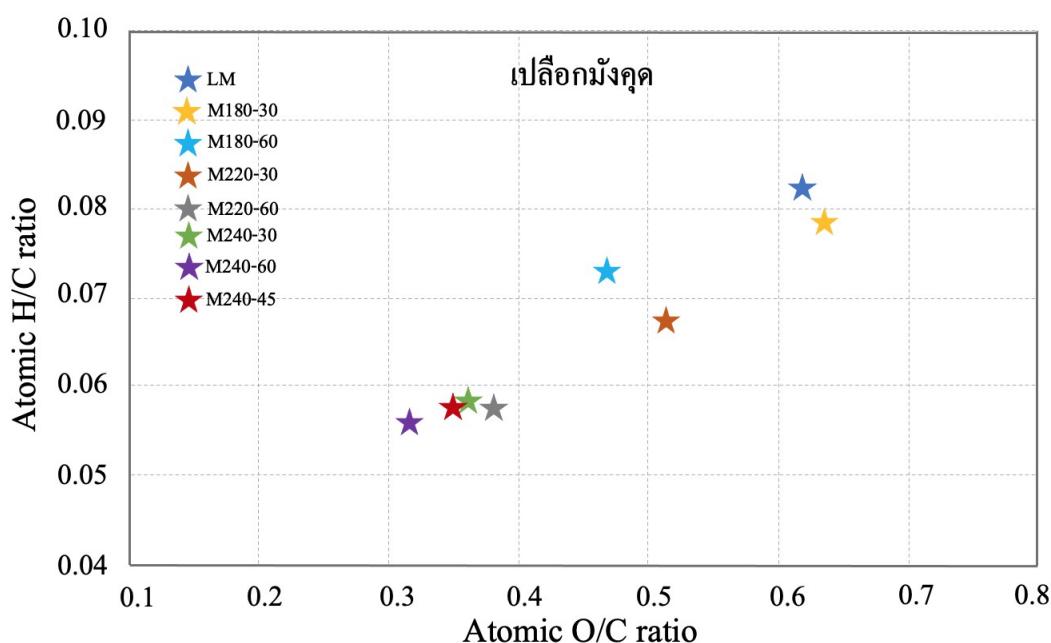
ผู้อ่อน化	เปลือกผลไม้	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
M1	เปลือกมังคุด	180	30
M2		180	60
M3		220	30
M4		220	60
M5		240	30
M6		240	60
D1	เปลือกทุเรียน	180	30
D2		180	60
D3		220	30
D4		220	60
D5		240	30
D6		240	60

รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำวิจัย

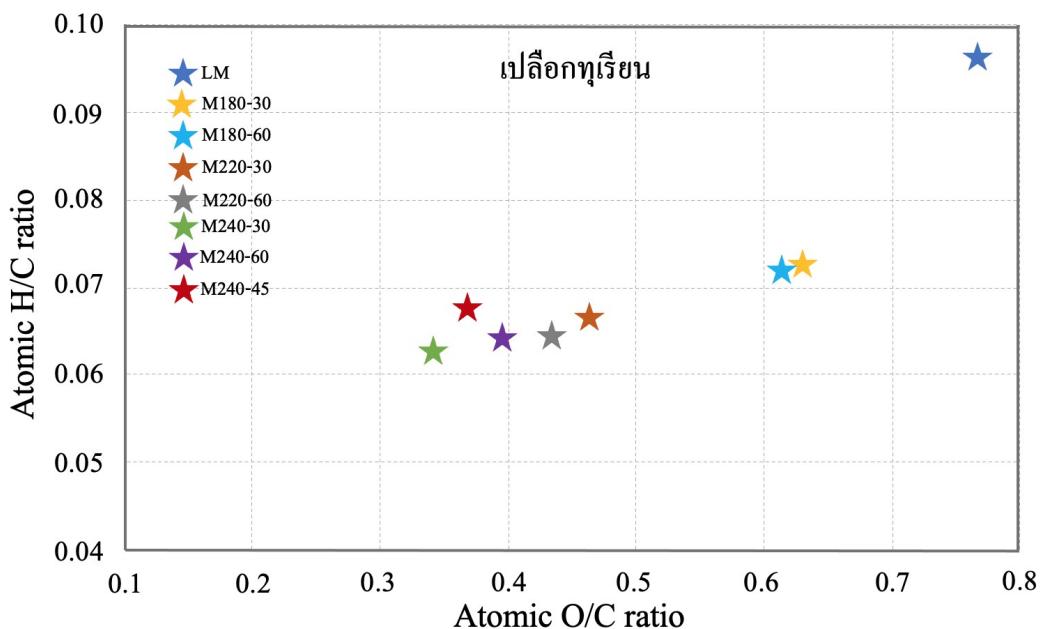
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกกรองแยกส่วนของเพียงกับของเหลวแล้วนำไปวิเคราะห์ค่าความร้อนและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ด้วยเครื่องมือดังนี้ เครื่องมือวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน (Bomb Calorimeter) รุ่น IKA C600 ISOPERIBOL, เครื่องวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิความร้อน (Thermogravimetric Analysis) รุ่น Mettler Toledo TGA2

## 5. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียน พบว่า เปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนมีค่าความร้อนที่ 14.78 และ 16.58 MJ/kg ตามลำดับ และค่าcarbонที่ 51.89 และ 46.72 % ตามลำดับ และประกอบด้วยองค์ประกอบชีวมวลต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับการแปรสภาพเป็นพลังงานเชื้อเพลิง เมื่อเข้าสู่กระบวนการ HTC พบว่า คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของชีวมวลของเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนลดลงเมื่อเปรียบเทียบ วัตถุเดิมตั้งต้น แสดงดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าสัดส่วนของ O/C และ H/C มีค่าสูงเข้าถ่านหิน Bituminous ที่มีค่าสัดส่วนของ O/C และ H/C ระหว่าง 0.1-0.3 และ 0.2-0.8 ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเวลา มากขึ้น แสดงให้เห็นว่า ในHTC ของเปลือกต่างๆ มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นคือ Dehydration และอาจมี Decarboxylation เกิดขึ้น โดยสภาวะที่ทำให้ของเสียลดไม่เปลี่ยนไปเป็นถ่านหินลิกไนต์ ที่ดีสุดคือ M240-60 ที่ให้ค่าสัดส่วนของ O/C และ H/C ระหว่าง 0.3 และ 0.055 ตามลำดับ และ D240-60 ที่ให้ค่าสัดส่วนของ O/C และ H/C ระหว่าง 0.35 และ 0.06 ตามลำดับ



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอะตอมออกซิเจนต่อ carbón (O/C) และไฮโดรเจน ต่อ carbón (H/C) ของเปลือกมังคุด

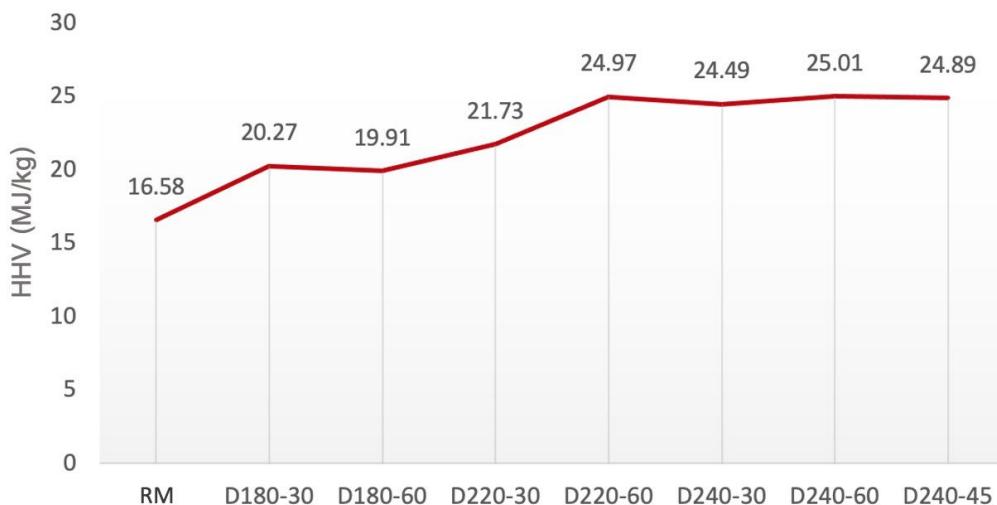


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) และไฮโดรเจน  
ต่อคาร์บอน (H/C) ของเปลือกหุรียน



รูปที่ 4 ค่าความร้อน (MJ/kg) ของเปลือกมังคุด

## เปลือกหุเรียน



รูปที่ 5 ค่าความร้อน (MJ/kg) ของเปลือกหุเรียน

ดังพิจารณาจากรูปที่ 4-5 พิจารณาที่ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ได้ จะพบว่า ค่าความร้อนมีค่ามากขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาเช่นกัน โดยมีค่ามากกว่า 25 MJ/kg ซึ่งมีค่าเทียบเคียงกับค่าความร้อนของถ่านหิน Bituminous และ ถ่านหิน lignite bituminous คือ 16.3 และ 23 MJ/kg ตามลำดับ

## 6. อภิปรายผล

จากการศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบต่าง ๆ ของเปลือกมังคุดและเปลือกหุเรียน พบว่า เปลือกผลไม้ทั้ง 2 ชนิด ให้ค่าความร้อนที่อุณหภูมิ 240 องศา อยู่ในช่วงระยะเวลา 30 – 60 นาที จึงทำให้พิจารณาศึกษาเพิ่มเติม ในช่วงระยะเวลาที่ 45 นาทีทั้ง 2 ชนิด ดังเงื่อนไข\* ซึ่งค่าความร้อนของเปลือกมังคุดที่ได้คือ 25.63, 25.47, และ 25.38 ตามลำดับ และค่าความร้อนของเปลือกหุเรียนที่ได้คือ 24.49, 25.01 และ 24.89 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเทียบเคียง กับค่าความร้อนของถ่านหิน Bituminous และ ถ่านหิน lignite bituminous คือ 16.3 และ 23 MJ/kg ตามลำดับ ดังนี้เปลือกมังคุดและเปลือกหุเรียน สามารถนำมาทำไส้โตรเทอนอลคาร์บอนในเซ็นทรัลในการแปรสภาพให้เปลี่ยนไปเป็นพลังงานได้

## 7. บทสรุปและเสนอแนะ

กระบวนการ HTC สามารถเพิ่มคุณค่าขององค์ประกอบในเปลือกผลไม้ให้มีค่าพลังงานที่สูงขึ้นในเวลาอันสั้นที่ อุณหภูมิสูง 240°C โดยให้ค่าเทียบเคียงถ่านหิน โดยที่ไม่มีการลงทุน เนื่องจากวัตถุคือหลักที่นำมาใช้เป็นของเสีย ถูกนำไปทิ้ง เพื่อรอการกำจัด และ HTC สามารถนำไปใช้ประโยชน์กับชีวมวลอื่น ได้ เช่น กัน อาทิ เศษอาหาร เกษปีชักดั่งฯ โดยที่ไม่ต้องกำจัดความชื้นก่อนเข้ากระบวนการ

ไส้โตรchar์หรือของแข็งที่ได้จากการกระบวนการ HTC นั้น สามารถนำไปแปรสภาพเป็นอย่างอื่น ได้อีก โดยการนำไปทำเป็นถ่านกัมมันต์ หรือนำไปศึกษาและทดลองทำปฏิกิริยา กับกรด เพื่อแปรสภาพให้กลายเป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไป

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ Thammasat School of Engineering คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายบางส่วนในการทำวิจัย

## 9. เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร, (2020). “การจัดชั้นคุณภาพผลไม้” วารสารทางวิชาการ, ประเทศไทย
- คณูสรณ์ คงสมจิตต์, (2019). “การผลิตถ่านก้มมันต์จากชานอ้อยด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไซเดชัน และการกระตุ้นด้วยไอน้ำเพื่อใช้ในการดูดซับน้ำในน้ำเชื่อม” วิทยานิพนธ์, ประเทศไทย.
- นรินทร์ เจริญพันธ์, (2018). “องค์ประกอบทางเคมีและแนวโน้มการใช้ประโยชน์จากผลผลิตไก่และเศษเหลือทึ่งจากการแปรรูปผลไม้เขตร้อน 4 ชนิด” บทความวิชาการ, ประเทศไทย.
- ประพันธ์และสุกារพ, (2019). “การใช้ประโยชน์จากเปลือกทุเรียนสำหรับผลิตสารกรองน้ำเพื่อดูดซับธาตุเหล็ก” วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และวิชาศาสตร์ประยุกต์, ประเทศไทย.
- Aizat et al, (2019). “Valorization of mangosteen, “The Queen of Fruits,” and new advances in postharvest and in food and engineering applications: A review” *Journal of Advanced Research, Malaysia*.
- Belete, (2021). “Hydrothermal carbonization of anaerobic digestate and manure from a dairy farm on energy recovery and the fate of nutrients” *Bioresource Technology, United States*.
- Foo et al, (2012). “Factors affecting the carbon yield and adsorption capability of the mangosteen peel activated carbon prepared by microwave assisted K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> activation” *Chemical Engineering Journal, Malaysia*.
- Jiang et al, (2022). “Hydrothermal carbonization of corn straw in biogas slurry” *Journal of Cleaner Production, China*.
- Marin-Batista et al, (2020). “Energy and phosphorous recovery through hydrothermal carbonization of digested sewage sludge” *Waste Management, Spain*.
- Panakal et al, (2021). “Impact of sulfuric acid pretreatment of durian peel on the production of fermentable sugar and ethanol” *Journal of the Indian Chemical Society, Thailand*.
- Pawlak et al, (2020). “Hydrothermal carbonization of agricultural and municipal solid waste digestates – Structure and energetic properties of the solid products” *Fuel, Poland*.
- Shen et al, (2019). “Biogas production from anaerobic co-digestion of durian shell with chicken, dairy, and pig manures” *Energy Conversion and Management, China*.
- Wang et al, (2022). “Recycling durian shell and jackfruit peel via anaerobic digestion” *Bioresource Technology, China*.
- Wang et al, (2018). “A review of the hydrothermal carbonization of biomass waste for hydrochar formation: Process conditions, fundamentals, and physicochemical properties” *Renewable and Sustainable Energy Reviews, China*.

## การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำภาคตะกอนคอนกรีตมาใช้เป็นส่วนผสมของการผลิต

อิฐบล็อกประสานแทนดินลูกรัง

**FEASIBILITY STUDY OF USING CONCRETE SLUDGE FOR REPLACING**

**LATERITE SOIL IN MIXING OF INTERLOCK BRICKS**

ขัยวัฒน์ ตั้งใจ

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

E-mail: chaiwat9683@gmail.com

รศ.ดร.เสรีย์ ตุ้ปประกาย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

E-mail: seree.t@gmail.com

### บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังผสมภาคตะกอนคอนกรีตที่นำมาใช้ทดแทนดินลูกรัง ที่อัตราส่วน ร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักในการนำมาทำอิฐบล็อกประสาน โดยการทดสอบคุณสมบัติทางด้านการรับแรงอัด กับ การทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำเบรเยนเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน หรือมพช. โดยแบ่งการทำก้อนตัวอย่างทั้งเป็น 2 รูปแบบ คือ 1. แบบลูกบาศก์ขนาด 5 ซม. แต่ละอัตราส่วนเก็บตัวอย่างจำนวน 9 ก้อนรวมทั้งหมดจำนวน 36 ก้อนเพื่อใช้ทดสอบการรับกำลังรับแรงอัด ที่ อายุ 7 , 10 และ 15 วัน และรูปแบบที่ 2 ผลิตเป็นอิฐบล็อกประสานขนาดมาตรฐาน คือ  $12.5 \times 10 \times 25$  ซม. ด้วยเครื่องอัดแบบก้นโดย (ชินวาเรม) เพื่อนำมาทดสอบหาค่าการดูดกลืนน้ำ ที่อายุการบ่ม 14 วัน ซึ่งในส่วนของการทดสอบนี้จะทำการทดสอบแค่ตัวอย่างอิฐบล็อกประสานของแต่ละส่วนผสมแค่เพียงอย่างละ 1 ก้อน รวมทั้งหมดจำนวน 4 ก้อน เพื่อใช้สำหรับคูณไว้ในส่วนของการดูดซึมน้ำเพียงเท่านั้น

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าอิฐบล็อกประสานที่ผสมภาคตะกอนคอนกรีตมีผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มพช. อิฐบล็อกประสาน ทั้ง แบบรับน้ำหนัก และ แบบไม่รับน้ำหนัก สรุปได้ว่า ในด้านความแข็งแรง ภาคตะกอนคอนกรีตสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมทดแทนดินลูกรังได้ ที่ อัตราส่วนผสม ทดแทนร้อยละ 10 , 15 และ 20 ตามน้ำหนัก แต่แนวโน้มค่ากำลังอัดจะลดลงเมื่อใช้ปริมาณภาคตะกอนคอนกรีต ในส่วนผสมมากขึ้น รวมถึงการทดสอบคอนกรีตมีผลทำให้การดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานเพิ่มมากขึ้นด้วย เช่นกัน

**คำสำคัญ:** ภาคตะกอนคอนกรีต

## ABSTRACT

This research aim to study property of laterite soil before use mixing ratio in interlock brick with sludge concrete waste and compare property in water absorption and compressive strength . The ratio for use sludge concrete waste to placing laterite soil use at ratio 0%, 10%, 15% and 20% by weight compare with Thai Standard of Community Product . The pattern of sample test have 2 type , The cube shape is first type cube size 5 cm. x 5 cm. x 5 cm. for compressive test average by 3 pieces of each mixing ratio, The total sample cube shape 36 pieces. The compressive test was test at curing time 7 days, 10 days and 15 days this research not test at 28 days because don't consider as development strength as concrete, will compare test result with Thai Standard of Community Product only. The second type of shape interlock brick size 12.5 cm. x 10 cm. x 25 cm. by using machine Cinva -Ram for water absorption test at curing time 14 days by test one product per mixing ratio (total sample 4 pieces) for estimate trend of water absorption only

From this study, it was found that the mechanical properties test of interlocking brick mixed with sludge. In conclusion, it has compressive properties. Pass the criteria for both types of interlocking bricks that is a weight-bearing brick And without weight –bearing brick , That is Concrete sludge can be used as a substitute for laterite soil by follow mixing ratio by weight at 10 % 15 % and 20 % And the increased amount of concrete sludge There is no effect to increase the compressive strength in any way. But it will take a longer curing time than bricks that do not mix concrete sludge for use load-bearing interlocking brick can be used after curing 14 days , But the same time Bricks without sludge concrete waste , can be used as a load-bearing block after curing 7 days.

**Keywords:** Concrete Sludge

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

คอนกรีต เป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่มีความนิยมนำมาใช้ในงานก่อสร้างกันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็น ตึก อาคาร บ้านเรือน ถนน ชั้นส่วน โครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป รวมถึงการก่อสร้างระบบสาธารณูปโภค ต่างๆ เนื่องจากคอนกรีตมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับราคา มีความแข็งแรงทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยืนยาว อีกทั้ง ในปัจจุบันการใช้คอนกรีตมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น โดยสามารถ trobar สังจากหน่วยงานผลิตแพลนปูนได้ทันที ทำให้มีความรวดเร็วในการใช้งาน มีคุณภาพคงที่ จากการนำระบบคอมพิวเตอร์มาใช้ในการควบคุมในขั้นตอน การผสมด้วยเหตุดังกล่าว คอนกรีตผสมเสร็จซึ่งเป็นที่นิยมในหน่วยงานก่อสร้างต่างๆ เป็นอย่างมาก แต่เนื่องจาก คอนกรีตมีระยะเวลาจำกัดในการใช้งาน โดยทั่วไปมีอายุไม่เกิน 120 นาที นับตั้งแต่ผสมเสร็จพร้อมใช้งาน และต้องเทคโนโลยีที่สูง ต้องใช้เวลา 90 นาที ถ้าเกินกว่านั้นคอนกรีตจะเริ่มเสื่อมสภาพการไม่สามารถเทได้ หรือที่เรียกว่าคอนกรีตหมดอายุ จากการเกิดปฏิกิริยาไขดรัซซ์ในเนื้อคอนกรีต ซึ่งเราเรียก คอนกรีตที่หมดอายุ หรือที่เหลือจากการใช้งานจากการใช้งานจากการใช้งาน “ากคอนกรีตสด” ภาคคอนกรีตสดคั่งกล่าวส่วนมากหน่วยงานก่อสร้าง จะนิยมให้รถส่งคอนกรีตนำกลับไปทิ้งที่หน่วยผลิตหรือแพลนปูน โดยเทลงใน “บ่อคอนกรีตสด” ภาคคอนกรีตสดเมื่อทิ้งลงในบ่อคอนกรีตที่มีน้ำอยู่ ทำให้เกิดการตกตะกอนที่ก้นบ่อที่เรียกว่า “ากตะกอนคอนกรีต” ภาคคอนกรีตสด และภาคตะกอนคอนกรีตนี้ถือว่าเป็นขยะทางอุตสาหกรรม ดังนั้นการนำไป

กำลัง จึงเป็นหน้าที่ของทาง โรงงานที่จะต้องเป็นผู้รับผิดชอบ ทำให้เกิดภาระค่าใช้จ่ายจากการนำภาคคุณภาพไป กำลังด้วยตัวเอง ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีวิธีที่ดีที่สุดในการนำไปกำจัดอย่างเหมาะสม วิธีหนึ่งที่นิยมคือนำไปป้อมที่ หรือฟังก์กอน การที่โรงงานต้องเป็นผู้แบกรับค่าใช้จ่ายในกระบวนการกำจัดภาคคุณภาพดังกล่าว ทำให้เกิด ลักษณะของภาคคุณภาพที่เหลือใช้ไปทั้งตามที่ต่างๆ อย่างผิดกฎหมาย ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพทางด้าน สิ่งแวดล้อมในระยะยาวตามมาภายหลัง

ด้วยเหตุนี้ในการหาแนวทางเพื่อนำภาคคุณภาพกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่โดยการนำมาใช้เป็น ส่วนผสมในการทำ “อิฐบล็อกประสาน” ที่ทางผู้จัดทำหวังว่าจะสามารถเป็นอีกแนวทางเดียวหนึ่งเพื่อช่วยลด ปัญหาสิ่งแวดล้อมดังกล่าว อีกทั้งเพื่อการนำทรัพยากรมาใช้ให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่าที่สุด

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังที่นำมาใช้เป็นวัสดุผสมทำบล็อกประสานผสมภาคคุณภาพคุณภาพ
- เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติการรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานที่ผสมภาคคุณภาพคุณภาพ กับ อิฐบล็อกประสานที่ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มพช.)

## 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

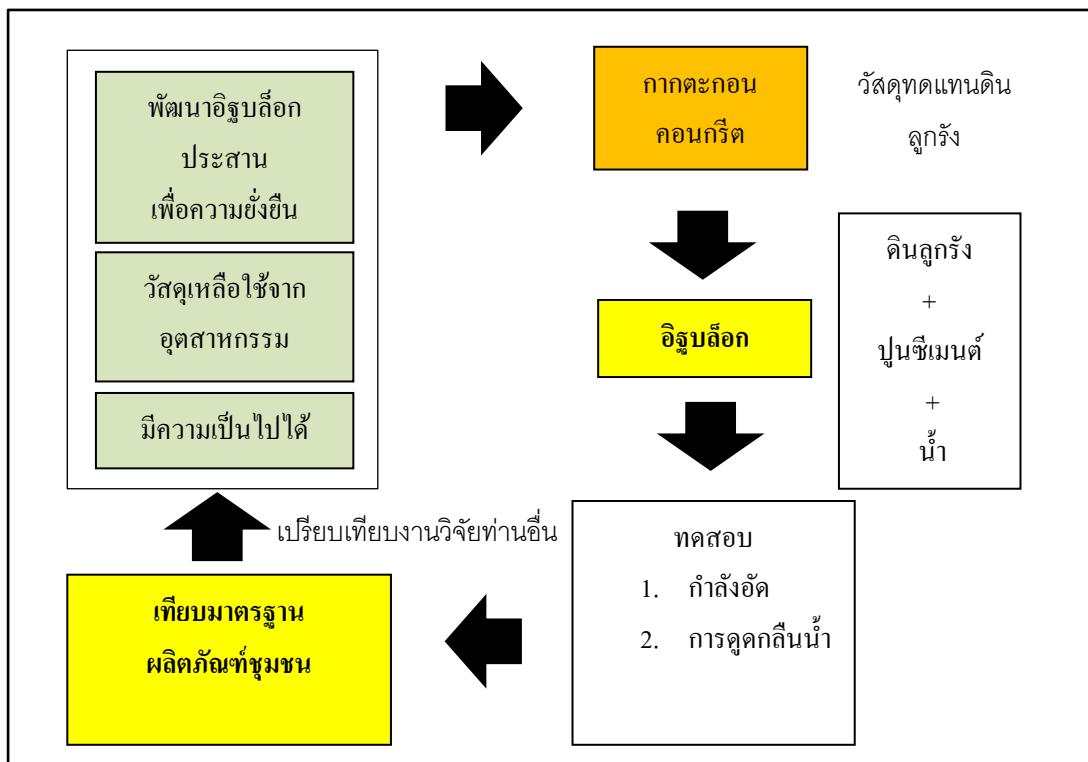
### 3.1 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิรศักดิ์ ใจห้าว (2560) ได้ศึกษาการนำมูลกากมาใช้เป็นส่วนผสมอิฐบล็อกประสานแทนดินลูกรัง ใน อัตราส่วนร้อยละ 2.5 5 7.5 และ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและใช้ปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมที่อัตราส่วน 1:7 นำก้อน ตัวอย่างทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มพช.) ที่อายุการบ่ม 3 7 14 และ 28 วัน จากการทดสอบการดูดซึมน้ำ มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามอัตราส่วนผสมของมูลกากแต่ทุกอัตราส่วนมีอัตรา การดูดกลืนน้ำผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มพช. 602 / 2547

ชุ่นไรา เจ้าคารี และคณะ (2561) ได้ศึกษาแนวทางการเพิ่มมูลค่าของภาคคุณภาพคุณภาพจากโรงงาน คุณภาพคุณภาพเสริจโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับขั้น และเสนอแนะแนวทางการจัดการภาคคุณภาพคุณภาพที่ได้ จากโรงงานคุณภาพคุณภาพเสริจ เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ ใช้วิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก จากระดับวิศวกร ผู้จัดการ ผู้บริหาร และผู้เชี่ยวชาญ ที่มีประสบการณ์ในอุตสาหกรรมคุณภาพคุณภาพจำนวน 10 ท่าน โดยศึกษาถึงปัจจัยที่มี อิทธิพลต่อการตัดสินใจในการเลือกแนวทางการจัดการภาคคุณภาพคุณภาพ

มลฤดี โอดพิสิฐ และสาลินี อาจารย์ (2561) ได้ศึกษาแนวทางการนำภาคคุณภาพคุณภาพกลับมาใช้ประโยชน์ โดยการนำภาคคุณภาพคุณภาพที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้นำกลับมาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้สามารถกลับมาใช้ใหม่ ในรูปแบบวัสดุทดแทนในส่วนคุณภาพคุณภาพ เป็น Concrete recycle จากการนำหิน ทรายกลับมาใช้ใหม่ทัดคลอง ส่วนผสมร้อยละ 0 20 40 และ 60 การทดลอง โดยการนำภาคคุณภาพคุณภาพที่ได้มาทำการทดสอบค่ากำลังอัดตาม มาตรฐานการทดสอบ พบร่วมกันว่า สัดส่วนที่นำมาใช้งานอย่างเหมาะสมในการแทนวัสดุใหม่อยู่ที่ร้อยละ 20 -40 %

### 3.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย



### 3.2 สมมติฐานการวิจัย

การนำภาคตะกอนคงกรีตมาใช้แทนดินในส่วนผสมของอิฐบล็อกประสาน สามารถนำมาทดแทนได้ หากใช้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เมื่องจากภาคตะกอนคงกรีตมีความคงเสียมากกว่ามวลดิน ซึ่งตามธรรมชาติ โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นเม็ดหินก่อให้เกิดช่องว่างระหว่างมวลดิน ช่องว่างดังกล่าวทำให้อิฐบล็อกประสาน ลดความแข็งแรงลง มวลของภาคตะกอนคงกรีตจะเข้าไปทดแทนช่องว่างของเม็ดดินดังกล่าว ทำให้ช่องว่างระหว่างมวลดินลดลง ทำให้อิฐบล็อกประสานมีความแข็งแรงทนทานมากขึ้น เทียบเท่ากับอิฐบล็อกประสานที่ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเพื่อการทดลองในเชิงปริมาณ (Quantitative Research) จากการนำภาคตะกอน คงกรีตกลับมาใช้ประโยชน์ โดยการนำมาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อทดแทนดินลูกรังตามอัตราส่วนที่กำหนดในการผลิตอิฐบล็อกประสาน ทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยการเก็บก้อนตัวอย่างและนำมาทดสอบคุณสมบัติตาม มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งเป็นการศึกษาทดลองอัตราส่วนผสมในการนำภาคตะกอนคงกรีตมาใช้ทดแทนดินลูกรัง ในกระบวนการนำไปใช้ทำอิฐบล็อกประสานเพื่อประเมินว่า จะสามารถนำภาคตะกอนคงกรีตมาใช้ทดแทนดินลูกรังได้ หรือไม่ จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการวัสดุ โดยการเก็บก้อนตัวอย่างทดสอบแบบลูกบาศก์ ขนาด 5 เซนติเมตร สำหรับใช้ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด และ ก้อนตัวอย่างที่หล่อเป็นอิฐบล็อกประสานในแบบหล่อ มาตรฐาน ขนาด  $12.5 \times 25 \times 10$  ซม. เพื่อใช้สำหรับทดสอบการคุณภาพลักษณะ จากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้มา เทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (อ้างอิงจากงานวิจัย จิรศักดิ์ ใจห้าว)

#### 4.1 ประชากรและตัวอย่าง

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ จะทำการเก็บข้อมูลงานตัวอย่าง 2 รูปแบบคือ

รูปแบบที่ 1 : แบบลูกบาศก์ ขนาด 5 เซนติเมตรที่อัตราส่วนผสมภัณฑ์คงคอนกรีต ร้อยละ 0 , 10 15 และ 20 อัตราส่วนละ 3 ก้อน รวมทั้งหมด 12 ก้อน เพื่อใช้ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด ที่อายุการบ่ม 7, 10 และ 14 วัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

รูปแบบที่ 2 : ทำการหล่ออิฐน้ำก่อประสาน ที่อัตราส่วนผสมภัณฑ์คงคอนกรีตที่อัตราส่วนร้อยละ 0 , 10 , 15 และ 20 อัตราส่วนละ 1 ก้อน รวมทั้งหมด 4 ก้อน เพื่อใช้ทดสอบหาค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐน้ำก่อประสาน เพื่อใช้คุณภาพในการดูดกลืนน้ำของอิฐ ว่าแปรผันตามอัตราส่วนผสมของภัณฑ์คงคอนกรีตหรือไม่ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 : จำนวนการเก็บตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบลูกบาศก์ ขนาด 5 x 5 x 5 ซม.

อายุทดสอบ (วัน)	ภาคคงกรีต ร้อยละ 0	ภาคคงกรีต ร้อยละ 10	ภาคคงกรีต ร้อยละ 15	ภาคคงกรีต ร้อยละ 20	จำนวนรวม (ก้อน)
7	3	3	3	3	12
10	3	3	3	3	12
14	3	3	3	3	12

ตารางที่ 2 : จำนวนการเก็บตัวอย่างอิฐน้ำก่อประสาน สำหรับใช้ทดสอบ ค่าการดูดกลืนน้ำ

อายุทดสอบ (วัน)	ภาคคงกรีต ร้อยละ 0	ภาคคงกรีต ร้อยละ 10	ภาคคงกรีต ร้อยละ 15	ภาคคงกรีต ร้อยละ 20	จำนวนรวม (ก้อน)
14	1	1	1	1	4

#### 4.2 เครื่องมือวิจัย

1) เครื่องมือสำหรับทำอิฐน้ำก่อตัวอย่าง



แบบลูกบาศก์



เครื่องทำอิฐน้ำก่อประสาน

2) เครื่องมือสำหรับทดสอบอิฐน้ำก่อตัวอย่าง



เครื่องทดสอบกำลังขัด



ตู้อบ



ตาดแข็งอิฐ



ตราชั่ง

### 4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ตัวอย่าง แบบที่ 1: ลูกบาศก์



หล่อชิ้นตัวอย่าง

ทดสอบกำลังอัด

ผลทดสอบ

ตัวอย่างแบบที่ 2 : อิฐบล็อกประสาน



หล่อชิ้นตัวอย่าง

ทดสอบการดูดกลืนน้ำ

ผลทดสอบ

### 4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลวัสดุคินลูกรัง เป็นการนำร่างคุณสมบัติของวัสดุเบื้องต้นก่อนนำมาใช้งาน ได้แก่ การทดสอบ Unit weight , Water content , การวิเคราะห์ sieve analysis และ การทดสอบหาค่าที่จำต้องทดสอบเบอร์เบอร์

#### 2. วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบก้อนตัวอย่าง

2.1) วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบกำลังรับแรงอัด จากก้อนตัวอย่างแบบลูกบาศก์ เปรียบเทียบกับมาตรฐานการรับกำลังตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน นพช. 602/2547

2.2) วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบการหาค่าดูดซึมน้ำจากอิฐบล็อกประสาน ลูกบาศก์ เปรียบเทียบกับมาตรฐานการรับกำลังตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน นพช. 602/2547

3. การแปลงผลการศึกษาด้วยการนำผลที่ได้จากการทดสอบชิ้นตัวอย่าง ของแต่ละอัตราส่วนผสม ก้าวที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับค่าการทดสอบตามมาตรฐาน นพช. 602/2547 โดยพิจารณาผลการทดสอบ ต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนด โดยจะพิจารณาจากการทดสอบค่าการรับกำลังอัด และค่าการดูดกลืนน้ำ เป็นหลักเกณฑ์ในการศึกษาความเป็นไปได้ว่า ในอัตราส่วนผสมที่ใช้หากตะกอนคอนกรีตจะสามารถนำไปใช้ทดสอบในบางส่วนได้หรือไม่ โดยใช้ผลการทดสอบดังกล่าวเป็นตัวกำหนด

## 5. ผลการวิจัย

### 1. ผลการวิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ (ดินลูกรัง)

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของดิน ทำให้สามารถจำแนกประเภทของดินซึ่ง ตามตารางจำแนกดิน มาตรฐาน AASHTO ทำให้ทราบว่าดินลูกรังที่นำมาใช้ในงานวิจัยบันนี้จัดอยู่ในดินประเภทเม็ดหินมีลักษณะ กรวดปนทรายและจากการทดสอบการทดสอบการทดสอบค่าการรับกำลังอัด มีค่าการทดสอบค่าอัตราส่วนระหว่าง มวลรวม และอิ่มตัว ต่อ ตะกอนดินแข็งที่ทดสอบค่าอัตราส่วนระหว่าง มวลรวม และอิ่มตัว ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 85 จึงสรุปได้ว่าดินลูกรังมีคุณสมบัติเพียงพอต่อ

การนำมาใช้ทำอิฐบล็อกประสาน ซึ่งหมายความว่าดินลูกรังที่นำมาใช้มีความเหมือนกัน ที่จะนำมาใช้ทำอิฐบล็อกประสานแล้วจะมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งาน แต่ถ้านำไปใช้เป็นวัสดุคันทางดินชนิดนี้มีความเหมือนกันอย่างมากที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุดังกล่าว ส่วนการทดสอบคุณสมบัติดินทางด้านอื่นๆ นั้นจะเกี่ยวข้องกับการทำอิฐบล็อกประสาน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบ unit weight มีจุดประสงค์เพื่อนำมาคำนวณน้ำหนักดินที่ได้มาออกแบบส่วนผสม และประมาณปริมาณการนำมาใช้ผลิตในงานวิจัยตลอดโครงการ

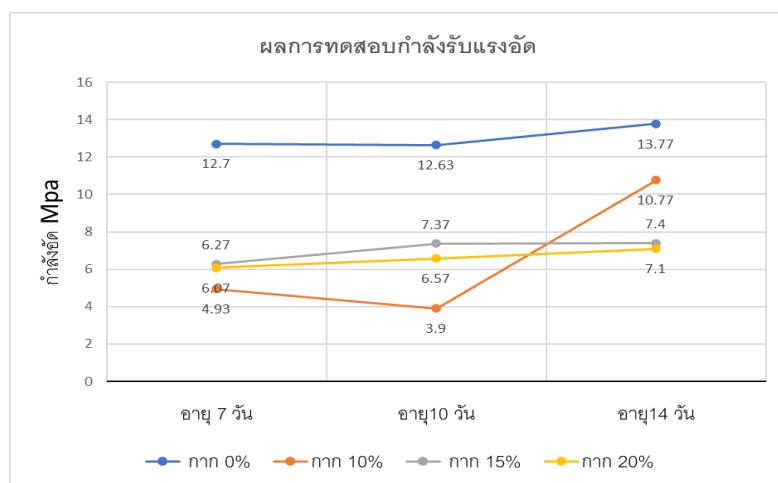
2. การทดสอบ water content เป็นการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลพื้นฐาน เพื่อใช้ในการประมาณปริมาณน้ำที่จะใช้ในส่วนผสมเบื้องต้น ซึ่งปริมาณน้ำที่อยู่ในมวลดินจะแปรผันกับปริมาณน้ำที่จะนำมาใช้ผสมกล่าวคือ ยิ่งดินที่มีความชื้นมาก น้ำที่นำมาใช้ผสมจะมีปริมาณน้อยลง

3. การทดสอบ Sieve Analysis เป็นการทดสอบเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ส่วนคละของดิน และนาเบอร์เซ็นต์ส่วนคละที่ได้นำไปวิเคราะห์ในตารางจำแนกประเภทดินตามมาตรฐาน AASHTO เพื่อนำไปวิเคราะห์ว่าดินที่นำมาใช้ทำอิฐบล็อกประสาน มีความเหมือนกันหรือไม่

4. การทดสอบหาค่าขีดจำกัดแบบเออเตอร์เบอร์ก เป็นการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลพื้นฐานของดินเพื่อใช้ประเมินช่วงความชื้นของดินที่เหมาะสมในการกำหนดปริมาณน้ำในส่วนผสมโดยประมาณ

## 2. ผลการการทดสอบก้อนตัวอย่าง

### 2.1) ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด (อายุการบ่ม 7, 10 และ 14 วัน)



กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

**ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดกับมาตรฐานชุมชน**

อัตราส่วนผสมภาคตะกอนคอนกรีต อายุการบ่ม (วัน)	ผลการทดสอบตัวอย่าง			มาตรฐาน มพช. 602/2547	
				ค่ากำลังอัด MPa	
	7	10	14	ชนิดรับน้ำหนัก	ชนิดไม่รับน้ำหนัก
ภาคคอนกรีต 0 %	12.7	12.63	13.77	7	2.5
ภาคคอนกรีต 10 %	4.93	3.9	10.77	7	2.5
ภาคคอนกรีต 15 %	6.27	7.37	7.4	7	2.5
ภาคคอนกรีต 20 %	6.07	6.57	7.1	7	2.5

2.2) ผลการทดสอบค่าคุณภาพลักษณะ ( อายุการบ่ม 14 วัน )

**ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่าคุณภาพลักษณะที่เทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน**

ปริมาณ ส่วนผสมภาค ตะกอนคอนกรีต ในอิฐมวลล็อก	ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ				มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (น้ำหนักอิฐเมื่อบาบแห้ง > 2 กก.)		ผลการทดสอบ การคุณภาพลักษณะ เทียบกับมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ชุมชน
	น้ำหนัก อิฐเมื่อ อบแห้ง ( กก. )	น้ำหนัก อิฐหลัง แช่น้ำ ( ก.ก )	อัตรา คุณภาพลักษณะ สูงสุด ( กก. / ลบ.ม )	อัตราการ คุณภาพลักษณะ ( ร้อยละ )	อัตราคุณภาพ น้ำสูงสุด ( กก. / ลบ.ม )	อัตราคุณภาพ น้ำสูงสุด ( ร้อยละ )	
ร้อยละ 0	5.571	6.122	0.551	9.89	208	10.4	ผ่าน
ร้อยละ 10	4.791	5.551	0.760	15.86	208	10.4	ไม่ผ่าน
ร้อยละ 15	5.038	5.870	0.832	16.51	208	10.4	ไม่ผ่าน
ร้อยละ 20	4.609	5.483	0.874	18.96	208	10.4	ไม่ผ่าน

**6. อภิปรายผล**

จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ทดลองนำมาเป็นส่วนผสมของอิฐมวลล็อกประสาน โดยการใช้ภาคตะกอนคอนกรีตมาทดแทนดินลูกรังในอัตราส่วน ร้อยละ 0 , ร้อยละ 10 , ร้อยละ 15 และร้อยละ 20 โดยทำการทดสอบคุณสมบัติได้แก่ การทดสอบค่าการรับกำลังอัด และ การทดสอบค่าการคุณภาพลักษณะ เทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ( มพช. ) สามารถสรุปได้ว่า การตะกอนคอนกรีตสามารถนำมาทดแทนอัตราส่วนของดินลูกรังได้ทุกอัตราส่วนผสม โดยสามารถนำมาใช้ในอิฐมวลล็อกประสาน ได้ทั้งสองแบบ คือ แบบรับน้ำหนัก และแบบไม่รับน้ำหนัก ที่อายุการบ่มตั้งแต่ 14 วันขึ้นไป แต่คุณสมบัติทางด้านการคุณภาพลักษณะไม่ผ่านมาตรฐาน มพช. และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณภาคตะกอนคอนกรีตที่ใช้ผสม

แต่อย่างไรก็ตาม แนวโน้มความเป็นไปได้ในการนำภาคตะกอนคอนกรีตมาใช้เป็นส่วนผสมทดแทนดินลูกรังในการทำอิฐมวลล็อกประสานนั้น สามารถทำได้ เพราะในเชิงวิเคราะห์ถือว่าอิฐมีความแข็งแรง แต่ในคุณสมบัติด้านคุณภาพลักษณะ อาจจะต้องพิจารณาในเรื่องของวัสดุเคลือบผิวเพื่อลดค่าตังกล่าว เพื่อให้อิฐมีความคงทนมากยิ่งขึ้น และเมื่อลองนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ใช้อ้างอิงของ จีรศักดิ์ ใจห้าว ผลปรากฏว่าค่าการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยเฉลี่ยของอิฐที่ผสมภาคตะกอนคอนกรีตทุกอัตราส่วน มีค่าต้องกว่าอิฐที่ผสมจาก

มูลกว้าง ซึ่งมีค่ากำลังอัดอั้ญสูงที่ 12.6 Mpa และมีแนวโน้มของค่ากำลังอัดลงลงตามปริมาณของการตะกอนคอนกรีต ที่ใช้ผสมเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าดูดกลืนน้ำกับอิฐที่ผสมมูลกว้าง ผลการทดสอบอิฐที่ผสม กากตะกอนคอนกรีตทุกอัตราส่วน มีค่าการดูดกลืนน้ำไม่ผ่านมาตรฐาน แต่ในขณะเดียวกัน อิฐผสมมูลกว้างมีค่า ผลการทดสอบผ่านทุกอัตราส่วน

## 7. ข้อเสนอแนะ

### 7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

จากการทดลองนี้ ภาคตะกอนคอนกรีตสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการนำมาทดแทนดินลูกรังได้ ใน อัตราส่วนไม่เกิน ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก(เฉพาะในส่วนน้ำหนักของดินลูกรัง) ภาคตะกอนคอนกรีตที่นำมาใช้ กรณีลักษณะแห้งและเป็นผงละเอียดคล้ายแป้ง ปราศจากวัสดุเจือปน เช่น เศษไม้ ขยะ หิน กรวด เป็นต้น

### 7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ในงานวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการทดสอบปริมาณภาคตะกอนคอนกรีตสูงสุดที่จะสามารถ นำมาใช้ทดแทนดินลูกรัง ในส่วนผสมของอิฐได้ โดยที่ค่าการทดสอบยังเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

(2) ควรมีการทดสอบวัสดุเคลือบผิว เพื่อลดการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานเพื่อเพิ่มความ ทนทานการใช้งานของวัสดุ

## 8. กิตติกรรมประกาศ

รายงานการค้นคว้าอิสระ ฉบับนี้สำเร็จลงได้เนื่องจากรับความกรุณา และช่วยเหลือจากอาจารย์ในคณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหงทุกๆ ท่านที่ค่อยแนะนำและให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน จนทำให้ การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ได้บรรลุวัตถุประสงค์และเสร็จสมบูรณ์ไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ประจำคณะทุกๆ ท่านที่ได้ค่อยแนะนำช่วยเหลือในทุกๆ ด้านตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาในรั้วของมหาวิทยาลัย รามคำแหงแห่งนี้ ขอกราบขอบพระคุณรับ

## 9. เอกสารอ้างอิง

ชูไรยา เจ้าตระและคณะ. (2561). แนวทางการใช้ประโยชน์ภาคตะกอนกรีตจากโรงงานคอนกรีตผสมเสริม. หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

จิรศักดิ์ ใจหัว. (2560). การศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมของการผลิตบล็อกประสานโดยการใช้มูลกว้างเป็นมวล รวมผสมแทนดินลูกรัง. หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการตรวจสอบและ กฎหมายวิศวกรรม. มหาวิทยาลัยรามคำแหง

มนฤทธิ์ โตกพิสิฐและสาลินี อาจารย์. (2561). แนวทางการนำภาคตะกอนกรีตกลับมาใช้ประโยชน์. วารสารวิชาการ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 14(2) พฤษภาคม – สิงหาคม 2561.

กัมปนาท บุญกัน อภิสิทธิ์ พงษ์สวัสดิ์ สมจิต พฤติชัยวินูลักษ์ และคงนุพล ตันนน โยกาส. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ อิฐมวลเบาที่ใช้ภาคเพอร์ไลต์เป็นมวลรวมผสม. งานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล. (2560). การใช้ผู้จากโรงงานไม่หินแทนที่ชีเมนต์ในการทำอิฐบล็อกประสาน. Jurnal

Princess of Naradhiwas University Journal 2017.

## การปรับปรุงระบบตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมแบบจุดของชิ้นส่วนยานยนต์ ด้วยแมชชีนวิชัน

### IMPROVING THE SPOT WELDING QUALITY INSPECTION SYSTEM OF AUTOMOTIVE PARTS WITH MACHINE VISION

นางสาวทัดพร ชีระโภจน์, นายคุณกรรณ์ เลิศศรีสัมพันธ์,

นายสันต์พิชญ์ แจ่มใส, นายสิริวิชญ์ ท่าจีน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าชนบุรี

E-mail: khunakon.lerdsrisampan@mail.kmutt.ac.th,

sunpit.pich@mail.kmutt.ac.th, sirawit.2542@mail.kmutt.ac.th

#### บทคัดย่อ

โครงการทางวิศวกรรมนี้เป็นการปรับปรุงระบบตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมแบบจุดของชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยแมชชีนวิชัน (Machine vision) เพื่อทำให้ระบบนี้สามารถตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ได้มากถึง 20 แบบซึ่งก่อนหน้านี้ระบบสามารถตรวจสอบชิ้นส่วนยานยนต์ได้เพียงแบบเดียวเท่านั้น ระบบแมชชีนวิชันประกอบด้วยส่วนหลักที่สำคัญได้แก่กล้องวิชันเซ็นเซอร์ (Vision sensor) ไฟโต้เซ็นเซอร์ (Photosensor) และโปรแกรม IV-Navigator ระบบจะเริ่มทำงานเมื่อชิ้นงานบนสายพานลำเลียงผ่านไฟโต้เซ็นเซอร์ จากนั้นไฟโต้เซ็นเซอร์ส่งสัญญาณไปยังโปรแกรม IV-Navigator โปรแกรมจะส่งสัญญาณทริกเกอร์ไปยังวิชันเซ็นเซอร์เพื่อถ่ายภาพและประเมินคุณภาพรอยเชื่อมจากภาพถ่ายเพื่อปรับปรุงระบบ พบว่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของระบบนี้คือตำแหน่งของเซ็นเซอร์ภาพและเวลาหน่วงทริกเกอร์ (Trigger delay time) ตำแหน่งการติดตั้งของวิชันเซ็นเซอร์ส่งผลต่อความคมชัดของภาพในขณะที่ทริกเกอร์ดีเลย์ส่งผลให้การถ่ายภาพเร็วเกินไปหรือช้าเกินไป เนื่องจากขนาดและความกว้างของชิ้นส่วนยานยนต์แต่ละชิ้นแตกต่างกันดังนั้นเวลาหน่วงจึงต้องแตกต่างกันเพื่อให้ได้ภาพรอยเชื่อมที่คมชัดครบถ้วนรายละเอียด จากการทดสอบใช้งานเบื้องต้นพบว่าระบบสามารถตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานทั้งผ่านและไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพได้ครบถ้วน

**คำสำคัญ:** กล้องวิชันเซ็นเซอร์, ความคมชัดของภาพ ระบบตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมแบบจุด,  
เวลาหน่วงทริกเกอร์

#### ABSTRACT

This engineering project has improved the spot weld quality inspection system of automotive parts with machine vision. This allows the system to inspect up to 20 different parts. Previously, it was able to inspect only one type of automotive part. The machine vision system consists of the main parts: vision sensor, photosensor, and iv-navigator program. The project has improved the mounting position of the vision sensor for better focus

on the target. The system was triggered when a part on the conveyor passes through the photosensor. The photosensor then sent a signal to the iv-navigator program. The program sent a trigger signal to the image sensor to take a photo and assess the welding quality from the photo. To improve the system, it was found that the significant parameters of this system were the position of the vision sensor and the delay trigger. The mounting position of the machine vision sensor affected the sharpness of the image, while the trigger delay resulted in taking a photo too early or too late. Because the position of the weld and the size of each automotive part was different. The trigger lag time of each part must be different to achieve high-quality image of the weld. From the preliminary testing, it was found that the system can check the quality of every piece of work, both passing and failing the quality criteria.

**Keywords:** Spot Weld Quality Inspection System, Sharpness of The Image, Trigger Delay, Vision Sensor

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัจจัยวิจัย

ปัจจุบันการเดินโடของอุตสาหกรรมยานยนต์นับเป็นอุตสาหกรรมหลักที่มีความสำคัญสามารถสร้างรายได้ การจ้างงาน การเพิ่มนูลค่าทางการค้าและอัตราการเดินโടทางเศรษฐกิจของประเทศไทยได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีอัตราในการส่งออกผลิตภัณฑ์ไปยังต่างประเทศมากที่สุดเป็นอันดับต้นๆ ของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ดังนั้นประเทศไทยจึงเป็นที่รู้จักและถูกจับตามองมากที่สุดประเทศไทยนั่นในวงการอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์โลก อุตสาหกรรมผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศไทยมีการศึกษาหารือวิธีการที่จะเพิ่มยอดการผลิตให้กับองค์กร ได้มากที่สุด โดยไม่ลดระดับคุณภาพของสินค้าภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานจำดัด โดยในปัจจุบันอุตสาหกรรมในประเทศไทยมีการก้าวเข้าสู่การปฏิวัติทางด้านอุตสาหกรรมที่เรียกว่า อุตสาหกรรม 4.0 (Industries 4.0) เป็นยุคที่นำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์รวมกับเทคโนโลยีอัตโนมัติของอุตสาหกรรม วิธีการหนึ่งที่จะทำให้เป้าหมายนี้เป็นจริง ได้คือการนำระบบการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานด้วยกล้องถ่ายภาพ (Vision Sensor) มาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งระบบการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานด้วยกล้องถ่ายภาพไม่เพียงแต่จะช่วยบริหารจัดการการควบคุมคุณภาพสินค้าเท่านั้นแต่ยังช่วยลดต้นทุนในด้านค่าใช้จ่ายที่เกิดจากความผิดพลาดหรือการชำรุดเสียหายทางบริษัท สยามชีเนเตอร์ จำกัด เป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ประเภทงานบึ้มบึ้นรูปและงานเชื่อมประกอบเครื่องจักรในการผลิต เช่น เครื่องบึ้ม, เครื่องเชื่อม ROBOT และเครื่อง SPOT เป็นต้น ในฐานะผู้ส่งมอบคำดั้นที่ 2 (SECOND TIER) โดยส่งต่อให้ลูกค้า (FIRST TIER) เพื่อนำไปประกอบเป็นชิ้นส่วนรถยนต์ประเภทเบ่ารถยนต์ ในสายการผลิตเชื่อมแบบ Spot การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานภายในโรงงานพบว่ามีการหลุดรอดของชิ้นงานการตรวจสอบมาตรฐานของชิ้นงานที่ยอมรับไม่ได้ส่งต่อไปให้ลูกค้าภายนอก ซึ่งเกิดจากความผิดพลาดที่เกิดจากคน (Human error) เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการกระทำของคนที่ทำมากกว่าหรือน้อยกว่าระดับที่สามารถยอมรับได้ของระบบ ซึ่งเป็นปัจจัยที่พบได้ไม่บ่อยแต่ถือว่าเป็นปัจจัยใหญ่ในเรื่องของคุณภาพชิ้นงานที่ส่งผลกระทบต่อไปให้ลูกค้าและความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์ของบริษัท ดังนั้นทางบริษัทได้มีแนวคิดที่จะนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยพนักงานในการตรวจสอบ โดยการวิจัยครั้งนี้ได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการปรับปรุงระบบตรวจสอบคุณภาพอย่างเชื่อมแบบบุคคลของชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยแมชชีนวิชัน เพื่อปรับปรุงคุณภาพการผลิตของทางบริษัท สยามชีเนเตอร์จำกัด ซึ่งทางบริษัทได้มีการนำระบบการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานด้วยกล้องถ่ายภาพมาใช้ในส่วนของสายการผลิตเชื่อมแบบบุคคล เพื่อตรวจสอบชิ้นงานที่ตรงตามมาตรฐานที่ยอมรับไม่ได้และยอมรับไม่ได้ซึ่งตอนนี้

สามารถตรวจสอบได้เพียงหนึ่ง part number ! ท่านนี้ คือ part number SN525 ส่วนซึ่งงาน part อื่นยังคงใช้ พนักงานตรวจสอบ จึงได้ปรับปรุงและขยายผลที่จะนำวิชันเซอร์มาระบุตรวจสอบเพื่อแยกคุณภาพซึ่งงานที่ ตรงตามมาตรฐานที่ยอมรับได้และยอมรับไม่ได้ให้ครบถ้วน part ซึ่งงานที่ขึ้นงานเชื่อมแบบ Spot โดยเครื่องจักร RT-SP06 จำนวน 20 parts number ซึ่งงานจะเคลื่อนที่ตามสายพานผ่านเซอร์ตรวจจับวัตถุและตรวจสอบ ซึ่งงานที่ตรงตามมาตรฐานที่ยอมรับได้และยอมรับไม่ได้ด้วยวิชันเซอร์แบบระบบอัตโนมัติ

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

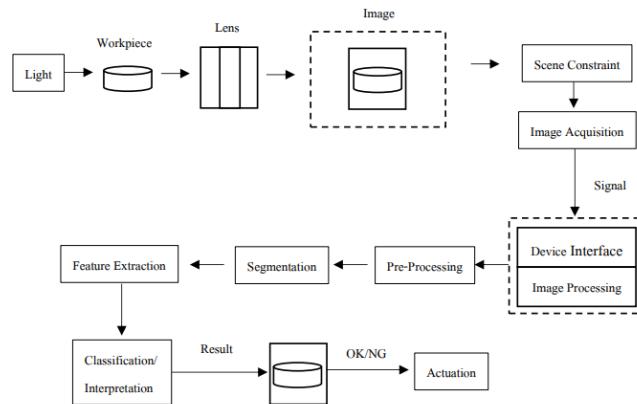
- (1) เพื่อปรับปรุงและเพิ่มระบบตรวจสอบคุณภาพอย่างเชื่อมแบบบุคคล
- (2) เพื่อหาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการปรับปรุงระบบตรวจสอบคุณภาพซึ่งงาน
- (3) เพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดความผิดพลาดในการตรวจสอบซึ่งงานที่เกิดจากมนุษย์

## 3. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาคือว่าข้อมูลโครงงานวิศวกรรมชั้นประกอบไปด้วย กระบวนการผลิต ระบบอัตโนมัติ และวิธีการตรวจสอบคุณภาพซึ่งงาน โดยการประเมินผลจากภาพถ่ายเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบตรวจสอบคุณภาพซึ่งงานและเพื่อช่วยให้เข้าใจแนวทางในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ทั้งความหมาย และหลักการทำงานของ Machine Vision, PLC, Sensor และกระบวนการผลิตการเชื่อมงานแบบบุคคล

**3.1 ความหมายของ Machine Vision หรือ Vision System** เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจสอบและ วิเคราะห์ภาพถ่ายหรือวิดีโอภาพได้ด้วยคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีนี้ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบ คุณภาพซึ่งงาน เช่น การวัดขนาดของซึ่งงาน, คัดแยกงานดีออกจากงานเสีย, คัดเลือกเกรดของซึ่งงาน, การอ่าน Barcode QR code, การตรวจสอบการปนเปื้อนและการผิดเพี้ยนของสีพื้นผิวซึ่งงาน เป็นต้น ปัจจุบันนี้ได้มีการนำไปใช้กับอุตสาหกรรมที่หลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมเคมีก้อนดักเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์, อุตสาหกรรมการผลิตซึ่งส่วนใหญ่นั้น, อุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่ม เป็นต้น

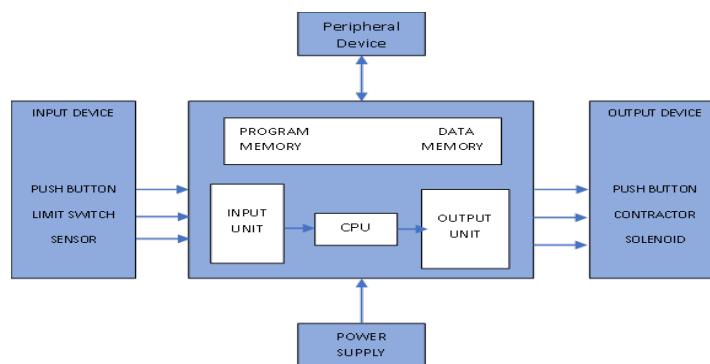
**3.2 ความหมายของ Vision Sensor** เป็นส่วนหนึ่งของ Machine Vision เป็นระบบประมวลผลภาพใน กระบวนการตรวจสอบซึ่งงานเพื่อควบคุมคุณภาพในการผลิตโดยใช้รูปแบบต่างๆ เช่น ขนาดมิติและการเอียงของศาลของซึ่งงาน การตรวจสอบ ตำแหน่งหัวน็อต การตรวจจับจำนวนของอุปกรณ์ Vision Sensor ประกอบด้วยกล้องดิจิตอลความเร็วสูง หน้าจอแสดงผล ระบบแสงที่ใช้ถ่ายภาพและคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมสั่งการเข้าไว้ด้วยกันทำให้ง่ายต่อ การใช้งาน และติดตั้ง สามารถทำงานในกระบวนการตรวจสอบแบบช้าๆ ได้อย่างรวดเร็ว จากนั้นจะทำการประมวลผลภาพที่ได้รับมาเพื่อแยกต่างหากตามมาตรฐานอย่างไรบ้าง Vision Sensor สามารถทำงานใน กระบวนการตรวจสอบแบบช้าๆ กันได้ดี นอกเหนือนี้ยังสามารถเก็บข้อมูลที่ถ่ายภาพไว้เพื่อเป็นหลักฐาน การตรวจสอบในฐานข้อมูลการผลิต, ใช้ตรวจจับความผิดปกติ และปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย



รูปที่ 3.1 กระบวนการทำงานของ Machine Vision

**3.3 PLC** ย่อมาจากคำว่า "Programmable Logic Controller" เป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ มีหน่วยความจำการเก็บโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เป็นอุปกรณ์ควบคุมที่สำคัญมากตัวหนึ่ง ที่ใช้ในการควบคุมเครื่องจักรในอุตสาหกรรมให้สามารถทำงานเองได้อัตโนมัติ ลดการทำงานของมนุษย์ ซึ่ง PLC มีหลากหลายขนาดให้สามารถเลือกใช้ได้ โดยภายในมี Microprocessor เป็นมันสมองถังการที่สำคัญ โดย PLC จะมีส่วนที่เป็นอินพุตและเอาต์พุตที่สามารถต่อออกໄไปใช้งาน ตัวตรวจวัดหรือสวิตช์ต่างๆ จะต่อเข้ากับอินพุต ส่วนเอาต์พุตจะใช้ต่อออกໄไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เป็นเป้าหมาย เราสามารถสร้างวงจรหรือแบบของการควบคุมได้โดยการป้อนเป็นโปรแกรมคำสั่งเข้าไปใน PLC นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Barcode Reader) เครื่องพิมพ์ (Printer) ซึ่งในปัจจุบันนอกจากเครื่อง PLC จะใช้งานแบบเดียว (Stand alone) แล้วยังสามารถต่อ PLC หลายๆ ตัวเข้าด้วยกัน (Network) เพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

### 3.3.1 โครงสร้าง PLC ประกอบไปด้วย 5 ส่วน ดังนี้



รูปที่ 3.2 โครงสร้างภายใน PLC

1. หน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) มีหน้าที่ประมวลผลตามคำสั่งที่ได้รับมา ผลจากการประมวลผลจะถูกส่งไปยังส่วนต่างๆ ต่อตามที่ได้ระบุไว้ เวลาที่ใช้ในการประมวลผลนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของซีพียูและความขาวของโปรแกรมที่ผู้ใช้งานออกแบบไว้นั้นๆ

2. หน่วยความจำ (Memory) มีหน้าที่เก็บข้อมูลและโปรแกรมต่างๆ ที่ใช้ในการทำงานหรือเป็นส่วนทำงานของ PLC สำหรับหน่วยความจำที่ใช้งานมีด้วยกัน 2 ชนิด คือ หน่วยความจำชั้วคราวและถาวร

3. อินพุท (Input) มีหน้าที่รับสัญญาณหรือข้อมูลที่เข้ามาแล้วนำมาแปลงสัญญาณส่งข้อมูลต่อไปยังซีพียู เพื่อประมวลผลต่อไปยังอุปกรณ์อินพุทที่ใช้อาทีชัน Photoelectric Sensor, Temperature Controller และLimit Switch เป็นต้น

4. เอาท์พุท (Output) มีหน้าที่เมื่อได้รับข้อมูลจากตัวประมวลผลแล้วจะส่งสัญญาณออกไปตามส่วนประกอบต่างๆ ตามที่ผู้ใช้งานได้ออกแบบวงจรโปรแกรมไว้ไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก เช่น มอเตอร์ (motor), วาล์ว (valve) และรีเล耶 (Relay) เป็นต้น

5. แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) มีหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ CPU, หน่วยความจำ อินพุทและเอาท์พุท รวมไปถึงรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้กับอุปกรณ์คงคล่อง

**3.4 อุปกรณ์การรับภาพ หรือเซนเซอร์รับภาพ (Image Sensor)** เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อแปลงภาพที่เห็นเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์และถูกส่งต่อไปยังระบบประมวลผลต่อไป ส่วนมากอุปกรณ์ตัวนี้จะอยู่ในกล้องโดยสามารถแบ่งประเภทของเซนเซอร์รับภาพได้หลักๆ 2 ประเภท ดังนี้

**3.4.1 CCD (Charge Couples Device)** เป็นเซนเซอร์ที่ประกอบด้วยหลอดไฟโต้ไกโอดซึ่งทำงานจากชิลลิก่อน เมื่อได้รับแสงเข้ามายังทบทบกับตัวชิปจะถูกเก็บไว้เป็นประจุอิเล็กทรอนิกส์ในปริมาณน้อยอยู่ภายในเซนเซอร์ จากนั้นประจุจะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ละ pixel และเปลี่ยนค่าแสงเป็นอนามัย หลังจากนั้นจะเป็นการเปลี่ยนค่าอนามัยเป็นสัญญาณดิจิตอลต่อไป

**3.4.2 CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)** เป็นเซนเซอร์ pixel ตอบสนองซึ่งจะมีแรงงานเพิ่มขึ้นมาข้างเซนเซอร์ภาพเพื่อแปลงแสงไปเป็นแรงดันไฟฟ้าและจะมีแรงงานเสริมเข้ามายังแรงดันไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณดิจิตอลทันที

**3.5 หลักการทำงานของ Photoelectric Sensor** ไฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์เป็นเซนเซอร์ชนิดใช้แสงในการตรวจจับวัตถุโดยไม่ต้องสัมผัสวัตถุจะใช้หลักการการสะท้อนของแสงจากตัวส่งสัญญาณไปยังตัวรับสัญญาณ โครงสร้างภายในของไฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ ตัวส่งสัญญาณ Emitter และตัวรับสัญญาณ Receiver ตัวส่งสัญญาณ Emitter เป็นอุปกรณ์ที่เรียกว่า Light Emitting Diode (LED) มีหน้าที่สร้างแสงที่เป็นพัลส์เพื่อส่งออกไปยัง Reciever แสงที่ส่งออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของ LED ว่าสามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่าก็ได้ตัวรับสัญญาณ Reciever ภายในจะมี Photo Transistor ซึ่งมีหน้าที่รับแสงที่ส่งมาจาก Emitter และนำมายังเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อส่งไปยังวงจรฟีลเตอร์ความถี่ PPL (Phase Lock Loop) จากนั้นจะกรองเฉพาะความถี่ที่ตรงกับแสงที่ส่งจาก Emitter เท่านั้น

**3.6 เครื่องมือที่ใช้ Simulation** โปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบวิเคราะห์สภาพลักษณะโดยทางโปรแกรมแต่จะขอยกโปรแกรม IV Navigator ของยี่ห้อ KEYENCE เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในครั้งนี้และเป็น โปรแกรมที่ใช้งานได้ง่าย รวมไปถึงสามารถบันทึกภาพเก็บผลข้อมูลไว้ในโปรแกรมได้เลย

## 4. วิธีดำเนินการวิจัย

### 4.1 ข้อมูลที่ยกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา

ผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาภายในสาขาวิชาผลิตคือ สาขาวิชาผลิตเชื่อมแบบจุด โดยเป็นชิ้นส่วนที่นำไปประกอบเป็นโครงเบาระดับน้ำหนัก โดยโครงงานวิศวกรรมนี้จะศึกษาการปรับปรุงระบบตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน ด้วยกล้องถ่ายภาพ ชิ้นงานที่เชื่อมแบบจุดจากเครื่องจักรหมายเลข RT-SP06 จำนวน 20 parts

#### ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจำนวนจุดที่เชื่อมน็อตและขนาดของชิ้นงาน

TYPE	NO.	PART No.	MACHINE	NUT	D. X	D. Y	D. Z	จำนวน จุด Spot	ระยะห่าง Nut Spot [Max ศูนย์]	VOLUME					MODEL LIFE
										ก.ค. 63	ส.ค. 63	ก.บ. 63	ล.ค. 63	พ.ค. 63	
EXPORT	1	SN 525	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	2010.3	114.4	763	2	50	3568	3957	4258	3007	8768	LAST LOT 3Y. 2M.
	2	SN 523	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	184.3	77.7	41.5	2	50	3544	3949	4258	3023	8608	
	3	SN 524	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	2010.3	114.4	763	2	50	1059	1318	30997	1701	3896	
	4	SN 522	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	184.3	77.7	41.5	2	50	1059	1374	3105	1709	3750	
	5	SN 515.4	RT-SP 07	BOLT WELD M 8 x18	124.2	26	34	2	91.2	8895	16430	17408	15679	6715	
	6	SN 456.1	RT-SP 08	NCT 7/16	108.4	103.2	38	2	63	482	472	612	626	722	LAST LOT 2560 แม่ปิ่นส่องสว่าง 602 ตัว
LOCAL	7	SN 501	RT-SP 06	M10 (หัวตื้น)	77.7	56	52	1		2416	2288	2440	5684	7236	LAST LOT 6Y. 3M.
	8	SN 692	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	121	71.5	34.3	2	64±0.3					6271	LAST LOT 7Y.
	9	SN 693	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	121	71.5	34.3	2	64±0.3					6271	
	10	STS 089	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	171.6	157.1	21	1		3012	3892	3677	2313	4873	LAST LOT 2Y. 2M.
	11	STS 090	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	151.6	138.6	21	1		3012	3892	3677	2313	4873	
	12	STS 138	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	154.8	170.7	42.8	1						4508	LAST LOT 5Y. 7M.
	13	STS 139	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	154.8	156.9	42.8	1						4508	
	14	SN 576.2	RT-SP 05	M10 (หัวตื้น)	190	37	31.2	2	100±0.5	396	438	834	948	2067	LAST LOT 1Y. 6M.
	15	STS 193	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	288.7	135.3	179.5	1		188	162	387	319	490	LAST LOT 4Y. 8M.
	20	STS 129	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	58.1	124.6	11	1						490	
	21	STS 130	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	50.6	45.9	1.4	1						490	LAST LOT 6Y. 3M.
	22	STS 131	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	49.5	116.1	11	1						490	
	23	STS 091	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	152	151.6	34.3	1		0	64	58	85	365	LAST LOT 12/2563 แม่ปิ่นส่องสว่าง
	24	STS 092	RT-SP 06	M10 (หัวสูง)	134.9	136.6	29.3	1		0	64	58	85	365	
	25	SN 352	RT-SP 06	M10 (หัวตื้น)	209.4	114.4	51	2	72.8	5	51	136	102	256	LAST LOT 12/2563 แม่ปิ่นส่องสว่าง
	26	SN 353	RT-SP 06	M10 (หัวตื้น)	209.4	114.4	51	2	72.8	5	51	136	102	256	
	15	SN 385	RT-SP 06	M10 (หัวตื้น)	199.7	74.1	41	2	60±0.5	78	418	1590	663	910	LAST LOT 12/2563 แม่ปิ่นส่องสว่าง
	16	SN 386 N	RT-SP 06	M10 (หัวตื้น)	199.7	74.1	41	2	60±0.5	162	576	0	0	1314	
	17	SN 396.1	RT-SP 06	M10 (หัวตื้น)	181.1	56.1	92.8	2	56.6	78	418	1590	663	910	LAST LOT 12/2563 แม่ปิ่นส่องสว่าง
	18	SN 397.1 N	RT-SP 06	M10 (หัวตื้น)	181.1	56.1	92.8	2	56.6	162	576	0	0	1314	

#### 4.2 เครื่องมือวิจัย

- 1. Notebook
- 2. Photoelectric Sensor
- 3. Raspberry Pi
- 4. กล้อง Vision Sensor
- 5. สวิตซ์ Control
- 6. สาย Lan
- 7. สายพาน
- 8. เครื่องนับจำนวนชิ้นงาน
- 9. โปรแกรม IV-Navigator
- 10. ไฟส่องสัญญาณ Alarm

#### 4.3 วิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อม

ผู้ศึกษาได้มีการ Setup ชิ้นงานเข้ากับโปรแกรมเพื่อทดสอบการตรวจสอบของ Vision Sensor ผลการทดสอบจะเก็บข้อมูลออกมาในรูปแบบของ OK และ NG ซึ่ง OK คือ ชิ้นงานที่ได้มีการเชื่อมน็อตกับชิ้นงานเป็นชิ้นเดียวกันและ NG คือ ชิ้นงานที่ไม่ได้มีการเชื่อมน็อตเข้ากับชิ้นงานในตำแหน่งที่ตำแหน่งหนึ่ง เมื่อ Setup แล้วเก็บผลทดสอบพบว่า Vision Sensor วิเคราะห์รอยเชื่อมชิ้นงานที่มีการเชื่อมน็อตกับชิ้นงานออกมาเป็น NG ทั้งที่ควรจะออกเป็นผล OK ทางผู้ศึกษาจึงทำการหาพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้ Vision Sensor วิเคราะห์รอยเชื่อมผิดพลาด และขาดความแม่นยำได้ดังนี้

#### 4.3.1 ความสว่างและลักษณะของภาพถ่าย

เนื่องจากมีชิ้นงานที่ต้อง Setup ถึง 20 แบบ ขนาดของชิ้นงานแต่ละแบบแตกต่างกันนั้นจึงไม่สามารถกำหนดความสว่างไว้ให้ทั้งหมดได้จึงต้องมีการหาค่าความสว่างและลักษณะภาพที่ถ่ายออกมาสำหรับชิ้นงานแต่ละแบบและต้องให้ความสว่างนั้นแตกต่างจากสีของสายพานเพื่อให้กล้อง Vision Sensor สามารถตรวจสอบชิ้นงานได้แม่นยำขึ้น ซึ่งในส่วนของการหาค่าความสว่างและลักษณะของภาพถ่ายจะอยู่ในการ Setup โปรแกรมของ Step 1 Brightness Adjustment

#### 4.3.2 Trigger Delay

Trigger Delay คือช่วงเวลาที่หน่วงเวลาถ่ายภาพซึ่ง จะเป็นการส่งสัญญาณจาก Photosensor ไปยังโปรแกรมและโปรแกรมจะส่งสัญญาณไปให้ Vision Sensor ถ่ายภาพ จากที่ได้กล่าวมาเนื่องจากมีชิ้นงานที่ต้อง

Setup อีส 20 แบบ ขนาดของชิ้นงานและตำแหน่งที่มีการเชื่อม ความกว้าง ความยาวแตกต่างกันทำให้ ระยะเวลาที่ชิ้นงานเคลื่อนผ่าน Photosensor ย่อมต่างกันดังนี้เวลาที่ชิ้นงานจะเคลื่อนผ่าน Vision Sensor ก็แตกต่างกันทำให้ ไม่สามารถกำหนดให้ Trigger Delay เท่ากันได้ทุกแบบ อีกทั้ง Trigger Delay ยังส่งผลต่อความสว่างในการถ่ายภาพ อีกด้วย จึงต้องมีการหาค่า Trigger Delay ที่เหมาะสมกับชิ้นงานนั้นๆ ซึ่งในการปรับค่า Trigger Delay จะอยู่ใน Step 1 Trigger Options

#### 4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทางผู้ศึกษาจะเก็บข้อมูลในส่วนของฟังก์ชัน Trigger Delay การหน่วงเวลาให้ก็ล้องถ่ายภาพตรวจสอบ ชิ้นงานโดยในโปรแกรมจะสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-1000 ms ผู้ศึกษาໄใช้เริ่มต้นจากการกำหนดให้อยู่ที่ 500 ms จากนั้นทดลองหาช่วงเวลาที่ก็ล้องสามารถถ่ายภาพชิ้นงานได้โดยปรับเพิ่ม-ลดค่าครั้ง 50 ms หรือ 100 ms จนได้ ช่วงที่เหมาะสมและจะบากวน 100 ms อีกครั้งให้ได้ค่าของ Trigger Delay 3 ช่วง เพื่อหาช่วงเวลาและความสว่างที่เหมาะสม ทำการทดลองช่วงละ 30 ครั้งซ้ำ 2 รอบ และเปรียบเทียบค่าที่มีความเที่ยงตรงมากที่สุด ซึ่งทำได้เป็นตารางเก็บข้อมูลดังรูป

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองเบรียบเทียบการเลือกใช้ค่า Trigger Delay SN353

ลำดับ ที่	PART: SN353					
	Trigger Delay 400 ms:		Trigger Delay 500 ms:		Trigger Delay 600 ms:	
	Status	Status	Status	Status	Status	Status
ลำดับ ที่	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2
1	NG	OK	OK	OK	OK	OK
2	OK	OK	OK	OK	OK	OK
3	OK	NG	OK	OK	OK	OK
4	OK	OK	OK	OK	OK	OK
5	OK	NG	OK	OK	OK	OK
6	OK	NG	OK	OK	OK	OK
7	OK	NG	NG	OK	OK	OK
8	OK	OK	OK	OK	OK	OK
9	OK	OK	OK	OK	OK	OK
10	OK	NG	OK	OK	OK	OK
11	OK	OK	NG	OK	OK	OK
12	OK	NG	OK	OK	OK	OK
13	NG	OK	OK	OK	OK	OK
14	OK	OK	OK	OK	OK	OK
15	OK	OK	OK	OK	OK	OK
16	OK	NG	OK	OK	OK	OK
17	NG	OK	OK	OK	OK	OK
18	OK	OK	OK	OK	OK	OK
19	OK	OK	OK	OK	OK	OK
20	OK	OK	OK	OK	OK	OK
21	OK	OK	OK	OK	OK	OK
22	OK	NG	OK	OK	OK	OK
23	OK	OK	OK	OK	OK	OK
24	NG	OK	OK	OK	OK	OK
25	OK	OK	OK	OK	OK	OK
26	OK	OK	OK	OK	OK	OK
27	NG	OK	OK	OK	OK	OK
28	OK	OK	OK	OK	OK	OK
29	OK	OK	OK	OK	OK	OK
30	OK	OK	OK	OK	OK	OK

#### ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองเบรย์นทีบการเลือกใช้ค่า Trigger Delay SN353

ลำดับ ครั้งที่	PART: SN353					
	Trigger Delay 550 ms		Trigger Delay 650 ms		Trigger Delay 750 ms	
	Status	Status	Status	Status	Status	Status
1	OK	OK	OK	OK	OK	NG
2	OK	OK	OK	OK	OK	OK
3	OK	OK	OK	OK	NG	OK
4	OK	OK	OK	OK	OK	OK
5	OK	OK	OK	OK	OK	OK
6	OK	OK	OK	OK	OK	NG
7	OK	OK	OK	OK	OK	NG
8	OK	OK	OK	OK	NG	OK
9	OK	OK	OK	OK	OK	OK
10	OK	OK	OK	OK	OK	OK
11	OK	OK	OK	OK	OK	OK
12	OK	OK	OK	OK	OK	OK
13	OK	OK	OK	OK	OK	NG
14	OK	OK	OK	OK	OK	NG
15	OK	OK	OK	OK	OK	OK
16	OK	OK	OK	OK	OK	OK
17	OK	OK	OK	OK	OK	NG
18	OK	OK	OK	OK	NG	OK
19	OK	OK	OK	OK	OK	NG
20	OK	OK	OK	OK	OK	OK
21	OK	OK	OK	OK	OK	OK
22	OK	OK	OK	OK	OK	OK
23	OK	OK	OK	OK	OK	OK
24	OK	OK	OK	OK	OK	OK
25	OK	OK	OK	OK	OK	OK
26	OK	OK	OK	OK	OK	OK
27	OK	OK	OK	OK	OK	OK
28	OK	OK	OK	OK	OK	OK
29	OK	OK	OK	OK	OK	OK
30	OK	OK	OK	OK	OK	OK

#### 4.5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

##### 4.5.1 ผลการทดลองหาก้าว Trigger Delay ที่เหมาะสม

ในการตรวจสอบนี้จะนำชิ้นงานที่ได้มีการเชื่อมแบบจุดทั้งหมด 20 parts number มาตรวจสอบ ครั้งละ 30 ครั้ง ซ้ำ 2 รอบ เพื่อคุ้ว่า Vision Sensor สามารถตรวจสอบชิ้นงานได้ตามข้อที่กำหนดไว้ได้ หรือไม่ และ มีความเที่ยงตรงต่อการตรวจสอบมากน้อยเพียงใดและจะเป็นการเก็บข้อมูลของการตั้งค่า Trigger Delay ให้ เหมาะสมกับชิ้นงานนั้นๆ

##### 4.5.2 ผลการทดลองหาก้าวความสว่าง และระบบตรวจสอบชิ้นงานโดยใช้ Vision Sensor

จากการปรับระยะติดตั้ง Vision Sensor และหาก้าว Trigger Delay ที่เหมาะสมกับชิ้นงานแต่ละแบบ ต่อไป คือการหาก้าวความสว่างที่ระบบตรวจสอบสามารถตรวจสอบได้ไม่ผิดพลาดและทดสอบระบบตรวจสอบ หลังจากการปรับค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการตรวจสอบเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการตรวจสอบ ผู้ศึกษาได้หาก้าว ความสว่างและถูกยืนยันของภาพถ่ายที่เหมาะสมกับแต่ละชิ้นงานอุปกรณ์

**ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าความสว่างและลักษณะของภาพถ่ายแต่ละ Part Number**

ลำดับ	Part Number	Imaging Mode	Brightness
1	SN352	Normal	94
2	SN353	High Gain	71
3	SN385	High Gain	73
4	SN386(N)	High Gain	74
5	SN396.1	Normal	78
6	SN397.1(N)	HDR	95
7	SN501	HDR	99
8	SN522	High Gain	72
9	SN523	High Gain	69
10	SN524	Normal	95
11	SN525	High Gain	89
12	STS089	High Gain	71
13	STS090	High Gain	77
14	STS091	High Gain	69
15	STS092	High Gain	64
16	SN576.2	High Gain	72
17	SN577.2	Normal	99
18	STS124	High Gain	87
19	STS138	High Gain	84
20	STS139	High Gain	78

## 5. ผลการวิจัย

ผลการตรวจสอบ (4.5.1) ชิ้นงานด้วย Vision Sensor หรือระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ โดยทางผู้ศึกษาได้มีการปรับตำแหน่งระยะการติดตั้งของ Vision Sensor ใหม่ หมายความว่าต้องการให้ระยะเหล่านี้นั้นคงที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนใหม่ พารามิเตอร์ที่ผู้ศึกษาสนใจคือ Trigger Delay เป็นพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบข้อมูล โดย Trigger Delay สามารถส่งผลต่อความสว่างของชิ้นงาน ได้ เนื่องจากชิ้นงานแต่ละ Parts Number มีขนาดของชิ้นงานที่ไม่เท่ากันทำให้ต้องหาช่วง Trigger Delay ที่เหมาะสมในช่วงที่ทำให้แสงกระแทกับชิ้นงานแล้วไม่เกิดแสงสะท้อนกลับให้ได้น้อยที่สุดและเพื่อที่จะให้ Vision Sensor ตรวจสอบชิ้นงานที่มีการเชื่อมแบบจุดสามารถตรวจสอบรอยเชื่อมได้โดยไม่เกิดความผิดพลาดและผลจากการตรวจสอบชิ้นงานพบว่าค่า Trigger Delay ที่ใช้ นั้น แปรผกผันกับขนาดและระยะที่จุดเชื่อมของชิ้นงาน

**ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบระบบการตรวจสอบชิ้นงานด้วย Vision Sensor**

ชิ้นงานที่เข้ากับเครื่องจักร RT-SP06	กำหนดจน.ชิ้นงานตรวจสอบ		ผลการ Trial		เทียบเป็น %
	OK	NG	OK	NG	
SN352	60	10	60	10	100%
SN353	60	10	60	10	100%
SN385	60	10	60	10	100%
SN386(N)	60	10	60	10	100%
SN396.1	60	10	60	10	100%
SN397.1(N)	60	10	60	10	100%
SN501	60	10	60	10	100%
SN522	60	10	60	10	100%
SN523	60	10	60	10	100%
SN524	60	10	60	10	100%
SN525	60	10	60	10	100%
STS089	60	10	60	10	100%
STS090	60	10	60	10	100%
STS091	60	10	60	10	100%
STS092	60	10	60	10	100%
SN576.2	60	10	60	10	100%
SN577.2	60	10	60	10	100%
STS124	60	10	60	10	100%
STS138	60	10	60	10	100%
STS139	60	10	60	10	100%

ผลการทดสอบ (4.5.2) ระบบตรวจสอบหลังจากปรับระยะติดตั้ง Vision Sensor ให้คงที่และปรับค่าความสว่างรวมถึง Trigger Delay ให้เหมาะสมกับชิ้นงานแต่ละแบบ พบว่า Vision Sensor สามารถตรวจสอบชิ้นงานที่มีการเชื่อมแบบจุดได้ทุนคุณ Parts Number และสามารถตรวจสอบชิ้นงานที่ไม่ได้มีการเชื่อมได้ด้วยเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งนั่นหมายความว่าระบบมีความแม่นยำในการตรวจสอบคุณภาพอย่างชัดเจนชิ้นงาน

## 6. อภิปรายผล

โครงการนี้เป็นการปรับปรุงระบบตรวจสอบคุณภาพโดยเชื่อมแบบจุดของชิ้นส่วนยานยนต์ แม้ชิ้นวิชันเพื่อปรับปรุงและเพิ่มระบบตรวจสอบคุณภาพโดยเชื่อมแบบจุด จากการศึกษาสภาพปัจจุบันและสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นพบว่าบริษัท สยามชีเนเตอร์ จำกัด ได้มีการติดตั้ง Vision Sensor ในสายการผลิตเชื่อมแบบจุดที่บริเวณเครื่องเชื่อมแบบจุดหมายเลข RT-SP06 ปัจจุบันโปรแกรมสามารถตรวจสอบชิ้นงานได้เพียง 1 part number จากทั้งหมด 20 parts number ระยะการติดตั้งของ Vision Sensor ไม่ได้ถูกติดตั้งให้สามารถถ่ายภาพให้คอมชัดได้ทั้ง 20 parts number ผู้ศึกษาจึงมีความสนใจที่จะปรับปรุงระบบตรวจสอบโดยใช้ Vision sensor ให้ครบ ทั้งหมด 20 parts number โดยดำเนินงานจากการศึกษาระบบพื้นฐานของโปรแกรมและผลิตภัณฑ์ที่บริษัทเลือกใช้ ขนาดของชิ้นงานบริเวณตำแหน่งที่จะตรวจสอบ จากนั้นได้นำเครื่อง Check Nut Spot ขึ้นมา Setup ชิ้นงานในห้องที่ผู้ศึกษาทำงานมาทำการ Setup และวิเคราะห์ผลการตรวจสอบหาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการปรับปรุงระบบจนทราบว่ามีระยะการติดตั้ง Vision Sensor ความสว่างและลักษณะของภาพถ่ายสุดท้ายคือ Trigger Delay ที่มีผลต่อระบบตรวจสอบ ผู้ศึกษาจึงได้มีการปรับระยะติดตั้ง Vision Sensor ให้คงที่และหากความสว่างและลักษณะของภาพถ่ายที่เหมาะสมกับแต่ละชิ้นงานและเก็บข้อมูลการเลือกใช้ Trigger Delay แต่ละแบบชิ้นงานและนำมาพิจารณา วิเคราะห์ทำให้ทราบว่าค่า Trigger Delay มีผลต่อความสว่างของชิ้นงานและแปรผันกับขนาดและระยะหักเชื่อม ชิ้นงาน จากนั้นมือได้ค่า Trigger Delay ที่เหมาะสมกับแต่ละชิ้นงานแล้วผู้ศึกษาได้นำค่าเหล่านั้นไปใช้ในการตรวจสอบตามตารางที่ 4.1 ซึ่งจะทดสอบร่วมกับการปรับค่าความสว่างและปรับระยะติดตั้ง Vision Sensor เพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบตรวจสอบพบว่าระบบสามารถตรวจสอบคุณภาพโดยเชื่อมได้ทั้ง 2 แบบคือชิ้นงานที่ได้มีการเรียงและชิ้นงานที่ยังไม่ได้มีการเรียงแบบ

## 7. ข้อเสนอแนะ

### 7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) เครื่อง Check Nut Spot ที่ใช้ Vision Sensor เข้ามาตรวจสอบชิ้นงานเมื่อมีชิ้นงานที่ไม่ได้เชื่อมแบบซึ่งส่วนใหญ่เป็นเสียงเดือนให้พนักงานรับรู้แต่เครื่องไม่ได้ชุดต้องให้พนักงานเป็นคนกดหยุดเครื่องด้วยตนเอง หากนำเครื่องตรวจสอบไปปรับปรุงแก้ไขต่อควรที่จะให้เครื่องส่งสัญญาณเตือนและหยุดเครื่องได้ด้วยตนเองคือว่าเพื่อที่ไม่ให้ชิ้นงานที่ไม่มีการเชื่อมนี้ต้องแบบจุดปะปนไปกับชิ้นงานที่เชื่อมนี้ต้องแบบจุดเรียบร้อยแล้ว

(2) ในสายการผลิตเชื่อมแบบจุดภายในบริษัทยังคงมีเครื่องเชื่อมแบบจุดที่ยังไม่มีระบบของ Vision Sensor เข้าไปช่วยตรวจสอบ หากนำ Vision Sensor เข้ามาใช้ตรวจสอบควรใช้ Vision Sensor ที่เป็น Version ใหม่เนื่องจาก Version ใหม่จะระบบตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและมีลูกเล่นในการกำหนดตั้งค่าการตรวจสอบหลากหลายกว่า Version เก่า

## 8. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการงานวิศวกรรมเรื่องการควบคุณภาพชั้นงาน โดยใช้ระบบตรวจสอบภาพสำเร็จลุล่วงได้ดี ทางผู้จัดทำขอขอบคุณ พศ.ดร.สมโภค สนธิแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ รศ.ดร.สุรุวัติ ช่วงโภต ประธานกรรมการสอบโครงการและ พศ. ดร.สุทธัน พันธ์ กรรมการการสอบที่ให้คำแนะนำ และแนวคิดนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารงาน ในการตรวจสอบในอนาคตเป็นประโยชน์ต่อโครงการฯ ให้โครงการฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอทราบขอบพระคุณบริษัท สยามซีเนเตอร์ จำกัด แผนก Research and Development ที่ให้โอกาสเข้ามาทำการศึกษากระบวนการเพื่อจัดทำโครงการวิศวกรรมและช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปประยุกต์ในการดำเนินงานโครงการวิศวกรรม รวมทั้งขอทราบขอบพระคุณ พ่อแม่ ที่เพื่อนๆ และภาควิชาครุ ร่วมมือและวัสดุ สาขาวิศวกรรมการผลิตชิ้นส่วนayanยนต์ ที่เคยให้ความช่วยเหลือระหว่างทำโครงการ

## 9. เอกสารอ้างอิง

- คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี. (2558). การจัดการองค์ความรู้การถ่ายภาพบันทึกจัดเก็บภาพงานพิมพ์. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2565, จาก: <https://bkkthon.ac.th>.
- คิย์อินซ์ ไทยแอลด์. (2560). Vision Sensor IV Series. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 22 มีนาคม 2565, จาก: <https://www.keyence.co.th/products/vision/vision-sensor/iv>.
- จิโอชิติส์. (ม.ป.ป.). Introduction to Machine Vision. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 23 มีนาคม 2565, จาก: [http://www.geocities.ws/k\\_kirkpong/chapter01.pdf](http://www.geocities.ws/k_kirkpong/chapter01.pdf).
- แฟ็คโตมาร์ท. (2561). Vision Sensor วิชันเซนเซอร์. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2565, จาก: <https://mall.factomart.com/machine-vision/vision-sensor>.
- มหาวิทยาลัยสยาม. (ม.ป.ป.). ทฤษฎีและหลักการของ PLC. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 1 เมษายน 2565, จาก: <http://research-system.siam.edu./ทฤษฎีและหลักการของPLC>.
- มิชูมิ ประเทศไทย. (ม.ป.ป.). PLC (Programmable Logic Controller). [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 1 เมษายน 2565, จาก: [http://th.misumi-ec.com/th/pr/recommend\\_category/plc201810/](http://th.misumi-ec.com/th/pr/recommend_category/plc201810/).
- แมชีนวิชันไทยแอลด์. (2560). Technical Knowledge. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2565, จาก: <https://machinevision.co.th/technical-knowledge>.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2565). เซนเซอร์รูปภาพ. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 23 มีนาคม 2565, จาก: <https://th.wikipedia.org/wiki/เซนเซอร์รูปภาพ>.
- เอวีเซ็นเตอร์. (2562). Lens แต่ละประเภท. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2565, จาก: <https://www.avcentershop.com/content/10009/10>.
- Sumipol Agile Technology. (2564). ทำความรู้จัก เซนเซอร์ (Sensor) ในงานอุตสาหกรรม. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 1 เมษายน 2565, จาก: <https://www.sumipol.com/knowledge/industrial-sensors/>

**การเพิ่มประสิทธิภาพสายการประกอบ PUMP MODULE สำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์  
IMPROVING THE PRODUCTIVITY OF PUMP MODULES ASSEMBLY  
LINE FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY**

ภาสิทธิ์ ปุจจาร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: paowasit.por@mail.kmutt.ac.th

วิวิชวินท์ เสนสมุทร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: wiwittawin.2000@mail.kmutt.ac.th

ลักษิกา โอบอ่อน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: laksika.basement@mail.kmutt.ac.th

สุรศักดิ์ สุรนันทชัย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: surasak.sur@mail.kmutt.ac.th

**บทคัดย่อ**

ในปัจจุบันธุรกิจยานยนต์ไฟฟ้าในฝั่งยุโรปมีการเติบโตที่สูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้มีการขยายฐานการผลิตรถขนาดที่ใช้ระบบเครื่องสันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) เข้ามายังในฝั่งเอเชียมากขึ้น และทำให้เกิดการแข่งขันด้านต้นทุนของธุรกิจผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์สันดาป ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพสายการประกอบ Pump module ซึ่งในสายการประกอบมีพนักงาน 9 คน และมี Pump module 109 รุ่น ซึ่งศึกษาเฉพาะรุ่นที่มีการผลิตตั้งแต่ 80% ขึ้นไป และกำหนดเวลาในการเปลี่ยนรุ่น 63 วินาทีต่อครั้ง จากการจับเวลาที่สามารถลดเวลาที่ใช้ในการผลิตพบว่าจากรุ่น 2HX-GAS ไป 2HU ใช้วремนาในการเปลี่ยนรุ่นเกินจากเวลาที่กำหนดค นั่นคือ 140 วินาทีต่อครั้ง จึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้แผนผังก้างปลา และโปรแกรม ORiN พบร่วมกันในการผลิตส่วนมากเกิดขึ้นจากการใช้กำลังคน การเปลี่ยนรุ่นของชิ้นส่วน รวมไปถึงขั้นตอนกระบวนการในการผลิตมีกิจกรรมที่ทำให้เกิดความสูญเปล่า (Muda) ผู้จัดทำจึงได้เสนอแนวทางการแก้ไขปัญหา ซึ่งเป็นหลักการปรับปรุงขั้นพื้นฐาน ECRS ได้แก่ การจัดสมดุลการผลิตด้วยหลักการเปลี่ยนขั้นตอนการปฏิบัติงาน

และการปรับปรุงกระบวนการผลิต (Kaizen) เนื่องจากหลังจากที่มีการสลับการปฏิบัติงานของพนักงานแล้วในกระบวนการผลิตขังเกิดเวลาการสูญเปล่า (Muda) เช่น การเดินของพนักงาน และนำหลักการทำจังหวะที่ไม่จำเป็น (Eliminate All Unnecessary Work) มาใช้ โดยเสนอให้มีการทำที่เก็บอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งของชิ้นงาน (Jig) ได้เครื่องจักรของพนักงาน เพื่อลดเวลาในการเดินไปหานิจ ในที่ที่จัดเก็บไว้

**คำสำคัญ:** การเพิ่มประสิทธิภาพ, ลดเวลาการเปลี่ยนรุ่น, สายการประกอบ Pump Module

## ABSTRACT

From the current situation the electric car business in Europe is growing higher which resulted in the relocation of the production base for internal combustion vehicles makes it more likely into Asia. This has led to the competitive cost of the internal combustion engine automotive parts manufacturing industry. The purpose of this research is cost reduction and improving the productivity of pump modules assembly line. In the assembly line have 9 employees and 109 type of pump module. Which is study especially the change of production model more than 80%. The time limit for each model change is 63 seconds per time, from 2HX-GAS to 2HU, took 140 seconds per time. Therefore, analyze the cause of the problem, and use the fish bone diagram and ORIN program founded most of the production costs are incurred using manpower, changing the model of a part, including the steps in the production process, there are activities that cause waste (Muda). The organizer has proposed a solution to the problem, which is the basic principles of ECRS, production line balancing using change the sequence of operations and Kaizen. From switching the sequence of employee's operations, there is still time wasted (MUDA) occurring in the production process, such as the employee's walking. Therefore, keep the jig under the employee's machine to reduce walking time to reduce walking time, pick up the jig at stored.

**Keywords:** Productivity Improvement, Pump Module Assembly Line, Reduce Change Over Time

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทยมีการแข่งขันทางการค้าสูง ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการศึกษาปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตและเพิ่มผลผลิตโดยใช้หลักการ Kaizen และ IOT เข้ามาประยุกต์ใช้ ทางผู้จัดทำได้มีส่วนรับผิดชอบในสายการประกอบ Pump module ซึ่งถือเป็นอีกหนึ่งส่วนประกอบที่สำคัญของระบบเชือเพลิง โดยมีหน้าที่หลักคือ ปั๊มน้ำมันจากถังเพื่อจ่ายให้กับแรงหัวฉีด นอกจากปั๊มน้ำมันจะต้องสามารถจ่ายน้ำมันในปริมาณที่เพียงพอแล้ว ก็ต้องสามารถสร้างแรงดันได้อย่างเหมาะสมด้วย จากการศึกษาพบว่า สายการประกอบ Pump module มีการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 109 รุ่น สายการประกอบมีพนักงานทั้งหมด 9 คน และเวลาการเปลี่ยนรุ่นอยู่ที่ 145 วินาทีต่อครั้ง โดยมีการเปลี่ยนรุ่น 24 ครั้งต่อวัน ในขั้นตอนการประกอบที่มีปัญหาอยู่ในส่วนการทำใบตรวจ check sheet และเปลี่ยน Jig ทั้งยังต้องเดินไปหานิจ Jig และวัดคุณภาพชิ้นงานที่นอกสายการประกอบ นอกจากนี้บริเวณชั้นวาง Jig บางช่องไม่มีป้ายบอกชื่อรุ่น หรือป้ายบอกชื่อรุ่นเลื่อนราง ทำให้พนักงานหิบผิดรุ่น ทางผู้จัดทำจึงต้องการลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ด้วยเหตุนี้ทางผู้จัดทำจึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต โดยการลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิต เพื่อควบคุมเวลาการเปลี่ยนรุ่น (Change over time) ในกระบวนการผลิตให้ได้ 2.1% (1,512

วินาทีต่อวัน) การปรับปรุงกระบวนการผลิตนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตให้สามารถผลิตสินค้าได้ทันและตรงตามจำนวนที่ถูกกำหนดต้องการ

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อลดเวลาสูญเปล่าที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนรุ่นการผลิตเป็นใหม่ได้ตรงตามเวลาเป้าหมายที่กำหนด
- (2) เพื่อศึกษาและเพิ่มประสิทธิภาพสายการประกอบให้มีความสามารถในการผลิตได้ดีขึ้น

## 3. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 3.1 การจัดสมดุลสายการผลิต (Production Line Balancing)

(ขันณท์ แคนเนต, 2560) การจัดสมดุลสายการผลิต (Production Line Balancing) หมายถึง การจัดงานให้กับสถานีงานต่างๆ ภายในโรงงานที่มีการผลิตแบบต่อเนื่องกันไปตลอดสายการผลิต โดยพยายามทำให้หน้าที่การทำงานในแต่ละสถานีงานมีความสมดุลกัน เพื่อลดขั้นตอนการผลิตหรือจำนวนสถานีในการผลิตที่ไม่จำเป็น ซึ่งอาจรวมไว้กับขั้นตอนหรือสถานีอื่นที่คล้ายกันเพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของสายการผลิต

### 3.2 ประสิทธิภาพ ประสิทธิผล และผลผลิต

(จริยาภรณ์ นามนัย, 2560) การบริหารงานอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีเครื่องมือในการวัดผลดำเนินงาน โดยหน่วยวัดการดำเนินงานที่คิดว่าต้องใช้ค่าดัชนีในการจัดการทางการผลิต ถ้าผู้บริหารรับรู้ผลการดำเนินงานอย่างต่อเนื่องก็สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เกิดผลผลิตที่สูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งจะมีหน่วยวัดอยู่ 3 หน่วย คือ ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ค่าประสิทธิผล (Effectiveness) และค่าผลผลิต (Productivity)

### 3.3 ความสูญเสีย 7 ประการ (7 WASTES)

(Kris Piroj, 2561) ความสูญเสีย (Wastes) คือ การสูญเสียทรัพยากรการผลิตที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุน คุณภาพ และการส่งมอบ ประกอบด้วย

1. การผลิตมากเกินไป (Over production) คือ ความสูญเปล่าที่เกิดจากการผลิตสินค้าที่มากกว่า ยอดขายหรือยอดที่ต้องการผลิต

2. การเก็บวัสดุคงคลัง (Inventory) คือ ความสูญเปล่าที่เกิดจากการจัดเก็บของที่ไม่จำเป็นไว้จำนวนมาก โดยเฉพาะสินค้าที่มีวันหมดอายุ หรือวัตถุคงที่ที่เกิดจากการวางแผนการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ

3. การขนส่ง (Transportation) คือ ความสูญเปล่าที่เกิดจากการขนส่งหรือขนเข้าสินค้าที่เปล่าประโยชน์ ซึ่งอาจเกิดจากการวางแผนการขนส่งที่ผิดพลาด หรือขาดการวางแผนการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ

4. การเคลื่อนไหว (Motion) คือ ความสูญเปล่าที่เกิดจากการเคลื่อนไหวร่างกายที่ไม่ถูกต้อง ก่อให้เกิดความเมื่อยล้า หรือมีความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอันตรายในขณะที่ทำงาน

5. กระบวนการผลิต (Production Process) คือ ความสูญเปล่าที่เกิดจากการการทำงานที่มีขั้นตอนการผลิตที่มากเกินความจำเป็น

6. การรอคอย (Waiting) คือ ความสูญเปล่าที่เกิดจากการรอเครื่องจักรหรือพนักงาน ที่หยุดทำงานเนื่องจากต้องรออย่างมากจึงสามารถดำเนินการต่อไปได้

7. การผลิตของเสีย (Defect) คือ ความสูญเปล่าที่เกิดจากการทำงานที่บกพร่อง ซึ่งจะทำให้เกิดการผลิตของเสีย โดยจะส่งผลให้ต้นทุนวัตถุคงที่เพิ่มมากขึ้น แรงงาน สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์

### 3.4 หลักการไกเซ็น (Kaizen)

(ธีทัด ตรีศิริ โภดติ, 2551) Kaizen หมายถึง การปรับปรุง (Improvement) โดยเป็นหลักการที่มุ่งเน้นการมีส่วนร่วมของพนักงานทุกคนที่จะร่วมกันหาแนวทางใหม่ๆ เพื่อปรับปรุงวิธีการทำงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานให้ดีขึ้นอยู่เสมอ โดยห้าใจสำคัญคือ ต้องมีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องไม่มีที่สิ้นสุด (Continuous Improvement) และเป็นแนวคิดที่จะช่วยรักษามาตรฐานที่มีอยู่เดิม (Maintain) ปรับปรุงให้ดีขึ้น (Improvement) หากขาดซึ่งแนวคิดนี้แล้ว มาตรฐานที่มีอยู่เดิมก็จะค่อยๆ ลดลง หลักการสำคัญของการ Kaizen คือ การขัด Muda, Mura และ Muri

### 3.5 ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time)

(ทีมงานอีนเทอร์นิ่ง, 2564) การผลิตแบบ JIT คือ การที่ชิ้นส่วนที่จำเป็นเข้ามาถึงกระบวนการผลิตในเวลาที่จำเป็นและด้วยจำนวนที่จำเป็น หรือ การผลิตลิ่งของที่ต้องการในเวลาที่ต้องการ ด้วยจำนวนที่ต้องการใช้ความต้องการของลูกค้าเป็นเครื่องกำหนดค่าปริมาณการผลิตและการใช้วัสดุโดยใช้วิธีดึง (Pull Method of Material Flow) มาควบคุมวัสดุคงคลังและการผลิต (อกิจิต มนิจาม, 2555) ซึ่งถ้าหากทำตามแนวคิดนี้จะทำให้วัสดุคงคลังที่ไม่จำเป็นในรูปของวัสดุคงงานระหว่างทำ และสินค้าสำเร็จรูปจะถูกหักออกไปอย่างลื้นเชิง

### 3.6 การปรับปรุงโดยอาศัยหลักการ ECRS

(ปิยะพงษ์ แคนบารูง, 2557) ECRS เป็นหลักการที่ประกอบด้วยการกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) ซึ่งเป็นหลักการง่ายๆ ที่ใช้ในการลดความสูญเปล่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

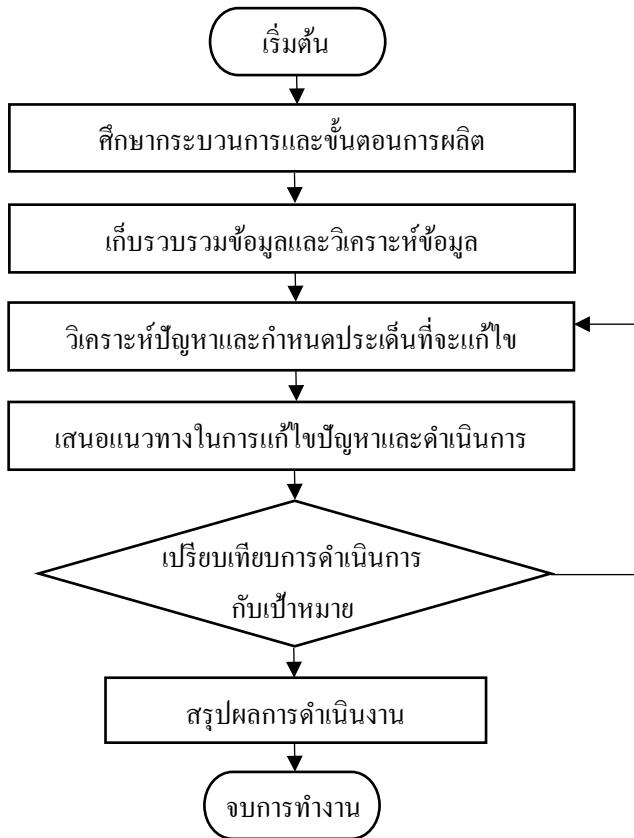
1. ขัดจางที่ไม่จำเป็นทั้งหมด (Eliminate All Unnecessary Work) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิผลสูงสุดในการปรับปรุงงาน โดยพิจารณาขั้นตอนการผลิตที่ไม่จำเป็นและไม่เกิดมูลค่าเพิ่มกับผลิตภัณฑ์ แล้วกำจัดขั้นตอนการผลิตที่ไม่จำเป็นออกไป รวมทั้งการกำจัดความสูญเสียทั้ง 7 ประการ

2. รวมขั้นตอนการปฏิบัติงานเข้าด้วยกัน (Combine Operations or Element) การรวมขั้นตอนการผลิตให้เหลือน้อยลง โดยพิจารณาความสามารถรวมขั้นตอนการผลิตให้เหลือน้อยลงได้หรือไม่ ถ้าสามารถทำได้จะช่วยลดระยะเวลาในการเคลื่อนที่ทำให้ใช้เวลาในการผลิตน้อยลง

3. สลับสับเปลี่ยนลำดับการปฏิบัติงาน (Change the Sequence of Operations) จัดลำดับการผลิตใหม่ โดยการยกข้ายกสับเปลี่ยนขั้นตอนหรือรวมการผลิตให้เหมาะสมเพื่อลดการเคลื่อนที่เกินจำเป็นหรือลดการรออย

4. ทำงานให้ง่ายขึ้น (Simplify the Necessary Operations) การปรับปรุงวิธีการทำงานให้สะดวกและง่ายขึ้น โดยการออกแบบ Jig หรือ Fixture มาช่วยเพื่อให้การทำงานสะดวกและแม่นยำ ทำให้สามารถลดของเสียลงได้ เนื่องจากเป็นการลดการเคลื่อนที่และลดการทำงานที่ไม่จำเป็น

#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย



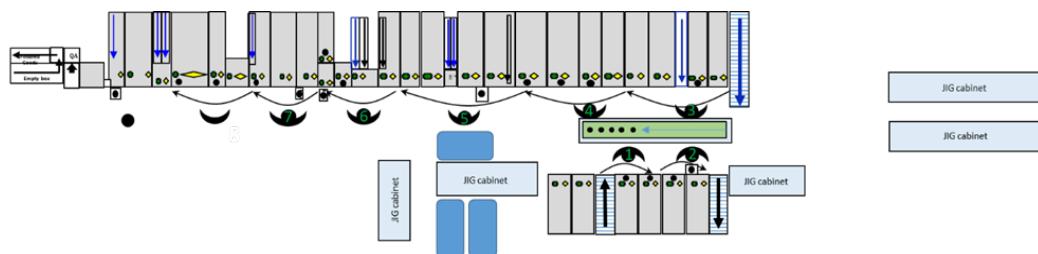
ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

##### 4.1 ศึกษากระบวนการและขั้นตอนการผลิตของสายการประกอบ Pump module

จากการศึกษาศึกษาจากใบ Standardized Work Sheet และศึกษากระบวนการผลิต ขั้นตอนการประกอบ ขึ้นงานแต่ละรุ่นพบว่า ในปัจจุบันสายการประกอบ Pump module มีการผลิตทั้งหมด 109 รุ่น มีการเปลี่ยนรุ่นการผลิต 24 ครั้งต่อวัน และใช้เวลาในการเปลี่ยนรุ่นผลิต 140 วินาทีต่อครั้ง ทางผู้จัดทำต้องการลดเวลาการสูญเสีย (loss time) ในกระบวนการผลิต จึงได้ศึกษาการลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นสายการประกอบ Pump module เพื่อให้ประสิทธิภาพสายการผลิต (Production Line) ในกระบวนการผลิต ได้ 93% โดยเวลาเบื้องหนาของลดเวลา การเปลี่ยนรุ่นอยู่ที่ 63 วินาทีต่อครั้ง ทางผู้จัดทำจึงได้เลือกศึกษาเฉพาะรุ่นที่มียอดการผลิตตั้งแต่ 80% ขึ้นไป

##### 4.2 เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาปัญหา

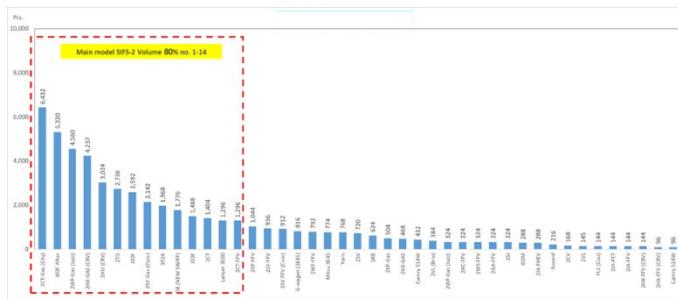
อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน ได้แก่ นาฬิกาจับเวลา, กล้องถ่ายภาพดิจิทัล, โปรแกรม IOT ORiN, และ Standardized Work Chart



ภาพที่ 2 แผนผังกระบวนการผลิตสายการประกอบ A

จากการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของสายการประกอบ A โดยเริ่มศึกษากระบวนการผลิต พบร่วมกับจุดบันสายการประกอบประกอบ Pump module มีพนักงานทั้งหมด 9 คน มีการผลิต 109 รุ่นแบ่งเป็น 4 กลุ่มหลัก

- (1) รุ่น A มีร่องเวลาการผลิต 25.9 วินาทีต่อชิ้น มีจุดคงความอยู่ที่พนักงานคนที่ 4
- (2) รุ่น B มีร่องเวลาการผลิต 27.8 วินาทีต่อชิ้น มีจุดคงความอยู่ที่พนักงานคนที่ 2
- (3) รุ่น C มีร่องเวลาการผลิต 32.9 วินาทีต่อชิ้น มีจุดคงความอยู่ที่พนักงานคนที่ 1
- (4) รุ่น D มีร่องเวลาการผลิต 30.6 วินาทีต่อชิ้น มีจุดคงความอยู่ที่พนักงานคนที่ 6



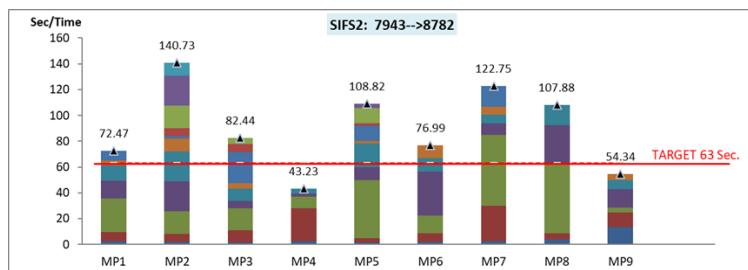
ภาพที่ 3 ยอดการผลิตเดือนกุมภาพันธ์ 2022

จากการที่ 3 รุ่นที่มีการผลิตมากกว่าหรือเท่ากับ 80% มีทั้งหมด 14 รุ่น โดยทางผู้จัดทำได้เลือกศึกษาการเปลี่ยนรุ่น 2HX-GAS ไปเป็นรุ่น 2HU จึงดำเนินการเก็บข้อมูลแล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อค้นหาเวลาที่สูญเปล่า (Muda) ทำให้พบว่ามีร่องเวลาการผลิตเกินเวลาเป้าหมาย (63 วินาทีต่อครั้ง) อยู่ 63.7 วินาที จึงนำข้อมูลการจับเวลามาวิเคราะห์สาเหตุ โดยใช้ Data Kaizen C/O Time เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตจาก 91.5% เป็น 93%

C/O time data of SIFS-2 ( Target of FEB-22 = 63 sec. )									
Model	A	B	C	D	E	F	G	H	I
2CT-Gas	97.7		148.4	117.0	120.0	126.9	125.7	186.6	124.0
J03F	97.7		148.4	117.0	136.8	125.6	164.0	150.2	162.0
2WF-Gas	148.4	148.4		117.0	180.2	140.2	128.4	168.0	87.0
2HX-GAS	117.0	117.0	117.0		122.8	117.0	136.8	117.0	163.0
2HU	120.0	136.8	117.0	122.8		117.0	130.0	156.0	163.0
2TG	126.9	97.7	148.4	117.0	120.0		125.7	121.2	131.6
J03F-E	103.0	164.0	120.0	88.0	116.0	129.7		130.0	188.4
2SV-Gas	205.8	116.0	201.0	117.0	139.2	125.6	152.4		136.0
3P2A	124.0	188.4	70.0	117.0	136.0	131.6	194.0	136.0	

ภาพที่ 4 ร่องเวลาการเปลี่ยนรุ่นบัญชีนของสายการประกอบ Pump module

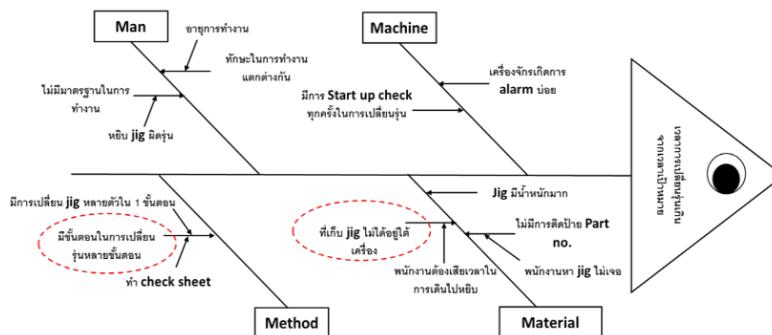
จากภาพที่ 4 พบว่าการเปลี่ยนรุ่นจากรุ่น 2HX-GAS ไป 2HU มีร่องเวลาการผลิตเกินเวลาเป้าหมาย (63 วินาทีต่อครั้ง) อยู่ 63.7 วินาที จึงนำข้อมูลการจับเวลาการเปลี่ยนรุ่นจากรุ่น 2HX-GAS ไป 2HU มาวิเคราะห์เหตุโอดข้ามได้สำนักงานจับเวลาไม่ได้เรียกว่า Data Kaizen C/O Time ซึ่งจะคิดจากยอดการผลิตรายวันของรุ่นที่มีการผลิตตั้งแต่ 80% ขึ้นไป นำมาหารกับจำนวน Lot Size การผลิต จะได้จำนวนการเปลี่ยนรุ่นครั้งต่อวัน เวลาการเปลี่ยนรุ่นสูญเสียที่ยอมรับได้อยู่ที่ 2.1% (1512 วินาทีต่อวัน) คูณกับจำนวนชั่วโมงการทำงานปกติรวมกับชั่วโมงໂอที แล้วนำเวลาการสูญเสียที่ยอมรับได้หารกับจำนวนการเปลี่ยนรุ่นจะได้เวลาเป้าหมายการเปลี่ยนรุ่นวินาทีต่อครั้ง ทางผู้จัดทำต้องการลดเวลาการเปลี่ยนรุ่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตจาก 91.5% เป็น 93%



ภาพที่ 5 เวลาการเปลี่ยนรุ่นจากรุ่น 2HX-GAS ไป 2HU

จากภาพที่ 5 จะเห็นว่ามีเวลาเกินจากเวลาเป้าหมายอยู่ 63.7 วินาที เมื่อนำมาวิเคราะห์จะพบว่าพนักงานคนที่ 1 ใช้เวลาในการเดินไปหยิบ jig 26.2 วินาที พนักงานคนที่ 2 ใช้เวลาเดินไปหยิบ jig 35 วินาทีและใช้เวลาปรับตำแหน่ง jig 46.4 วินาที พนักงานคนที่ 3 ใช้เวลาถักหัวตำแหน่ง jig 24.3 วินาที พนักงานคนที่ 5 ใช้เวลาเดินไปหยิบ jig 44 วินาที พนักงานคนที่ 6 ใช้เวลาเดินไปหยิบ jig 34 วินาที พนักงานคนที่ 7 ใช้เวลาล็อก jig 22 วินาที และใช้เวลาเดินไปหยิบ jig 30 วินาที และพนักงานคนที่ 8 ใช้เวลาในการเดินไปหยิบ jig 35.2 วินาที ซึ่งเวลาดังกล่าวเน้นเป็นเวลาที่สูญเปล่าในกระบวนการ (MUDA) ที่เกิดจากการเปลี่ยนรุ่นการผลิต จึงต้องทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต (Kaizen) เพื่อลดเวลาในการเปลี่ยนรุ่นการผลิตให้ได้ตามเป้าหมายคือ 63 วินาทีต่อครั้ง

#### 4.3 วิเคราะห์ปัญหาและดำเนินการแก้ไขปัญหา



ภาพที่ 6 แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram)

จากแผนผังแสดงการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ทฤษฎีถังปลา (Fish Bone Diagram) ผู้จัดทำได้วิเคราะห์ปัญหาจากปัจจัยการผลิตทั้ง 4 ได้แก่ คน (Man), เครื่องจักร (Machine), วิธีการ (Method), และ วัสดุ (Material) พนบว่าปัญหาที่สามารถแก้ไขได้มี 2 ปัจจัยหลัก คือ วิธีการ(Method) และ วัสดุ(Material) วิเคราะห์สาเหตุได้ดังนี้

#### 1. สาเหตุเกิดจากวิธีการหรือขั้นตอนการทำงาน (Method)

- มีการทำใบตรวจ (check sheet) ทุกครั้งในการเปลี่ยนรุ่น และต้องเดินไปวัดคุณภาพขึ้นงานที่นอกสายการประกอบ แก้ไขโดยการจัดสัมคุลساภารผลิต

#### 2. สาเหตุเกิดจากวัสดุและอุปกรณ์การทำงาน (Material)

- ที่เก็บ jig ไม่ได้อยู่ใต้เครื่องจักร แก้ไขโดยการปรับปรุงกระบวนการผลิต (Kaizen)

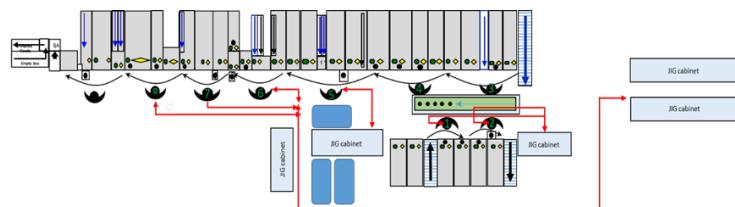
#### 3. สาเหตุเกิดจากคน (Man)

- บริเวณชั้นวาง jig บางช่อง ไม่มีป้ายบอกชื่อรุ่น ทำให้พนักงานห�บผิดรุ่นและเสียเวลา ระหว่างการเปลี่ยนรุ่น

### 4.4 เสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหา

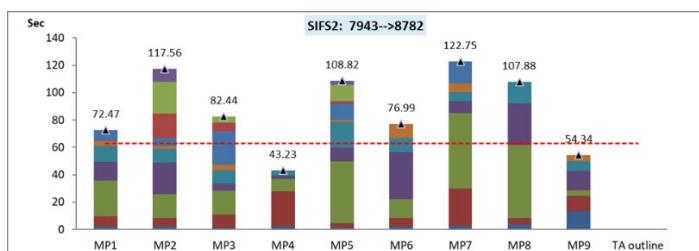
#### 4.4.1 การปรับปรุงขั้นพื้นฐาน ECRS

จัดสัมคุลการผลิต โดยใช้การสลับสับเปลี่ยนการปฏิบัติงาน (Change the Sequence of Operations) ของพนักงาน โดยใช้รถเข็นจัดเตรียม jig ที่อยู่นอกสายการประกอบ ซึ่งจะจัดเตรียมไว้ก่อนเวลาเปลี่ยนรุ่นและเข็นเข้ามาในสายการประกอบเพื่อลดเวลาเดินของพนักงาน เมื่อเปลี่ยน jig เสร็จก็จะเข็น jig รุ่นเก่าไปเก็บ และจัดเตรียม jig รุ่นใหม่เพื่อรอเปลี่ยนใน Lot size กัดไป



ภาพที่ 7 แผนผังเส้นทางการเดิน และตำแหน่งชั้นเก็บ jig ก่อนการจัดสัมคุลการผลิต

ปัจจุบันพนักงานคนที่ 1, 2, 5, 6, 7 และ 8 มีขั้นตอนการทำงานหลายขั้นตอนและต้องเดินออกไปหยิบ jig นอกสายการประกอบทำให้เวลาในการเปลี่ยนรุ่นแต่ละครั้งต้องใช้เวลานาน ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้จัดสัมคุลการผลิตสายการประกอบ Pump module โดยให้ TA outline ช่วยจัดเตรียม jig จากนอกสายการประกอบเข้ามารอิกลักษณะเครื่องจักร ซึ่งจะทำให้เวลาการเปลี่ยนรุ่นลดลง



ภาพที่ 8 เวลา ก่อนการจัดสัมคุลการผลิต

#### 4.4.2 การปรับปรุงกระบวนการผลิต (Kaizen)

ตารางที่ 1 แสดงการปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบ Kaizen

พนักงาน	ปัญหา	MUDA	แนวทางการแก้ไข	เป้าหมาย
1, 2	1. ที่เก็บ jig ไม่ได้อยู่ใกล้เครื่องจักรทำให้พนักงานต้องเดินไปหยอด jig ที่ตู้เก็บนอกสายการประกอบ	เดิน	ทำที่เก็บ jig ใหม่เพื่อลดระยะเวลาในการเดิน	ลดเวลาการเปลี่ยนรุ่น
	2. jig วางรวมกันไม่ได้แยกประเภทและรุ่นไว้ทำให้พนักงานต้องใช้เวลาในการหานาน	หา jig ไม่เจอก	ติดป้าย Part No. ช่วยลดเวลาในการหา jig	
2	1. ต้องเสียเวลาในการปรับล็อกแคลมป์ที่ใช้ในการยึด jig	ประกอบชิ้นงานยาก	ออกแบบแคลมป์ล็อกตัวใหม่	ลดเวลาการเปลี่ยนรุ่น
	2. ต้องหมุน jig เพื่อหาตำแหน่งการวาง		จัดทำที่วางแบบพิกซ์ตำแหน่ง	
5	1. ต้องหมุนเปลี่ยนสายลมตอนเปลี่ยนรุ่น	ประกอบชิ้นงานยาก	เปลี่ยนเป็นข้อต่อแบบสวมเร็ว	ลดเวลาการเปลี่ยนรุ่น

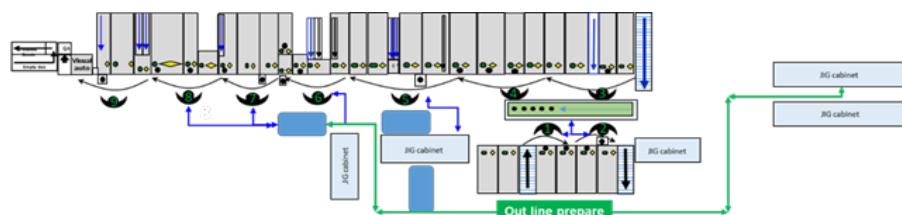
#### 5. ผลการวิจัย

##### 5.1 การจัดสมดุลการผลิต

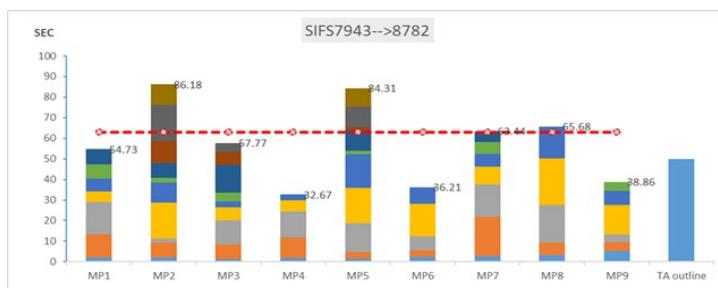
ผู้จัดทำได้จัดสมดุลการผลิตของพนักงานทั้ง 9 โดยใช้หลักการ ECRS และเลือกวิธีการจัดลำดับงานใหม่มาช่วยในการจัดสมดุลการผลิตของสายการประกอบ Pump module สามารถลดเวลาไปได้ 36 วินาที

ตารางที่ 2 ก่อน-หลังการจัดสมดุลการผลิต

กิจกรรม	ก่อนการปรับปรุง (วินาทีต่อครั้ง)	หลังการปรับปรุง (วินาทีต่อครั้ง)	ลดลง (%)
จัดสมดุลการผลิตของสายการประกอบ Pump module โดยการสลับสับเปลี่ยน ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	1407.	104.7	25.6%



ภาพที่ 9 แผนผังเส้นทางการเดิน และตำแหน่งของตู้เก็บ jig ก่อนการจัดสมดุลการผลิต



ภาพที่ 10 เวลาหลังการจัดสมดุลการผลิต

### 5.2 การปรับปรุงกระบวนการผลิต (Kaizen)

ผู้จัดทำได้วิเคราะห์การทำงานของพนักงานคนที่ 1, 2 และ 5 หลังจากทำการวิเคราะห์และทำการจัดสมดุลทางการผลิต ทางผู้จัดทำยังพบเวลาที่สูญเสียในกระบวนการผลิตอยู่ จึงเสนอแนวทางดังนี้

ตารางที่ 3 ก่อน-หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

กิจกรรม	ก่อนการปรับปรุง (วินาทีต่อครั้ง)	หลังการปรับปรุง (วินาทีต่อครั้ง)	ผลต่าง (วินาทีต่อครั้ง)	ลดลง(%)
1. จัดทำที่เก็บ jig หน้าเครื่องจักร	12	6	6	50%
2. ติดป้ายบอกชื่อรุ่นช่วยลดเวลาในการคืนหา jig	22	15	7	31.8%
3. ออกแบบแคลมป์เลือกตัวใหม่	25	10	15	60%
4. จัดทำที่วางแบบพิกัดตำแหน่ง	15	7	8	53.3%
5. เปลี่ยนเป็นข้อต่อแบบสวมเร็ว	18	8	10	55.5%

### 6. อภิปรายผล

จากการศึกษาขั้นตอนการผลิตของสาขาระบก Pum module โดยในปัจจุบันสาขาระบก Pum module มีพนักงานทั้งหมด 9 คน มีการผลิตทั้งหมด 109 รุ่น และมีการเปลี่ยนรุ่น 24 ครั้ง/วัน เวลาการเปลี่ยนรุ่นอยู่ที่ 140 วินาทีต่อครั้ง ซึ่งมีเป้าหมายในการศึกษาคือ ต้องการลดเวลาการเปลี่ยนรุ่น เวลาเป้าหมายการเปลี่ยนรุ่นจาก 140 วินาทีต่อครั้งเป็น 63 วินาทีต่อครั้ง ผู้จัดทำจึงได้ศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิต เพื่อความคุ้มเวลาการสูญเสียในกระบวนการผลิต (loss time) ให้อยู่ที่ 2.1% (1512 วินาทีต่อวัน) ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาการลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของสาขาระบก Pum module โดยทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา (Fish bone diagram) และได้ทำการเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยใช้หลักการปรับปรุงขั้นพื้นฐาน ECRS ดังนี้

1. การจัดสมดุลการผลิต ใช้หลักการสลับสับเปลี่ยนการปฏิบัติงาน (Change the Sequence of Operations) สามารถลดเวลาไปได้ 36 วินาที คิดเป็น 25.6%

2. การปรับปรุงกระบวนการผลิต (Kaizen) เมื่อจากทางผู้จัดทำเห็นว่าหลังจากมีการสลับสับเปลี่ยนการปฏิบัติงานของพนักงานแล้ว ยังมีเวลาการสูญเสีย (MUDA) เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอยู่ จึงได้นำหลักการจัดงานที่ไม่จำเป็น (Eliminate All Unnecessary Work) สามารถช่วยลดเวลาไปได้ 46 วินาที คิดเป็น 50%

## 7. กิตติกรรมประกาศ

การปฏิบัติสหกิจศึกษาทำให้เกิดการได้รับทักษะทางด้านความรู้ แนวคิด และประสบการณ์ที่ไม่สามารถหาได้จากการเรียนที่เกิดขึ้นในห้องเรียน ซึ่งจากประสบการณ์ที่ได้รับสามารถนำไปใช้ในการประยุกต์เพื่อใช้ในการปฏิบัติงานจริงในอนาคตได้ ซึ่งทุกสิ่งล้วนเป็นประสบการณ์ที่มีคุณค่าและเป็นการเพิ่มพูนความรู้สิ่งใหม่ๆ ให้กับผู้จัดทำ ดังนั้นผู้จัดทำจึงขอขอบคุณที่ได้รับความอนุเคราะห์จากผู้ที่เกี่ยวข้องมีดังนี้ รศ.ดร.สุรศักดิ์ สุรันนท์ชัย คุณธีชพล เดชาลำโรง คุณชานนท์ ปฐมอาทิวงศ์ คุณดนุสรณ์ เร่งมานะ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี คณะวิศวกรรมเครื่องกลเมืองมีอและวสุ ที่ให้โอกาสในการศึกษาและสอนให้เห็นถึงแนวทางในการดำเนินชีวิตเพื่อนำไปปรับใช้ในอนาคตต่อไป

## 8. เอกสารอ้างอิง

- จริยาภรณ์ นามนัย. (2560). การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการประกอบชุดเบอร์กรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบการผลิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี.
- ทีมงานเอ็นเทรนนิ่ง. (2564). *TPS Toyota Production System Implementation* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 23 พฤษภาคม 2565, จาก: <https://www.entraining.net/article/TPS-Toyota-Production-System-Implementation/>.
- ธันณนท์ แคนเบต. (2560). การขัดสนคุณลักษณะการผลิตเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตกรณีศึกษาโรงงานผลิตปลาแซลมอนแห่งหนึ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- ธีทัด ตรีศิริ โขต. (2551). ไกด์ชี้ [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 17 พฤษภาคม 2565, จาก: <https://bit.ly/3MmZc5b>.
- ปิยะพงษ์ แคนบำรุง. (2557). การปรับปรุงสายการผลิตแผ่นกันร้อนห้องผู้โดยสารภายในรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบการผลิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี.
- อภิชิต มนึงนก. (2555). การผลิตแบบทันเวลาพอดี (JIT) คิดง่าย ทำยาก [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 16 กันยายน 2565, จาก: <http://www.gotoknow.org/posts/405920>.
- Kris Piroj. (2561). 7 Waste คืออะไร? ความสูญเปล่า 7 ประการ มีอยู่ที่ร้าน [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 9 กันยายน 2565, จาก: <https://bit.ly/3xycAwU>.

## การศึกษาการลดขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานโดยการนำรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ มาใช้ในกระบวนการผลิต

### THE RESEARCH ON THE USE OF AGV IN THE MANUFACTURING PROCESS TO DECREASE AN OPERATOR'S WORKLOAD

กฤตภาส กลุ่มประเสริฐ<sup>1</sup>, วัญกมล ถ่างสาร<sup>1</sup>, สุภกานต์ อินทร์ม่วง<sup>1</sup>,

ผศ.ดร.สมโชค สนธิเกื้อ<sup>\*</sup> และ ผศ.อรจิรา เดียววนิชย์<sup>\*</sup>

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าชนบท

E-mail: kittapas.ice@mail.kmutt.ac.th<sup>1</sup>, kwangamol.baej@mail.kmutt.ac.th<sup>1</sup>,

supakan.inmuang@mail.kmutt.ac.th<sup>1</sup>

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือศึกษาการลดขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานโดยการนำรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อลดภาระทางร่างกายและขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำของผู้ปฏิบัติงาน ณ บริษัท อาปีโก อมตะ ก่อนที่ทางบริษัทฯ จะนำรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการผลิต ผู้ปฏิบัติงานที่ควบคุมเครื่องจักรในไลน์ออฟและบีดองลากพาร์ทໄส์ชั้นงานมาด้วยตนเอง จึงทำให้เกิดภาระต่อร่างกายของผู้ปฏิบัติงานและความสูญเปล่าในการขนย้ายชิ้นงาน ทางคณะผู้จัดทำได้มีการเลือกนำเทคนิคเครื่องมือจัดการคุณภาพใหม่ 7 แบบ (7 New QC Tools) มาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาและทำการจำลองการวางแผนทางการเดินของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติพร้อมกับเขียนโปรแกรมคำสั่งที่เหมาะสมกับผังโรงงานในกระบวนการผลิตเพลาท้ายรุ่น 1699 และ 1687 แล้วเบรเยนที่ยนพลการดำเนินงานด้วย FPC ที่แสดงขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติในกระบวนการผลิตเพลาท้ายรุ่น 1699 และ 1687 ของเครื่องจักร ไลน์ออฟและบี จากผลการวิเคราะห์พบว่ารถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติสามารถลดภาระทางร่างกายและขั้นตอนที่ไม่จำเป็นของผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตได้ โดยก่อนที่จะมีการนำรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติมาใช้ ผู้ปฏิบัติงานหน้าแมชชีนนิ่ง ไลน์ออฟและบีมีขั้นตอนในการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน 3 ขั้นตอนและผู้ปฏิบัติงานท้ายแมชชีนนิ่ง ไลน์ออฟและบีมีขั้นตอนในการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน 6 ขั้นตอน หลังนำรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการผลิต พนว่าผู้ปฏิบัติงานหน้าแมชชีนนิ่ง ไลน์ออฟและบีเหลือขั้นตอนในการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน 1 ขั้นตอนและผู้ปฏิบัติงานท้ายแมชชีนนิ่ง ไลน์ออฟและบีเหลือ 2 ขั้นตอน จึงสามารถสรุปได้ว่าการนำรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการผลิตสามารถลดภาระทางร่างกายและขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำของผู้ปฏิบัติงานได้

คำสำคัญ: เครื่องมือจัดการคุณภาพใหม่, รถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ, ความสูญเปล่าในการขนย้ายชิ้นงาน

## ABSTRACT

The purpose of this research is to research the use of AGV in the manufacturing process to decrease an operator's workload of the 1699 and 1687 rear axles to reduce the physical workload and waste transportation at AAPICO Amata. The operator using machines in lines A and B had to manually drag the pallets onto the work-piece before the company started employing automated forklifts in the production process. The organizers have selected 7 new QC tools techniques to investigate the problem and simulate the walking path of the automated forklifts along with programming the commands that are relevant for the plant layout of the 1699 and 1687 rear axles production processes, comparing them with the FPC that demonstrates the operator's workflow of 1699 and 1687 rear axels of machining lines A and B. These causes are physical workload on the operator's body and waste transportation. The analysis found that automated forklifts can lower physical workload and reduce unnecessary steps in the production process for operators. Before the use of automated forklifts, operators at the front of machining lines A and B had three steps to moving parts, and operators at the end of machining lines A and B had six steps. After using automated forklifts in the production process, it was revealed that the operator in front of machining Lines A and B had a step left, although the operator at the end of machining Lines A and B had two steps left. As a consequence, we can conclude that automated forklifts can assist in reducing physical labor and waste disposal.

**Keywords:** 7 New QC Tools, Automated Guided Vehicle, Reduce the Workflow of Operators

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

อุตสาหกรรมยานยนต์ของประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมสำคัญที่สามารถสร้างรายได้ สร้างมูลค่าทางการค้าและอัตราการเติบโตเศรษฐกิจของประเทศไทยได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีอัตราในการส่งออกผลิตภัณฑ์ไปต่างประเทศเป็นอันดับต้นๆของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ดังนั้นประเทศไทยจึงเป็นที่จับตามองและเป็นที่รักกันของวงการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ของโลกซึ่งปัจจุบันมีการเดินโตรชิ้นอย่างต่อเนื่องและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต ความต้องการในผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยานยนต์จึงมีมากขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานหนักขึ้นจนเกิดภาระต่อร่างกายของตัวผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้น โรงงานอุตสาหกรรมจึงมีความจำเป็นที่ต้องปรับปรุงระบบการผลิตให้สามารถผลิตสินค้าได้โดยสอดคล้องกับกำลังการผลิตและลดความสูญเปล่าจากขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออก โดยนำรถล้อเลี้ยงสินค้าอัตโนมัติเข้ามาช่วยผู้ปฏิบัติงานในการทำงาน

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น บริษัท อปีโก อมตะ จำกัด ได้พัฒนาเรื่องความสูญเปล่าจากการขนย้ายชิ้นงานเพลาท้ายและผู้ปฏิบัติงานเกิดความเมื่อยล้าจากการงานที่ไม่จำเป็นในกระบวนการผลิตเพลาท้ายรุ่น 1699 และ 1687 ทางบริษัทฯ จึงมีแนวคิดในการนำรถล้อเลี้ยงสินค้าอัตโนมัติ Automated Guided Vehicle (AGV) มาช่วยผู้ปฏิบัติงานในส่วนของสายการกลึงไสชิ้นงานเพลาท้ายรุ่น 1699 และ 1687 โดยตีเส้นทางการขนส่งชิ้นงานด้วยแผ่นแม่เหล็กนำทางและเขียนโปรแกรมคำสั่งรถล้อเลี้ยงสินค้าอัตโนมัติให้ขับเคลื่อนไปยังหน้าครื่องจกรออนไลน์ เอและนี้เพื่อการทางร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน, ลดความสูญเปล่าจากการยกชิ้นงานเพลาท้ายและสามารถลดการร่องรอยที่เกิดจากไม่มีผู้ปฏิบัติงานหน้าครื่องจกร

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อลดภาระร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน
- (2) เพื่อกำจัดความสูญเปล่าจากขั้นตอนการทำงานข่ายชีวนิยมของผู้ปฏิบัติงานที่จะเกลื่อนข่ายชีวนิยมด้วยตนเองไปยังจุดต่างๆ ด้วยการใช้รถถังเลี้ยงสินค้าอัตโนมัติ
- (3) เพื่อลดขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน

## 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 3.1 รถถังเลี้ยงสินค้าอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicles: AGV)

คือรถขนส่งลำเลียงที่เคลื่อนที่และสั่งการทำงานด้วยระบบอัตโนมัติแบบไร้คนขับ มีหลักการทำงานที่ตัวรถเคลื่อนที่ตาม Lay out ที่กำหนดการลด-เพิ่มความเร็วหรือหยุดเพื่อรับ-ส่งวัสดุ การควบคุมเส้นทางเดินรถทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมได้ โดยในปัจจุบันมีการใช้อัลกอริทึมเพื่อคำนวณเส้นทางของลวดที่จะฝังลงบนพื้นแบบแผ่นแม่เหล็กที่ถูกติดบนพื้น

### 3.2 เครื่องมือจัดการคุณภาพใหม่ 7 แบบ

เป็นแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องมือการจัดการด้านคุณภาพ 7 แบบเพื่อใช้ในการวางแผนป้องกันปัญหาเพื่อให้ได้ประโยชน์และมาตรฐานที่ต้องกันชัดเจนเป็นรูปธรรมมากแก่ไขปัญหาทางด้านคุณภาพตามขั้นตอนในวงจร P-D-C-A โดยเริ่มตั้งเริ่มตั้งแต่การระบุปัญหา สาเหตุ ตั้งเป้าหมายรวมถึงตรวจสอบผลการแก้ไขปัญหาเพื่อช่วยให้มีแนวคิดแผนการการวางแผนการแก้ไขได้อย่างเป็นระบบ ประกอบด้วย

#### 3.2.1 แผนภูมิการจัดกลุ่มความคิด (Affinity Diagram)

รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาจัดเป็นหมวดหมู่เพื่อแยกกลุ่มข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป โดยตั้งคำถามว่า “ทำไม” “เพราะอะไร” จึงเกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น

#### 3.2.2 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ (Relation Diagram)

มุ่งเน้นที่ปัญหาที่ต้องการจะแก้ไข/ป้องกัน เพื่อใช้วางแผนเชิงรุกและเชื่อมโยงกลุ่มข้อมูลที่ได้จากการจัดกลุ่มความคิดจนทราบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาเพื่อนำไปหาแผนงาน แนวทางหรือวิธีการป้องกันให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์/เป้าหมาย

#### 3.2.3 แผนภูมิต้นไม้ตัดสินใจ (Tree Diagram/ Decision Tree)

ใช้ทางานวิธีการแก้ไขป้องกันในรูปของแผนงานหรือวิธีการโดยตอบคำถามว่า “ทำอย่างไร” เพื่อมุ่งสู่วัตถุประสงค์/เป้าหมายที่อยากเป็น โดยมุ่งเน้นไปที่ต้นต่อหรือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาจากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์

#### 3.2.4 แผนภูมิเมตริกซ์ (Matrix Diagram)

ใช้หากความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์/เป้าหมายและแผนงาน/มาตรการ/วิธีการ ที่ได้จากการเสนอแนะว่าแนวทางใดน่าจะมีความเป็นไปได้ คุณค่าและส่วนให้บรรลุถึงเป้าหมายได้ก่อน โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดอย่างเต็มประสิทธิภาพ/ประสิทธิผล

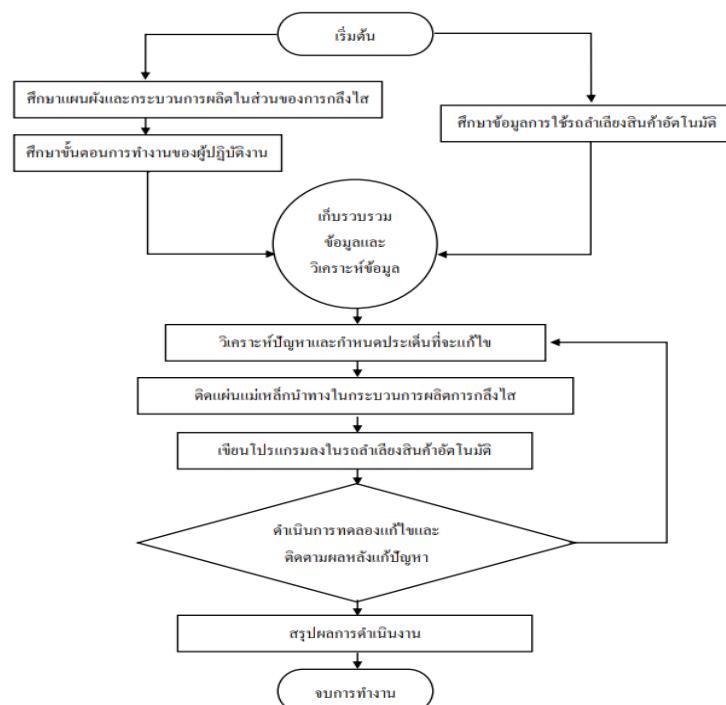
### 3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุญนา พฤกษาพันธุ์รัตน์, อินพิชา วิญญาเรียม และพนิคพร เมญูผ่องวัฒนา (2565) "ได้ศึกษาวิเคราะห์หลักสูตรติกส์ภาษาในระบบอิจิวัฒน์และพนิกพร โรงเรียนพลตรอนนท์ด้วยแบบจำลองสถานการณ์" ปัจจุบันใช้แรงงานคนและรถชนของลากจูงในการขนส่งวัตถุคิดแต่ทางโรงเรียนกำลังพิจารณาปรับระบบ

การขนถ่ายสัมภาระเป็นพาหนะสำหรับการผลิตจากเดิม 12% จนวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์เส้นทางการเดินรถอิฐวีในการขนถ่ายสัมภาระเพื่อตอบสนองความต้องการลูกค้าที่สูงขึ้น รวมถึงห้ามวนอิฐวีที่เหมาะสมจากการศึกษาแผนผัง ระยะทาง คุณสมบัติของอิฐวี และกำลังการผลิตในปัจจุบัน เส้นทางอิฐวีจะได้ถูกออกแบบขึ้นโดยใช้หลักการ เส้นทางที่ดีที่สุดโดยมีจุดตัดที่ต่ำและมีเปลี่ยนแปลงผังน้อยที่สุด ได้ 3 รูปแบบ เมื่อจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์วิเคราะห์เบรย์นเทียบแทนทดลองจริงพบว่าผังแบบที่ 3 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดที่ไม่มีจุดตัด สามารถตอบสนองความต้องการที่ระดับการผลิตเดิมได้ด้วยอิฐวีเพียง 2 คันและรองรับการขยายกำลังการผลิตได้ถึง 21%

รุจิรา เรืองธนกร, นิติวรรัตน์ แสงนวล และจีรดา อนุชิตนาณนท์ (2564) ได้แบ่งกลุ่มวิจัยออก เป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกทำงานทุกความและงานวิจัยเกี่ยวกับทิศทางการเดินรถโดยแบ่งออกเป็นการเดินรถทิศทางเดียวและ การเดินรถหลายทิศทาง ส่วนอีกลุ่มที่二ทำงานทุกความและงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนารถ AGV โดยมีวิธีการแก้ปัญหา 3 รูปแบบ คือการใช้สูตรคณิตศาสตร์ การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และการใช้อัลกอริทึม พบว่าการใช้สูตรคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหานี้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในเชิงคณิตศาสตร์และเมต้าไฮบริดิก (Meta-heuristic) เหมาะสมกับการจัดเส้นทางการเดินรถ AGV ทิศทางเดียวและ A\* Algorithm เหมาะสมกับการจัดเส้นทางการเดินรถ AGV หลายทิศทาง

#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย



แผนภาพที่ 1 Flow Chart แสดงกระบวนการดำเนินงานโดยรวม

##### 4.1 ศึกษาแผนผังและขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตเพลาท้าย

เนื่องจากโควิด-19 ที่ทำให้ต้องปรับเปลี่ยนวิธีการผลิต ทำให้ต้องมีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการผลิตเพื่อให้สามารถวางแผนการเดินรถอิฐวีมาใช้ในกระบวนการผลิตได้ โดยในกระบวนการผลิตขึ้นส่วนเพลาท้าย

รุ่น 1699 และ 1687 ชิ้น ส่วนเพลาจะถูกจัดเก็บไว้ใน storage เพื่อรอการขนย้ายไปที่หน้าเครื่องจักรเรือและบีเม่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต ชิ้นงานจะถูกลำเลียงมาจังท้ายเครื่องจักร จากนั้นผู้ปฏิบัติงานต้องส่งมอบชิ้นงานไปยังบุคลากรค้าคงคลังประเภทสินค้าสำเร็จรูป

#### 4.2 การเก็บรวมรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาพบว่าในกระบวนการผลิตเพลาท้ายรุ่น 1699 และ 1687 ผู้ปฏิบัติงานหน้าเครื่องจักร ไลน์เอและบีมีขั้นตอนการทำงาน 3 ขั้นตอนและส่วนของท้ายเครื่องจักร ไลน์เอและบี 6 ขั้นตอนโดยสามารถแสดงเป็น FPC ได้ดังนี้

ตารางที่ 1 FPC ขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในการผลิตเพลาท้ายของแมชชีนนิ่งไลน์เอ

ลำดับ	ขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน	○	➡	□	▷	▽	ระยะเวลา (เมตร)	เวลา (วินาที)
ขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในการผลิตเพลาท้ายรุ่น 1699 และ 1687 หน้าแมชชีนนิ่งไลน์เอ								
1	เดินไปปั้งจุดอพาร์ทชั้นงานเพลาท้าย						30	
2	นำพา_rectชั้นงานเพลาท้ายมาหน้าเครื่องจักร						30	
3	นำชิ้นงานเพลาท้ายเข้าเครื่องจักรกลึงไส							
รวม		1	2	0	0	0	60	
ขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในการผลิตเพลาท้ายรุ่น 1699 และ 1687 ท้ายแมชชีนนิ่งไลน์เอ								
1	เดินไปพา_rectเปลี่ยนชิ้นงานที่ผ่านการกลึงไส						56	
2	นำพา_rectเปลี่ยนชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐาน						56	
3	ตรวจสอบชิ้นงานเพลาท้ายที่ผ่านการกลึงไส							
4	นำชิ้นงานเพลาท้ายใส่พา_rect							
5	เมื่อชิ้นงานเต็มพา_rect ลากพา_rect ไปจุด FG storage						35	
6	จัดเก็บไว้ในจุด FG storage							
รวม		1	2	1	0	1	147	

ตารางที่ 2 FPC ขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในการผลิตเพลาท้ายของแมชชีนนิ่งไลน์บี

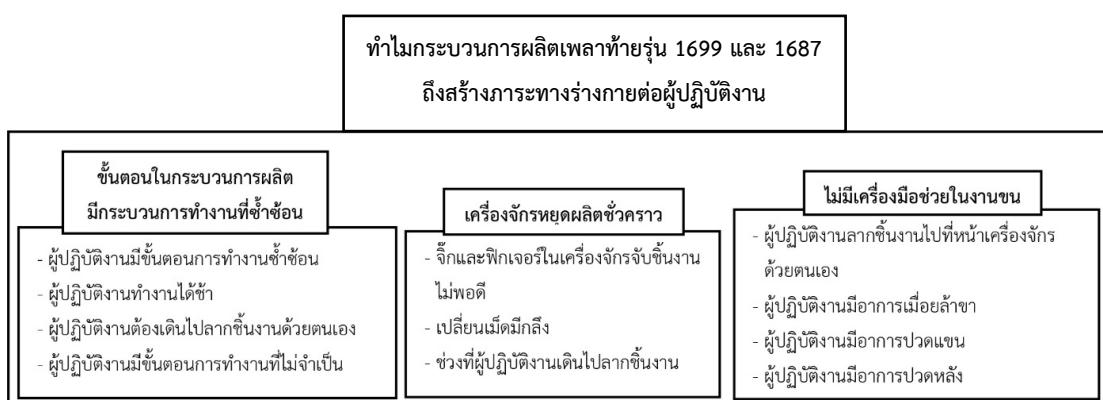
ลำดับ	ขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน	○	➡	□	▷	▽	ระยะเวลา (เมตร)	เวลา (วินาที)
ขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในการผลิตเพลาท้ายรุ่น 1699 และ 1687 หน้าแมชชีนนิ่งไลน์บี								
1	เดินไปปั้งจุดอพาร์ทชั้นงานเพลาท้าย						15	
2	นำพา_rectชั้นงานเพลาท้ายมาหน้าเครื่องจักร						15	
3	นำชิ้นงานเพลาท้ายเข้าเครื่องจักรกลึงไส							
รวม		1	2	0	0	0	30	
ขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในการผลิตเพลาท้ายรุ่น 1699 และ 1687 ท้ายแมชชีนนิ่งไลน์บี								
1	เดินไปพา_rectเปลี่ยนชิ้นงานที่ผ่านการกลึงไส						38	
2	นำพา_rectเปลี่ยนชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐาน						38	
3	ตรวจสอบชิ้นงานเพลาท้ายที่ผ่านการกลึงไส							
4	นำชิ้นงานเพลาท้ายใส่พา_rect							
5	เมื่อชิ้นงานเต็มพา_rect ลากพา_rect ไปจุด FG storage						53	
6	จัดเก็บไว้ในจุด FG storage							
รวม		1	2	1	0	1	129	

จากตาราง FPC สามารถสรุปได้ว่าผู้ปฏิบัติงานในส่วนหน้าแม่ชีนนึง ไลน์อ่อนและบีมีระยะเวลาเดินทั้งหมด 60 เมตรและ 30 เมตร ตามลำดับ ส่วนท้ายแม่ชีนนึง ไลน์อ่อนและบีมีระยะเวลาเดินทั้งหมด 147 เมตร และ 129 เมตร ตามลำดับ

#### 4.3 วิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

#### 4.3.1 การวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิการจัดกลุ่มความคิด (Affinity Diagram)

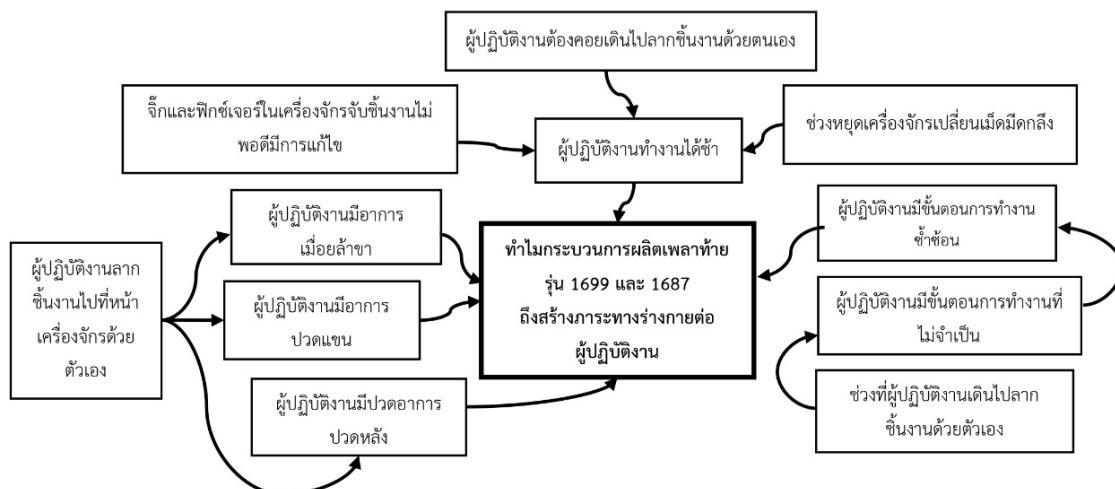
จากการรวบรวมข้อมูลที่เป็นคำพูดและความรู้สึกนึกคิดของผู้ปฏิบัติงานโดยตรงแล้วนำมาจัดเป็นหมวดหมู่และหาแนวทางในการปฏิบัติเพื่อนำไปสู่วัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยสามารถจัดเป็นหมวดหมู่ที่ทำให้สร้างภาระทางร่างกายต่อผู้ปฏิบัติได้ 3 หมวดหมุน สามารถแสดงได้ตามตาราง



แผนภาพที่ 4 การจัดการคณภาพด้วยแผนภูมิการจัดกลุ่มความคิด

#### 4.3.2 การวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ (Relation Diagram)

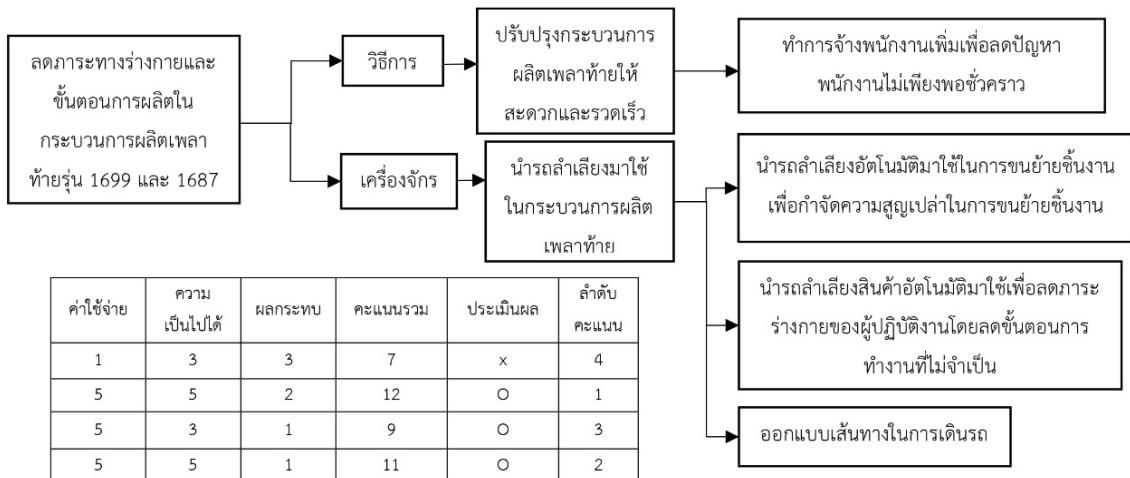
ทำการเขื่อมโยงข้อมูลที่ได้จากการจัดกลุ่มความคิดและแสดงข้อมูลที่เป็นเหตุเป็นผลกันจนกระทั่งทราบถึงสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาเพื่อนำไปหาแนวทางการแก้ไขปัญหา



#### แผนภาพที่ 5 การจัดการคณภาพด้วยแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์

#### 4.3.3 การวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิต้นไม้ตัดสินใจ (Tree Diagram/ Decision Tree)

ใช้แผนภูมิต้นไม้ตัดสินการตั้งเป้าหมายและหาแนวทางการแก้ไขปัญหาในรูปแบบของวิธีการหรือเครื่องจักรและประเมินแนวทางแต่ละแนวทาง เพื่อตัดสินใจว่าแนวทางใดเหมาะสมในการแก้ไขปัญหาซึ่งจากแนวทางการแก้ไขและการประเมินพบว่าแนวทางการปรับปรุงวิธีการมีคะแนนรวมต่ำกว่า 8 คะแนนและเงื่อนไขของแผนภูมิต้นไม้ตัดสินใจคือคะแนนรวมต่ำกว่า 8 คะแนนจะไม่ดำเนินการแก้ไขแต่แนวทางการนำเครื่องจักรมาใช้มีคะแนนรวมมากกว่า 8 คะแนนจึงถูกเลือกให้ดำเนินการแก้ไข



แผนภาพที่ 6 การจัดการคุณภาพด้วยแผนภูมิต้นไม้ตัดสินใจ

#### 4.3.4 การวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิเมตริกซ์ (Matrix Diagram)

นำแนวทางการแก้ไขปัญหาที่ผ่านเกณฑ์การประเมินจากแผนภูมิต้นไม้มาดำเนินการ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุประสงค์จะได้ทราบว่าแต่ละแนวทางสามารถแก้ไขปัญหาตามวัตถุประสงค์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งพบว่าสามารถแบ่งวิธีการออกเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

แนวทางการแก้ไข	ลักษณะของปัญหา	ผู้ปฏิบัติงานมีขั้นตอนที่ไม่จำเป็น	ผู้ปฏิบัติงานมีขั้นตอนช้าช้อน	ผู้ปฏิบัติงานต้องทำงานลากาชั้นงานตัวอย่างประจำ	ผู้ปฏิบัติงานทำงานได้ช้า	ผู้ปฏิบัติงานมีอาการเมื่อยล้าขา	ผู้ปฏิบัติงานมีอาการปวดแขน	ผู้ปฏิบัติงานมีอาการปวดหลัง
นำร่องดำเนียร์อัดโน้มติมาใช้ในการขันย้ำชั้นงานเพื่อลดภาระร่างกายของผู้ปฏิบัติงานโดยลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นของผู้ปฏิบัติงาน	●	○	○	○	○	○	○	△
นำร่องดำเนียร์อัดโน้มติมาใช้ในการขันย้ำชั้นที่ต้องการลดลงชั้นตอนการทำงานที่ช้าช้อน	○	● ○	● ○	○ △	○	●	● ○	△ ○
ออกแบบเส้นทางในการเดินรถ ดำเนียร์อัดโน้มติไปหน้าเครื่องจักรผลิตเพลาท้าย	○	○	○	△	●	●	○	○

แผนภาพที่ 7 การจัดการคุณภาพด้วยแผนภูมิเมตริกซ์

ความหมายของสัญลักษณ์  
 ● เที่ยวขึ้นชั้นอย่างมาก  
 ○ เที่ยวขึ้นชั้น  
 △ อาจจะเที่ยวชั้น

#### 4.4 ดำเนินการแก้ไขปัญหา

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือจัดการคุณภาพใหม่ 7 แบบ (7 New QC Tools) พบว่ามี 3 แนวทาง การแก้ไขปัญหาที่ตัดสินใจเลือกดำเนินการ ดังนี้

1. การนำรถลำเลียงอัตโนมัติมาใช้ในการขนข้ายาน้ำชีนงานเพื่อลดภาระทางร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน โดยลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นของผู้ปฏิบัติงาน
2. การนำรถลำเลียงอัตโนมัติมาใช้ในการขนข้ายาน้ำชีนเพื่อกำจัดความสูญเปล่าในการขนข้ายาน้ำชีน โดยลด ขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน
3. ออกแบบเส้นทางในการเดินรถลำเลียงอัตโนมัติไปหน้าเครื่องจักรผลิตเพลาท้าย

ขณะผู้จัดทำจึงมีแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยการนำรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการผลิต ชิ้นงานเพลาท้ายรุ่น 1699 และ 1687 การจำลองเวลาเส้นทางและติดแผ่นแม่เหล็กสำหรับการขนส่งชิ้นงานเพลา ท้ายรุ่น 1699 และ 1687 จากจุดเริ่มต้นไปยังหน้าเครื่องแมชชีนนิ่งกลึงไสและจากท้ายเครื่องแมชชีนนิ่งกลึงไสไป ยังสินค้าคงคลังประเภทสินค้าสำเร็จรูป

#### 5. ผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบตาราง FPC ก่อนการนำรถเออเจวีมาใช้ในหัวข้อ 4.2 กับตารางหลังนำรถเออเจวีมาใช้ พบร่วมกันที่มีการนำรถเออเจวีเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิต สามารถลดขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานหน้า แมชชีนนิ่งไสและบีลิงได้จาก 3 ขั้นตอนเหลือขั้นตอนเดียวและในส่วนท้ายแมชชีนนิ่งไสและบีสามารถลด ขั้นตอนการทำงานจาก 6 ขั้นตอนเหลือเพียง 3 ขั้นตอน รวมทั้งยังสามารถกำจัดความสูญเปล่าในการขนข้ายาน้ำชีนของผู้ปฏิบัติงานได้อีกด้วย จากตอนแรกที่ผู้ปฏิบัติงานต้องขนข้ายาน้ำชีนด้วยตนเอง หลังจากที่มีการนำรถเออเจวีมาใช้พบว่าผู้ปฏิบัติงานไม่ต้องทำการขนข้ายาน้ำชีนงาน จึงทำให้ระยะเวลาในเคลื่อนที่ของผู้ปฏิบัติงานกลับเป็นศูนย์

ตารางที่ 3 หลังจากนำรถลำเลียงอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการผลิตของผู้ปฏิบัติงานหน้าและท้ายแมชชีนนิ่งไสและบี

ลำดับ	ขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน						ระยะเวลา (เมตร)	เวลา (วินาที)
หลังนำรถลำเลียงอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการผลิตเพลาท้ายรุ่น 1699 และ 1687 หน้าแมชชีนนิ่งไส								
1	นำชิ้นงานเพลาท้ายเข้าเครื่องจักรกลึงไส							
	รวม	1	0	0	0	0	0	
หลังนำรถลำเลียงอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการผลิตเพลาท้ายรุ่น 1699 และ 1687 ท้ายแมชชีนนิ่งไส								
1	ตรวจสอบชิ้นงานเพลาท้ายที่ผ่านการกลึงไส							
2	นำชิ้นงานเพลาท้ายใส่พาร์ท							
	รวม	1	0	1	0	0	0	

ตารางที่ 4 หลังจากนำรถกลับเลียงอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการผลิตของผู้ปฏิบัติงานหน้าและท้ายแม่ข่ายนั่งไลน์นี้

6. อภิปรายผล

วัดอุปราชสังก์ของการวิจัยคือศึกษาการลดขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานโดยการนำร่องดำเนินการที่[อัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการผลิตเพลาห้ารุ่น](#) 1699 และ 1687 ที่เครื่องแมชชีนนิ่งไลน์เอและบีเพื่อลดภาระร่างกายและขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต โดยจะประเมินว่าได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาและกำหนดแนวทางในการแก้ไขปัญหา เมื่อทำวัดผลแล้วร่างสื้นสรุปผลการดำเนินงานได้ดังนี้

## 6.1 การนำร่องสำหรับการนำร่องอัตโนมัติมาใช้ในการขนย้ายขั้นงานเพื่อลดภาระทางร่างกายของผู้ปฏิบัติงานโดยลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นของผู้ปฏิบัติงาน

เดิมผู้ปฏิบัติงานหน้าเครื่องจักรต้องนำเพลาท้ายที่ผ่านกระบวนการเชื่อมมาด้วยตนเองและผู้ปฏิบัติงานส่วนท้ายต้องนำเพลาท้ายที่ผ่านการกลึง ไปยังจุดสินค้าคงคลังประเภทสินค้าสำเร็จรูปด้วยตนเองพร้อมคุณงานหน้าเครื่องจักรด้วยซึ่งเป็นภาระที่เกินความจำเป็น เมื่อเปลี่ยนมาใช้รถลากเลี้ยงอัตโนมัติจะเห็นได้ว่าสามารถลดภาระทางร่างกายของผู้ปฏิบัติงานได้

## 6.2 การนำร่องค่านิยมด้วยอัตโนมัติมาใช้ในการขนย้ายเพื่อกำจัดความสูญเสียในการขนย้ายขึ้นโดยลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน

สามารถลดขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตเพลาท้ายรุ่น 1699 และ 1687 ได้จริง เดิมผู้ปฏิบัติงานหน้าแม่ชีนนิ่งไวน์อ่อนและบีมขั้นตอนในการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน 3 ขั้นตอน ผู้ปฏิบัติงานท้ายแม่ชีนนิ่งไวน์อ่อนและบีมขั้นตอน 6 ขั้นตอน หลังนำรถลำเลียงอัตโนมัติเข้ามาใช้ชิ้นย้ายชิ้นงานส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานหน้าแม่ชีนนิ่งไวน์อ่อนและบีเมล็ดขั้นตอนในการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน 1 ขั้นตอน, ผู้ปฏิบัติงานท้ายแม่ชีนนิ่งไวน์อ่อนและบีเมล็ดขั้นตอนในการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน 2 ขั้นตอน และผู้ปฏิบัติงานไม่ต้องขนย้ายชิ้นงานด้วยตนเอง จึงทำให้ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของผู้ปฏิบัติงานกลับเป็นศูนย์

### 6.3 การแบบเลียนทางในการเดินรถลำเลียงอัตโนมัติไปหน้าเครื่องจักรผลิตเพลท้าย

ช่วยให้สามารถใช้รรถลำเลียงอัตโนมัติได้หลากหลายเส้นทาง มีระบบให้รถลำเลียงอัตโนมัติมีสถานีจอด มอบชื่นงานเพลาท้ายได้เป็นระเบียบ โดยที่รถลำเลียงอัตโนมัติที่ขับเคลื่อนในเส้นทางหลักไม่ชนกับรถลำเลียง สินค้าอัตโนมัติที่กำลังเข้าสถานีส่งมอบชื่นงานเพลาท้ายช่วยให้กระบวนการผลิตเพลาท้ายมีความรวดเร็วมากขึ้น

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณความร่วมมืออย่างดีจากบริษัท อเปนไก อมตะ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนและมอบข้อมูลที่เป็นประโยชน์จนทำให้การทำงานวิจัยฉบับนี้ดำเนินไปอย่างราบรื่น รวมถึงขอทราบขอบเขตพระราชภาพวิชา วิชากรรมเครื่องมือและวัสดุที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือ อีกทั้งยังให้คำแนะนำด้านทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## 8. เอกสารอ้างอิง

1. HEADS Co., Ltd., HEADS. (2562). บริษัทของ AVG. <https://agv-headscorp.com>
2. รุจิรา เรืองธนากร<sup>1</sup>, ชิดารรณ แสงนวลด<sup>2</sup>, และจีรา อนุชิตنانท์<sup>3</sup>. (2564). การศึกษาวิธีการขัดการเส้นทาง การเดินรถ AGV ในอุตสาหกรรมการผลิต. ชิดารรณ-แสงนวล.pdf (buulog.com)
3. palletthai.co.th. (n.d.). รถล้ำเลี้ยงสินค้าอัตโนมัติ (AGV). [http://www.palletthai.co.th/TH/product/automated\\_guided\\_vehicle.html](http://www.palletthai.co.th/TH/product/automated_guided_vehicle.html)
4. นางอรุณศรี วรรณรัตน์. (2559). ระบบขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ. Blogspot. <http://585705032.blogspot.com/2016/11/8.html>
5. bigqtraining. (n.d.) หลักสูตร New QC 7 Tools เครื่องมือควบคุมคุณภาพชนิดใหม่ 7 วัน. <https://www.bigqtraining.in.th/new-qc-7-tools/>
6. iok2u. (n.d.). Tool เครื่องมือขั้นตอนการคุณภาพใหม่ 7 แบบ (The 7 New QC Tools). <https://io2u.com/article/industry/tool-7-the-7-new-qc-tools>
7. บุญนา พุกษาพันธุ์รัตน์<sup>1</sup>, อินทิชา วิญญูเสรี<sup>2</sup>, และพนิดพร เบญจผ่องวัฒนา<sup>3</sup>. (2565). แบบจำลองสถานการณ์โลจิสติกส์ภายในระบบอิเล็กทรอนิกส์ในแผนกประกอบโรงงานผลิตรถยนต์, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 32(2), 355.
8. กองวิจัยเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. (2565). ความท้าทายของการส่งออกชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในอนาคต. Challenges\_Exporting\_AutoParts\_Future.pdf (oie.go.th)
9. สำมะโนธุรกิจอุตสาหกรรม พ.ศ. 2555: อุตสาหกรรมการผลิต ทั่วราชอาณาจักร. (2555). อุตสาหกรรมยานยนต์ไทย. [http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/census/files/2012\\_Automotive.pdf](http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/census/files/2012_Automotive.pdf)

การวิเคราะห์เสถียรภาพไม่ระบายน้ำของงานบุดก็มีค่ายันในดินเหนียวสองชั้น  
UNDRAINED STABILITY ANALYSIS OF BRACED EXCAVATIONS  
IN TWO-LAYERED CLAYS

กลุ่ม อินคำเชื้อ

นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: kamon.mm@gmail.com

ดร.สุรภาพ แก้วสวัสดิวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาชีวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: ksurapar@engr.tu.ac.th

ดร.วีรยา ฉิมอ้อย

รองศาสตราจารย์ ภาควิชาชีวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: sweeraya@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอผลการศึกษาวิเคราะห์เสถียรภาพแบบไม่ระบายน้ำของงานบุดในแนวตั้งในดินเหนียวสองชั้นที่ใช้กำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ เป็นโครงสร้างค้ำยันป้องกันการเคลื่อนที่ของมวลดินเข้ามาในงานบุดในลักษณะของการอุด เนื่องจากความสามารถในการรับกำลังแบกหานที่เกิดจากดินด้านหลังกำแพงไม่เพียงพอ ด้วยระบบวิธีไฟฟ้าในตัวอิเล็กทรอนิกส์แบบการวิเคราะห์ลิมิตในระบบสามมิติจากโปรแกรม OptumG3 กำแพงกันดินและดินเหนียวถูกจำลองเป็นชิ้นส่วนแบบปริมาตร ดินเหนียวถูกแบ่งเป็นสองชั้น ดินเหนียวชั้บนมีความลึกจากผิวดินจนถึงงานบุด ดินเหนียวชั้นล่างอยู่ด้วยแต่ความลึกงานบุดลงไป กำแพงกันดินถูกจำลองเป็นวัสดุแบบแข็งเกร็ง ดินเหนียวถูกจำลองด้วยวัสดุแบบเทรสภายในสภาพไม่ระบายน้ำ ผิวสัมผัสระหว่างดินเหนียวและกำแพงกันดินถูกจำลองให้เป็นการเชื่อมต่อแบบไม่มีแรงดึง การจำลองสภาพการวิบัติด้วยวิธีไฟฟ้าในตัวอิเล็กทรอนิกส์ใช้หลักการลดตอนกำลัง ผลการวิเคราะห์ถูกนำเสนอบรรยายในรูปแผนภูมิออกแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขเสถียรภาพ ( $N_c$ ) กับพารามิเตอร์ไหนดีที่เป็นอัตราส่วนของ ระยะผึ่งของกำแพง (D) ความหนา กำแพง (W) ความกว้าง (B) ความยาว (L) และความลึกงานบุด (H) รวมถึงกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ของดินเหนียว ( $S_u$ ) ผลการศึกษาวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า (1) ค่าตัวเลขเสถียรภาพสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่าง ระยะผึ่งของกำแพงและความลึกงานบุด ( $D/H$ ) และอัตราส่วนระหว่างกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินชั้นที่สองและดินชั้นที่หนึ่ง ( $s_{u2} / s_{u1}$ ) มากขึ้น (2) ค่าตัวเลขเสถียรภาพค่อนข้างคงที่เมื่ออัตราส่วนระหว่างความหนา กำแพงและความลึกงานบุด ( $W/H$ ) มากขึ้น (3) ค่าตัวเลขเสถียรภาพลดลงเมื่ออัตราส่วนระหว่างความกว้างงานบุดและความลึกงานบุด ( $B/H$ ) และอัตราส่วนระหว่างความยาวงานบุดและความกว้างงานบุด ( $L/B$ ) มากขึ้น

คำสำคัญ: ไฟฟ้าในตัวอิเล็กทรอนิกส์ สามมิติ ดินเหนียว เสถียรภาพงานบุด

## ABSTRACT

This paper presents the undrained stability braced excavations in two-layered of cohesive soils. The cast in place Diaphragm Walls (DW) are used as the brace structure against soils heaving. The finite element method with reduced shear strength is used to evaluate the base stability of excavations in three dimensions. Cohesive soils are modeled as volume elements. The cohesive soils are divided in two layers, the upper layer is from ground surface to excavated depth and the lower layer is under the excavation depth. The DW are assumed to be rigid, and the soils are modeled by Tresca material with undrained condition. The DW-soils interface is assumed to be tensionless condition. The results of this study are presented as series of design chart in term of dimensionless parameter, stability number ( $N_c$ ). The charts show that (1) The stability number increases with the increasing of the ratio of penetration depth to excavation depth (D/H) and the increasing of the ratio of undrained shear strength of lower soil to upper soil ( $s_{u2} / s_{u1}$ ). (2) The stability number quite constant with the increasing of the ratio of DW thickness to excavation depth (W/H). (3) The stability number decreases with the increasing of the ratio of excavation width to excavation depth (B/H) and the increasing of the ratio of excavation length to excavation width (L/B).

**Keywords:** Finite-Element Analysis, Three-Dimensional, Soft Clay, Base Stability

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัจจัยวิจัย

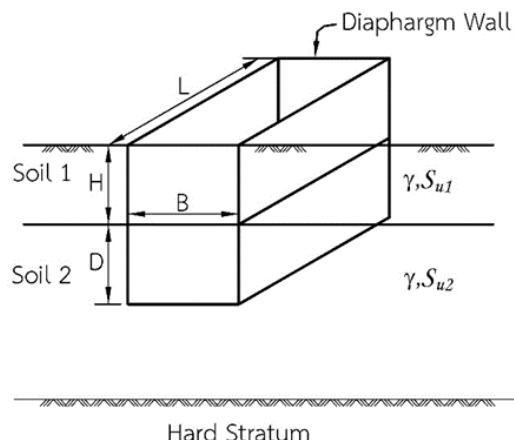
การก่อสร้างในพื้นที่ที่อยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำและจำเป็นต้องใช้พื้นที่ภายในงานบุดในการทำงาน เช่น ฐานรากเสาตอม่ออาคาร ลังเก็บน้ำไดคิน ห้องไดคิน เป็นต้น หากพื้นที่ในการก่อสร้างเพียงพอจะบุดินในลักษณะที่ผ่านงานบุดมีความลาดชัน ในกรณีนี้อาจไม่จำเป็นต้องใช้โครงสร้างกันดิน อย่างไรก็ตามหากงานบุดมีความลึกมาก การใช้ลักษณะของความลาดชันอาจมีความปลอดภัยไม่เพียงพอ หรือหากบริเวณใกล้ๆ มีอาคารหรือโครงสร้างที่อาจเกิดความเสียหายจากงานบุด ทำให้จำเป็นต้องใช้โครงสร้างกันดินเพื่อค้ำขันไม่ให้มวลดินภายนอกงานบุดเกิดการวิบติ โครงสร้างกันดินมีอยู่ 2 ประเภทหลัก ๆ คือ โครงสร้างกันดินประเภทมีโครงสร้างค้ำขันภายในงานบุด และ โครงสร้างกันดินประเภทไม่มีโครงสร้างค้ำขันภายในงานบุด โดยการเลือกใช้โครงสร้างกันดินแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับความลึกของการบุด ลักษณะของชั้นดิน และความต้องการพื้นที่ภายในงานบุดสำหรับการก่อสร้าง โครงสร้างกันดินประเภทไม่มีโครงสร้างค้ำขันก็จะมีข้อดีว่าประเภทนี้โครงสร้างค้ำขัน เนื่องจากมีพื้นที่ภายในที่สะดวกในการก่อสร้าง ดังนั้นในการออกแบบมักเลือกใช้โครงสร้างกันดินแบบไม่มีโครงสร้างค้ำขัน ก่อนหากสามารถใช้ได้ โครงสร้างกันดินแบบไม่มีโครงสร้างค้ำขัน ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมี 3 ชนิด คือ กำแพงเพ้มพีดแบบยืน (Cantilever Sheet Pile Walls) กำแพงเสาเข็มเจาะแบบต่อเนื่อง (Pile Wall) และกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ (Diaphragm Walls) เนื่องจากเป็นโครงสร้างกันดินที่เหมาะสมสำหรับงานบุดินที่ลึกมาก โดยไม่ต้องใช้โครงสร้างค้ำขันภายในได้ มีกำลังสูง ทนทาน มีแนวโน้มตัวทางด้านข้างน้อย และยังปรับเปลี่ยนเป็นโครงสร้างตามภัยหลังได้อีกด้วย

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาเสถียรภาพแบบไม่ระบายน้ำของงานชุดที่มีค่าขันในดินเหนียวสองชั้น
- (2) เพื่อศึกษาระเบียบวิธีไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้วิธีการลดกำลังในการวิเคราะห์หาเสถียรภาพแบบไม่ระบายน้ำของงานชุดที่มีค่าขันในดินเหนียวสองชั้นในรูปแบบสามมิติ
- (3) เพื่อศึกษาและพัฒนาแผนภูมิอุอกแบบเสถียรภาพแบบไม่ระบายน้ำของงานชุดที่มีค่าขันในดินเหนียวสองชั้น จากผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบสามมิติ

## 3. ขอบเขตการวิจัย

- (1) ลักษณะชั้นดินเป็นดินเหนียวสองชั้น โดยแต่ละชั้นมีลักษณะเนื้อดินสม่ำเสมอ (Homogeneous) มีหน่วยน้ำหนักดิน  $\gamma$  เท่ากัน ดินชั้นบนและดินชั้นล่างมีค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดิน (Undrained Shear Strength,  $S_u$ ) เท่ากับ  $S_{u1}$  และ  $S_{u2}$  ตามลำดับ
- (2) รูปแบบของงานชุดเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้าง (B) และความยาว (L) และการชุดเป็นแนวยาวที่มีความยาวมากกว่าความกว้างมาก ๆ และมีความลึก (H)
- (3) กำแพงกันดินเป็นกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ (Diaphragm wall) มีความหนา (W) และมีระยะฝังของกำแพง (D)
- (4) กำแพงกันดินถูกจำลองเป็นวัสดุแบบแข็งเกร็ง (Rigid body) ดินเหนียวถูกจำลองด้วยวัสดุแบบเทเรสภายในสภาพไม่ระบายน้ำ ผิวสัมผัสระหว่างดินเหนียวและกำแพงกันดินถูกจำลองให้เป็นการเชื่อมต่อแบบไม่มีแรงดึง



ภาพที่ 1 รูปแบบของงานชุด

## 4. วิธีดำเนินการวิจัย

### 4.1 ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัย ทำการวิเคราะห์แบบจำลองงานชุดโดยใช้โปรแกรมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบการวิเคราะห์ลิมิต (Finite Element Limit Analysis) OptumG3 มีพารามิเตอร์ไร้มิติป้อนเข้าเป็นอัตราส่วนของนาครูป่าง และคุณสมบัติดิน ผลลัพท์ที่ได้จะถูกเสนอเป็นแผนภูมิอุอกแบบในรูปความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ไร้มิติกับค่าตัวเลขเสถียรภาพ

#### 4.2 ขั้นตอนการวิจัย

(1) บททวนงานวิจัยที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟฟ้าโนต์อเลิมิเนตแบบการวิเคราะห์ลิมิต และงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

(2) สร้างแบบจำลองของงานบุคคลเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ากึ่งกล่องไปในดินเหนียวโดยใช้กำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ (Diaphragm Walls) ที่มีการผสานกำแพงลึกลงต่ำกว่าระดับก้นหลุมบุคคล เป็นโครงสร้างกันดิน ไม่มีการติดตั้งโครงสร้างค้ำยันภายในงานบุคคล และลักษณะชั้นดินที่แบ่งเป็นสองชั้น โดยความลึกของดินชั้นบนเท่ากับความลึกหลุมบุคคล ดังภาพที่ 2(a)

(3) กำหนดให้การเขื่อมต่อระหว่างดินเหนียวและกำแพงกันดินเป็นการเขื่อมต่อแบบไม่มีแรงดึงทำให้จำลองสภาพการแยกตัวระหว่างดินและเสาเข็มได้

(4) กำหนดเงื่อนไขของของแบบจำลอง ดังนี้ ขอบด้านล่างของแบบจำลองจะถูกจำกัดการเคลื่อนที่ทั้งในแนวตั้งและแนวระนาบ ( $u_x = 0, u_y = 0, u_z = 0$ ) ขอบด้านแนวรอบข้างของแบบจำลองจะถูกจำกัดการเคลื่อนที่ในแนวระนาบแต่ถูกปล่อยให้มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( $u_x = 0, u_y = 0, u_z \neq 0$ ) ขอบด้านบนของแบบจำลองทั้งผิวหลังกำแพงกันดินและบริเวณก้นหลุมบุคคลถูกปล่อยให้มีการเคลื่อนที่อิสระ ( $u_x, u_y, u_z \neq 0$ ) ปราศจากการขีดริ้ง หน้ากำแพงกันดินที่จะผสานกับของแบบจำลองถูกปล่อยให้มีการเคลื่อนที่อิสระ ( $u_x, u_y, u_z \neq 0$ ) ปราศจากการขีดริ้ง ดังภาพที่ 2(b)

(5) กำหนดพารามิเตอร์ไว้มิติข้อนี้เข้าในการวิเคราะห์สามมิติซึ่งเป็นอัตราส่วนของพารามิเตอร์ขนาดบุคคล และความลึกงานบุคคล (H) ระยะผสานกำแพง (D) ความหนากำแพง (W) ความกว้างงานบุคคล (B) ความยาวงานบุคคล (L) กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินชั้นที่หนึ่ง ( $S_{u1}$ ) และกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินชั้นที่สอง ( $S_{u2}$ ) มีดังต่อไปนี้

- อัตราส่วนระยะผสานกำแพง (D/H) = 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 และ 2.00
- อัตราส่วนความหนากำแพง (W/H) = 0.06, 0.10, 0.15, และ 0.20
- อัตราส่วนความกว้างงานบุคคล (B/H) = 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 และ 2.00
- อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างงานบุคคล (L/B) = 1, 2, 3, และ 4
- อัตราส่วนกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดิน ( $S_{u2} / S_{u1}$ ) = 1.00 1.50 และ 2.00

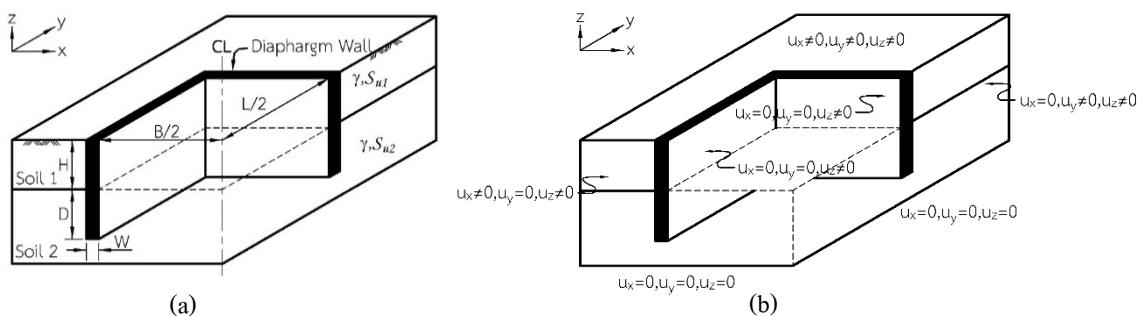
(6) ทำการจำลองสภาพวิบัติด้วยโปรแกรม OptumG3 เพื่อหาอัตราส่วนปลดอกภัยโดยรวมของแบบจำลอง (global safety factors) จากวิธีทำซ้ำ (iterative method) โดยการใช้วิธีลดทอนกำลัง (strength reduction method) ในระเบียบวิธีไฟฟ้าโนต์อเลิมิเนตเพื่อลดทอนค่าพารามิเตอร์กำลังของดินเหนียวแบบไม่ระบายน้ำจากแบบจำลองเทรสกา คือ กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( $S_u$ ) อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งแสดงผลว่าถึงปิดจำกัดหรือกล่าวได้ว่าเป็นสภาพวิบัติของแบบจำลอง พร้อมทั้งแสดงค่าอัตราส่วนปลดอกภัยที่สภาพวิบัติ ดังนั้นค่าอัตราส่วนปลดอกภัยที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ป้อนเข้าในโปรแกรม โดยแสดงเป็นค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำโน้มูลไซซ์ ( $S_{u,m}$  หรือ  $S_u / FS$ ) ซึ่งเป็นค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ปิดจำกัดหรือสภาพวิบัติของแบบจำลอง ปิดจำกัดหรือสภาพวิบัติกล่าวคือค่าอัตราส่วนปลดอกภัยไม่เพิ่มขึ้น

(7) หาค่าตัวเลขเสถียรภาพ (stability number,  $N_c$ ) เป็นพารามิเตอร์ไว้มิติที่นิยมใช้วิเคราะห์เสถียรภาพสำหรับงานบุคคล ตัวเลขเสถียรภาพเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงกระทำนีองจากน้ำหนักของหน่วยน้ำหนักดิน ( $\gamma$ ) ที่ระยะความลึกงานบุคคล (H) และแรงต้านทานคือกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( $S_u$ ) พารามิเตอร์ไว้

มิติผลลัพธ์นี้เป็นค่า ณ สาขาวิศวกรรมแบบจำลอง ดังนี้ตัวเลขเสถียรภาพของการวิเคราะห์นี้ คือ  $\gamma H / S_{u1,m}$  หรือ  $FS\gamma H / S_{u1}$

$$N_c = \frac{FS\gamma H}{S_{u1}} \quad (1)$$

(8) วิเคราะห์ข้อมูล และนำเสนอในรูปของแผนภูมิอุอกแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พารามิเตอร์ไวร์มิติป้อนเข้า และพารามิเตอร์ไวร์มิติผลลัพธ์ โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ไวร์มิติผลลัพธ์หรือตัวเลข เสถียรภาพที่แกนตั้ง และพารามิเตอร์ไวร์มิติป้อนเข้าที่แกนนอน รวมไปถึงรูปที่แสดงลักษณะสีของคอนทัวร์ (Contour) ซึ่งแสดงขอบเขตของการวินิจฉัยของคิน (Failure envelope) จากการเคลื่อนตัวของมวลคินที่สภาวะวินิจฉัย



ภาพที่ 2 ลักษณะของแบบจำลองของงานชุด

## 5. ผลการวิจัย

### 5.1 แผนภูมิอุอกแบบ

(1) แผนภูมิอุอกแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขเสถียรภาพ ( $FS\gamma H / S_{u1}$ ) และอัตราส่วน ระยะผังกำแพง ( $D/H$ ) ดังภาพที่ 3(a) แสดงให้เห็นถึงค่าตัวเลขเสถียรภาพที่เพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น เมื่ออัตราส่วน ระยะผังกำแพงมีค่าเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าระยะผังของกำแพงกันคินมีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของงานชุด ยิ่งระยะผังมี ความลึกมากเสถียรภาพงานชุดจะมากขึ้นตามส่วนลดให้ค่าอัตราส่วนปลดภัยสูงขึ้นนั่นเอง

(2) แผนภูมิอุอกแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขเสถียรภาพ ( $FS\gamma H / S_{u1}$ ) และอัตราส่วน ความหนากำแพง ( $W/H$ ) ดังภาพที่ 3(b) แสดงให้เห็นถึงค่าตัวเลขเสถียรภาพที่ค่อนข้างคงที่ เมื่ออัตราส่วนความ หนากำแพงเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าความหนาของกำแพงกันคินมีอิทธิพลน้อยมากต่อเสถียรภาพของงานชุด เนื่องจาก ในงานวิจัยนี้ได้จำลองกำแพงกันคินให้เป็นวัสดุแบบแข็งเกร็ง (Rigid body) ดังนั้นการวินิจฉัยของแบบจำลองจึงไม่ เกิดขึ้นที่กำแพงกันคิน แต่จะเกิดขึ้นจากการที่มวลคินไห้ลrorดผ่านใต้กำแพงเข้าสู่บริเวณงานชุดคืนเท่านั้น

(3) แผนภูมิอุอกแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขเสถียรภาพ ( $FS\gamma H / S_{u1}$ ) และอัตราส่วน ความกว้างงานชุด ( $B/H$ ) ดังภาพที่ 3(c) แสดงให้เห็นถึงค่าตัวเลขเสถียรภาพที่ลดลงแบบทวีคูณ เมื่ออัตราส่วน ความกว้างงานชุดเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าความกว้างของงานชุดมีอิทธิพลอย่างมากต่อเสถียรภาพของงานชุด งานชุด ที่ความกว้างมากๆ เสถียรภาพงานชุดจะลดลงอย่างรวดเร็วส่งผลให้ค่าอัตราส่วนปลดภัยต่ำลงเกิดการวินิจฉัยได้ยาก

(4) แผนภูมิอุอกแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขเสถียรภาพ ( $FS\gamma H / S_{u1}$ ) และอัตราส่วน ความยาวต่อความกว้างงานชุด ( $L/B$ ) ดังภาพที่ 3(d) แสดงให้เห็นถึงค่าตัวเลขเสถียรภาพที่ลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วงที่  $L/B$  เท่ากับ 1 - 2.5 หลังนั้นจะเริ่มลดลงอย่างช้าๆ เมื่ออัตราส่วนความยาวต่อความกว้างงานชุดเพิ่มขึ้น

อธิบายได้ว่ารูปทรงงานบุคคลมีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของงานบุคคล งานบุคคลที่มีระยะด้านขวางเท่ากับหรือใกล้เคียงกับ ด้านกว้าง เสถียรภาพงานบุคคลจะสูงกว่างานบุคคลที่มีระยะด้านขวางมากกว่าด้านกว้าง และการวินิจฉัยที่เกิดขึ้นจะเกิดจาก ด้านขวางก่อนด้านกว้างเสมอ

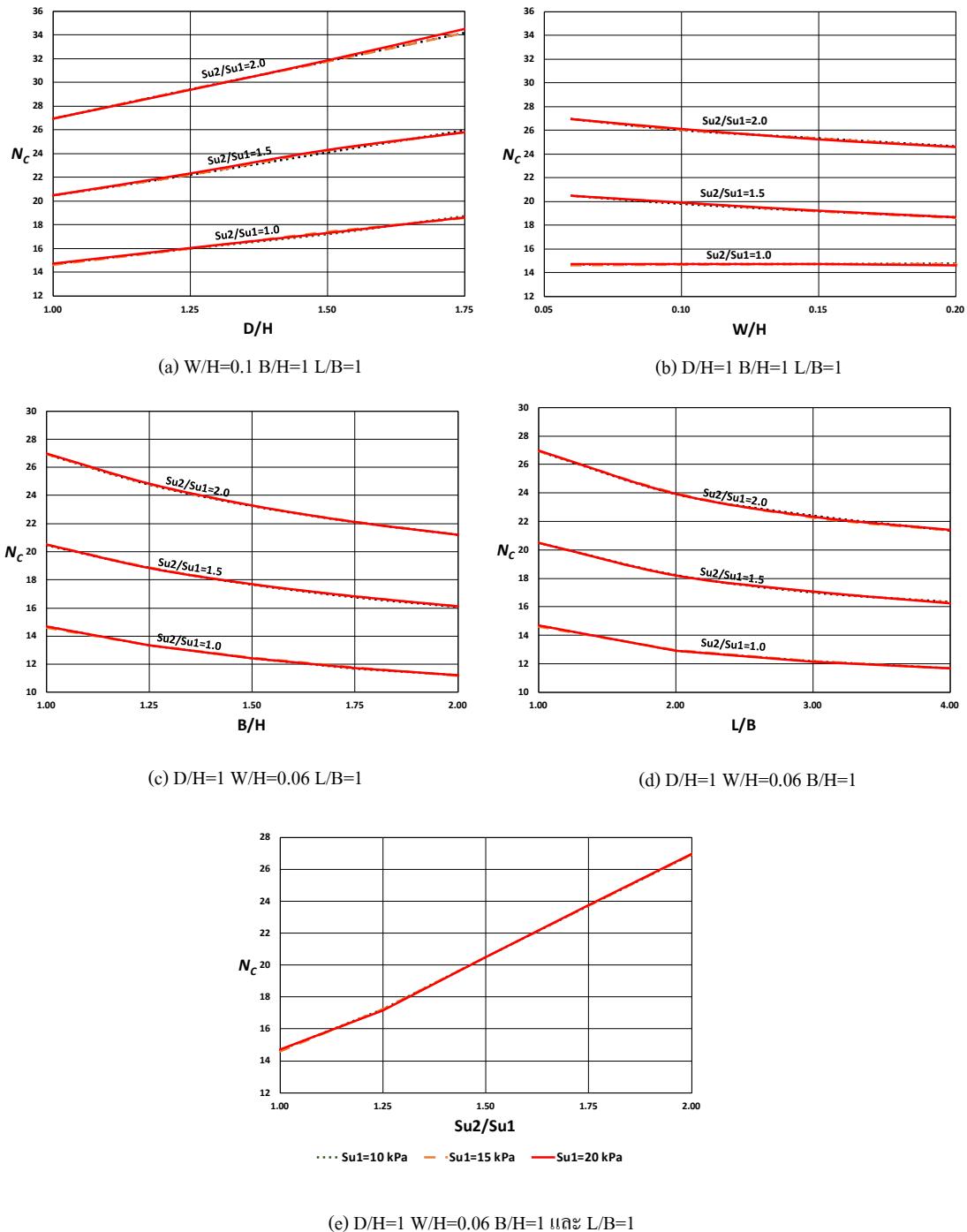
(5) แผนภูมิออกแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขเสถียรภาพ ( $FSyH / S_{u1}$ ) และอัตราส่วน กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของคินชั้นล่างต่อคินชั้นบน ( $S_{u2} / S_{u1}$ ) ดังภาพที่ 3(e) แสดงให้เห็นถึงค่า ตัวเลขเสถียรภาพที่เพิ่มขึ้นแบบคงที่ เมื่ออัตราส่วน กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของคินชั้นล่างต่อคินชั้น บนมีค่าเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าความแตกต่างของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของคินชั้นล่างกับคินชั้นบนมี อิทธิพลต่อเสถียรภาพของงานบุคคล ยิ่งกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของคินชั้นล่างสูงกว่าคินชั้นบนมากๆ เสถียรภาพงานบุคคลจะมากขึ้นอย่างชัดเจน ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนปลดภัยสูงขึ้นอย่างมาก

### 5.2 ลักษณะการวินิจฉัยแบบจำลองคำเพงกันดิน

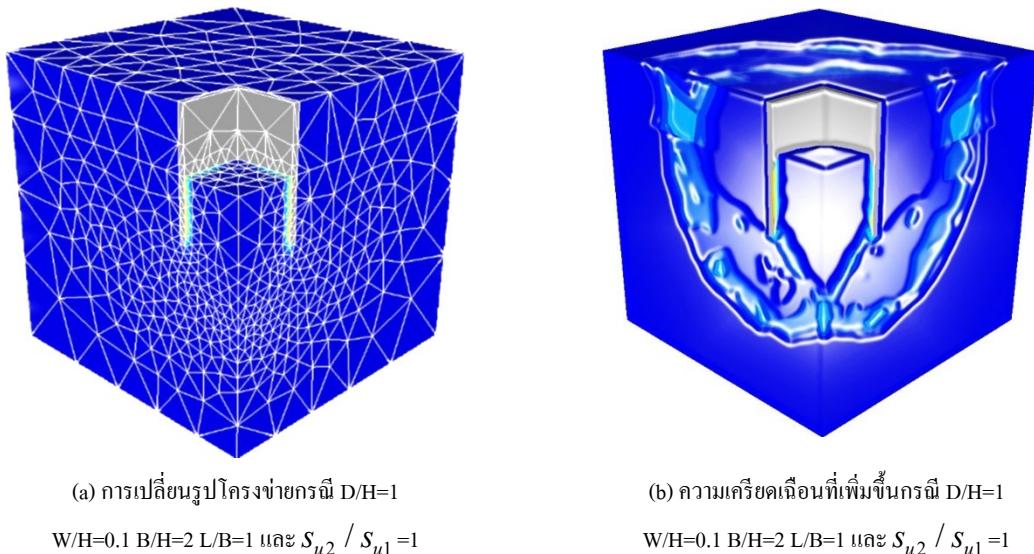
(1) การเปลี่ยนรูปโครงข่ายเป็นลักษณะการเคลื่อนตัวของวัสดุภายในแบบจำลองแสดงด้วย โครงข่ายไฟไนต์อิลิเมนต์ (deformed meshes) ตัวอย่างการเปลี่ยนรูปโครงข่าย จากผลการวิเคราะห์ ณ สถานะวินิจฉัยแบบจำลอง จะมีลักษณะที่มัวดินจะไหลลอดผ่านได้คำเพงกันดินเข้าสู่ผู้งานบุคคล ดังภาพที่ 4(a)

ในกรณีที่กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของคิน ( $S_u$ ) เทื่องรับดับความลึกงานบุคคลมีค่าน้อยกว่า กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำได้รับดับความลึกงานบุคคล หรือกล่าวคืออัตราส่วน กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ ระบายน้ำของคินชั้นล่างต่อคินชั้นบน ( $S_{u2} / S_{u1}$ ) มีค่ามากกว่า 1 การเปลี่ยนรูปโครงข่ายไฟไนต์อิลิเมนต์ของ แบบจำลองจะมีลักษณะเป็นรูปแบบเหมือนกับกรณีอัตราส่วน กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของคินเท่ากับ 1 แต่การเปลี่ยนรูปบริเวณดินได้รับดับความลึกงานบุคคลจะเกิดการเปลี่ยนรูปน้อยกว่า เนื่องจาก กำลังรับแรงเฉือนแบบ ไม่ระบายน้ำของคินที่เพิ่มขึ้นทำให้คินมี กำลังสูงขึ้น

(2) ความเครียดเฉือนที่เพิ่มขึ้น (incremental shear strains) ในแบบจำลอง คือ การเพิ่มขึ้นของ ความเครียดที่จุดความเด่น (stress point) ณ สถานะวินิจฉัยของแบบจำลอง แสดงผลเป็นลักษณะสีที่แตกต่างกัน สามารถสังเกตเห็นบริเวณสีที่แตกต่างได้ชัดเจนในแบบจำลอง ซึ่งมีลักษณะเป็นแนวโถง ณ บริเวณแนวโถงนี้คือ บริเวณที่มีค่าความเครียดเฉือน (shear strain) เพิ่มสูงขึ้น จึงสามารถกล่าวได้ว่าบริเวณแนวโถงคือ界面วินิจฉัย (failure plane) ของแบบจำลอง ลักษณะ界面วินิจฉัยในการวิเคราะห์นี้มีรูปร่างคล้ายคลึงกับ界面วินิจฉัยของ การวิเคราะห์ลักษณะ ตัวอย่างความเครียดเฉือนที่เพิ่มขึ้นจากผลการวิเคราะห์ ณ สถานะวินิจฉัยแบบจำลอง ดัง ภาพที่ 4(b)



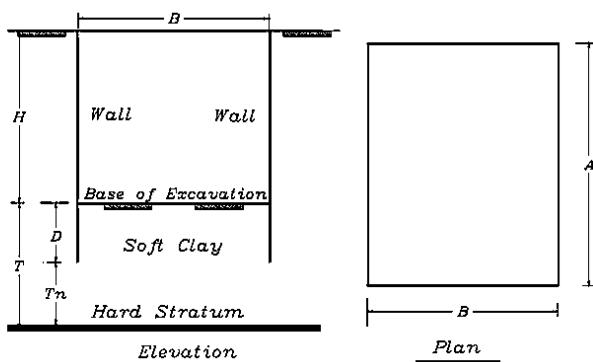
ภาพที่ 3 ตัวอย่างแผนภูมิออกแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขเสถียรภาพกับพารามิเตอร์ที่รีบมิติ



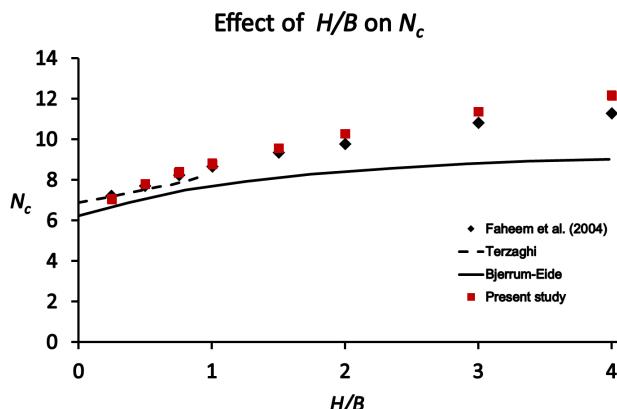
ภาพที่ 4 ตัวอย่างการวินิจฉัยของรูปจำลอง

### 5.3 การตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์

Faheem et al. (2004) ได้ศึกษาสอดคล้องกับภาพของพื้นงานบุคคลปัจจุบันสี่เหลี่ยมในดินเหนียวแบบสามมิติโดยนำวิธีของ Terzaghi (1943) และ Bjerrum and Eide (1956) ซึ่งเป็นแบบสองมิติมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบเบี่ยงบีบไฟฟ้าในตัวอิเล็กทรอนิกส์ มีรูปแบบของงานบุด ดังภาพที่ 5 และได้เสนองрафแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างตัวเลขเสถียรภาพ ( $N_c$ ) และอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างงานบุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในครั้งนี้ ผลการเปรียบเทียบกรณีอัตราส่วนความยาวต่อความลึกกว้างงานบุดเท่ากับ 1.0 หรือเป็นงานบุดหน้าตัดสี่เหลี่ยมจตุรัส ค่าตัวเลขเสถียรภาพที่ได้จากการศึกษารั้งนี้มีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าตัวเลขเสถียรภาพจากวิธีของ Terzaghi (1943) เมื่ออัตราส่วนความลึกต่อความกว้างงานบุด ไม่เกิน 1.0 ซึ่งเป็นลักษณะของงานบุดด้านหรือความกว้างมากกว่าความลึกตามสมมติฐานของ Terzaghi (1943) และเมื่ออัตราส่วนความลึกต่อความกว้างงานบุดมากกว่า 1.0 ซึ่งเป็นสภาพของงานบุดลึกตามสมมติฐานของ Bjerrum and Eide (1956) ค่าตัวเลขเสถียรภาพที่ได้จากการศึกษารั้งนี้ ขึ้นไปแนวโน้มสูงขึ้นแต่มีอัตราการเพิ่มที่น้อยลง และสูงกว่าค่าตัวเลขเสถียรภาพจากวิธีของ Bjerrum and Eide (1956) และเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาของ Faheem et al. (2004) ซึ่งใช้ระบบเบี่ยงบีบไฟฟ้าในตัวอิเล็กทรอนิกส์เข่นเดียวกับการศึกษารั้งนี้ พบว่ามีความใกล้เคียงกันอย่างมาก ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 รูปแบบของงานบุด Faheem et al. (2004)



ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $N_c$  และ  $H/B$

## 6. อภิปรายผล

### 6.1 ผลของอัตราส่วนระหว่างระยะผึ้งของกำแพงและความลึกงานบุดต่อเสถียรภาพงานบุด

สำหรับงานบุดที่มีขนาดหน้าตัด ความลึก เท่ากัน และอยู่ในดินลักษณะเดียวกัน งานบุดที่ใช้กำแพงกันดินที่มีระยะผึ้งมากกว่า จะมีเสถียรภาพงานบุดจะสูงกว่า และมีแรงนาบวินท์กว้างกว่า

### 6.2 ผลของอัตราส่วนระหว่างความหนากำแพงและความลึกงานบุดต่อเสถียรภาพงานบุด

สำหรับงานบุดที่มีระยะผึ้งของกำแพงกันดิน ขนาดหน้าตัด ความลึกงานบุด เท่ากันและอยู่ในดินลักษณะเดียวกัน เสถียรภาพงานบุดไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่ความหนาของกำแพงกันดินต่างๆ กัน ในส่วนนี้อาจเนื่องมาจากการตอบแทนวิจัยที่กำหนดให้กำแพงกันดินเป็นวัสดุที่มีกำลัง (strength) หรือความแข็ง (stiffness) มาก เมื่อเปรียบเทียบกับดินเหนียว ซึ่งมีพฤติกรรมแบบแข็งเกร็ง (Rigid body) ดังนั้นการวินท์ของรูปจำลองจะไม่เกิดขึ้นที่กำแพง แต่จะเกิดขึ้นที่มวลดินเท่านั้น

### 6.3 ผลของอัตราส่วนความกว้างงานบุดต่อเสถียรภาพงานบุด

สำหรับงานบุดที่มีระยะผึ้งของกำแพงกันดิน ความลึกงานบุด เท่ากันและอยู่ในดินลักษณะเดียวกัน งานบุดที่มีขนาดหน้าตัดน้อยกว่า จะมีเสถียรภาพงานบุดจะสูงกว่า แต่ระยะจากขอบนอกของกำแพงกันดินถึงแนวระนาบวินท์มีค่าใกล้เคียงกัน

### 6.4 ผลของอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างงานบุดต่อเสถียรภาพงานบุด

สำหรับงานบุดที่มีระยะผึ้งของกำแพงกันดิน ความลึกงานบุด เท่ากันและอยู่ในดินลักษณะเดียวกัน งานบุดที่มีขนาดด้านเท่ากันทั้งสี่ด้าน จะมีเสถียรภาพงานบุดจะสูงกว่างานบุดที่มีขนาดด้านยาวกว่าด้านสั้น และระนาบวินท์จะเกิดที่ด้านยาวก่อนด้านสั้นเสมอ

### 6.5 ผลของอัตราส่วนกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินชั้นล่างต่อดินชั้นบนต่อเสถียรภาพงานบุด

สำหรับงานบุดที่มีระยะผึ้งของกำแพงกันดิน ขนาดหน้าตัด ความลึกงานบุด เท่ากัน งานบุดในดินชั้นล่างที่มีกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำสูงกว่าดินชั้นบนมากกว่า จะมีเสถียรภาพงานบุดจะสูงกว่า และแรงนาบวินท์มีการเปลี่ยนแปลงบริเวณช่วงรอยต่อของดินทั้งสองชั้นมากกว่าเนื่องจากดินชั้นล่างแข็งแรงกว่าดินชั้นบน แต่หากดินทั้งสองชั้นมีกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำเท่ากัน แรงนาบวินท์จะมีความต่อเนื่องจนถึงผิวดิน

## 7. ข้อเสนอแนะ

### 7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) การนำผลการวิจัยไปใช้งานในการประเมินเสถียรภาพงานบุดในสนาม นอกจากกำลังรับแรงเฉือนของดินและความแข็งแรงของกำแพงกันดิน ควรพิจารณาปัจจัยภายนอกต่างๆ ร่วมด้วย เช่น ระดับน้ำใต้ดิน กองวัสดุก่อสร้าง เครื่องจักรและสิ่งปลูกสร้างชั่วคราว รอบๆ งานบุด ที่อาจมีผลกระทบต่อเสถียรภาพงานบุด หรือ ก่อให้เกิดความเสียหายได้

(2) การนำผลการวิจัยไปใช้งานในการออกแบบ จำเป็นต้องทราบค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินแต่ละชั้น วัตถุประสงค์ของการใช้งานงานบุดนั้นๆ แรงภายนอกต่างๆ ที่กระทำ การเลือกใช้อัตราส่วนความปลดภัยที่เหมาะสม และที่สำคัญที่สุดคือผู้ออกแบบต้องเป็นผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์ในงานด้านกำแพงกันดิน หรืออยู่ภายใต้การกำกับดูแลจากผู้ที่เชี่ยวชาญในด้านนี้เท่านั้น

### 7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไป คือทำการรวบรวมข้อมูลจากแผนภูมิออกแบบของสภาพงานบุด แต่ละกรณีแล้วนำมาสร้างสมการออกแบบเพื่อความสะดวกในการใช้งานออกแบบ หรืองานตรวจสอบเสถียรภาพงานบุด

(2) ข้อเสนอแนะเพื่อบำย黠ผลการวิจัย คือการพิจารณาปัจจัยภายนอกอื่นๆ เช่น ระดับน้ำใต้ดิน น้ำหนักกดทับต่างๆ รอบงานบุด เพิ่มเติม เพื่อให้สภาพงานบุดที่ศึกษามีความใกล้เคียงกับงานบุดในสนามจริงๆ มากยิ่งขึ้น

## 8. กิจกรรมประ觥

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วง ได้อย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์วีรยา นิมอ้อ อาจารย์ที่ปรึกษาในวิจัย และผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรภพ แก้วสวัสดิ์วงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาความรู้ ข้อคิด ข้อแนะนำ ตลอดจนตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ลุล่วง ได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอรบกวนขอพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี่

ขอขอบคุณหัวหน้างานและเพื่อนร่วมงานทุกคนที่อ่านความสะดวกและคงช่วยเหลือในการทำวิจัย ครั้งนี้

## 9. เอกสารอ้างอิง

- Bjerrum, L., & Eide, O. (1956). Stability of strutted excavations in clay. *Geotechnique*, 6(1), 32–47.
- Faheem, H., Cai, F., Ugai, K., & Hagiwara, T. (2003). Two-dimensional base stability of excavations in soft soils using FEM. *Computers and Geotechnics*, 30, 141–163.
- Faheem, H., Cai, F., & Ugai, K. (2004). Three-dimensional base stability of rectangular excavations in soft soils using FEM. *Computers and Geotechnics*, 31, 67–74.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical soil mechanics*. New York: Wiley.
- ธีระวงศ์, ก. (2557). *เสถียรภาพแบบไม่ระบายน้ำของกำแพงกันดินและเสาเข็มในดินเหนียว*. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาชีวกรรมโยธา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

## การพิจารณาอากาศยานในการขึ้นลงสนามบิน

### CONSIDERATION OF AN AIRCRAFT BE ABLE TO TAKE-OFF AND LAND AT AN AIRPORT

อาจารย์มนตรี ทีมະນูตร

วิทยาลัยการบินและคมนาคม มหาวิทยาลัยศรีปทุม

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

#### บทคัดย่อ

การที่จะพิจารณาว่าทางวิ่งของสนามบินสามารถรองรับในการใช้งานของอากาศยานแต่ละแบบได้หรือไม่นั้น ปัจจัยแรกที่จะต้องพิจารณาคือ ความกว้างและความยาวของทางวิ่งพอสำหรับให้อากาศยานเครื่องนั้นๆ ขึ้นลงได้หรือไม่ โดยการเปรียบเทียบค่า Reference Code ของอากาศยานและของสนามบิน ถ้าผลจากการเปรียบเทียบค่า Aerodrome Reference Code ของสนามบินมากกว่าค่า Reference Code ของอากาศยานเครื่องนั้นก็สามารถขึ้นลงได้ และปัจจัยที่ 2 พิจารณาว่าทางวิ่งของสนามบินนั้นสามารถรับน้ำหนักอากาศยานที่จะมาขึ้นลงสนามบินได้หรือไม่ โดยการเปรียบเทียบค่า Aircraft Classification Number (ACN) ของอากาศยาน กับค่า Pavement Classification Number (PCN) ของสนามบิน ถ้า PCN ของสนามบินเท่ากับหรือมากกว่า ACN ของอากาศยาน ก็แสดงว่าอากาศยานนั้นสามารถที่จะขึ้นลงบนทางวิ่งของสนามบินนั้นได้อย่างปลอดภัยไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่พื้นผิวทางวิ่งของสนามบิน

**คำสำคัญ :** ความแข็งแรงของพื้นผิวทางวิ่งสนามบิน, หมายเลขจำแนกอากาศยาน

#### ABSTRACT

To determine whether an airport runway is compatible with each type of aircraft, the first factor to consider is whether the runway width and length are sufficient for the aircraft to take-off and land by comparing the aircraft and the airport's reference code if the result of comparing the aerodrome reference code is greater than the reference of aircraft. The aircraft can take-off and land. And factor 2 considers whether the runway can handle the weight of the aircraft take-off and land by comparing the values of Aircraft Classification Number of the aircraft and the airport Pavement Classification Number values, if the airport PCN is equal to or greater than the airport ACN, then the aircraft is able to safely take-off and land on the runway, without damaging the runway surface of the airport.

**Keyword:** Strength of Runway Surface, Aircraft Classification Number

## บทนำ

บุคลากรที่ทำงานด้านอุตสาหกรรมการบินจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานของสนามบินในเรื่องเกี่ยวกับขนาด และการรับน้ำหนักของทางวิ่งของสนามบินที่ใช้ขึ้นลงของอากาศยาน เพื่อตอบคำถามของผู้ที่ต้องการสอบถามหรือ ผู้ที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจการบินจะสอบถามข้อมูลเพื่อใช้ในการวางแผนให้อาศาบานของสายการบินตอนไปใช้ สนามบินนั้นเพื่อการขึ้นลง การที่จะทราบว่าอากาศยานแบบใดสามารถขึ้นลงสนามบินได้หรือไม่ มีเกณฑ์ใน การพิจารณา กันอย่างไร จะต้องหาค่าขนาด ความยาว และความกว้างของทางวิ่ง และคุณลักษณะของอากาศยาน นั้นใช้ระบบทางบันทางวิ่งสำหรับขึ้นลงที่กำหนดไว้นั้นเป็นระบบทางเท่าไร ซึ่งจะมาจากค่าของ Reference Code ของอากาศยาน และค่า Aerodrome Reference Code ของสนามบินมาที่เขียนเคียงกัน ว่ามีค่ามากน้อยกว่ากันหรือไม่ จากนั้นจะต้องพิจารณาต่อไปว่า Aerodrome Field Length, Wing Span, Outer Main Gear Wheel Span ของอากาศยานมีค่าเท่าใด ค่า Aerodrome Reference Code ของสนามบินรับได้หรือไม่ ต้องจากนั้นจึงจะไปคูณค่าความแข็งแรง ของทางวิ่ง (Runway Bearing Strength) โดยเทียบค่า PCN ของสนามบิน / ACN ของอากาศยาน เปรียบเทียบว่า อย่างไหนมากกว่ากัน ซึ่งเรื่องนี้มีรายละเอียดพอสมควร ดังนั้นจึงเป็นที่มาซึ่งทำให้ผู้อ่านได้ทำการศึกษาค้นคว้า การพิจารณา อากาศยานในการขึ้นลงสนามบินที่ต้องการใช้งานได้หรือไม่

## วัตถุประสงค์

(1) เพื่อให้บุคลากรที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับด้านการบินสามารถพิจารณาได้ว่า ทางวิ่งของสนามบิน นั้นๆ จะสามารถรองรับการขึ้นลงของอากาศยานแบบใดได้บ้าง

(2) เพื่อให้บุคคลทั่วไปได้รู้และเข้าใจปัจจัยต่างๆ ที่จะต้องพิจารณาในการที่จะบอกได้ว่าอากาศยาน แบบนั้นๆ จะสามารถขึ้นลงที่สนามบินแห่งใดแห่งหนึ่งที่ต้องการจะไปใช้สำหรับขึ้นลงนั้น สามารถใช้ได้หรือไม่ การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการพิจารณาว่าอากาศยานแบบใดสามารถขึ้นลงสนามบินได้หรือไม่นั้น มี ข้อพิจารณาสำคัญตามลำดับ 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 กฎ ระเบียบและข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

ส่วนที่ 2 หลักการพิจารณาทางวิ่งของสนามบิน

## ส่วนที่ 1 กฎ ระเบียบและข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

ข้อบังคับของคณะกรรมการการบินพลเรือนฉบับที่ 80 ว่าด้วยมาตรฐานการก่อสร้างสนามบิน เมื่อวันที่ 29 ม.ค. 2551 กำหนดให้ทางวิ่งของสนามบินจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะสามารถรองรับปริมาณการจราจร ของอากาศยานที่ใช้ทางวิ่งได้ ผู้อนุญาตจัดตั้งสนามบินจะต้องทำการคำนวณออกแบบพื้นผิวจราจรทางวิ่ง และเก็บบันทึกสถิติการบินขึ้นและบันลงของอากาศยาน และรายงานการประเมินขีดความสามารถ สามารถในการรับ น้ำหนักอยู่อย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังมี ระเบียบสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย ว่าด้วยมาตรฐาน คู่มือการดำเนินงานสนามบินสาระนะ พ.ศ.2562 กำหนดให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องของสนามบินที่จะต้องแจ้งข้อมูลให้ หน่วยงานบริการข่าวสารการบิน ซึ่งข้อมูลนี้จะต้องประกอบด้วย ประเภทของผู้พื้นที่ราษฎรและความแข็งแรงใน การรับน้ำหนักของผิวพื้นราษฎร โดยกำหนดหมายเลขจำแนกอากาศยาน-หมายเลขจำแนกผิวพื้นราษฎร (Aircraft Classification Number – Pavement Classification Number: ACN - PCN)

## ส่วนที่ 2 หลักการพิจารณาทางวิ่งของสนามบิน

### 1. ความหมายศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

“สนามบิน” หมายความว่า พื้นที่ที่กำหนดขึ้นเหนือพื้นดินหรือพื้นน้ำ รวมทั้งอาคาร, สิ่งก่อสร้างและ อุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งจะใช้พื้นที่ทั้งหมดหรือบางส่วนในการบิน-ลงหรือในการเคลื่อนไหวของอากาศยาน สำหรับ เอกสาร FAA ใช้คำว่า Airport ส่วน ICAO จะใช้คำว่า Aerodrome ซึ่งทั้งสองคำมีความหมายเหมือนกัน แล้วแต่จะ ใช้เอกสารอะไรอ้างอิง

“ความยาวทางวิ่งอ้างอิงของอากาศยาน (Aeroplane Reference Field Length)” หมายความว่า ระยะทางที่ สั้นที่สุดที่ใช้ในการวิ่งขึ้น ซึ่งคิดจาก น้ำหนักวิ่งขึ้นสูงสุด ระดับของทางวิ่งอยู่ที่ระดับน้ำทะเลเป็นกลาง スペース ความกว้างอากาศสามารถฐาน ลมสงบ และทางวิ่งไม่มีความลาดชัน โดยความยาวดังกล่าวจะระบุอยู่ในคู่มือ ประกอบการบิน (flight manual)

“หมายเลขจำแนกอากาศยาน (Aircraft Classification Number- ACN)” หมายความว่า ตัวเลขซึ่งแสดงถึง ความสัมพันธ์ของอากาศยานกับการใช้พื้นของสนามบินว่าจะสามารถใช้ได้หรือไม่ ทั้งนี้เพื่อพิจารณากำหนด ชั้นของพื้นสนามบิน มาตรฐานค่า ACN นี้บริษัทผู้ผลิตอากาศยานจะเป็นผู้กำหนด

“หมายเลขจำแนกผิวพื้นจราจร (Pavement Classification Number- PCN)” หมายความว่า ตัวเลขซึ่ง แสดงถึงความทนทานหรือความแข็งแรงของพื้นสนามบิน เพื่อรับน้ำหนักอากาศยานซึ่งสามารถปฏิบัติการ ได้โดยไม่มีปัจจัยจำกัด

“Flexible pavement” หมายถึง โครงสร้างของพื้นสนามบินซึ่งอยู่ติดกับชั้นผิวเดินของดินและถ่ายเท น้ำหนักไปยังพื้นผิวดินเดิม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการประสานตัวกัน, การสอดแทรกและการรวมตัวกันของมวลสารต่างๆ เพื่อก่อให้เกิดเสถียรภาพของพื้นสนามบิน เช่น พื้นแอสฟัลต์ เป็นต้น

“Rigid pavement” หมายถึง โครงสร้างของพื้นสนามบิน ที่มีการถ่ายเทน้ำหนักไปยังพื้นดินผิวเดิม เป็นพื้นคอนกรีตซึ่งมีความต้านทานในการหักงอสูง

### 2. รหัสอ้างอิง (Reference Code)

Reference Code มีองค์ประกอบ 2 อย่าง ซึ่งองค์ประกอบนี้เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของอากาศยาน ประกอบด้วย องค์ประกอบที่ 1 เป็นตัวเลข (Code number) โดยอาศัย Aeroplane Reference Field Length และ องค์ประกอบที่ 2 เป็นตัวอักษร (Code letter) โดยอาศัย ระยะทางระหว่างปลายปีกทั้งสองข้างของอากาศยานและ ระยะห่างระหว่างขอบล้อด้านนอก

ข้อกำหนดเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับรหัสขององค์ประกอบหรือองค์ประกอบของรหัสทั้งสองรวมกันที่เป็น ตัวอักษรหรือตัวเลขที่กำหนดในองค์ประกอบใดก็เพื่อที่จะจัดเตรียมอำนาจความสะดวกไว้ให้เหมาะสมใน การให้บริการอากาศยานที่มาใช้สนามบิน

### 3. Aerodrome Reference Code

เป็นรหัสที่ประกอบด้วยหมายเลขและตัวอักษร ซึ่งได้กำหนดไว้โดยมีจุดประสงค์ในการวางแผน เลือกใช้สนามบินนั้น โดยผู้ใช้บริการสนามบินสำหรับขึ้นลงจะต้องใช้ให้เหมาะสมกับคุณลักษณะของอากาศยาน ที่ต้องการใช้บริการสนามบินสำหรับขึ้นลง

3.1 รหัสที่เป็นตัวเลขในองค์ประกอบที่ 1 จะต้องกำหนดจากตาราง 1.1 column ที่ 1 การเลือกรหัส ที่เป็นตัวเลขนั้นจะต้องให้เท่ากับหรือมากกว่าค่าสูงสุดของค่า Aeroplane Reference Field Length ของอากาศยาน ที่ต้องการใช้ทางวิ่งนั้น

3.2 รหัสที่เป็นตัวอักษรในองค์ประกอบอันที่ 2 จะต้องกำหนดจากตาราง 1-1 column ที่ 3 โดยเลือกรหัสที่เป็นตัวอักษรที่ตรงกับระยะห่างระหว่างปลายปีกทั้งสองของอากาศยาน(ระยะทางปีก)ที่มีค่ามากที่สุดหรือระยะห่างระหว่างขอบล้อด้านนอกของอากาศยานที่มีค่ามากที่สุดแล้วแต่อันไหนจะให้ค่ารหัสตัวอักษรมากกว่า เช่น Boeing 720 wing span 39.9 เมตร และระยะห่างระหว่างล้อด้านนอก 7.5 เมตร เมื่อพิจารณาดูจาก ตาราง 1-1 จะเห็นว่าค่า Wing span กว้าง 39.9 เมตร อยู่ในรหัสอักษร D ด้านจากค่าระยะห่างระหว่างขอบล้อด้านนอกซึ่งมีค่า 7.5 เมตร จะอยู่ในรหัส C เช่นนี้ ก็ให้พิจารณาเลือกเอกสารรหัสตัวอักษรที่มีค่ามากกว่า ก็คือ รหัสอักษร D

**Table 1-1 Aerodrome reference code**

Code Number (1)	Code element 1		Code element 2		
	Aeroplane reference field length (2)	Code Letter (3)	Wing span (4)	Outer main gear wheel span (5)	
	Less than 800 m	A	Up to but not including 15 m	Up to but not including 4.5 m	
2	800 m up to but not including 1200 m	B	15 m up to but not including 24 m	4.5 m up to but not including 6 m	
	1200 m up to but not including 1800 m	C	24 m up to but not including 36 m	6 m up to but not including 9 m	
4	1800 m and over	D	36 m up to but not including 52 m	9 m up to but not including 14 m	
		E	52 m up to but not including 65 m	9 m up to but not including 14 m	
		F	65 m up to but not including 80 m	14 m up to but not including 16 m	

หรืออาจกล่าวได้ว่าหลักเกณฑ์ในการพิจารณาว่าอากาศยานแบบใดแบบหนึ่งจะสามารถขึ้นลงได้บน สนามบิน ที่มี Aerodrome Reference Code ใดและใช้ระยะทางความยาวของทางวิ่งสนามบินเท่าไร จะดูเอกสารอ้างอิงของ ICAO ใน Doc 9157 Aerodrome Design Manual Part 1 Runway ซึ่งจะทำให้ทราบค่า Reference Code ของอากาศยาน และดู ICAO Annex 14 ใน Table 1-1\_Aerodrome Reference Code โดยจะได้ค่า Aerodrome Reference Code ของสนามบินมาเทียบเคียงกัน ว่ามีค่ามากน้อยกว่ากันหรือไม่ หากนั้นจะต้องพิจารณาต่อไปว่า Aerodrome Field Length, Wing Span, Outer Main Gear Wheel Span ของอากาศยานเท่าใด และค่า Aerodrome Reference Code ของสนามบินรับได้หรือไม่ ยกตัวอย่างเช่น สนามบินหนึ่งมีทางวิ่งซึ่งมีความยาว 3000 เมตร และกว้าง 45 เมตร มีค่า PCN 61 F/C/X/T ที่ประกาศไว้ในเอกสารแหล่งข่าว การบินประเทศไทย (Aeronautical Information Publication-Thailand: AIP-Thailand) อย่างทราบว่าเครื่องบิน Airbus - A300 B2 สามารถทำการขึ้นลงทางวิ่ง สนามบินนี้ได้หรือไม่ ซึ่งการพิจารณาว่าอากาศยานจะขึ้นลงสนามบินนี้ได้หรือไม่นั้นมี 2 ขั้นตอน ดังนี้.-

**ขั้นตอนที่ 1 การพิจารณาระยะความยาวและความกว้างเพียงพอหรือไม่** สนามบินมีทางวิ่งยาว 3000 เมตร กว้าง 45 เมตร จาก Annex 14 Table 1-1 Aerodrome Reference Code สนามบินนี้มีค่า Aerodrome Reference Code = 4D และมาดูที่ Doc 9157 Aerodrome Design Manual Part 1 Runway เครื่องบิน Airbus - A300 B2 มีค่า (Aerodrome) Reference Code = 3D

ดังนั้นมีอเปรียบเทียบกันจะเห็นว่าค่า Aerodrome Reference Code = 4D มีค่ามากกว่า (Aerodrome) Reference Code = 3D ของเครื่องบิน Airbus - A300 B ดังนั้น ความขาวของทางวิ่งสนามบินสามารถรองรับการขึ้นลงของเครื่องบินแบบนี้ได้

**ขั้นตอนที่ 2 การพิจารณาความแข็งแรงทบทวนของทางวิ่งสนามบินซึ่งได้ประกาศไว้ใน AIP-Thailand มีค่าความแข็งแรงทบทวน PCN 61 F/C/X/T ซึ่งจะบอกถ่วงรายละเอียดในข้อต่อไป**

**Doc 9157 Aerodrome Design Manual**

**Part 1 Runways**

**Appendix 1**

- Arranged By..... Manufacturer / Name

**AEROPLANE CLASSIFICATION BY CODE NUMBER AND LETTER**

Aircraft Make ( Manufacturer )	Model	Aerodrome Reference Code	Aeroplane Reference Field length (m)	Wing Span (m)	Outer Main gear Wheel Span (m)
Airbus	A300 B2	3D	1 676	44.8	10.9
Airbus	A300 B4	4D	2 605	44.8	10.9
Airbus	A300-600	4D	2 332	44.8	10.9
Airbus	A310	4D	1 845	44.8	10.9

Table 1-1. Aerodrome reference code  
(see 1.7.2 to 1.7.4)

Code element 1		Code element 2		
Code number (1)	Aeroplane reference field length (2)	Code letter (3)	Wing span (4)	Outer main gear wheel span <sup>a</sup> (5)
1	Less than 800 m	A	Up to but not including 15 m	Up to but not including 4.5 m
2	800 m up to but not including 1 200 m	B	15 m up to but not including 24 m	4.5 m up to but not including 6 m
3	1 200 m up to but not including 1 800 m	C	24 m up to but not including 36 m	6 m up to but not including 9 m
4	1 800 m and over	D	36 m up to but not including 52 m	9 m up to but not including 14 m
		E	52 m up to but not including 65 m	9 m up to but not including 14 m
		F	65 m up to but not including 80 m	14 m up to but not including 16 m

#### 4. ความแข็งแรงของพื้นสนามบิน (Strength of pavements)

4.1 ICAO Annex 14 Volume 1 กำหนดให้ความแข็งแรงของพื้นสนามบินจะต้องกำหนดทุกสนามบินและถ้าพื้นของสนามบินใดๆ ใช้กับอากาศยานที่มีน้ำหนักบรรทุกมากกว่า 5700 กก. จะต้องรายงานข้อมูลความแข็งแรงของสนามบินโดยใช้ค่า ACN และ PCN ประกอบการพิจารณาใช้พื้นผิวสนามบินซึ่งจะรายงานเป็นค่าดังนี้ .-

- ก) ค่า PCN
- ข) ชนิดของพื้นผิวสนามบิน สำหรับกำหนดค่า ACN และ PCN
- ค) ชนิดของชั้นความแข็งแรงทบทวนของพื้นสนามบิน
- ง) ชนิดของค่าความคันล้มยางล้อมากที่สุดหรือค่าความคันล้มยางล้อมากที่สุดที่สามารถใช้พื้นสนามบินนั้นได้
- จ) วิธีการประเมินค่าความแข็งแรงของพื้นผิวสนามบิน

4.2 ค่า PCN ที่รายงานนั้นจะระบุให้ทราบว่า ภาคayan ซึ่งมีค่า ACN เท่ากัน หรือ น้อยกว่าค่า PCN จึงจะสามารถขึ้น-ลง สามารถบินนั้นได้ แต่จะต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัดของค่าความดันลมยางล้อ หรือ น้ำหนักของภาคayan ทึ่งหมวดสำหรับภาคayan บางชนิดที่ระบุไว้กล่าวคือ ถึงแม้ว่าค่าของ ACN จะน้อยกว่าค่า PCN ก็ตาม ไม่ได้หมายความว่า ภาคayan นั้นจะสามารถขึ้น-ลง สามารถบินนั้นได้ ต้องพิจารณาต่อไปว่าค่าความดันลมยางล้อ ต้อง เท่ากันหรือน้อยกว่า ที่กำหนดไว้ในการรายงานค่า PCN ด้วย จึงจะสามารถขึ้น-ลง สามารถบินนั้นได้

4.3 เพื่อจุดประสงค์ในการกำหนดค่า ACN คุณสมบัติของพื้นถนนบิน จำแนกออกเป็นผิวพื้นที่ แข็งและผิวพื้นที่สามารถยืดหยุ่นได้

4.4 ข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับชนิดของพื้นถนนบินสำหรับการกำหนดค่า ACN-PCN, ชนิดของชั้นความแข็งแรงทบทานของพื้นถนนบิน, ชนิดของค่าความดันลมยางล้อมากที่สุดและวิธีการกำหนดค่าจะต้องรายงานโดยใช้รหัสดังต่อไปนี้

ก) การกำหนดชนิดของพื้นถนนบินสำหรับ ACN-PCN

ชนิดของพื้นถนนบิน	รหัส
-พื้นแข็ง (rigid pavement)	R
-พื้นที่ยืดหยุ่น ได้ (flexible pavement)	F

ข) ชนิดของชั้นความแข็งแรงทบทานของพื้นถนนบิน

(Sub-grade strength category)

ชนิด	รหัส
- ความทบทานชั้นสูง (High strength)	A
- ความทบทานชั้นกลาง (Medium )	B
- ความทบทานชั้นต่ำ (Low strength)	C
- ความทบทานชั้นต่ำมาก (Ultra Low )	D

ก) ชนิดค่าความดันลมยางล้อมากที่สุด

ชนิดค่าความดันลมยางล้อ	รหัส
-ชั้นสูง(High): ไม่จำกัดค่าความดัน	W
-ชั้นกลาง(Medium): จำกัดถึง 1.50 Mpa	X
-ชั้นต่ำ(Low): จำกัดถึง 1.00 Mpa	Y
-ชั้นต่ำมาก(Verylow): จำกัดถึง 0.50 Mpa	Z

ก) วิธีการประเมินความแข็งแรงของถนนบิน

วิธีการกำหนดค่า	รหัส
- การประเมินค่าความแข็งแรงถนนบินทางเทคนิค :	
- โดยการศึกษาคุณลักษณะของพื้นถนนบินและนำเอา เทคโนโลยีเกี่ยวกับคุณสมบัติของพื้นถนนบินมาใช้	T
- การประเมินค่าความแข็งแรงถนนบิน โดยใช้ประสานการณ์ ของภาคayan	
- โดยศึกษาเกี่ยวกับชนิดและน้ำหนักภาคayan ที่เคยใช้ถนนบิน นั้นๆ เป็นประจำ	U

Example : PCN 80/R/B/W/T

หมายความว่า

- พื้นของسانามบินนั้นมีค่า PCN 80 ซึ่งมีการกำหนดค่านั้นใช้วิธีการ

ทางเทคนิค T

- ชนิดของพื้นسانามบินเป็นพื้นคอนกรีต : R

- ชนิดความหนาแน่นอยู่ในชั้นกลาง : B

- ชนิดค่าความดันของลมยางล้อ ไม่จำกัดค่าความดัน : W

ตัวอย่างที่ 1 سانามบินอุดร ได้ออกประกาศข้อมูลข่าวสารไว้ใน AIP-Thailand มีค่า "PCN 61/R/C/X/T" อนุญาตทราบว่า Airbus A300-B2,B747-100B และ B747-200C จะสามารถใช้سانามบินนี้ขึ้นลงได้หรือไม่ ?

**Table 1-2 ACNs for several aircraft types on rigid and flexible pavements (Doc 9157 Aerodrome Design**

Manual Part 3 – Pavement)

Aircraft type	All-up mass (kg)	Load on one main gear leg (%)	Tire pressure (MPa)	ACN FOR RIGID PAVEMENT SUBGRADES - MN/m <sup>3</sup>				ACN FOR FLEXIBLE PAVEMENT SUBGRADES - CBR			
				High 150	Medium 80	Low 40	Ultra-low 20	High 15	Medium 10	Low 6	Very low 3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A300 B2 Airbus	137 000 85 910	47.0	1.2	35 18	42 21	50 25	58 29	39 20	43 22	53 24	68 34
B747-100B	334 749 173 036	23.1	1.56	43 18	50 20	59 24	68 28	46 20	50 21	60 24	80 30
B747-200C	373 305 166 749	23.1	1.30	46 16	55 18	66 21	76 25	52 19	57 20	70 22	92 29

#### วิธีพิจารณา

1) ให้ค่า ACN ของ A300-B2, B747-100B และ B747-200C ในช่อง ACN FOR Rigid pavement sub-grade ในช่อง column ที่ 7 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 50, 59 และ 66 ตามลำดับ

2) ค่า PCN ของسانามบินอุดรตามที่รายการมีค่า 61 และค่าความดันลมยางล้อ 1.50 MPa

- พื้นเป็นคอนกรีต (R) ให้ อาศัยจากมี ACN เกินได้ 5 % ของ 61 = 3.05

- ดังนั้นค่า PCN ของسانามบินอุดร จึงมีค่าเท่ากับ 64.05

3) การพิจารณาการใช้พื้นissanambin ดังนี้

- A300-B2 มีค่า ACN 50 และ ค่าความดันลมยางล้อ 1.2 MPa น้อยกว่าค่า PCN ซึ่งรายงานไว้ 64.05(รวม 5 % แล้ว) จึงใช้issanambinอุดรได้

- B747-100B มีค่า ACN 59 และค่าแรงลมยางล้อ 1.56 MPa ซึ่งมากกว่าตามที่รายงานใน PCN (1.50 MPa รหัส X) ดังนั้น จึงใช้issanambinอุดรไม่ได้

- B747-200C มีค่า ACN 66 มากกว่าค่า PCN ที่รายงาน 64.05 (รวม 5 %) ดังนั้น จึงใช้issanambin อุดรไม่ได้

**ตัวอย่างที่ 2 สนามบินอุบลฯ รายงานค่า PCN ได้เป็น "PCN 61/F/C/X/T" อย่างทราบว่า Airbus A300-B2,B747-100B และ B747-200C สามารถใช้สนามบินนี้ขึ้น-ลงได้หรือไม่?**

#### วิธีพิจารณา

1) ให้คุณค่า PCN ของ A300-B2,B747-100B และ B747-200C ในช่อง ACN for Flexible Pavement Subgrade ในช่อง column ที่ 11 ซึ่งมีค่า 53, 60 และ 70 ตามลำดับ

- 2) ค่า PCN ของสนามบินอุบลมีค่า 67.1 (61+10 %) และ ค่าความดันลมยางล้อ 1.50 MPa (รหัส X)
- 3) การพิจารณาการใช้พื้นสนามบินดังนี้

- A 300 B2 ค่า ACN 53 และ ค่าความดันลมยางล้อ 1.20 MPa น้อยกว่า PCN ในข้อ 2 จึงสามารถใช้สนามบินได้

- B747-100B ค่า ACN 60 น้อยกว่าค่า PCN ในข้อ 2 แต่ค่าความดันลมยางล้อ 1.56 MPa มากกว่าตามที่รายงานในข้อ 2 จึงไม่สามารถใช้สนามบินนี้ได้

- B747-200C ค่า PCN 70 มากกว่าค่า PCN ในข้อ 2 จึงไม่สามารถใช้สนามบินนี้ได้

#### บทสรุป

การที่จะพิจารณาว่าทางวิ่งของสนามบินสามารถรองรับในการใช้งานของอากาศยานแต่ละแบบได้หรือไม่นั้น ปัจจัยแรกที่จะต้องพิจารณาคือ ความกว้างและความยาวของทางวิ่งพอสำหรับให้อากาศยานเครื่องนั้นๆ ขึ้นลงได้หรือไม่ โดยการเปรียบเทียบค่า Reference Code ของอากาศยานและของสนามบิน ถ้าผลจากการเปรียบเทียบ ค่า Aerodrome Reference Code ของสนามบินมากกว่าค่า Reference Code ของอากาศยานเครื่องนั้นก็สามารถขึ้นลงได้ และปัจจัยที่ 2 พิจารณาว่าทางวิ่งของสนามบินนี้สามารถรับน้ำหนักอากาศยานที่จะมาขึ้นลง สนามบินได้หรือไม่ โดยการเปรียบเทียบค่า ACN ของอากาศยาน กับค่า PCN ของสนามบิน ถ้า PCN ของสนามบินเท่ากับหรือมากกว่า ACN ของอากาศยาน ที่แสดงว่าอากาศยานนั้นสามารถที่จะขึ้นลงบนทางวิ่งของสนามบินนั้นได้ย่างปลอดภัยไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่พื้นผิวทางวิ่งของสนามบิน

จากที่กล่าวมาเป็นการพิจารณาด้านความปลอดภัยของสนามบินที่จะสามารถรองรับการขึ้นลงของอากาศยานได้หรือไม่ และความปลอดภัยของอากาศยานที่จะไม่เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างเมื่อสนามบินสามารถรองรับน้ำหนักและมีขนาดความกว้างยาวพอที่จะขึ้นลงได้ด้วยความปลอดภัย

#### ข้อเสนอแนะ

หากจำเป็นต้องใช้สนามบินเพื่อการขึ้นลงเมื่ออากาศยานมีน้ำหนักเกินกำหนด (Guidance on overload operations) มีค่า ACN มากกว่า ค่า PCN ไม่ได้หมายความว่าอากาศยานนั้นจะใช้สนามบินไม่ได้เลย อาจใช้ได้แต่ อายุการใช้งานของสนามบินนั้นจะสั้นลงกว่ากำหนด เพื่อให้อุปกรณ์การใช้งานของสนามบินเป็นตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ ICAO จึงกำหนดข้อเสนอแนะหรือข้อแนะนำในการใช้สนามบินสำหรับอากาศยานที่มีค่า ACN มากกว่าค่า PCN ของสนามบิน ดังนี้ -

1) ค่า ACN มากกว่าค่า PCN ได้แต่ไม่เกิน 10 % จึงจะสามารถใช้พื้นสนามบินนี้ได้ ถ้าพื้นสนามบินนั้นเป็นพื้นที่ยืดหยุ่นได้ (F) และสามารถใช้ได้เป็นบางโอกาสเท่านั้น

2) ค่า ACN มากกว่าค่า PCN ได้แต่ไม่เกิน 5 % จึงจะสามารถใช้พื้นสนามบินได้ ถ้าพื้นสนามบินนั้น เป็นพื้นคอนกรีตหรือเป็นพื้นสมรชั้นแข็งแกร่งของพื้นเป็นคอนกรีตและใช้เป็นบางโอกาสเท่านั้น

3) จำนวนอาคารบินที่มีค่า ACN มากกว่าค่า PCN สามารถใช้สนามบินเป็นประจำได้ทุกปี แต่ต้องมีจำนวนเที่ยวบินขึ้นลงได้ไม่เกิน 5 % ของจำนวนอาคารบินทั้งหมดที่ใช้บริการสนามบินนั้น

### เอกสารอ้างอิง

ข้อบังคับของคณะกรรมการการบินพลเรือนฉบับที่ 80 ว่าด้วยมาตรฐานการก่อสร้างสนามบิน พ.ศ.2551

ระเบียบสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย ว่าด้วยมาตรฐานคุณภาพของการดำเนินงานสนามบินสาธารณะ

พ.ศ.2562

เอกสารองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ ICAO Document 9157- Aerodrome Design Manual Part

1.- Runways, 4th Edition, 2020

เอกสารองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ ICAO Document 9157- Aerodrome Design Manual Part

3.- Pavements, Second Edition, 1983

เอกสารองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ ภาคผนวกที่ 14 แบบท้ายอนุสัญญาเชิงค้าโลก. (1944). ICAO Annex

14(1) - Aerodrome Design & Operations, Fifth Edition, July 2009.