

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำและที่มาความสำคัญ

ปัจจุบันคอนกรีตคือวัสดุก่อสร้างก่อสร้างที่มีความนิยมนานมากที่สุดในประเทศไทย ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานหลักและสร้างกำลังแก่คอนกรีต ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์มีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณ 1 ตันต่อปูนซีเมนต์ 1 ตัน (E.M.R. Fairbairn, 2010) โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน แนวทางหนึ่งคือ การหาวัสดุประสานมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์นั่นก็คือสารปอชโซลาน สารปอชโซลานคือสารที่มีซิลิกาหรือ ซิลิกาและอลูมินาที่ละเอียดเป็นสารประกอบหลัก โดยตัวของมันเองจะไม่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และน้ำจะได้สารที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน (ASTM C618, 2001) ทำให้คุณสมบัติหลายด้านของคอนกรีตดีขึ้น สารปอชโซลานที่มีในประเทศไทยและสามารถนำมาใช้ ได้แก่ เถ้าถ่านหิน ดินเหนียวเผา เถ้าแกลบ เป็นต้น

บริษัท สหโคเจนกรีน จำกัด สาขาจังหวัดลำพูน ประกอบกิจการโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยการนำชีวมวล เช่น ไม้ แกลบ ชังข้าวโพด ฯลฯ มาใช้เป็นวัตถุดิบเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำเพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า จากกระบวนการผลิตดังกล่าว ทำให้เกิดวัสดุเหลือใช้จากการเผาไหม้คือ เถ้าลอย ชีวมวล (Biomass Fly Ash, BMA) ซึ่งมีปริมาณเถ้าลอยชีวมวลเกิดขึ้นประมาณ 9 ตันต่อวัน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น โดยในปัจจุบันเถ้าลอยที่เกิดขึ้นได้ถูกนำไปใช้ในงานปรับปรุงคุณภาพดินทางการเกษตร แต่นำตัวอย่างเถ้าลอยมาศึกษาเรื่องส่วนประกอบทางเคมีพบว่า เถ้าลอยนี้มีสารประกอบส่วนใหญ่คือ ซิลิกา เกินร้อยละ 50 ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นสารปอชโซลานในงานวัสดุก่อสร้างได้

วิทยานิพนธ์นี้จึงเล็งเห็นประโยชน์ของเถ้าลอยชีวมวลที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงไฟฟ้าชีวมวล แต่มีสมบัติทางเคมีที่สามารถนำมาใช้เป็นสารปอชโซลานผสมทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในงานคอนกรีตได้ ดังนั้นในกระบวนการงานวิจัยได้นำเถ้าลอยชีวมวลนี้มาทำการศึกษาสมบัติด้านต่าง ๆ ของเถ้าลอยชีวมวล ซึ่งประกอบด้วย องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ ความเป็นผลึก และกำลังอัดของมอร์ตาร์และคอนกรีต โดยเถ้าลอยชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยแบบออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ 1 เถ้าลอยชีวมวลที่ได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวล (BMA) ซึ่งใช้ชีวมวลคือ ไม้สับ ร้อยละ 73 แกลบร้อยละ 22

และซังข้าวโพดร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เผาที่อุณหภูมิ 550-650 °C และชนิดที่ 2 เถ้าลอยชีวมวลที่ได้จากการเผาชีวมวลในห้องทดลอง (WRHC) โดยเถ้าชีวมวลชนิดที่ 2 ใช้ปริมาณอัตราส่วนชีวมวลที่แตกต่างกัน คือ อัตราส่วนชีวมวลระหว่าง ไม้สับ แกลบและ ซังข้าวโพด ที่เผาในห้องทดลองคือ 80:10:10 80:20:0 70:20:10 70:30:0 60:30:10 และ 60:40:0 เผาที่อุณหภูมิ 600 °C เถ้าลอยชีวมวลที่ใช้เป็นเถ้าที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ศึกษารูปร่างของเม็ดเถ้าด้วยวิธี Scanning Electron Microscope (SEM) โครงสร้างผลึกด้วยวิธี X-ray Diffraction (XRD) ทดสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี X-ray Fluorescence (XRF) และทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์และคอนกรีตผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก แล้วนำผลต่าง ๆ มาวิเคราะห์หาปริมาณความเหมาะสมที่จะนำเถ้าลอยชีวมวลใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีตและอัตราส่วนชีวมวลที่ดีที่ใช้เผาเพื่อให้ได้เถ้าลอยชีวมวลที่เป็นสารปอชโซลานที่ดีที่สุด

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

C. B. Cheah and M. Ramli (2013) ได้ศึกษา สมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้เถ้าไม้ที่มีแคลเซียมสูง (HCWA) และซิลิกาฟูมควบแน่น (DSF) เป็นสารผสมเพิ่มเถ้า HCWA เป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เผาที่อุณหภูมิ 800 ± 10 °C โดยทดสอบสมบัติความเหนียวแน่นระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้าย ทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังอัด กำลังดัด โมดูลัสของความยืดหยุ่นแบบสถิตและพลศาสตร์ ใช้ตัวอย่างทดสอบเป็นมอร์ตาร์มีอัตราส่วนผสมของ HCWA แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0-20 และใส่ผงซิลิกาฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 7.5 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ทุกอัตราส่วน การทดสอบความเหนียวแน่น พบว่าเมื่อใส่ HCWA ลงไปแล้วไม่ส่งผลอะไรมากนัก การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของตัวอย่างที่ใส่ HCWA ลงไปจะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นแต่ไม่เป็นสัดส่วนกับปริมาณที่ใช้ HCWA การทดสอบกำลังอัดและดัดของตัวอย่างที่ใส่ HCWA แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 2 - 6 โดยน้ำหนัก และผงซิลิกาฟูม ร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนัก พบว่าได้ผลทดสอบสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุมคิดเป็นร้อยละ 2.4 - 31.2 ในตัวอย่าง มอร์ตาร์ที่ใส่ HCWA แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 2 - 12 โดยน้ำหนัก และผงซิลิกาฟูม ร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนัก และการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแบบสถิตและพลศาสตร์ให้ค่าที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 1.9 - 2.47

C. B. Cheah and M. Ramli (2012) ได้ศึกษา ลักษณะของเถ้าไม้ที่มีแคลเซียมปริมาณมาก (High Calcium Wood Ash, HCWA) และสมบัติของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้า HCWA แทนที่ปูนซีเมนต์วัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ ศึกษาลักษณะของเถ้า HCWA ในเรื่องขนาดอนุภาค พื้นที่ผิวสารประกอบทางเคมี และสมบัติของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้า HCWA ในด้านความทนทาน กำลังอัด การ

แพร่ผ่านของอากาศ การดูดซึมน้ำ ความต้านทานการซึมผ่านของคาร์บอน การหดตัวด้วยตัวเองและการหดตัวแห้ง เถ้า HCWA ที่นำมาใช้ทดลองมาจากวัสดุเหลือใช้ในการเผาไม้จากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศมาเลเซีย มีขนาดอนุภาคที่ d_{50} เท่ากับ 5.16 ไมครอน พื้นที่ผิว $1087.1 \text{ m}^2/\text{kg}$ ความถ่วงจำเพาะ 2.52 สารประกอบทางเคมีหลักได้แก่ CaO ร้อยละ 39 SiO_2 ร้อยละ 28 Al_2O_3 ร้อยละ 4.1 Fe_2O_3 ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก การหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์ทำตามมาตรฐาน ASTM C109 ใช้อัตราส่วนเถ้า HCWA แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ปริมาณน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 อายุตัวอย่างที่ทดสอบคือ 3 7 28 และ 90 วัน จากการทดสอบพบว่า อัตราส่วนเถ้า HCWA แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ให้กำลังอัดได้สูงสุดและมากกว่ามอร์ตาร์ควบคุมคิดเป็นร้อยละ 103 ที่อายุ 90 วัน ด้านกำลังอัดอัตราส่วนเถ้า HCWA แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 และ 10 ให้ค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์สูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม การแพร่ผ่านของอากาศ การซึมผ่านของคาร์บอน และการหดตัวของตัวอย่างที่ให้ผลที่ดีกว่ามอร์ตาร์ควบคุมคือ อัตราส่วนเถ้า HCWA แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ส่วนค่าการดูดซึมน้ำในทุกอัตราส่วนผสมให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน สรุปการใช้เถ้า HCWA ในการเพิ่มสมบัติของมอร์ตาร์ พบว่าสามารถให้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้แต่ในปริมาณน้อย แทนที่ปูนซีเมนต์ได้ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เพราะตัวเถ้า HCWA มีซิลิกาในปริมาณน้อยการพัฒนาในด้านกำลังอัดต้องใช้เวลาและปริมาณซิลิกาที่น้อยทำให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ในมอร์ตาร์มีเหลือซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ทำให้ความทนทานของคอนกรีตลดลง การใส่เถ้า HCWA ในปริมาณมากเป็นการเพิ่มการแตกร้าวจากการหดตัวเพราะปฏิกิริยาปอซโซลานมีการดึงน้ำในตัวมอร์ตาร์มาทำปฏิกิริยา ยิ่งใส่เถ้ามากยิ่งทำให้ต้องการน้ำมากขึ้น ปริมาณน้ำน้อยลงทำให้มอร์ตาร์แห้งเร็วขึ้นเกิดการแตกร้าวจากการหดตัวมากขึ้น

L. A. Bui, et al. (2012) ได้ศึกษาเรื่อง ผลของลักษณะรูปร่างของซิลิกาในเถ้าแกลบกับคุณสมบัติของคอนกรีต ศึกษาลักษณะรูปร่างของซิลิกาที่เกิดจากการเผาเถ้าแกลบที่อุณหภูมิต่างกัน คือ เถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานไฟฟ้าเผาที่อุณหภูมิ $600-800^\circ\text{C}$ เถ้าแกลบที่เผาในห้องทดลองที่อุณหภูมิ 500°C และ 800°C โดยสารประกอบของเถ้าแกลบทั้ง 3 ชนิด มีซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ คือ ประมาณร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก เมื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยการวิเคราะห์ XRD และ SEM พบว่าเถ้าแกลบที่เผาด้วยอุณหภูมิ 500°C มีลักษณะเป็นอสัณฐานมากกว่าชนิดเถ้าแกลบที่เผาที่อุณหภูมิอื่นอื่น ส่วนอีกสองชนิดมีลักษณะเป็นผลึกเป็นส่วนใหญ่ อัตราส่วนผสมของตัวอย่างใช้อัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบในคอนกรีตแต่ละชนิดในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ส่วนผสมของคอนกรีตแต่ละอัตราส่วนเหมือนกันและควบคุมค่าการยุบตัวเท่ากับ $80-100 \text{ mm}$ จากผลการทดสอบค่ากำลังอัด ความต้านทานทางไฟฟ้าและการแพร่ผ่านของคลอไรด์ไอออน พบว่าเถ้าแกลบที่เผาที่อุณหภูมิ 500°C ช่วยเพิ่มความต้านทานทางไฟฟ้าและลดการแพร่ผ่านของคลอไรด์ไอออนกับคอนกรีต ด้านกำลังอัด

ให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่างสูงที่สุดเท่ากับ 77 MPa ที่อายุ 90 วัน ดีกว่าคอนกรีตควบคุมและ
เถ้าแกลบอีกสองชนิด ผลมาจากรูปแบบของซิลิกาที่เป็นส่วนประกอบหลักในเถ้าแกลบ เถ้าแกลบที่เผา
ที่อุณหภูมิ 500 °C มีรูปแบบของซิลิกาเป็นอสัณฐาน ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาได้ง่ายกว่า ซิลิกาที่เป็น
ผลึก ผลึกซิลิกาของเถ้าแกลบจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิการเผาสูงกว่า 500 °C ขึ้นไป

T. Sinsiri, et al. (2012) ได้ศึกษาเรื่องผลของความแตกต่างของความละเอียดของเถ้าชีวมวลกับ
กำลังอัดเมื่อผสมกับซีเมนต์เพสต์ โดยเลือกใช้ตัวอย่างเถ้าชีวมวล 2 ชนิด คือ เถ้าแกลบ (Rice Husk
Ash, RHA) เเผาที่อุณหภูมิ 500 - 700 °C และเถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Fuel Ash, POFA) เเผาที่
อุณหภูมิ 800 - 900 °C สารประกอบสำคัญรวมกันของ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ เท่ากับร้อยละ 90.1 และ
57.7 ตามลำดับ แล้วนำเถ้ามาบดแล้วแบ่งเถ้าเป็น 2 แบบคือ แบบหยาบและละเอียด แบบหยาบมีขนาด
อนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 15 ไมครอน และแบบละเอียดมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2 ไมครอน นำเถ้าทั้ง
สองชนิดมาผสมกับซีเมนต์เพสต์แล้วศึกษาผลกำลังอัดในแต่ละอัตราส่วนผสม อัตราส่วนผสมเถ้าชี
วมวลแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ใช้ปริมาณน้ำต่อวัสดุ
ประสานเท่ากับ 0.35 ขนาดตัวอย่างทดสอบ $5 \times 5 \times 5$ cm อายุตัวอย่างที่ทดสอบ 7 28 60 และ 90 วัน
จากผลการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง ปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ของเถ้าทั้งสองชนิดที่
ร้อยละ 10 - 30 ให้กำลังอัดที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุมที่อายุ 28 วันและให้กำลังอัดที่สูงกว่า
คอนกรีตควบคุมที่อายุ 90 วัน ด้านความละเอียดของเถ้ามีผลต่อค่ากำลังอัดที่เพิ่มขึ้นคือยิ่งเถ้ามีความ
ละเอียดการพัฒนากำลังอัดยิ่งเพิ่มมากขึ้น เพราะยิ่งเถ้ามีความละเอียดมากขึ้นพื้นที่ผิวก็จะมากขึ้นทำ
ให้เกิดปฏิกิริยาได้มากกว่าเถ้าหยาบ

S. Songpiriyakij, et al. (2010) ได้ศึกษาเกี่ยวกับกำลังอัดและระดับการเกิดปฏิกิริยาของจีโอ-พอลิ
เมอร์ที่ผลิตจากเถ้าแกลบเปลือกไม้และเถ้าลอยถ่านหินที่ได้จากโรงไฟฟ้า โดยนำเถ้าแกลบเปลือกไม้
เผาที่อุณหภูมิประมาณ 400 °C ที่มีปริมาณ SiO_2 ร้อยละ 84.7 Al_2O_3 ร้อยละ 0.16 ผสมกับเถ้าถ่านหินที่
มีปริมาณ SiO_2 ร้อยละ 36.02 Al_2O_3 ร้อยละ 20.58 ผสมกันในการผลิตจีโอพอลิเมอร์ รูปทรงกระบอก
เส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm สูง 60 mm อัตราส่วนเถ้าถ่านหินต่อเถ้าแกลบเปลือกไม้ที่ใช้ทดลองเท่ากับ
100:0 80:20 60:40 40:60 20:80 และ 0:100 พบว่าอัตราส่วนเถ้าถ่านหินต่อเถ้าแกลบเปลือกไม้ 60:40
ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุดเท่ากับ 51.0 และ 62.4 MPa ที่อายุ 28 และ 90 วันตามลำดับ เมื่อพิจารณา
อัตราส่วน $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ มีค่าเท่ากับ 15.91 ส่วนระดับการเกิดปฏิกิริยาอัตราส่วน 100:0 ที่อายุ 90 วัน ให้
ระดับการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด มีอัตราส่วน $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ มีค่าเท่ากับ 4.03 แต่ให้กำลังอัดของจีโอพอลิ
เมอร์ต่ำที่สุด เพราะว่าอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาเป็นอูมิโนซิลิเกต ซึ่งพวกเจลซิลิเกตหรือเจล
แก้วไม่ให้กำลังอัดแก่ตัวอย่าง จากการทดลองพบว่าเถ้าแกลบเปลือกไม้ที่มีซิลิกาปริมาณมากสามารถ

นำมาแทนที่เถ้าลอยถ่านหินได้ส่วนหนึ่งในการผลิต จีโอฟอสเฟต ส่งผลให้อัตราส่วน $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ เพิ่มขึ้นทำให้กำลังอัดของจีโอฟอสเฟตเพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วน $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ เท่ากับ 15.9 ได้กำลังอัดของจีโอฟอสเฟตดีที่สุด แต่ถ้าวัตถุส่วน $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ สูงเกินไปจะทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้นกับตัวอย่าง

E. Tkaczewska and J. Malolepszy (2009) ได้ศึกษา ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ที่ผสมเถ้าลอยถ่านหินและเถ้าลอยชีวมวล ทำการทดลองการหาความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ การวิเคราะห์โครงสร้างขนาดไมโครของซีเมนต์เพส และสมบัติเชิงกลของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยถ่านหินและเถ้าลอยชีวมวล เถ้าลอยที่ใช้ได้มาจากโรงไฟฟ้ามี 2 ชนิด คือ เถ้าลอยถ่านหิน (FA1) และเถ้าลอยถ่านหินผสมเถ้าลอยชีวมวล (FA2) มีปริมาณชีวมวลเชื้อเพลิงอยู่ร้อยละ 10 ของเชื้อเพลิงทั้งหมด จากสารประกอบทางเคมีของเถ้าลอยทั้ง 2 ชนิด เป็นประเภท F ตามมาตรฐาน ASTM C618 คือ มีสารประกอบ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ มากกว่าร้อยละ 70 การทดสอบการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C379 พบว่าเถ้า FA1 และ FA2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 27.2 และ 13.7 ตามลำดับ ที่ FA2 มีค่าการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานน้อยกว่าเพราะว่ามีอนุภาคที่หยาบและมีขนาดใหญ่กว่า FA1 อัตราส่วนของตัวอย่างทดสอบใช้อัตราส่วนเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนัก จากการทดสอบวัดการเกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันพบว่าเถ้า FA2 ลดปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ต่ำกว่า FA1 และมอร์ต้าควบคุม เนื่องจากในช่วงต้นเถ้าลอยอัตราส่วนของตัวอย่างทดสอบใช้อัตราส่วนเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนัก ทั้งสองชนิดน่าจะมีสารประกอบที่ไม่ทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 5 ชั่วโมง ความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยาได้เพิ่มสูงขึ้น เพราะเถ้าทำปฏิกิริยากับผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชันคือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ การทดลองหาปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังจากเติมเถ้าลอยทั้งสองชนิดลงไป ผลที่ได้คือเถ้าลอยทั้งสองทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์สังเกตจากปริมาณความเข้มข้นของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดลง เถ้า FA1 สามารถลดปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้มากกว่า FA2 เพราะ FA1 มีค่าการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานที่มากกว่า FA2 และด้านการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างมอร์ต้า ผลที่ได้มีเพียงเถ้า FA1 อัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 มีกำลังอัดคิดเป็นร้อยละ 106 และ 112 ของกำลังอัดมอร์ต้า ที่อายุ 90 และ 180 วันตามลำดับ จากการทดลองสรุปได้ว่าเถ้า FA2 เป็นตัวหน่วงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์และน้ำ ค่ากำลังอัดของตัวอย่างมอร์ต้าที่ผสม FA2 ต่ำกว่ามอร์ต้าควบคุม เท่ากับร้อยละ 70 ของมอร์ต้าควบคุมที่อายุ 28 วัน เถ้า FA2 ที่ใช้ทดลองมีสมบัติที่เหมาะสมในการใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้ แต่ยังสมารถนำไปใช้เป็นสารไมโครฟิวเลอร์ได้

N. Chusilp, et al. (2009) ได้ศึกษาผลกระทบของค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการเผา (Loss on Ignition, LOI) ของเถ้าขานอ้อย ต่อกำลังอัดและความต้านทานซัลเฟตของมอร์ตาร์ ในการทดลองเตรียมเถ้าขานอ้อยที่มีค่า LOI ร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยเถ้าขานอ้อยได้มาจากอุตสาหกรรมน้ำตาลมีค่า LOI อยู่ที่ร้อยละ 20 นำเถ้าขานอ้อยมาเผาซ้ำที่อุณหภูมิ 550 °C นาน 45 นาที จะได้เถ้าขานอ้อยที่มีค่า LOI ร้อยละ 5 นำเถ้าขานอ้อยที่มีค่า LOI ร้อยละ 5 และ 20 มาผสมกันในอัตราส่วน 1:2 และ 2:1 จะได้เถ้าขานอ้อยที่มีค่า LOI ร้อยละ 10 และ 15 ตามลำดับ ในแต่ละค่า LOI นำมาผสมลงในมอร์ตาร์อัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ทดสอบกำลังอัดตัวอย่างที่อายุ 3 7 28 และ 90 วัน และความต้านทานซัลเฟตทดสอบที่อายุ 30 ถึง 360 วัน เถ้าขานอ้อยที่ใช้ทดสอบมีขนาดอนุภาคที่ d_{50} เท่ากับ 10 ไมครอน เถ้าขานอ้อยที่มีค่า LOI ร้อยละ 5 10 15 และ 20 มีปริมาณรวมของสารประกอบทางเคมีหลัก ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) เท่ากับร้อยละ 85.62 78.38 68.99 และ 63.74 ตามลำดับ ผลด้านกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยที่มีค่า LOI ต่ำจะให้ค่ากำลังอัดที่ดีกว่าค่า LOI สูง เถ้าขานอ้อยที่มีค่า LOI ร้อยละ 5-15 สามารถแทนที่ปูนซีเมนต์ได้สูงสุดร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่อายุ 28 และ 90 วัน ส่วนเถ้าขานอ้อยที่มีค่า LOI ร้อยละ 20 สามารถแทนที่ปูนซีเมนต์ได้สูงสุดร้อยละ 20 โดยน้ำหนักในค่ากำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุมคิดเป็นร้อยละ 102 เท่ากันทั้งอายุ 28 และ 90 วัน ผลด้านความต้านทานซัลเฟต จะมีค่าดีเมื่อเถ้าขานอ้อยมี LOI ต่ำและปริมาณแทนที่ปูนซีเมนต์ที่น้อย ที่ค่า LOI ของเถ้าขานอ้อยเท่ากับร้อยละ 20 สามารถใส่แทนที่ปูนซีเมนต์ได้สูงสุดที่ร้อยละ 10 ให้ผลความต้านทานซัลเฟตดี กว่าคอนกรีตควบคุมตลอดอายุตัวอย่าง 30-360 วัน สรุปเถ้าขานอ้อยที่มีค่า LOI ร้อยละ 20 สามารถใส่แทนที่ปูนซีเมนต์ได้ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักจะให้กำลังอัดที่ดีกว่าและใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม สาเหตุที่ใช้ได้ในปริมาณน้อยเพราะว่าค่า LOI ยิ่งสูงจะมีปริมาณคาร์บอนและคาร์บอนเตนมาก ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยาและมีความพรุนมาก มีพื้นที่ผิวมาก มีความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ต่อน้ำลดลง กำลังอัดของมอร์ตาร์จึงลดลงตาม ด้านความต้านทานซัลเฟตมีแนวโน้มเดียวกับกำลังอัด สาเหตุที่ความต้านทานซัลเฟตลดลงของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยที่มีค่า LOI สูง เพราะจากข้อมูลสารประกอบทางเคมีของเถ้าขานอ้อยที่มีค่า LOI สูง จะมี Al_2O_3 และ CaO ในปริมาณมาก รวมกับ C_3A ในปูนซีเมนต์สามารถทำปฏิกิริยากับซัลเฟตได้ ซึ่งเป็นการเร่งการกัดกร่อนของซัลเฟตให้เกิดเร็วมากขึ้น

R. Rajamma, et al. (2009) ได้ศึกษา ลักษณะและการใช้งานของเถ้าลอยชีวมวลในวัสดุปูนซีเมนต์ เถ้าลอยชีวมวลเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเผาของโรงไฟฟ้า นำมาอบไล่ความชื้นแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 75 ไมครอน สารประกอบทางเคมีของ SiO_2 ร้อยละ 41 Al_2O_3 ร้อยละ 9.3 Fe_2O_3 ร้อยละ 2.6 สามารถจัดเป็นเถ้าลอย Class C ตามมาตรฐาน EN 450 ทำการทดสอบวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน มีการแทนที่ตัวอย่างเถ้าลอยชีวมวลอัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30

พบว่าอุณหภูมิในขณะที่เกิดปฏิกิริยาลดลงตามปริมาณเถ้าลอยชีวมวลที่ใส่เพิ่มมากขึ้น การใส่เถ้าลอยชีวมวลสามารถช่วยลดอุณหภูมิสูงสุดของการเกิดปฏิกิริยาได้ เป็นอิทธิพลจากปริมาณซีเมนต์ที่ลดลงและสารที่มีคุณสมบัติเป็นด่างและคลอรีนในตัวเถ้าลอย ทำการทดสอบสมบัติทางกลของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยชีวมวล คือ กำลังอัดและกำลังคด พบว่าตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใส่เถ้าลอยชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20 ให้ค่ากำลังอัดและคดที่ดีและใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุมเถ้าลอยชีวมวลตัวอย่างสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้ไม่เกินร้อยละ 20 ให้ผลต่อสมบัติทางกลของมอร์ตาร์ที่ดี การจะเพิ่มคุณภาพของเถ้าลอยชีวมวลให้ดีขึ้น ขึ้นอยู่กับกระบวนการเผาและหาทางลดปริมาณคาร์บอน คลอไรด์ และซัลเฟต ที่มีอยู่ในตัวเถ้าลอยชีวมวล

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบว่าตัวแปรสำคัญของเถ้าชีวมวลที่ส่งผลต่อสมบัติปอซโซ-โซลานที่จะนำไปในงานวัสดุก่อสร้างประกอบด้วย ชนิดเชื้อชีวมวลและอัตราส่วนชีวมวลแต่ละชนิดเมื่อนำมาเผาแล้วให้เถ้าที่มีสมบัติต่างกันอุณหภูมิที่เผาชีวมวลมีผลต่อโครงสร้างอนุภาคและสารประกอบภายในเถ้าลอยชีวมวล ตัวอย่าง เถ้าแกลบ เมื่อเผาในอุณหภูมิที่ต่ำ 500 – 600 °C จะให้ซิลิกาที่มีโครงสร้างเป็น ออสตานเป็นส่วนใหญ่ทำให้ทำปฏิกิริยาได้ดี ความละเอียดของเถ้าชีวมวลยังมีความละเอียดมากขึ้นที่ผิวก็ยิ่งมาก ทำให้การเกิดปฏิกิริยาได้มาก องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชีวมวลที่มีสารซิลิกา (SiO_2) และอลูมินา (Al_2O_3) ปริมาณมากสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้มากและช่วยลดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ลงทำให้กำลังอัดของมอร์ตาร์หรือคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้น ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) ของเถ้าชีวมวลเป็นค่าที่ส่งผลต่อกำลังอัดก็ยังมีค่ามากกำลังอัดยิ่งลดลง และอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวลที่ให้ค่ากำลังอัดและสมบัติของมอร์ตาร์และคอนกรีตที่ดีขึ้นอยู่ที่ไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่อายุตัวอย่าง 28 วันที่อัตราส่วนการแทนที่สูงกว่านี้จะส่งผลให้ค่ากำลังอัดลดลง ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้กล่าวข้างต้นเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการใช้เถ้าลอยชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์และหาอัตราส่วนของชีวมวลที่ผสมแล้วให้เถ้าลอยชีวมวลที่มีสมบัติปอซโซลานที่ดีที่สุด

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.3.1 เพื่อหาอัตราส่วนผสมของชีวมวลสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบเชื้อเพลิงเมื่อผ่านกระบวนการเผาแล้วให้เถ้าลอยชีวมวลที่มีสมบัติเป็นสารปอซโซลานดีที่สุด
- 1.3.2 เพื่อหาอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ของเถ้าลอยชีวมวลที่สูงที่สุดและให้กำลังอัดดีที่สุด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เพิ่มสมบัติด้านกำลังของมอร์ตาร์และคอนกรีตด้วยเถ้าลอยชีวมวลให้ได้มากที่สุด ในอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ที่มากที่สุด
- 1.4.2 สามารถนำเถ้าลอยชีวมวลที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง
- 1.4.3 ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับเถ้าลอยชีวมวล ให้สามารถนำไปใช้ในงานวัสดุการก่อสร้างได้อย่างเหมาะสม มีคุณภาพและคุ้มค่ามากที่สุด

1.5 ขอบเขตการศึกษา

- 1.5.1 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- 1.5.2 ชีวมวลและเถ้าชีวมวลที่ใช้ คือ ชีวมวลที่ใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและเถ้าชีวมวลที่เหลือจากการเผาของ โรงไฟฟ้าชีวมวล บจก. สหโคเจน กรีน สาขาลำพูน โดยตัวอย่างชีวมวลที่ใช้ประกอบด้วย ไม้สับ แกลบและซัง ข้าวโพด
- 1.5.3 อัตราส่วนชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ไม้สับ ร้อยละ 60-80 โดยน้ำหนัก แกลบ ร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนัก และ ซังข้าวโพด ร้อยละ 0-10 โดยน้ำหนัก
- 1.5.4 เถ้าลอยชีวมวลชนิดที่ 1 คือ เถ้าลอยชีวมวลที่ได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวล (BMA) ใช้ อุณหภูมิในการเผาที่ 550-650 °C
- 1.5.5 เถ้าลอยชีวมวลชนิดที่ 2 คือ เถ้าลอยชีวมวลที่เผาในห้องทดลอง (WRHC) ใช้ อุณหภูมิในการเผาที่ 600 °C ใช้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเท่ากับ 3 °C/min เผาที่ อุณหภูมิคงที่นาน 6 ชั่วโมง
- 1.5.6 เถ้าลอยชีวมวลที่ใช้ในการศึกษาต้องมีความละเอียดที่ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 200
- 1.5.7 ใช้การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยชีวมวลด้วยวิธี Scanning Electron Microscope (SEM) และ X - ray Diffraction (XRD)

- 1.5.8 ใช้การทดสอบสมบัติทางเคมีของเถ้าลอยชีวมวลด้วยวิธี X - ray Fluorescence (XRF)
- 1.5.9 ออกแบบส่วนผสมของมอร์ตาร์และคอนกรีตผสมเถ้าลอยชีวมวล โดยใช้อัตราส่วนเถ้าลอยชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 0 5 10 และ 20 โดยน้ำหนัก
- 1.5.10 ไม่ใช้สารผสมเพิ่มในการผสมมอร์ตาร์และคอนกรีต
- 1.5.11 ใช้ปริมาณน้ำต่อวัสดุประสานในการเตรียมตัวอย่างมอร์ตาร์ จากค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ที่ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1437 เท่ากับร้อยละ 110 ± 5 cm
- 1.5.12 ใช้ค่ายุบตัวในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 7.5 ± 2.5 cm
- 1.5.13 ใช้ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา ตัวอย่างมอร์ตาร์ใช้ทรงลูกบาศก์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ cm และตัวอย่างคอนกรีตใช้ทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 cm ความสูง 20 cm
- 1.5.14 ทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์และคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยชีวมวล ที่อายุบ่มขึ้นของตัวอย่างทดสอบ คือ 7 14 และ 28 วัน โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่าง