เลขที่สัญญา R2556C119

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษากำลังอัดของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยกับเถ้าลอย

คณะผู้วิจัย สังกัด

ดร.ทนงศักดิ์ โนไชยา สังกัดภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

ดร.ศราวุฒิ เถื่อนถ้ำ สังกัดภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

นางสาวชุตินธร สุขเกษม สังกัดภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สนับสนุนโดยกองทุนมหาวิทยาลัยนเรศวร

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปได้โดยได้รับเงินสนับสนุนจาก กองทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายได้ของมหาวิทยาลัยนเรศวรปีงบประมาณ 2556 เป็นอย่างยิ่ง โครงการวิจัยนี้ไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้หากผู้วิจัยไม่ได้รับการสนับสนุนจากทุนดังกล่าว นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือการวิเคราะห์ผลในการวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านการทดสอบกำลังอัด และสุดท้ายทางผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

ทนงศักดิ์ โนไชยา

กันยายน 2557

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์ โดยนำเถ้าชานอ้อยมาผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิสูงสุดที่ 600°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำไปบดด้วยเม็ดบอล 12 ชั่วโมง เถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยถูกนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) และอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน (s/b) เท่ากับ 0.5 และ 2.5 ตามลำดับ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ วัสดุปอซโซลาน (เถ้าลอยและเถ้าชานอ้อย) ทราย และน้ำ จะถูกนำมาผสมรวมกันเพื่อทำเป็นชิ้นงานมอร์ตาร์ หลังจากนั้นชิ้นงานจะถูกแช่ในน้ำที่เป็นด่างเข้มข้นจะกว่าจะนำไปทดสอบต่อไป นอกจากนี้ยังมีการเตรียมชิ้นงานเป็นแบบเพสต์โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 สำหรับนำไปใช้วิเคราะห์โครงสร้างผลึกและโครงสร้างทางจุลภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ในทุกส่วนผสมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่ากำลังอัดของของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยจะมีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุมทุกระยะเวลาในการบ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งมอร์ตาร์สูตร 10FA10SCBA และสูตร 5FA15SCBA ส่วนผลของความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่ผสมวัสดุปอซโซลานทั้งสองมีค่าไม่ต่างจากมอร์ตาร์ควบคุม ในขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 90 วัน ยิ่งไปกว่านั้นค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์จะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับค่าความพรุนของมอร์ตาร์ สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD พบว่าเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยเกิดการทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันซึ่งดูได้จากพีคของแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีค่าลดลง นอกจากนี้การทำปฏิกิริยาของวัสดุปอซโซลานยังสามารถดูได้จากโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานเพสต์ที่เกิดขึ้นที่ผิวของวัสดุปอซโซลาน ดังนั้นโครงงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าการใช้เถ้าลอยและเถ้าชานอ้อย สามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มอร์ตาร์ได้

Abstract

This research studied properties of Portland cement mortars containing fly ash (FA) and sugarcane bagasse ash (SCBA). Firstly, SCBA was improved by calcining at the maximum temperature of 600°C and then ground by ball mill for 12 hours. FA and SCBA were used as a Portland cement replacement at 20 by weight. Water to binder ratio (w/b) and sand to binder ratio (s/c) are 0.5 and 2.5, respectively. Portland cement, pozzolans (FA and SCBA), sand and water were mixed together to produce mortars and then cured in saturated lime water until test. The compressive strength, density, water absorption and porosity of the mortars were tested at 7, 14, 28 and 90 days. Paste samples were also prepared using water to binder ratio (w/b) of 0.5 for crystal morphology and microstructure analyzes. X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscope (SEM) were used to study these characteristics, respectively.

The results showed that compressive strength of all mixes was increased with increasing curing time. The compressive strength at all ages of the mortar mixes with FA and SCBA were found to be similar to that of PC control mix, especially, in the 10FA10SCBA and 5FA15SCBA mixes. For density results, the mortar mixes with pozzolans were found to similar to that of the PC control mix while water absorption of Portland cement blended with FA and SCBA was found to be lower than that of the PC control at the later age (90 days). Moreover, the water absorption and porosity of all mortars were directly correlated. From XRD results, it was found that FA and SCBA were reacted with hydration products, indicating by the lower detection of calcium hydroxide (CH). Microstructure of paste sample was also confirmed the reaction of pozzolans, which occurred on pozzolan surfaces. Therefore, the Portland cement replacement by fly ash and sugarcane bagasse ash is deemed to improve the mechanical and physical properties of Portland cement mortars.

Executive Summary

ในประเทศไทยมีเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากและหลากหลายชนิด แต่มีเถ้าจำนวนน้อยและมีเถ้าเพียงไม่กี่ชนิดที่มีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในงานคอนกรีตได้ เถ้าที่สามารถนาไปใช้ในงานคอนกรีตได้มักต้องมีลักษณะดังนี้ คือ "เป็นเถ้าที่มีออกไซด์ของซิลิกา หรือซิลิกาและอลูมินาสูงซึ่งโดยทั่วไปควรมากกว่าร้อยละ 50 ของทั้งหมด มีความละเอียดสูงหรือสามารถทำให้มีความละเอียดสูงได้ และไม่เป็นผลึกคือสามารถทำปฏิกิริยากับด่าง (แคลเซียมไฮดรอกไซด์) ได้" ซึ่งเถ้าชานอ้อย (Sugar cane bagasse ash) ก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมคอนกรีตได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำมาใช้เพราะเล็งเห็นปัญหาจากกากเถ้าชานอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลซึ่งจะใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบหลัก ในประเทศไทยมีเถ้าชานอ้อยคิดเป็นประมาณ 4.5 แสนตันต่อปี ซึ่งเถ้าชานอ้อยมีการนำมาใช้งานเพียงบางส่วนในภาคเกษตรกรรมโดยการนำเถ้าชานอ้อยไปทำปุ๋ยเพื่อปรับสภาพดินที่เป็นกรด แต่ที่เหลือส่วนใหญ่ต้องนำไปทิ้งซึ่งต้องใช้พื้นที่และค่าใช้จ่ายในการจัดการเป็นจำนวนมาก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเอาเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยมาศึกษาผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ โดยนำเถ้าชานอ้อยมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเผาแคลไซน์และบดให้มีขนาดอนุภาคที่เล็กลง แล้วจึงนำไปผสมทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนโดยรวมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) และอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน (s/b) เท่ากับ 0.5 และ 2.5 ตามลำดับ ซึ่งโครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกลของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์จากค่ากำลังอัด (compressive strength) และศึกษาสมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์จากค่าความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำและค่าความพรุน โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C642 นอกจากนี้เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นว่าเถ้าที่เราใส่เข้าไปนั้นมีการทำปฏิกิริยาจริง โครงการนี้จึงได้ทำการตรวจสอบโครงสร้างผลึกและโครงสร้างทางจุลภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ตามลำดับอีกด้วย

ผลการทดลองพบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ในทุกส่วนผสมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่ากำลังอัดของของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยจะมีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุมที่ทุกระยะเวลาในการบ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งมอร์ตาร์สูตร 10FA10SCBA และสูตร 5FA15SCBA ส่วนผลของความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่ผสมวัสดุปอซโซลานทั้งสองมีค่าไม่ต่างจากมอร์ตาร์ควบคุม ในขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานมอร์ตาร์ดังกล่าวมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 90 วัน ยิ่งไปกว่านั้นค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์จะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับค่าความพรุนของมอร์ตาร์ สำหรับการตรวจสอบโครงสร้าง

ผลึกด้วยเทคนิค XRD พบว่าเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยเกิดการทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ไฮเดรชันซึ่งดูได้จากพีคของแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีค่าลดลง นอกจากนี้การทำปฏิกิริยาของวัสดุปอซโซลานยังสามารถดูได้จากโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานเพสต์ที่เกิดขึ้นที่ผิวของวัสดุปอซโซลาน

อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ได้ประสบความสำเร็จในระดับหนึ่งซึ่งต้องการที่จะนำเอาวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าการใช้งานเถ้าชานอ้อยร่วมกับเถ้าลอยสามารถพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ได้ นอกจากนี้การนำเอาเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะเป็นการช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์อีกด้วย

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	3
บทคัดย่อภาษาไทย	4
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	5
Executive Summary	6
สารบัญ	8
บทที่ 1 บทนำ	9
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	31
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	49
เอกสารอ้างอิง	50
ผลลัพท์จากโครงการวิจัย	52
ภาคผนวก	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) เป็นปัญหาหลักของการเพิ่มอุณหภูมิของโลก สาเหตุหลักเกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และโอโซน (O_3) ซึ่งเกิดจากการทำกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการเผาผลาญถ่านหินและเชื้อเพลิง สารเคมีที่มีส่วนผสมของก๊าซเรือนกระจกที่มนุษย์ใช้ และอื่นๆอีกมากมาย รวมถึงภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีการขยายเพิ่มขึ้นเพื่อรองรับกับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งคือ อุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ก็เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมการที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 0.8 - 1 เมตริกตันต่อการผลิตปูนซีเมนต์ 1 เมตริกตัน โดยจะมาจากการผสมซีเมนต์ และการหลอมรวมสารเคมีต่างๆ ที่เป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิต เช่น หินปูน ดินเหนียว แร่เหล็ก และแร่ธาตุอื่นๆ ในอุณหภูมิที่สูงประมาณ 1450-1,500 องศาเซลเซียส [1-3] จากการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตที่สูง และมีการปลอดปล่อย CO_2 ออกมามาก จึงมีแนวคิดพยายามที่จะนำวัสดุจำพวกขี้เถ้ามาใช้ทนแทนปูนซีเมนต์ เช่น เถ้าลอย เถ้าหนัก ผงฝุ่นซิลิกา ตะกรันเหล็ก และเถ้าแกลบ เป็นต้น [4-6] ซึ่งวัสดุเหล่านี้ได้ถูกจัดเป็นวัสดุปอซโซซาน โดยวัสดุนี้จะมีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา (SiO_2) และอะลูมินา (Al_2O_3) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำได้ มีการรายงานว่าการใช้วัสดุปอซโซลานสามารถเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต เพิ่มสมบัติทางด้านความทนทาน และลดการซึมน้ำของคอนกรีตได้ [4-6] ซึ่งในประเทศไทยมีเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจานวนมากและหลากหลายชนิด แต่มีเถ้าจำนวนน้อยและมีเถ้าเพียงไม่กี่ชนิดที่มีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในงานคอนกรีตได้ เถ้าที่สามารถนาไปใช้ในงานคอนกรีตได้มักต้องมีลักษณะดังนี้ คือ “เป็นเถ้าที่มีออกไซด์ของซิลิกา หรือซิลิกาและอลูมินาสูงซึ่งโดยทั่วไปควรมากกว่าร้อยละ 50 ของทั้งหมด มีความละเอียดสูงหรือสามารถทำให้มีความละเอียดสูงได้ และไม่เป็นผลึกคือสามารถทำปฏิกิริยากับด่าง (แคลเซียมไฮดรอกไซด์) ได้” ซึ่งเถ้าชานอ้อย (Sugar cane bagasse ash) มีศักยภาพที่จะนำไปใช้ได้ [7-8]

เถ้าชานอ้อย เป็นวัสดุเหลือใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลซึ่งจะใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบหลัก (ข้อมูลในปี 2551 ประเทศไทยสามารถผลิตอ้อยได้ 75 ล้านตัน [9]) ซึ่งภายหลังจากกระบวนการผลิตน้ำตาลจะมีกากของอ้อยหรือเรียกว่า ชานอ้อย เหลืออยู่ประมาณร้อยละ 26 ของน้ำหนักอ้อย และหลังจากนั้นชานอ้อยจะถูกนำใช้ประโยชน์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตน้ำตาลต่อไปและจะเหลือเป็นขี้เถ้าดำ หรือเถ้าชานอ้อย ซึ่งถือว่าเป็น

ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการอยู่ประมาณ ร้อยละ 0.62 ของน้ำหนักอ้อย หรือคิดเป็นประมาณ 4.5 แสนตันต่อปี [9] ซึ่งเถ้าชานอ้อยมีการนำมาใช้งานเพียงบางส่วนในภาคเกษตรกรรมโดยการนำเถ้าชานอ้อยไปทำปุ๋ยเพื่อปรับสภาพดินที่เป็นกรด แต่ที่เหลือส่วนใหญ่ต้องนำไปทิ้งซึ่งต้องใช้พื้นที่และค่าใช้จ่ายในการจัดการเป็นจำนวนมาก จากการที่เถ้าชานอ้อยที่เหลือมีปริมาณที่ค่อนข้างสูงและการนำไปใช้ประโยชน์ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยแล้วพบว่ามีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา (SiO_2) และอะลูมินา (Al_2O_3) [7, 9-11] ซึ่งถือว่าเถ้าชานอ้อยมีคุณสมบัติอยู่ในกลุ่มวัสดุปอซโซลานซึ่งมีคุณสมบัติในการช่วยยึดประสาน เมื่อนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ เช่นเดียวกับวัสดุปอซโซลานอื่น ๆ อาทิเช่น เถ้าลอย (Fly ash) ที่ได้จากกระบวนการเผาถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานถ่านหิน จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่าเมื่อนำเถ้าชานอ้อยไปบดให้ละเอียดแล้วนำมาผสมกับปูนซีเมนต์สามารถเพิ่มค่ากำลังอัดของคอนกรีตได้อีกทั้งเถ้าชานอ้อยยังช่วยลดการดูดซึมน้ำของคอนกรีตอีกด้วย [7, 10-11]

อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบว่ามีงานวิจัยที่ใช้เถ้าชานอ้อยร่วมกับเถ้าลอยเพื่อใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในงานทางด้านคอนกรีต ดังนั้นจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้เพื่อต้องการที่จะนำเอาวัสดุเหลือใช้จากโรงงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยจะศึกษาผลของการใช้เถ้าชานอ้อยร่วมกับเถ้าลอยต่อกำลังอัดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Compressive strength) การทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Reaction) และการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ของมอร์ตาร์ นอกจากนี้การนำเอาเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะเป็นการช่วยลดพลังงานโดยตรงจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และยังช่วยลดปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการเผาอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษากำลังอัดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอย

1.2.2 เพื่อศึกษาปฏิกิริยาปอซโซลานิกของเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอย

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอย

1.2.4 สามารถนำวัสดุเหลือใช้จากโรงงานมาใช้ในงานก่อสร้างได้จริง

1.3 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1.3.1 ค้นคว้าวรรณกรรม

1.3.2 เก็บตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง และเถ้าชานอ้อยโรงงานน้ำตาล จ.พิจิตร

1.3.3 วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบ ด้วยเทคนิค XRD, SEM และ TGA โดยส่งชิ้นงานไปทดสอบที่ศูนย์เครื่องคณะวิทยาศาสตร์

1.3.4 ศึกษาผลของเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยต่อการก่อตัว ค่ากำลังอัดและปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์โดยเตรียมชิ้นงานที่ภาควิชาฟิสิกส์ และส่งชิ้นงานไปทดสอบที่ศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์

1.3.5 นำข้อมูลจากการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูล

1.3.6 เขียนรายงาน สรุปผล

1.4 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

กิจกรรม	เดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ												
เก็บตัวอย่างจากโรงงาน												
วิเคราะห์วัตถุดิบ												
เตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบ												
วิเคราะห์ผลการทดลอง												
นำเสนอผลงานวิจัย												
เขียนรายงาน สรุปโครงการ												

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้สำหรับงานโครงสร้างกัน ทั้งนี้เนื่องจากราคาถูก ใช้งานง่าย อีกทั้งยังมีความคงทนสูงอีกด้วย ซึ่งในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์นั้นจำเป็นที่จะต้องใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ เช่น หินปูน ดินขาว และแร่เหล็ก มาเผารวมกันในเตาหลอมแบบหมุน (Rotary kiln) ที่อุณหภูมิประมาณ 1,450-1500 °C จะเห็นว่าในกระบวนการผลิตเพื่อที่จะให้ได้ปูนซีเมนต์มานั้น จำเป็นจะต้องใช้พลังงานจำนวนมาก อีกทั้งในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ยังมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมาอีกด้วย ดังนั้นจึงมีหลากหลายงานวิจัยที่มีแนวคิดที่จะลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลง โดยใช้วัสดุปอซโซลานทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุปอซโซลานมีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา (SiO_2) และอะลูมินา (Al_2O_3) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวยึดประสานเมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ [4,8] อีกทั้งในการใช้วัสดุปอซโซลานยังเป็นลดค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตอีกด้วย ซึ่งวัสดุปอซโซลานจากภาคอุตสาหกรรมได้แก่ เถ้าลอย (Fly ash) เถ้าหนัก (Bottom ash) ตะกรันเหล็ก (Blast furnace slag) ผงฝุ่นซิลิกา (Silica fume) และและวัสดุปอซโซลานจากภาคการเกษตรได้แก่ เถ้าแกลบ (Rice husk ash) และเถ้าชานอ้อย (Sugar cane bagasse ash)

เถ้าลอย (Fly ash) เป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากการเผาถ่านหินในกระบวนการผลิตไฟฟ้า โดยเกิดขึ้นในขณะที่กำลังจะออกจากโซนการเผา ตัวอนุภาคของเถ้าที่ละลายจึงถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วจากอุณหภูมิ 1,500°C ลดลงเป็น 200°C ในช่วงเวลาเพียงไม่กี่วินาที และเถ้าลอยเหล่านี้กลายเป็นของแข็งมีลักษณะเป็นทรงกลมและลอยตัวไปอยู่ที่ปากปล่อง ซึ่งแหล่งเถ้าลอยโซนภาคเหนือในประเทศไทยก็คือ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในวิจัยการเพื่อนำเถ้าลอยมาใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ได้ทำมาทั่วโลกเป็นจำนวนมาก ในการนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อเป็นการลดของเหลือใช้จากโรงงานไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง และเป็นการลดปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ นอกจากนี้คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยยังมีความคงทนเท่าเทียมกับหรือดีกว่าคอนกรีตที่ทำมาจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [4,8] เนื่องจากในการผสมเถ้าลอยเข้าไปในคอนกรีตจะทำให้ลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมได้ แต่ความสามารถเทได้จะเท่ากับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเถ้าลอย และปฏิกิริยาระหว่างเถ้าลอยกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) จะทำให้ช่องว่างในเนื้อคอนกรีตลดลง [8] โดยปกติแล้ว

คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยจะแข็งแรงกว่าคอนกรีตที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในระยะยาว (มากกว่า 28 วัน)

ชานอ้อยเป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล จากนั้นชานอ้อยจะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าป้อนภายในโรงงาน ชานอ้อยถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่ดีเพราะสร้างปัญหาต่อสภาพแวดล้อมน้อยเนื่องจากมีปริมาณกำมะถันต่ำจึงไม่ก่อให้เกิดฝนกรด [8] ซึ่งในประเทศไทยผลิตอ้อยเป็นจำนวนมากหลังจากกระบวนการผลิตน้ำตาลจะมีชานอ้อยเหลือประมาณร้อยละ 26 ของน้ำหนักอ้อยหรือมีชานอ้อยประมาณ 19 ล้านตัน และภายหลังจากการเผาชานอ้อยเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจะเหลือเป็นเถ้าชานอ้อยร้อยละ 0.62 ของน้ำหนักอ้อย [12] หรือประมาณ 4.5 แสนตันต่อปี ซึ่งเถ้าชานอ้อยเหล่านี้ ส่วนใหญ่ทางเกษตรกรได้มีการนำเถ้าชานอ้อยไปทำปุ๋ย หรือปรับสภาพดินเปรี้ยว

ซึ่งในงานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะนำเถ้าชานอ้อย จากโรงงานผลิตน้ำตาล จ.พิจิตร ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้มาทดแทนปูนซีเมนต์ในการทำมอร์ตาร์ ทั้งนี้นอกจากจะเป็นการลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์แล้ว ยังจะเป็นการนำเอาวัสดุเหลือใช้จากโรงงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย โดยมีแนวคิดที่จะใช้เถ้าชานอ้อย และเถ้าลอยมาผสมปูนซีเมนต์ แล้วทำการศึกษาผลของวัสดุปอซโซลานทั้งสอง (เถ้าชานอ้อยและเถ้าลอย) ต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ของปูนซีเมนต์ เช่นสมบัติการก่อ (Setting time) และกำลังอัด (Compressive strength) ของมอร์ตาร์ อีกทั้งจะทำการศึกษาการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับวัสดุปอซโซลาน (Pozzolanic reaction) ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction; XRD) เทคนิคการตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อน (Thermal analysis; TGA) และตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเน้นการใช้เครื่องมือและเทคนิคทางด้านวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับวัสดุปอซโซลาน

2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement)

วัตถุชนิดนี้พบครั้งแรกที่เมืองปอร์ตแลนด์ ในประเทศอังกฤษ ปูนซีเมนต์แลนด์ประกอบด้วยหินปูน (Limestone) และดินเหนียว (clay) เป็นส่วนใหญ่นอกจากนี้ก็มีเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และโคโลไมต์ ($MgCO_3$) เป็นจำนวนเล็กน้อย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาในบ้านเราที่ใช้กันทั่วไป (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง, ตราพยานาคเขียว, TPI (แดง) ฯลฯ ปกติจะมีสีเทาแกมเขียว (greenish gray) และมีน้ำหนักประมาณ 92 ปอนด์/ฟุต^3 เมื่อเผาวัตถุดิบของปูนซีเมนต์ซึ่งได้แก่สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน

อลูมิเนียม และ เหล็ก สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันทางเคมี และรวมตัวกันเป็นสารประกอบอยู่ในปูนเม็ดในรูปของผลึกที่ละเอียดมาก ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อของสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียม ซิลิเกต	$3CaO.\ SiO_2$	C_3S
ไดแคลเซียม ซิลิเกต	$2CaO.\ SiO_2$	C_2S
ไตรแคลเซียม อะลูมิเนต	$3CaO.\ Al_2O_3$	C_3A
เตตตราแคลเซียม อะลูมิโน เฟอไรต์	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

C_3S ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงได้เร็วภายใน 14 วัน C_2S ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงได้ช้า ความร้อนเกิดขึ้นบ่อย C_3A ทำให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาเริ่มแข็งตัวเกิดความร้อนสูง มีกำลังรับแรงเร็ว C_4AF มีผลน้อย ให้ความแข็งแรงเล็กน้อยเติมเข้าไปเพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้น

2.3 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน ของคอนกรีตคือปฏิกิริยาที่สารประกอบคัลเซียมซิลิเกตไฮเดรท (C_3S และC_2S) ทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้ซีเมนต์เพสท์ เกิดเป็นวุ้น (Gel) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งวุ้น (Gel) เป็นตัวประสาน มีความเหนียวคล้ายกาว ก่อตัว แข็งตัว และ ยึดเกาะแน่นกับวัสดุผสมปูนซีเมนต์ธรรมดาให้ความร้อนประมาณ 85 - 100 คาลอรีต่อกรัม ตามระยะเวลาภายหลังการผสม ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้บางส่วนจะหนีผ่านเนื้อคอนกรีตออกมา แต่บางส่วนจะอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ถ้าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตมีค่าสูง คอนกรีตอาจเสียความแข็งแรงได้ และ ความร้อนนี้จะทำให้เกิดหน่วยแรงต่าง ๆ ภายในเนื้อคอนกรีต ซึ่งเป็นผลให้คอนกรีตแตกร้าว ในโครงสร้างคอนกรีตที่บาง ความร้อนสามารถถ่ายเทออกไปได้ แต่ในโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่และ หนา เช่นเขื่อน จะต้องมีการออกแบบให้มีการถ่ายเทความร้อนให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต วิธีหนึ่งอาจทำได้โดยใช้ปูนซีเมนต์ประเภทสี่ ที่ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต่ำ (60 - 70 คาลารีต่อ กรัม) การทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะหยุดเมื่อน้ำระเหยหนีออกจากเพสท์หมดแล้ว ดังนั้นการบ่มซึ่งเป็นวิธีการป้องกันการสูญเสียน้ำในคอนกรีตจึงนับว่าเป็นสิ่งสำคัญ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ ขึ้นอยู่กับปริมาณของปูนซีเมนต์ในส่วนผสม ชนิดของปูนซีเมนต์ ความละเอียดของปูนซีเมนต์ อุณหภูมิ และ อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำกว่า 0.55

โดยน้ำหนัก จะขึ้นอยู่กับการให้น้ำจากภายนอกด้วย ถ้าบ่มคอนกรีตที่ใช้กันตามธรรมดาเป็นเวลา 1 เดือน โดยให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานของห้องทดลอง จะพบว่าปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำกว่าร้อยละ 80 อย่างไรก็ดีตามสภาพในสนาม คอนกรีตจะแห้งภายในเวลาไม่กี่วัน หลังจากนั้นปูนซีเมนต์ยังคงทำปฏิกิริยากับน้ำต่อไปได้โดยอาศัยน้ำที่ซึมจากใต้ดินหรือจากความชื้นในขณะฝนตก หรือ ในขณะที่ความชื้นในอากาศสูง ดังนั้นภายใต้ภาวะแวดล้อมธรรมดาการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำจะยังคงมีต่อไปอีกหลายปี

เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีขึ้น ระหว่างสารประกอบในปูนซีเมนต์กับน้ำเรียกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) สารประกอบ C_3S และ C_2S ที่อยู่ในผงปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ได้สารประกอบคัลเซียมซิลิเกตไฮเดรท ($3CaO{\cdot}2SiO_2{\cdot}3H_2O$ หรือ C-S-H) ดังสมการ (2.1) และ (2.2)

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน

$$2[3CaO{\cdot}SiO_2] + 6H_2O \longrightarrow 3CaO{\cdot}2SiO_2{\cdot}3H_2O + 3Ca[OH]_2 \qquad (2.1)$$

$$2[2CaO{\cdot}SiO_2] + 4H_2O \longrightarrow 3CaO{\cdot}2SiO_2{\cdot}3H_2O + Ca[OH]_2 \qquad (2.2)$$

2.4 วัสดุปอซโซลาน

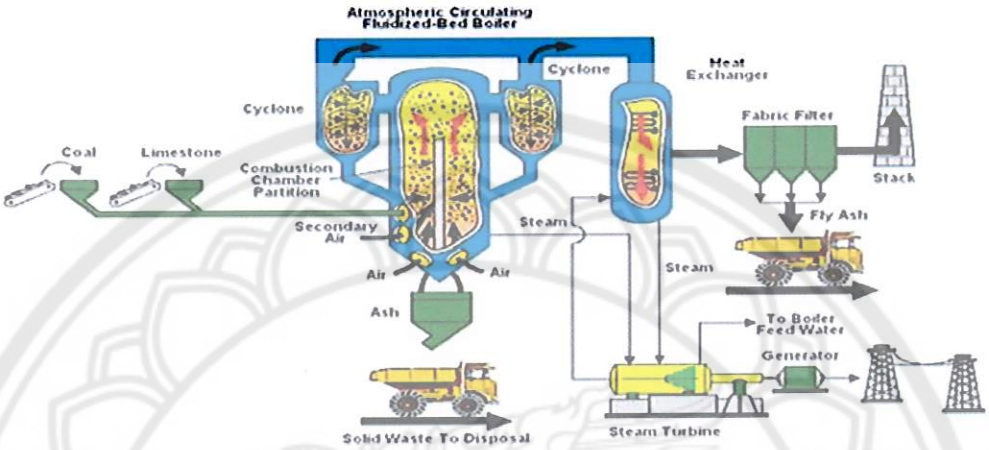
ในปัจจุบันมีการนำวัสดุประเภทปอซโซลานมาใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมซีเมนต์และอุตสาหกรรมก่อ สร้างกันอย่างแพร่หลายโดยวัสดุประเภทปอซโซลานนี้ถือว่าเป็นวัสดุเชื่อมประสาน (Cementitious Material) ชนิดหนึ่ง คำว่าวัสดุเชื่อมประสานนี้หมายถึงวัสดุที่ทำหน้าที่เชื่อมประสานองค์ประกอบต่างๆหรือวัสดุอื่นเข้าด้วยกันซึ่งในอดีตวัสดุเชื่อมประสานในงานก่อสร้างมีเพียงอย่างเดียวคือ ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยมาตรฐาน ASTM C618 ได้ให้คำจำกัดความของวัสดุปอซโซลานไว้ว่า "วัสดุปอซโซลานเป็นวัสดุที่มีซิลิกาหรือซิลิกาและอะลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปแล้ววัสดุปอซโซลานจะไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน แต่ถ้าวัสดุปอซโซลานมีความละเอียดมากและมีน้ำหรือความชื้นที่เพียงพอจะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติทำให้ได้สารประ กอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน วัสดุจำพวกนี้ได้แก่ เถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบ ตะกรันเหล็ก และซิลิกาฟูม เป็นต้น ซึ่งเป็นของเหลือใช้ (Waste) จากโรงงานอุตสาหกรรม

2.5 เถ้าลอย (Fly ash)

เถ้าลอยเป็นของแข็งเม็ดกลมมีความละเอียดซึ่งลอยขึ้นมาพร้อมกับอากาศที่ร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินที่บดละเอียดในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าและจะถูกจับด้วยเครื่องดักจับ (Precipi tator) หลังจากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังถังเก็บ (ดังแสดงในรูปที่ 2.1) ซึ่งถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงนี้ประกอบไปด้วยสารประกอบคาร์บอนและแร่ธาตุอื่นๆเช่น ดินดาน ดินเหนียวซัลไฟด์ และคาร์บอเนต เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิสูงในเตาเผา

คุณสมบัติของสารประกอบต่างๆในถ่านหินจะเปลี่ยนไปทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในเตาเผารวมทั้งวิธีการที่ทำให้เย็นตัวของเถ้าลอยซึ่งเถ้าลอยนี้ส่วนใหญ่เป็นออก ไซด์ของซิลิกาและอะลูมินา

1.กรรมวิธีการผลิตเถ้าลอย



รูปที่ 2.1 กระบวนการเผาถ่านหินในโรงงานผลิตไฟฟ้า

2.ประโยชน์และการใช้งาน

1) ช่วยปรับปรุงความสามารถเทได้ของคอนกรีต

2) ลดการเยิ้ม (Bleeding) และแนวโน้มการแยกตัวของคอนกรีต

3) อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นช้า ดังนั้นความร้อนจากปฏิกิริยาจะลดลง

4) เพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุมากกว่า 28 วัน

5) ปฏิกิริยาระหว่างเถ้าลอยกับ $Ca(OH)_2$ ทำให้ช่องว่างในเนื้อคอนกรีตลดลงเพิ่มความ ทนทานของคอนกรีต

3.ข้อควรคำนึงในการใช้เถ้าลอย

1) เถ้าลอยทั่วไปจะลดกำลังอัดของคอนกรีตในช่วงแรก

2) การบ่มมีผลอย่างมากต่อคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอย นั่นคือ การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ ผสมเถ้าลอยจะเกิดเมื่อคอนกรีตนั่นได้รับการบ่มชื้นเท่านั้น

2.6 ปฏิกิริยาปอซโซลาน

เกิดจากปฏิกิริยาที่สารประกอบคัลเซียมซิลิเกตไฮเดรท ทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้ซีเมนต์เพสท์เกิดเป็นวุ้น (Gel) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่อเนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ซีเมนต์เพสท์มีคุณสมบัติเป็นด่าง (ช่วยป้องกันการเกิดสนิมในเหล็กเสริม) แคลเซียมไฮดรอกไซด์นี้จะทำปฏิกิริยาต่อไปอีกกับวัสดุที่มีธาตุซิลิกาและอลูมิน่าผสมอยู่ เช่น วัสดุปอซโซลาน เรียกปฏิกิริยานี้ว่าปฏิกิริยาปอซโซลาน (pozzolanic)

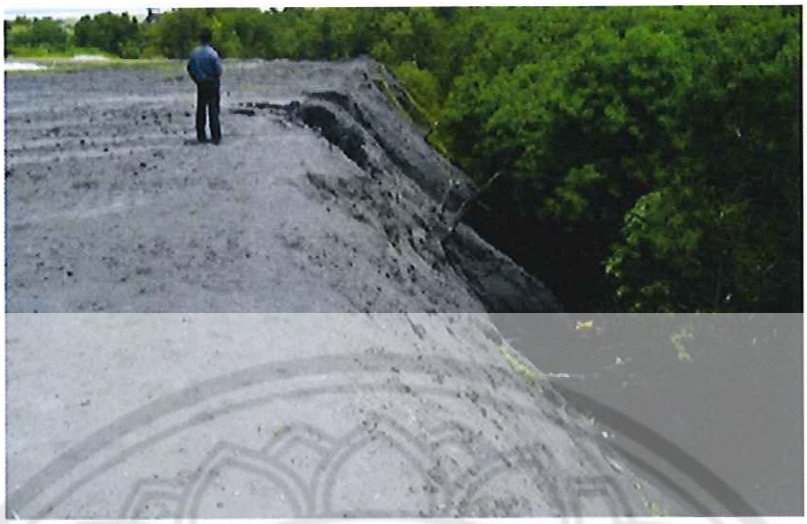
$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + H_2O \longrightarrow xCaO \cdot ySiO_2 \cdot zH_2O \qquad (2.3)$$

$$Ca(OH)_2 + Al_2O_3 + H_2O \longrightarrow xCaO \cdot yAl_2O_3 \cdot zH_2O \qquad (2.4)$$

สำหรับการใช้งานเถ้าลอยซึ่งถือเป็นวัสดุปอซโซลานชนิดหนึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ ทั้งนี้เนื่องจากการทำปฏิกิริยาปอซโซลานจะเป็นไปตามสมการ (2.3) และ (2.4) สำหรับค่า x, y เป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับซิลิกาและอลูมินา

2.7 เถ้าชานอ้อย (Bagasse ash)

เถ้าชานอ้อย เป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งใช้ชานอ้อย และใบอ้อย เผาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะนำไปใช้สำหรับอุตสาหกรรมภายในโรงงาน และส่วนที่เหลือสามารถขายให้แก่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ในปี พ.ศ.2545 พบว่าประเทศไทยมีผลผลิตอ้อยทั้งหมดประมาณ 74 ล้านตัน และหลังจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วพบว่าได้เถ้าชานอ้อยประมาณ 0.8 ล้านตัน เถ้าชานอ้อยที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้ามีการนำไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย เช่น เกษตรกรนำไปใช้เป็นปุ๋ย เพื่อปรับสภาพดินในงานเกษตรกรรมแต่ส่วนใหญ่ของเถ้าชานอ้อยต้องนำไปทิ้งโดยไม่เกิดประโยชน์ (รูป 2.2)



รูป 2.2 เถ้าชานอ้อยที่ถูกนำมาทิ้งบริเวณหลุมฝังกลบ [8]

เถ้าชานอ้อยมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม ไม่แน่นอน ผิวขรุขระ และมีรูพรุนสูง โดยมีขนาดของอนุภาคใหญ่กว่า 30 ไมครอนขึ้นไปเมื่อบดเถ้าชานอ้อยให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นลักษณะอนุภาคคล้ายกันกับเถ้าแกลบหรือเถ้าปาล์มน้ำมันหลังจากผ่านการบดทั่วไป สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยพบว่าเถ้าชานอ้อยมี SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักเหมือนเถ้าแกลบและเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียด อยู่ในช่วงร้อยละ 65-75 มีปริมาณ SO_3 ต่ำ แต่มีปริมาณของ LOI ค่อนข้างสูงซึ่งอาจสูงถึงร้อยละ 20-30 การที่ LOI ของเถ้าชานอ้อยมีค่าค่อนข้างสูงมักเกิดขึ้นเช่นเดียวกับเถ้าชีวมวลทั่วไป การแทนที่เถ้าชานอ้อยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของเพลสต์ผสมเถ้าชานอ้อยเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับใช้วัสดุปอซโซลานชนิดอื่นๆ คอนกรีตที่ใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่มวลรวมละเอียดมีความสามารถในการงานได้ (workability) และการเยิ้มน้ำที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับคอนกรีตธรรมดา คอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยมีความสามารถต้านทานการสึกกร่อน การซึมผ่านน้ำ การต้านการคลอไรด์และการเกิดคาร์บอเนชั่นเหมือนกันกับคอนกรีตธรรมดา นอกจากนี้ความพรุนของเถ้าชานอ้อยยังทำให้คอนกรีตต้านทานการแข็งตัวและละลายของน้ำ (freezing and thawing) สลับกัน ได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา

2.8 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยทางด้านการนำเถ้าลอยมาผสมในงานโครงสร้างมีดังนี้ Sidney [3] ได้กล่าวในเรื่องของการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่มีการทดแทนด้วยเถ้าลอยชนิด C และ F เข้าไปในคอนกรีตเพื่อเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์พบว่าการพัฒนากำลังอัดในช่วงแรกจะยังน้อยกว่าปูนซีเมนต์ซึ่งการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยชนิด C จะพัฒนากำลังอัดได้ทัดเทียมปูนซีเมนต์ในระยะเวลาที่น้อยกว่า 28 วัน ส่วนเถ้า

ลอยชนิด F ต้องใช้เวลามากกว่า 28 วัน ถึงจะมีการพัฒนากำลังอัดได้ทัดเทียมกับปูนซีเมนต์ล้วน ทั้งนี้ Sidney ยังได้แนะนำให้ทำการลดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ลงโดยใส่สารลดน้ำจะช่วยเพื่อกำลังอัดได้

สันติ [13] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตบดอัด คือ ความหนาแน่นแห้งสูงสุด และกำลังอัด โดยที่ใช้ปริมาณสารเชื่อมประสาน 180 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ จากการไฟฟ้าแม่เมาะ โดยได้ผสมทดแทนปูนซีเมนต์ พบว่าเมื่อใส่ปริมาณเถ้าลอยทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นและค่ากำลังอัดลดลง นอกจากนี้ บรรจง และคณะ [14] ได้ทำการศึกษาความสามารถเทได้ และกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ ณ ระยะเวลาการบ่ม 7 และ 28 วัน พบว่าเมื่อนำเถ้าลอยลิกไนต์มาผสมลงในคอนกรีตในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถเทได้ของคอนกรีตสูงขึ้น ส่วนกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ได้จะลดลงทั้งนี้เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของเถ้าลอยเกิดขึ้นได้ช้ากว่าปูนซีเมนต์

ในส่วนการงานวิจัยที่มีการนำเอาเถ้าชานอ้อยไปใช้งานในงานโครงสร้างมีดังนี้ Cordeiro และ คณะ [10-11] ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิการเผาชานอ้อยในช่วง 400-800 องศาเซลเซียส ว่ามีผลต่อสมบัติความเป็นวัสดุปอซโซลานของเถ้าชานอ้อยหรือไม่ พบว่าอุณหภูมิของการเผาเถ้าชานอ้อยที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เป็นอุณหภูมิที่ดีที่สุด เพราะทั้งค่าสูญเสียน้ำเนื่องจากการเผา (Loss of ignition; LOI) มีค่าที่ต่ำและค่าดัชนีการทำปฏิกิริยาปอซโซลานก็บ่งชี้ว่ามีค่าสูงที่สุดด้วย ต่อมา Morales [11] ได้ศึกษาในลักษณะเดียวกันแต่แตกต่างกันที่ช่วงอุณหภูมิ โดยพบว่าที่อุณหภูมิในการเผาที่สูงกว่า 800 องศาเซลเซียส ความเป็นอสัณฐานของเถ้าชานอ้อยจะมีค่าลดลง ซึ่งจะทำให้การทำปฏิกิริยาของเถ้าชานอ้อยกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ลดลง นอกจากอุณหภูมิของการมีผลต่อความเป็นวัสดุปอซโซลานแล้วยังมีการรายงานว่าความละเอียดของวัสดุปอซโซลานก็มีผลเช่นเดียวกัน [4, 15-16]

Singh และ Chusilp [15, 17] ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในการผลิตคอนกรีต พบว่าอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยบดละเอียดร้อยละ 10-20 ให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเถ้าชานอ้อยบดละเอียด และยังพบอีกว่าการใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดสามารถช่วยลดค่าการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากธรรมชาติและลดการขยายตัวของมอร์ต้าร์เนื่องจากซัลเฟตได้อีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกนอกจากจะช่วยเพิ่มเฟสที่ช่วยในการยึดประสานจึงทำให้เนื้อคอนกรีตมีความทึบน้ำเพิ่มขึ้นอีกด้วย

Akram [18] ได้นำเอาเถ้าชานอ้อยมาผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อผลิต Self-compacting concrete (SCC) ต้นทุนต่ำ โดยศึกษาผลของเถ้าชานอ้อยต่อการไหลของคอนกรีต (slump) และกำลังอัด ผลการวิจัยพบว่าการ

คอนกรีตชนิด SCC ที่ผสมขี้เถ้าชานอ้อยที่ 28 วันมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับคอนกรีตควบคุม การวิเคราะห์ต้นทุนพบว่าต้นทุนของวัตถุดิบของคอนกรีต SCC ตัวที่ผสมเถ้าชานอ้อยคิดเป็น 35.63% ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตควบคุมโดยคิดตัวที่มีแรงอัดเท่ากันที่ 34 MPa

Sales [19] ได้นำเอาเถ้าชานอ้อยที่ได้จากโรงงานมาผสมปูนซีเมนต์เพื่อผลิตเป็นคอนกรีตโดยนำเอาเถ้าชานอ้อยมาแทนทราย ซึ่งจากงานวิจัยนี้พบว่าเถ้าชานอ้อนมีสมบัติทางกายภาพเหมือนกับทรายทั่วไป ซึ่งการนำเอาเถ้าชานอ้อยมาทดแทนทรายสามารถทำให้สมบัติเชิงกลของคอนกรีตมีเพิ่มขึ้น กล่าวโดยสรุปคือเถ้าชานอ้อยสามารถนำมาใช้แทนทรายในงานโครงสร้างได้จริง

รัฐพล และคณะ [7] ได้นำเถ้าชานอ้อยไปให้บดละเอียดแล้วนำไปใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตมาเป็นมวลรวมหยาบ พบว่าพบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดของการใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าเพื่อให้ได้ทั้งกำลังอัดในช่วงอายุปลาย ความทึบน้ำ และความต้านทานการ แทรกซึมของคลอไรด์ที่สูง คือร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสานโดยการใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนสามารถช่วยให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่ามีค่าต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตควบคุมประมาณ 2 ถึง 3 เท่า นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ของคอนกรีตเก่าให้สูงขึ้นได้อย่างชัดเจน

ในปีเดียวกัน Corderio และคณะ [20] ได้นำวัสดุปอซโซลานสองชนิด ได้แก่เถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีต พบว่าการใช้เถ้าชานอ้อยและเถ้าแกบในคอนกรีตสามารถปรับปรุงคุณสมบัติการไหล (slump) ของคอนกรีตสดได้ เมื่อทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละและเถ้าแกลบรวมกันร้อยละ 40 สามารถเพิ่มค่ากำลังอัดของคอนกรีตได้ 1.2 เท่า อีกทั้งในการใช้เถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยยังเป็นการช่วยลดความร้อนเนื่องจากการทำปฏิกิริยา และยังลดปริมาณรูพรุนของคอนกรีตอีก นอกจากนี้ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล [8] ได้เสนอแนะเกี่ยวกับการใช้งานเถ้าชานอ้อยในงานคอนกรีตว่าควรใช้เถ้าชานอ้อยที่มีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) ไม่เกินร้อยละ 15 มีค่าดัชนีกำลังที่อายุ 7 และ 28 วันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 75 ความละเอียดของเถ้าชานอ้อยควรค้างตะแกรงขนาดช่องเปิด 45 ไมโครเมตรไม่เกินร้อยละ 5 รวมทั้งเถ้าชานอ้อยต้องไม่มีน้ำตาลหรือน้ำอ้อยปะปนอยู่ เพราะน้ำตาลหรือน้ำอ้อยเป็นสารหน่วงการก่อตัวที่รุนแรงด้วย

Rafael และคณะ [21] ได้นำเถ้าชานอ้อยมาผสมกับปูนขาวเพื่อผลิตอิฐบล็อกดินอัด แล้วทำการทดสอบกำลังอัดและสมบัติการรับแรงดัดงอ ซึ่งถือเป็นสมบัติทางกลของบล็อกดินอัด ผลการศึกษาพบว่าบล็อกที่ผลิตจาก 10% ของปูนขาวผสมกับ 10% ของเถ้าชานอ้อยมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นกว่าอิฐที่ผลิตจากปูนขาวเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามปูนขาวก็ยังสามารถใช้ในการปรับปรุงความแข็งแรงของบล็อก กล่าวโดยสรุปว่าการใช้เถ้าชานอ้อยร่วมกับปูนขาวแทนปูนซีเมนต์จะช่วยในการคงเสถียรภาพของบล็อกดินอัดเมื่อพิจารณาประเด็นของการใช้พลังงานและมลพิษ

ในปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้งานเถ้าชานอ้อยในงานคอนกรีตก็ยังมีไม่มากนักเมื่อเทียบกับวัสดุปอซโซลานอื่น เช่นเถ้าลอย (Fly ash) และผงฝุ่นซิลิกา (Silica fume) ซึ่งมีมาตรฐานในการควบคุมการใช้งานแล้ว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะใช้เถ้าชานอ้อยร่วมกับเถ้าลอยในงานทางด้านคอนกรีต เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้เถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยต่อสมบัติของปูนซีเมนต์ ทั้งทางด้านกำลังอัดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ การทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน และการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

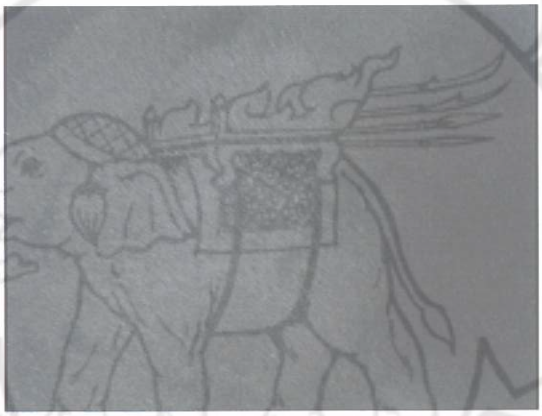
3.1.1 เถ้าลอย

3.1.2 เถ้าชานอ้อย (รูปที่ 3.1)

3.1.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (รูปที่ 3.2)

3.1.4 ทราย (รูปที่ 3.3)

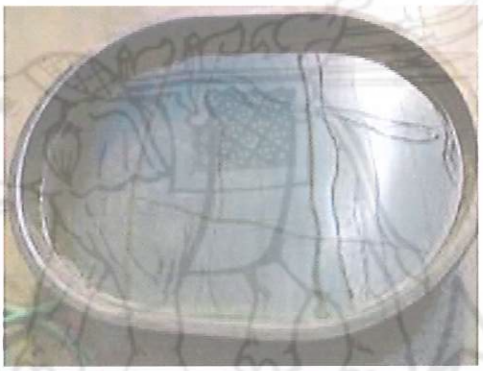
3.1.5 น้ำ (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.1 เถ้าชานอ้อยที่ผ่านกระบวนการเผาแคลไซน์ 600 °C

รูปที่ 3.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

รูปที่ 3.3 ทรายแม่น้ำ



รูปที่ 3.4 น้ำสะอาด

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 1 กรัม

3.2.2 ตะแกรงลวด

3.2.3 ขวดปากกว้าง (รูปที่ 3.5)

3.2.4 เครื่องบดสาร (รูปที่ 3.6)

3.2.5 ฟรอยด์

3.2.6 ภาชนะสำหรับตวงซีเมนต์ ทราย และน้ำ (รูปที่ 3.7)

3.2.7 เครื่องผสมปูน (รูปที่ 3.8)

3.2.8 ถุงมือยาง และแมสปิดจมูก

3.2.9 แบบหล่อมอร์ตาร์ขนาด 5 x 5 x 5 cm^3 (รูปที่ 3.9)

3.2.10 เกรียงเหล็กโป้ว (รูปที่ 3.10)

3.2.11 แท่งกระทุ้ง (รูปที่ 3.11)

3.2.12 พลาติกหุ้มอาหาร และปากกา permanent (รูปที่ 3.12)

รูปที่ 3.5 ขวดปากกว้าง

รูปที่ 3.6 เครื่องบดสาร

i-6778495

ว TA
G34
n115s
2557

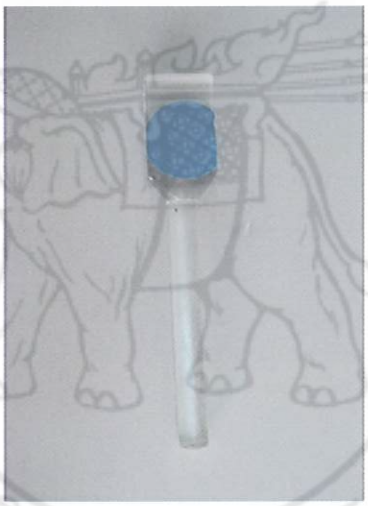
สำนักหอสมุด
17 มิ.ย. 2558

รูปที่ 3.7 ภาชนะสำหรับตวง ซีเมนต์ ทราย และน้ำ

รูปที่ 3.8 เครื่องผสมปูน

รูปที่ 3.9 แบบหล่อมอร์ตาร์ขนาด 5 x 5 x 5 cm^3

รูปที่ 3.10 เกรียงเหล็กโป้ว



รูปที่ 3.11 แท่งกระทุ้ง

รูปที่ 3.12 พลาสติกหุ้มอาหาร และปากกา Permanent

3.3 การเตรียมวัตถุดิบ

1. นำเถ้าชานอ้อยมาร่อนด้วยตะแกรงลวด เพื่อคัดเอาเถ้าชานอ้อยที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.5 มิลลิเมตรออก
2. นำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
3. ชั่งเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการเผาแคลไซน์แล้ว 100 กรัม ต่อเม็ดบดเซอร์โคเนีย 500 กรัม
4. นำสารตั้งต้นมาใส่ในขวดพลาสติกปากกว้างที่มีเม็ดบดเซอร์โคเนียบรรจุอยู่ แล้วนำไปวางบนเครื่องบดสาร เพื่อบดย่อยผสมสารแบบ ball-milling ทำการบดย่อยผสมสารเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
5. เมื่อบดย่อยเถ้าหนักครบ 12 ชั่วโมงแล้ว ทำการแยกเม็ดบดออกจากผงเถ้าชานอ้อยแล้วนำเถ้าชานอ้อยที่ได้ไปทดแทนปูนซีเมนต์ในขั้นตอนต่อไป

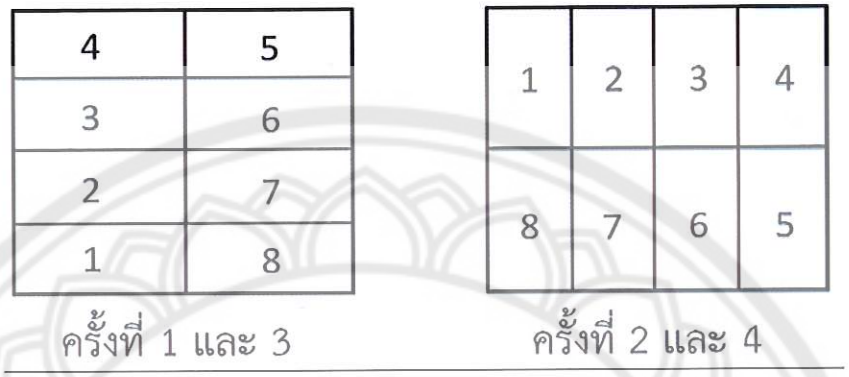
3.4 การเตรียมชิ้นงาน

3.4.1 การผสมซีเมนต์มอร์ตาร์

1. เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือ ให้สะอาดและแห้ง
2. เทน้ำที่เตรียมไว้ลงในอ่างผสม
3. เติมปูนซีเมนต์ลงไปในน้ำ และเดินเครื่องเกียร์ 1 (140±5 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 30 วินาที
4. ในขณะเดินเครื่องผสมเกียร์ 1 ให้เติมทรายลงไปในอ่างผสมอย่างช้าๆให้หมด ภายในเวลา 30 วินาที
5. หยุดเครื่องผสม และเปลี่ยนอัตราความเร็วเป็นเกียร์ 2 (285±10 รอบต่อนาที) แล้วเดินเครื่องผสมต่อไปอีก 30 วินาที
6. หยุดเครื่องผสมเป็นเวลา 1:30 นาที แล้วให้รีบขูดปูนมอร์ตาร์ที่ติดอยู่ข้างๆอ่างผสมให้เสร็จ ภายในเวลา 15 วินาที แล้วใช้ฝาปิดอ่างผสม
7. เดินเครื่องผสมต่อไปอีก 1 นาที ด้วยอัตราความเร็วเป็นเกียร์ 2 (285±10 รอบต่อนาที) เป็นอันเสร็จการผสม

3.4.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1. ผสมปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ตามสูตร ดังแสดงในตารางที่ 3.1
2. นำปูนซีเมนต์มอร์ตาร์มาหล่อในแบบหล่อขนาด 50 x 50 x 50 cm^3 ที่สะอาดและทาน้ำมันบางๆไว้เรียบร้อยแล้ว (สาเหตุที่ทาน้ำมันเพื่อทำให้เวลาแกะปูนออกจากแบบเป็นไปได้สะดวก)



รูปที่ 3.13 ลักษณะการกระทุ้งมอร์ตาร์

3. เอาปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ใส่ในช่องแบบหล่อหนาประมาณ 1 ใน 3 ของแบบหล่อ กระทุ้งด้วยแท่งกระทุ้งช่องละ 32 ครั้ง ภายใน 10 วินาที โดยกระทุ้งเป็น 4 รอบ แต่ละครั้งกระทุ้งให้ตั้งฉากให้ทั่วแบบหล่อดังรูป 3.13
4. ใส่มอร์ตาร์ในช่องแบบหล่ออีก 2 ใน 3 แล้วกระทุ้งเช่นเดียวกับชั้นแรก
5. ใส่มอร์ตาร์ที่เหลือในช่องแบบหล่อให้นูนสูงกว่าขอบ แล้วกระทุ้งเช่นเดียวกัน เมื่อกระทุ้งเสร็จแล้วมอร์ตาร์ควรสูงกว่าขอบเล็กน้อย
6. ใช้เกรียงปาดมอร์ตาร์ให้มีผิวหน้าที่เรียบ วิธีปาดควรเอียงเกรียงเล็กน้อยและค่อยๆปาดจะทำให้ผิวเรียบเร็วขึ้น และ เพื่อให้ผิวหน้าแบบหล่อเรียบดียิ่งขึ้นให้ใช้เกรียงปาดเบาๆอีก 1ครั้งตลอดความยาวของแบบหล่อ โดยใช้ขอบเกรียงวางทำมุมเล็กน้อย แล้วขยับเกรียงไปมาตลอดความยาวของแบบหล่อ
7. หลังจากหล่อแบบเรียบร้อยแล้วให้คลุมด้วยพลาสติกหุ้มอาหารคลุมไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการถอดแบบ และนำชิ้นงานมอร์ตาร์ไปบ่มในน้ำสะอาดที่ระยะเวลา 7, 14, 28 และ90 วัน จึงจะนำไปทดสอบกำลังอัดด้วยเครื่อง Compressive strength tester

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมที่ได้ทำการทดลอง

สูตร	ร้อยละการแทนที่		
	ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	เถ้าชานอ้อย
PC	100	0	0
20FA	90	20	0
15FA5SCBA	80	15	5
10FA10SCBA	70	10	10
5FA15SCBA	60	5	15
20SCBA	60	0	20

อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน = 0.5, ทรายต่อวัสดุประสาน = 2.5

3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลและทางกายภาพของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์

3.4.1 การทดสอบกำลังอัดของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์

โดยใช้มอร์ตาร์ขนาด 50 x 50 x 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อทดสอบกำลังอัด โดยใช้ระยะเวลาการบ่มที่ 7, 14 และ 28 วัน เมื่อครบกำหนดดังกล่าว ชิ้นงานมอร์ตาร์จะถูกนำไปทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐาน ASTM C 109 โดยเครื่อง compressive strength tester และใช้แรงในการกด (dF/dT) อยู่ในช่วง 0.9-1.8 KN/s (ในงานวิจัยนี้ใช้แรงในการกด = 1.2 KN/s) ในการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ ในแต่ละสูตรจะใช้มอร์ตาร์จำนวน 3 ก้อน จากนั้นนำกำลังอัดที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบกับซีเมนต์ควบคุม (สูตรที่ใช้ PC 100%) การคำนวณค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ของซีเมนต์มอร์ต้าร์หาได้จากสมการ (3.1)

$$f_c = \frac{P}{A} \tag{3.1}$$

โดยที่

f_c = กำลังรับแรงอัดประลัย มีหน่วยเป็น กก/ตร.ซม. หรือ ปอนด์/ตร.นิ้ว

P = แรงอัด มีหน่วยเป็น กก. หรือ ปอนด์

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่าง มีหน่วยเป็น ตร.ซม. หรือ ตร.นิ้ว

3.4.2 การทดสอบหาความหนาแน่น ความพรุน และการดูดซึมน้ำของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์

จะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 642-06 โดยจะใช้มอร์ตาร์ชิ้นเดียวกันกับการทดสอบกำลังอัด โดยค่าที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบสัดส่วนละ 3 ก้อนตัวอย่าง ซึ่งหลังจากที่ทดสอบกำลังอัดเรียบร้อย

แล้ว จะนำชิ้นส่วนมอร์ตาร์ที่เหลือมาตากแดดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่ามอร์ตาร์นั้นแห้งสนิท นำมาชั่งน้ำหนัก (มวลแห้ง) และจดบันทึก (A) จากนั้นนำมอร์ตาร์ที่ชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้วนำไปแช่ไว้ในน้ำ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และจึงทำการชั่งน้ำหนักในน้ำ (มวลเปียก) และจดบันทึก (C) จากนั้นนำมอร์ตาร์ที่ชั่งน้ำหนักในน้ำแล้ว นำขึ้นมาซับน้ำ และชั่งน้ำหนัก (มวลหมาด) และจดบันทึก (B) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหา การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และความพรุน ดังสมการ (3.2) – (3.4) ตามลำดับ

- การดูดซึมน้ำหลังจากการบ่ม

$$\text{การดูดซึมน้ำ (\%)} = \left|\frac{(B-A)}{A}\right| \times 100 \qquad (3.2)$$

- ความหนาแน่นปรากฏ

$$\text{ความหนาแน่นปรากฏ (g/cm}^3\text{)} = \left|\frac{A}{(A-C)}\right| \times \rho \qquad (3.3)$$

- ความพรุน

$$\text{ความพรุน (\%)} = \left|\frac{(B-A)}{(B-C)}\right| \times 100 \qquad (3.4)$$

โดยที่

A = มวลแห้งชั่งในอากาศ (g)

B = มวลหมาดที่ผ่านการแช่ในน้ำ (g)

C = มวลชั่งในน้ำ (g)

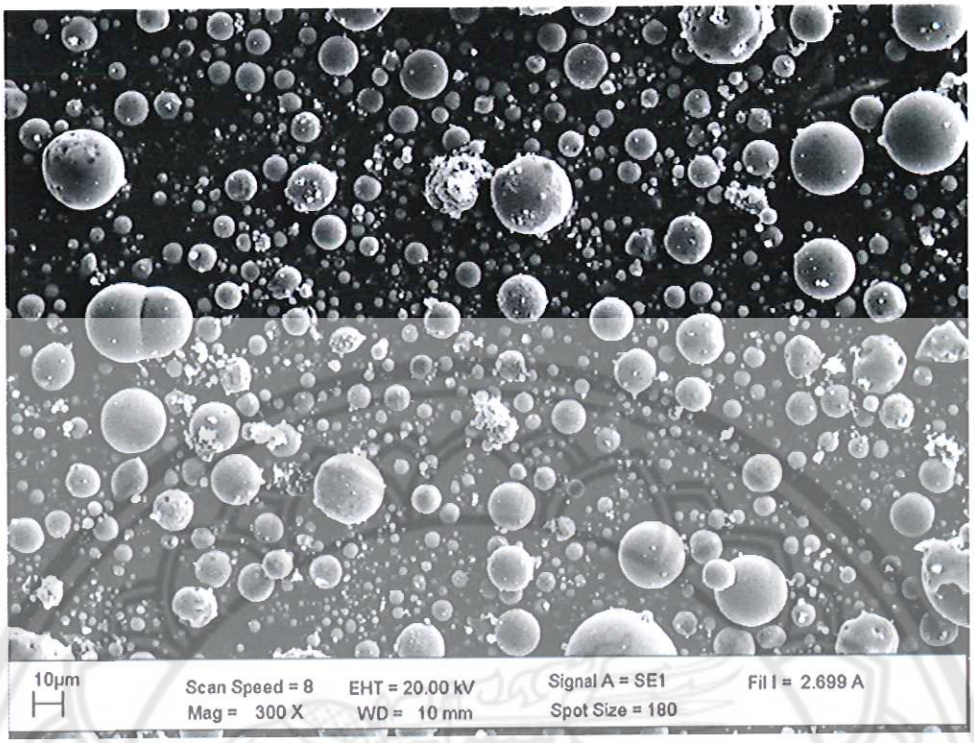
ρ = ความหนาแน่นของน้ำ (1 g/cm^3)

บทที่ 4

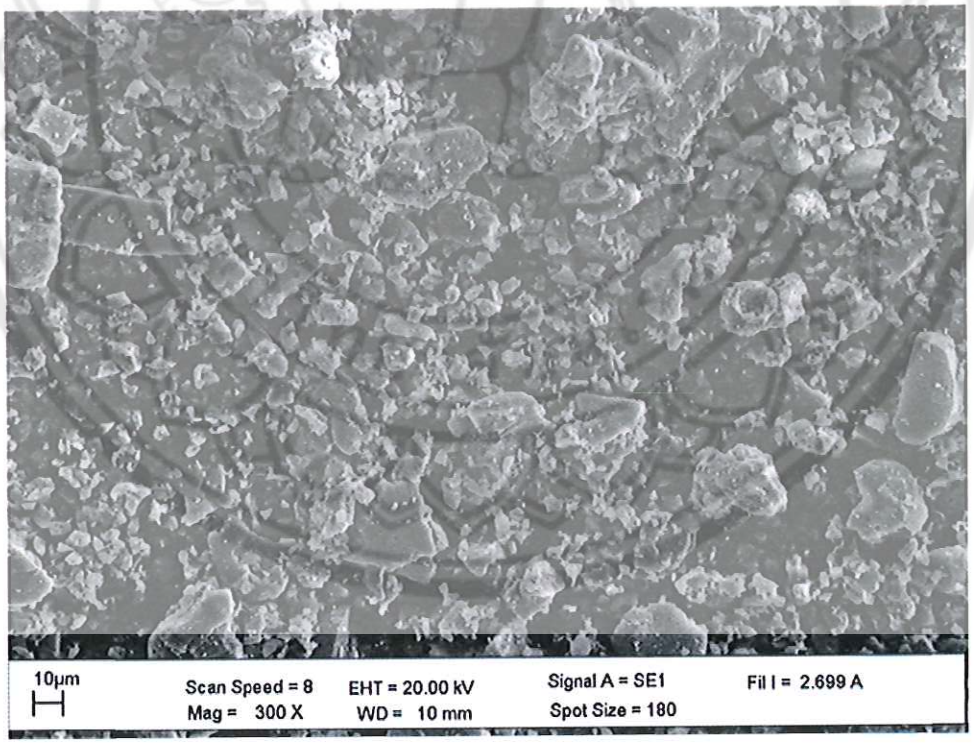
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ลักษณะทางกายภาพของเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อย

การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของอนุภาคเถ้าลอยที่ได้จากโรงงานไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ดังแสดงในรูปที่ 4.1ก พบว่าเถ้าลอยมีลักษณะเป็นทรงกลมผิวเกลี้ยง มีการกระจายตัวของอนุภาคค่อนข้างดี ขนาดอนุภาคประมาณ 1-40 ไมโครเมตร และเมื่อนำเถ้าลอยไปตรวจสอบโครงสร้างเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ (XRD) ดังแสดงในรูปที่ 4.2ก พบว่าเถ้าลอยประกอบไปด้วยสารประกอบแอนไฮไดรท์ (anhydrite) ควอตซ์ (quartz) แมกนีไทล์ (magnetile) และมัลไลท์ (mullite) ซึ่งสารประกอบดังกล่าวได้มีการรายงานตรงกับงานวิจัยของ Parinya ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของแร่ธาตุในดิน ในส่วนอนุภาคเถ้าชานอ้อยซึ่งได้จากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดพิษณุโลก เมื่อผ่านการบดด้วยเม็ดบนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ดังรูป 4.1ข) พบว่าลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของเถ้าชานอ้อยมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม เกาะกันอยู่อย่างหลวม ๆ และมีขนาดอนุภาคประมาณ เล็กกว่า 1 ไมโครเมตร ถึงขนาด 100 ไมโครเมตร และเมื่อพิจารณาโครงสร้างเฟสของเถ้าชานอ้อย (รูป 4.2ข) ด้วยเทคนิค XRD จะพบว่ามีองค์ประกอบหลักเป็นควอตซ์และมีสารประกอบแคลเซียมฟอสเฟต (calcium phosphate) ปนอยู่ด้วย ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยได้ทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลของสารประกอบมาตรฐานในฐานข้อมูล JCPDF

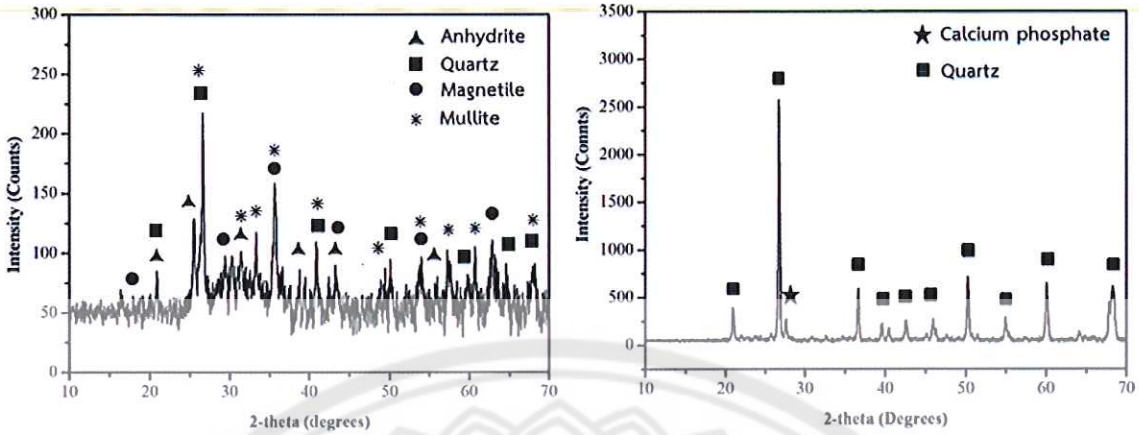


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของ ก) เถ้าลอย และ ข) เถ้าซานอ้อย



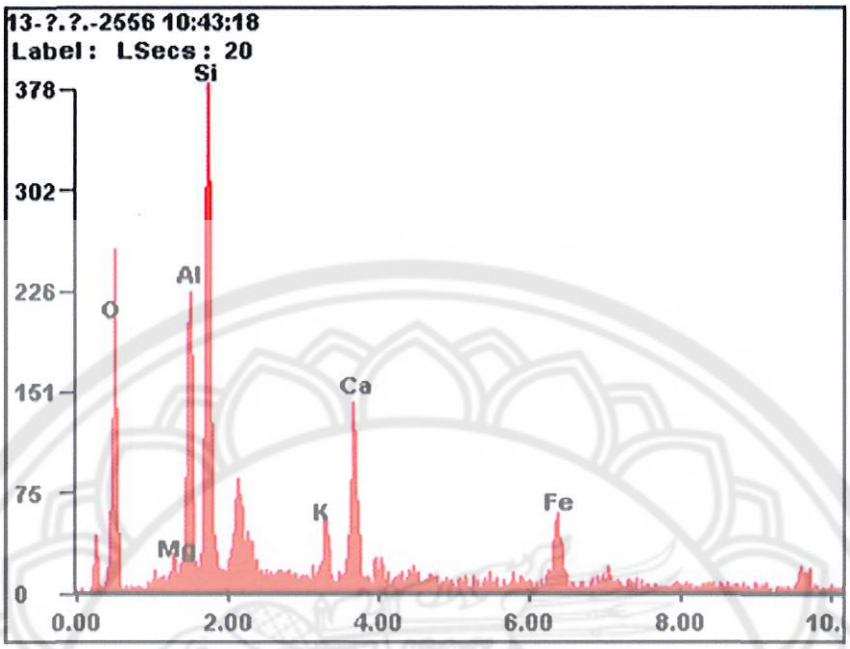
ก ข

รูปที่ 4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของ ก) เถ้าลอย และ ข) เถ้าชานอ้อย

4.1 ลักษณะทางกายภาพของเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อย

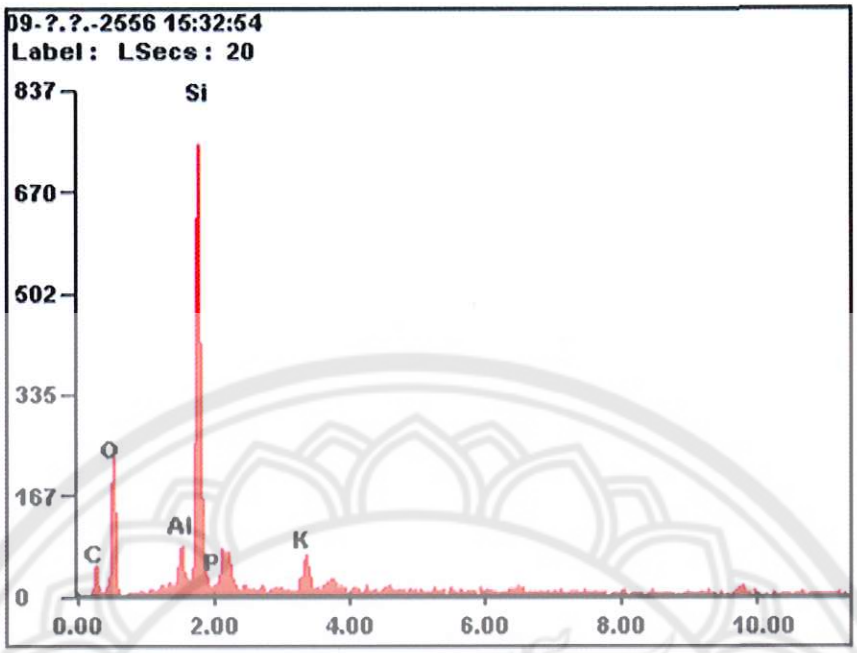
จากการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงานด้วยเทคนิคการกระเจิงพลังงานรังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-ray spectrometer; EDS) ของเถ้าลอยที่ใช้ในงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่าเถ้าลอยมีองค์ประกอบของธาตุ Oxygen (O), Silicon (Si), Aluminum (Al), Iron (Fe), Calcium (Ca), Potassium (K) และ Manganese (Mg) ซึ่งธาตุที่พบมากที่สุดคือออกซิเจน พบร้อยละ 35.35 โดยน้ำหนัก รองลงมาคือซิลิกอนพบร้อยละ 24.94 โดยน้ำหนัก อะลูมินัมร้อยละ 12.90 โดยน้ำหนัก และพบเหล็กและแคลเซียมร้อยละ 11.84 และ 10.23 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS จะสอดคล้องกับผลการทดสอบหาโครงสร้างเฟสด้วยเทคนิค XRD :ซึงปริมาณสารประกอบส่วนใหญ่ที่พบในเถ้าลอยคือ ควอร์ตซึ่งเป็นเฟสหนึ่งของซิลิกา (SiO_2) และพบเฟส mullite ($3Al_2O_3.2SiO_2$):ซึ่งมีองค์ประกอบทางแร่เป็นอะลูมินาและซิลิกา ในส่วนของการวิเคราะห์ที่พบธาตุออกซิเจนเป็นปริมาณมากนั้นเนื่องจากว่าองค์ประกอบทางแร่นั้นจะเป็นเฟสที่อยู่ในรูปของออกไซด์

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงานด้วยเทคนิคการกระเจิงพลังงานรังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-ray spectrometer; EDS) ของเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 600°C ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าเถ้าชานอ้อยมีองค์ประกอบของธาตุ Oxygen (O), Silicon (Si), Carbon (C), Aluminum (Al), Potassium (K) และ Phosphorus (P) ซึ่งธาตุที่พบมากที่สุดคือออกซิเจน พบร้อยละ 36.27 โดยน้ำหนัก รองลงมาคือซิลิกอนพบร้อยละ 30.78 โดยน้ำหนัก คาร์บอนพบร้อยละ 25.57 โดยน้ำหนัก ส่วนอะลูมินัม โปตัสเซียม และฟอสฟอรัส พบรวมกันร้อยละ 7.38 โดยน้ำหนัก ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS จะสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วย XRD โดยธาตุต่าง ๆ ที่พบในเถ้าชานอ้อยจะอยู่ในรูปสารประกอบ ควอร์ต ซึ่งเป็นเฟสหนึ่งของซิลิกา (SiO_2) ส่วนปริมาณคาร์บอนที่พบนั้นจะบ่งบอกถึงการเผาไม่สมบูรณ์ของเถ้าชานอ้อยนั่นเองทำให้เถ้าชาอ้อยนั้นมีค่าสูญเสียเนื่องจากการเผา (Loss of Ignition) ที่สูง



Element	Wt%	At%
O	35.35	52.81
Mg	01.28	01.26
Al	12.90	11.43
Si	24.94	21.22
K	03.47	02.12
Ca	10.23	06.10
Fe	11.84	05.07

รูปที่ 4.3 รูปแบบการการกระเจิงพลังงานรังสีเอกซ์ (EDS) ของเถ้าลอย



Element	Wt%	At%
C	25.57	37.19
O	36.27	39.61
Al	02.96	01.92
Si	30.78	19.15
P	01.35	00.76
K	03.07	01.37

รูปที่ 4.4 รูปแบบการการกระเจิงพลังงานรังสีเอกซ์ (EDS) ของเถ้าชานอ้อย

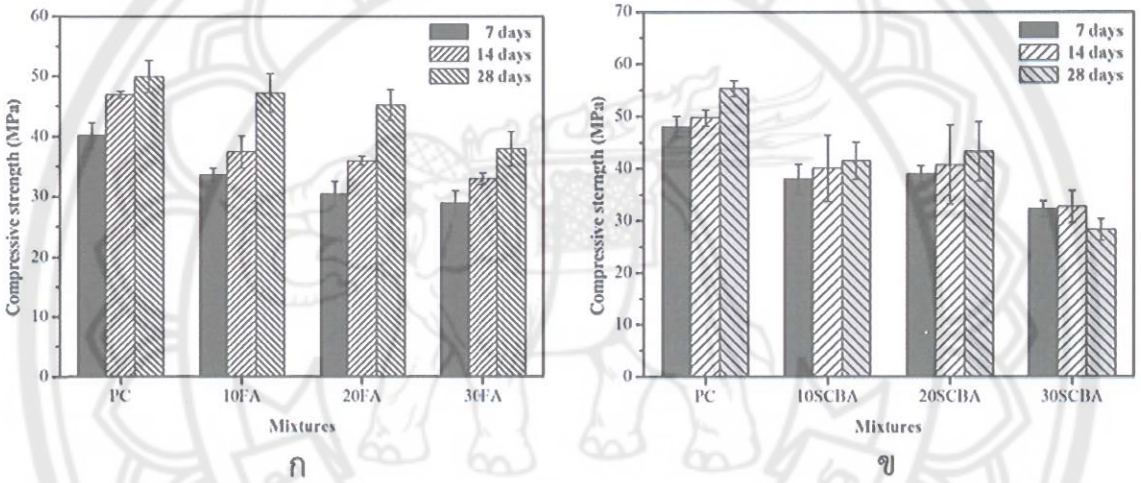
4.2 ผลของเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์

การศึกษาการพัฒนากำลังอัดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการบดที่ 24 ชั่วโมง โดยทำการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 0-30 โดยน้ำหนัก โดยทำการคำนวณค่ากำลังอัดเฉลี่ยจากตัวอย่างชิ้นงานละ 3 ก้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.5ก และ 4.5ข พบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 28 วัน จะมีค่าสูงที่สุดในทุกอัตราส่วนผสม เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำต้องอาศัยเวลาในการเกิดปฏิกิริยา เพื่อให้ได้เฟสแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO.2SiO_2.3H_2O$) ซึ่งเป็นเฟสที่ช่วยในการยึดประสานของเนื้อคอนกรีต โดยปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาปอซโซลานิกจะเกิดค่อนข้างสูงที่ระยะการบ่ม 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่าค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนจะมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่นที่มีการทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยและ

เถ้าลอย เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (ดังสมการที่ 4.1) จะได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ซึ่งปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้จะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าปฏิกิริยาปอซโซลานนิกระหว่างเถ้าลอยหรือเถ้าชานอ้อย กับสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ดังสมการที่ 4.2) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยจะเห็นว่ามีค่ากำลังอัดใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน (สูตร PC) มากกว่าชุดมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยบดละเอียด โดยเฉพาะอย่างยิ่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะสังเกตเห็นว่ามีค่ากำลังอัดใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนมากที่สุด

$$2(3CaO \cdot SiO_2) + 6\,H_2O \longrightarrow 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O + 3Ca(OH)_2 \qquad (4.1)$$

$$SiO_2\ (\text{จากเถ้า}) + Ca(OH)_2 \longrightarrow 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O \qquad (4.2)$$



รูปที่ 4.5 กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยที่บ่มในน้ำเป็นเวลา 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน

เมื่อพิจารณาค่ากำลังอัดสัมพัทธ์เทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์ล้วน (ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2) ได้จากการนำเอาค่ากำลังอัดเฉลี่ยของมอร์ต้าร์ที่ผสมขี้เถ้าหารด้วยกำลังอัดเฉลี่ยของมอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนแล้วคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่าค่ากำลังอัดสัมพัทธ์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 10-20 โดยน้ำหนัก และของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยบดละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 10-20 จะมีค่ามากกว่าร้อยละ 75 ที่ทุกระยะเวลาในการบ่ม ซึ่งค่ากำลังอัดสัมพัทธ์นี้ตามมาตรฐาน ASTM C618 ได้ระบุอาไว้ต้องไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 75 อย่างไรก็ตามในการใช้เถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยในงานคอนกรีตสามารถใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์ได้ไม่เกินร้อยละ 20

ตารางที่ 4.1 สัดส่วนผสม และค่ากำลังอัดสัมพัทธ์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอย

สูตร*	สัดส่วนผสม (เปอร์เซนต์)		กำลังอัดสัมพัทธ์ (เปอร์เซนต์)		
	ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	7 วัน	14 วัน	28 วัน
PC	100	0	100	100	100
10FA	90	10	83	80	95
20FA	80	20	75	77	91
30FA	90	30	72	70	76

*อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5 และอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 2.5

ตารางที่ 4.2 สัดส่วนผสม และค่ากำลังอัดสัมพัทธ์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อย

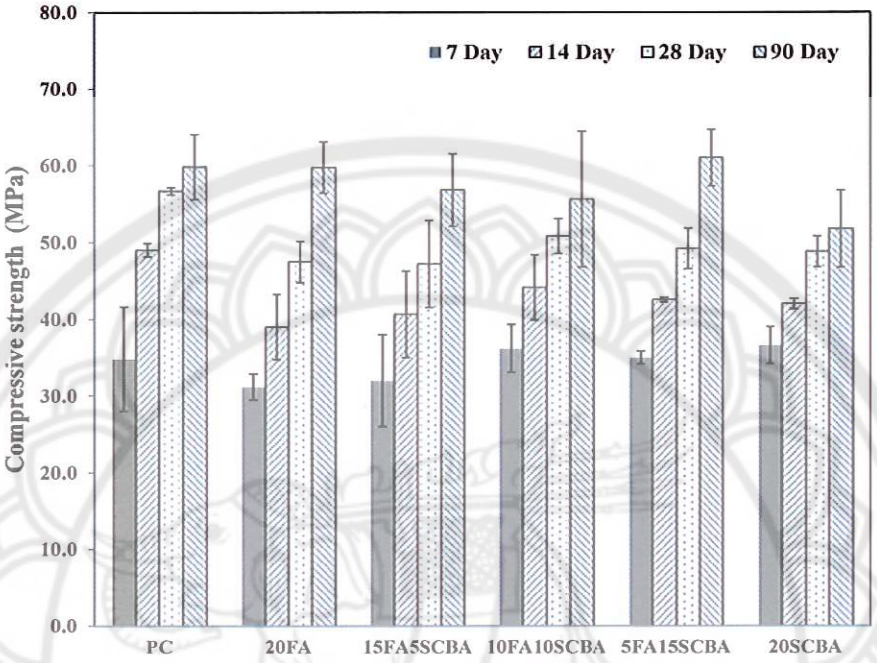
สูตร*	สัดส่วนผสม (เปอร์เซนต์)		กำลังอัดสัมพัทธ์ (เปอร์เซนต์)		
	ปูนซีเมนต์	เถ้าชานอ้อย	7 วัน	14 วัน	28 วัน
PC	100	0	100	100	100
10GSCBA	80	10	79	80	75
20GSCBA	90	20	81	82	78
30GSCBA	80	30	67	66	51

*อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5 และอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 2.5

นอกจากนี้เมื่อทำการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เป็นไปได้ระหว่างการผสมเถ้าลอยและเถ้าชายอ้อยเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนรวมกันร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และทำการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 7, 14, 28 และ 90 วันดังแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่ามอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยล้วนในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะมีค่ากำลังอัดต่ำที่สุดที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 7, 14 และ 28 วัน และจะพบว่ามีกำลังอัดที่สูงเทียบเท่ากับมอร์ตาร์ควบคุม (สูตร PC) ที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 90 วัน ส่วนค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยล้วนในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะพบว่ามีกำลังอัดในช่วง 28 วัน แรกที่สูงกว่ามอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยล้วน ส่วนที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 90 วัน การพัฒนากำลังอัดค่อนข้างต่ำ

เมื่อพิจารณาค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมทั้เถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยในอัตราส่วนที่ต่างกัน พบว่ามอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (สูตร 10FA10SCBA) มีค่ากำลังอัดใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุมมากที่สุดที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 7, 14 และ 28 วัน นอกจากนี้ค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และเถ้าชานอ้อยร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

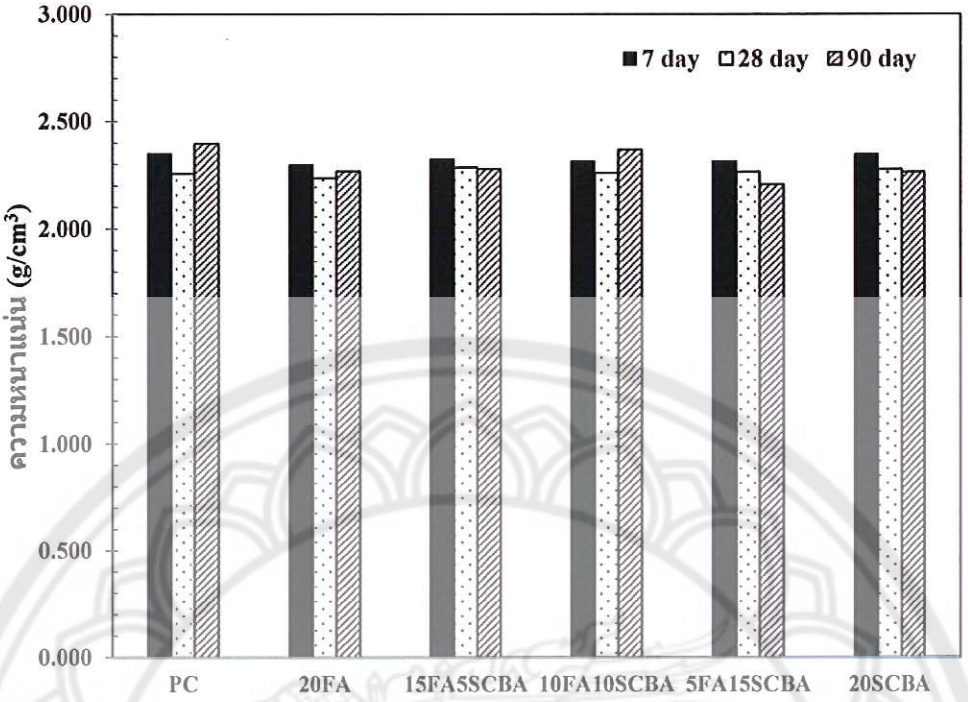
ที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 90 วัน จะพบว่ามีค่ามากกว่ามอร์ตาร์ควบคุม จากงานวิจัยดังกล่าวจะเห็นได้เราสามารถใช้งานเถ้าชานอ้อยร่วมกับเถ้าลอยในงานคอนกรีตสามารถช่วยพัฒนาจุดด้อยของแต่ละวัสดุ อีกทั้งยังเป็นแนวทางเลือกในอนาคตของการเลือกใช้งานเถ้าชานอ้อยอีกด้วย



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอย
ที่ผ่านการบ่มในน้ำเป็นเวลา 7, 14, 28 และ 90 วัน

4.3 ผลของเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยต่อความหนาแน่นของมอร์ตาร์

จากการทดสอบผลกระทบของการใช้เถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตมอร์ตาร์ต่อความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 7, 28 และ 90 วัน (รูปที่ 4.7) พบว่ามอร์ตาร์ควบคุมจะมีความหนาแน่นประมาณ 2.26-2.40 g/cm^3 มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยล้วนในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะมีค่าความหนาแน่น 2.24-2.30 g/cm^3 มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยล้วนจะมีความหนาแน่น 2.26-2.35 g/cm^3 และมอร์ตาร์ที่ผสมทั้งเถ้าลอยและเถ้าชานในอัตราส่วนต่าง ๆ จะมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2.21-2.33 g/cm^3 จากการทดสอบความหนาแน่นจะเห็นได้ว่าความหนาแน่นของเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยที่ผสมทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ ไม่ได้ทำให้ความหนาแน่นของมอร์ตาร์เปลี่ยนแปลงไปแต่อย่างใด ยังคงสภาพความเป็นมอร์ตาร์อย่างเดิม



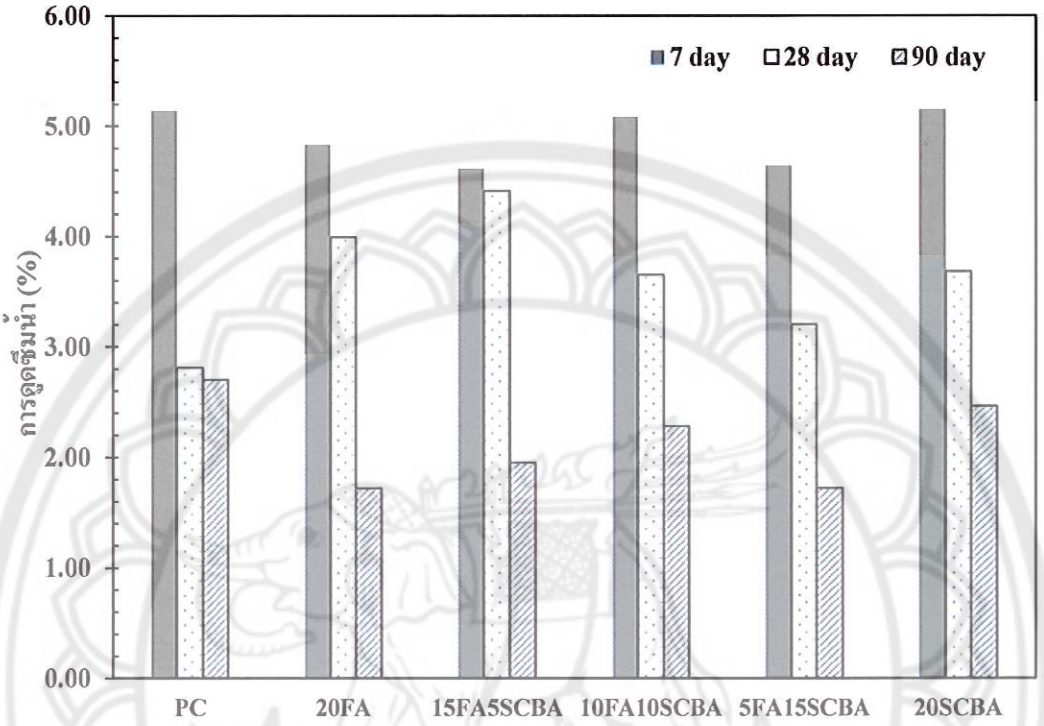
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอย
ที่ผ่านการบ่มในน้ำเป็นเวลา 7, 28 และ 90 วัน

4.4 ผลของเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยต่อความพรุนและการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์

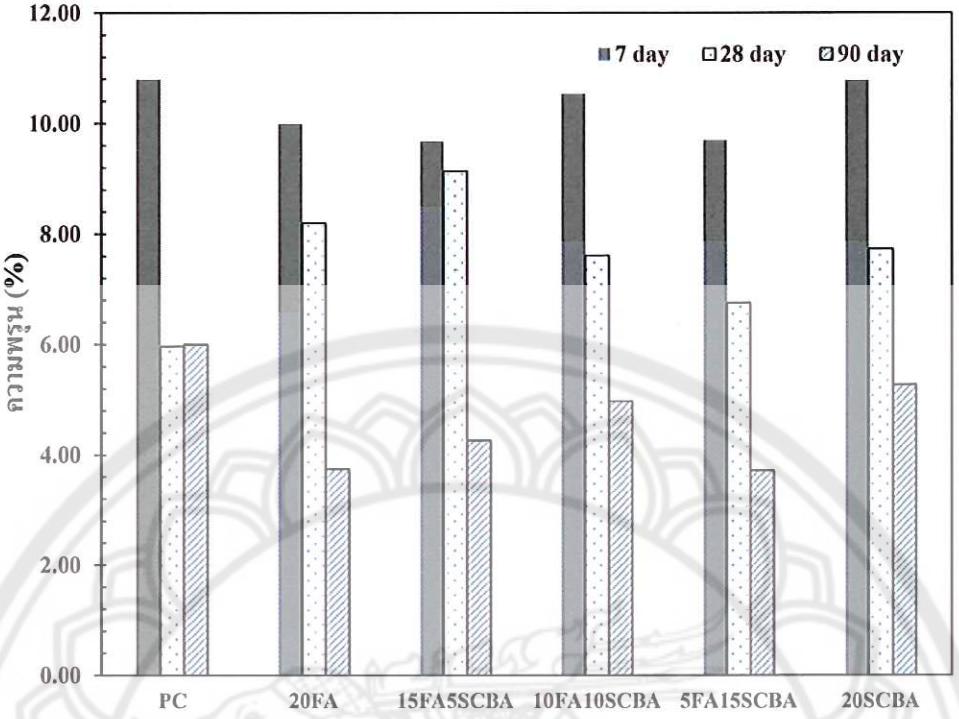
ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C642-06 ดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ทุกอัตราส่วนผสมมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น (7, 28 และ 90 วัน) โดยมีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 1.7-5.2 % โดยค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยมีค่าน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 90 วัน ในส่วนความพรุนของมอร์ตาร์ (ดังแสดงในรูปที่ 4.9) จะแปรผันตรงกับค่าการดูดซึมน้ำ โดยค่าความพรุนและค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอย ณ ระยะเวลาในการบ่ม 7, 28 และ 90 วัน จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น โดยทั้งความพรุนและค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยจะมีค่าสูงกว่ามอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนในช่วง 7 วัน และ 28 วัน ทั้งนี้เนื่องจากในตัวของเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยมีลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุน เมื่อทำการผสมเข้าไปในมอร์ตาร์จึงทำให้ความพรุนและการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น อีกทั้งที่ระยะเวลาในการบ่ม 7 วันและ 28 วัน การทำปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยยังเกิดขึ้นได้น้อย

เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 90 วัน พบว่าค่าความพรุนและค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอย จะมีความพรุนอยู่ในช่วง 3.5 – 5.1 % และค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 1.7 – 2.1 % ซึ่งทั้งค่าความพรุนและค่าการดูดซึมของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยจะมีค่าต่ำกว่าค่าของมอร์ตาร์ควบคุม โดยมีค่า

ความพรุนและค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 6.0 % และ 2.7 % ตามลำดับ นอกจากนี้จะพบว่าค่าความพรุนและค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 90 วันจะมีค่าต่ำกว่าของมอร์ตาร์ที่บ่มที่ 7 วันและ 28 วัน ทั้งนี้เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ กับเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอย ที่ผ่านการบ่มในน้ำเป็นเวลา 7, 28 และ 90 วัน



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความพรุนของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอย
ที่ผ่านการบ่มในน้ำเป็นเวลา 7, 28 และ 90 วัน

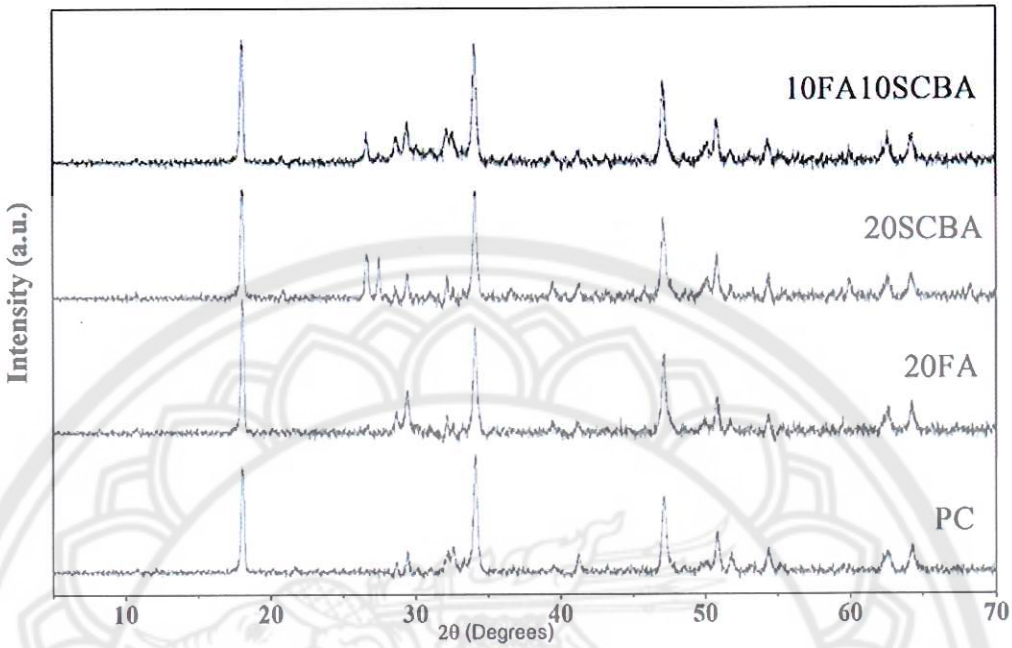
4.6 โครงสร้างเฟสของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อย และเถ้าลอย

จากการตรวจสอบโครงสร้างผลึกของปูนซีเมนต์เฟสต์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (XRD) ณ ระยะเวลาในการบ่มที่ 7 วัน และ 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ พบว่าพีคหลักที่ปรากฏในปูนเพสต์ควบคุมจะสอดคล้องกับพีคแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CH) ตามฐานข้อมูล JCPDF no.04-0733 โดยความเข้มของพีคแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของปูนเพสต์ทุกสัดส่วนผสมมีค่าใกล้เคียงกันทั้งนี้เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ของปูนซีเมนต์กับน้ำ ดังสมการ (4.3)-(4.4) ในส่วนของปูนเพสต์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยจะปรากฏพีคของซิลิกอน (Quartz) ด้วย ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในวัสดุปอซโซลานพบที่มุม 2θ ที่ประมาณ 27, 50, 59 และ 68 องศา

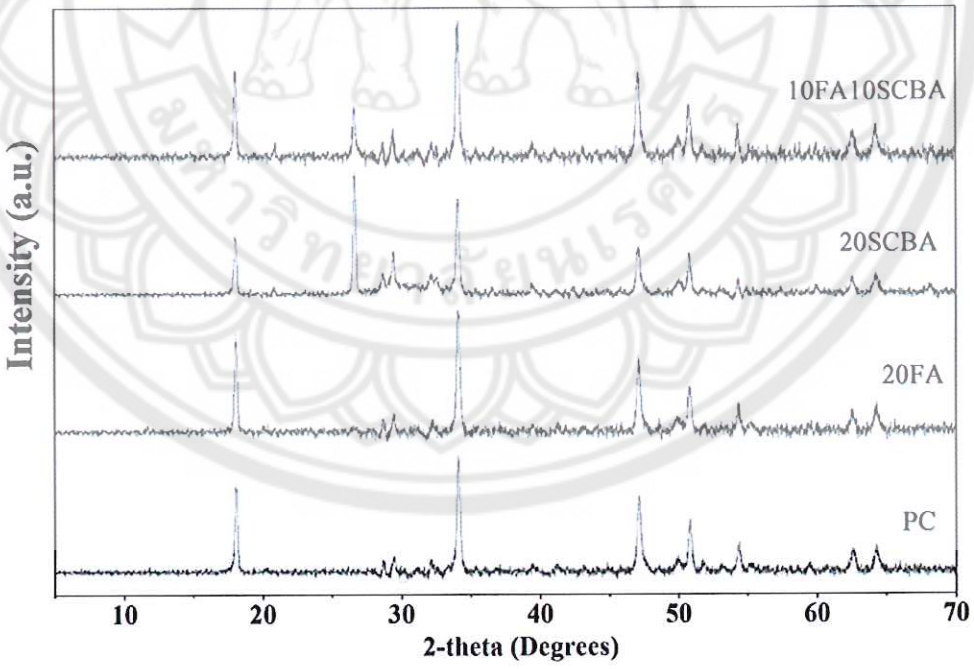
$$3CaO.SiO_2 + H_2O \rightarrow xCaO.ySiO_2.zH_2O + Ca(OH)_2 \quad (4.3)$$

$$2CaO.SiO_2 + H_2O \rightarrow xCaO.ySiO_2.zH_2O + Ca(OH)_2 \quad (4.4)$$

จากรูปที่ 4.11 แสดงพีค XRD ของปูนเพสต์ที่ระยะการในบ่ม 28 วัน จะพบว่าปูนเพสต์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนปรากฏพีคของแคลเซียมไฮดรอกไซน์กับพีคเฟสของแคลเซียมซิลิเกต (2θ = 28-33 องศา) ส่วนในปูนเพสต์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยจะพบพีคของควอร์ซที่มุม 2θ = 26-27 องศา แต่จะสังเกตได้ว่าความสูงของพีคแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะต่ำกว่าที่พบในปูนซีเมนต์ล้วน ทั้งนี้เนื่องการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก ของซิลิกาในเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันได้เป็นเฟสยึดประสาน (แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท)



รูปที่ 4.10 กราฟ XRD แสดงโครงสร้างผลึกของปูนเพสต์ที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อย ที่ผ่านการบ่มในน้ำที่ 7 วัน

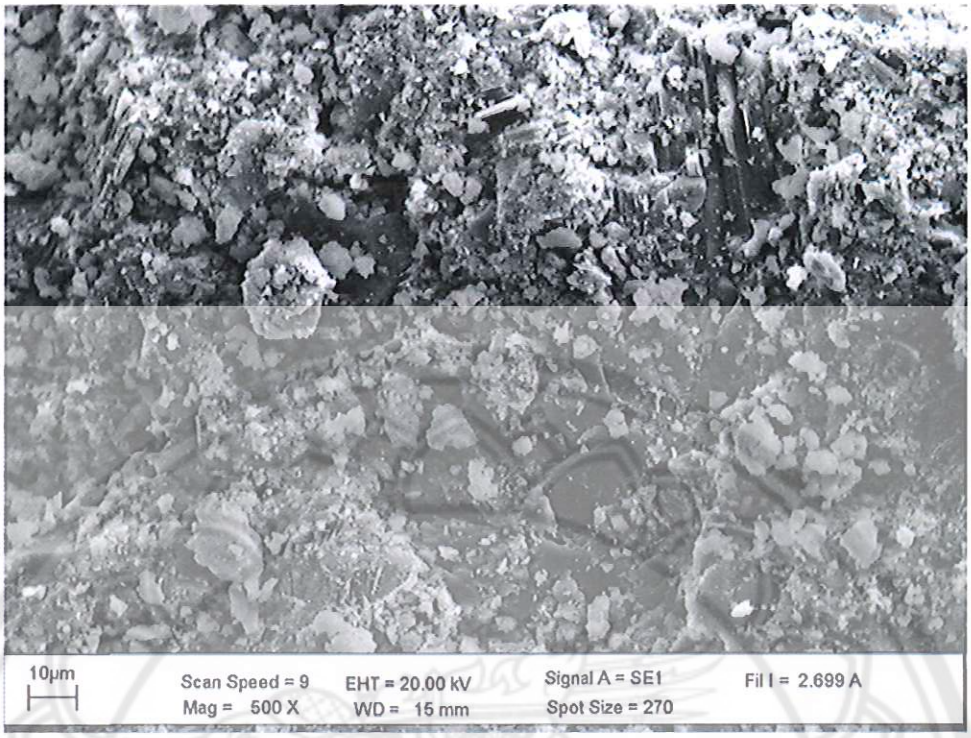


รูปที่ 4.11 กราฟ XRD แสดงโครงสร้างผลึกของปูนเพสต์ที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อย ที่ผ่านการบ่มในน้ำที่ 28 วัน

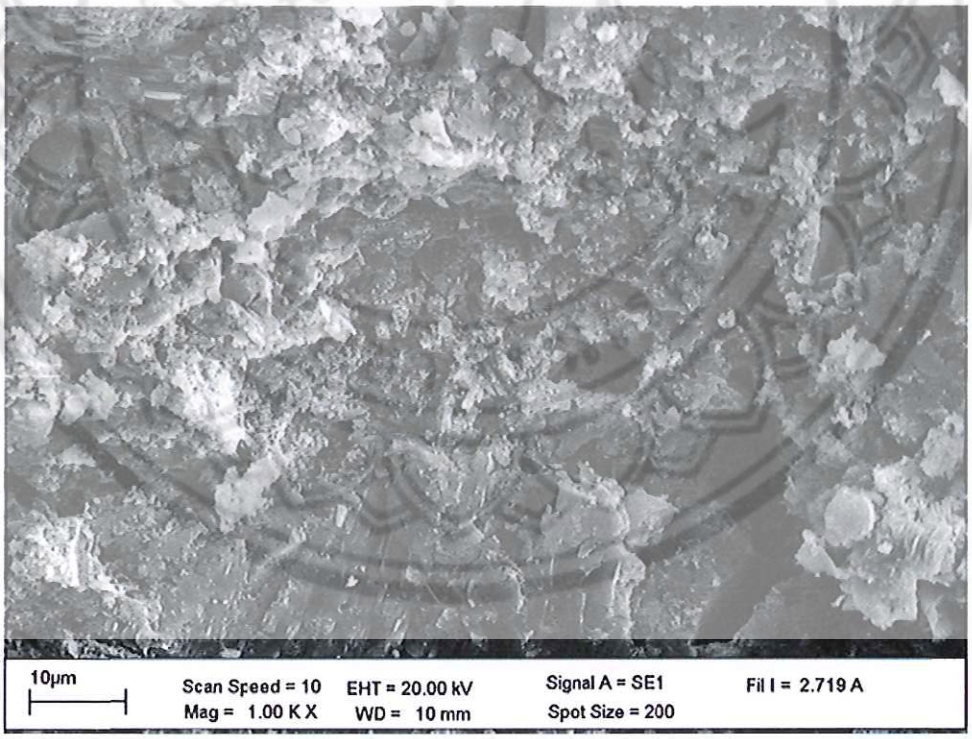
4.7 โครงสร้างทางจุลภาคของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอย

จากการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของปูนซีเมนต์เพสต์ของปูนซีเมนต์ล้วนด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงในรูปที่ 4.12 พบว่าโครงสร้างทางจุลภาคของปูนเพสต์ประกอบไปด้วยเฟสแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) มีลักษณะเป็นเส้นเล็ก ๆ หลายเส้นเชื่อมประสานกันอยู่และซ้อนกันไปมาอย่างไม่เป็นระเบียบขยายออกจากเม็ดปูน ส่วนเฟสแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตไฮเดรต (ettringite) จะมีลักษณะเป็นเข็มขนาดใหญ่กว่าเฟสแคลเซียมสิลิเกตไฮเดรต และเฟสแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) จะมีลักษณะเป็นผลึกขนาดใหญ่หกเหลี่ยม ซึ่งทั้ง 3 เฟสที่พบเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะส่งผลต่อการรับกำลังอัดของปูนซีเมนต์เพสต์ โดยเฉพาะแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่มีมากที่สุดในส่วนประกอบของซีเมนต์เพสต์

จากภาพถ่าย SEM ของปูนเพสต์ที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อย (ดังรูปที่ 4.13-4.15) พบว่าเฟสที่พบจะเหมือนกับเฟสของปูนเพสต์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน คือพบเฟสแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH), เฟสแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตไฮเดรต (Ettringite) และเฟสแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CH) ซึ่งเฟสทั้ง 3 นี้ ได้มาจากทั้งปฏิกิริยาไฮเดรชันจากปูนซีเมนต์กับน้ำ และปฏิกิริยาปอซโซลาน (เถ้าลอยหรือเถ้าชานอ้อยกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์) โดยจะพบอนุภาคของเถ้าลอยที่มีลักษณะกลม เถ้าลอยบางอนุภาคจะมีลักษณะเป็นรูพรุนกลวงกลวง ส่วนโครงสร้างทางจุลภาคของเถ้าชานอ้อยจะมีรูปร่างไม่แน่นอน และมีรูพรุนอยู่ด้วย แต่จากภาพ SEM จะเห็นว่าทั้งเถ้าชายอ้อยและเถ้าลอยที่ใส่เข้าไปในปูนซีเมนต์จะมีการทำปฏิกิริยาที่ผิวที่สัมผัสกับปูนซีเมนต์ โดยสามารถคาดคะเนได้ว่ายิ่งระยะเวลาเพิ่มขึ้นรูพรุนที่เหลืออยู่ของเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยจะถูกปิด (fill) ด้วยผลิตภัณฑ์จากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาปอซโซลานิก ทำให้ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของมอร์ตาร์ได้

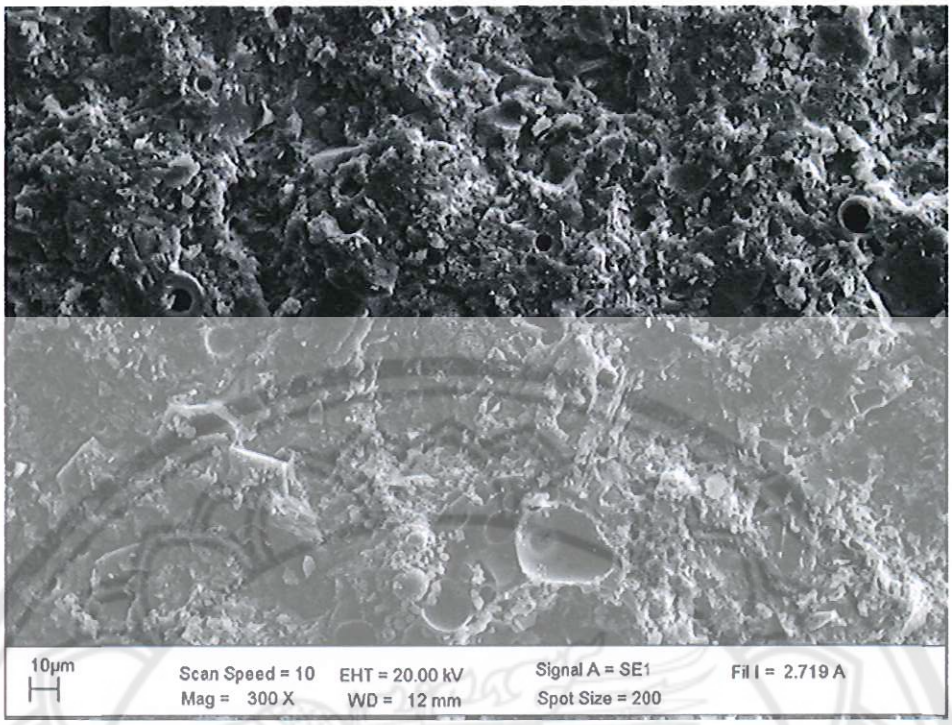


(ก)

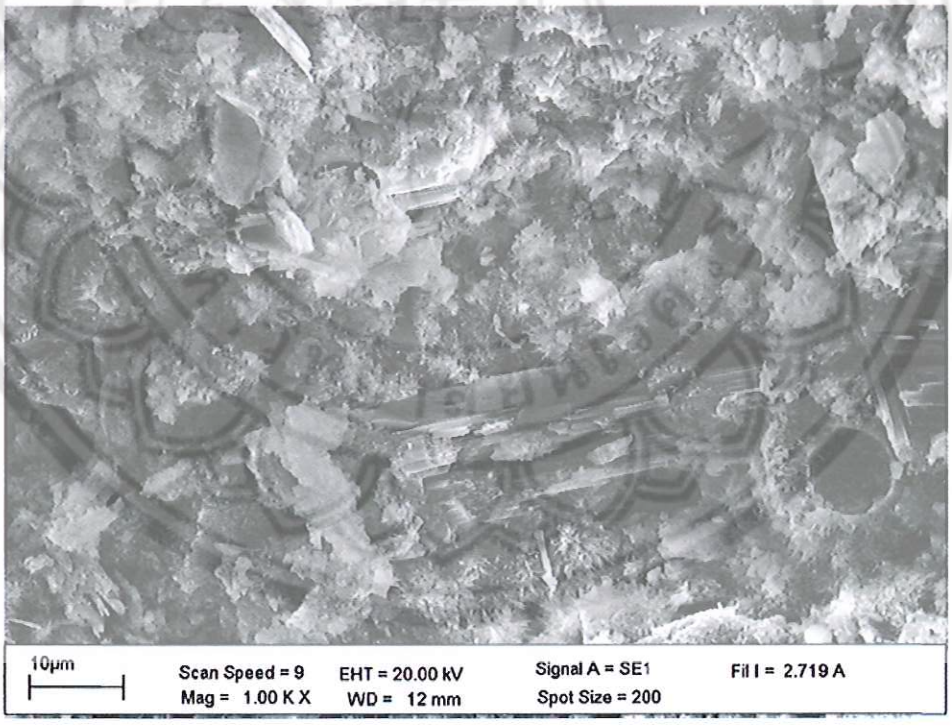


(ข)

รูปที่ 4.12 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของปูนซีเมนต์ล้วนที่กำลังขยาย (ก) 500 เท่า และ (ข) 1,000 เท่า

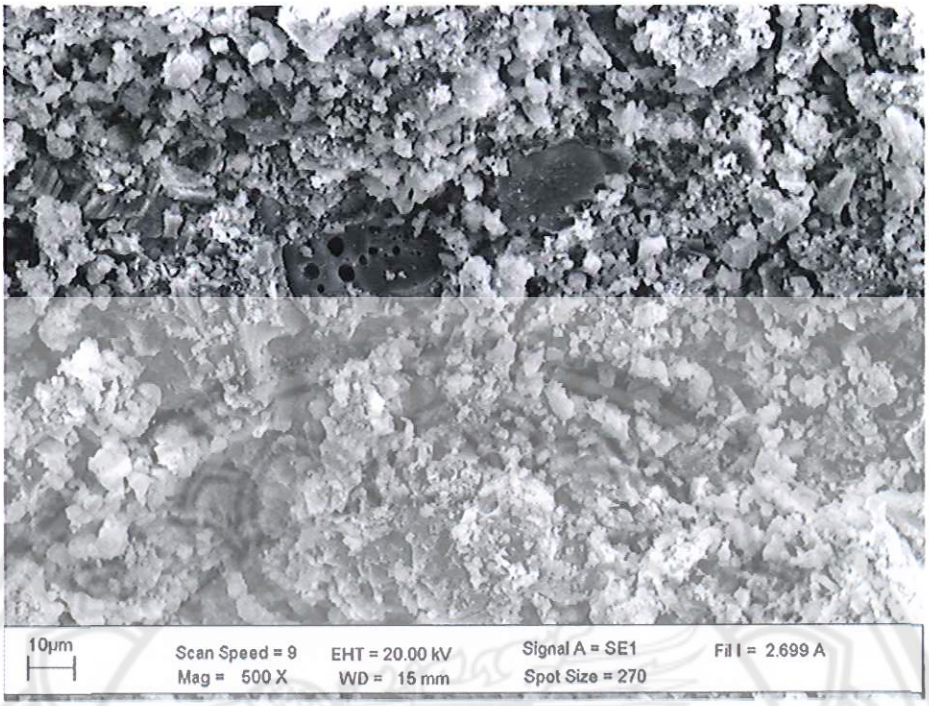


(ก)

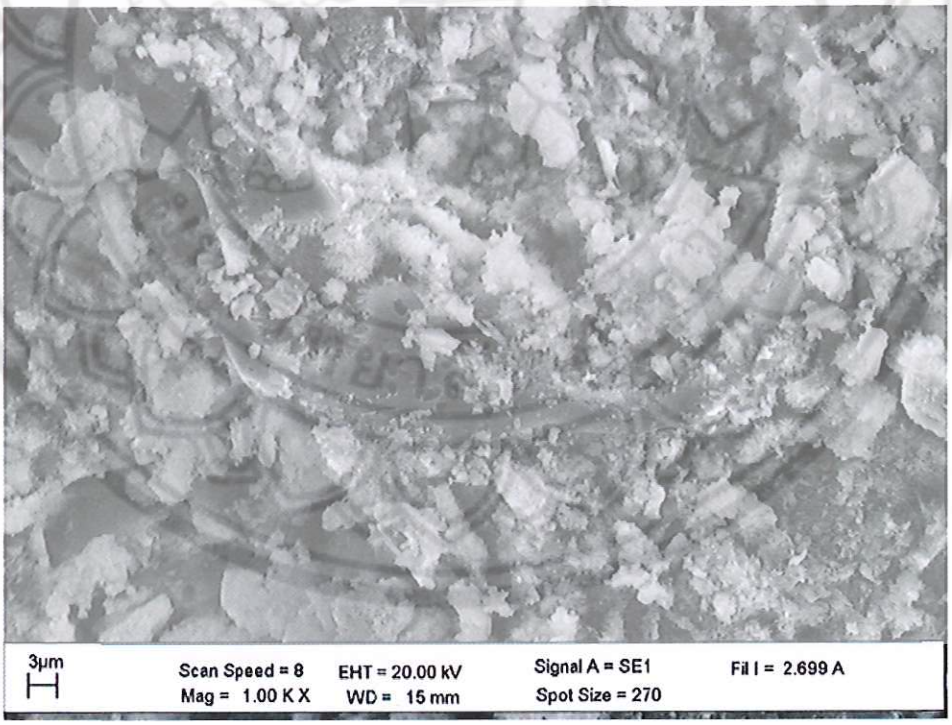


(ข)

รูปที่ 4.13 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของปูนซีเมนต์ที่ผสมเถ้าลอยที่กำลังขยาย
(ก) 300 เท่า และ (ข) 1,000 เท่า

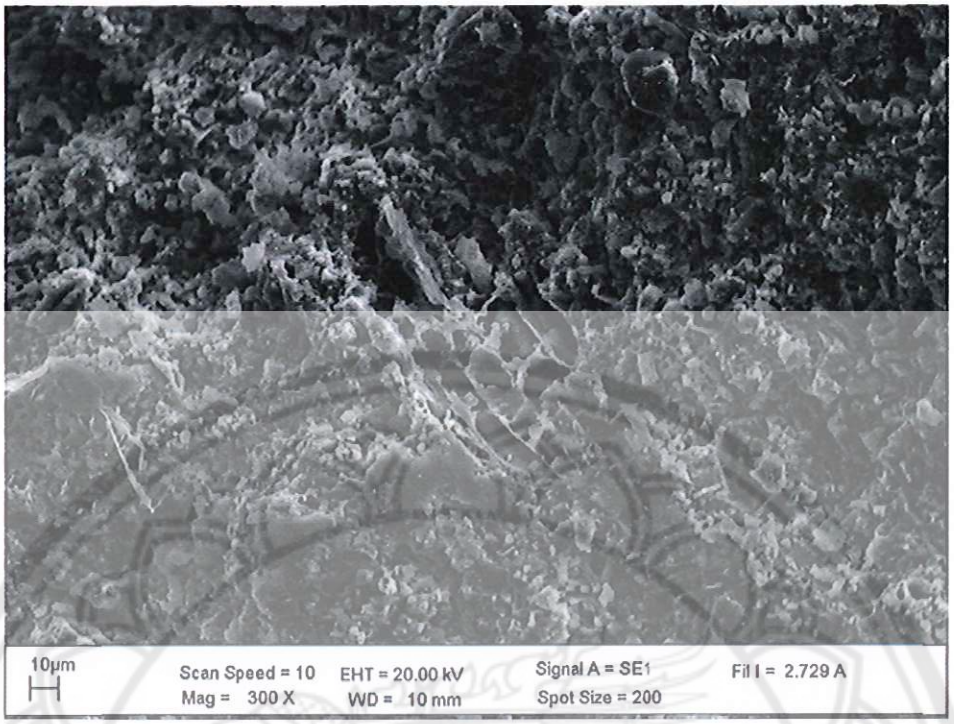


(ก)

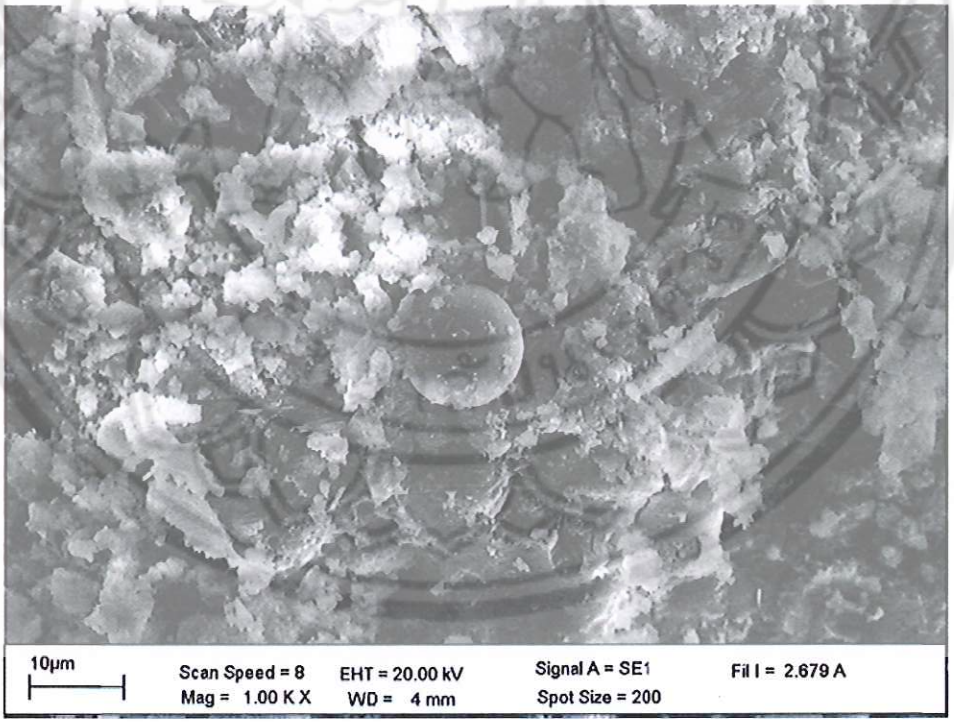


(ข)

รูปที่ 4.14 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของปูนซีเมนต์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยที่กำลังขยาย (ก) 500 เท่า และ (ข) 1,000 เท่า



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.15 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของปูนซีเมนต์ที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อย
ที่กำลังขยาย (ก) 300 เท่า และ (ข) 1,000 เท่า

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของการใช้เถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยผสมทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์ในงานโครงสร้างต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มอร์ตาร์ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. เถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยประกอบไปด้วยโครงสร้างเฟสที่มีซิลิกาและอลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก และการนำเถ้าชานอ้อยมาใช้ต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเผาและบดก่อน ส่วนเถ้าลอยสามารถนำมาใช้ได้เลย
2. การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยแม้ว่าจะมีค่าน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุมเล็กน้อย แต่มอร์ตาร์สูตร 10FA10SCBA และสูตร 5FA15SCBA มีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม ณ ทุกระยะเวลาในการบ่ม
3. ความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยมีค่าไม่แตกต่างจากมอร์ตาร์ควบคุม
4. ค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยพบว่ามีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 90 วัน และค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์จะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับค่าความพรุนของมอร์ตาร์เช่นเดียวกัน
5. เถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยมีการปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยสามารถดูได้จากพีคของแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีค่าลดลงจากพีค XRD และสามารถดูได้จากโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานเพสต์ที่เกิดขึ้นที่ผิวของเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอย

[21] Rafael, A.R., Pedro, M.G., Jacobo, M.R., Delia, C.A.J., Yadira, G.P., Construction and Building Materials 34 (2012) 296–305.

ผลลัพท์จากโครงการวิจัย

ความรู้ที่ได้จากโครงงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปรยุกต์ใช้เถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ในทางวิศวกรรมก่อสร้างได้ ซึ่งโครงงานวิจัยนี้ได้เสนอในการประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์วิจัยครั้งที่ 6 วันที่ 20-21 มีนาคม 2557 ณ มหาวิทยาลัยบูรพาจังหวัดชลบุรี โดยนำเสนอแบบโปสเตอร์ และได้มีการตีพิมพ์เผยแพร่ใน Proceeding จำนวน 2 เรื่อง ได้แก่

1. Savanee Vanaleesin, Nattawong Phosuphanan, Pincha Torkittikul, Panisara Disuea and Thanongsak Nochaiya, *Effect of Calcination Temperature on Compressive Strength of Mortar with Sugarcane Bagasse Ash*, Proceedings The 6th National Science Research Conference,(20-21 March 2014), Burapha University, pp. 199-204.

2. Nattawong Phosuphanan, Savanee Vanaleesin, Phongthorn Julphunthong and Thanongsak Nochaiya, *Effect of Calcinations Temperature on Pozzolanicity of Sugarcane Bagasse Ash*, Proceedings The 6th National Science Research Conference,(20-21 March 2014), Burapha University, pp. 205-210.

ภาคผนวก

ที่ ศธ ๖๖๑๕.๑/ว๐๒๗๒

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

๒๐ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๕๗

เรื่อง ตอบรับการนำเสนอบทความวิชาการ

เรียน คุณสวน์ย์ วนาสีสิน

ตามที่ท่านได้ส่งผลงานวิจัยในรูปแบบรายงานสืบเนื่องจากการประชุม (Full proceedings) เพื่อนำเสนอในงานประชุมวิชาการระดับชาติ "วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ ๖" ในวันที่ ๒๐ – ๒๑ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๗ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติฉลองสิริราชสมบัติครบ ๖๐ ปี มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ในการนี้ ผู้ทรงคุณวุฒิได้ทำการพิจารณาบทความวิจัยในหัวข้อ "ผลของอุณหภูมิแคลไซน์ต่อกำลังอัดของปูนซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อย" แล้ว และทางฝ่ายวิชาการของงานประชุมฯ มีความยินดีที่จะแจ้งให้ผู้ส่งบทความทราบว่าผลงานวิจัยของท่านได้รับการ "ตอบรับ" เพื่อมานำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์ ทั้งนี้ การตอบรับจะสมบูรณ์เมื่อท่านลงทะเบียนในระบบ http://src6.sci.buu.ac.th/register/

ผู้ที่นำเสนอผลงานวิจัยแบบบรรยายขอให้เตรียมเอกสารประกอบการบรรยายจากโปรแกรม Powerpoint 2007 โดยมีเวลาในการนำเสนอพร้อมตอบคำถามไม่เกิน ๑๕ นาที ส่วนการนำเสนอแบบโปสเตอร์ขอให้เตรียมโปสเตอร์ในขนาด ๘๐ x ๑๒๐ เซนติเมตร สำหรับกำหนดการและลำดับการนำเสนอผลงานจะประกาศที่ http://src6.sci.buu.ac.th/ ต่อไป

ขอขอบคุณที่ส่งผลงานเข้าร่วมนำเสนอในงานประชุมฯ และหวังเป็นอย่างยิ่งที่จะได้เห็นงานวิจัยของท่านในงานประชุมฯ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

สำนักงานคณบดี คณะวิทยาศาสตร์
โทรศัพท์ ๐-๓๘๑๐-๓๐๘๕
โทรสาร ๐-๓๘๑๐-๓๐๕๑

ผลของอุณหภูมิแคลไซน์ต่อกำลังอัดของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อย

Effect of Calcination Temperature on Compressive Strength of Mortar with Sugarcane Bagasse Ash

สวนีย์ วนาลีสิน[1], ณัฐวงศ์ โพธิ์คุภานันท์[1], ปิญชาน์ ต่อกิตติกุล[2], ปาณิสรา ดีเสือ[1] และ ทนงศักดิ์ โนไชยา[1,3]*

Savanee Vanaleesin[1], Nattawong Phosupharan[1], Pincha Torkittikul[2], Panisara Disuea[1] and Thanongsak Nochaiya[1,3]*

[1] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีโยธา คณะเทคนิคอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

[3] ศูนย์วิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านฟิสิกส์ประยุกต์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อทำเถ้าชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน โดยทำการปรับปรุงคุณภาพของเถ้าชานอ้อยด้วยการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 500-900 องศาเซลเซียสและทำการบดด้วยเม็ดบด 12 ชั่วโมง เถ้าชานอ้อยถูกนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เพื่อศึกษากำลังอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าความพรุนของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 และ 28 วัน จากผลการทดลองพบว่ากำลังอัดและความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการเผาแคลไซน์ จะมีค่ากำลังอัดที่ต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน แต่จะมีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุมที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน ส่วนการดูดซึมน้ำและความพรุนจะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม

คำสำคัญ : เถ้าชานอ้อย / การเผาแคลไซน์ / กำลังอัด / ปฏิกิริยาปอซโซลาน

Abstract

Sugarcane bagasse ash (SCBA), a by-product from the sugar industry, can be used as pozzolanic material by a partial cement replacement. In this research, SCBA were calcined at different temperatures from 500 to 900 °C and then ground by ball mill for 12 hours. Compressive strength, density, water absorption and porosity of mortars with 20 %wt of calcined-SCBA after curing at 7 days and 28 days were studied. The results show that the compressive strength and the density of mortar blended with calcined-SCBA are found to be similar to that of the control mix for 28 days, but they are lower than that of the control mix for 7 days. Moreover, the water absorption is directly correlated to the porosity and is lower than that of the control mix.

Keyword: Sugarcane bagasse ash / Calcination / Compressive strength / Pozzolanicity

*Corresponding author. E-mail: thanongsaknoc@nu.ac.th

1. บทนำ

เถ้าชานอ้อยเป็นวัสดุพลอยได้ที่เกิดจากการนำเอาชานอ้อยที่หนีบแล้วไปเผาเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล หลังจากการเผาไหม้แล้วจะมีเถ้าชานอ้อยเกิดขึ้น ซึ่งเถ้าชานอ้อยเหล่านี้ส่วนใหญ่จะต้องถูกนำไปทิ้งหรือหากระบวนการในการกำจัด จึงมีแนวคิดที่จะนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอุตสาหกรรมคอนกรีต เนื่องจากคุณสมบัติของเถ้าชานอ้อยนั้นเป็นเถ้าที่มีออกไซด์ของซิลิกาสูง ถ้ามีความละเอียดสูง และไม่เป็นผลึกจะสามารถทำปฏิกิริยากับด่าง (แคลเซียมไฮดรอกไซด์)ได้ เถ้าชานอ้อย (bagasse ash) จึงจะมีศักยภาพที่จะนำไปใช้ในงานคอนกรีตได้ [1] เช่นเดียวกับวัสดุปอซโซลานชนิดอื่น เช่น เถ้าลอย เถ้าแกลบ และซิลิกาฟูม [2] แต่อย่างไรก็ตามเถ้าชานอ้อยที่ได้มาจากโรงงานโดยตรงยังไม่เป็นวัสดุปอซโซลานที่ดี เนื่องจากยังมีอนุภาคขนาดใหญ่ จึงเกิดแนวทางการทดลองเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเถ้าชานอ้อยโดยทำการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่างๆกันและทำการบดเพื่อให้มีความละเอียดสูงขึ้น ก่อนที่จะนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้มีจุดหมายที่จะพัฒนากำลังอัดของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยโดยปรับปรุงคุณสมบัติของเถ้าชานอ้อยด้วยการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่างๆกันและทำการบดให้มีความละเอียดสูงขึ้น เพื่อพัฒนาปูนซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยให้เป็นวัสดุก่อสร้างที่สามารถใช้งานได้เทียบเท่ากับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเถ้าชานอ้อย และยังเป็นการลดหลั่งงานและปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ อีกทั้งช่วยลดปริมาณของเถ้าชานอ้อยที่เหลือจากการเผาอีกด้วย

2. วิธีการศึกษา

2.1 การเตรียมวัสดุ

นำเถ้าชานอ้อยมาเผาที่อุณหภูมิ 500, 600, 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเพิ่ม-ลดอุณหภูมิ 10 °C/min แล้วนำไปบดด้วยเม็ดบด (Ball mill) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อทำการบดเสร็จแล้วก็นำเถ้าชานอ้อยที่ได้เก็บลงในภาชนะแล้วปิดให้มิดชิดเพื่อป้องกันความชื้น

2.2 อัตราส่วนผสม

งานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1(ตราช้าง) และเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 0, 500, 600, 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส และทำการบด 12 ชั่วโมง จะถูกนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก แล้วทำการผสมทั้งที่เป็นปูนซีเมนต์เพสต์และมอร์ตาร์ โดยใช้แบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด 50×50×50 ลูกบาศก์มิลลิเมตร แล้วนำไปบ่มในน้ำที่ 7 วันและ 28 วัน

2.3 การเตรียมชิ้นงาน

1) การเตรียมชิ้นงานที่เป็นเพสต์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการหล่อชิ้นงานที่เป็นเพสต์ด้วยแบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร และสูง 3.5 เซนติเมตร ซึ่งส่วนผสมที่ใช้ในการผสมเพสต์ โดยจะใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.5 ทุกอัตราส่วนการผสม ชิ้นงานหลังจากหล่อสำเร็จครบ 24 ชั่วโมงแล้ว จะถูกถอดจากแบบแล้วนำไปบ่มในน้ำที่ 6 วันและ 27 วัน เมื่อครบระยะเวลาในการบ่มชิ้นงานจะถูกนำมาแช่ไว้ในอะซีโตน 24 ชั่วโมง เพื่อหยุดปฏิกิริยาหลังจากนั้นก็นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 °C แล้วทำการบดตัวอย่างเพสต์ให้ละเอียด เพื่อที่จะนำไปตรวจสอบโครงสร้างเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction; XRD)

2) การเตรียมชิ้นงานที่เป็นมอร์ตาร์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการหล่อชิ้นงานที่เป็นมอร์ตาร์โดยการใช้แบบหล่อขนาด 50×50×50 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ซึ่งส่วนผสมที่ใช้ในการหล่อมอร์ตาร์ โดยการหล่อมอร์ตาร์จะใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.5 และ อัตราส่วนวัสดุประสาน : ทราย เท่ากับ 1 : 2.5 ชิ้นงานที่หล่อเสร็จแล้วจะถูกถอดออกจากแบบเมื่อผ่านไปแล้ว 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มในน้ำอีก 6 วันและ 27 วัน ตามลำดับ เมื่อครบกำหนดเวลาที่ 7 วันและ 28 วัน แล้วชิ้นงานมอร์ตาร์จะถูกนำไปทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐาน ASTM C 109 [3] และทดสอบความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความพรุนตามมาตรฐาน ASTM C 642-06 [4] โดยค่าที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบอัดส่วนละ 3 ก้อนตัวอย่าง

3. ผลและอภิปรายผลการทดลอง

3.1 กำลังอัดของมอร์ตาร์

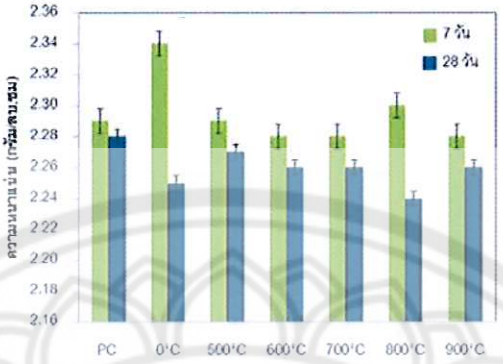
ในการทดลองได้ศึกษาการพัฒนากำลังอัดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่างๆกัน และทำการบดที่ 12 ชั่วโมง ซึ่งใช้เถ้าขานอ้อยทดแทนปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยทำการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดเฉลี่ยจากตัวอย่าง ขึ้นงานละ 3 ก้อน ของตัวอย่างเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่าที่ระยะการบ่ม 7 วัน ค่ากำลังอัดมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่อุณหภูมิการเผา 500 – 600 องศาเซลเซียส ค่ากำลังอัดจะอยู่ในช่วง 40 – 43 MPa ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ควบคุม (54 MPa) ส่วนค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่เผาที่อุณหภูมิ 700 – 900 องศาเซลเซียส จะมีค่าน้อยกว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่เผาที่อุณหภูมิ 500 - 600 องศาเซลเซียส (18 – 34 MPa) เมื่อพิจารณากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 28 วัน พบว่าค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะมีค่ากำลังอัดน้อยที่สุด ส่วนมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่เผาที่อุณหภูมิ 500, 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส จะมีค่ากำลังอัดอยู่ในช่วง 51 – 56 MPa โดยค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการเผามีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังอัดของชุดมอร์ตาร์ควบคุม (57 MPa)

รูปที่ 1 กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500°C – 900°C

ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วันจะเห็นว่าค่ากำลังอัดจะมีค่าน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกของเถ้าขานอ้อยเกิดขึ้นภายหลังจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ในวัสดุปอซโซลานจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้เป็นสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตซึ่งเป็นสารยึดประสาน และเป็นตัวช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับมอร์ตาร์ [5] โดยปฏิกิริยาปอซโซลานิกจะเกิดค่อนข้างสูงที่ระยะการบ่ม 28 วัน ซึ่งสอดคล้องกับค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่เผาที่อุณหภูมิ 500 – 900 องศาเซลเซียส ที่ระยะการบ่มที่ 28 วันที่มีค่ากำลังอัดใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม

3.2 ความหนาแน่นของมอร์ตาร์

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าค่าความหนาแน่นที่ระยะการบ่ม 7 วันและ 28 วัน ของของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่เผาที่อุณหภูมิ 500 – 900 องศาเซลเซียส จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน คือ อยู่ในช่วง 2.24 – 2.30 g/cm^3 โดยค่าความหนาแน่นของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ยังไม่ทำปฏิกิริยาจะเท่ากับ 3.15 g/cm^3 (แคลเซียมซิลิเกต) แต่เมื่อมีการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับปฏิกิริยาปอซโซลานิกแล้วจะเกิดเฟส (แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต) ที่มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2.3 – 2.6 g/cm^3



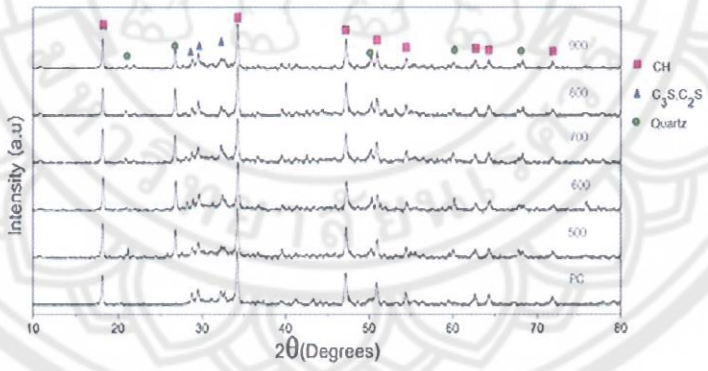
รูปที่ 2 แสดงความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่ 500-900 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 7 และ 28 วัน

3.3 การเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของปูนเพสต์

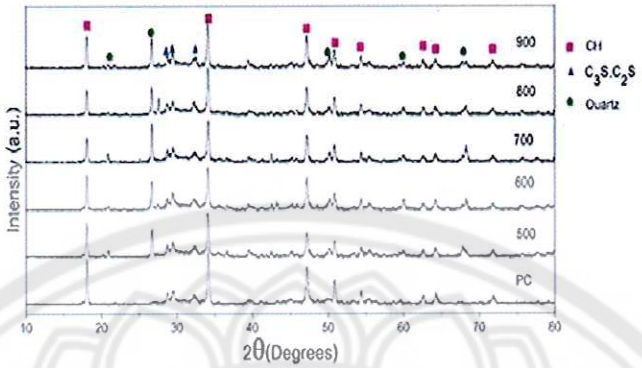
จากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในหัวข้อส่วนร้อยละ 20 โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ณ ระยะเวลาในการบ่มที่ 7 วัน (ดังแสดงในรูปที่ 3) พบว่าพีคหลักจะสอดคล้องกับพีคแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CH) ตามฐานข้อมูล JCPDF no.04-0733 โดยความเข้มของพีคแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของปูนเพสต์ทุกสัดส่วนผสมมีค่าใกล้เคียงกันทั้งนี้เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมซิลิเกตของปูนซีเมนต์กับน้ำ [8] ดังสมการ (1)-(2) ในส่วนของปูนเพสต์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยจะปรากฏพีคของซิลิกอน (Quartz) ด้วย ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในเถ้าขานอ้อยพบที่มุม 2θ ที่ 22.5, 27, 50, 59 และ 68 องศา

$$3CaO.SiO_2 + H_2O \rightarrow xCaO.ySiO_2.zH_2O + Ca(OH)_2 \quad (1)$$

$$2CaO.SiO_2 + H_2O \rightarrow xCaO.ySiO_2.zH_2O + Ca(OH)_2 \quad (2)$$



รูปที่ 3 กราฟแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของปูนซีเมนต์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 – 900 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน



รูปที่ 4 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของปูนซีเมนต์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 – 900 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 4 แสดงพีค XRD ของปูนเพสต์ที่ระยะการในบ่ม 28 วัน จะพบว่าปูนเพสต์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนปรากฏพีคของแคลเซียมไฮดรอกไซน์กับพีคเฟสของแคลเซียมซิลิเกต (2θ = 28-33 องศา) ส่วนในปูนเพสต์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยทุกส่วนผสมจะพบพีคของควอร์ว แต่จะสังเกตได้ว่าความสูงของพีคแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะต่ำกว่าที่พบในปูนซีเมนต์ล้วน ทั้งนี้เนื่องการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก [2, 7] ของซิลิกาในเถ้าขานอ้อยกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันได้เป็นเฟสซีเมนต์ประสาน (แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท) จากผลของ XRD ดังกล่าวจะสอดคล้องกับค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 600 – 900 องศาเซลเซียส มีค่ากำลังอัดที่สูงขึ้นที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

3.4 ความพรุนและการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์

จากตาราง 1 แสดงผลการทดสอบความพรุนและค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C642-06 พบว่าค่าความพรุนของมอร์ตาร์จะแปรผันตรงกับค่าการดูดซึมน้ำ โดยค่าความพรุนและค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่เผาที่อุณหภูมิ 500-900 องศาเซลเซียส ณ ระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าความพรุนอยู่ในช่วง 5.6 – 6.5 % และค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 2.8 – 4.1 % โดยทั้งความพรุนและค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยจะมีค่าสูงกว่ามอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน (6.5 % และ 2.6 % ตามลำดับ) ทั้งนี้เนื่องจากในตัวของเถ้าขานอ้อยเองมีลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุน [8] เมื่อทำการผสมเข้าไปในมอร์ตาร์จึงทำให้ความพรุนและการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ยิ่งทั้งที่ระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน การทำปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าขานอ้อยยังเกิดขึ้นได้น้อย

ตาราง 1 ค่าความพรุนและค่าการดูดซึมน้ำของเรียนมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 0-900 องศาเซลเซียส

Mixes	Water absorption, (%) ± S.D.		Porosity, (%) ± S.D.	
	7 day	28 day	7 day	28 day
PC 100%	2.56±0.36	2.16±0.02	5.56±0.79	4.70±0.02
PC 100%-SCBA 20%-0°C	6.22±0.47	2.33±0.23	10.9±0.88	5.01±0.47
PC 100%- SCBA 20%-500°C	2.93±0.40	2.06±0.21	6.30±0.79	4.49±0.45
PC 100%- SCBA 20%-600°C	3.07±0.22	2.45±0.22	6.56±0.45	5.26±0.47
PC 100%- SCBA 20%-700°C	3.10±0.64	2.22±0.00	6.61±1.31	4.79±0.02
PC 100%- SCBA 20%-800°C	3.81±0.16	1.73±0.43	8.06±0.33	3.73±0.92
PC 100%- SCBA 20%-900°C	**4.06±0.10**	**1.94±0.43**	**8.49±0.22**	**4.21±0.92**

เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 28 วัน พบว่าค่าความพรุนและค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่เผาที่อุณหภูมิ 0-900 องศาเซลเซียส จะมีความพรุนอยู่ในช่วง 3.7 – 5.3 % และค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 1.5 – 2.5 % ซึ่งทั้งค่าความพรุนและค่าการดูดซึมของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าของมอร์ตาร์ควบคุม โดยมีค่าความพรุนและค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 4.7 % และ 2.3 % ตามลำดับ นอกจากนี้จะพบว่าค่าความพรุนและค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 28 วันจะมีค่าต่ำกว่าของมอร์ตาร์ที่บ่มที่ 7 วัน ทั้งนี้เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์และเถ้าขานอ้อยจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแคลไนน์ต่อสมบัติของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการเผาแคลไนน์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ สามารถสรุปได้ว่า เถ้าขานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวิธีการเผาและบดให้ละเอียด จะช่วยให้กำลังอัดของมอร์ตาร์มีค่าสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเถ้าขานอ้อยที่เผาแคลไนน์ที่อุณหภูมิ 500-600°C ที่มีค่ากำลังอัดสูงใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุมทุกระยะเวลาในการบ่ม ส่วนความหนาแน่น ความพรุน และการดูดซึมน้ำมีค่าเทียบเท่ากับปูนซีเมนต์ควบคุม

5. กิตติกรรมประกาศ

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปได้โดยได้รับเงินสนับสนุนจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรทางด้านเครื่องมือการวิเคราะห์ผลในการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือทดสอบกำลังอัด และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทำงานวิจัย จนทำให้งานวิจัยในครั้งนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สุริมล ลัจฉวาณิชย์.(2545). อิฐมอญจากเถ้าขานอ้อย. บทความวิจัย, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[2] V.M. Malhotra and P.K. Mehta, (1996). Pozzolanic and cementitious materials, Gordon and Breach Publishers, Netherlands,

[3] American society for testing and material. (1995). ASTM C 109: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). Annual book of ASTM standards, Vol. 04.02, Philadelphia.

[4] American society for testing and material. (1995). ASTM C 642-06: Historical Standard: ASTM C642-06 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. Annual book of ASTM standards, Vol. 04.02, Philadelphia.

[5] มาริน และคณะ. (2555). การประเมินการล็อกอ่อนของคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลาน. บทความวิจัย, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

[6] ปิติ ลุลเมธสุนทร.(2556). คอนกรีต.พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์วิศวกรรมสถาน, ปทุมธานี, 222 หน้า.

[7] Michael Thomas (2013). Supplementary Cementing Materials in Concrete. Taylor & Francis Group, Florida, USA.

[8] ชัย จารุพิทักษ์กุล.(2555). การใช้เถ้าขานอ้อยเพื่อเป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ที่ ศธ ๖๖๑๕.๑/๑๐๒๗๒

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

๒๐ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๕๗

เรื่อง ตอบรับการนำเสนอบทความวิชาการ

เรียน คุณณัฐวงศ์ โพธิ์ศุภานันท์

ตามที่ท่านได้ส่งผลงานวิจัยในรูปแบบรายงานสืบเนื่องจากการประชุม (Full proceedings) เพื่อนำเสนอในงานประชุมวิชาการระดับชาติ "วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ ๖" ในวันที่ ๒๐ – ๒๑ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๗ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติฉลองสิริราชสมบัติครบ ๖๐ ปี มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ในการนี้ ผู้ทรงคุณวุฒิได้ทำการพิจารณาบทความวิจัยในหัวข้อ "ผลของอุณหภูมิแคลไซน์ต่อสมบัติปอซโซลานิกของเถ้าชานอ้อย" แล้ว และทางฝ่ายวิชาการของงานประชุมฯ มีความยินดีที่จะแจ้งให้ผู้ส่งบทความทราบว่า ผลงานวิจัยของท่านได้รับการ "ตอบรับ" เพื่อมานำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์ ทั้งนี้ การตอบรับจะสมบูรณ์เมื่อท่านลงทะเบียนในระบบ http://src6.sci.buu.ac.th/register/

ผู้ที่นำเสนอผลงานวิจัยแบบบรรยายขอให้เตรียมเอกสารประกอบการบรรยายจากโปรแกรม Powerpoint 2007 โดยมีเวลาในการนำเสนอพร้อมตอบคำถามไม่เกิน ๑๕ นาที ส่วนการนำเสนอแบบโปสเตอร์ขอให้เตรียมโปสเตอร์ในขนาด ๘๐ x ๑๒๐ เซนติเมตร สำหรับกำหนดการและลำดับการนำเสนอผลงานจะประกาศที่ http://src6.sci.buu.ac.th/ ต่อไป

ขอขอบคุณที่ส่งผลงานเข้าร่วมนำเสนอในงานประชุมฯ และหวังเป็นอย่างยิ่งที่จะได้เห็นงานวิจัยของท่านในงานประชุมฯ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

สำนักงานคณบดี คณะวิทยาศาสตร์
โทรศัพท์ ๐-๓๘๑๐-๓๐๘๕
โทรสาร ๐-๓๘๑๐-๓๐๕๑

ผลของอุณหภูมิแคลไซน์ต่อกำลังอัดของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อย

Effect of Calcination Temperature on Compressive Strength of Mortar with Sugarcane Bagasse Ash

สวนีย์ วนาลีสิน[1], ณัฐวงศ์ โพธิ์ศุภานันท์[1], ปิญชาน์ ต่อกิตสิกุล[2], ปาณิสรา ดีเสือ[1] และ ทนงศักดิ์ โนโชยา[1,3]*

Savanee Vanaleesin[1], Nattawong Phosuphanan[1], Pincha Torkittikul[2], Panisara Disuea[1] and Thanongsak Nochaiya[1,3]*

[1] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีไบโอ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

[3] สถาบันวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านฟิสิกส์ประยุกต์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: thanongsakno@nu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อนำเถ้าชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน โดยทำการปรับปรุงคุณภาพของเถ้าชานอ้อยด้วยการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 500-900องศาเซลเซียสและทำการบดด้วยเม็ดบด 12ชั่วโมง เถ้าชานอ้อยถูกนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เพื่อศึกษากำลังอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าความพรุนของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 และ 28 วัน จากผลการทดลองพบว่ากำลังอัดและความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการเผาแคลไซน์ จะมีค่ากำลังอัดที่ต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน แต่จะมีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุมที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน ส่วนการดูดซึมน้ำและความพรุนจะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม

วิธีการทำวิจัย

ภาพ 1 แผนภูมิขั้นตอนการวิจัย

สรุปผลการทดลอง

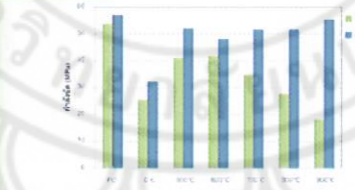
จากผลการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแคลไซน์ต่อสมบัติของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ สามารถสรุปได้ว่า เถ้าชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวิธีการเผาและบดให้ละเอียด จะช่วยให้กำลังอัดของมอร์ตาร์มีค่าสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเถ้าชานอ้อยที่เผาแคลไซน์ที่**อุณหภูมิ500-600°C ที่มีค่ากำลังอัดสูงใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุมทุกระยะเวลาในการบ่ม ส่วนความหนาแน่น ความพรุน และการดูดซึมน้ำมีค่าเทียบเท่ากับปูนซีเมนต์ควบคุม**

บทนำ

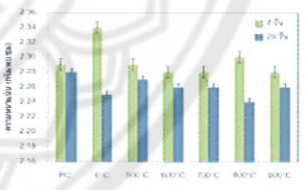
เถ้าชานอ้อยเป็นวัสดุพลอยได้ที่เกิดจากการนำเอาชานอ้อยที่หีบแล้วไปเผาเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล หลังจากการเผาไหม้แล้วจะมีเถ้าชานอ้อยเกิดขึ้น ซึ่งเถ้าชานอ้อยเหล่านี้ส่วนใหญ่จะต้องถูกนำไปทิ้งหรือหากระบวนการในการกำจัด จึงมีแนวคิดที่จะนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอุตสาหกรรมคอนกรีต เนื่องจากคุณสมบัติของเถ้าชานอ้อยนั้นเป็นเถ้าที่มีออกไซด์ของซิลิกาสูง ถ้ามีความละเอียดสูง และไม่เป็นผลึกจะสามารถทำปฏิกิริยากับด่าง (แคลเซียมไฮดรอกไซด์)ได้ เถ้าชานอ้อยจึงจะมีศักยภาพที่จะนำไปใช้ในงานคอนกรีตได้เช่นเดียวกับวัสดุปอซโซลานชนิดอื่น เช่น เถ้าลอย เถ้าแกลบ และซิลิกาฟูม แต่อย่างไรก็ตามเถ้าชานอ้อยที่ได้มาจากโรงงานโดยตรงยังไม่เป็นวัสดุปอซโซลานที่ดี เนื่องจากยังมีอนุภาคขนาดใหญ่ จึงเกิดแนวทางการทดลองเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเถ้าชานอ้อยโดยทำการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่างๆกันและทำการบดเพื่อให้มีความละเอียดสูงขึ้น ก่อนที่จะนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้มุ่งหมายที่จะพัฒนากำลังอัดของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยโดยปรับปรุงคุณสมบัติของเถ้าชานอ้อยด้วยการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่าง ๆกันและทำการบดให้มีความละเอียดสูงขึ้น เพื่อพัฒนาปูนซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยให้เป็นวัสดุก่อสร้างที่สามารถใช้งานได้เทียบเท่ากับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเถ้าชานอ้อย และยังเป็นการลดพลังงานและปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ อีกทั้งช่วยลดปริมาณของเถ้าชานอ้อยที่เหลือจากการเผาอีกด้วย

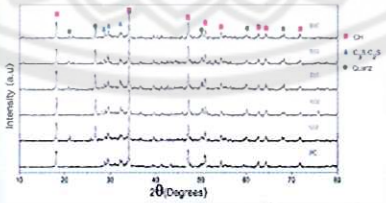
ผลการวิจัย



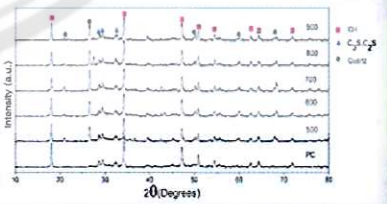
ภาพ 2 กราฟแสดงกำลังอัดของมอร์ตาร์



ภาพ 3 กราฟแสดงความหนาแน่นของมอร์ตาร์



ภาพ 4 กราฟแสดงผล XRD ของปูนซีเมนต์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 – 900 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน



ภาพ 5 กราฟแสดงผล XRD ของปูนซีเมนต์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 – 900 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

ผลของอุณหภูมิแคลไซน์ต่อสมบัติปอซโซลานิกของเถ้าชานอ้อย

(Effect of Calcinations Temperature on Pozzolanicity of Sugarcane Bagasse Ash)

ณัฐวงศ์ โพธิ์คุภานันท์[1], สวนีย์ วนาลีสิน[1], พงษ์ธร จุฬพันธ์ทอง[2,3] และ ธนงศักดิ์ โนไชยา[1,2*]

Nattawong Phosuphanan[1], Savanee Vanaleesin[1], Phongthorn Julphunthong[2,3] and Thanongsak Nochaiya[1,2*]

[1]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[2]งานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[3]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิแคลไซน์ของเถ้าชานอ้อยต่อสมบัติความเป็นปอซโซลาน โดยทำการเผาเถ้าชานอ้อยที่อุณหภูมิ 500°C-900°C แล้วนำไปศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบเฟสด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ตามลำดับ แล้วนำไปทดสอบความเป็นปอซโซลานโดยใช้ดัชนีกำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน ASTM C311จากผลการศึกษาพบว่าโครงสร้างทางจุลภาคของเถ้าชานอ้อยมีลักษณะเป็นรูพรุน โดยมีปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาแคลไซน์เพิ่มขึ้น และพบว่าดัชนีกำลังรับแรงอัดที่ 7 วัน และ 28 วัน ของเถ้าชานอ้อยที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 500°C-600°C มีค่ามากกว่าร้อยละ 75เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C618

คำสำคัญ: เถ้าชานอ้อย/ การเผาแคลไซน์/ ค่าดัชนีกำลังอัด

Abstract

This work investigates the effect of the calcination temperature on pozzolanicity of sugarcane bagasse ash (SCBA), through the strength activity indices as following ASTM C311. SCBA are calcined at the different temperature is between 500°C-900°C. The morphology and phase analysis of SCBA are characterized by using a scanning electron microscope (SEM) and x-ray diffraction (XRD), respectively. The results show that the microstructure of SCBA is found to be porous materials and mainly composed of silica. Moreover, the strength activity indexes of the mortars with 500°C-SCBA and 600°C-SCBA (7 and 28 days) are higher than 75% which are indicated as a good pozzolan for construction as following ASTM C618.

Keywords: Bagasse Ash/ Calcinations/ Strength Activity Index

*Corresponding author. E-mail: thanongsak@buu.ac.th

1. บทนำ

เถ้าฉานอ้อยเป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล โดยประเทศไทยสามารถผลิตอ้อย ในปี พ.ศ. 2550-51ทั้งหมดประมาณ73.3ล้านตัน และหลังจากการผลิตน้ำตาลจะมีชานอ้อยเหลือประมาณร้อยละ25.9 ของน้ำหนักอ้อยหรือคิดเป็นชานอ้อยประมาณ19 ล้านตัน และภายหลังจากการเผาชานอ้อยเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจะเหลือเป็นเถ้าชานอ้อยคิดเป็นปริมาณร้อยละ0.62 ของน้ำหนักอ้อยเริ่มต้น หรือประมาณ 4.5แสนตันต่อปี ทั้งนี้แนวโน้มของเถ้าชานอ้อยจะมีเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลและเอทานอล นอกจากนี้อ้อยยังเป็นพืชที่มีแหล่งผลิตภายในประเทศ เป็นพืชหมุนเวียนสามารถปลูกทดแทนได้ แตกต่างจากเชื้อเพลิงที่ได้จากกิจธรรมชาติ น้ำมัน และถ่านหินที่มีปริมาณจำกัด ซึ่งบางส่วนต้องนำเข้าจากต่างประเทศจึงทำให้ชานอ้อยเป็นอีกหนึ่งทางเลือกเชื้อเพลิงที่มีต้นทุนที่ต่ำ อย่างไรก็ตามปัญหาที่ใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงคือ เถ้าชานอ้อย ซึ่งพบว่ามีการนำเถ้าชานอ้อยไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณเถ้าชานอ้อยที่เกิดขึ้นในแต่ละปี[1] เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคเถ้าชานอ้อยจะมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน พื้นผิวขรุขระและมีรูพรุนสูง โดยมีขนาดของอนุภาคใหญ่กว่า 30 ไมโครเมตรขึ้นไป โดยองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยส่วนใหญ่จะเป็นซิลิกอนไดออกไซด์(SiO_2) เป็นหลัก มีมากกว่าร้อยละ60ขึ้นไป ในทางวิศวกรรมโยธาเถ้าชานอ้อยถือได้ว่าเป็นวัสดุปอซโซลานชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ในงานคอนกรีตได้ สีเถ้าเป็นเถ้าที่มีองค์ประกอบออกไซด์ของซิลิกา และออกไซด์ของอะลูมินาสูง ซึ่งโดยทั่วไปควรมีมากกว่าร้อยละ50สามารถนำไปใช้งานได้เมื่อมีความละเอียดสูงและไม่เป็นผลึกคือสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้[2] ได้เป็นวัสดุเชื่อประสานในเนื้อซีเมนต์เพสต์ได้แต่อย่างไรก็ตามการนำเถ้าชานอ้อยที่ได้จากโรงงานน้ำตาลยังไม่สามารถนำมาใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ได้โดยตรงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของเถ้าชานอ้อยก่อน ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงนำเถ้าชานอ้อยมาปรับปรุงคุณสมบัติก่อนใช้งานโดยศึกษาผลของทุ่นหมู่มินคลไนน์ต่อโครงสร้างและสมบัติปอซโซลานิกของเถ้าชานอ้อย เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้เถ้าชานอ้อยในงานวัสดุโครงสร้าง และยังถือได้ว่าเป็นการนำของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

2. วิธีการศึกษา

2.1การศึกษาสมบัติของเถ้าชานอ้อย

ทำการเตรียมเถ้าชานอ้อยจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เหลือทิ้งมาทำการเผาแคลไนน์ที่อุณหภูมิ500°Cถึง900°C โดยทำการเผาด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูงโดยจะเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปทีละ 10°C/นาที ค้างอุณหภูมิไว้ที่300°C นาน3ชั่วโมง และเพิ่มอุณหภูมิไปที่อุณหภูมิแคลไนน์ (500°C-900°C) ค้างไว้นาน3ชั่วโมง ต่อมานำเถ้าชานอ้อยที่ได้มาบดด้วยบอลมิลบด (ball mill) เป็นเวลา 12ชั่วโมง เพื่อให้เถ้าชานอ้อยมีขนาดละเอียดจากนั้นนำเถ้าชานอ้อยไปศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคและวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) และเทคนิคเรย์สเปคโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer ; EDS)นอกจากนี้ยังได้นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบเฟสของเถ้าชานอ้อยด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer ; XRD) เพื่อศึกษาช่วงทุ่นหมู่มินที่เหมาะสมที่สุดของการเผาเถ้าชานอ้อยที่จะนำไปผสมกับซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานที่ดีที่สุด

2.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา

นำเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการเผาแคลไนน์ที่อุณหภูมิ 500°C-900°C มาทดสอบค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Los of ignition; LOI) มาตรฐาน ASTM C311 [3] โดยใช้เถ้าชานอ้อย 1 กรัม ใส่ในcrucible ชนิดละลูมินาแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำเถ้าชานอ้อยที่เหลือมาชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาตามสมการ (1)
เมื่อ W_a เป็นน้ำหนักก่อนการเผา และ W_b เป็นน้ำหนักหลังการเผา

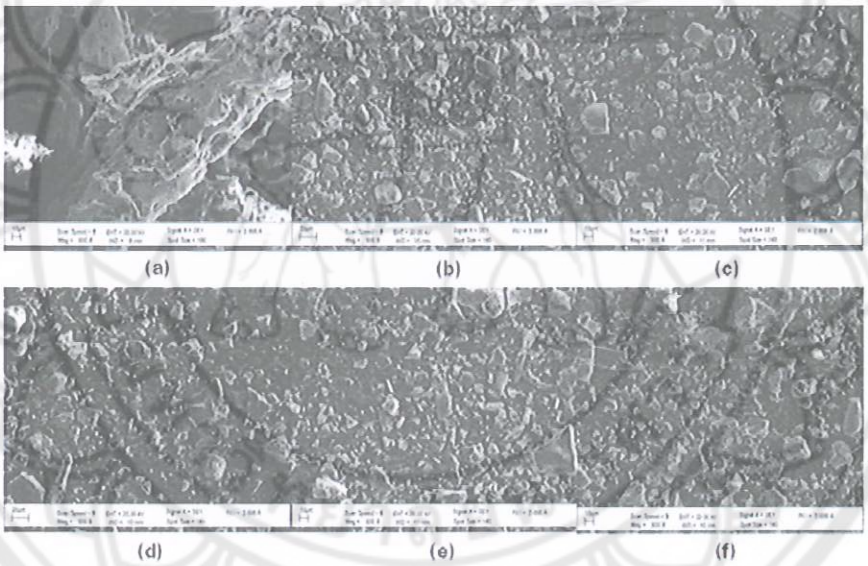
$$LOI\ (\%) = \frac{(W_a - W_b)}{W_a} \times 100 \qquad (1)$$

2.3ทดสอบหัวนึกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

การเตรียมชิ้นงานมอร์ตาร์โดยทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าวานอ้อยที่ผ่านการเผาแคลไซน์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.5 และใช้อัตราส่วนทรายแม่น้ำต่อวัสดุประสาน (s/b) เท่ากับ 2.5 โดยทำการหล่อในแบบหล่อมอร์ตาร์ขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตรจากนั้นจะทำการถอดแบบหลังจากหล่อตัวอย่างครบ24ชั่วโมงแล้วนำชิ้นงานมอร์ตาร์ไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยจะนำไปทดสอบกำลังอัดที่ระยะเวลา7วัน และ28วัน ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าดัชนีกำลังรับแรงอัด(strength activity index) ตามมาตรฐาน ASTM C 311[3] ได้จากอัตส่วนกำลังอัดของชิ้นงานทดสอบเทียบกับกำลังอัดควบคุม ณ ระยะเวลาในการบ่มที่เท่ากัน

3. ผลและอภิปรายผลการทดลอง

การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยเทคนิค SEM ของเถ้าวานอ้อยที่ได้จากโรงงาน (รูป1a) จะมีขนาดใหญ่มากกว่า 100 µm และมีลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งทำให้เถ้าวานอ้อยลักษณะนี้มีความต้องการน้ำในการผสมเป็นอย่างมากจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ ส่วนรูป1b-1f แสดงลักษณะโครงสร้างของเถ้าวานอ้อยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500°C, 600°C, 700°C, 800°Cและ 900°C และผ่านการบดด้วย ball mill เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะเห็นว่าเถ้าวานอ้อยมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม มีรูปร่างไม่แน่นอน มีขนาดประมาณ 1-30 µm และจะเห็นว่าลักษณะของรูพรุนมีขนาดปริมาณน้อยลงเนื่องจากเมื่อผ่านการบดความเป็นรูพรุนก็จะกลายเป็นผิวสัมผัสแทน



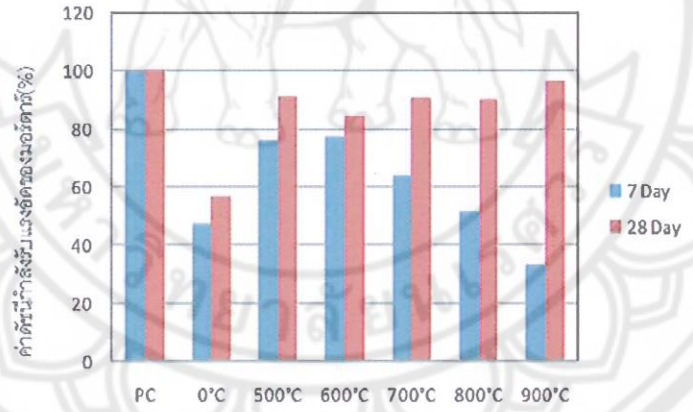
รูปที่ 1ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเถ้าวานอ้อย (a) จากโรงงานน้ำตาล, (b) เผาที่ 500°C, (c)เผาที่ 600°C, (d) เผาที่700°C, (e)เผาที่800°C และ (f) เผาที่900°C

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่พบในเถ้าวานอ้อยด้วยเทคนิค EDS ดังแสดงในตาราง 1 พบว่าเถ้าวานอ้อยที่ได้จากโรงงานที่ยังไม่ได้เผาแคลไซน์จะมีองค์ประกอบธาตุหลักเป็น ซิลิกอน ออกซิเจน และคาร์บอน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 26.0, 33.0 และ 34.2ตามลำดับ ในส่วนของเถ้าวานอ้อยที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 500°C - 900°C พบว่ามีปริมาณซิลิกอนร้อยละ 33.6-37.3 คิดเป็นสัดส่วนของซิลิกอนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 32-49 และพบปริมาณออกซิเจนร้อยละ 37.0-38.8 คิดเป็นสัดส่วนของออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 12-18 ส่วนคาร์บอนพบว่ามี

ปริมาณลดลง (ร้อยละ 14.5-21.6) คิดเป็นสัดส่วนของคาร์บอนที่หายไปร้อยละ 37-58 ซึ่งปริมาณธาตุที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นผลมาจากการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิสูงทำให้คาร์บอนมีปริมาณที่น้อยลงเพราะเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้คาร์บอนในเถ้าหนักย้อยรับตัวกับออกซิเจนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลอยออกสู่อากาศตามปฏิกิริยาการเผาไหม้สารไฮโดรคาร์บอนทั่วไปซึ่งตรงกับผลการทดสอบการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา(LOI) ซึ่งจะเป็นการทดสอบการหายไปของสารหลังจากการเผาที่อุณหภูมิสูง พบว่าเถ้าหนักย้อยที่ได้จากโรงงานที่ไม่ผ่านการเผาจะมีค่า LOI คิดเป็นร้อยละ 8.7และเมื่อทำการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 500°Cจะพบว่าเถ้าหนักย้อยมีปริมาณ LOI ลดลงโดยมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1.1 ตามมาตรฐาน ASTM C 618 [4] วัสดุปอซโซลานจะต้องมีค่า LOI น้อยกว่าร้อยละ 10 สำหรับวัสดุปอซโซลานวนิด Nสำหรับปริมาณ LOI ที่สูงนี้จะมีผลต่อความต้องการน้ำในระหว่างการผสมคอนกรีต

ตารางที่1ผลEDSของเถ้าหนักย้อยที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 0°C-900°C

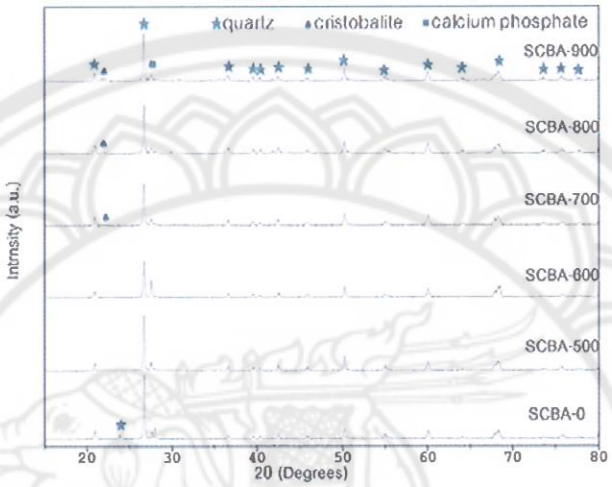
ธาตุ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (%)					
	0	500	600	700	800	900
C	34.18	16.16	21.60	16.14	19.18	14.50
O	33.03	38.58	36.96	37.88	38.76	38.06
Al	2.24	2.84	2.745	3.06	2.535	2.995
Si	25.05	35.78	33.56	35.78	33.90	37.32
P	1.38	1.62	1.50	1.48	0.98	1.70
K	4.13	5.04	3.64	4.64	4.64	5.41
LOI (%)	8.72	1.08	0.98	0.64	1.08	0.31



รูปที่2 กราฟแสดงค่าดัชนีกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าหนักย้อยที่เผาที่อุณหภูมิ 0°C - 900°C ที่ระยะในการบ่ม 7และ28วัน

ในการทดสอบดัชนีกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าหนักย้อยในอัตราส่วนร้อยละ 20ที่ระยะ7วัน และ28วัน ของเถ้าหนักย้อยที่ทำการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 0°C-900°C ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่ามอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าหนักย้อยที่ไม่ได้เผาแคลไซน์นั้น มีค่าดัชนีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าร้อยละ 75 ทั้งที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 7 วันและ 28 วัน ส่วนค่าดัชนีกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าหนักย้อยที่ผ่าน

การเผาที่อุณหภูมิ 500°C - 600°C ที่ระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน มีค่าเท่ากับ76.1%และ77.6% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาที่ระยะ 28วัน ค่าดัชนีกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าดัชนีกำลังรับแรงอัดมีค่าเกินกว่าร้อยละ75 จึงเหมาะสำหรับการนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน ตามมาตรฐาน ASTM C618 แต่อย่างไรก็ตามเถ้าชานอ้อยที่เผาที่อุณหภูมิ 700°C-900°C จะให้ค่าดัชนีกำลังรับแรงอัดที่สูงที่ระยะเวลาในการบ่มที่ 28 วันแต่ในช่วงระยะเวลาสั้น (7 วัน) พบว่ามีค่าดัชนีกำลังอัดที่ต่ำมาก จึงไม่เหมาะสำหรับการนำมาใช้งานจริง



รูปที่3 รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ของเถ้าชานอ้อยที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ0°C-900°C

จากการนำเถ้าชานอ้อยที่ได้จากโรงงานแล้วนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 500°C – 900°Cแล้วนำไปตรวจสอบองค์ประกอบเฟสด้วยเทคนิค XRD เพื่อดูอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงเฟส ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าเถ้าชานอ้อยที่ได้จากโรงงาน (0°C) จะมีองค์ประกอบเป็นquartzและcalcium phosphate (มุม 2θ= 27.8 องศา) ซึ่งตรงตามไฟล์มาตรฐาน JCPDS no.03-0419 และ JCPDS no.03-0429 ตามลำดับ เมื่อทำการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700 °C-900°C จะพบเฟสของ cristobalite (JCPS no.39-1425) เพิ่มขึ้นมา ณ มุม 2θประมาณ 22.0 องศา ทั้งนี้อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิสูง (ตั้งแต่ 700°C) จะเกิดการเปลี่ยนเฟสของซิลิกาในรูปของ quartz ไปเป็นซิลิกาในรูปของ cristobalite ซึ่งตรงกับงานวิจัยก่อนหน้านี้รายงานโดยCordeiroและคณะ[5]

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิจัยผลของอุณหภูมิแคลไซน์ต่อสมบัติปอซโซลานิกของเถ้าชานอ้อยสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิในการเผามีผลโดยตรงต่อสมบัติปอซโซลานิก องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณค่า LOI ของเถ้าชานอ้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอุณหภูมิแคลไซน์ที่ 500°C-600°Cพบว่าดัชนีกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ระยะเวลาในการบ่ม7 วัน และ 28 วันมีค่ามากกว่าร้อยละ75 จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้แทนปูนซีเมนต์ในงานโครงสร้างได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปได้โดยได้รับเงินสนับสนุนจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรทางด้านเครื่องมือการวิเคราะห์ผลในการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือทดสอบกำลังอัด และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทำงานวิจัย จนทำให้งานวิจัยในครั้งนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และวีรชาติ ศิ่งจิรภัทร. (2554). การใช้วัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[2] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2555). การใช้เถ้าชานอ้อยเพื่อเป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[3] ASTM C311-11b (2012). Standard test methods for sampling and testing fly ash or natural pozzolans for using Portland-cement concrete.

[4] ASTM C618-93 (1993). Standard specification for fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete.

[5]G.C. Cordeiro, R.D. Toledo Filho, E.M.R. Fairbairn, Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash, Construction and Building Materials, 23(2009) 3301–3303.

การประชุมวิชาการระดับชาติ "วิทยาศาสตร์วิจัย" ครั้งที่ 6
The 6th National Science Research Conference
20-21 March 2014
Faculty of Science, Burapha University.
SCIENCE RESEARCH CONFERENCE 6th

ผลของอุณหภูมิแคลไซน์ต่อสมบัติปอซโซลานิกของเถ้าชานอ้อย

(Effect of Calcinations Temperature on Pozzolanicity of Sugarcane Bagasse Ash)

ณัฐวงศ์ โพธิ์ศุภานันท์[1], สวนีย์ วนาลีสิน[1], พงษ์ธร จุฬพันธ์ทอง[2,3] และ ทนงศักดิ์ โนใชยา[1,2*]

Nattawong Phosuphanan[1], Savanee Vanaleesin[1], Phongthorn Julphunthong[2,3] and Thanongsak Nochaiya[1,2*]

[1]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[2]สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[3]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

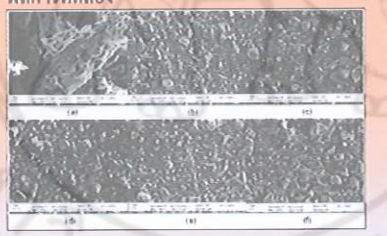
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิแคลไซน์ของเถ้าชานอ้อยต่อสมบัติความเป็นปอซโซลาน โดยทำการเผาเถ้าชานอ้อยที่อุณหภูมิ 500°C-900°C แล้วนำไปศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบเฟสด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ตามลำดับ แล้วนำไปหดสอบความเป็นปอซโซลานโดยใช้ดัชนีกำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน ASTM C311จากผลการศึกษาพบว่าโครงสร้างทางจุลภาคของเถ้าชานอ้อยมีลักษณะเป็นรูพรุน โดยมีปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาแคลไซน์เพิ่มขึ้น และพบว่าดัชนีกำลังรับแรงอัดที่ 7 วัน และ 28 วัน ของเถ้าชานอ้อยที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 500°C-600°C มีค่ามากกว่าร้อยละ 75เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C618

บทนำ

เถ้าชานอ้อยเป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล หลังจากการผลิตน้ำตาลจะมีชานอ้อยเหลือประมาณร้อยละ25.9 ของน้ำหนักอ้อยหรือคิดเป็นชานอ้อยประมาณ19ล้านตัน และภายหลังจากการเผาชานอ้อยเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจะเหลือเป็นเถ้าชานอ้อยคิดเป็นปริมาณร้อยละ0.62 ของน้ำหนักอ้อยเริ่มต้น หรือประมาณ 4.5แสนตันต่อปี ทั้งนี้แนวโน้มของเถ้าชานอ้อยจะมีเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลและเอทานอล อย่างไรก็ตามปัญหาที่ใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงคือ เถ้าชานอ้อย ซึ่งพบว่ามีการนำเอาเถ้าชานอ้อยไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณเถ้าชานอ้อยที่เกิดขึ้นในแต่ละปี เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคเถ้าชานอ้อยจะมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน พื้นผิวขรุขระและมีรูพรุนสูง โดยมีขนาดของอนุภาคใหญ่กว่า 30 ไมโครเมตรขึ้นไป โดยองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยส่วนใหญ่จะเป็นซิลิกอนไดออกไซด์(SiO_2) เป็นหลัก มีมากกว่าร้อยละ50ขึ้นไป ในทางวิศวกรรมโยธาเถ้าชานอ้อยถือได้ว่าเป็นวัสดุปอซโซลานชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ในงานคอนกรีตได้ คือ เป็นเถ้าที่มีองค์ประกอบออกไซด์ของซิลิกา และออกไซด์ของอะลูมินาสูง ซึ่งโดยทั่วไปควรมีมากกว่าร้อยละ50สามารถนำไปใช้งานได้เมื่อมีความละเอียดสูงและไม่เป็นผลึกคือสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้ ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงนำเถ้าชานอ้อยมาปรับปรุงคุณสมบัติก่อนใช้งานโดยศึกษาผลของอุณหภูมิแคลไซน์ต่อโครงสร้างและสมบัติปอซโซลานิกของเถ้าชานอ้อย เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้เถ้าชานอ้อยในงานวัสดุโครงสร้าง และยังถือได้ว่าเป็นการนำของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

วิธีการทดลอง

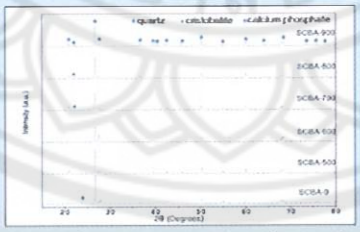
ผลการทดลอง



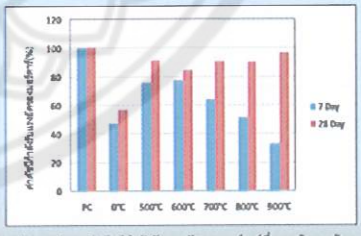
รูป1.ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเถ้าชานอ้อย (a) จากโรงงานน้ำตาล, (b) เผาที่ 500°C, (c)เผาที่ 600°C, (d) เผาที่700°C, (e)เผาที่800°C และ (f) เผาที่900°C

ตารางที่1.ผลEDSของเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 0°C - 900°C

ธาตุ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (%)					
	0	500	600	700	800	900
C	34.16	16.16	21.60	16.14	13.51	14.50
O	33.03	38.55	36.95	37.58	38.76	38.06
Al	2.24	2.64	2.745	3.06	2.539	2.995
Si	25.05	35.76	33.56	35.78	33.90	37.32
P	1.38	1.43	1.50	1.48	0.96	1.70
K	4.13	5.04	3.64	4.54	4.64	5.41
LOI (%)	8.72	1.08	0.38	0.64	1.08	0.31



รูป2.รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ของเถ้าชานอ้อยที่แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 0°C- 900°C



รูป3.กราฟแสดงค่าดัชนีกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยที่มาที่อุณหภูมิ 0°C - 900°C ที่ระยะเวลาการบ่ม 7และ28วัน

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิจัยผลของอุณหภูมิแคลไซน์ต่อสมบัติปอซโซลานิกของเถ้าชานอ้อยสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิในการแคลไซน์มีผลโดยตรงต่อสมบัติปอซโซลานิก องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณค่า LOI ของเถ้าชานอ้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอุณหภูมิแคลไซน์ที่ 500°C-600°Cพบว่าดัชนีกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ระยะเวลาในการบ่ม7 วัน และ 28 วันมีค่ามากกว่าร้อยละ75 ซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาใช้แทนปูนซีเมนต์ในงานโครงสร้างได้

เอกสารอ้างอิง

[1] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และวีรชาติ ตั้งจักรัตน. (2554). การใช้วัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[2] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2555). การใช้เถ้าชานอ้อยเพื่อเป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[3] ASTM C311-11b (2012). Standard test methods for sampling and testing fly ash or natural pozzolans for using Portland-cement concrete.

[4] ASTM C618-93 (1993). Standard specification for fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete.

[5]G.C. Cordeiro, R.D. Toledo Filho, E.M.R. Fairbairn, Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash, Construction and Building Materials, 23(2009) 3301-3303.