อิทธิพลของวัสดุปอซโซลาน ประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินซีเมนต์

โดย

ปิยนุช ม่วงทอง

ธีรินทร์ คงพันธุ์

บวรกิตติ์ เนคมานุรักษ์

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2557

Influence of Pozzolan Materials, Agricultural Waste, on Mechanical Properties of Soil-Cement Brick

By

PIYANUT MUANGTONG

TEERIN KONGPUN

BAWORNKIT NEKHAMANURAK

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2014

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณเงินแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2557 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ผลงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.), สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องและให้การสนับสนุนทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

ปิยนุช ม่วงทอง และคณะ
กรกฎาคม 2558

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A85 / 2557

ชื่อโครงการ : อิทธิพลของวัสดุปอซโซลาน ประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินซีเมนต์

ชื่อนักวิจัย : นางสาวปิยนุช ม่วงทอง ดร.ธีรินทร์ คงพันธุ์ และ ดร.บวรกิตติ์ เนคมานุรักษ์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของวัสดุปอซโซลาน ประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น เถ้าแกลบ และเถ้าชานอ้อย ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินซีเมนต์ รวมถึงการลดต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรบางส่วนมาผสมและขึ้นรูปเป็นอิฐดินซีเมนต์ โดยการนำเถ้าชานอ้อยและเถ้าแกลบมาแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 0, 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนัก นำมาผสมและขึ้นรูปเป็นอิฐดินซีเมนต์ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน รวมทั้งทดสอบความต้านทานกำลังอัดและการดูดซึมน้ำ พบว่าเถ้าแกลบช่วยเพิ่มความต้านทานกำลังอัดให้แก่อิฐดินซีเมนต์ได้ดีกว่าเถ้าชานอ้อย โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมและให้ค่าความต้านทานกำลังอัดสูงสุด คือ อิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 20% โดยน้ำหนัก (C80RHA20) เมื่อเทียบกับอิฐดินซีเมนต์อัตราส่วนอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยทุกอัตราส่วนมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานกำลังอัดของอิฐประสานและมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำไม่เกินตามมาตรฐานกำหนด เถ้าชานอ้อยจึงมีความเหมาะสมนำมาประยุกต์ในเป็นสารปอซโซลานที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่อิฐดินซีเมนต์

คำสำคัญ : วัสดุปอซโซลาน, วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร, อิฐดินซีเมนต์, สมบัติเชิงกล, ความต้านทานกำลังกำลังอัด

E-mail Address : piyanut.mua@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2556 ถึง กันยายน 2557

Abstract

Code of Project : **A 85 / 2557**
Project name : Influence of Pozzolan Materials, Agricultural Waste, on Mechanical Properties of Soil-Cement Brick
Researcher name : Ms.Piyanut Muangtong Dr. Teerin Kongpun and Dr. Bawornkit Nekhamanurak

This research is to study the influence of pozzolan materials, agricultural waste, on mechanical properties of soil-cement brick. It decreases cost of raw materials by using agricultural waste to be replaced Portland cement, mixing and casting as soil-cement brick. In process, bagasse ash (BA) and rice husk ask (RHA) were replaced the amount of Portland cement follow four ratios; 0, 10, 20 and 30 wt%. They were mixed, casted to soil-cement brick and tested the compressive strength and water absorption at curing times of 7, 14 and 28 days. Results indicated that replacing Portland cement with 20% RHA was appropriate ratio and the most compressive strength in all ratios. Moreover, bricks which were mixed by RHA and BA had less compressive strength and water absorption than the standard brick, so RHA was an appropriate ash to use as pozzolan materials which increased compressive strength in soil-cement brick.

Keywords : Pozzolan Materials, Agricultural Waste, Soil-Cement Brick, Mechanical Properties, Compressive strength

---

E-mail Address : piyanut.mua@rmutr.ac.th
Period of Project : October 2013 to September 2014

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์การวิจัย	2
3. สมมติฐานการวิจัย	2
4. กรอบแนวความคิดการวิจัย	2
5. นิยามศัพท์	3
6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	**4**
1. สารปอซโซลาน	4
2. เถ้าชานอ้อย	5
3. เถ้าแกลบ	6
4. อิฐดินซีเมนต์	6
4.1 กรรมวิธีการผลิตอิฐดินซีเมนต์	6
5. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของอิฐดินซีเมนต์	10
5.1 ลักษณะของดิน	10
5.2 ปริมาณปูนซีเมนต์	10
5.3 ปริมาณทราย	10
5.4 ปริมาณน้ำ	11
5.5 การบดอัด	11
5.6 การบ่ม	11
6. ดินลูกรัง	11
7. ลักษณะของดินลูกรัง	11
8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	**15**
1. วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	15
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	15
3. วิธีดำเนินการวิจัย	17
3.1 การเตรียมวัสดุตั้งต้นและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุตั้งต้น	18
3.2 การวิเคราะห์สมบัติของวัสดุตั้งต้น	19
3.3 การออกแบบอัตราส่วนผสม	23
3.4 การผสมและขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ	23
3.5 การทดสอบสมบัติของชิ้นงานทดสอบ	24
บทที่ 4 ผลการวิจัย	**26**
1. บทนำ	26
2. ผลการวิเคราะห์สมบัติของสารปอซโซลาน	26
2.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงเคมีของวัตถุดิบ	26
2.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกายภาพของวัตถุดิบ	27
3. ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกายภาพของอิฐดินซีเมนต์	32
3.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกายภาพด้านความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์	32
3.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกายภาพด้านการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์	34
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	**36**
1. สรุปผลและอภิปรายผล	36
2. ข้อเสนอแนะ	36
3. ปัญหาที่พบในงานวิจัย	36
บรรณานุกรม	**37**
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดสอบความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์	40
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์	45
ประวัติผู้วิจัย	**48**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ขนาดและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของอิฐก่อสร้างสามัญ ตามมาตรฐาน มอก. 77-2545	9
3-1	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบสำหรับขึ้นรูปชิ้นงานมอร์ต้าร์ทรงลูกบาศก์ขนาด 50x50x50 ลูกบาศก์มิลลิเมตร	23
3-2	ชื่ออัตราส่วนของชิ้นงานทดสอบตามระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน	24
4-1	องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ	26
4-2	สมบัติทางกายภาพของเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อย	28

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	กระบวนการผลิตน้ำตาล	5
3-1	แผนผังวิธีดำเนินการวิจัย	17
3-2	วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย	18
3-3	หลักการทำงานของแสงเลเซอร์ในเครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค	19
3-4	หลักการทำงานและส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	21
3-5	หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ตามทฤษฎีของ Bragg’s law	22
3-6	ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการหุ้มฟิล์มพลาสติกตามขั้นตอนการบ่ม	24
3-7	การทดสอบชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด	25
3-8	การทดสอบสมบัติเชิงทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์	25
4-1	สารประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ (RHA) และเถ้าชานอ้อย (BA)	27
4-2	การกระจายตัวของขนาดอนุภาคเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อย	28
4-3	โครงสร้างจุลภาคของเถ้าแกลบที่กำลังขยาย 100X	29
4-4	โครงสร้างจุลภาคของเถ้าแกลบที่กำลังขยาย 300X	29
4-5	โครงสร้างจุลภาคของเถ้าชานอ้อยที่กำลังขยาย 100X	30
4-6	โครงสร้างจุลภาคของเถ้าชานอ้อยที่กำลังขยาย 300X	30
4-7	ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในเถ้าชานอ้อยด้วยเทคนิค EDS	31
4-8	ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในเถ้าแกลบด้วยเทคนิค EDS	31
4-9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกำลังอัดและระยะเวลาการบ่มของอิฐดินซีเมนต์มาตรฐานและอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนัก	32
4-10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกำลังอัดและระยะเวลาการบ่มของอิฐดินซีเมนต์มาตรฐานและอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยที่อัตราส่วน 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนัก	33
4-11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกำลังอัดและระยะเวลาการบ่มของอิฐดินซีเมนต์มาตรฐาน, อิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 20% โดยน้ำหนัก และอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยที่อัตราส่วน 10% โดยน้ำหนัก	34
4-12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและชนิดของอิฐดินซีเมนต์ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน	35

บทที่ 1
บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม หลังการเก็บเกี่ยว และแปรรูปผลผลิตมีวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการดังกล่าวเป็นจำนวนมาก เช่น เถ้าชานอ้อย (Bagasse ash, BA) เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากขั้นตอนการเผาชานอ้อยไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อป้อนกลับสู่กระบวนการผลิตในโรงงานน้ำตาล [1] หรือโรงงานน้ำตาลบางแห่งใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำระหว่างขั้นตอนหีบอ้อย [2], เถ้าแกลบ (Rice husk ash, RHA) เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงสีข้าวที่ได้จากการเผาแกลบเป็นเชื้อเพลิงต้มน้ำเพื่อใช้แรงดันไอน้ำในการสีข้าว [3] และอุตสาหกรรมทำอิฐมอญ ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ในเชิงอุตสาหกรรมถือเป็นวัสดุที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ ไร้มูลค่า และยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด ซึ่งในความเป็นจริงแล้ววัสดุไร้ค่าเหล่านั้นสามารถนำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น การนำเถ้ามาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดิน การใช้เถ้าต่างๆเป็นตัวดูดซับตะกั่ว เป็นต้น แต่การใช้งานตามที่กล่าวมานั้นยังไม่สามารถประยุกต์ใช้เถ้าเหล่านั้นให้เกิดประโยชน์ได้มากนัก ดังนั้นการนำเถ้าที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรบางส่วนมาผสมและขึ้นรูปเป็นอิฐดินซีเมนต์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ทั้งด้านการลดต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์ และการใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร

งานวิจัย และบทความต่างๆ ชี้ให้เห็นว่า เถ้าจากวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตร เช่น เถ้าชานอ้อย และเถ้าแกลบ เหมาะสำหรับนำมาทดแทนปริมาณปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ เนื่องจากเถ้าชานอ้อยมีลักษณะคล้ายเถ้าลอย (Fly ash) มีสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) [4] เช่นเดียวกับเถ้าแกลบ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยซิลิกา (Silica, SiO_2) ในปริมาณที่สูง ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic reaction) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide, $Ca(OH)_2$) ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration reaction) ระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำก่อให้เกิดสารเชื่อมประสาน แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium silicate hydrate, C-S-H) ยึดคอนกรีตให้แข็งแรงเพิ่มขึ้น [5] ในต่างประเทศได้นิยามวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled materials) ได้แก่ ของเสียหรือวัสดุซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม (Industrial waste and by product) เช่น เถ้าลอย เศษขยะประเภทถุงพลาสติก เศษคอนกรีตจากซากตึกเก่า ทั้งนี้การนำวัสดุจากธรรมชาติประเภท วัสดุปอซโซลาน ที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น เถ้าชานอ้อย เถ้าแกลบ มาผสมในคอนกรีต ซึ่งเรียกชื่อว่า กรีนคอนกรีต (Green concrete) จะช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้ง ลดปริมาณการใช้หินปูน (Limestone) ซึ่งเป็นวัตถุดิบของการผลิตปูนเม็ด (Clinker) [6] และส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมจากการลดปริมาณขยะจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ดังนั้นวัสดุปอซโซลาน ประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร จึงน่าสนใจในการนำไปทดแทนปริมาณปูนซีเมนต์บางส่วนสำหรับการผลิตอิฐดินซีเมนต์เชิงอุตสาหกรรม

งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาอิทธิพลของวัสดุปอซโซลาน ประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น เถ้าแกลบ และเถ้าชานอ้อย ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินซีเมนต์ รวมถึงการลดต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรบางส่วนมาผสมและขึ้นรูปเป็นอิฐดินซีเมนต์ ซึ่งต้องสามาถนำมาใช้ได้จริง มีสมบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรม และสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีงานวิจัยชิ้นนี้แก่ชุมชนได้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อลดต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรบางส่วนมาผสมและขึ้นรูปเป็นอิฐดินซีเมนต์ แทนการทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของวัสดุปอซโซลาน ประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อย ต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินซีเมนต์

2.3 เพื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลด้านกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ที่ผลิตได้กับเกณฑ์มาตรฐานของอิฐบล็อคประสานตามหลักอุตสาหกรรม

3. สมมติฐานการวิจัย

จากการศึกษาพบว่าวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อยมีสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วยซิลิกาในปริมาณสูง จะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำทำให้เกิดสารเชื่อมประสาน แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต โดยเป็นการเกิดปฏิกิริยาแบบช้าๆ ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้คอนกรีต การผลิตอิฐดินซีเมนต์ในงานวิจัยนี้มีวัสดุตั้งต้น คือ เถ้าชานอ้อย เถ้าแกลบ ปูนซีเมนต์ และดินลูกรัง ซึ่งอัตราส่วนเถ้าชานอ้อย และเถ้าแกลบถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่น่าสนใจนำมาศึกษา เพราะการผลิตจริงในเชิงอุตสาหกรรม ถ้าสามารถลดต้นทุนการผลิตได้มากจะส่งผลดีต่อการแข่งขันด้านการตลาด และได้เปรียบเชิงการค้ามากกว่าผู้ผลิตรายอื่น การลดต้นทุนดังกล่าวทำได้ โดยการนำเถ้าชานอ้อยมาและเถ้าแกลบมาทดแทนปริมาณปูนซีเมนต์บางส่วน ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง เนื่องจากปัจจุบัน เถ้าชานอ้อย และเถ้าแกลบยังถือเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรที่ไร้มูลค่า

4. กรอบแนวความคิดการวิจัย

เพื่อผลิตอิฐดินซีเมนต์จากวัสดุปอซโซลาน ประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น เถ้าแกลบ, เถ้าชานอ้อยมาเป็นวัสดุตั้งต้นผลิตร่วมกับดินลูกรัง ทราย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 งานวิจัยนี้เล็งเห็นว่าวัสดุปอซโซลานมีสมบัติเป็นสารเชื่อมประสาน แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่อิฐดินซีเมนต์ ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารปอซโซลานและน้ำ หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาปอซโซลาน โดยทำการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ที่แทนปริมาณปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยวัสดุปอซโซลาน เพื่อวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของกำลังอัดที่สอดคล้องกับทฤษฎีของงานวิจัยนี้

5. นิยามศัพท์

สารปอซโซลาน (Pozzolan) หรือ วัสดุปอซโซลาน คือ วัสดุที่มีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นซิลิกา หรือซิลิกาและอลูมินา มีคุณสมบัติในการยึดประสานเล็กน้อยหรือไม่มีเลย แต่เมื่อบดจนเป็นผงละเอียดจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำที่อุณหภูมิปกติ ร่วมกับความชื้น ก่อให้เกิดสารเชื่อมประสานใหม่ซึ่งมีคุณสมบัติในการยึดประสาน คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) เพิ่มขึ้น เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่า ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction)

เถ้าชานอ้อย (Bagasse ash) คือ วัสดุเหลือทิ้งจากขั้นตอนการเผาชานอ้อย เพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าและป้อนกลับสู่กระบวนการผลิตในโรงงานน้ำตาล หรือโรงงานน้ำตาลบางแห่งใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำระหว่างขั้นตอนหีบอ้อย ซึ่งเถ้าที่ผ่านการเผามีลักษณะเป็นผงสีเทาเข้มจนถึงดำและมีองค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วย ซิลิกาในปริมาณสูง

เถ้าแกลบ (Rice husk ash) คือ วัสดุเหลือทิ้งจากโรงสีข้าวที่ได้จากการเผาแกลบเป็นเชื้อเพลิงต้มน้ำเพื่อใช้แรงดันไอน้ำในการสีข้าว ซึ่งเถ้าที่ผ่านการเผามีลักษณะเป็นผงสีเทาเข้มจนถึงดำและมีองค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วย ซิลิกาในปริมาณสูงมาก

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (Portland Cement type I) หรือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) คือ ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา รวมถึงใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

6.1 ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นอิฐดินซีเมนต์จากอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์, วัสดุปอซโซลาน ทราย และดินลูกรัง

6.2 เมื่อทดสอบสมบัติเชิงกล และเชิงเคมี พบว่า อิฐดินซีเมนต์จากอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์, วัสดุปอซโซลาน และดินลูกรัง มีสมบัติเชิงกลผ่านตามมาตรฐาน

6.3 ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าจากการเกษตรที่สมบัติเชิงกลผ่านตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

6.4 มีการเผยแพร่ความรู้จากงานวิจัยให้แก่ชุมชนที่เป็นแหล่งผลิตอิฐ หรือกลุ่มอุตสาหกรรมคอนกรีต เช่น โรงผลิตอิฐประเภทต่างๆ เป็นต้น

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. สารปอซโซลาน (Pozzolan) หรือวัสดุปอซโซลาน

สารปอซโซลาน (Pozzolan) หรือวัสดุปอซโซลาน คือ วัสดุที่มีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นซิลิกา หรือซิลิกาและอลูมินา มีคุณสมบัติในการยึดประสานเล็กน้อยหรือไม่มีเลย แต่เมื่อบดจนเป็นผงละเอียดจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำที่อุณหภูมิปกติ ร่วมกับความชื้น ก่อให้เกิดสารเชื่อมประสานใหม่ซึ่งมีคุณสมบัติในการยึดประสาน นั่นคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) เพิ่มขึ้น เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่า “ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction)”

การใช้สารปอซโซลาน อาจใช้ในรูปของสารผสมเพิ่มในคอนกรีต เช่น คอนกรีตปอซโซลาน (Pozzolan Concrete) เป็นต้น หรืออาจใช้ในรูปของปูนซีเมนต์ผสมสารปอซโซลานก็ได้ เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland-Pozzolan Cement) เป็นต้น

ข้อดี 1. สารปอซโซลานช่วยเพิ่มความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตที่ขาดซีเมนต์ มีผลทำให้กำลังอัดต่ำในระยะแรก แต่กำลังจะสูงขึ้นในระยะยาว

2. สารปอซโซลานช่วยทำให้คอนกรีตมีความคงทนต่อสารเคมีสูงขึ้น เพราะปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ลดลง

3. สารปอซโซลานช่วยลดปริมาณและอัตราความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นทำให้สามารถใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ผสมสารผสมเพิ่มชนิดนี้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 4 สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเหลา (Mass Concrete)

ข้อเสีย 1. สารปอซโซลานมีผลทำให้กำลังอัดต่ำในระยะแรก

2. สารปอซโซลานต้องควบคุมการบ่มให้ได้ดีและใช้ระยะเวลาในการบ่มนานกว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 3 วันแรก

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมสารปอซโซลาน

1.ชนิดของสารปอซโซลาน

2.ปริมาณสารปอซโซลานในส่วนผสมคอนกรีต

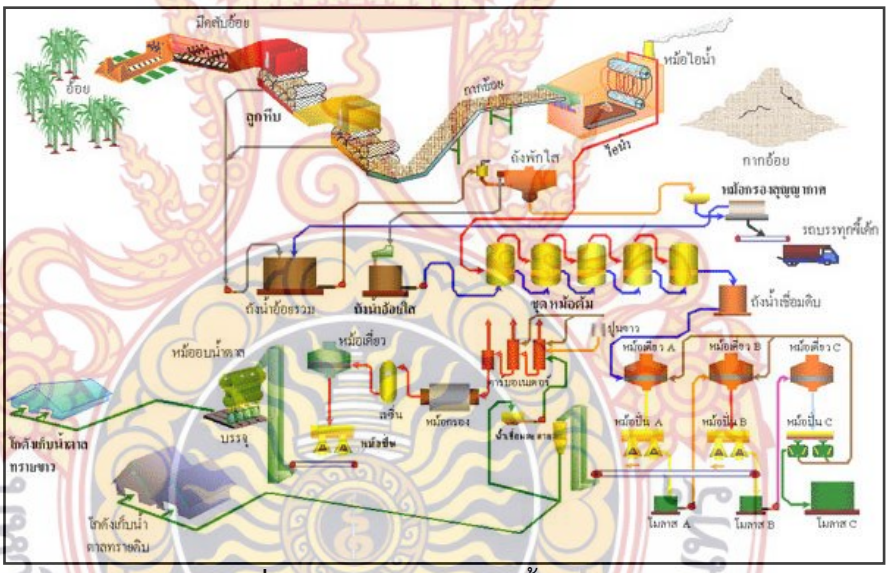
3.การบ่ม

4.อุณหภูมิ

ปริมาณการใช้สารปอซโซลานย่อมขึ้นอยู่กับประเภทและลักษณะงานโครงสร้าง และชนิดและคุณสมบัติของสารปอซโซลาน โดยอาจใช้ได้ในปริมาณมากถึง 15-40% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ หรืออาจมากกว่านี้ สารปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย, ซิลิกาฟูม, วัสดุปอซโซลานธรรมชาติ และMetakaolin เป็นต้น [7]

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม หลังการเก็บเกี่ยว และแปรรูปผลผลิตมีวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการดังกล่าวเป็นจำนวนมาก เมื่อนำใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง จะมีผลพลอยได้จากการเผาวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ คือ เถ้าที่มีสมบัติเป็นสารปอซโซลาน ซึ่งบ่งบอกจากองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณซิลิกา หรืออะลูมินาที่สูงเกิน 60% ขึ้นไป วัสดุปอซโซลานประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรในประเทศไทยมีหลายชนิด ได้แก่ เถ้าชานอ้อย เถ้าแกลบ เถ้าปาล์มน้ำมัน เป็นต้น

2. เถ้าชานอ้อย (Bagasse ash)



ภาพที่ 2-1 กระบวนการผลิตน้ำตาล
ที่มา: ศูนย์บริหารการผลิตอุตสาหกรรม, 2550 [8]

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย และเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตน้ำตาล อุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศไทยผลิตน้ำตาลมากเป็นอันดับ 7 ของโลก หรือประมาณ 7 ล้านตันต่อปี และส่งออกมากเป็นอันดับ 2 ของโลก หรือประมาณ 4.5 ล้านตันต่อปี ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำตาล เริ่มจากนำอ้อย 1 ตันป้อนเข้าสู่โรงงานน้ำตาล และสามารถผลิตเป็นน้ำตาลได้ประมาณ 100-120 กิโลกรัม โดยใช้พลังงานในกระบวนการผลิตน้ำตาลทั้งในขั้นตอนของการหีบอ้อย และการผลิตน้ำตาลโดยเฉลี่ยอยู่ในรูปของไฟฟ้าประมาณ 30 กิโลวัตต์ชั่วโมง และไอน้ำ 0.4 ตันต่อตันของวัตถุดิบ จากนั้นจะเหลือเป็นกากจากกระบวนการผลิตคือ ชานอ้อย ที่มีปริมาณสูงถึง 300 กิโลกรัม โดย

สามารถนำไปใช้ต่อเป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการหีบอ้อยได้ สุดท้ายจะเหลือเป็นเถ้าชานอ้อยออกมา [9]

ผลพลอยได้จากกระบวนการหีบอ้อยปริมาณ 1 ตัน ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ตามภาพที่ 2-1 ดังต่อไปนี้

1. น้ำตาลประมาณ 105-110 กิโลกรัม
2. น้ำประมาณ 500-510 กิโลกรัม
3. ชานอ้อย (ความชื้นร้อยละ 50-52) ประมาณ 270-290 กิโลกรัม
4. กากตะกอนหม้อกรอง (ความชื้นร้อยละ 70-72) ประมาณ 28-40 กิโลกรัม
5. กากน้ำตาลประมาณ 50-60 กิโลกรัม

จากกระบวนการดังกล่าวชานอ้อย หรือชานอ้อย ประกอบด้วยเส้นใยประมาณ ร้อยละ 45 โดยทั่วไปจะใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำที่นำไปใช้ผลิตไฟฟ้าและกระบวนการผลิตน้ำตาล ปัจจุบันมีการนำ ไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตอาหารสัตว์ เยื่อกระดาษ ปาร์ติเกิลบอร์ด (Particle board) ส่วนผลพลอยได้หลังจากการเผาชานอ้อย คือ เถ้าชานอ้อยประมาณร้อยละ 0.3-1 ของชานอ้อย โดยในแต่ละโรงงานมีปริมาณเถ้าชานอ้อยเกิดขึ้นจำนวนมากถึง 10,000-30,000 ตันต่อปี [1] จากฐานข้อมูลสมาคมโรงงานน้ำตาลไทยมีโรงงานผลิตน้ำตาลจำนวน 46 โรง ซึ่งจากรายงานการผลิตน้ำตาล ปี 2550 ประมาณการพบว่า มีปริมาณอ้อยสูงถึง 65 ล้านตันต่อปี หลังกระบวนการผลิตน้ำตาลมีปริมาณชานอ้อยประมาณ 18 ล้านตันต่อปี นำชานอ้อยไปเผาเป็นเชื้อเพลิงจะได้เถ้าชานอ้อยประมาณ 54,000-180,000 ตันต่อปี [8]

3. เถ้าแกลบ (Rice husk ash)

ข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวได้เมื่อนำมาผ่านกระบวนการสีจะได้เมล็ดข้าวกับเปลือกข้าวหรือแกลบ โดยแกลบจะมีน้ำหนักประมาณ 22.5-25.2% ของปริมาณข้าวเปลือก และเมื่อนำแกลบมาผ่านกระบวนเผาเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนสีข้าว จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเถ้าแกลบคิดเป็นร้อยละ 17.4 ของปริมาณแกลบ [10]

4. อิฐดินซีเมนต์

อิฐดินซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้างประเภทหนึ่ง ซึ่งผลิตจากการอัดขึ้นรูปดินผสมทราย ปูนซีเมนต์ และน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมให้เป็นก้อน โดยอิฐดินซีเมนต์เหมาะต่อการนำไปใช้งานก่อสร้างหลายประเภท เช่น อาคาร ที่อยู่อาศัย รั้วกำแพง และอื่นๆ แต่ยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างที่ทำให้อิฐดินซีเมนต์มีคุณสมบัติที่ดีเนื่องจากอิฐดินซีเมนต์ประกอบด้วย ดิน ปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำ

4.1 กรรมวิธีการผลิตอิฐดินซีเมนต์

โดยทั่วไปกรรมวิธีการผลิตอิฐดินซีเมนต์มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน เริ่มจากการเลือกวัตถุดิบ, การผสม, การอัดขึ้นรูป, การบ่ม และการทดสอบสมบัติของอิฐดินซีเมนต์

4.1.1 การเลือกวัตถุดิบ

1) ดินที่มีอยู่ในพื้นที่ของประเทศสามารถที่จะนำมาใช้ในการผลิตได้ โดยทั่วไปนิยมใช้ดินที่มีส่วนละเอียดน้อย กล่าวคือ มีดินเหนียวไม่เกิน 10% โดยน้ำหนัก ดินที่มีทรายหยาบหรือทรายละเอียดปนมากจะดีที่สุด เช่น ดินลูกรัง ดินแดง ดินปนทราย ดินขี้เป็ด หินฝุ่น หินชนวนผุ และศิลาแลง เป็นต้น คัดแยกเศษหญ้า รากไม้ออกจากดินและนำมาบดร่อนผ่านเครื่องร่อน หรือตะแกรงขนาดรูกว้าง 4 มิลลิเมตร (ตะแกรง เบอร์ 5) เพื่อทำให้ดินมีเนื้อละเอียด ส่งผลให้สามารถรับน้ำหนักได้ดีขึ้น

2) ปูนซีเมนต์ โดยทั่วไปใช้ปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland cement) มาเป็นส่วนผสมหลักที่ให้กำลังแก่อิฐดินซีเมนต์

3) น้ำที่ใช้ในการผสมอิฐควรเป็นน้ำสะอาด ตามมาตรฐานงานคอนกรีตทั่วไป

4) ทรายที่ใช้ถูกนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาดรูกว้าง 850 ไมครอน (ตะแกรง เบอร์ 20) และค้างตะแกรงขนาดรูกว้าง 600 ไมครอน (ตะแกรง เบอร์ 30)

4.1.2 การผสม

1) ทำการบดดิน ที่เป็นส่วนผสมหลักที่แห้งไม่เปียกชื้นให้ละเอียด โดยใช้ตะแกรงลวดขนาด 4 มิลลิเมตร เป็นตัวกรองขนาดความละเอียด โดยประมาณ 2 ครั้ง หรือใช้เครื่องร่อนและบดอัดดิน ซึ่งเมื่อบดอัดดินและร่อนแล้วสามารถนำไปใช้ได้เลย

2) ใช้ดินและปูนซีเมนต์ตามอัตราส่วนที่กำหนด (โดยทั่วไปใช้อยู่ประมาณระหว่าง 1:5 – 1:7 ส่วน ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน)

3) ทำการผสมน้ำและทำการคลุกต่อ จนส่วนผสมชื้นตามอัตราส่วนที่กำหนด คลุกเคล้ากันจนทั่ว โดยพยายามอย่าให้ความชื้นระเหยออกไปจนหมด หรือสูญเสียระหว่างการผสม

4.1.3 การอัดขึ้นรูป

1) ตักดินใส่แบบของเครื่องอัดอิฐ โดยการใส่ให้ใส่พูนเล็กน้อย แล้วทำการปาดให้เสมอขอบแบบ โดยใช้กระป๋อง หรือภาชนะตวงให้เสมอกันทุกก้อน

2) ทำการปิดฝาเครื่อง โยกคานลงจนสุด หรือทำการถ่ายแรงตามชนิดของเครื่องโยก จนกระทั่งถึงจุดที่กำหนดของการทำให้แน่น แล้วโยกคานกลับ ทำการเปิกฝา ดันก้อนอิฐที่อัดได้ขึ้นมาจากเครื่อง พิจารณาก้อนอิฐที่ได้หากไม่สมบูรณ์ หรือมีลักษณะที่ไม่ดีให้ทำการทำลาย แล้วทำการอัดขึ้นมาใหม่

3) ยกก้อนอิฐดินซีเมนต์ที่บดอัดได้ตามกำหนด วางลงบนพื้นเรียบและร่ม ทิ้งไว้ 1 วัน จากนั้นจึงนำไปเรียงซ้อนกันทิ้งไว้อย่างน้อยอีก 6 วัน ก็สามารถนำไปใช้งานได้

การอัดสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ การอัดด้วยมือ และการอัดด้วยเครื่อง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การอัดด้วยมือ โดยนำส่วนผสมดิน (ลูกรัง ดินตะกอนประปา) ผสมซีเมนต์ น้ำ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำการคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วนำเทลงในแบบ ทำการอัดด้วยมือหรือถ่ายเทน้ำหนัก เมื่อเป็นรูปร่างดันออกจากแบบ นำไปผึ่งจนแห้งโดยอากาศ ทำการบ่มอย่างน้อย 7

วัน ก็สามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้เลย เนื่องจากอิฐที่อัดด้วยมือจึงทำให้พื้นผิวดูไม่เรียบร้อย ขนาดที่ได้มักจะมีความแตกต่างไปตามขนาดของแบบ ตามความหนาแน่นของดินที่อัดเข้าแบบ การกดตัวของดินที่ใช้ ตลอดจนการนิยมของผู้ใช้ในท้องถิ่นต่างๆ อิฐประเภทนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความแข็งแรง ใช้ในการก่อกำแพงที่ต้องการโชว์ผิว งานกำแพงเปลือยที่ไม่ต้องตกแต่งฉาบปูนทับผิว โดยทั่วไปนิยมผลิตที่ขนาดยาวประมาณ 15.0 ถึง 15.5 เซนติเมตร กว้างประมาณ 7 เซนติเมตร และหนาประมาณ 3.5 ถึง 4.0 เซนติเมตร

2) การอัดด้วยเครื่อง หมายถึง การอัดด้วยเครื่องจักร โดยทำการบดอัดดินให้ละเอียด แล้วนำมาผสมตามอัตราส่วนที่กำหนด นำไปเข้าเครื่องนวด อัด รีด และขึ้นรูปตามแบบมาตรฐานที่กำหนด ในกรณีที่ต้องประทับตราเครื่องหมายการค้า ก็จะนำไปผึ่งให้หมาดแล้วนำมาสู่เครื่องอัดอีกครั้ง เพื่อประทับ ตราชื่อ และเครื่องหมายการค้า หรือประทับลวดลายที่ต้องการ ซึ่งการอัดครั้งหลังนี้จะสามารถทำให้อิฐมีความแน่นขึ้น หลังจากนั้นให้นำออกจากแบบ ทำการบ่มอากาศให้แห้งที่อายุอย่างน้อย 7 วัน หลังจากนั้นก็สามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้เลย การอัดด้วยเครื่อง จะทำให้อิฐแต่ละก้อนมีเนื้อแน่นได้มาตรฐาน ผิวเรียบร้อย มีความสะอาดสวยงาม บางชนิดสามารถทำร่องสำหรับยึดปูนก่อ ทำให้ผนังหรือกำแพงที่ก่อมีความแข็งแรงดีกว่าอิฐชนิดอื่นหรือที่อัดด้วยมือ

โดยทั่วไปอิฐก่อสร้างสามัญสามารถจำแนกได้ 2 ขนาด ได้แก่ อิฐขนาดเล็ก และอิฐขนาดใหญ่

1) อิฐขนาดเล็ก นิยมเรียกว่าอิฐมอญ ตามมาตรฐานของ มอก. จะมีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตันผิวเรียบ โดยทั่วไปที่ผลิตออกจำหน่ายในท้องตลาดขณะนี้ จะเจาะรูไปตามความยาว ของแผ่นอิฐ และมีร่องสำหรับยึดปูนก่อ อิฐชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้ก่อผนัง และกำแพงที่ต้องการฉาบปูนทับผิวหน้าโดยทั่วไป

2) อิฐก้อนขนาดใหญ่ จะมีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตัน ขนาดโดยทั่วไปจะมีขนาดใหญ่กว่าอิฐมอญ ผิวหน้าจะเรียบหรือมีร่องสำหรับยึดปูนก่อ อิฐชนิดนี้จะมีน้ำหนักมากและแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักได้ดี ใช้ในการก่อกำแพงหรือผนังที่ต้องการโชว์แนวที่ไมฉาบปูนทับ บางชนิดตรงกลางของแผ่นอิฐ จะมีอักษรย่อประทับอยู่ โดยทั่วไปขนาดที่ผลิตอยู่ในปัจจุบันขึ้นอยู่กับความนิยมของท้องถิ่น ขนาดที่ผลิตจึงไม่เป็นไปตามมาตรฐานของ มอก.

ขนาดและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของอิฐก่อสร้างสามัญ ตามมาตรฐาน มอก. 77-2545 ได้กำหนดไว้ดังนี้

ตารางที่ 2-1 ขนาดและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของอิฐก่อสร้างสามัญ ตามมาตรฐาน มอก. 77-2545 [11]

ประเภท	ขนาด (มิลลิเมตร)		
	ยาว	กว้าง	หนา
อิฐขนาดเล็ก	140 ± 5	65 ± 3	40 ± 2
	160 ± 5	65 ± 3	40 ± 2
	190 ± 5	90 ± 3	40 ± 2
อิฐขนาดใหญ่	190 ± 5	90 ± 3	65 ± 2
	190 ± 5	90 ± 3	90 ± 3

4.1.4 การบ่ม

เพื่อให้อิฐมีความแข็งแรงคงทนถาวร สามารถรับน้ำหนักได้ดี จึงควรมีกรรมวิธีในการบ่มอิฐดินซีเมนต์ขึ้นอีกขั้นตอนหนึ่ง คือ ขั้นตอนการบ่มอิฐดินซีเมนต์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ทำการเคลื่อนย้ายอิฐที่อัดเสร็จเรียบร้อย โดยการยกอิฐที่อัดแล้วด้วยอุ้งมือทั้งสองข้าง แล้วนำไปวางเรียงไว้ในโรงเรือนหรือบริเวณที่ร่ม

2) ทำการปิดผิวหน้าของอิฐดินซีเมนต์ด้วยฟางข้าวหรือกระสอบป่าน หรือวัสดุในท้องถิ่นที่มีอยู่ ในกรณีที่มีอากาศร้อนมากๆ

3) เมื่อเวลาผ่านไปอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ให้พรมน้ำจนทั่วทุกก้อน หรือใช้ฝักบัวรดน้ำจนเปียกวันละ 2-3 ครั้ง หรือใช้กระสอบป่านชุบน้ำจนเปียก คลุมไว้แล้วรดน้ำให้ชุ่มเป็นเวลาอย่างน้อย 3 วัน

4) หลังจากนั้นนำอิฐดินซีเมนต์ที่ทำการบ่มไปวางซ้อนเรียงกันเก็บไว้ในที่ร่ม วางทิ้งไว้ให้ครบอย่างน้อย 7 วัน (ตั้งแต่การอัดเป็นก้อน) ก็สามารถนำไปใช้ในการก่อสร้างได้

4.1.5 การทดสอบสมบัติของอิฐดินซีเมนต์

โดยทั่วไปตามข้อกำหนดของอิฐดินซีเมนต์ไม่มีระบุไว้ ดังนั้นการทดสอบจึงอนุมานการทดสอบของอิฐประสานมาใช้ในข้อกำหนดของการทดสอบ ซึ่งกำหนดให้มีการทดสอบค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) กำลังต้านทานแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ ต้องไม่น้อยกว่า 70 กก./ตร.ซม. หรือประมาณ 6.86 MPa ที่ค่าเฉลี่ย 5 ก้อน ที่อายุ 28 วัน

2) กำลังต้านทานแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ ต้องไม่น้อยกว่า 55 กก./ตร.ซม. หรือประมาณ 5.40 MPa แต่ละก้อน

3) การดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ ไม่มากกว่าร้อยละ 15 ของน้ำหนักของก้อน [11]

5. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของอิฐดินซีเมนต์

5.1 ลักษณะของดิน

ดินที่นำมาทำอิฐแต่ละแหล่งนั้นมีลักษณะที่แตกต่างกัน สีสันของดิน โดยธรรมชาติก็ยิ่งสร้างความประหลาดใจไม่น้อย สำหรับผู้ที่พบเห็นอย่างในกรณีชุมชนชนบทที่สร้างบ้านด้วยดิน เราจะเห็นบ้านดินสีแดงที่จังหวัดขอนแก่น บ้านดินสีน้ำตาลที่จังหวัดอุบลราชธานี บ้าดินสีม่วงอ่อน สีชมพูอ่อน ที่จังหวัดชัยภูมิ บ้านดินแก่นขนุนที่จังหวัดกระบี่ หรือแม้แต่บ้านดินสีเทาอมดำที่จังหวัดสุรินทร์ และบุรีรัมย์ คุณสมบัติของอิฐซีเมนต์ที่แตกต่างกันของดินแต่ละแหล่งจึงต้องมีการทดสอบคุณสมบัติของดินที่จะนำมาทำอิฐซีเมนต์ ในกรณีดินตัวอย่างมีดินเหนียวผสมอยู่มาก ก็จะทำให้เกิดการหดตัวอย่างรุนแรงทำให้เกิดรอยร้าวที่ผิวความเหนียวของดินยังมีอิทธิพลต่อการบดอัดให้แน่น และเมื่อเพิ่มความชื้นจะทำให้ดินซีเมนต์เกิดการพองตัว (swell) ในทางตรงกันข้าม ถ้ามีดินเหนียวเจือปนอยู่น้อยการยึดเกาะตัวก็จะด้อยลง ขนาดของเม็ดดินมีขนาดคละกัน เพื่อให้เมื่อทำการบดอัดแล้วเม็ดดินที่มีขนาดเล็กจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่าเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่ ทำให้มีความหนาแน่นสูงและมีโพรงอากาศน้อย ดังนั้นดินที่เหมาะสมในการทำอิฐดินซีเมนต์ควรมีค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) ไม่เกินร้อยละ 50 และพิกัดพลาสติก (Plastic Limit) ไม่เกินร้อยละ 18

จากข้อมูลที่ทำการศึกษาดินที่เหมาะสมสำหรับการนำมาทำอิฐดินซีเมนต์ ควรจะมีส่วนผสมของดินเหนียว อยู่ประมาณร้อยละ 20 – 50 โดยปริมาตร ปกติแล้วส่วนมากจะมีส่วนผสมของทั้งดินทราย ดินเหนียว ดินร่วน และกรวดหินต่างๆ ผสมอยู่รวมกัน เราสามารถทดสอบดูปริมาณของดินเหนียวที่ผสมในเนื้อดินได้โดย นำดินเหนียวที่ต้องการทดสอบบดให้ละเอียดบรรจุลงในขวดแก้วใสในปริมาณ 1 ใน 3 ของขวดแก้ว ใส่น้ำเต็มขวดที่ใช้ทดสอบ แล้วเขย่าให้ดินละลายผสมรวมกับน้ำ ทิ้งไว้อย่างน้อยเป็นเวลา 24 ชั่วโมง อาจเติมเกลือเพื่อช่วยเร่งในการตกตะกอน ส่วนผสมที่มีขนาดใหญ่ เช่น กรวดก็จะตกตะกอนก่อน ตามด้วยทราย และดินเหนียวที่มีอนุภาคเล็กสุดจะตกตะกอนภายหลัง แล้วทำการวัดความสูงของตะกอนดินเหนียวจากข้อกำหนดที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น

ปัจจัยในการพัฒนาอิฐดินซีเมนต์คือ คุณสมบัติของดิน ที่มีคุณสมบัติสามารถเก็บเสียง และเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี แต่หากนำไปทำการเผาที่อุณหภูมิสูงเกินกว่า 60 องศาเซลเซียส จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินเปลี่ยนไป

5.2 ปริมาณปูนซีเมนต์

การทำอิฐดินซีเมนต์หากใช้ปูนซีเมนต์มากจะช่วยให้มีความแข็งแรงมากขึ้น และช่วยลดการสึกกร่อนจากสภาวะแวดล้อมอื่นๆ แต่หากใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากเกินไป จะส่งผลให้คุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนดินลดลง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต

5.3 ปริมาณทราย

ในกรณีที่คุณสมบัติของดินที่นำมาทำอิฐดินซีเมนต์มีลักษณะเป็นดินเหนียวมาก ทรายจะเป็นตัวช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของดินเหนียวให้มีความเหมาะสมในการทำอิฐดินซีเมนต์และทรายยังเป็นวัสดุที่ช่วยลดปริมาณของปูนซีเมนต์

5.4 ปริมาณน้ำ

ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมในการทำอิฐดินซีเมนต์ หาได้จากการทดสอบความสามารถในการบดอัด ให้มีความหนาแน่นสูง (Optimum Moisture Content) หาได้จากการทดสอบแรงบดอัด (Compaction test) ในห้องปฏิบัติการซึ่งปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของดินแต่ละชนิดก็จะมีแตกต่างกันไป ปริมาณน้ำควรมีการควบคุมความชื้นหลังจากทำการผสมเนื่องจากระเหยจากเวลาที่เปลี่ยนไป

5.5 การบดอัด

ความแข็งแรงของอิฐดินซีเมนต์ขึ้นอยู่กับการบดอัดให้แน่น ซึ่งมีปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณส่วนผสมต่างๆ กำลังที่ใช้ในการอัด

5.6 การบ่ม

การบ่มเป็นสิ่งที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ [11]

6. ดินลูกรัง

ดินลูกรังเป็นดินที่มีปัญหาชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากมีองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีไม่เหมาะสมสำหรับการเกษตรกรรม เป็นดินตื้น มีกรวด เศษหินปะปนในระดับความลึกของบริเวณการเจริญเติบโตของรากพืชทั่วไป นอกจากนั้นยังมีผลทำให้การชะล้างผิวดินเกิดขึ้นได้ง่าย เพราะชั้นกรวดที่รวมตัวกันหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้นและการซาบซึมน้ำลดลง โดยเฉพาะชั้นดินล่างตอนบน ในประเทศไทยมีดินลูกรังเป็นพื้นที่ประมาณ 68,765 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 13.4 ของพื้นที่ทั้งประเทศ พื้นที่ส่วนใหญ่ของดินนี้อยู่ทางตอนเหนือของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลางของภาคเหนือและภาคตะวันออก พบเล็กน้อยในภาคกลางและภาคใต้ โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือนั้นมีพื้นที่ถึงร้อยละ 42 ของพื้นที่ดินลูกรังทั้งประเทศ [12]

7. ลักษณะของดินลูกรัง

Sivarajaisinghan and Alexander and Cady ได้ให้คำจำกัดความหินลูกรังว่า เป็นแร่ธาตุที่สลายตัวมานาน ส่วนมากประกอบไปด้วย Secondary oxide of iron หรืออลูมินั่ม (Aluminum) หรือทั้งสองอย่าง ซึ่งเกือบจะไม่เป็นด่าง และส่วนมากประกอบด้วย Silica แต่อาจจะมีแร่ Quartz และแร่ Kaolinite เป็นจำนวนมากได้ ลักษณะแข็งหรืออาจจะแข็งเมื่อเปียกหรือแห้ง มีสีของ Oxide คือสีน้ำตาลหรือสีแดงหรือสีน้ำตาลแดง

ความหมายของดินลูกรัง หรือดินปนกรวด (Skeletal Soils) ตามระบบอนุกรมวิธานดิน กระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา หมายถึงดินที่มีชิ้นส่วนหยาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร มากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตรและมีอนุภาคดินพอที่จะแทรกอยู่ในช่องว่างที่มีขนาดโตกว่า 1 มิลลิเมตร ภายในชั้นควบคุมวงศ์ดิน จากคำนิยามของกองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน หมายถึง เศษส่วนหินและ/หรือก้อนกรวด

ลักษณะของดินลูกรัง จัดอยู่ในประเภท Skeletal Soil ได้แก่ดินที่มีเศษหินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่าอยู่ใต้ดินเป็นปริมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่าโดยปริมาตรที่ความลึกไม่เกิน 50 เซนติเมตรจากผิวดิน เป็นได้ทั้งดินทราย (Sandy-skeletal) ดินร่วน (Loamy - skeletal) และดินเหนียว (Clay - skeletal) เกิดได้ทุกสภาพพื้นที่ (Landform)

ดินลูกรัง (Lateritic) จัดอยู่ในกลุ่ม skeletal soil หรือดินตื้นเป็นดินที่มีชั้นศิลาแลง (Lateritic) เกิดขึ้นในหน้าตัดดินที่แสดงให้เห็นว่าขบวนการสลายตัวผุพังต่างๆ เกือบสิ้นสุดแล้ว ธาตุอาหารพืชในวัตถุต้นกำเนิดเดิมถูกชะล้างออกไปจากดิน หรืออยู่ในรูปพืชไม่อาจนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยทั่วไปดินลูกรังแยกออกเป็น 2 ประเภทที่แยกออกได้ชัดเจน คือ ประเภทดินลูกรังร่วนและประเภทเป็นก้อนเกาะเป็นแผ่นทึบ ลูกรังร่วนโดยปกติแล้วจะมีขนาดแตกต่างกันมากตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ถึง 5 เซนติเมตร รายละเอียดของทั้ง 2 แบบ สามารถแยกได้ดังนี้ คือ แบบแรกเมื่อใช้มือบิออกจะเห็นลักษณะ Concentric lamination characteristic แต่แบบที่ 2 จะไม่เห็นโดยทางปฏิบัติแบบแรกเรียกว่า True lateritic หรือ Ground water lateritic ส่วนแบบหลัง เรียกว่า Pseudo lateritic โดยทั่วไปจะพบ lateritic ทั้ง 2 แบบ ปะปนอยู่ในชั้นดินเสมอ แต่จะมีชนิดหนึ่งชนิดใดมากกว่ากันขึ้นอยู่กับลักษณะและบริเวณที่อยู่ในดิน เช่น Pseudo มักจะพบที่ส่วนบนสุดของที่ลาดเอียง มีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ ปกติแล้วเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร แบบที่สองของหินลูกรังเป็นแผ่นแน่นทึบ แต่ก็สามารถแยกย่อยได้ชัดว่ามี 3 ชนิด คือ แบบรังผึ้ง (Honey comb) ซึ่งเป็นแบบที่ลูกรังร่วนเกาะกันแน่นหรือหินก้อนกรวดมายึดกันมากกว่าจะเป็น lateritic การเกิดของหินเหล่านี้แต่ละรูปแบบยังไม่แน่นอนนักเชื่อว่า แบบรังผึ้งเกิดจากแร่ธาตุที่มีเหล็กผสมอยู่มากหรือ Plinthite ถูกยกขึ้นบนผิวดิน และนักวิทยาศาสตร์อื่นๆ ได้อธิบายเพิ่มเติมว่า Plinthite สามารถที่จะแข็งตัวได้หากเกิดสภาพแห้งและเปียกสลับกันในช่วงเวลาพอสมควรทั้งที่ไม่ต้องถูกอากาศ ส่วนอีกสองชนิดที่เหลือเกิดจากการเชื่อมติดกันของลูกรังและกรวดหินมากกว่าการเชื่อมของหินลูกรังโดยธาตุเหล็ก

โดยทั่วไปมักจะพบชนิดของหินลูกรังที่ระดับความลึกที่แน่นอน บางสภาพภูมิประเทศที่ชั้นหินหลวมเกิดจากชั้นหินดินดานล่างที่เป็นวัตถุตามธรรมชาติ บางแห่งวัตถุต้นกำเนิดดินลูกรังจะพบในชั้นหินลูกรัง ซึ่งลักษณะของชั้นดินจะแปรผันตามลักษณะของภูมิประเทศของชั้นหินลูกรังที่พบโนดินประกอบด้วย ดินชั้นบน, ชั้นหินลูกรัง, ชั้นการสลายตัวของหินชั้นล่าง และชั้นหินที่รองรับ โดยความหนาของชั้นหินเปลี่ยนแปลงตามส่วนของสัณฐานธรณี [11]

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เถ้าชานอ้อย มีองค์ประกอบของซิลิกา และอะลูมินา เป็นวัสดุปอซโซลาน ประเภทหนึ่งจากการเกษตร ที่มีความน่าสนใจนำไปศึกษาต่อในด้านการใช้งาน ซึ่งงานวิจัยในต่างประเทศมีการศึกษามายาวนาน ในปี 1994 เริ่มจากการนำผลพลอยได้จากโรงงานน้ำตาล คือ เถ้าชานอ้อยมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วน 12-16 %โดยมวล มาขึ้นรูปโดยการอัดขึ้นรูปที่ความดัน 2-3 นิว

ตันต่อตารางมิลลิเมตร เป็นวัสดุคอมโพสิต (Composite material) มีเถ้าชานอ้อยทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรง (Reinforced material) และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทำหน้าที่เป็นเนื้อวัสดุ (Matrix) พบว่าเมื่อนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพเหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นสิ่งก่อสร้างภายใน [13]

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ข้อด้อยของปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดขึ้นระหว่างเถ้าชานอ้อยกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ของปูนซีเมนต์กับน้ำ คือ ใช้เวลานานในการทำปฏิกิริยา และเป็นปฏิกิริยาที่มีความซับซ้อน มีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องได้แก่ ขนาดอนุภาค อุณหภูมิในการเผา องค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างทางธรรมชาติที่เป็นผลึกหรืออสัณฐาน [14] ปัจจัยที่กล่าวมาพวกนี้ล้วนส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ เช่น กำลังอัด ของมอร์ต้า และคอนกรีตของเถ้าชานอ้อยผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จึงมีการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาปอซโซลานดังต่อไปนี้

การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิการเผาเถ้าชานอ้อยต่อโครงสร้างจุลภาคของเถ้าชานอ้อย พบว่าการเผาเถ้าชานอ้อยในส่วนลำต้นที่อุณหภูมิสูง 1000 องศาเซลเซียส เถ้าชานอ้อยมีโครงสร้างเป็นควอตซ์ (Quartz, SiO_2) ปริมาณสูงส่งผลให้การทำปฏิกิริยาปอซโซลานค่อยๆ เกิด ดีกว่าการเผาเถ้าชานอ้อยในส่วนลำต้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เถ้าชานอ้อยมีโครงสร้างเป็นคริสโตแบไลท์ (Cristobalite, SiO_2) ปริมาณสูง ส่งผลให้การทำปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดขึ้น การเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานที่เร็วเกินไปส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการบวม ส่งผลเสียหายตามมา [14]

การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิการเผาต่อการเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าชานอ้อย พบว่าการเผาเถ้าชานอ้อยที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงจะได้โครงสร้างเป็น ซิลิกาแบบอสัณฐาน (Amorphous silica) มีพื้นที่ผิวจำเพาะมาก และการเพิ่มอุณหภูมิการเผาสูงขึ้นจะช่วยกำจัดปริมาณคาร์บอนออกไปมากขึ้น จึงเหลือคาร์บอนปริมาณน้อยในโครงสร้าง [15]

การศึกษาผลกระทบของการบดเถ้าชานอ้อยต่อลักษณะทางกายภาพของเถ้าชานอ้อย พบว่าการบดเถ้าชานอ้อยให้มีขนาดเล็กส่งผลให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น จากงานวิจัยพบว่าการบดด้วยลูกบดทรงกระบอกด้วยเวลาการบด 4 ชั่วโมงจะมีขนาดอนุภาคเล็กสุด 5.4 ไมครอน และส่งผลให้มีกำลังอัดสูงสุดที่ 38.83 เมกะปาสคาล (MPa) [16]

การศึกษาพฤติกรรมทางกลของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบละเอียด พบว่าเถ้าแกลบละเอียดมีการทำปฏิกิริยาที่สูง และสามารถใช้เป็นวัสดุซีเมนต์ในงานคอนกรีตได้ โดยเถ้าแกลบที่มีความละเอียดมากจะมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าเถ้าแกลบที่มีความละเอียดน้อย การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย 20% ของเถ้าแกลบละเอียดส่งผลให้โมดูลัสของความยืดหยุ่นมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาเล็กน้อย ส่วนอุณหภูมิของปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบจะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาทุกอัตราส่วน [17]

สำหรับงานวิจัยในประเทศไทยเน้นไปทางการผลิตออกมาเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่างๆ เช่น การผลิตกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นด้วยเถ้าชานอ้อย และเถ้าลอย เพื่อทดแทนปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งควรผสมปริมาณเถ้าชานอ้อย และเถ้าลอยลงไปไม่เกิน 20 %โดยองค์ประกอบจะมีความสามารถในการต้านทานแรงดัดตามขวางที่ดี [18] และการผลิตคอนกรีตมวลเบาด้วยเถ้าชานอ้อยผสมกับสารตัวเติม พบว่าในคอนกรีตมวลเบาสามารถแทนที่ทรายด้วยเถ้าชานอ้อยได้ถึง 50 %โดยน้ำหนัก โดยที่ยังคงสมบัติเชิงกลที่ดีมีแนวโน้มเหมาะสำหรับนำไปพัฒนาต่อ [19]

นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดอนุภาคเถ้าชานอ้อยส่งผลโดยตรงต่อการพัฒนากำลังอัดในมอร์ต้าผสมเถ้าชานอ้อย 20 %โดยน้ำหนัก เพื่อทดแทนปริมาณปูนซีเมนต์ พบว่ายิ่งมีขนาดอนุภาคเถ้าชานอ้อยเล็ก ยิ่งทำให้กำลังอัดมีค่าสูงขึ้น จากการนำเถ้าชานอ้อยผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 200 พบว่ามีกำลังอัดสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 88 เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ต้าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1ในช่วงอายุการบ่ม 28 วัน [20]

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

บทที่ 3
ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาผลกระทบของวัสดุปอซโซลาน ประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินซีเมนต์ โดยวัสดุปอซโซลานที่นำมาศึกษามี 2 ชนิด คือเถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อยมาแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 บางส่วนในอัตราส่วนต่างๆ มาผสมกับทราย และดินลูกรัง จากนั้นอัดขึ้นรูปเป็นก้อนอิฐดินซีเมนต์และทดสอบสมบัติเชิงกล รวมถึงสมบัติเชิงกายภาพ เพื่อนำผลการทดลองที่ได้รับมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรมของการผลิตอิฐโดยทั่วไป

1. วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตราอินทรีเพชร
1.2 ทรายหยาบ
1.3 ดินลูกรัง
1.4 เถ้าชานอ้อย
1.5 เถ้าแกลบ
1.6 น้ำประปา

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 เครื่องผสมมอร์ต้าร์แบบใช้ไฟฟ้า
2.2 เครื่องชั่ง ความละเอียด 2 ตำแหน่ง
2.3 แท่งกระทุ้งแบบทดสอบกำลังอัด
2.4 เกรียงสำหรับงานก่อสร้าง
2.5 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
2.6 เครื่องทดสอบกำลังอัด (Universal testing machine; UTM)
2.7 แบบหล่อมอร์ต้าร์ทรงลูกบาศก์ ขนาด 50x50x50 mm^3
2.8 บีกเกอร์
2.9 กระบอกตวง
2.10 ถุงมือยาง
2.11 ฟิล์มพลาสติก
2.12 หน้ากากอนามัย
2.13 ผ้าขนหนู
2.14 ถังน้ำพลาสติกสี่เหลี่ยม
2.15 แปรงทองเหลือง
2.16 เทปกาว

2.17 ถุงพลาสติกและถุงซิปบรรจุวัตถุดิบ
2.18 ช้อนพลาสติกสำหรับตักวัตถุดิบ
2.19 แปรงทาน้ำมันเคลือบแบบหล่อโลหะ
2.20 ฟิล์มพลาสติกใส
2.21 ตะแกรงร่อน ขนาดเบอร์ 10 20 30 และ325
2.22 เครื่องบดวัตถุดิบ
2.23 เตาอบวัตถุดิบ
2.24 เครื่อง Laser particle sizer
2.25 เครื่อง Scanning electron microscope (SEM), ยี่ห้อ JEOL, รุ่น JSM-6610LV
2.26 เครื่อง X-ray fluorescence (XRF), ยี่ห้อ Bruker, รุ่น model S8 Tiger
2.27 เครื่อง X-ray diffractometer (XRD)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยศึกษาผลกระทบของวัสดุปอซโซลาน ประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินซีเมนต์มีขั้นตอนตามภาพที่ 3-1

ภาพที่ 3-1 แผนผังวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมวัสดุตั้งต้นและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุตั้งต้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุดิบสำหรับใช้ในการขึ้นรูปอิฐดินซีเมนต์ จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1, ทรายหยาบ, ดินลูกรัง, เถ้าชานอ้อย และเถ้าแกลบ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตราอินทรีเพชรของบริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) เป็นปูนซีเมนต์ที่ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐดินซีเมนต์

เถ้าชานอ้อยตามภาพที่ 3-2 เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยที่ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด จ.ราชบุรี ซึ่งเถ้าชานอ้อยเกิดจากการนำชานอ้อยมาผ่านการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 300 – 400 $^{\circ}$C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อปริมาณชานอ้อย 5,000 ตันเพื่อเป็นเชื้อเพลิงให้พลังงานความร้อนแก่หม้อต้มในกระบวนการหีบอ้อยในการผลิตน้ำตาล สำหรับงานวิจัยนี้ เถ้าถูกนำมาอบให้ความร้อนในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 $^{\circ}$C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าความชื้นในเถ้าจะหมดไปและบดด้วยเครื่องบดเหล็กกล้าเป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นนำเถ้าละเอียดมาร่อนผ่านตะแกรงรูกว้าง 45 ไมครอน (ตะแกรง เบอร์ 325)

เถ้าแกลบตามภาพที่ 3-2 เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยที่ได้รับความอนุเคราะห์จากกลุ่มชาวบ้านที่ผลิตอิฐมอญ จ.พระนครศรีอยุธยา ซึ่งเถ้าแกลบเป็นเถ้าที่เกิดจากการนำแกลบไปเผาเป็นพลังงานความร้อนให้แก่กระบวนการผลิตอิฐมอญในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 950 – 1,100 $^{\circ}$C เป็นเวลา 2 – 3 วันจนสังเกตเห็นอิฐสุก (เปลี่ยนสีอิฐเป็นสีส้ม) สำหรับงานวิจัยนี้ เถ้าถูกนำมาอบให้ความร้อนในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 $^{\circ}$C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าความชื้นในเถ้าจะหมดไปและบดด้วยเครื่องบดเหล็กกล้าเป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นนำเถ้าละเอียดมาร่อนผ่านตะแกรงรูกว้าง 45 ไมครอน (ตะแกรง เบอร์ 325)

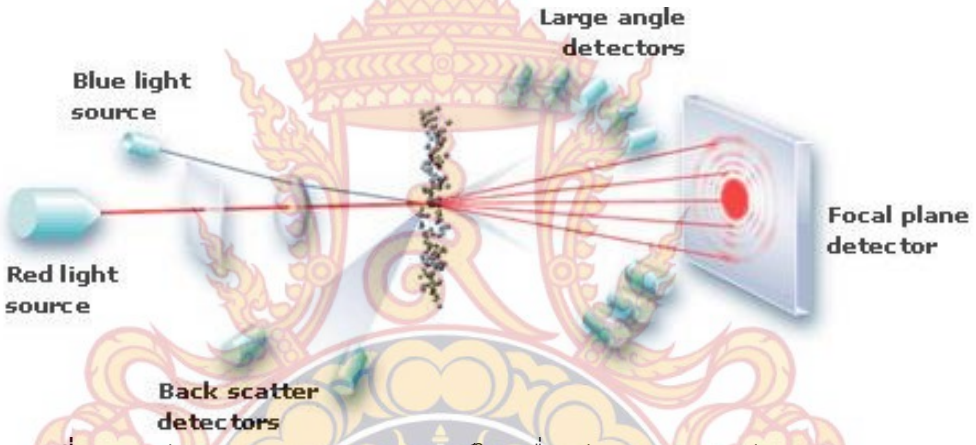
ภาพที่ 3-2 วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย ก) เถ้าชานอ้อย ข) เถ้าแกลบ

ทรายหยาบถูกเตรียมโดยการนำไปตากแดดให้แห้งเป็นระยะเวลาประมาณ 2 วัน จากนั้นนำทรายที่แห้งแล้วมาร่อนผ่านตะแกรงรูกว้าง 850 ไมครอน (ตะแกรง เบอร์ 20) และค้างตะแกรงรูกว้าง 600 ไมครอน (ตะแกรง เบอร์ 30)

3.2 การวิเคราะห์สมบัติของวัสดุตั้งต้น

วัตถุดิบในงานวิจัย ได้แก่ เถ้าชานอ้อย เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์ถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติด้วยเครื่องมือดังต่อไปนี้

3.2.1 เครื่อง Laser particle sizer คือ เครื่องมือที่ใช้ศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของสารตัวอย่าง โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของเลเซอร์ (Laser Diffraction) จากแหล่งกำเนิดเลเซอร์ชนิด แก๊สฮีเลียม-นีออน ซึ่งเป็นแสงสีแดงมีความยาวคลื่น 632.82 nm ลำแสงจะถูกขยายขนาดโดย Beam expander แล้วส่องผ่านไปยังอนุภาคที่เป็นสารแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลวมีความโปร่งใสและมีค่าดัชนีหักเหแตกต่างจากอนุภาค จนเกิดการกระเจิงของแสงที่บริเวณผิวของอนุภาคได้และไม่ทำปฏิกิริยากับอนุภาคของสารที่ต้องการวิเคราะห์ นอกจากนี้ปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคจะต้องสูงพอที่จะได้ข้อมูลเชิงสถิติที่ดี แต่ต้องไม่เข้มข้นเกินไปจนเกิดการกระเจิงซ้ำกันหลายครั้ง



ภาพที่ 3-3 หลักการทำงานของแสงเลเซอร์ในเครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

เมื่อแสงเลเซอร์เดินทางผ่านอนุภาคที่เป็นสารแขวนลอยจะเกิดปรากฏการณ์กระเจิงของแสง โดยแสงที่กระเจิงจากอนุภาคจะมีรูปแบบของความเข้มที่มุมต่างกันขึ้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค แต่ละมุมของการกระเจิงจะมีสัดส่วนผกผันกับขนาดของอนุภาค ซึ่งสมบัติการกระเจิงของแสงจากอนุภาคนี้สามารถใช้ในการคำนวณหาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคได้ โดยลำแสงที่กระเจิงจากอนุภาคจะถูกส่งผ่านไปยังเลนซ์รวมแสงทำให้เกิดภาพปรากฏเป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนแบบพาร์ฟิลด์ (Far field diffraction pattern) ที่ Photocell detector ซึ่งวางอยู่บนระนาบที่ตั้งฉากกับเส้นทางเดินของแสงเลเซอร์ ที่จุดโฟกัสของการเลี้ยวเบนจะมีลักษณะเป็นวงมืด-สว่างสัมพันธ์กับการกระจายตัวของขนาดอนุภาค เลนซ์รวมแสงได้ถูกออกแบบให้มีคุณสมบัติพิเศษ คือ ไม่ว่าอนุภาคจะก่อให้เกิดการกระเจิงที่บริเวณใดในลำแสงเลเซอร์ก็ตาม รูปแบบการเลี้ยวเบนจะไม่เคลื่อนไหว และมีจุดศูนย์กลางอยู่บนแกนออฟติกของเลนซ์เสมอ จากการกระเจิงของแสงที่ได้สามารถคำนวณหาขนาดอนุภาคได้ตามทฤษฎีของมี (Mie theory) โดยใช้ค่าดัชนีหักเหและค่าการดูดซับแสงของอนุภาคและตัวกลางร่วมด้วย

จากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์สีแดงและสีน้ำเงินเคลื่อนที่ผ่านกลุ่มตัวอย่าง แสงสีแดงมีความยาวคลื่น 632.82 นาโนเมตร ใช้วัดอนุภาคขนาดใหญ่ และแสงสีน้ำเงินมีความยาวคลื่น 473.00 นาโนเมตร ใช้วัดอนุภาคขนาดเล็ก และมีดีเทคเตอร์รับแสงการเลี้ยวเบนของเลเซอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคและบันทึกค่าเฉลี่ยการกระจายตัวของขนาดอนุภาคด้วยการประมวลผลของเครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผ่านคอมพิวเตอร์

โดยมุมของการเลี้ยวเบนจะขึ้นกับขนาดอนุภาค (Rahaman) ซึ่งความสัมพันธ์ดังนี้

$$\sin\theta = \frac{1.22\lambda}{t} \quad (3\text{-}1)$$

หากพิจารณาที่มุมการเลี้ยวเบนน้อยๆ จะได้

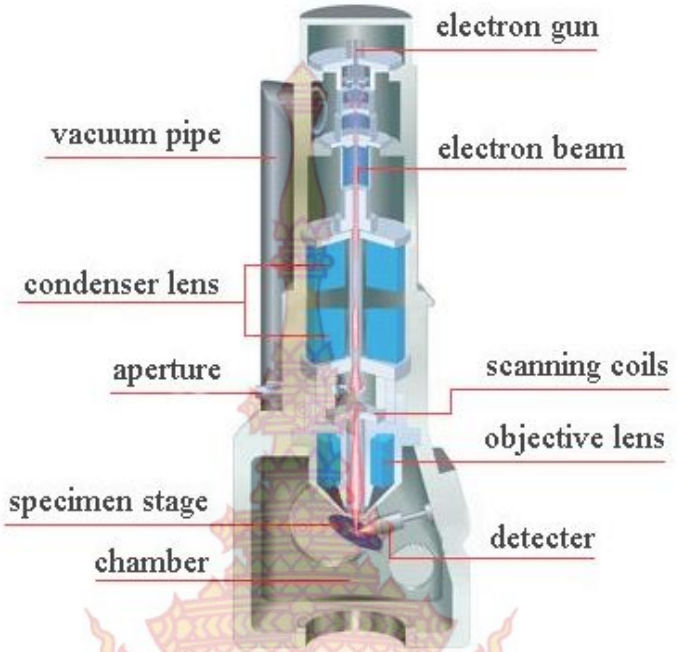
$$\theta = \frac{1.22\lambda}{t} \quad (3\text{-}2)$$

เมื่อ θ คือ มุมของการเลี้ยวเบน

t คือ ขนาดอนุภาค

λ คือ ความยาวคลื่นแสงที่กระทบอนุภาค

3.2.2 เครื่อง Scanning electron microscope (SEM) หรือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด คือ กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูงในการตรวจสอบวัตถุแทนแสงธรรมดา เนื่องจากความยาวคลื่นของลำอนุภาคอิเล็กตรอนนั้นสั้นกว่าความยาวคลื่นแสงถึง 100,000 เท่า ทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสามารถให้ประสิทธิภาพของกำลังขยาย และการแจกแจงรายละเอียดได้เหนือกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยสามารถแยกรายละเอียดของวัตถุที่เล็กขนาด 10 อังสตรอม หรือ 0.1 นาโนเมตร (กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงจะแจกแจงรายละเอียดได้ประมาณ 0.2 ไมโครเมตร) จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีกำลังขยายสูงมากถึง 500,000 เท่า การสร้างภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนนี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถใช้งานร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์อื่น เช่น Energy Dispersive Spectrometry (EDS) และ Wavelength Dispersive Spectrometry (WDS) ที่เป็นข้อมูลทางเคมี จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน



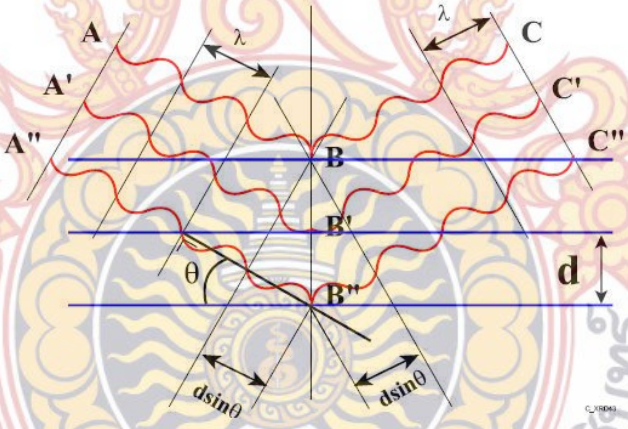
ภาพที่ 3-4 หลักการทำงานและส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย

3.2.3 เครื่อง X-ray fluorescence (XRF) คือ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบ โดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยสามารถใช้ได้กับงานวิจัยในหลายๆ ด้าน เช่น วัสดุศาสตร์, ธรณีวิทยา, สิ่งแวดล้อม, ทางการแพทย์ รวมถึงตัวอย่างจากอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เป็นต้น การวิเคราะห์ของเครื่อง XRF จะอาศัยหลักการเรื่องรังสีเอกซ์ ของตัวอย่าง โดยจะยิงรังสีเอกซ์เข้าไปในตัวอย่าง ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่างจะดูดกลืนรังสีเอกซ์ แล้วคายพลังงานออกมา โดยพลังงานที่คาย หรือ Fluorescene ออกมานั้น จะมีค่าพลังงานขึ้นกับชนิดของธาตุที่อยู่ในตัวอย่างนั้นๆ ทำให้เราสามารถแยกได้ว่า ในตัวอย่างที่ทดสอบนั้น มีธาตุอะไรอยู่บ้าง โดยใช้ Detector วัดค่าพลังงานที่ออกมาจากตัวอย่าง

3.2.4 เครื่อง X-ray diffractometer (XRD) หรือเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ คือ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้อีกด้วย ในผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิดจะมีขนาดของ Unit Cell ที่ไม่เท่ากัน ทำให้รูปแบบของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ออกมาไม่เหมือนกัน ทำให้หาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่างๆ กับรูปแบบของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงชนิดของสารประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สามารถคำนวณหาปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในสารตัวอย่าง, ขนาดอนุภาคของแต่ละ Unit cell, ความเครียดของตัวอย่าง และค่าความเป็นผลึกของสารตัวอย่าง รวมถึงวิเคราะห์หาองค์ประกอบของฟิล์มบาง และค่าความหนาของชั้นฟิล์มบางได้อีกด้วย

เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เป็นเครื่องมือวิเคราะห์เลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในผลึกของตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการของ Bragg's law ตามสมการที่ 3 ในการคำนวณค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ที่ยิงผ่านชั้นผลึกในตัวอย่าง โดยใช้ Detector รับความเข้มของรังสีเอกซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนในมุมต่างๆ ของการทดสอบและวิเคราะห์ผลออกมาเป็นชนิดของสารประกอบต่างๆ ที่มีในสารตัวอย่าง



ภาพที่ 3-5 หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ตามทฤษฎีของ Bragg's law

$$2\mathrm{d}\sin\theta = n\lambda \qquad (3\text{-}3)$$

เมื่อ θ คือ มุมตกกระทบ

d คือ ระยะห่างของระนาบสองระนาบในผลึก

n คือ เลขจำนวนเต็ม

λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีที่กระทบผลึก

3.3 การออกแบบอัตราส่วนผสม

อัตราส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์ถูกออกแบบตามตารางที่ 3-1 ประกอบด้วยปริมาณ ดินลูกรัง : ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ เท่ากับ 63 : 15.75 : 8.75 : 12.5 [11] และมีการนำปริมาณเถ้าชานอ้อยและเถ้าแกลบมาแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์บางส่วนในอัตราส่วน 0 (0% เป็นอัตราส่วนมาตรฐานใช้สำหรับเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการเติมเถ้าและไม่เติมเถ้า) 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 3-1 อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบสำหรับขึ้นรูปชิ้นงานมอร์ต้าร์ทรงลูกบาศก์ขนาด 50x50x50 ลูกบาศก์มิลลิเมตร

ประเภทอัตราส่วน	ชื่ออัตราส่วน	ปริมาณวัตถุดิบสำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน 5 ก้อน				
		เถ้า (กรัม)	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	ดิน (กรัม)	ทราย (กรัม)	น้ำ (กรัม)
อัตราส่วนมาตรฐาน	C100A0	-	236.250	945.000	131.250	187.500
อัตราส่วนผสมเถ้าชานอ้อย	C90BA10	23.625	212.625	945.000	131.250	187.500
	C80BA20	47.250	189.000	945.000	131.250	187.500
	C70BA30	70.875	165.375	945.000	131.250	187.500
อัตราส่วนผสมเถ้าแกลบ	C90RHA10	23.625	212.625	945.000	131.250	187.500
	C80RHA20	47.250	189.000	945.000	131.250	187.500
	C70RHA30	70.875	165.375	945.000	131.250	187.500

3.4 การผสมและขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

วัตถุดิบถูกชั่งน้ำหนักและผสมในอัตราส่วนที่กำหนดตามตารางที่ 2 โดยเริ่มจากการผสมแห้งในถุงพลาสติกที่ผ่านการเขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำวัตถุดิบในอัตราส่วนต่างๆ ที่ผ่านการผสมแห้งมาผสมกับน้ำ โดยคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกันและอัดขึ้นรูปด้วยมือในแบบหล่อมอร์ต้าร์ทรงลูกบาศก์ ขนาด 50x50x50 mm^3 เมื่อเก็บแบบหล่อออกจะได้ชิ้นงานทดสอบทรงลูกบาศก์จำนวน 5 ก้อนต่อ 1 อัตราส่วนและนำชิ้นงานทดสอบไปบ่มน้ำ โดยการนำฟิล์มพลาสติกมาหุ้มชิ้นงานทดสอบและเก็บไว้ในที่มืดตามระยะเวลาการบ่มจำนวน 3 ช่วงเวลา คือ 7, 14 และ 28 วัน ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ชื่ออัตราส่วนของชิ้นงานทดสอบตามระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

ประเภทอัตราส่วน	ชื่ออัตราส่วน		
	ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน	ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน
อัตราส่วนมาตรฐาน	D7C100A0	D14C100A0	D28C100A0
อัตราส่วนผสมเถ้าชานอ้อย	D7C90BA10	D14C90BA10	D28C90BA10
	D7C80BA20	D14C80BA20	D28C80BA20
	D7C70BA30	D14C70BA30	D28C70BA30
อัตราส่วนผสมเถ้าแกลบ	D7C90RHA10	D14C90RHA10	D28C90RHA10
	D7C80RHA20	D14C80RHA20	D28C80RHA20
	D7C70RHA30	D14C70RHA30	D28C70RHA30

ภาพที่ 3-6 ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการหุ้มฟิล์มพลาสติกตามขั้นตอนการบ่ม

3.5 การทดสอบสมบัติของชิ้นงานทดสอบ

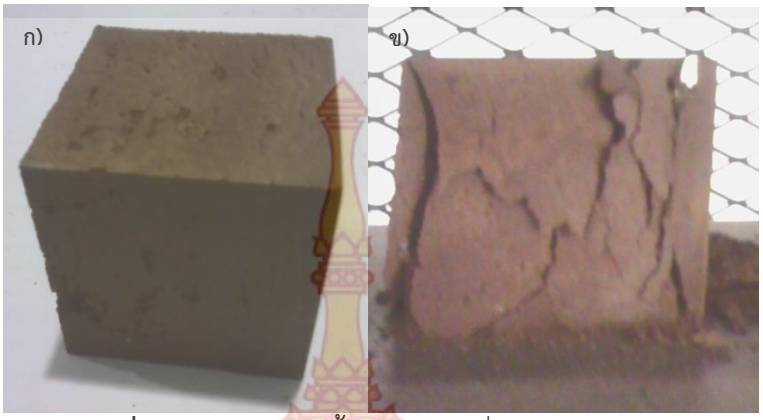
3.5.1 การทดสอบสมบัติเชิงด้านกำลังอัด เมื่อชิ้นงานทดสอบถูกบ่มครบตามระยะเวลาการบ่ม ชิ้นงานจะถูกแกะออกจากฟิล์มพลาสติกและนำมาทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด โดยกำลังต้านแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์คำนวณตามสมการที่ 3-4 ดังนี้ [21]

$$S = \frac{P}{A} \tag{3-4}$$

เมื่อ S คือ กำลังต้านทานแรงอัดหรือกำลังอัดประลัยของมอร์ต้าร์ (MPa หรือ kg/cm^2)

P คือ แรงอัดประลัยที่ทำให้มอร์ต้าร์วิบัติ (N หรือ kg)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของมอร์ต้าร์ที่รับแรง (mm^2 หรือ cm^2)



ภาพที่ 3-7 การทดสอบชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด
ก) อิฐดินซีเมนต์ก่อนการทดสอบกำลังอัด ข) อิฐดินซีเมนต์หลังการทดสอบกำลังอัด

3.5.2 การทดสอบสมบัติเชิงทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำ เริ่มจากนำชิ้นงานทดสอบที่ถูกแกะออกจากแบบหล่อมาชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักก่อนแช่น้ำ) จากนั้นชิ้นงานจะถูกนำไปแช่น้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน เมื่อครบกำหนดชิ้นงานถูกนำขึ้นมาจากน้ำ ซับน้ำพอหมาด ชั่งน้ำหนักชิ้นงาน (น้ำหนักหลังแช่น้ำ) และนำค่าน้ำหนักก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ ตามสมการที่ 3-5

$$\% = \left(\frac{W_2 - W_1}{W_1}\right) \times 100 \qquad (3\text{-}5)$$

เมื่อ $\%$ คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์
W_1 คือ น้ำหนักของก่อนแช่น้ำอิฐดินซีเมนต์ (g)
W_2 คือ น้ำหนักของหลังแช่น้ำอิฐดินซีเมนต์ (g)

ภาพที่ 3-8 การทดสอบสมบัติเชิงทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์

บทที่ 4
ผลการวิจัย

1. บทนำ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาอิทธิพลของวัสดุปอซโซลาน ประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น เถ้าแกลบ และเถ้าชานอ้อย ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินซีเมนต์ รวมถึงการลดต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรบางส่วนมาผสมและขึ้นรูปเป็นอิฐดินซีเมนต์ ซึ่งต้องสามาถนำมาใช้ได้จริง มีสมบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรม และสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีงานวิจัยชิ้นนี้แก่ชุมชนได้

2. ผลการวิเคราะห์สมบัติของสารปอซโซลาน

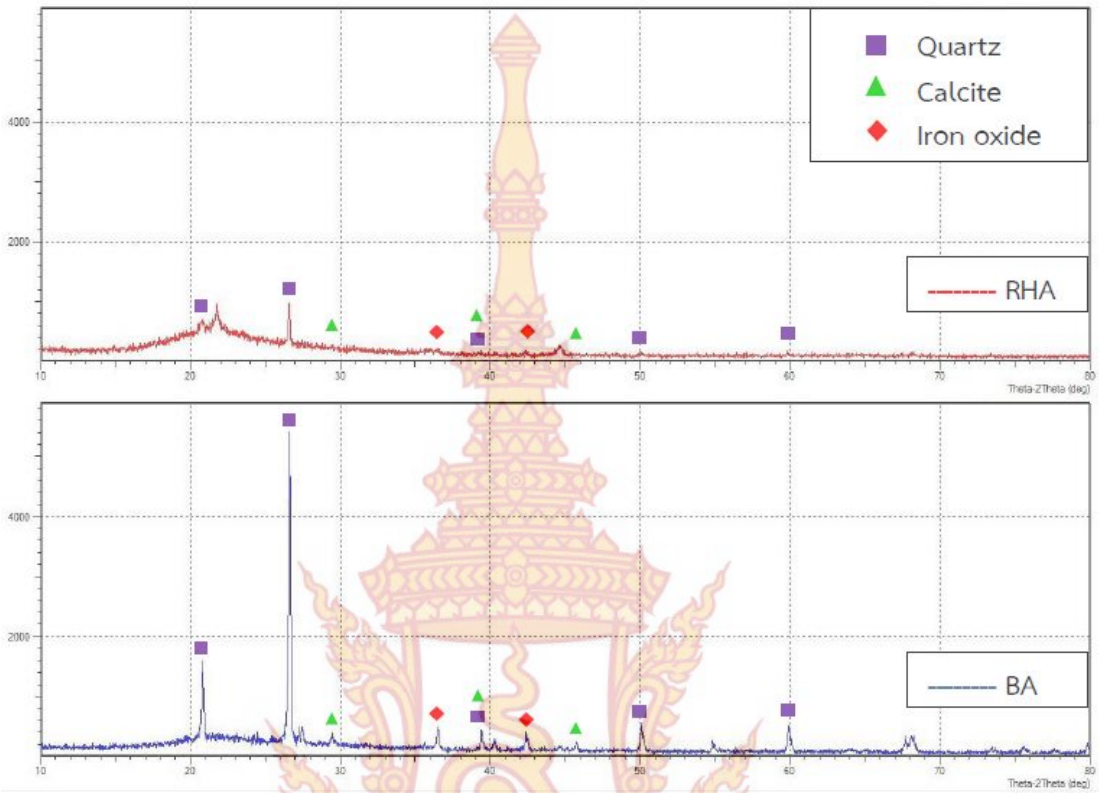
วัตถุดิบหลักที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรที่มีสมบัติเป็นสารปอซโซลานช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้มอร์ต้า คอนกรีต และอิฐประเภทต่างๆ ที่มีปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสม วัตถุดิบทั้งสองชนิดถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติเชิงเคมีและเชิงกายภาพ ดังต่อไปนี้

2.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงเคมีของวัตถุดิบ

ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงเคมีของสารปอซโซลาน (เถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อย) ประกอบด้วย การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุด้วยเครื่อง XRF และการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบด้วยเครื่อง XRD มีผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 4-1 และภาพที่ 4-1 ดังนี้

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

องค์ประกอบทางเคมี	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (wt%)	เถ้าแกลบ (wt%)	เถ้าชานอ้อย (wt%)
SiO_2	17.60	70.70	52.40
CaO	62.60	0.50	3.67
Al_2O_3	3.85	1.08	4.16
Fe_2O_3	3.02	2.03	2.98
K_2O	0.58	1.56	1.98
Na_2O	0.32	0.06	0.27
MgO	1.42	1.54	1.12
TiO_2	0.23	0.05	0.19
P_2O_5	0.08	0.35	1.03
SO_3	4.07	0.23	0.41
Loss on ignition	2.50	2.30	27.40

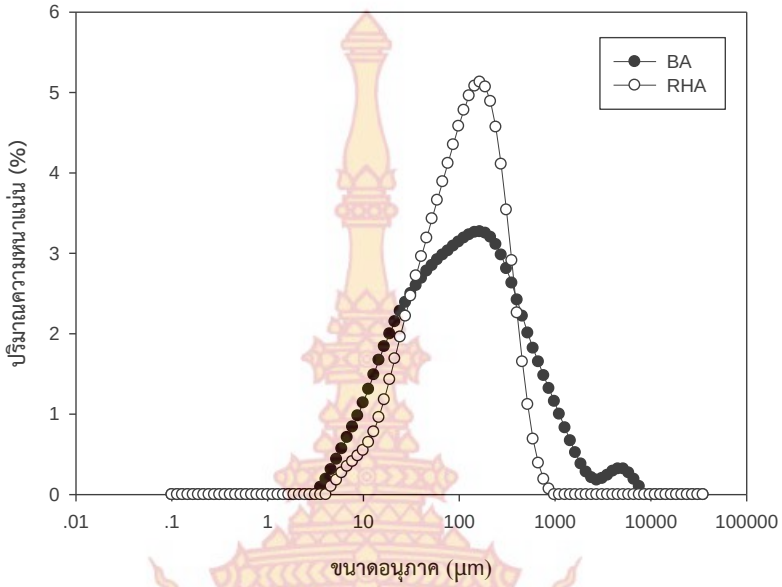


ภาพที่ 4-1 สารประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ (RHA) และเถ้าชานอ้อย (BA)

จากตารางที่ 4-1 พบว่าเถ้าแกลบมีสารประกอบของ SiO_2 อยู่ 70.70% ซึ่งมากกว่าเถ้าชานอ้อยที่มีสารประกอบของ SiO_2 อยู่ 52.40% ส่งผลให้เถ้าแกลบมีสมบัติความเป็นสารปอซโซลานมากกว่าเถ้าชานอ้อย นอกจากนี้โครงสร้างผลึกของ SiO_2 ในเถ้าแกลบมีลักษณะเป็นโครงสร้างผลึกแบบ Cristobalite และ Quartz มีความเป็นผลึกต่ำ ส่วนโครงสร้างผลึกของ SiO_2 ในเถ้าชานอ้อยมีลักษณะเป็นโครงสร้างผลึกแบบ Quartz มีความเป็นผลึกสูงตามข้อมูลของตารางที่ 4 จากการที่โครงสร้างผลึกมีรูปทรงและความเป็นผลึกที่แตกต่างกันส่งผลให้เถ้าแกลบช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับอิฐดินซีเมนต์มากกว่าเถ้าชานอ้อย [15, 22]

2.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกายภาพของวัตถุดิบ

ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกายภาพของสารปอซโซลาน (เถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อย) ประกอบด้วย การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser particle sizer และการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของวัตถุดิบด้วยเครื่อง SEM มีผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 4-2 และภาพที่ 4-2 ดังนี้

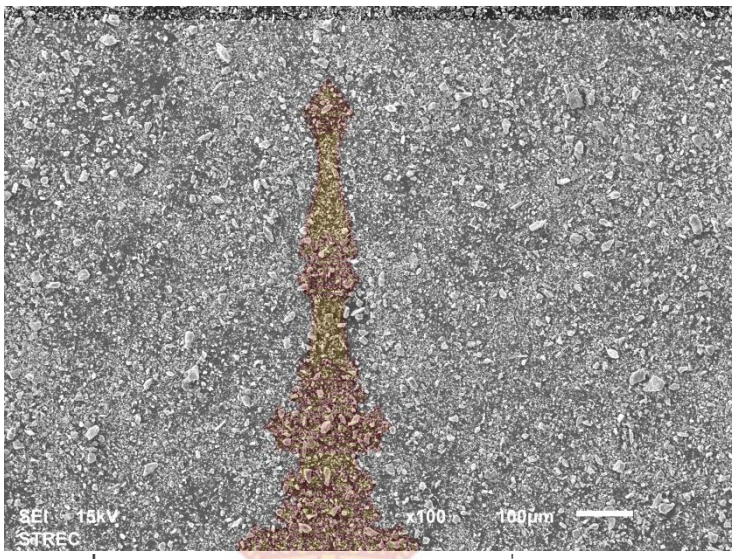


ภาพที่ 4-2 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อย

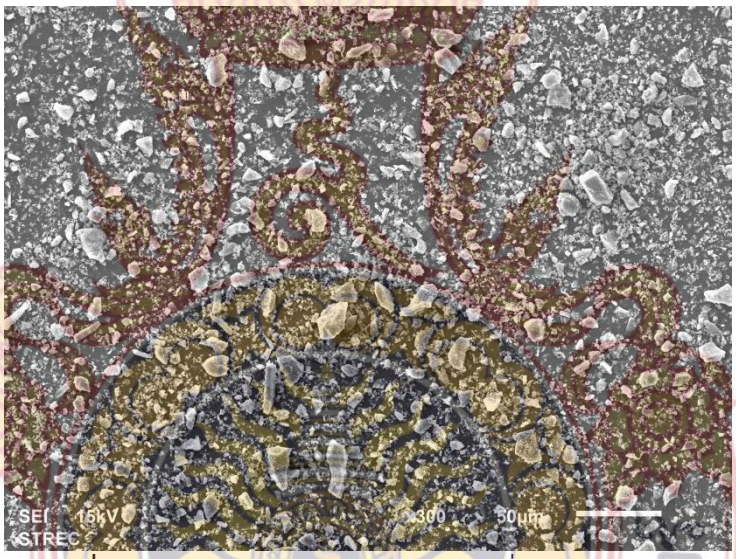
ตารางที่ 4-2 สมบัติทางกายภาพของเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อย

สมบัติทางกายภาพ		เถ้าแกลบ	เถ้าชานอ้อย
ขนาดอนุภาค	P_{10} (µm)	2.58	1.68
	P_{50} (µm)	11.60	11.70
	P_{90} (µm)	34.50	75.80
พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/kg)		336.00	439.60

จากตารางที่ 4-2 พบว่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 50 (P_{50}) เถ้าแกลบมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับเถ้าชานอ้อย ซึ่งมีขนาดอนุภาคเท่ากับ 11.60 µm และ 11.70 µm แต่การกระจายตัวของขนาดอนุภาคเถ้าแกลบมีช่วงแคบกว่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเถ้าชานอ้อยที่มีการกระจายตัวค่อนข้างกว้างตามภาพที่ 11 ส่งผลให้ขนาดอนุภาคส่วนใหญ่ของเถ้าแกลบมีขนาดเล็กกว่าเถ้าชานอ้อย ซึ่งขนาดอนุภาคของสารปอซโซลานเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อการทำปฏิกิริยาปอซโซลานในการเพิ่มความแข็งแรงให้แก่อิฐดินซีเมนต์ เพราะอนุภาคขนาดเล็กจะมีพื้นผิวในการทำปฏิกิริยากันมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ทำให้ค่า Packing density มากและชิ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น [23]

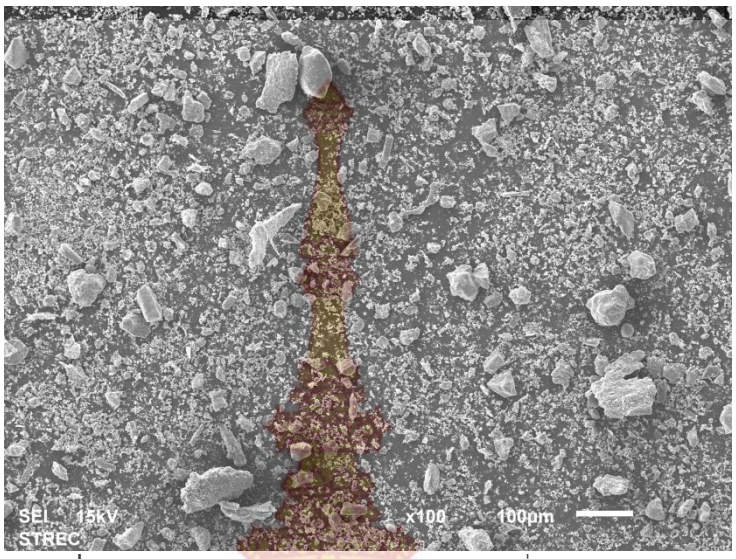


ภาพที่ 4-3 โครงสร้างจุลภาคของเถ้าแกลบที่กำลังขยาย 100X

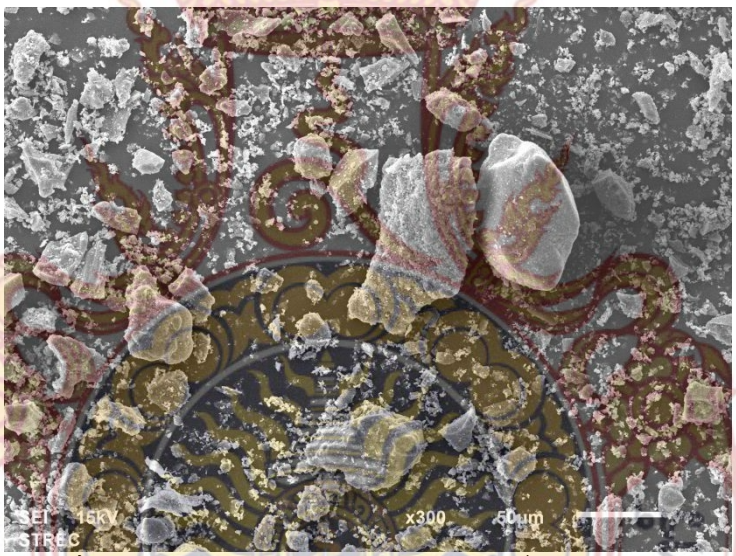


ภาพที่ 4-4 โครงสร้างจุลภาคของเถ้าแกลบที่กำลังขยาย 300X

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์



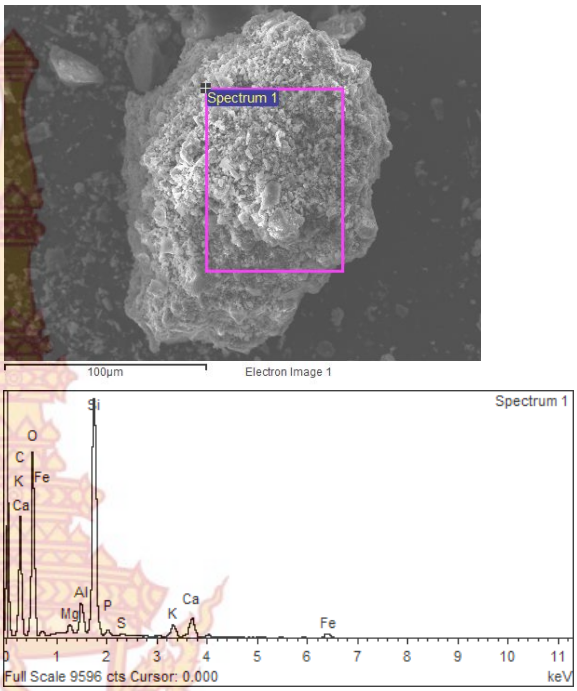
ภาพที่ 4-5 โครงสร้างจุลภาคของเถ้าชานอ้อยที่กำลังขยาย 100X



ภาพที่ 4-6 โครงสร้างจุลภาคของเถ้าชานอ้อยที่กำลังขยาย 300X

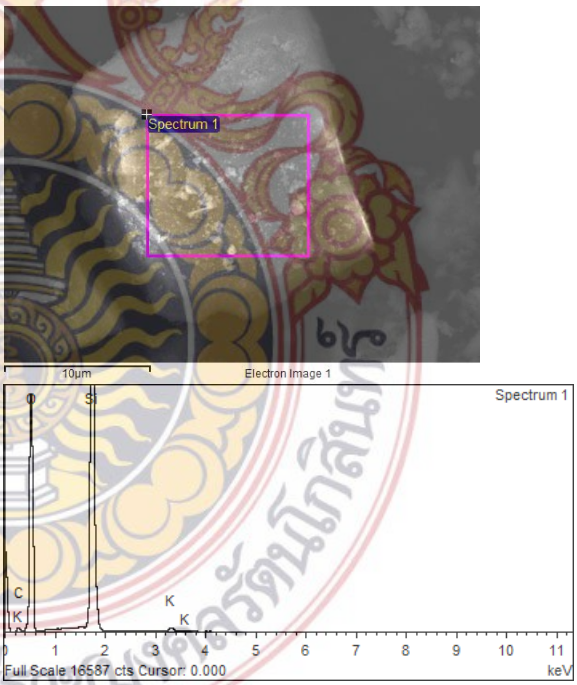
จากภาพที่ 4-3-4-6 พบว่าโครงสร้างจุลภาคของเถ้าแกลบส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยม ส่วนน้อยที่มีรูปร่างเป็นแท่งและกลมมน แต่เถ้าชานอ้อยมีรูปร่างไม่เป็นรูปทรงค่อนข้างเหลี่ยม ส่งผลให้เถ้าแกลบมีการกระจายตัวของอนุภาคในโครงสร้างและผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าเถ้าชานอ้อย นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างจุลภาคของเถ้าแกลบมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าเถ้าชานอ้อยที่กำลังขยาย 100x

Element	Weight%	Atomic%
C K	40.42	52.11
O K	38.65	37.41
Mg K	0.48	0.31
Al K	1.46	0.84
Si K	12.92	7.12
P K	0.40	0.20
S K	0.13	0.06
K K	1.30	0.52
Ca K	2.33	0.90
Fe K	1.90	0.53
Totals	100.00	



ภาพที่ 4-7 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในเถ้าชานอ้อยด้วยเทคนิค EDS

Element	Weight%	Atomic%
C K	4.53	7.10
O K	57.51	67.62
Si K	37.24	24.94
K K	0.71	0.34
Totals	100.00	



ภาพที่ 4-8 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในเถ้าแกลบด้วยเทคนิค EDS

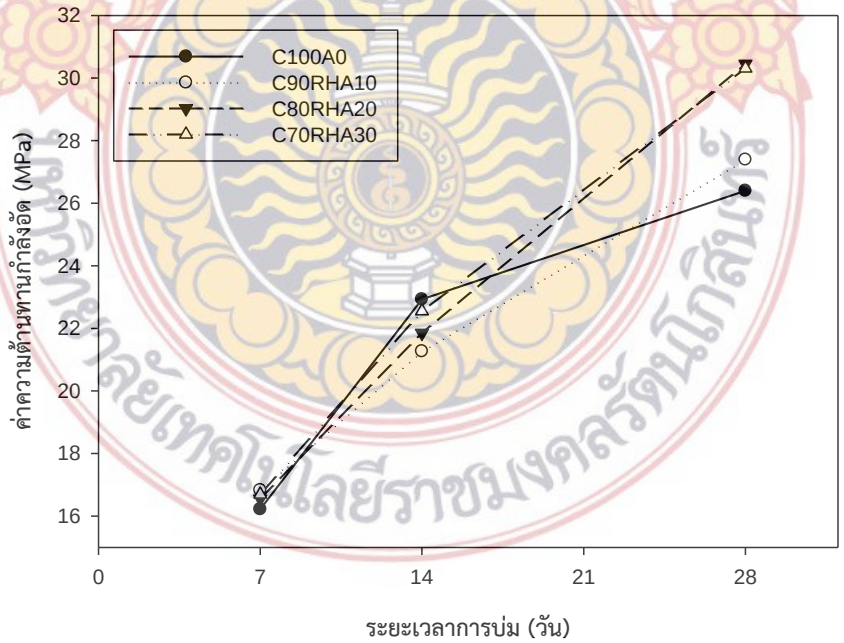
จากภาพที่ 4-7-4-8 พบว่าเถ้าแกลบมีปริมาณธาตุ Si และ O สูงสุดสอดคล้องกับผลของการวิเคราะห์จากเครื่อง XRD และ XRF ที่พบว่าเถ้าแกลบมีปริมาณ SiO_2 สูงเหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นสารปอซโซลาน เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่อิฐดินซีเมนต์และทดแทนปริมาณปูนซีเมนต์บางส่วนได้ ส่วนเถ้าชานอ้อยมีปริมาณธาตุ C สูงสุดและมีปริมาณธาตุ Si และ O รองลงมา ซึ่งสอดคล้องกับผลของการวิเคราะห์จากเครื่อง XRD และ XRF ที่พบว่าเถ้าชานอ้อยมีค่า Loss on ignition (L.O.I.) สูงถึง 27.4% แสดงให้เห็นว่าชานอ้อยถูกเผาที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และมีปริมาณธาตุ C เหลืออยู่ในเถ้าชานอ้อยปริมาณมาก ปริมาณ SiO_2 มีปริมาณรองลงมา แต่เมื่อเทียบกับปริมาณ SiO_2 ในเถ้าแกลบถือว่าเถ้าชานอ้อยมีปริมาณ SiO_2 น้อยกว่าอยู่ 18.30% ทำให้เถ้าแกลบจะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดีกว่าเถ้าชานอ้อย

3. ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกายภาพของอิฐดินซีเมนต์

อิฐดินซีเมนต์ถูกนำมาวิเคราะห์เชิงกายภาพ อันได้แก่ ความต้านทานกำลังอัดและการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ ซึ่งเป็นการทดสอบตามมาตรฐานของอิฐประสาน เนื่องจากอิฐดินซีเมนต์ยังไม่มีมาตรฐานมารองรับ โดยมีผลการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

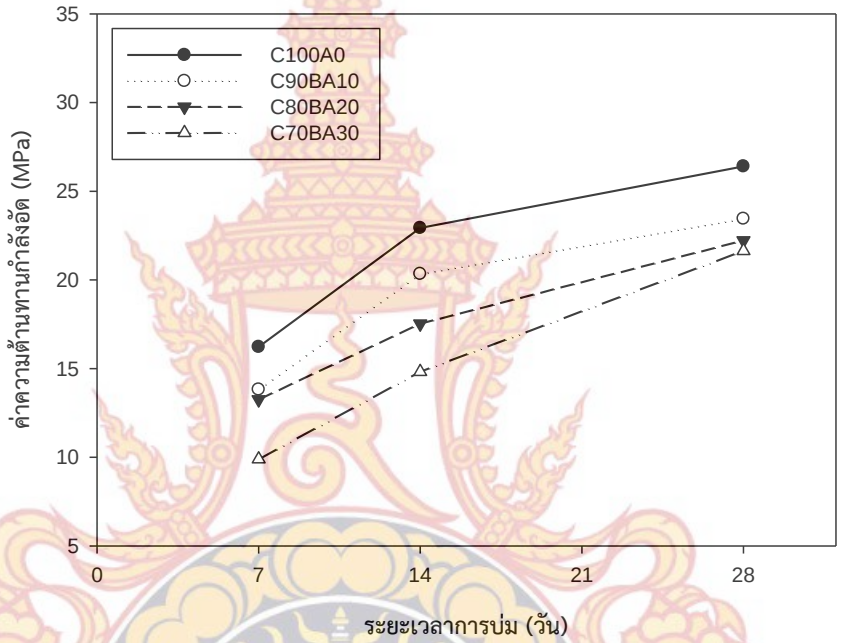
3.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกายภาพด้านความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์

ความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ถูกทดสอบทั้งหมด 7 อัตราส่วน คือ C100A0, C90BA10, C80BA20, C70BA30, C90RHA10, C80RHA20 และ C70RHA30 ที่ระยะการบ่ม 3 ช่วงเวลา คือ 7, 14 และ 28 วัน โดยแต่ละอัตราส่วนจะถูกทดสอบ 5 ก้อน รวมเป็นจำนวนอิฐดินซีเมนต์ที่ถูกทดสอบทั้งสิ้น 105 ก้อน (ค่าเฉลี่ยความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์คิดเฉลี่ยจากอิฐดินซีเมนต์จำนวน 5 ก้อนในแต่ละอัตราส่วน)



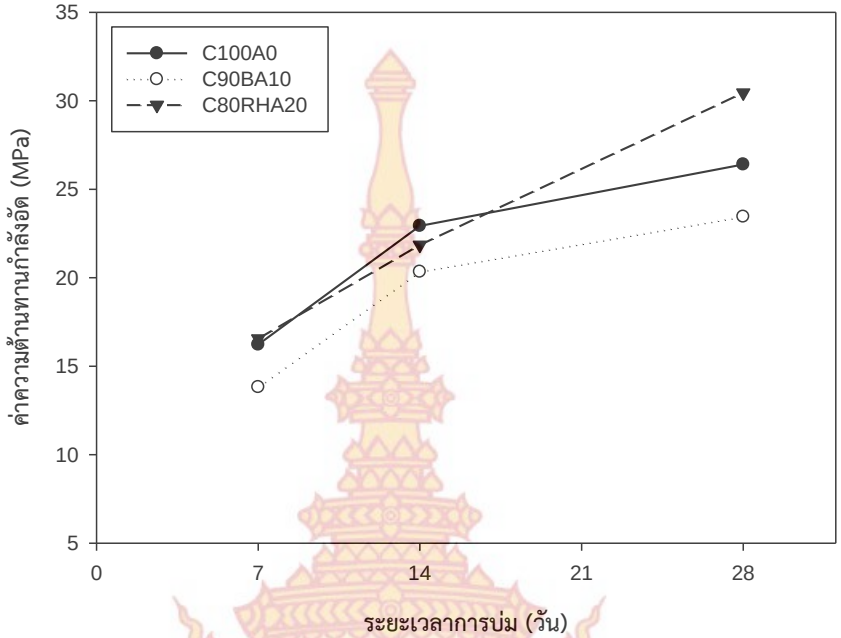
ภาพที่ 4-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกำลังอัดและระยะเวลาการบ่มของอิฐดินซีเมนต์มาตรฐานและอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนัก

จากภาพที่ 4-9 พบว่าอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 20% โดยน้ำหนักมีค่าความต้านทานกำลังอัดมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 30.45 MPa เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน และเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐดินซีเมนต์มาตรฐานพบว่าอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 20% โดยน้ำหนักมีค่าความต้านทานกำลังอัดมากกว่าอิฐดินซีเมนต์มาตรฐานอยู่ 4.05 MPa นอกจากนี้ยังพบว่าอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบทุกอัตราส่วนมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานกำลังอัดของอิฐประสาน ทั้งค่าเฉลี่ย 5 ก้อน เท่ากับ 6.86 MPa และค่ากำลังอัดของแต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 5.40 MPa



ภาพที่ 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกำลังอัดและระยะเวลาการบ่มของอิฐดินซีเมนต์มาตรฐานและอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยที่อัตราส่วน 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนัก

จากภาพที่ 4-10 พบว่าอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าอ้อยที่อัตราส่วน 10% โดยน้ำหนักมีค่าความต้านทานกำลังอัดมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 23.45 MPa เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน และเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐดินซีเมนต์มาตรฐานพบว่าอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยที่อัตราส่วน 10% โดยน้ำหนักมีค่าความต้านทานกำลังอัดน้อยกว่าอิฐดินซีเมนต์มาตรฐานอยู่ 2.95 MPa นอกจากนี้ยังพบว่าอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยทุกอัตราส่วนมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานกำลังอัดของอิฐประสาน ทั้งค่าเฉลี่ย 5 ก้อน เท่ากับ 6.86 MPa และค่ากำลังอัดของแต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 5.40 MPa

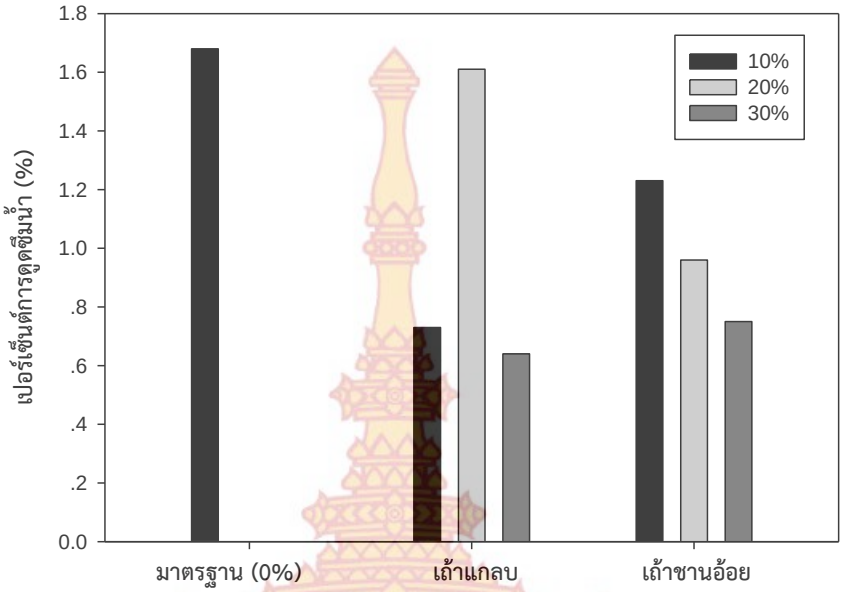


ภาพที่ 4-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกำลังอัดและระยะเวลาการบ่มของอิฐดินซีเมนต์มาตรฐาน, อิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 20% โดยน้ำหนัก และอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยที่อัตราส่วน 10% โดยน้ำหนัก

จากภาพที่ 4-11 พบว่าอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 20% โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านทานกำลังอัดมากที่สุดและอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยที่อัตราส่วน 10% โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านทานกำลังอัดน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับอิฐดินซีเมนต์มาตรฐาน, อิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 20% โดยน้ำหนัก และอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยที่อัตราส่วน 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

3.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกายภาพด้านการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์

เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ถูกทดสอบทั้งหมด 7 อัตราส่วน คือ C100A0, C90BA10, C80BA20, C70BA30, C90RHA10, C80RHA20 และ C70RHA30 ที่ระยะการบ่ม 7 วัน โดยแต่ละอัตราส่วนจะถูกทดสอบ 3 ก้อน รวมเป็นจำนวนอิฐดินซีเมนต์ที่ถูกทดสอบทั้งสิ้น 21 ก้อน (ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์คิดเฉลี่ยจากอิฐดินซีเมนต์จำนวน 3 ก้อน ในแต่ละอัตราส่วน)



ภาพที่ 4-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและชนิดของอิฐดินซีเมนต์ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

จากภาพที่ 4-12 พบว่าอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยในทุกอัตราส่วนมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำน้อยกว่าอิฐดินซีเมนต์มาตรฐาน โดยค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเถ้ามากขึ้น เนื่องมาจากภายในโครงสร้างจุลภาคของเถ้าทั้งสองชนิดเต็มไปด้วยรูพรุนทำให้ระหว่างการผสมและขึ้นรูปอิฐดินซีเมนต์จะมีปริมาณน้ำแทรกเข้าไปในรูพรุนเป็นจำนวนมาก การดูดซึมน้ำของก้อนอิฐจึงเกิดขึ้นได้น้อยกว่าอิฐดินซีเมนต์มาตรฐาน นอกจากนี้ยังพบว่าเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยในทุกอัตราส่วนมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำไม่เกินค่ามาตรฐานของอิฐประสานที่ระบุไว้ว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต้องไม่เกิน 15% โดยน้ำหนัก

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลและอภิปรายผล

เถ้าแกลบเป็นสารปอซโซลานที่ช่วยเพิ่มความต้านทานกำลังอัดให้แก่อิฐดินซีเมนต์ได้ดีกว่าเถ้าชานอ้อย โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมและให้ค่าความต้านทานกำลังอัดสูงสุด คือ อิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 20% โดยน้ำหนัก (C80RHA20) เมื่อเทียบกับอิฐดินซีเมนต์มาตรฐาน, อิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยและอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนอื่นๆ เนื่องจากเถ้าแกลบมีปริมาณ SiO_2 สูงกว่าเถ้าชานอ้อยและมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าเถ้าชานอ้อยส่งผลโดยตรงต่อการทำปฏิกิริยาปอซโซลานในการเพิ่มความแข็งแรงให้แก่อิฐดินซีเมนต์ นอกจากนี้ยังพบว่าอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยทุกอัตราส่วนมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานกำลังอัดของอิฐประสานและมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำไม่เกินตามมาตรฐานกำหนด เถ้าชานอ้อยจึงมีความเหมาะสมนำมาประยุกต์ในเป็นสารปอซโซลานที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่อิฐดินซีเมนต์และอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ประเภทอื่น

2. ข้อเสนอแนะ

2.1 อิฐดินซีเมนต์ที่ขึ้นรูปจากแรงอัดของมนุษย์อาจส่งผลให้ค่าความต้านทานกำลังอัดคลาดเคลื่อนได้ ในงานวิจัยครั้งถัดไปควรขึ้นรูปอิฐดินซีเมนต์ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป ซึ่งจะส่งผลให้ค่าการทดสอบมีความแม่นยำมากขึ้น

2.2 ในงานวิจัยครั้งถัดไปอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบควรมีการเพิ่มอัตราส่วนการผสมให้มากขึ้นจากอัตราส่วนเดิมเป็น 40, 50 60 %

2.3 ในงานวิจัยครั้งถัดไปควรมีการขยายขนาดชิ้นงานทดสอบให้มีขนาดเท่าของจริงของอิฐดินซีเมนต์หรืออิฐประสานที่ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างจริง เพื่อสามารถเปรียบเทียบกับภาคอุตสาหกรรมได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

3. ปัญหาที่พบในงานวิจัย

ในประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรเป็นจำนวนมากและหลากหลายชนิด โดยงานวิจัยในครั้งนี้มีการนำสารปอซโซลานจากเกษตรมาวิจัยเพียง 2 ชนิด คือ เถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อย ซึ่งไม่ครอบคลุมวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรในประเทศไทยทั้งหมด เนื่องด้วยวัตถุดิบบางชนิดขนส่งลำบากและอยู่ไกลจากสถานที่ทำการวิจัยค่อนข้างมาก เช่น เถ้าปาล์ม ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการเพิ่มชนิดวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรให้หลากหลายมากขึ้นและหาแหล่งวัตถุดิบที่ใกล้สถานที่วิจัย เพื่อความสะดวกในการขนส่ง ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัตถุดิบ

บรรณานุกรม

[1] ดำรง อินทรเสนา. **รายงานโครงการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากกากอุตสาหกรรม: โครงการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากกากอุตสาหกรรมและลดปริมาณกากที่ต้องฝังกลบ ปีงบประมาณ 2552.** กรุงเทพฯ : สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2552.

[2] สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. “การผลิตและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมน้ำตาล.” http://www.thaienv.com/content/view/243/39/.

[3] บุรฉัตร ฉัตรวีระ และทวิสัณห์ คงทรัพย์. “ความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าว.” **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.** 25 (ต.ค.-ธ.ค. 2545) : 373-389.

[4] สุวิมล สัจจวาณิชย์. “อิฐบล็อกจากเถ้าชานอ้อยวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม.” http://www.ist.cmu.ac.th/.

[5] ชัชวาล เศรษฐบุตร, ธีระยุทธ พันธ์มีเชาว์, สมชาย จิตต์วโรดม, และสมหวัง แม้นพิมลชัย. **ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย อุตสาหกรรมจำกัด, 2548.

[6] Glavind, M. and D. Mathiesen. “Green Concrete: Economical advantage of concrete structures with reduced environmental impact.” http://www.cpacacademy.

[7] ชัชวาล เศรษฐบุตร. **คอนกรีตเทคโนโลยี.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง, 2539.

[8] ศูนย์บริหารการผลิตอุตสาหกรรม. “รายงานการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานน้ำตาลทรายทั่วประเทศ ประจำปีการผลิต 2549/2550.” http://www.thaisugarmillers.com/.

[9] ประเสริฐ เอื้อวงศ์วศิน, สิริชัย ฉัตรเงิน, ภัณฑิรา ธนะโสภณ, บันลือ เอมะรุจิ, วรรณสิริ พันธ์อุไร และธัชวีร์ ลีละวัฒน์. ***“อิทธิพลของกากวัสดุจากโรงงานน้ำตาลที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อก.”*** วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล, 2550.

[10] บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. “บทความวิชาการ : สาระน่ารู้ เรื่อง เถ้าแกลบ ของเหลือสารพัดประโยชน์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ” http://www.mtec.or.th/index.

[11] ภาคภูมิ กลั่นไพรี. ***“การปรับปรุงคุณภาพอิฐดินซีเมนต์ที่ผสมดินตะกอนประปาด้วยดินลูกรังและทราย.”*** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, ภาควิชาครุศาสตร์โยธา, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2551.

[12] Vijarnsorn, P. “Slkeletal Soils of Thailand.” **ASEAN Soil Conference in Proc. 5th.** 1. (1984) : F 2.1-1-F 2.14.

[13] Aggarwal, L.K. “Bagasse-Reinforced Cement Composites.” **Cement & Concrete Composites.** (1995(17)) : 107-112.

[14] Morales, E.V., E. Villar-Cociña, M. Frías, S.F. Santos and H. Savastano Jr. “Effects of calcining conditions on the microstructure of sugar cane waste ashes (SCWA): Influence in the pozzolanic activation.” **Cement & Concrete Composites.** (2009(31)) : 22-28.

[15] Cordeiro, G.C., R.D. Toledo Filho, and L.M. Tavares. “Effects of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash.” **Construction and Building Materials.** (2009(23)) : 3301-3303.

[16] Cordeiro, G.C., R.D. Toledo Filho, L.M. Tavares and E.M.R. Fairbairn. “Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete.” **Cement and Concrete Research.** (2009(39)) : 110-115.

[17] บุรฉัตร ฉัตรวีระ และวัชรากร วงศ์คำจันทร์. “พฤติกรรมทางกลของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบละเอียด.” **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.** 24 (ก.ย.-ธ.ค. 2544) : 327-342.

[18] สุทธิลักษณ์ ผลเกิด, และหทัยชนก ศิริไพโรจน์. ***“การพัฒนากระเบื้องคอนกรีตปูพื้น โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภท เถ้าชานอ้อย และเถ้าลอย เพื่อทดแทนปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1.”*** วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551.

[19] ชญานี ทิพยเสม, และธีรพล ธีระอนันต์ชัย. ***"การพัฒนาคอนกรีตพรุนและคอนกรีตมวลเบาด้วยเถ้าชานอ้อยและสารตัวเติม."*** วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.

[20] ณัฐพล เกตุโกมล, พรทิพย์ เสน่หา, และอรรถพล อินทรศร. ***"การศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าผสมเถ้าชานอ้อย."*** วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, สาขาเทคโนโลยีโยธา, ภาควิชาเทคโนโลยีโยธาและสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.

[21] วีรชาติ ตั้งจิรภัทร, และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. **คู่มือการทดสอบคุณสมบัติของปูนซีเมนต์มวลรวมและคอนกรีต.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.

[22] Sensale, G.R. "Strength development of concrete with rice-husk ash." **Cement & Concrete Composites.** (2006(28)) : 158-160.

[23] Cordeiro, G.C., R.D. Toledo Filho, L.M. Tavares and E.M.R. Fairbairn. "Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars." **Cement & Concrete Composites.** (2008(30)) : 410-418.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดสอบความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์

ตารางที่ 1 ค่าความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์มาตรฐาน (C100A0) ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ของชิ้นงานทดสอบจำนวน 5 ก้อน

ลำดับชิ้นงานทดสอบ	ค่าความต้านทานกำลังอัด (MPa)		
	ระยะเวลาการบ่ม (วัน)		
	7	14	28
1	15.71	23.41	24.71
2	16.15	22.53	28.24
3	16.27	21.51	19.02
4	17.00	23.41	30.86
5	15.98	23.81	29.18
ค่าเฉลี่ย	**16.22**	**22.93**	**26.40**

ตารางที่ 2 ค่าความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ 10% (C90RHA10) ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ของชิ้นงานทดสอบจำนวน 5 ก้อน

ลำดับชิ้นงานทดสอบ	ค่าความต้านทานกำลังอัด (MPa)		
	ระยะเวลาการบ่ม (วัน)		
	7	14	28
1	16.27	23.32	26.05
2	19.08	20.08	30.04
3	13.26	21.74	29.96
4	18.06	21.37	25.10
5	17.46	19.84	25.79
ค่าเฉลี่ย	**16.83**	**21.27**	**27.39**

ตารางที่ 3 ค่าความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ 20% (C80RHA20) ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ของชิ้นงานทดสอบจำนวน 5 ก้อน

ลำดับชิ้นงานทดสอบ	ค่าความต้านทานกำลังอัด (MPa)		
	ระยะเวลาการบ่ม (วัน)		
	7	14	28
1	19.08	21.43	30.48
2	16.40	21.83	30.83
3	17.26	21.43	30.62
4	14.94	21.63	28.96
5	15.08	22.92	31.35
ค่าเฉลี่ย	**16.55**	**21.85**	**30.45**

ตารางที่ 4 ค่าความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ 30% (C70RHA30) ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ของชิ้นงานทดสอบจำนวน 5 ก้อน

ลำดับชิ้นงานทดสอบ	ค่าความต้านทานกำลังอัด (MPa)		
	ระยะเวลาการบ่ม (วัน)		
	7	14	28
1	13.83	23.55	30.60
2	17.18	25.67	30.56
3	17.80	20.74	29.89
4	17.79	21.84	31.97
5	16.86	20.96	28.52
ค่าเฉลี่ย	**16.69**	**22.55**	**30.31**

ตารางที่ 5 ค่าความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อย 10% (C90BA10) ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ของชิ้นงานทดสอบจำนวน 5 ก้อน

ลำดับชิ้นงานทดสอบ	ค่าความต้านทานกำลังอัด (MPa)		
	ระยะเวลาการบ่ม (วัน)		
	7	14	28
1	13.73	20.55	26.98
2	13.46	20.55	21.26
3	14.29	19.23	24.42
4	13.85	20.31	19.69
5	13.79	21.04	24.90
ค่าเฉลี่ย	**13.82**	**20.34**	**23.45**

ตารางที่ 6 ค่าความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อย 20% (C80BA20) ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ของชิ้นงานทดสอบจำนวน 5 ก้อน

ลำดับชิ้นงานทดสอบ	ค่าความต้านทานกำลังอัด (MPa)		
	ระยะเวลาการบ่ม (วัน)		
	7	14	28
1	14.23	17.51	21.12
2	11.22	17.24	20.16
3	13.10	18.85	25.00
4	13.39	17.76	24.60
5	14.29	16.28	20.24
ค่าเฉลี่ย	**13.25**	**17.53**	**22.22**

ตารางที่ 7 ค่าความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อย 30% (C70BA30) ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ของชิ้นงานทดสอบจำนวน 5 ก้อน

ลำดับชิ้นงานทดสอบ	ค่าความต้านทานกำลังอัด (MPa)		
	ระยะเวลาการบ่ม (วัน)		
	7	14	28
1	9.54	16.73	22.80
2	9.65	15.71	20.70
3	9.58	14.96	21.15
4	9.96	11.81	23.20
5	10.73	14.89	20.28
ค่าเฉลี่ย	**9.89**	**14.82**	**21.63**

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์มาตรฐานที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

ชื่ออัตราส่วน	ระยะเวลาการบ่ม (วัน)	ค่าเฉลี่ยความต้านทานกำลังอัด (MPa)
C100A0	7	16.22
	14	22.93
	28	26.40

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

ชื่ออัตราส่วน	ระยะเวลาการบ่ม (วัน)	ค่าเฉลี่ยความต้านทานกำลังอัด (MPa)
C90RHA10 (RHA 10%)	7	16.83
	14	21.27
	28	27.39
C80RHA20 (RHA 20%)	7	16.55
	14	21.85
	28	30.45
C70RHA30 (RHA 30%)	7	16.69
	14	22.55
	28	30.31

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยความต้านทานกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

ชื่ออัตราส่วน	ระยะเวลาการบ่ม (วัน)	ค่าเฉลี่ยความต้านทานกำลังอัด (MPa)
C90BA10 (BA 10%)	7	13.82
	14	20.34
	28	23.45
C80BA20 (BA 20%)	7	13.25
	14	17.53
	28	22.22
C70BA30 (BA 30%)	7	9.89
	14	14.82
	28	21.63

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์

ตารางที่ 1 ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์มาตรฐานที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

ชื่ออัตราส่วน	ลำดับชิ้นงานทดสอบ	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)
C100A0	1	1.54
	2	1.75
	3	1.75
	ค่าเฉลี่ย	**1.68**

ตารางที่ 2 ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ 10% (C90RHA10) ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

ชื่ออัตราส่วน	ลำดับชิ้นงานทดสอบ	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)
C90RHA10	1	0.36
	2	0.72
	3	1.10
	ค่าเฉลี่ย	**0.73**

ตารางที่ 3 ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ 20% (C80RHA20) ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

ชื่ออัตราส่วน	ลำดับชิ้นงานทดสอบ	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)
C80RHA20	1	1.88
	2	1.29
	3	1.67
	ค่าเฉลี่ย	**1.61**

ตารางที่ 4 ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ 30% (C70RHA30) ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

ชื่ออัตราส่วน	ลำดับชิ้นงานทดสอบ	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)
C70RHA30	1	0.77
	2	0.58
	3	0.58
	ค่าเฉลี่ย	**0.64**

ตารางที่ 5 ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อย 10% (C90BA10) ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

ชื่ออัตราส่วน	ลำดับชิ้นงานทดสอบ	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)
C90BA10	1	1.49
	2	1.27
	3	0.92
	ค่าเฉลี่ย	**1.23**

ตารางที่ 6 ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อย 20% (C80BA20) ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

ชื่ออัตราส่วน	ลำดับชิ้นงานทดสอบ	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)
C80BA20	1	0.76
	2	0.97
	3	1.15
	ค่าเฉลี่ย	**0.96**

ตารางที่ 7 ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อย 30% (C70BA30) ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

ชื่ออัตราส่วน	ลำดับชิ้นงานทดสอบ	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)
C70BA30	1	0.94
	2	0.76
	3	0.55
	ค่าเฉลี่ย	**0.75**

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

ชื่ออัตราส่วน	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)
C100A0	1.68
C90RHA10	0.73
C80RHA20	1.61
C70RHA30	0.64
C90BA10	1.23
C80BA20	0.96
C70BA30	0.75

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวปิยนุช ม่วงทอง
ชื่อ นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Piyanut Muangtong
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

3. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 หมู่ 3 ถ.พุทธมณฑล สาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์ 02-889-4585-7 ต่อ 2696 โทรสาร 02-889-4585-7 ต่อ 2621
E-mail address: piyanut.mua@rmutr.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	วุฒิการศึกษา	สาขาวิชา	สถาบัน	ประเทศ
2555	M.Eng.	Materials Engineering	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ไทย
2550	B.Eng.	Materials Engineering	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ไทย

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Ceramics, Bioceramics, Cement and Concrete, Corrosion Technology

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

6.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

[1] **P. Muangtong,** S. Sujjavanich, S. Boonsalee, S. Poomiapiradee, and D. Chaysuwan, “Effects of Fine Bagasse Ash on the Workability and Compressive Strength of Mortars”, Chiang Mai Journal of Science, 2013; 40(1): 126-134 (Accepted: 29 June 2012).

[2] D. Chaysuwan, **P. Muangtong,** S. Sujjavanich, and S. Poomiapiradee, “Low Carbon Cement Replacement by Ultrafine Particles of Bagasse Ash”, The 4th KKU International Engineering Conference 2012 (KKU-IENC 2012), Khon Kaen, Thailand, May 10-12, 2012.

[3] **P. Muangtong,** T. Sapsapap, A. Gositanon, W. Wachirasiri, and S.Chandra-ambhorn, “Experimental Potential-pH Diagrams of AISI 316L Stainless Steel in Sulfate-containing Aqueous Solutions Constructed by Cyclic Polarisation Method: Effect of Sulfate Ion and Dissolved Oxygen”, The First International

[4] on Corrosion and Material Protection, Prague, Czech Republic, October 1-4, 2007.

[5] S.Chandra-ambhorn, K. Kumpai, **P. Muangthong,** W. Wachirasiri, and S. Daopiset, “Application of the Polarised Potential-pH Diagrams to Investigate the Role of Sulfate and Dissolved Oxygen in the 3550-ppm NaCl Solution on the Corrosion Behaviour of AISI 316L Stainless Steel”, International Corrosion Engineering Conference, Seoul, Korea, May 20-24, 2007.

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ นามสกุล (ภาษาไทย) น.ส.ธีรินทร์ คงพันธุ์

ชื่อ นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Teerin Kongpun

2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

3. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 หมู่ 3 ถ.พุทธมณฑล สาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

โทรศัพท์ 02-889-4585-7 ต่อ 2696 โทรสาร 02-889-4585-7 ต่อ 2621

E-mail address: teerin.kon@rmutr.ac.th, ampandamp@gmail.com

4. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	วุฒิการศึกษา	สาขาวิชา	สถาบัน	ประเทศ
2552	Ph.D.	Material Science and Engineering	Nagasaki University	Japan
2549	M. Eng.	Materials and Molecular Engineering	Nagasaki University	Japan
2543	วท.บ.	ปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์	มหาวิทยาลัยศิลปากร	ไทย

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Surface Modification, Corona treatment, Ultra filtration, Rubber Technology

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

6.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

[1] **Teerin Kongpun,** Suguru Motokucho, Ken Kojio and Mutsuhisa Furukawa; "Effect of Polymer Glycols on the Micro-aggregation Structure and Mechanical Properties of Spherulite Size Graded Polyurethane Elastomers", Journal of Applied Polymer Science, 113 (3), pp. 1454-1461 (2009)

[2] **Teerin Kongpun,** Ken Kojio, and Mutsuhisa Furukawa; "The Influence of Curing Temperature on Micro-aggregation Structure and Adhesion Properties of Segmented Polyurethanes", Journal of The Adhesion Society of Japan, 44 (12), pp. 8-15 (2008)

[3] Teerin Kongpun, Suguru Motokucho, Ken Kojio and Mutsuhisa Furukawa; "Effect of the Ratio of Diol to Triol as Curing Agents on the Microaggregation

[4] Structure and Adhesion Properties of Segmented Polyurethanes", Journal of The Adhesion Society of Japan, 44 (9), pp. 1-8 (2008)

[5] **ดร.ธีรินทร์ คงพันธุ์,** "ผลของความชื้นที่มีต่อโครงสร้างและสมบัติทางด้านการยึดเกาะของพอลิยูรีเทน", The 4th National Conference of Industrial Operations Development 2013 (Rama garden hotel, Bangkok, 17 May 2013)

[6] **Teerin Kongpun,** "Effect of Humidity on the Micro-aggregation Structure and Adhesion Properties of Segmented Polyurethanes" 2010 International Conference of Organizational Innovation (ICOI) (Siam University, Bangkok, Thailand; 4-6 August 2010)

[7] **Teerin Kongpun,** Suguru Motokucho, Ken Kojio, and Mutsuhisa Furukawa "Effect of Curing Temperature on Adhesion Properties of Segmented Polyurethanes" Polyurethane Forum, (Nagasaki University, Nagasaki, Japan; 3 February 2009)

[8] **Teerin Kongpun,** Suguru Motokucho, Ken Kojio, and Mutsuhisa Furukawa "Influence of Curing Temperature on Microphase-separate Structure and Adhesion Properties of Segmented Polyurethanes" International Rubber Conference & Exhibition 2008 (IRC'08), (Kuala Lumpur Convention Center, Kuala Lumpur, Malaysia 20-23 October 2008)

[9] **Teerin Kongpun,** Suguru Motokucho, Ken Kojio, and Mutsuhisa Furukawa "Effect of Physical and Chemical Crosslinks on Microaggregation Structure and Adhesion Properties of Segmented Polyurethane" Rubber Conference, Kyoto, Japan; 6-7 December 2007

[10] **Teerin Kongpun,** Suguru Motokucho, Ken Kojio, and Mutsuhisa Furukawa "The Influence of Curing Agent Ratio of Diol to Triol on Microaggregation Structure and Adhesion Properties of Segmented Polyurethane" 2007 Pusan-Gyeongnam/Kyushu-Seibu Joint Symposium on High Polymers (13^{th}) and Fibers (11^{th}), (Pusan University, Pusan, Korea; 8-10 November 2007)

[11] **Teerin Kongpun,** Suguru Motokucho, Ken Kojio, and Mutsuhisa Furukawa "Effect of Curing Agent Ratio of Diol to Triol on Microaggregation Structure and Adhesion Properties of Segmented Polyurethane" The 1^{st} Thailand-Japan Rubber Symposium, awarded by Polymer Society (Thailand) and Society of Rubber Industry (Japan), (Jomtien Palm Beach Hotel & Resort, Chonburi, Thailand; 19-24 August 2007)

[12] **Teerin Kongpun,** Suguru Motokucho, Ken Kojio, and Mutsuhisa Furukawa "Aggregation Structure of Functionally Graded Polyurethane Elastomers" Polyurethane Forum, (Nagasaki University, Nagasaki, Japan; March 2007)

[13] International Rubber Conference (IRC 2005), (Yokohama, Japan October 2005) (Attended)

[14] The 8th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2005), (Fukuoka International Congress Center, Fukuoka, Japan July 2005) (Attended)

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ นามสกุล (ภาษาไทย) นายบวรกิตติ์ เนคมานุรักษ์
ชื่อ นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Bawornkit Nekhamanurak
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

3. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 หมู่ 3 ถ.พุทธมณฑล สาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์ 02-889-4585-7 ต่อ 2696 โทรสาร 02-889-4585-7 ต่อ 2621
E-mail address: bawornkit.nek@rmutr.ac.th, bawornkit@gmail.com

4. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	วุฒิการศึกษา	สาขาวิชา	สถาบัน	ประเทศ
2555	Ph.D.	Polymer Science and Engineering	มหาวิทยาลัยศิลปากร	ไทย
2550	M. Eng.	Polymer Science and Engineering	มหาวิทยาลัยศิลปากร	ไทย
2548	B. Eng.	Petrochemical and Polymeric Material	มหาวิทยาลัยศิลปากร	ไทย

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Polymer Processing, Polymer Recycling, Rheology, Biopolymer, Nanocomposite

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

6.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

[1] **Bawornkit Nekhamanurak,** Pajaera Patanathabutr and Nattakarn Hongsriphan "Surface modified CaCO3 nanoparticles with silica via sol-gel process using in poly(lactic acid) nanocomposite." Advanced Materials Research Journal, Vols. 488-489, March 2012, pp. 520-524.

[2] **B. Nekhamanurak,** P. Patanathabutr, and N. Hongsriphan "Mechanical Properties of Hydrophilicity Modified CaCO3-Poly(Lactic Acid) Nanocomposite." International Journal of Applied Physics and Mathematics, Vol. 2, No. 2, March 2012, pp. 98-103.

[3] **B. Nekhamanurak,** P. Patanathabutr and N. Hongsriphan "Thermal-mechanical property and fracture behavior of plasticized PLA-CaCO3

[4] nanocomposite."Plastics, Rubber and Composites, Vol. 41, Numbers 4-5, June 2012, pp. 175-179.

[5] **Bawornkit Nekhamanurak,** Pajaera Patanathabutr and Nattakarn Hongsriphan "The influence of size and loading of calcium carbonate on melt flow index and thermal properties of polylactic acid extrusion sheet" 35th Congress on Science and Technology of Thailand 2009.