

ผลกระทบของการแทนที่เถ้าขานอ้อยในมวลรวมละเอียดต่อคุณสมบัติทางกลของปูนฉาบ

Effect of Bagasse Ash Replacement in Fine Aggregate on Mechanical Properties of Plastering Cement

บุรฉัตร ฉัตรวีระ^[1] และ พงศกร พรหมสวัสดิ์^[2]

Burachat Chatveera^[1] and Pongsakon Promsawat^[2]

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คลองหลวง ปทุมธานี 12121

โทร: (+662) 546-3001-9 ต่อ 3105 โทรสาร: (+662) 546-3010

Email: ^[1] cburacha@engr.tu.ac.th and ^[2] p.pongsakon@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของ เถ้าขานอ้อยที่มีต่อคุณสมบัติทางกลของปูนฉาบ โดยการนำเอาเถ้าขานอ้อยจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้ามาใช้เป็นส่วนผสมแทนที่ในมวลรวมละเอียดประเภททรายและฝุ่นหินปูนในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด โดยศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าขานอ้อย คุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของปูนฉาบ ผลการทดสอบพบว่าปูนฉาบที่มีเถ้าขานอ้อยแทนที่ในมวลรวมละเอียดประเภททรายและฝุ่นหินปูนในอัตราส่วนเพิ่มขึ้นมีค่าความต้องการน้ำและความพรุนเพิ่มขึ้น ส่วนคุณสมบัติกำลังต้านทานแรงอัด แรงดัด แรงดึง และกำลังยึดเหนี่ยวที่อายุ 28 วันมีค่าลดลง สำหรับการหดตัวแบบแห้งของ ปูนฉาบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนการแทนที่เถ้าขานอ้อยในมวลรวมละเอียดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่อัตราส่วนผสมของเถ้าขานอ้อยเท่ากัน ปูนฉาบที่มีเถ้าขานอ้อยแทนที่ในฝุ่นหินปูนมีคุณสมบัติ ทางกลดีกว่าปูนฉาบที่มีเถ้าขานอ้อยแทนที่ในทราย

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of Bagasse ash on properties of plastering cement. Bagasse ash was obtained from an electricity generating power plant. Replacement percentages of Bagasse ash in fine aggregate of sand and limestone powder were 0, 10, 15 and 20% by weight of fine aggregate. And the properties of Bagasse ash, physical and mechanical properties of plastering cement

were studied. From the tested results, it was found that the plastering cement with increasing of Bagasse ash in fine aggregate, the water requirement and porosity were increased whereas the compressive strength, tensile strength, flexural strength and bonding strength at 28 days were decreased. The drying shrinkage of plastering cement was increased when replacement percentages of Bagasse ash in fine aggregate increased. Furthermore, for the equal replacement percentages of Bagasse ash, it was found that the mechanical properties of the plastering cement with Bagasse ash in limestone powder were better than the plastering cement with Bagasse ash in sand.

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการเพาะปลูกและผลิตพืชผลทางการเกษตรจำนวนมาก เพื่อตอบสนองความต้องการในการอุปโภคและบริโภคทั้งภายในประเทศและส่งออกไปยังประเทศอื่นๆ อ้อยเป็นพืชผลหนึ่งอีกชนิดหนึ่งที่มีการนำมาใช้ทั้งในทางตรงและนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการอุปโภคและบริโภคอื่นๆ จากการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของอ้อยนั้นทำให้เหลือกากของเสียประเภทขานอ้อยจากการผลิตดังกล่าวเป็นจำนวนมาก โดยขานอ้อยเหล่านั้นจะถูกนำกลับไปใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อการปรับปรุงคุณภาพของพื้นที่สำหรับ การเพาะปลูก และนำกลับมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม โดยการนำกากขานอ้อยมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการค้ำน้ำเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกและหลังจากกระบวนการผลิตดังกล่าวจะมีวัสดุ

ประเภทเถ้าขานอ้อยเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันจะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดิน ซึ่งเป็นเพียงส่วนหนึ่งของปริมาณเถ้าขานอ้อยทั้งหมด ทำให้ยังเหลือเถ้าขานอ้อยอีกปริมาณมากที่ถูกกองเก็บไว้ที่จัดเก็บ จึงทำให้มีแนวคิดในการนำเถ้าขานอ้อยดังกล่าวมาใช้ทดแทนในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับงานปูนซีเมนต์ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ซิลิกาในเถ้าขานอ้อยสามารถ ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้เกิดแคลเซียม ซิลิเกตไฮเดรต ได้สารเชื่อมประสานที่ดี เนื่องจากเถ้าขานอ้อยมีพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบและมีน้ำหนักเบา [1] จึงมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน โดยเมื่อนำมาทดสอบพบว่า มีส่วนข้างตะแกรงเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 34 และยังมีคุณภาพที่ดี ค่อนข้างสม่ำเสมอ เมื่อนำมาบดละเอียดแล้วสามารถให้กำลังอัดได้สูงมาก [2] ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถนำมาสนับสนุนแนวคิดของงานวิจัยชิ้นนี้ได้เป็นอย่างดี แต่อาจจะต้องมีการศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของเถ้าขานอ้อยในบางส่วน เพื่อให้มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตวัสดุที่ศึกษาในงานวิจัยนี้

จากการศึกษารายละเอียดของคุณสมบัติปูนฉาบพบว่าปูนฉาบที่ใช้ในงานฉาบผนังที่มีประสิทธิภาพจะต้องมีคุณสมบัติที่ง่ายต่อการฉาบ ฉาบเรียบ และยึดติดเหนียวแน่นกับผนังหรือเพดาน อีกทั้งปูนฉาบต้องมีคุณสมบัติพิเศษในการอุ้มน้ำเพื่อช่วยให้มีความสามารถในการฉาบ และแต่งหน้าปูนได้ง่าย ช่วยลดปัญหาการแตกร้าวของผนัง [3] และเมื่อปูนฉาบแห้งไปจนตลอดอายุการใช้งานผนังนั้นจะต้องมีความแข็งแรง ทนทานเพียงพอที่ให้อึดติดแน่นทนต่อแรงกระแทกและการเสียดสี ไม่มีปัญหาการแตกร้าวหลุดร่อนและไม่เกิดการหลุดตัวหลังการฉาบ และงานฉาบผนังยังต้องการปูนที่มีคุณสมบัติพิเศษอีกบางประการ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลกระทบของเถ้าขานอ้อยที่มีต่อคุณสมบัติทางกลของปูนฉาบ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเถ้าขานอ้อยมาใช้แทนที่ในมวลรวมละเอียดสำหรับการผลิตปูนฉาบเพื่อใช้ในงานฉาบผนัง โดยเฉพาะผนังก่ออิฐ โดยทำการศึกษา

คุณสมบัติพื้นฐานทางกลของปูนฉาบที่มีเถ้าขานอ้อยแทนที่ในมวลรวมละเอียดประเภทฝุ่นหินปูนและทราย รวมทั้งศึกษาถึงผลกระทบเบื้องต้นของปูนฉาบที่มีส่วนผสมของเถ้าขานอ้อยแทนที่ในมวลรวมละเอียด

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 ขอบเขตของงานวิจัย

2.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. เถ้าขานอ้อย ที่ได้นำมาจากโรงไฟฟ้าด่านช้าง ไบโอดีเอ็นเอรีไซเคิล อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี
2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
3. ทรายใช้ทรายแม่น้ำตามมาตรฐาน มอก. 1776 [4]
4. ฝุ่นหินปูน เป็นฝุ่นหินปูนประเภทโดโลไมท์ที่มีองค์ประกอบเมกนีเซียมตามมาตรฐาน ASTM C 911 [5-7] นำมาจาก อ.แก่งคอย จ.สระบุรี
5. น้ำ ใช้น้ำประปา

2.1.2 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 1 ได้มาจากการพิจารณาความสามารถของปูนฉาบในงานฉาบพื้นผิวผนังที่ใช้ใน ผนังงานจริง และผลดังกล่าวสามารถกำหนดส่วนผสมของปูนฉาบที่ใช้เถ้าขานอ้อยแทนที่ในฝุ่นหินปูนและทรายด้วยอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด

2.1.3 วิธีการศึกษาและมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

2.1.3.1 คุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าขานอ้อย

1. องค์ประกอบทางเคมีทดสอบด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence (XRF) และคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าขานอ้อย ประกอบด้วย ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากการเผาไหม้ ปริมาณความชื้น พื้นที่ผิวจำเพาะ ความถ่วงจำเพาะ ความละเอียด ดัชนีกำลัง ปริมาณน้ำที่ต้องการ และความหนาแน่นรวม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C618 [8]

2. คุณสมบัติทางจุลภาค ทดสอบด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) และความพรุนทดสอบด้วยเทคนิค Mercury Intrusion Porosimetry (MIP)

2.1.3.2 คุณสมบัติพื้นฐานของปูนฉาบ

1. คุณสมบัติเบื้องต้นของปูนฉาบ ได้แก่ ค่าความต้องการน้ำของปูนฉาบ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109 [9] และระยะการก่อตัว ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C807 [10]

2. คุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังอัดและกำลังดึง ทดสอบตามมาตรฐานมอก. 15 เล่มที่ 12 [4] ที่อายุ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ กำลังดัด ทดสอบตามมาตรฐาน DIN 1015-11 [11] ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ และกำลังยึดเหนี่ยวที่อายุ 28 วัน ทดสอบตามมาตรฐาน DIN 1015-12 [12]

3. คุณสมบัติเชิงความทนทาน ได้แก่ การหดตัวแบบแห้ง ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C596 [13]

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของปูนฉาบ โดยการแทนที่เถ้าขานอ้อยในมวลรวมละเอียด

ชุดตัวอย่าง	ปริมาณวัสดุ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)				
	ปูนซีเมนต์	ฝุ่นหินปูน	ทราย	เถ้าขานอ้อย	รวม
1	250	1000	-	-	1250
2	232	812	-	116	1160
3	216	702	-	162	1080
4	302	906	-	302	1510
5	250	-	1000	-	1250
6	232	-	812	116	1160
7	216	-	702	162	1080
8	302	-	906	302	1510

3. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

3.1 คุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าขานอ้อย

3.1.1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าขานอ้อย

จากองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 2 เถ้าขานอ้อยมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นสารประกอบหลักสูงถึงร้อยละ 88.6 และมีปริมาณสารประกอบสำคัญ ได้แก่ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 3.8 ไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 2.2 และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 3 จากองค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวพบว่าเถ้าขานอ้อยมีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์มากกว่าในฝุ่นหินปูนและปูนซีเมนต์ ส่วนผลของการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าขานอ้อย พบว่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้มีค่าน้อยกว่าในฝุ่นหินปูนและมีปริมาณความชื้นสูงถึงร้อยละ 5.47 เนื่องจากกระบวนการเผาเถ้าขานอ้อยเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้านั้นมีการใช้ไอน้ำฉีดพ่นเพื่อดับจับให้เถ้าที่ลอยอยู่ตกลงมากองในบ่อเก็บ จึงส่งผลให้เถ้าขานอ้อยมีปริมาณความชื้นสูง และพบว่าเถ้าขานอ้อยมีความละเอียดน้อยกว่าฝุ่นหินปูน แต่ความต้องการน้ำมากกว่าปูนซีเมนต์ และฝุ่นหินปูนเนื่องจากเถ้าขานอ้อยมีลักษณะอนุภาคเป็นรูปทรงเหลี่ยมไม่แน่นอนและความพรุนจึงต้องการน้ำมาก

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเถ้า
ขานอ้อย ผุ่นหินปูนเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
ประเภทที่ 1

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ปูนซีเมนต์	ผุ่นหินปูน	เถ้าขานอ้อย
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	20.8	12.2	88.6
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	5.2	1.0	3.8
ไอรอนออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	3.2	0.4	2.2
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	66.3	46.7	3
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	1.2	0.3	0.9
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	0.2	0	2.3
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	0.1	0	0
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO ₃)	2.4	0.2	0.3
ไททาเนียมออกไซด์ (TiO ₂)	0.2	0.1	0.2
แคลเซียมอิสระ (Free CaO)	0.9	0	0
คุณสมบัติทางกายภาพ	ปูนซีเมนต์	ผุ่นหินปูน	เถ้าขานอ้อย
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจาก การเผาไหม้ (ร้อยละ)	0.96	37.19	0.24
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	0.19	2.31	5.47
พื้นที่ผิวจำเพาะ โดยวิธีเบลน (ตร.ซม./กรัม)	3248	5088	1718
ความถ่วงจำเพาะ	3.11	2.70	1.80
ความละเอียด (ขนาดอนุภาค, ร้อยละผ่าน)			
≥ 75 ไมโครเมตร	0.50	9.36	38.54
75 ไมโครเมตร	5.25	9.28	49.06
45 ไมโครเมตร	3.60	2.04	66.06
≤ 36 ไมโครเมตร	90.62	78.78	70.76
ดัชนีกำลัง (เทียบกับตัวอย่าง ควบคุม)			
ที่อายุ 7 วัน (ร้อยละ)	100	98.2	52.7
ที่อายุ 28 วัน (ร้อยละ)	100	80.5	52.6
ค่าความต้องการน้ำ (ร้อยละ)	100	102	111
ความหนาแน่นรวม (กก./ลิตร)	1.03	0.94	0.30

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพ
ของเถ้าขานอ้อยตามมาตรฐาน ASTM C618 [8] ดังแสดงใน
ตารางที่ 3 พบว่าเถ้าขานอ้อยมีผลรวมของซิลิกอนได
ออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์และไอรอนออกไซด์มากกว่า
ร้อยละ 70 ปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 4
และการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้น้อยกว่าร้อยละ 10
แต่มีค่าดัชนีกำลังที่อายุ 7 และ 28 วัน ต่ำกว่าร้อยละ 75

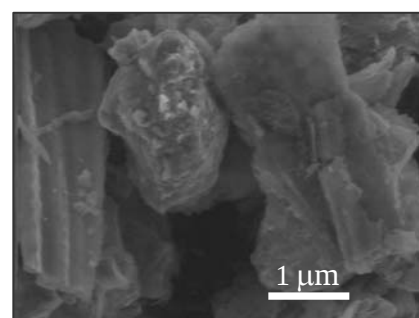
ปริมาณความชื้นมากกว่าร้อยละ 3 และมีค่าความละเอียด
มากกว่าร้อยละ 34 จึงทำให้เถ้าขานอ้อยไม่สามารถจัดเป็น
สารปอชโซลานได้เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่ผ่าน
ตามเกณฑ์มาตรฐาน [8]

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบความเป็นปอชโซลานของ
ผุ่นหินปูนและเถ้าขานอ้อยตามมาตรฐาน ASTM C618 [8]

องค์ประกอบทางเคมี	หมวดวัสดุปอชโซลาน			ผุ่นหินปูน	เถ้าขานอ้อย
	N	F	C		
ร้อยละต่ำสุดของซิลิกอนไดออกไซด์+ อะลูมิเนียมออกไซด์+ไอรอนออกไซด์	70	70	50	13.5	94.6
ร้อยละสูงสุดของซัลเฟอร์ไตรออกไซด์	4	5	5	0.04	0.30
ร้อยละสูงสุดของอัลคาไลน์ในรูปของ โซเดียมออกไซด์เทียบเท่า (Na ₂ O + 0.658K ₂ O)	1.5	1.5	1.5	0.1	1.5
คุณสมบัติทางกายภาพ	N	F	C	ผุ่นหินปูน	เถ้าขานอ้อย
ความละเอียด (ร้อยละค้ำสูงสุด บนตะแกรงขนาด 45 ไมโครเมตร)	34	34	34	19.2	49.1
ดัชนีกำลัง (เทียบกับตัวอย่างควบคุม)					
ที่อายุ 7 วัน (ร้อยละ)	75	75	75	98.2	52.7
ที่อายุ 28 วัน (ร้อยละ)	75	75	75	80.5	52.6
ความต้องการน้ำสูงสุด (ร้อยละ)	115	105	105	102	111
การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้สูงสุด (ร้อยละ)	10	6	6	37.19	0.24
ปริมาณความชื้นสูงสุด (ร้อยละ)	3	3	3	2.31	5.47

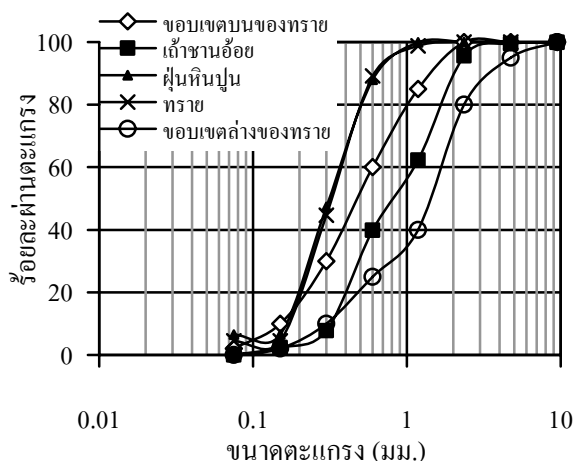
3.1.2 คุณสมบัติทางจุลภาค

อนุภาคของเถ้าขานอ้อยมีลักษณะเป็นรูปหลาย
เหลี่ยมไม่แน่นอน นอกจากนี้ยังมีพื้นผิวที่ขรุขระซึ่งส่งผล
ทำให้เถ้าขานอ้อยมีความสามารถอุ้มน้ำได้ดีและมีคุณสมบัติ
เทียบเท่ากับวัสดุผสมที่ใช้ในงานปูนฉาบ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 อนุภาคของเถ้าขานอ้อยที่กำลังขยาย 1000 เท่า

จากการทดสอบความละเอียดและขนาดผลของ
เถาขานอ้อย ฟุ้งหินปูน และทราย โดยการเปรียบเทียบ
ปริมาณร้อยละที่ผ่านตะแกรงของวัสดุผสมทั้งสามชนิด ซึ่ง
จากการเปรียบเทียบความละเอียดของวัสดุผสมที่ใช้ใน
การศึกษากับความละเอียดของทรายมาตรฐาน
ตามมาตรฐาน มอก. 1776-2542 [4] ดังแสดงในรูปที่ 2
พบว่าความละเอียดของวัสดุที่นำมาใช้ในการศึกษามีค่าอยู่
ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด



รูปที่ 2 ขนาดผลของมวลรวมละเอียดที่ใช้ในการศึกษา

3.2 คุณสมบัติของปูนฉาบ

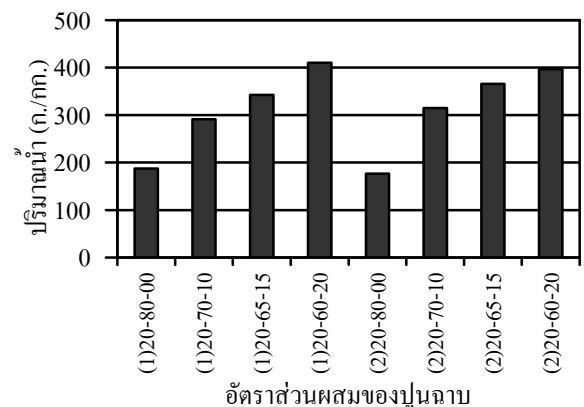
3.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

3.2.1.1 ค่าปริมาณความต้องการน้ำ

จากการทดสอบค่าการไหลแผ่ของปูนฉาบ ดังแสดง
ในรูปที่ 3 ตามมาตรฐาน ASTM C109 [9] พบว่าปริมาณ
ความต้องการน้ำของปูนฉาบเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการแทนที่
ด้วยเถาขานอ้อยเพิ่มขึ้น นั่นคือปริมาณความต้องการน้ำ
แปรผันตามร้อยละการแทนที่ของเถาขานอ้อย ที่เป็นเช่นนี้
เนื่องจากเถาขานอ้อยมีค่าความต้องการน้ำมากจึงส่งผลให้
ปูนฉาบมีค่าความต้องการน้ำมากขึ้นด้วย

(1) ปูนซีเมนต์-ฟุ้งหินปูน-เถาขานอ้อย

(2) ปูนซีเมนต์-ทราย-เถาขานอ้อย



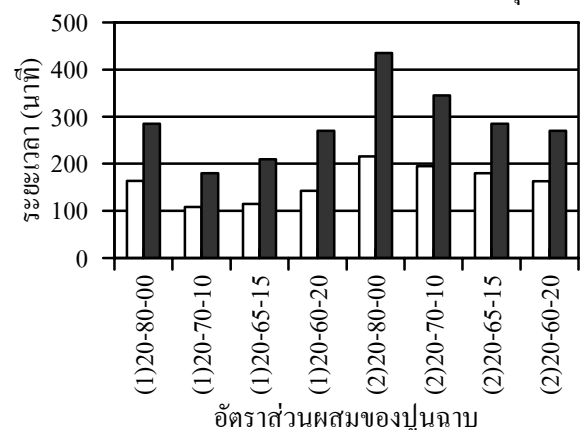
รูปที่ 3 ปริมาณความต้องการน้ำของปูนฉาบ

3.2.1.2 ระยะเวลาการก่อตัว

จากการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของปูนฉาบ
พบว่าปูนฉาบที่มีการแทนที่ด้วยเถาขานอ้อยมีระยะเวลา
การก่อตัวเริ่มต้นและการก่อตัวสุดท้ายลดลงเมื่อมีปริมาณ
การแทนที่เถาขานอ้อยเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4 ทั้งนี้
เนื่องจากเถาขานอ้อยมีลักษณะอนุภาคเป็นรูปหลายเหลี่ยม
ไม่แน่นอนและมีการขนาดส่วนกละที่ต่ำสามารถแทรกตัว
ระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ทำให้ปูนซีเมนต์เกิด
การกระจายตัว ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น แต่อาจส่ง
ผลกระทบต่อระยะเวลาการทำงานของปูนฉาบได้

(1) ปูนซีเมนต์-ฟุ้งหินปูน-เถาขานอ้อย □ การก่อตัวเริ่มต้น

(2) ปูนซีเมนต์-ทราย-เถาขานอ้อย ■ การก่อตัวสุดท้าย

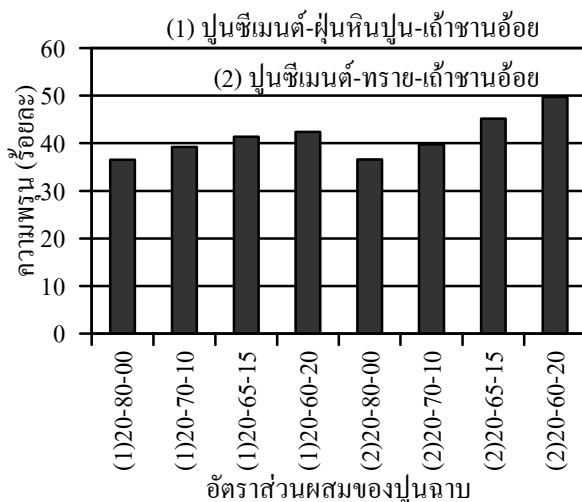


รูปที่ 4 ระยะเวลาการก่อตัวของปูนฉาบ

3.2.1.3 ความพรุน

ความพรุนของปูนฉาบที่อายุ 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่าเมื่อมีการแทนที่เถ้าขานอ้อยในมวลรวมละเอียดมากขึ้นทำให้ความพรุนในเนื้อปูนฉาบเพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้าขานอ้อยมีอนุภาคที่เป็นรูปหลายเหลี่ยมไม่แน่นอนประกอบกับมีพื้นที่ผิวขรุขระและมีรูพรุนสูงทำให้เมื่ออนุภาคของเถ้าขานอ้อยแทรกตัวเข้าในระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์มีผลให้เนื้อปูนฉาบเกิดช่องว่างขึ้นภายใน

สำหรับปูนฉาบที่มีส่วนผสมของฝุ่นหินปูนและเถ้าขานอ้อย พบว่ามีความพรุนน้อยกว่าปูนฉาบที่มีส่วนผสมของทรายรวมกับเถ้าขานอ้อย เนื่องจากฝุ่นหินปูนมีขนาดอนุภาคเล็กและมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาทำให้สามารถแทรกตัวระหว่างช่องว่าง ส่งผลให้ปูนฉาบมีความหนาแน่นมาก



รูปที่ 5 ความพรุนของปูนฉาบ

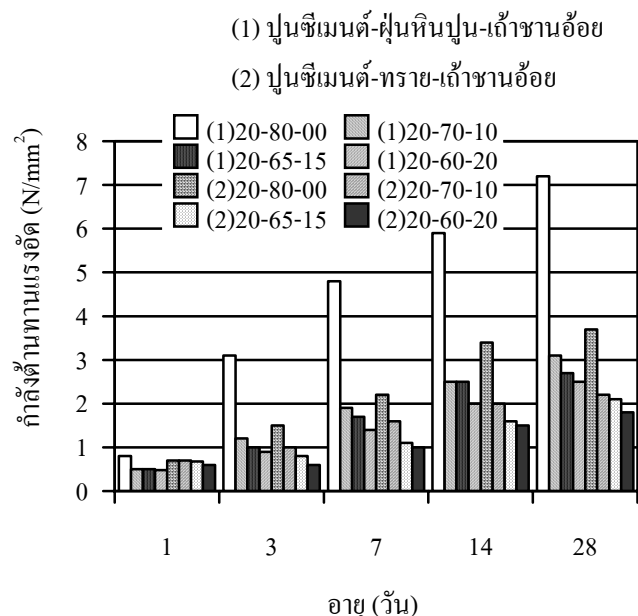
3.2.2 คุณสมบัติทางกล

3.2.2.1 กำลังต้านทานแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังอัดของปูนฉาบที่มีส่วนผสมของเถ้าขานอ้อยแทนที่ในมวลรวมละเอียด พบว่าเมื่อมีการแทนที่เถ้าขานอ้อยในส่วนผสมมากขึ้นส่งผลให้ปูนฉาบมีค่ากำลังต้านทานแรงอัดลดลง ดังแสดงในรูปที่ 6 เนื่องมาจากเถ้าขานอ้อยมีอัตราการดูดซึมน้ำมาก ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่จะใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับปูนซีเมนต์ลดลง [14]

ประกอบกับลักษณะอนุภาคของเถ้าขานอ้อยมีความขรุขระส่งผลให้เกิดความพรุนเพิ่มขึ้นในเนื้อปูนฉาบ ความพรุนที่เพิ่มขึ้นและการทำปฏิกิริยาที่ลดลงทำให้ปูนฉาบมีค่ากำลังอัดลดลง

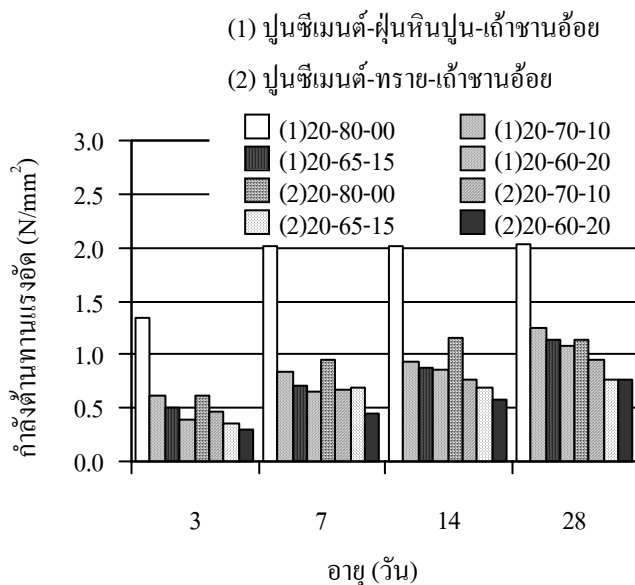
สำหรับการพัฒนากำลังของปูนฉาบพบว่าในช่วงอายุ 1 ถึง 14 วัน ปูนฉาบมีอัตราการพัฒนากำลังต้านทานแรงอัดสูง เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำทำให้เกิดสารที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสานเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ความพรุนในเนื้อปูนฉาบลดลงทำให้มีการพัฒนากำลังต้านทานแรงอัดได้มาก ส่วนในช่วงอายุ 14 ถึง 28 วัน ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำลดลงเนื่องจากปริมาณของสารประกอบหลักในเนื้อปูนฉาบลดลง



รูปที่ 6 กำลังต้านทานแรงอัดของปูนฉาบ

3.2.2.2 กำลังต้านทานแรงดัด

จากผลการทดสอบปริมาณความต้องการน้ำของปูนฉาบที่มีเถ้าขานอ้อยแทนที่ในมวลรวมละเอียด พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมของปูนฉาบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อการแทนที่เถ้าขานอ้อยในส่วนผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปูนฉาบมีคุณสมบัติต้านทานแรงอัดและแรงดัดลดลง [15]



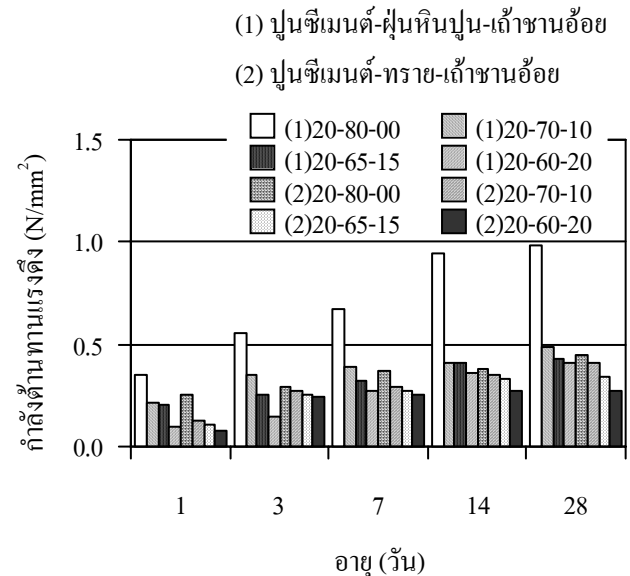
รูปที่ 7 กำลังต้านทานแรงอัดของปูนฉาบ

จากการเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานแรงอัดพบว่าเมื่อมีการแทนที่เถ้าชานอ้อยในมวลรวมละเอียดมากขึ้นทำให้ความสามารถในการต้านทานแรงอัดลดลง เนื่องจากความสามารถในการรับกำลังต้านทานแรงอัดของปูนฉาบขึ้นอยู่กับความสามารถในการยึดเหนี่ยวระหว่างเนื้อซีเมนต์พาสต์กับมวลรวมเป็นสำคัญ และเป็นผลอันเนื่องมาจากความต้องการน้ำที่มากขึ้นของปูนฉาบจากการแทนที่เถ้าชานอ้อยที่เพิ่มขึ้น และจากสาเหตุดังกล่าวทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในเนื้อของปูนฉาบเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานแรงอัดมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 7 และพบว่าการใช้ฝุ่นหินปูนทำหน้าที่เป็นมวลรวมละเอียดมีความสามารถในการรับกำลังต้านทานแรงอัดดีกว่าในกรณีที่ใช้ทรายทำหน้าที่เป็นมวลรวมละเอียด เนื่องจากมวลรวมที่มีความละเอียดมากกว่าจะสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าทำให้มีค่าความต้านทานแรงอัดสูง [16]

3.2.2.3 กำลังต้านทานแรงดึง

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของปูนฉาบที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชานอ้อยในมวลรวมละเอียดพบว่าเมื่อมีการแทนที่เถ้าชานอ้อยในมวลรวมละเอียดมากขึ้น

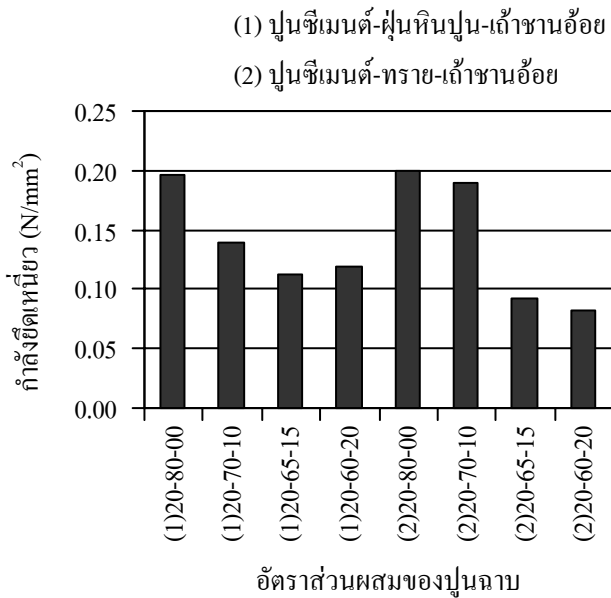
ทำให้กำลังต้านทานแรงดึงของปูนฉาบลดลง ซึ่งสอดคล้องกับกำลังต้านทานแรงอัดของปูนฉาบ นั่นคือเมื่อมีการแทนที่เถ้าชานอ้อยในส่วนผสมเพิ่มขึ้นกำลังต้านทานของปูนฉาบจะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กำลังต้านทานแรงดึงของปูนฉาบ

3.2.2.4 กำลังยึดเหนี่ยว

จากผลการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวของปูนฉาบที่มีการแทนที่ เถ้าชานอ้อยในมวลรวมละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่าเมื่อมีการแทนที่เถ้าชานอ้อยในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างปูนฉาบกับผนังที่ทำการทดสอบลดลง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากคุณสมบัติทางกายภาพของปูนฉาบที่มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อยที่มีการดูดซึมน้ำมาก ทำให้ภายในเนื้อของปูนฉาบเกิดโพรงขึ้นภายในมาก ประกอบกับปูนฉาบมีการสูญเสียกำลังเนื่องจากการระเหยของน้ำจึงส่งผลให้ปูนฉาบมีกำลังยึดเหนี่ยวลดลง นอกจากนี้ปูนฉาบที่มีส่วนผสมของฝุ่นหินปูนจะมีแนวโน้มของกำลังยึดเหนี่ยวที่ดีกว่าปูนฉาบที่มีส่วนผสมของทรายที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากฝุ่นหินปูนมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน เมื่อเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกทำให้สารประกอบในเนื้อปูนฉาบเพิ่มขึ้น [17] โครงสร้างมีความหนาแน่นมากทำให้กำลังยึดเหนี่ยวมีค่ามากกว่าในทราย ซึ่งสอดคล้องกับกำลังต้านทานแรงดึงของปูนฉาบ

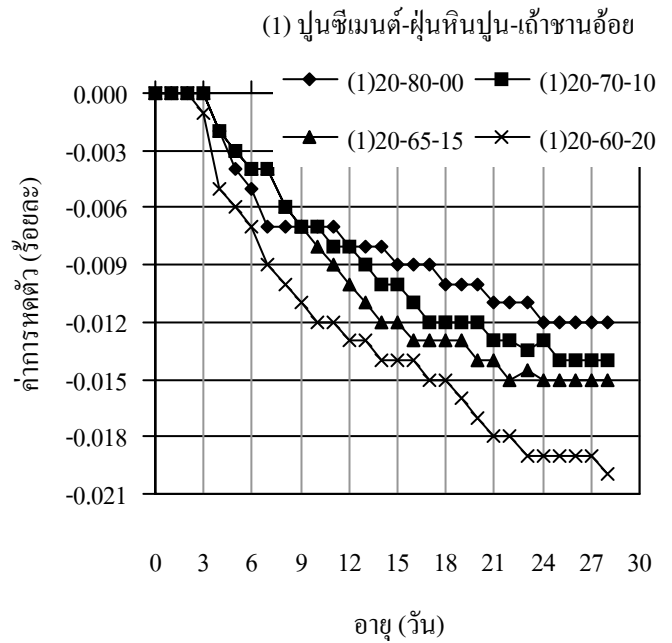


รูปที่ 9 กำลังอัดเหนียวของปูนฉาบ

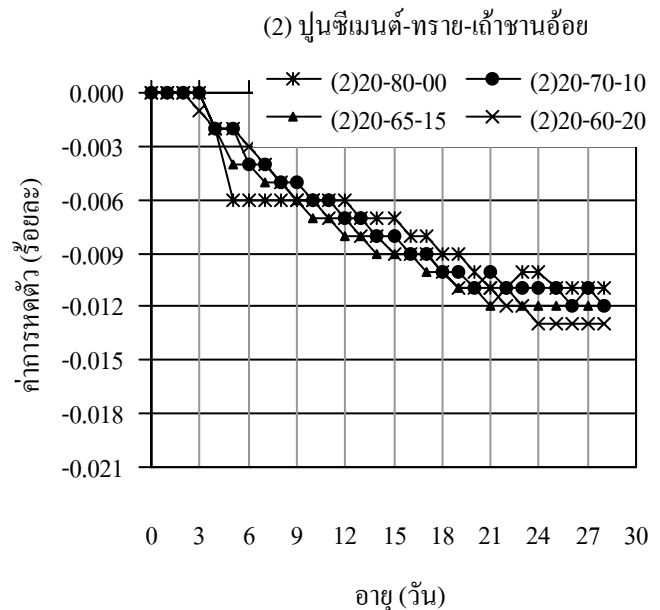
3.2.3 คุณสมบัติด้านความทนทาน

3.2.3.1 การหดตัวแบบแห้ง

การหดตัวแบบแห้งของปูนฉาบที่มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อย เมื่ออัตราส่วนการแทนที่เถ้าชานอ้อยในมวลรวมละเอียดมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 10 และ 11 พบว่าปูนฉาบที่มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อยเพิ่มขึ้นมีค่าการหดตัวสูงขึ้น เนื่องจากเถ้าชานอ้อยเป็นส่วนผสมมวลรวมที่มีการดูดซึมน้ำมาก ส่งผลปูนฉาบมีความต้องการน้ำมากในการทำปฏิกิริยาทำให้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมของปูนฉาบสูงจึงทำให้เกิดช่องว่างและรูพรุนภายในเนื้อของปูนฉาบมาก และเมื่อปูนฉาบเกิดการระเหยของน้ำออกมากจึงส่งผลให้ปูนฉาบที่มีการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าชานอ้อยในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นเกิดการหดตัว [18] มากกว่าในปูนฉาบที่ไม่มีการแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อย



รูปที่ 10 การหดตัวแบบแห้งของปูนฉาบที่มีเถ้าชานอ้อยแทนที่ในฝุ่นหินปูน



รูปที่ 11 การหดตัวแบบแห้งของปูนฉาบที่มีเถ้าชานอ้อยแทนที่ในทราย

4. สรุปผลการศึกษา

4.1 เถ้าขานอ้อยมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ถึงร้อยละ 88.6 อะลูมิเนียมออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 3.8, 3.0 และ 0.9 ตามลำดับ และมีความต้องการน้ำมากถึงร้อยละ 111 และดัชนีกำลังอัดที่อายุ 28 วันลดลง และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าขานอ้อยเทียบกับคุณสมบัติของวัสดุปอซโซลานตามมาตรฐานกำหนด พบว่าเถ้าขานอ้อยไม่จัดเป็นวัสดุปอซโซลาน

4.2 อัตราส่วนการแทนที่เถ้าขานอ้อยในมวลรวมละเอียดเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความต้องการน้ำของปูนฉาบเพิ่มขึ้น ส่วนระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้าย การยึดเหนี่ยวของปูนฉาบ ความสามารถในการต้านทานแรงอัด แรงคด และแรงดึงมีค่าลดลง

4.3 ความทนทานของปูนฉาบจากการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของปูนฉาบเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าขานอ้อยในมวลรวมละเอียดเพิ่มขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท ทีพีโอ โพลีน จำกัด (มหาชน) บริษัทด้านช่างไบโอเอ็นเนอร์ยี จำกัด ที่อนุเคราะห์วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้ห้องทดสอบในการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา คุณณัฐวุฒิ กองม่วง และคุณปริญญา จิตระดา ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการทดสอบ และข้อมูลวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุวิมล สัจจาณิษฐ์, “อิฐบล็อกจากเถ้าขานอ้อย” วารสารในเครือมติชน ปีที่ 14 ฉบับที่ 290 ประจำเดือนกรกฎาคม 2545
- [2] สุวิมล สัจจาณิษฐ์ และอาทิมา ดวงจันทร์, “ผลกระทบความเป็นปอซโซลานของเถ้าขานอ้อยและความต้องการ

น้ำ” การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติครั้งที่ 2, พฤษภาคม 2547, หน้า 118-120

- [3] เครือซีเมนต์ไทย, “ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน” บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรมจำกัด, กรกฎาคม 2548
- [4] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, “มอร์ตาร์สำหรับฉาบ” มอก. 1776-2542
- [5] American Society for Testing and Materials, “ASTM C5-05 Standard Terminology Relating to Lime and Limestone (as used by the Industry)”, Annual Book of ASTM Standard Vol.4.01, Philadelphia, PA, USA, 2005.
- [6] American Society for Testing and Materials, “ASTM C911-99 Standard Specification for Quicklime, Hydrated Lime and Limestone for Chemical Uses”, Annual Book of ASTM Standard Vol.4.01, Philadelphia, PA, USA, 2005.
- [7] American Society for Testing and Materials, “ASTM C1529-05 Standard Specification for Quicklime, Hydrated Lime and Limestone for Environmental Uses”, Annual Book of ASTM Standard Vol.4.01, Philadelphia, PA, USA, 2005.
- [8] American Society for Testing and Materials, “ASTM C618-05 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete”, Annual Book of ASTM Standard Vol.4.01, Philadelphia, PA, USA, 2005.
- [9] American Society for Testing and Materials, “ASTM C109/C109M-05 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)”, Annual Book of ASTM Standard Vol.4.01, Philadelphia, PA, USA, 2005.
- [10] American Society for Testing and Materials, “ASTM C807-05 Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement Mortar by Modified Vicat Needle”,

Annual Book of ASTM Standard Vol.4.01, Philadelphia, PA, USA, 2005.

- [11] European Standard, “EN 1015-11 Determination of Flexural and Compressive Strength of Hardened Mortars”, Germany, 2000.
- [12] European Standard, “EN 1015-12 Determination of Adhesive Strength of Hardened Rendering and Plastering Mortars on Substrates”, Germany, 2000.
- [13] American Society for Testing and Materials, “ASTM C596-01 Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement”, Annual Book of ASTM Standard Vol.4.01, Philadelphia, PA, USA, 2005.
- [14] J.F. Martirena Hernandez, B. Middendorf, M.Gehrke, and H. Budelmann, “Use of Wastes of The Sugar Industry as Pozzolana in Lime Pozzolana Binders: Study of The Reaction”, Cement and Concrete Research, Vol.28, 1998.
- [15] L.K. Aggarwal, “Bagasse Reinforced Cement Composites”, Cement and Concrete Composites, Vol.17, 1995.
- [16] P. Krstulovic, N. Kamenic and K. Popovic, “A New Approach in Evaluation of Filler Effect in Cement Effect on Strength and Workability of Mortar and Concrete”, Cement and Concrete Research, Vol. 24.4, 1994.
- [17] N.T. Rubio, “A Feasibility Study on The Production of Cementitious Material from Lime and Pozzolana”, M.Eng.Thesis, No.ST-96-35, A.I.T., Bangkok, 1996.
- [18] Rodriguez-Camacho, “Importance of Using The Natural Pozzolana on Concrete Durability”, Cement and Concrete Research, Vol. 32, pp. 1851-1858, 2002.