



วิทยานิพนธ์

การพัฒนาคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยสำหรับงานก่อสร้าง

**DEVELOPMENT OF BAGASSE ASH CONCRETE BLOCK
FOR CONSTRUCTION**

นางสาวอาทิมา ดวงจันทร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๔๕



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
ปริญญา

วิศวกรรมโยธา

วิศวกรรมโยธา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อยสำหรับงานก่อสร้าง

Development of Bagasse Ash Concrete Block for Construction

نامผู้วิจัย นางสาวอาทิมา ควงจันทร์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

สุมิต ลัดดาภิเษก

(รองศาสตราจารย์สุมิต ลัดดาภิเษก, Ph.D.)

กรรมการ

ประเสริฐ สุวรรณวิทยา

(รองศาสตราจารย์ประเสริฐ สุวรรณวิทยา, Ph.D.)

กรรมการ

อาจารย์วัฒน์ แสงเทียน

(อาจารย์วัฒน์ แสงเทียน, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

รองศาสตราจารย์วรากร ไม้เรียง

(รองศาสตราจารย์วรากร ไม้เรียง, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉกหาญ, M.A.

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉกหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๒๕ เดือน สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๔๙

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขี้เถ้าสำหรับงานก่อสร้าง

Development of Bagasse Ash Concrete Block for Construction

โดย

นางสาวอาทิมา ดวงจันทร์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-2556-1

อาทิมา ดวงจันทร์ 2549: การพัฒนาคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยสำหรับงานก่อสร้าง
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ปรธานกรรมการที่ปรึกษา:
รองศาสตราจารย์สุวิมล สัจจานิชย์, Ph.D. 145 หน้า
ISBN 974-16-2556-1

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงคุณภาพเถ้าขานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือจากขบวนการผลิตน้ำตาล เพื่อนำมาผลิตคอนกรีตบล็อก โดยการบดให้มีความละเอียด 4 ขนาด คือ ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 28.0 (A), 13.4 (B), 6.2 (C) และ 3.1(D) และใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในลักษณะสารปอชโซลาน โดยผันแปรปริมาณไม่เกินร้อยละ 50 และทำการศึกษาคูณสมบัติด้านปอชโซลานทั้งก่อนและหลังบด ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของเพสต์ การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ และคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยในห้องปฏิบัติการ กำลังรับแรงอัดและพฤติกรรมการใช้งานจริงของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อย

ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ ทำให้ต้องการน้ำในการผสมเพิ่มสูงขึ้น การเพิ่มความละเอียดของเถ้าขานอ้อยช่วยลดปริมาณน้ำลงได้ร้อยละ 2-3 การแทนที่ร้อยละ 20 ให้ค่ากำลังอัดใกล้เคียงกับมอร์ตาร์มาตรฐานและมีค่าสูงกว่าร้อยละ 1-8 สำหรับเถ้าขานอ้อยชนิดละเอียด (C) การแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 ให้ผลการพัฒนากำลังอัดในช่วงปลายที่อายุ 56 วันขึ้นไปใกล้เคียงกับมอร์ตาร์มาตรฐานและเลือกใช้เถ้าขานอ้อยที่มีส่วนค้างตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 28.0 และ 6.2 ในปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20, 30 และ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน เพื่อผลิตบล็อกคอนกรีตด้วยกรรมวิธีการผลิตโดยทั่วไป เนื่องจากมีความคุ้มค่าต่อการผลิตและยังคงคุณสมบัติการรับน้ำหนักได้ดี บล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักมีค่าการดูดกลืนน้ำต่ำกว่าและรับแรงอัดที่อายุ 3 วันได้สูงกว่ามาตรฐานกำหนด (มอก.) สามารถใช้งานได้ดี ไม่มีปัญหาการก่อผลาบ รอยแตกร้าวและตะไคร่น้ำ และการใช้เถ้าขานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ถึงร้อยละ 50 ยังคงคุณสมบัติการใช้งานได้ดีและช่วยให้ลดราคาค่าวัสดุประสานลงได้ถึงร้อยละ 31 เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่ผลิตในเชิงพาณิชย์

อาทิมา
ลายมือชื่อนิสิต

สุวิมล สัจจานิชย์ ๒๕ / ๕.๕ / ๔๙
ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Atima Duangchan 2006: Development of Bagasse Ash Concrete Block for Construction. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Suvimol Sujjavanich, Ph.D. 145 pages.
ISBN 974-16-2556-1

The thesis objective is to study the possibility of improving bagasse ash, a waste from sugar industry, for use in concrete block production. The ground bagasse ash of four different particle sizes, having percentages retained on standard sieve no. 325 of 28.0 (A), 13.4(B), 6.2(C) and 3.1(D) were used as pozzolan for cement replacement in the range of less than 50% The investigated properties included the pozzolan properties both before and after grinding, strength development of bagasse ash cement mortar, compressive strength of concrete block in laboratory scale and properties of bagasse ash concrete block from commercial produce as well as its performance in working condition.

It was found that the water requirement increased as the percentage replacement increased. Increase in fineness reduced water requirement by 2 to 3%, The percentage replacement of 20% yielded compressive strength comparable to that of the control and 1 to 8 % higher for bagasse ash type C. From the first stage result, ashes with particles percentage retained on no. 325 sieve of 28.0 (A) and 6.2 (C) and the percentage replacement of 20, 30 and 50 were chosen for the concrete block production, using commercial procedure, due to the economic viability, less absorption and the compressive strength which exceeded the limit set by the Thai Industrial Standard (TIS) age of 3 days and working for construction. There was no problem of crack and moss on the wall. Replacement of 50% by weight of cement kept the block's while reducing the cost of cementitious material by 31 percents, compared with the concrete block in the market.

Atima

Student's signature

Suvimol Sujjavanich 26 / 66 / 66

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุวิมล สัจจาณิษฐ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา
รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ สุวรรณวิทยา กรรมการวิชาเอก อาจารย์ ดร. วิวัฒน์ แสงเทียน
กรรมการวิชาการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ อ. นงลักษณ์ งานเจริญ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้กรุณา
ให้คำแนะนำปรึกษาและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนเงินทุนใน
การศึกษาทำวิจัย จนสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณบริษัทน้ำตาลเกษตรไทย จำกัด ซึ่งได้อนุเคราะห์วัสดุในการวิจัยในครั้งนี้และ
คุณวีระ รักษาดี จาก VR คอนกรีตบล็อก อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งช่วยเหลือใน
การอัดบล็อกคอนกรีต

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ที่สนับสนุนเงินทุนในการศึกษา จนสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณคุณพงษ์ศักดิ์ มากล้ำ และเด็กหญิงพิชชาอร มากล้ำที่คอยให้กำลังใจ
ช่วยเหลือสนับสนุนเงินทุนการศึกษาและอุปกรณ์การศึกษา รวมทั้งเพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่คอยให้ความ
ช่วยเหลือ ชื่นชมและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลงได้

ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะพึงมีเพียงใด ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่และ
อาจารย์ทุกท่าน ที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน

อาทิมา ดวงจันทร์

มิถุนายน 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตในการศึกษา	3
การตรวจเอกสาร	4
วัสดุปอชโซลาน	4
ปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาปอชโซลาน	4
การศึกษาคุณสมบัติของเถ้าชานอ้อยและเถ้าทางการเกษตรอื่น	5
อุปกรณ์และวิธีการ	12
อุปกรณ์	12
วิธีการ	13
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	19
คุณสมบัติเบื้องต้นของเถ้าชานอ้อย	19
คุณสมบัติของเพสต์และมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย	32
กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกในห้องปฏิบัติการ	45
กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกและการใช้ในงานก่อสร้างจริง	47
สรุปและข้อเสนอแนะ	55
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	57
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	62
ภาคผนวก ข สรุปลักษณะอากาศ	135
ภาคผนวก ค ประมาณราคาในการเตรียมวัสดุ	142
ภาคผนวก ง ภาพเครื่องบดเถ้าชานอ้อย	144

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 อัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าขานอ้อย	15
2 ร้อยละที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 325 เมื่อระยะเวลาและปริมาณเถ้าขานอ้อยต่างกัน	19
3 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าขานอ้อย	21
4 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าขานอ้อยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ในงานวิจัย	22
5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเถ้าขานอ้อยกับมาตรฐาน ASTM C618	22
6 ผลการกระจายตัวของหินฝุ่น	31
7 ปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลือปกติของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าขานอ้อย	32
8 เวลาการก่อตัวเริ่มต้นของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าขานอ้อย	34
9 เวลาการก่อตัวระยะปลายของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าขานอ้อย	34
10 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานของมอร์ตาร์มาตรฐานและมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อย	36
11 กำลังอัดเฉลี่ยของมอร์ตาร์เพื่อทดสอบกรณีความเป็นปอซโซลาน	37
12 กำลังอัดเฉลี่ยของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยที่ระยะเวลาการบดและปริมาณการแทนที่ต่างกัน	39
13 สัดส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยในห้องปฏิบัติการ	46
14 กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยที่ระยะเวลาการบดและปริมาณการแทนที่ต่างกัน	46
15 สัดส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกสำหรับผลิตในโรงงาน	48
16 กำลังอัดเฉลี่ยของบล็อกควบคุมและคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อย	48
17 ผลร้อยละของการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก1 ผลการหาค่าความขึ้นเหลวปกติของเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อย	63
ก2 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยบด 30 นาที	64
ก3 ผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวระยะแรกและปลายของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยบด 30 นาที	64
ก4 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยบด 60 นาที	65
ก5 ผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวระยะแรกและปลายของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยบด 60 นาที	65
ก6 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยบด 90 นาที	66
ก7 ผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวระยะแรกและปลายของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยบด 90 นาที	66
ก8 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยบด 120 นาที	67
ก9 ผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวระยะแรกและปลายของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยบด 120 นาที	67
ก10 สัดส่วนผสมของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อยและปริมาณน้ำเพื่อได้ค่าการไหลที่ต้องการ	68
ก11 สัดส่วนผสมของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อยและปริมาณน้ำเพื่อทดสอบ Strength Activity Index with Portland Cement	69
ก12 ผลกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย เพื่อทดสอบ Strength Activity Index with Portland Cement	70
ก13 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ควบคุมที่อายุต่างๆ	73
ก14 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อยชนิด A แทนที่ 10%	75
ก15 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อยชนิด A แทนที่ 20%	77
ก16 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อยชนิด A แทนที่ 30%	79
ก17 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อยชนิด A แทนที่ 40%	81
ก18 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อยชนิด B แทนที่ 10%	83
ก19 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อยชนิด B แทนที่ 20%	85
ก20 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อยชนิด B แทนที่ 30%	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก21 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยชนิด B แทนที่ 40%	89
ก22 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยชนิด C แทนที่ 10%	91
ก23 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยชนิด C แทนที่ 20%	93
ก24 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยชนิด C แทนที่ 30%	95
ก25 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยชนิด C แทนที่ 40%	97
ก26 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยชนิด D แทนที่ 10%	99
ก27 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยชนิด D แทนที่ 20%	101
ก28 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยชนิด D แทนที่ 30%	103
ก29 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยชนิด D แทนที่ 40%	105
ก30 สัดส่วนผสมและปริมาณน้ำของคอนกรีตบล็อกในห้องทดลอง	107
ก31 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกควบคุมในห้องปฏิบัติการ	108
ก32 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยชนิด A แทนที่ร้อยละ 20	110
ก33 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยชนิด A แทนที่ร้อยละ 30	112
ก34 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยชนิด C แทนที่ร้อยละ 20	114
ก35 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยชนิด C แทนที่ร้อยละ 30	116
ก36 สัดส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยผลิตในโรงงาน	118
ก37 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตในเชิงพาณิชย์	119
ก38 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกควบคุม(ผลิตในโรงงาน)	121
ก39 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยชนิด A แทนที่ร้อยละ 20 (ผลิตในโรงงาน)	123
ก40 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยชนิด C แทนที่ร้อยละ 20 (ผลิตในโรงงาน)	125

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก41 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยชนิด A แทนที่ร้อยละ 30 (ผลิตในโรงงาน)	127
ก42 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยชนิด C แทนที่ร้อยละ 30 (ผลิตในโรงงาน)	129
ก43 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยชนิด C แทนที่ร้อยละ 50 (ผลิตในโรงงาน)	131
ก44 ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อย	133
ข1 อุณหภูมิสูงสุด/ต่ำสุดประจำวันตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2548 – เมษายน 2549	136
ข2 ปริมาณฝนตกประจำวันตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2548 – เมษายน 2549	138
ข3 ความเร็วลมประจำวันตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2548 – กุมภาพันธ์ 2549	140
ค1 ราคาวัสดุประสานแต่ละสัดส่วนผสมต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร	143

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของซีเมนต์(ก)และเถ้าขานอ้อยชนิด D (ข) ด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 2,000 เท่า	20
2 ภาพ SEM ของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าขานอ้อย 30% อายุ 14 วัน กำลังขยาย 2,500 เท่า	23
3 ภาพ SEM ของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าขานอ้อย 30% อายุ 28 วัน กำลังขยาย 4,000 เท่า	23
4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผงปูนซีเมนต์และผงเถ้าขานอ้อยด้วยเครื่อง XRD	24
5 ภาพ SEM ของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าขานอ้อย 30% อายุ 91 วัน กำลังขยาย 3,000 เท่า	25
6 ผลการทดสอบ XRD ของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าขานอ้อยร้อยละ 0, 10, 30 และ 40 อายุ 7 วัน	26
7 ผลการทดสอบ XRD ของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าขานอ้อยร้อยละ 0, 10, 30 และ 40 อายุ 28 วัน	27
8 ผลการทดสอบ XRD ของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าขานอ้อยร้อยละ 0, 10, 30 และ 40 อายุ 56 วัน	28
9 ผลการทดสอบ XRD ของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าขานอ้อยร้อยละ 0, 10, 30 และ 40 อายุ 91 วัน	29
10 การเปรียบเทียบผลการทดสอบ XRD ของเพสต์ผสมเถ้าขานอ้อยร้อยละ 30 อายุ 7, 14, 28, 56 และ 91 วัน	30
11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการผ่านตะแกรงกับขนาดของหินฝุ่น	31
12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการแทนที่เถ้าขานอ้อยกับปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติ	33
13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการแทนที่ของเถ้าขานอ้อยกับระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้น	35
14 การเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยกับมอร์ตาร์ซีเมนต์ล้วนอายุ 7 และ 28 วัน	38
15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยผ่านการบดต่างกัน ที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10 และอายุทดสอบ	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยผ่านการบดต่างกัน ที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 20 และอายุทดสอบ	41
17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยผ่านการบดต่างกัน ที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 30 และอายุทดสอบ	42
18 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยผ่านการบดต่างกัน ที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 40 และอายุทดสอบ	42
19 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยชนิด A ในปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10 – 40	43
20 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยชนิด B ในปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10 – 40	43
21 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยชนิด C ในปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10 – 40	44
22 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยชนิด D ในปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10 – 40	44
23 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยชนิด A และ C แทนที่ร้อยละ 20, 30 และ 50	47
24 กำลังรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีตควบคุมเปรียบเทียบกับบล็อกคอนกรีตผสมเถ้า ขานอ้อยและคอนกรีตบล็อกเชิงพาณิชย์อายุ 1, 3 และ 7 วัน	49
25 กำลังรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีตควบคุมเปรียบเทียบกับบล็อกคอนกรีตผสมเถ้า ขานอ้อยและคอนกรีตบล็อกเชิงพาณิชย์อายุ 14, 28 และ 56 วัน	50
26 ผนังคอนกรีตบล็อกไม่ฉาบปูนทั้งสองด้าน	52
27 ผนังคอนกรีตบล็อกฉาบปูนหนึ่งด้าน	52
28 ผนังคอนกรีตบล็อกฉาบปูนสองด้าน	53
29 ผนังคอนกรีตบล็อกก่อโดยไม่มีการฉาบให้สัมผัสกับน้ำโดยตรง	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง1 เครื่องบด Los Angeles	145
ง2 Rods Mill ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.25 ซม. ยาว 46 ซม.	145

การพัฒนาคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยสำหรับงานก่อสร้าง

Development of Bagasse Ash Concrete Block for Construction

คำนำ

คอนกรีตบล็อกหรืออิฐบล็อก เป็นวัสดุก่อผนังที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในงานอาคารที่พักอาศัย อาคารขนาดเล็ก อาคารพาณิชย์ โรงงาน โกดังเก็บของ รั้ว เนื่องจากมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย ทำงานได้เร็ว ประหยัดเวลาเพราะมีขนาดก้อนใหญ่ มีความแข็งแรงทนทาน มีหน่วยน้ำหนักรวมปูนฉาบน้อยกว่าอิฐมอญ คอนกรีตบล็อกในเชิงพาณิชย์มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หินฟูนทรายและน้ำ ผสมให้เข้ากันในลักษณะค่อนข้างแห้ง นำไปอัดเข้าแบบเป็นรูปบล็อกชนิดที่ต้องการ ด้วยเครื่องเขย่าที่มีความถี่สูง

ในปัจจุบันมีความต้องการใช้งานคอนกรีตบล็อกมากขึ้น ตามแผนการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ที่พยายามพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชากรในชนบทให้มีรายได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีศักยภาพในการจัดหาที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอาคารเหล่านี้มักใช้คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุก่อผนัง เพราะการก่อสร้างไม่จำเป็นต้องใช้ช่างฝีมือมากนัก จากเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงเกิดแนวความคิดในการพัฒนาคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อย

เถ้าขานอ้อย เป็นวัสดุที่เหลือจากขบวนการผลิตในอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล ซึ่งนิยมใช้ขานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต นอกจากนี้เถ้าขานอ้อยยังเป็นวัสดุเหลือ จากโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล ที่ใช้ขานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งในการผลิตกระแสไฟฟ้า ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตอ้อยอันดับที่ 5 ของโลกโดยผลิตอ้อยได้มากกว่า 60 ล้านตันต่อปี มีขานอ้อยเหลือประมาณ 13 ล้านตัน(กองนโยบายอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย,2547) จากการใช้ขานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง ทำให้มีเถ้าขานอ้อยเหลือเป็นปริมาณมาก ซึ่งเถ้าขานอ้อยมีปัญหาการฟุ้งกระจาย ทำให้เกิดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อม ขากในการกำจัดและจัดเก็บ

จากการศึกษาและวิจัยเถ้าขานอ้อยที่ผ่านมา(สุวิมล,2546) พบว่าเถ้าขานอ้อยมีส่วนประกอบของซิลิกาออกไซด์มากกว่าร้อยละ 60 และเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการบดละเอียดมีคุณสมบัติเป็นวัสดุ

ปอชโซลานได้ ทำให้สามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนได้ โดยยังคงความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดี หากมีการศึกษาและพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง จะเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลง นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้ง รวมทั้งช่วยลดพลังงานในการผลิตปูนซีเมนต์ด้วย การผลิตปูนซีเมนต์ต้องมีการเผาวัตถุดิบที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,400-1,500 องศาเซลเซียส พลังงานที่ใช้อาจเป็นน้ำมันเตาหรือถ่านหิน ซึ่งมีปูนซีเมนต์ 1 ตัน ต้องใช้ถ่านหินประมาณ 220 กิโลกรัม หรือใช้น้ำมันประมาณ 125 ลิตร(ไกรวุฒิ,2546) การนำเถ้าขานอ้อยมาใช้ประโยชน์ จึงเป็นการช่วยลดพลังงานการผลิตปูนซีเมนต์และแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมด้วย

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการขยายผลการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุในด้านผลความละเอียดจากการบดที่ใช้ปริมาณตัวบดต่างกัน ซึ่งทำให้การบดเถ้าขานอ้อยมีประสิทธิภาพมากขึ้นและประหยัดพลังงานมากขึ้นกว่าเดิม และนำเถ้าขานอ้อยมาพัฒนาส่วนผสมเพื่อผลิตคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อย ด้วยขบวนการผลิตในโรงงาน ซึ่งใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกในเชิงพาณิชย์ และยังคงความสามารถใช้งานได้เทียบเท่าและเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ โดยทดสอบการใช้งานในสภาวะแวดล้อมจริง ข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์และเป็นพื้นฐานเพื่อการพัฒนาวัสดุท้องถิ่นราคาต่ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและคุณสมบัติด้านปอชโซลานของเถ้าขานอ้อย ทั้งก่อนและหลังการบด โดยค้นแปรความละเอียดของเถ้าขานอ้อยจากกระบวนการบด
2. เพื่อศึกษาถึงผลของความละเอียดและปริมาณการแทนที่ ที่มีผลต่อการพัฒนากำลังอัดของมอร์ต้าร์
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าขานอ้อยมาใช้แทนปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อใช้เป็นวัสดุประสานและหาสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับผลิตคอนกรีตบล็อก
4. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกล ค่าการดูดกลืนน้ำและพฤติกรรมจากการใช้งานจริงของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกผลิตจากปูนซีเมนต์อย่างเดียวและคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

ขอบเขตในการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้เถาขานอ้อยจาก บริษัท น้ำตาลเกษตรไทย จำกัด ในสภาพเดิมและนำไปบดให้มีความละเอียดแตกต่างกัน 4 ขนาด โดยทำการศึกษาคูณสมบัติของวัสดุ, เพสค์และมอร์ตาร์ผสมของเถาขานอ้อยที่ละเอียดต่างกันและมีปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ตั้งแต่ร้อยละ 0 - 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับหาปริมาณการแทนที่และความละเอียดที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกคอนกรีตผสมของเถาขานอ้อย โดยเลือกใช้ความละเอียดแตกต่างกัน 2 ขนาด เพื่อศึกษาถึงการพัฒนากำลังอัดและคุณสมบัติในการใช้งานของบล็อกคอนกรีต ชนิดบล็อกคอนกรีตไม่รับน้ำหนักด้านกำลังรับแรงอัดและการดูกลั่นน้ำเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรมและบล็อกคอนกรีตที่ผลิตจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

การตรวจเอกสาร

วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan Material)

ปอซโซลาน (Pozzolan) หมายถึง วัสดุที่มีส่วนประกอบของซิลิกา (Silica) หรือซิลิกาและอลูมินา (Alumina) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปแล้ววัสดุปอซโซลานนี้จะไม่มีความสมบัติการเชื่อมประสาน (Cementitious Properties) แต่ถ้าวัสดุปอซโซลานมีความละเอียดมากและสัมผัสอยู่กับความชื้นภายใต้อุณหภูมิปกติ จะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) และเกิดสารประกอบที่มีความสมบัติการเชื่อมประสาน (ASTM C618 ; Troxell และ คณะ, 1968)

วัสดุปอซโซลานมีทั้งชนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติโดยจะต้องนำมาบดให้ละเอียดก่อนนำมาใช้เช่น Volcano Ash, Pumicite, Diatomaceous Earth, Opaline, Cherts, Clays และ Shales หรือชนิดที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม เช่น Fly Ash, Silica fume เถ้าแกลบ เถ้าขานอ้อย เป็นต้น

ในปัจจุบันมีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับวัสดุปอซโซลานอย่างแพร่หลาย ทั้งในประเทศและต่างประเทศ วัสดุปอซโซลานที่เป็นที่รู้จัก และนิยมใช้กันอย่างมาก ได้แก่ เถ้าลอย (Fly Ash) ซิกาฟูม เถ้าแกลบ เป็นต้น การใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ซีเมนต์บางส่วนในมอร์ตาร์ ส่งผลให้มอร์ตาร์มีกำลังอัดลดลง เช่น การใช้เถ้าขานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ลดลง ตามการเพิ่มปริมาณการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น (ษณรัช และ นที, 2543)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาปอซโซลาน

การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทันทีเมื่อปูนซีเมนต์รวมตัวกับน้ำ โดยมีสารองค์ประกอบหลักคือ C_3S และ C_2S ทำปฏิกิริยากับน้ำ และได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) หรือ CSH ซึ่งมีความสำคัญในการเชื่อมประสานและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2)

ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolan Reaction) เป็นปฏิกิริยาขั้นที่สอง ซึ่งใช้สารตั้งต้นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน เข้าทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของ

ซิลิกา (SiO_2) และอลูมินา (Al_2O_3) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในวัสดุปอซโซลาน ทำให้เกิดสาร CSH เพิ่มขึ้น

การที่ปริมาณ CSH เพิ่มขึ้นมีส่วนช่วยปรับปรุงโครงสร้างภายในของคอนกรีตให้ทึบแน่นมากขึ้น มีความทึบน้ำสูง ช่วยเพิ่มกำลังให้แก่คอนกรีตและมอร์ตาร์ และส่งผลถึงความทนทานของคอนกรีตด้วย แต่คอนกรีตมักจะมีอัตราการพัฒนากำลังแรงช้า เพราะปริมาณปูนซีเมนต์น้อยลงและปฏิกิริยาขึ้นกับความไวในการทำปฏิกิริยาของสารปอซโซลาน

การศึกษาคุณสมบัติของเถ้าขาน้อยและเถ้าทางการเกษตรอื่น

เนื่องจากการศึกษาถึงคุณสมบัติของเถ้าขาน้อยยังมีจำกัด จึงใช้คุณสมบัติของเถ้าจากวัสดุทางการเกษตรอื่นๆ ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกันประกอบเพื่ออ้างอิงในการศึกษาด้วย

แกลบเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวซึ่งมีส่วนประกอบของซิลิกาในปริมาณสูง เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 – 700 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดเป็นวัสดุอมอร์ฟัส มีความพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะสูงถึง 50 ตร.ม/ก มีขนาด 10 – 75 ไมโครเมตร ทำให้เถ้าแกลบต้องการน้ำปริมาณมากในการผสม อย่างไรก็ตามถ้าต้องการคงความสามารถในการเทและการรับกำลังไว้ต้องใช้สารลดน้ำพิเศษ (Properties of Concrete ; A.M. Neville, 1995)

ปริญญ และ บัณฑิต (2536) ศึกษาคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมเถ้าแกลบ, เถ้าถ่านหิน, และสารลดน้ำพิเศษ โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมเถ้าแกลบดำจากโรงสี, เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ, และสารลดไฟเนตเนพทาไลน์ฟอรัลดีไฮด์คอนเดนเสด พบว่าการใส่สารลดน้ำพิเศษ ทำให้คุณสมบัติต่างๆ โดยเฉพาะกำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบและเถ้าลอยดีขึ้น โดยใช้สารลดน้ำพิเศษร้อยละ 1.25 – 3.00 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

Zhang and Malhotra (1996) ศึกษาคอนกรีตคุณภาพสูง โดยใช้เถ้าแกลบที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 38.9 ตร.ม/ก มีขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ยเท่ากับ 7 ไมโครเมตร แทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 10 และร้อยละ 15 โดยน้ำหนักของวัสดุผสม เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน และคอนกรีตผสมผงซิลิกา พบว่าเถ้าแกลบ สามารถนำไปใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตคุณภาพสูงได้ แต่คอนกรีตผสมเถ้าแกลบมีความต้องการสารลดน้ำสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้

ปูนซีเมนต์ล้วนและคอนกรีตผสมผงซิลิกา เนื่องจากเถ้าแกลบมีพื้นที่ผิวมากกว่า ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักของวัสดุผงที่อายุ 180 วัน มีค่าสูงกว่าคอนกรีตที่ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ล้วน แต่มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตผสมผงซิลิกา ส่วนกำลังรับแรงดัด, กำลังรับแรงดิ่ง และโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ คอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่อายุ 28 วันและ 91 วัน ยังมีความต้านทานต่อการซึมผ่านของคลอไรด์ได้ดีกว่าคอนกรีตที่ใช้ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ล้วนอีกด้วย

Xie (1996) ศึกษาผลมาจากความละเอียดของเถ้าแกลบต่อความชื้นเหลวและกำลังอัดของมอร์ตาร์ พบว่าเถ้าแกลบที่มีความละเอียดมาก มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นและมีผลต่อความต้องการน้ำของมอร์ตาร์เพิ่มมากขึ้นด้วย แต่ระยะเวลาในการก่อตัวจะเร็วกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

Martirena Hernandez et al. (1998) ศึกษาการใช้เถ้าขานอ้อยจากต่างแหล่ง ในลักษณะสารปอชโซลานผสมปูนขาว โดยศึกษาความแตกต่างระหว่างเถ้าขานอ้อยจากโรงงานและเถ้าขานอ้อยที่ได้จากการเผาโดยทั่วไป พบว่าวัสดุทั้ง 2 ชนิด ใช้เป็นวัสดุปอชโซลานได้และปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์ ของเถ้าขานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลใกล้เคียงกับเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาในที่โล่ง ส่วนเถ้าขานอ้อยที่เกิดจากการเผาโดยทั่วไปจะมีค่าซิลิกอนออกไซด์ต่ำกว่าเถ้าแกลบมาก ปฏิกริยาปอชโซลานิกที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับได้กับการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเถ้าแกลบ ผลการทดสอบ X-Ray Diffractometer (XRD) แสดงว่าแคลเซียมซิลิเกตไฮดรต (CSH) เกิดในช่วง 7 วัน โดยที่ปริมาณช่องว่างที่เกิดขึ้นเมื่อใช้เถ้าขานอ้อยแทนที่ร้อยละ 30 มีค่าใกล้เคียงกับการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพียงอย่างเดียว และส่วนผสมที่ใช้เถ้าขานอ้อยจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลให้กำลังรับแรงอัดต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดของส่วนผสมที่ใช้เถ้าขานอ้อยเผาในที่เปิด

ทวีศักดิ์ และ พีรเกียรติ (2542) ศึกษากำลังอัดของมอร์ตาร์ โดยการใช้เถ้าลอยและเถ้าขานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณต่างๆกัน พบว่าเมื่อปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอยและเถ้าขานอ้อยเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดจะลดลง

ษณูรักษ์ และ นที (2543) ศึกษาผลกระทบจากความละเอียดของเถ้าขานอ้อยที่นำไปแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนต่อกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ พบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมอยู่ที่อัตราร้อยละ 20 โดยใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้เถ้าขานอ้อยที่มีความละเอียดเท่ากัน กำลังรับแรงอัดของ

มอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของเถ้าขานอ้อยมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณการแทนที่ของเถ้าขานอ้อยที่เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามอายุของมอร์ตาร์และมีค่าใกล้เคียงกับกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เพียงอย่างเดียว เมื่อมีอายุ 28 วัน

จิรศักดิ์ และ คณะ (2544) ศึกษาคอนกรีตบล็อกจากเถ้าขานอ้อยโดยศึกษาถึงผลกระทบของความละเอียดของเถ้าขานอ้อยบดด้วยเวลาต่างกันต่อการไหล เพื่อหาอัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าขานอ้อยที่เหมาะสมเพื่อนำไปทำคอนกรีตบล็อกจากเถ้าขานอ้อย โดยการเลือกเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการบด 1 ชั่วโมง ซึ่งมีส่วนค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 18 แทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 30 ใช้วัสดุประสาน 250 – 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หล่อตัวอย่างโดยการใส่แบบแบ่งเป็น 3 ชั้น สั่นแต่ละชั้นเป็นเวลา 20 วินาที และบ่มขึ้นต่อเนื่องหลังถอดแบบที่อายุ 24 ชั่วโมง พบว่าเถ้าขานอ้อยที่ละเอียดมากขึ้น ต้องการปริมาณน้ำมากขึ้นด้วยซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากขึ้นและพบว่าการบดเถ้าขานอ้อยที่เวลา 1 ชั่วโมงและแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 30 เป็นค่าที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังพบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าขานอ้อยในปริมาณร้อยละ 30 ของวัสดุประสาน 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ให้กำลังรับแรงอัดเท่ากับ 160 กก/ซม² ซึ่งสูงกว่าคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักตามข้อกำหนดของมอก.

สุรพันธ์ (2545) ศึกษาคุณสมบัติด้านปอซโซลานของเถ้าปาล์มน้ำมัน ความเป็นไปได้ในการนำเถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้ากลบ-เปลือกไม้ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน เพื่อใช้เป็นส่วนผสมสำหรับผลิตอิฐคอนกรีต พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันมีส่วนประกอบของซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 63.56 ซึ่งสูงกว่าปูนซีเมนต์ร้อยละ 20.80 เถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบดใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้แต่มีขนาดใหญ่ มีรูพรุนมาก ทำให้ดูดน้ำมาก และการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานต่ำ เมื่อบดให้มีความละเอียดมากขึ้นขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 325 ได้ 75 – 100 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้มีรูพรุนน้อยลง การดูดซึมน้ำต่ำลง ทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้สูง ส่งผลทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์สูงขึ้นด้วย และการเพิ่มความละเอียดของเถ้ากลบ-เปลือกไม้ ทำให้กำลังรับแรงอัดของอิฐคอนกรีตสูงขึ้นด้วย

วิจักขณ์ และ อนุชา (2546) ศึกษาสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมกับเถ้าขานอ้อยโดยศึกษาองค์ประกอบและโครงสร้างอนุภาคของปูนซีเมนต์ที่เปลี่ยนไปเมื่อผสมกับเถ้าขานอ้อย พบว่าเมื่อผสมเถ้าขานอ้อยลงไปทำให้คอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีรูพรุนลดน้อยลง ซึ่งเป็นการยืนยันผลของโครงสร้างจากเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) และผลการวิเคราะห์

องค์ประกอบทางเคมีแสดงให้เห็นว่าไม่มีผลต่อองค์ประกอบของโครงสร้างหลักของปูนซีเมนต์ ทำให้สามารถคงคุณสมบัติการก่อตัวของคอนกรีต และมีความแข็งแรงในระยะยาวใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปกติ

สุวิมล (2546) ศึกษาผลกระทบของเถ้าขาน้อยในลักษณะวัสดุประสาน ซึ่งผลการวิเคราะห์ XRD แสดงว่าเถ้าขาน้อยมีปริมาณ SiO_2 สูงประมาณร้อยละ 62 เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมีค่าต่ำ การใช้เถ้าขาน้อยอนุภาคละเอียดทำให้การไหลของมอร์ต้าลดลงเล็กน้อยและทำให้กำลังเพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูง ความละเอียดมีผลต่อการไหลน้อย กำลังของมอร์ต้าลดลงเมื่อระดับการแทนที่ซีเมนต์เพิ่มขึ้น ที่อายุ 1 วัน การแทนที่ร้อยละ 20 มีแนวโน้มให้ผลดีที่สุด โดยที่อายุ 7 และ 28 วันให้ผลใกล้เคียงกับมอร์ต้าปกติ

จรรยา (2547) ศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าที่ผสมด้วยเถ้าชี้เลื่อยไม้ยางพารา โดยนำเถ้าชี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ผ่านการอบน้ำยากันความชื้นและเถ้าชี้เลื่อยของไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการอบน้ำยากันชื้น แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0-50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน บ่มน้ำที่ 3, 7, 14, 28 และ 60 วัน พบว่ากำลังอัดของมอร์ต้าผสมเถ้าชี้เลื่อยไม้ยางพาราในร้อยละเพิ่มขึ้น ทำให้กำลังอัดต่ำลง มอร์ต้าที่ผสมเถ้าชี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ผ่านการอบน้ำยากันชื้นและเถ้าชี้เลื่อยที่ไม่ผ่านการอบน้ำยากันชื้นร้อยละ 10 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่ากำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 246 กก/ซม^2 และกำลังอัดที่อายุ 60 วันมีค่าร้อยละ 86 ของมอร์ต้ามาตรฐาน

บุรฉัตร และ ณรงค์ศักดิ์ (2547) ศึกษาผลกระทบของแกลบขาวละเอียดมากที่มีต่อคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต โดยศึกษาแกลบขาวซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตอิฐมอญที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 15640 ตร.ซม./ก นำมาศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตในด้าน หน่วยน้ำหนักในสภาพสด ค่าการยุบตัวเริ่มต้น อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดและโมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุ 28 วัน โดยสัดส่วนการแทนที่ของแกลบในปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 0-30 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.60 พบว่าหน่วยน้ำหนักในสภาพสดและค่าการยุบตัวเริ่มต้นของคอนกรีตผสมแกลบขาวละเอียดมากมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตซึ่งแทนที่ด้วยแกลบขาวละเอียดมากเท่ากับร้อยละ 20 และ 30 ที่อายุ 28 และ 60 วัน มีค่าสูงกว่าคอนกรีตปกติ

บุรฉัตร และ บัณฑิต (2547) ศึกษาการใช้เถาเถาไม่คในการผลิตคอนกรีตบล็อก โดย การนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกกลวงชนิดไม่รับน้ำหนัก และศึกษาคุณสมบัติ ด้าน หน่วยน้ำหนัก การดูดซึมน้ำ กำลังรับแรงอัด การหดตัวแบบแห้ง ความคงทนต่อสภาพเปียกสลับ แห้ง และการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรด โดยใช้เถาเถาไม่คจาก 2 แหล่งคือเถาเถาไม่คจาก โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้เถาเถาไม่คเป็นเชื้อเพลิง และเถาเถาไม่คจากโรงสีข้าว มาแทนที่มวลรวม (หินปูน) ในอัตราส่วนร้อยละ 0-20 โดยน้ำหนัก และควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ในช่วงร้อยละ 0.53 ถึง 0.64 โดยน้ำหนัก ใช้การขึ้นรูปได้ของคอนกรีตบล็อกเป็นเกณฑ์ ซึ่งพบว่ากำลังรับ แรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถาเถาไม่คมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการแทนที่หินปูนด้วยเถาเถาไม่คที่ เพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานมอก. 58-2530 ในขณะที่หน่วย น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมเถาเถาไม่คมีค่าลดลง และเมื่อร้อยละการแทนที่หินปูนด้วยเถาเถาไม่ค มากขึ้นทำให้ความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรด ค่าการดูดซึมน้ำและการหดตัวแบบแห้งมีค่า เพิ่มขึ้น

สุวิมล และ อาทิตยา (2547) ศึกษาดัชนีความเป็นปอซโซลานของเถาเถาไม่คและความ ต้องการน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถาเถาไม่ค พบว่าเถาเถาไม่คที่ผ่านการบดจนมีความละเอียดข้าง บนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 0 ถึง 12 เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุ ประสานมีความต้องการปริมาณน้ำมากกว่าซีเมนต์ล้วนร้อยละ 13 และดัชนีความเป็นปอซโซลานที่ อายุ 7 วันมีค่าเท่ากับร้อยละ 98 ถึง 104 และที่อายุ 28 วันเท่ากับร้อยละ 102 ถึง 108 ของมอร์ตาร์ ควบคุม และยังพบว่าเถาเถาไม่คมีดัชนีความเป็นปอซโซลานสูงกว่าเถาเถาไม่ค-เปลือกไม้

สุธีรา และ ชุชัย (2548) ศึกษาผลกระทบของเถาเถาไม่คต่อคุณสมบัติของมอร์ตาร์ปอร์ต แลนด์ซีเมนต์ โดยการนำเถาเถาไม่คจากโรงงานน้ำตาลขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น อบที่อุณหภูมิตั้ง 110 องศาเซลเซียส บดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีส่วนที่ข้างตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 2 ทำการทดสอบ คุณสมบัติของมอร์ตาร์ ได้แก่ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและ สุดท้าย การหดตัวเมื่อแห้งและการต้านทานต่อการดัดรูป โดยใช้อัตราส่วนการแทนที่ปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์ร้อยละ 10, 20, 30 และ 50 โดยน้ำหนัก ทดสอบตัวอย่างที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน พบว่า คุณสมบัติต่างๆ ของมอร์ตาร์ผสมเถาเถาไม่ค ขึ้นอยู่กับปริมาณการแทนที่ของเถาเถาไม่ค เช่น การแทนที่ร้อยละ 10 กำลังรับแรงอัดที่อายุ 3 วันมีค่าเท่ากับใกล้เคียงกับมอร์ตาร์มาตรฐาน แต่การ แทนที่ร้อยละ 50 มีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์มาตรฐานมาก การสูญเสียกำลังอัดและน้ำหนักเนื่องจากการ

กักร่อนของกรดซัลฟูริกมากขึ้นตามอายุของการแช่ แต่การเพิ่มการแทนที่เถาขานอ้อยมากขึ้น ทำให้สูญเสียกำลังอัดและน้ำหนักน้อยลง การหดตัวแบบแห้งเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น

อาทิมา และ สุวิมล (2548) ได้นำเถาขานอ้อยมาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก โดยศึกษาผลกระทบจากการบดค่อน้ำที่ใช้ผสม ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถาขานอ้อยร้อยละ 0 ถึง 40 พบว่าเมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้น ต้องใช้น้ำในการผสมมากขึ้น เมื่อความละเอียดของเถาขานอ้อยเพิ่มขึ้นช่วยลดปริมาณน้ำที่ใช้ผสมลดลงได้ร้อยละ 2 ถึง 3 การแทนที่ร้อยละ 20 ให้ผลการพัฒนากำลังอัดใกล้เคียงกับมอร์ตาร์มาตรฐานและมีค่าสูงกว่าร้อยละ 1 ถึง 8 สำหรับเถาที่มีความละเอียดมาก การแทนที่ร้อยละ 30 ให้ผลการพัฒนาในช่วงปลายใกล้เคียงกับมอร์ตาร์มาตรฐานและสรุปว่าเถาขานอ้อยมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์สำหรับผลิตคอนกรีตบล็อกราคาถูกลงได้ โดยสามารถใช้แทนที่ซีเมนต์ได้ถึงร้อยละ 30 โดยยังคงคุณสมบัติทางกลตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม

คาวี (2548) ศึกษาการก่อตัวของเพสต์ผสมเถาขานอ้อยและการพัฒนากำลังอัดและคุณสมบัติด้านความร้อนของคอนกรีตผสมเถาขานอ้อยจาก 2 แหล่ง โดยบดเถาขานอ้อยจนมีขนาดค้ำงตะแกรงเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และนำไปแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40, 0.50 และ 0.60 โดยใช้สารลดน้ำพิเศษปรับค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดให้อยู่ในช่วง 5-10 เซนติเมตร ทดสอบกำลังอัดและวัดความร้อนของคอนกรีต ผลการศึกษาพบว่าซีเมนต์เพสต์ผสมเถาขานอ้อยก่อนและหลังบดทั้ง 2 แหล่งมีเวลาการก่อตัวทั้งระยะต้นและระยะปลายนานกว่าซีเมนต์เพสต์ เมื่ออัตราการแทนที่สูงขึ้น คอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถาขานอ้อยบดละเอียดมีปริมาณ LOI ต่ำในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40, 0.50 และ 0.60 มีกำลังอัดเท่ากับร้อยละ 111, 109 และ 106 ของคอนกรีตควบคุมที่อายุ 28 วันตามลำดับ สำหรับคอนกรีตผสมเถาขานอ้อยที่มีปริมาณ LOI สูงและใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และ 0.50 มีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมทุกอายุการทดสอบ แต่การแทนที่ร้อยละ 20 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60 มีกำลังอัดระหว่างร้อยละ 106 – 109 ของคอนกรีตควบคุมตั้งแต่อายุ 7 วันขึ้นไป ส่วนความร้อนของคอนกรีตผสมเถาขานอ้อยมีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น มีค่าลดลงระหว่าง 4.1 – 11.2 องศาเซลเซียสจากคอนกรีตควบคุม

ณพงศธร (2548) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ, องค์ประกอบทางเคมี และปรับปรุงคุณภาพของเถ้าขานอ้อยด้วยการบดให้ความละเอียดเพิ่มขึ้น เพื่อหาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าขานอ้อยเป็นวัสดุปอชโซลาน โดยนำเถ้าขานอ้อยมาจาก 5 แหล่ง คือ จังหวัดราชบุรี จังหวัดสระบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี จังหวัดนครสวรรค์ และจังหวัดลพบุรี พบว่าเมื่อบดเถ้าขานอ้อยนานขึ้น อนุภาคน้ำตาลตามความละเอียดที่เพิ่มขึ้น มีผลรวมของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 มากกว่าร้อยละ 75 และส่วนผสมต้องการน้ำลดลงตามความละเอียดที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์เร็วขึ้นเมื่อความละเอียดเพิ่มขึ้น กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยไม่ได้ผ่านการบดร้อยละ 20 มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 75 ของมอร์ตาร์ควบคุม ที่อายุทดสอบ 28 วัน เป็นค่าที่ต่ำและไม่เหมาะที่จะใช้เป็นวัสดุปอชโซลาน เมื่อบดให้มีความละเอียดขนาดก้างตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 25 – 30 กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่แทนที่ร้อยละ 20 มีค่าประมาณร้อยละ 74 – 98 ของมอร์ตาร์ควบคุมที่อายุ 28 วัน และเมื่อบดให้มีส่วนก้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละไม่เกินร้อยละ 5 ที่การแทนที่ร้อยละ 20 พบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ มีค่าร้อยละ 98 – 103 ของมอร์ตาร์ควบคุม

จากการศึกษาในอดีต พบว่าเถ้าขานอ้อยบดละเอียดสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปอชโซลานได้ และความพยายามในการประยุกต์ใช้ ยังเป็นเพียงขั้นตอนในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าขานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตคอนกรีตบล็อก โดยเน้นให้สามารถผลิตได้ด้วยขบวนการผลิตที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งสามารถถอดแบบได้ทันที เพื่อเป็นการนำเถ้าขานอ้อยไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- 1.1 เครื่องผสมมอร์ตาร์ (Mechanical Mixer) สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ไม่น้อยกว่า 140 – 290 รอบต่อนาที
- 1.2 ชุดทดสอบการไหลของมอร์ตาร์ (Flow Table)
- 1.3 Los Angeles Abrasion Machine พร้อมแท่ง Rods Mill ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.25 ซม. ยาว 46.50 ซม. (ดังแสดงในภาพผนวกที่ ง1 และ 2)
- 1.4 ชุดทดสอบแบบไวแคต (Vicat Apparatus)
- 1.5 ขวดแก้วสำหรับหาความถ่วงจำเพาะ (Le Chatelier)
- 1.6 ตะแกรงเบอร์ 325
- 1.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก ซึ่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
- 1.8 เตารอบไฟฟ้า
- 1.9 เครื่องอัดบล็อกคอนกรีต
- 1.10 อุปกรณ์หาความละเอียดของอนุภาค (Air Blaine Permeability)
- 1.11 เครื่องถ่ายภาพกำลังขยายสูง (Scanning Electron Microscopy)
- 1.12 เครื่องวิเคราะห์ความเป็นผลึกของสาร (X-Ray Diffractometer)
- 1.13 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (X-Ray Analytical Microscope)
- 1.14 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดขนาด 15 ตัน

2. วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

- 2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- 2.2 เถ้าขานอ้อยจากบริษัท น้ำตาลเกษตรไทย จำกัด จังหวัดนครสวรรค์
- 2.3 วัสดุผง คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าขานอ้อย โดยใช้เถ้าขานอ้อยแทนที่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณร้อยละ 0, 10, 20, 30 และร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุ ประสาน วิธีการผสมที่ใช้ในการศึกษาทดลองนี้ใช้วิธีการคลุกเคล้าให้เข้ากันด้วยมือ

2.4 ทราายแม่น้ำร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ค้างตะแกรงเบอร์ 50

2.5 หินฝุ่นสำหรับทำบล็อกคอนกรีตมีความถ่วงจำเพาะ 2.63 ขนาด 0.30 – 2.40 มิลลิเมตร

2.6 น้ำ ใช้น้ำประปาสะอาด

วิธีการ

1. การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเถ้าขานอ้อย

1.1 ทดสอบหาระยะเวลาการบดที่เหมาะสม

นำเถ้าขานอ้อย อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดในลักษณะการใช้ Rods Mill ปริมาณ 10 ท่อน และ 16 ท่อน ในเครื่อง Los Angeles มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 72.5 เซนติเมตร ยาว 51.0 เซนติเมตร หมุนด้วยอัตรา 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 , 60, 90 และ 120 นาที

1.2 การทดสอบหาน้ำหนักค้างบนตะแกรงเบอร์ 325

ทำการหาน้ำหนักค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ของเถ้าขานอ้อย โดยวิธีร่อนเปียก (Wet Sieve) หลังจากนั้นนำส่วนที่เหลือไปอบแห้ง ได้น้ำหนักส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 เปรียบเทียบกับข้อกำหนดในมาตรฐาน ASTM C618 ส่วนค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ต้องไม่เกินร้อยละ 34

1.3 การหาความถ่วงจำเพาะของเถ้าขานอ้อย

ทำการหาค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าขานอ้อย ตาม ASTM C 188 ซึ่งเป็นการหาอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัสดุต่อน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับวัสดุ การทดสอบนี้ใช้น้ำมันก๊าดเป็นของเหลวที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อให้เป็นข้อกำหนดเดียวกับการหาความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์

1.4 การทดสอบความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าขานอ้อย

การทดสอบหาความละเอียดโดยวิธี Air Blaine Permeability ตาม ASTM C 204 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบปริมาตรพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างที่ทดสอบ กับตัวอย่างของปูนซีเมนต์มาตรฐานที่ทราบค่าพื้นที่ผิวจำเพาะแล้ว โดยวัดระยะเวลาที่อากาศไหลผ่านตัวอย่างทดสอบด้วย

หลอดแก้วมานอมิเตอร์ ซึ่งตัวอย่างทดสอบที่มีความละเอียดสูงระยะเวลาที่อากาศไหลผ่านจะนานกว่าตัวอย่างทดสอบที่มีความละเอียดต่ำกว่า

1.5 ถ่ายภาพขยายกำลังสูงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าขานอ้อย เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างของจุลภาควัสดุที่ใช้ในการศึกษา

1.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี X-Ray Analytical Microscope (XGT)

1.7 การหาค่าการกระจายตัวของหินฝุ่น โดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง ตามมาตรฐาน ASTM C 136

2. การทดสอบคุณสมบัติเพสต์และมอร์ตาร์

2.1 การทดสอบหาความชื้นเหลวปกติ

การทดสอบหาความชื้นเหลวปกติตาม ASTM C187 เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ที่ผสมเถ้าขานอ้อยด้วยอัตราทดแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ซึ่งทำให้ได้สภาวะความชื้นเหลวที่เป็นมาตรฐานเพื่อนำไปใช้สำหรับการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์ต่อไปสำหรับขั้นตอนและวิธีการผสมเพสต์ใช้ตาม ASTM C 305

2.2 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์

การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์ตามมาตรฐาน ASTM C191 โดยใช้ปริมาณน้ำที่ให้ค่าความชื้นเหลวปกติ มาผสมทำการทดสอบ หาระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาการก่อตัวปลาย เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของการใช้เถ้าขานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ต่าง ๆ กัน

2.3 การทดสอบหาค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์โดยวิธีใช้โต๊ะการไหล

การทดสอบหาค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ โดยนำมอร์ตาร์ใส่ลงในแบบหล่อ กระทุ้งด้วยแท่งเหล็ก 20 ครั้ง จากนั้นใส่มอร์ตาร์จนเต็มแบบ กระทุ้งอีก 20 ครั้ง ปาดให้เรียบ ยกแบบหล่อขึ้น หมุนแทนโต๊ะขึ้นลง 25 ครั้ง วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของมอร์ตาร์ 4 ครั้ง นำมาหาค่าเฉลี่ยคำนวณหาค่าการไหลแผ่ โดยควบคุมอัตราการไหลให้อยู่ในช่วง 110 ± 5

2.4 การทดสอบดัชนีความเป็นปอซโซลาน (Pozzolanic Activity Index)

การทดสอบดัชนีความเป็นปอซโซลานของเถ้าชานอ้อย เป็นการทดสอบโดยทดสอบหาค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน ตามมาตรฐาน ASTM C 311 ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมต้องมีค่า ± 5 ของปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับมอร์ตาร์ควบคุม และจะต้องมีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 618 โดยส่วนผสมในการทดสอบครั้งนี้มีส่วนผสมต่างดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าชานอ้อย

Mix	Cement (g)	Bagasse Ash (g)	Sand (g)	Water (g)	% Flow
Control	500	0	1375	242.00	100.00
A – 20	400	100	1375	266.20	95.95
B – 20	400	100	1375	266.20	99.34
C – 20	400	100	1375	266.20	99.60
D – 20	400	100	1375	266.20	100.13

ความหมายของสัญลักษณ์ในแต่ละอัตราส่วนผสมมีความหมายดังนี้

“Control” หมายถึง มอร์ตาร์ ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสาน

อักษร “A” หมายถึง เถ้าชานอ้อยบดเป็นเวลา 30 นาที มีส่วนค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 28.7

อักษร “B” หมายถึง เถ้าชานอ้อยบดเป็นเวลา 60 นาที มีส่วนค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 11.7

อักษร “C” หมายถึง เถ้าชานอ้อยบดเป็นเวลา 90 นาที มีส่วนค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 5.1

อักษร “D” หมายถึง เถ้าชานอ้อยบดเป็นเวลา 120 นาที มีส่วนค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 2.1

เลข “20” หมายถึง การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าชานอ้อยในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

2.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อย การทดสอบนี้แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C 109 โดยควบคุมการไหลเพื่อให้อยู่ในช่วง 110 ± 5 ตามมาตรฐาน ASTM C 230 ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 1, 3, 7, 14, 28, 56 และ 91 วัน แต่ละอายุการทดสอบ

จะทำการทดสอบตัวอย่างมอร์ตาร์จำนวน 5 ตัวอย่าง ของแต่ละอัตราส่วนการแทนที่

จากผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ เลือกสัดส่วนผสมที่เหมาะสม ทดลองผลิต ตัวอย่างคอนกรีตบล็อกซึ่งใช้หินปูนสำหรับผลิตคอนกรีตบล็อกในเชิงพาณิชย์ ขนาด 7.50 X 7.50 X 7.50 เซนติเมตร เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกในโรงงานต่อไป

3. การทดสอบการหล่อและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในห้องทดลองทำโดยการเตรียมตัวอย่างคอนกรีต ขนาด 7.50 X 7.50 X 7.50 เซนติเมตร ปริมาณน้ำที่ใช้ยึดการขึ้นรูปได้ของคอนกรีตบล็อกเป็นเกณฑ์ แบ่งการอัดแน่นเข้าแบบเป็น 2 ชั้นด้วยแรงกด 25 กก/ซม² ทิ้งไว้ในแบบ 24 ชั่วโมง ถอดแบบแล้ว นำไปบ่มน้ำต่อเนื่อง นำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 1, 3, 7, 14, 28, 56 และ 91 วัน เปรียบเทียบ กำลังรับแรงอัดที่อายุ 3 วันกับมาตรฐานมอก. เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการผลิตคอนกรีต บล็อกในโรงงาน

4. การหล่อและทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกและทดสอบใช้ในงานก่อสร้างจริง

4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของบล็อกที่ผลิตจากโรงงาน ตามขบวนการที่ใช้ผลิต คอนกรีตบล็อกจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ การหล่อตัวอย่างใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องเขย่าความถี่สูง ทดสอบเมื่อคอนกรีตบล็อกมีอายุ 1, 3, 7, 14, 28 และ 56 วัน โดยใช้ Universal Testing Machine วางก้อนตัวอย่างให้ตรงศูนย์กลางของแท่นกดด้านบน ผิวด้านบนของก้อนตัวอย่างสัมผัสเต็มผิวเต็ม พื้นที่กับแผ่นเหล็กขูดด้านบน ให้แรงกดด้วยอัตราคงที่จนวิบัติ โดยใช้คอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อน ต่อการทดสอบแต่ละสัดส่วนผสม คำนวณการรับน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก เปรียบเทียบกับ บล็อกคอนกรีตที่ผลิตในเชิงพาณิชย์และมาตรฐาน มอก.

4.2 การทดสอบการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก

การทดสอบการดูดกลืนน้ำเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม โดยทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 109-2517 โดยนำก้อนตัวอย่างอบที่ อุณหภูมิ 110 – 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปลดปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิของห้องเป็น

เวลา 2 ชั่วโมง นำไปชั่งหาน้ำหนักตัวอย่างบล็อกคอนกรีตแห้ง (W_d) จากนั้นนำตัวอย่างไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดชั่งตัวอย่างขึ้นจากน้ำใช้ผ้าซับน้ำบนผิว ชั่งน้ำหนักให้เสร็จภายในเวลา 3 นาที เป็นน้ำหนักตัวอย่างเมื่อเปียก (W_s) ค่าการดูดกลืนน้ำคำนวณได้จาก

$$\text{ร้อยละ ของการดูดกลืนน้ำ} = \frac{(W_s - W_d)}{W_d} \times 100$$

เมื่อ W_d คือ น้ำหนักของบล็อกคอนกรีตแห้ง (กรัม)
 W_s คือ น้ำหนักของบล็อกคอนกรีตที่ดูดซึมน้ำ (กรัม)

4.3 การทดสอบการใช้คอนกรีตบล็อกในงานก่อสร้าง ในการศึกษาได้กำหนดเกณฑ์ในการพิจารณาการใช้งานดังนี้

1) กำลังรับแรงอัดที่อายุ 3 วัน ต้องไม่น้อยกว่า 25 กก/ซม² ตามที่กำหนดไว้ใน มอก. 58-2530

2) ค่าร้อยละของการดูดน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 25 ตามที่กำหนดไว้ใน มอก. 58-2530

3) ไม่เกิดรอยแตกร้าวระหว่างปูนก่อและคอนกรีตบล็อก ภายใน 3 วัน (การกำหนด ระยะเวลา นี้ อยู่บนแนวความคิดการใช้งานจริง เมื่อระยะเวลามากกว่า 3 วัน โดยทั่วไปจะมีการฉาบปูนทับผนังคอนกรีตบล็อกแล้ว)

4) ไม่เกิดการหลุดร่อนและแตกร้าวของปูนฉาบ ภายใน 60 วัน (เป็นการกำหนดเวลาบนแนวความคิดของระยะเวลาทั่วไป หลังการก่อฉาบเสร็จ ก่อนที่จะมีการทาสีทับผนัง)

5) ไม่เกิดตะไคร่น้ำและเชื้อราบนแผงผนังตัวอย่าง ภายใน 180 วัน เมื่อได้รับความชื้นสม่ำเสมอ (เป็นการกำหนดเวลาที่คาดว่าอาจจะก่อให้เกิดความเสียหาย)

ในการทดสอบสภาพการใช้งานจริง ทำโดยให้ช่างปูนอาชีพก่อผนังโดยใช้คอนกรีตบล็อกชนิด C-20, C-30, A-20, A-30, คอนกรีตบล็อกจำหน่ายในเชิงพาณิชย์, Control และ C-50 โดยก่อแต่ละชนิดให้มีความสูง 5 ก้อน ยาว 2 ก้อนติดกัน แยกการก่อผนังเป็น 3 แผง คือ ก่อไม่ฉาบทั้ง 2 ด้าน, ก่อฉาบ 1 ด้านและ ก่อฉาบทั้ง 2 ด้าน ให้ผนังทั้ง 3 แผง สัมผัสกับสภาวะอากาศภายนอกอาคารตามธรรมชาติ สังเกตความยากง่ายในการฉาบ การเกิดรอยร้าว สีที่เปลี่ยนไป ความเรียบของ

ปูนฉาบ การหลุ่คร่อนของปูนก่อ-ปูนฉาบ และก่ออิฐทุกชนิดให้มีความสูง 5 ก้อนความยาวชนิดละ 1 ก้อน โดยไม่ฉาบให้สัมผัสกับน้ำและรดน้ำด้วยสายยางทุกวันตลอดระยะเวลาการทดสอบ เพื่อสังเกตการเกิดตะไคร่น้ำและราของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกผลิตในเชิงพาณิชย์และคอนกรีตบล็อกควบคุม

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวอย่างในการทดสอบดังนี้คือ ตัวอย่างมอร์ต้าร์ 620 ตัวอย่าง, คอนกรีตในห้องทดลอง 175 ตัวอย่าง และคอนกรีตบล็อกจากการผลิตในโรงงาน 490 ตัวอย่าง

5. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. คุณสมบัติเบื้องต้นของเถาขานอ้อย

1.1 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการบด

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองบดเถาขานอ้อยเป็น 2 ลักษณะ คือใช้เถาขานอ้อยผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง โดยใช้ Rods Mill เป็นแท่งเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.25 เซนติเมตร ยาว 46.50 เซนติเมตร จำนวน 10 ท่อน คิดเป็นร้อยละ 0.87 ของปริมาตรถึง บดเถาขานอ้อย 2.50 กิโลกรัม และเพิ่มเป็น 16 ท่อน คิดเป็นร้อยละ 1.34 ของปริมาตรถึง บดเถาขานอ้อย 5.00 กิโลกรัม ได้ค่าความละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเห็นได้ว่าความละเอียดที่ได้จากการทั้งสองแบบแตกต่างกันน้อยมาก การเพิ่มตัวกลางในการบดมีผลในการเพิ่มความสามารภในการบดให้มีความประหยัคมากขึ้น

ตารางที่ 2 ร้อยละที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 325 เมื่อระยะเวลาและปริมาณขานอ้อยที่บดต่างกัน

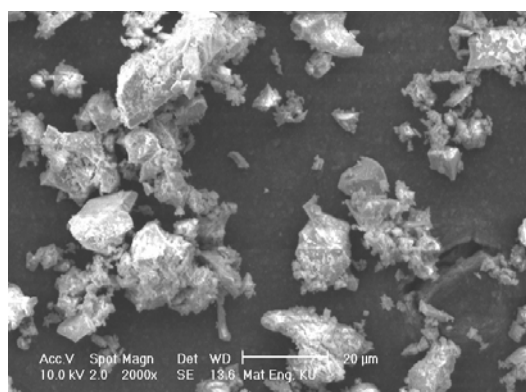
	ขานอ้อย 5.00 กก.				ขานอ้อย 2.50 กก.			
	A	B	C	D	A	B	C	D
เวลาบด (นาทื)	30	60	90	120	30	60	90	120
ค้ำตะแกรงเบอร์ 325 (%)	28.00	13.40	6.20	3.05	28.69	11.75	5.09	2.11

ดังนั้นการบดเถาขานอ้อยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้การบดเถาขานอ้อย ครั้งละ 5 กิโลกรัม ในแต่ละชนิดของตัวอย่างการบด เพื่อเป็นการประหยัคพลังงานในการบดเถาขานอ้อยให้มีความละเอียดที่ต่างกัน เพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

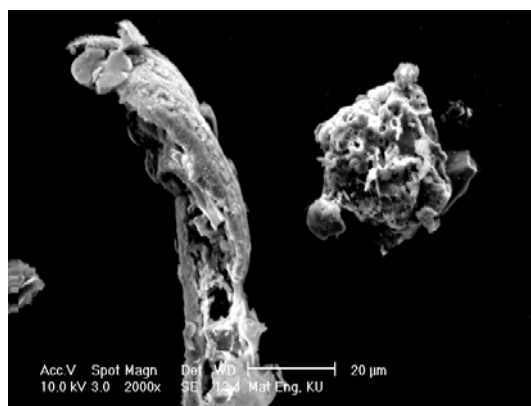
1.2 ความละเอียดของเถาขานอ้อย

ค่าความละเอียดที่วัดจากปริมาณที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 ดังแสดงในตารางที่ 3 การบดเถาขานอ้อยด้วยเวลานานขึ้นทำให้เถาขานอ้อยมีค่าความละเอียดเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งตามมาตรฐาน ASTM C 618 ได้กำหนดความละเอียดของวัสดุปอชโซลานที่ทำการทดสอบโดยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ต้องมีส่วนที่ค้ำไม่เกินร้อยละ 34 โดยน้ำหนัก ดังนั้นเถาขานอ้อย

ที่ผ่านการบดตั้งแต่ 30 นาทีขึ้นไป มีความละเอียดตามเกณฑ์ของมาตรฐานดังกล่าวกำหนดไว้ แต่เถ้าขานอ้อยที่ไม่ผ่านการบดมีส่วนข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 สูงถึงร้อยละ 69 ซึ่งเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดมาก ดังนั้นในการศึกษาส่วนอื่น ไม่นำเถ้าขานอ้อยที่ไม่บดมาศึกษาต่อ เนื่องจากวัสดุปอชโซลานจะทำปฏิกิริยาได้ดี จะต้องมีความละเอียดที่เหมาะสม (ณพศร,2548) ตัวอย่างเถ้าขานอ้อยและปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการวิจัยมีลักษณะภาพถ่ายกำลังขยายสูงเปรียบเทียบกับซีเมนต์ ดังแสดงในภาพที่ 1



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 การเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของซีเมนต์ (ก) และเถ้าขานอ้อยชนิด D (ข)

ด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 2,000 เท่า

ที่มา: อาทิตยาและสุวิมล (2548)

เถ้าขานอ้อยมีรูปร่างไม่แน่นอน มีความพรุนให้เห็นชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับร้อยละของส่วนข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 จากการบด 30 นาที เป็น 60 นาทีที่มีส่วนข้างลดลงร้อยละ 59 ของการบด 30 นาที แต่การบดเพิ่มเป็น 90 นาทีก็ลดส่วนข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ลงได้ร้อยละ 57 ของการบด 60 นาที และการบดเพิ่มขึ้นเป็นเวลา 120 นาที ช่วยให้มีส่วนข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ลดลงได้ร้อยละ 59 ของการบด 90 นาที จากการเปรียบเทียบพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธี Air Blaine Permeability พบว่าเถ้าขานอ้อยมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าปูนซีเมนต์ 1.59 ถึง 2.42 เท่า แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการบดด้วยระยะเวลาบดที่ต่างกันพบว่าเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการบด 60 นาทีมีค่าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 42 ของเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการบด 30 นาที แต่การบดเถ้าขานอ้อยนานขึ้นเป็นเวลา 90 และ 120 นาทีทำให้เถ้าขานอ้อยมีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นจากการบดจากการบด 60 นาทีเพียงร้อยละ 2 และ 5 ตามลำดับ แสดงว่าระยะเวลาการบดนานขึ้นมีผลทำให้ขนาดอนุภาคของเถ้าขานอ้อยลดลง

ได้มาก แต่มีผลต่อการเพิ่มของพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำลงเล็กน้อยมาก เมื่อบดต่ำลงนานเกิน 60 นาที

1.3 ความถ่วงจำเพาะ

จากตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบปูนซีเมนต์กับเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการบดเป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15, 2.23, 2.26, 2.32 และ 2.36 ตามลำดับ โดยเถ้าชานอ้อยมีค่าต่ำกว่าปูนซีเมนต์ประมาณ 1.41 ถึง 1.33 เท่า ซึ่งเถ้าชานอ้อยที่ละเอียดมากขึ้น จะมีค่าความถ่วงจำเพาะมากขึ้นด้วย เนื่องจากการบดเถ้าชานอ้อยทำให้ขนาดของอนุภาคเล็กลง และช่องว่างภายในอนุภาคของเถ้าชานอ้อยลดลง จึงทำให้มีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มมากขึ้น ในกรณีที่ต้องการความละเอียดของเถ้าชานอ้อยขนาดค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 น้อยกว่าร้อยละ 5 ต้องทำการบดเถ้าชานอ้อยไม่น้อยกว่า 90 นาที ด้วยปริมาณ Rods Mill จำนวน 16 ท่อน

ตารางที่ 3 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าชานอ้อย

Material	Grinding Time (Min)	Specific Gravity	Retained on Sieve	Specific
			No. 325 (%)	Surface Area (cm ² /g)
Cement Type I	-	3.15	-	3255
Original	0	2.10	69.0	4763
Bagasse Ash	A	2.23	28.0	5165
	B	2.26	13.4	7345
	C	2.32	6.2	7497
	D	2.36	3.1	7884

1.4 คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าชานอ้อยและเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อย

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยพบว่า มีซิลิกอนออกไซด์ (SiO₂) และอลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) หรืออลูมินาเป็นองค์ประกอบในปริมาณร้อยละ 83.27 และ 2.67 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4 และเมื่อเปรียบเทียบกับ ASTM C618 ตามตารางที่ 5 ซึ่งกำหนดให้ผลรวมของ SiO₂, Al₂O₃ และ Fe₂O₃ ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 สำหรับวัสดุปอซโซลาน Class N ขณะที่เถ้าชานอ้อยมีผลรวมขององค์ประกอบทั้ง 3 เท่ากับร้อยละ 88.79 และพบ SO₃

ร้อยละ 0.31 ซึ่ง ASTM C618 กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 4 ซึ่งแสดงว่าเถ้าขานอ้อยอาจใช้เป็นวัสดุปอชโซลานได้ และจากผลการทดสอบครรชนีความเป็นปอชโซลานของเถ้าขานอ้อยดังแสดงในตารางที่ 11 มีครรชนีความเป็นปอชโซลานสูงถึงร้อยละ 84-104 ที่อายุ 7 วันและที่อายุ 28 วันสูงถึงร้อยละ 87-108 ของมอร์ตาร์มาตรฐาน ซึ่งแสดงว่าเถ้าขานอ้อยน่าจะใช้เป็นวัสดุปอชโซลานได้ และอาจสรุปได้ว่าเถ้าขานอ้อยผ่านการบดไม่น้อยกว่า 30 นาทีจัดเป็นวัสดุปอชโซลานชนิด N ตามมาตรฐาน ASTM

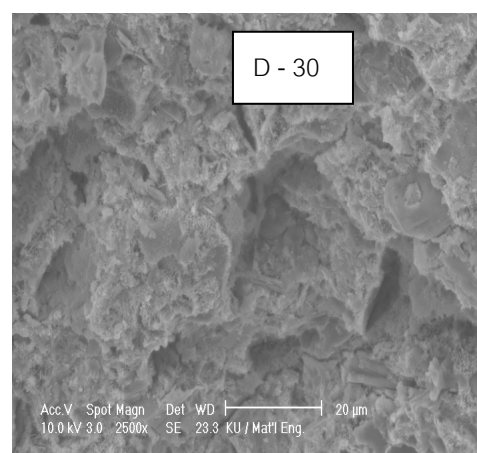
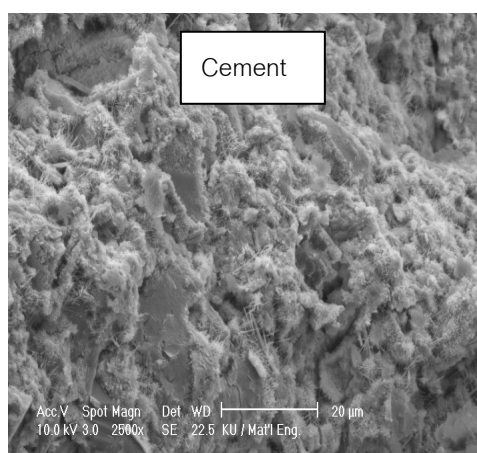
ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าขานอ้อยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ในงานวิจัย

Chemical Composition	Portland Cement (%)	Bagasse Ash (%)
SiO ₂	21.54	83.27
Al ₂ O ₃	2.90	2.67
Fe ₂ O ₃	2.83	2.85
CaO	67.52	7.27
SO ₃	4.59	0.31

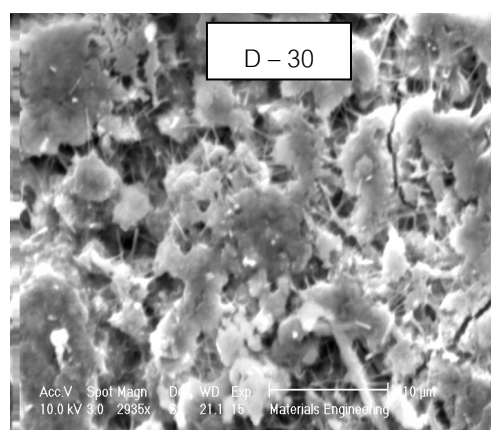
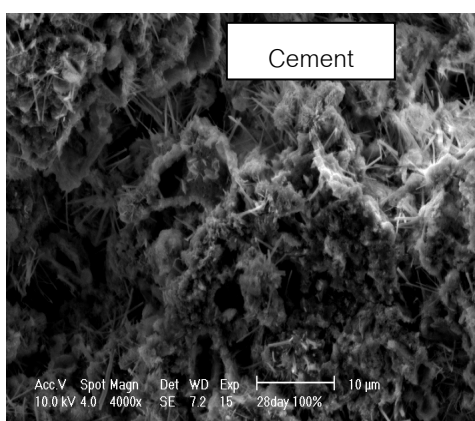
ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเถ้าขานอ้อยกับมาตรฐาน ASTM C618

Chemical and physical Requirements	ASTM C618			Bagasse Ash
	Mineral Admixture Class			Type D
	N	F	C	
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ ไม่น้อยกว่า (%)	70	70	50	88.79
SO ₃ ไม่เกิน (%)	4	5	5	0.31
Moisture content ไม่เกิน (%)	3	3	3	0.70
Loss on ignition (LOI) ไม่เกิน (%)	10	6	6	9
Strength activity at 7 day มากกว่า (%)	75	75	75	99
Strength activity at 28 day มากกว่า (%)	75	75	75	108
Specific gravity	2.10 – 2.58			2.36
Blaine fineness (cm ² /g)	2400 – 4800			7884

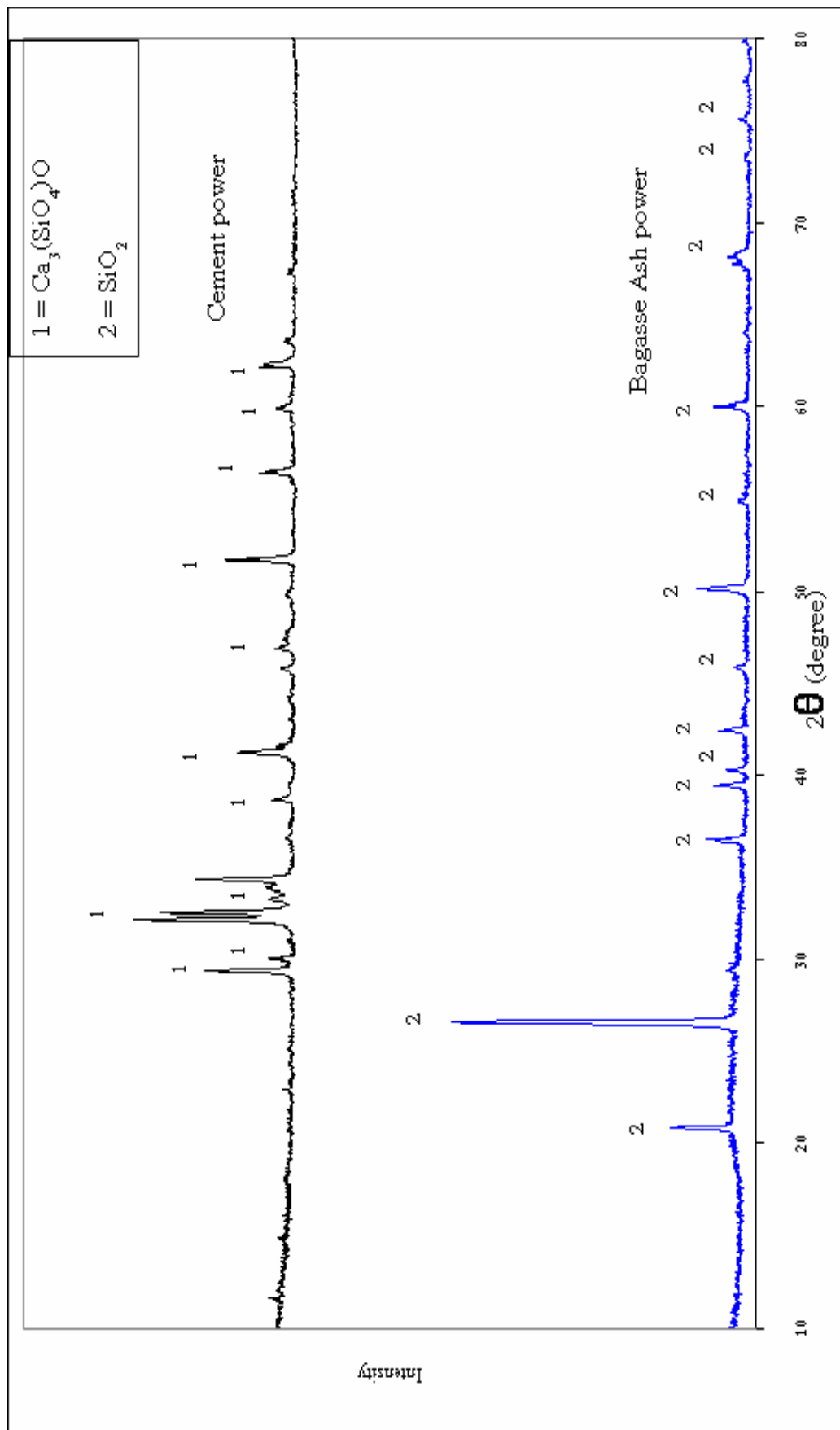
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Chemical Composition โดยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD) ซึ่งโครงสร้างของสารแต่ละชนิดจะมีมุมสะท้อนกลับในตำแหน่งและปริมาณที่ต่างกันไปเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสารประกอบต่างๆ ทำให้ระบุได้ถึงองค์ประกอบทางเคมีของสารชนิดนั้น ผลการศึกษาเล่าเรียนอ้อยพบว่ามี SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักดังภาพที่ 4 ส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี $\text{Ca}_3(\text{SiO}_4)\text{O}$ เป็นองค์ประกอบหลัก



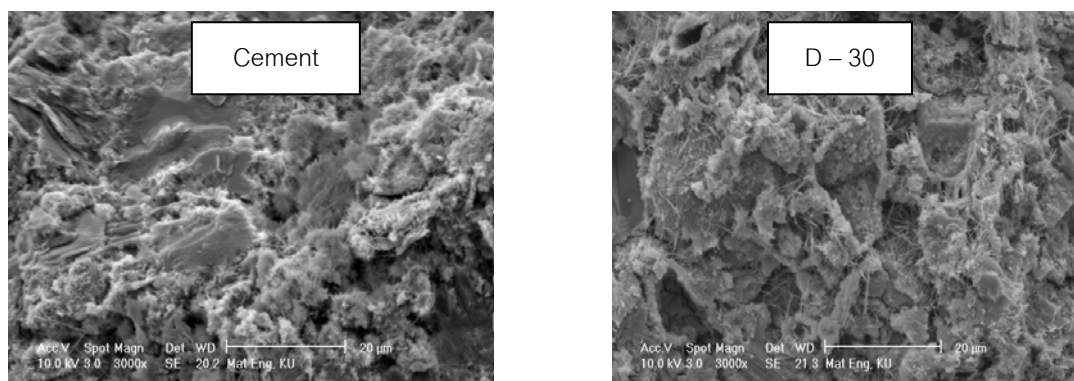
ภาพที่ 2 ภาพ SEM ของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าขานอ้อย 30% อายุ 14 วัน
กำลังขยาย 2,500 เท่า



ภาพที่ 3 ภาพ SEM ของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าขานอ้อย 30% อายุ 28 วัน
กำลังขยาย 4,000 เท่า



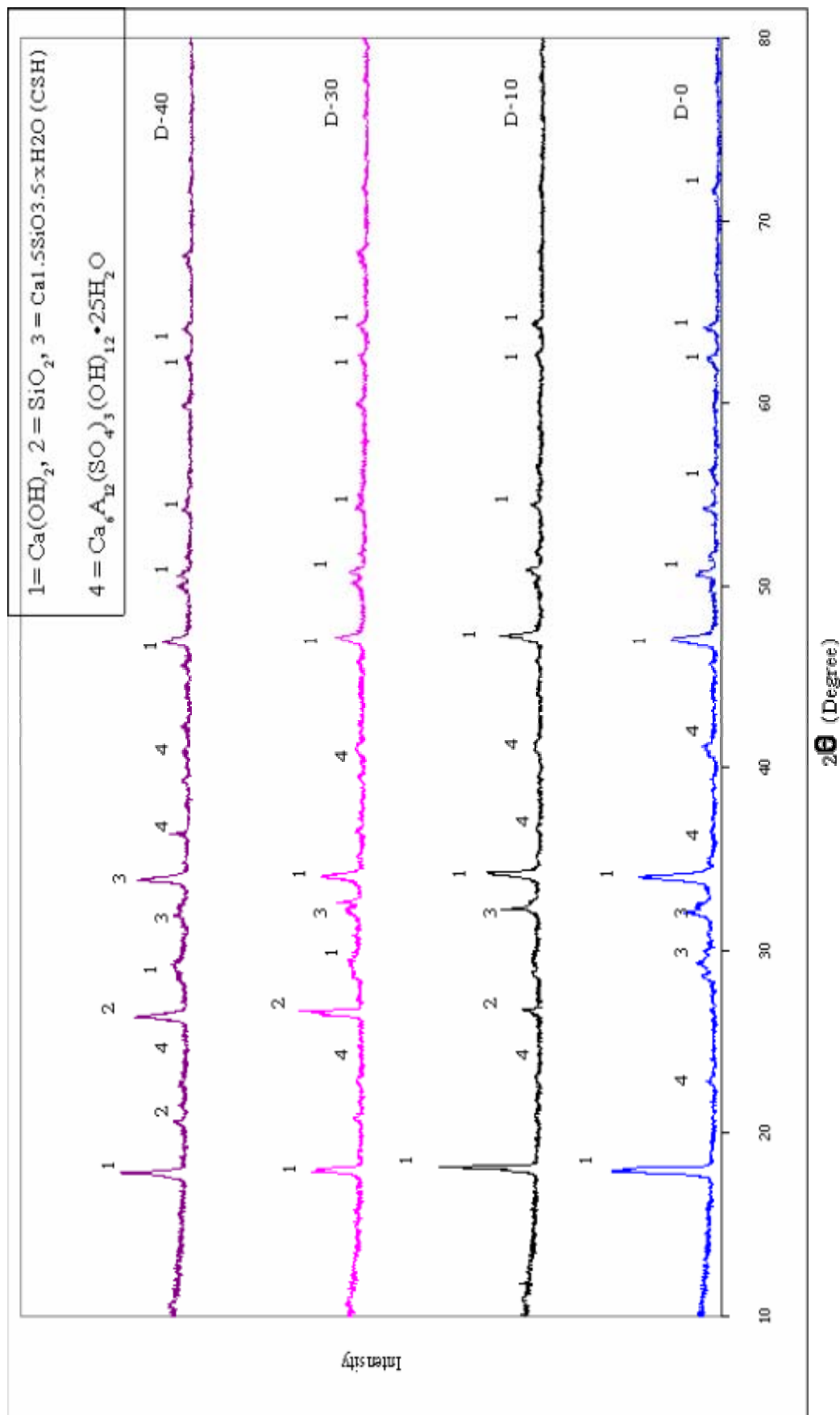
ภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผงปูนซีเมนต์และผงเถ้าขาน้อยด้วยเครื่อง XRD



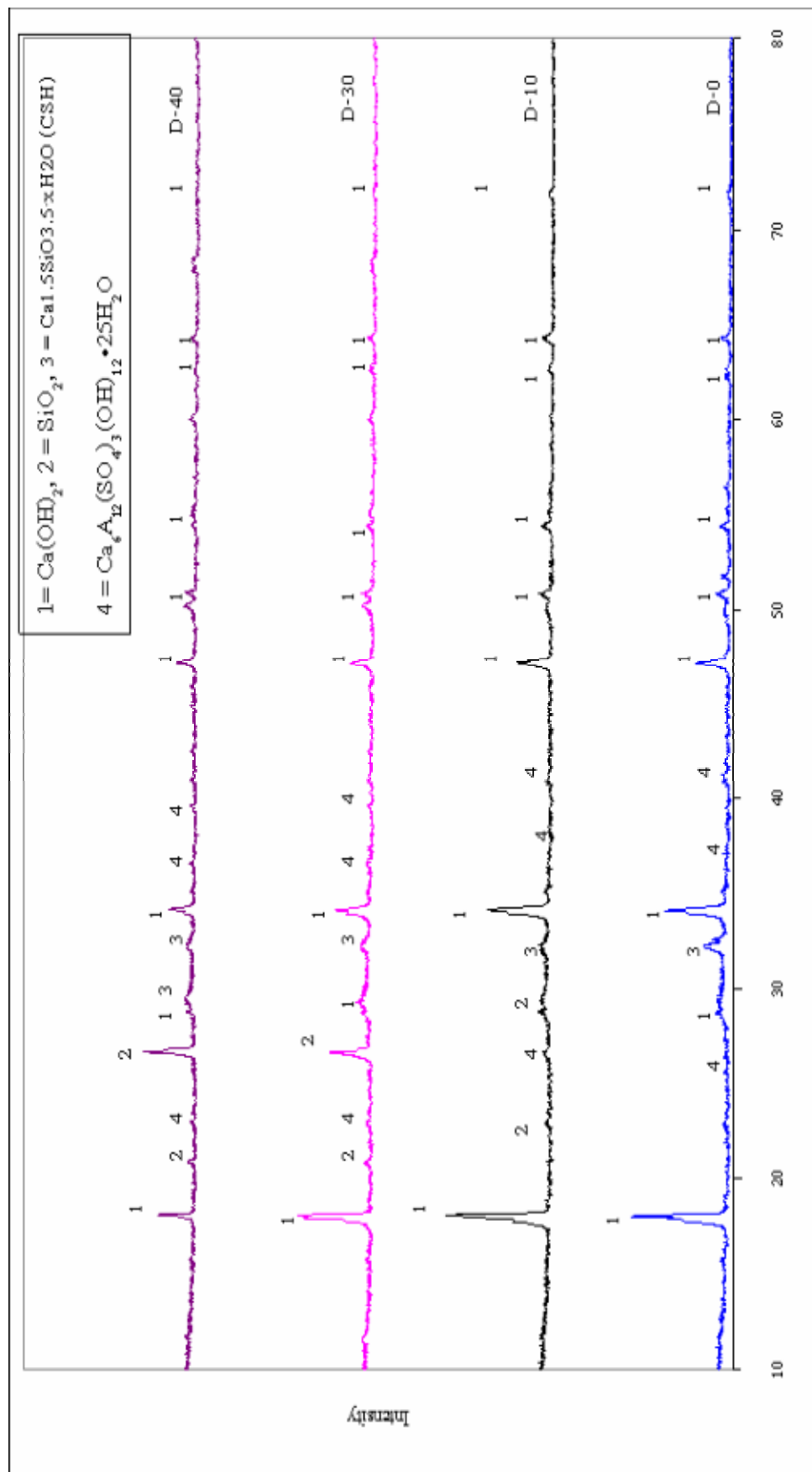
ภาพที่ 5 ภาพ SEM ของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าชานอ้อย 30% อายุ 91 วัน
กำลังขยาย 3,000 เท่า

การเปรียบเทียบภาพถ่ายกำลังขยายสูงของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าชานอ้อย ชนิด D ในปริมาณการแทนที่ร้อยละ 30 พบว่าซีเมนต์เพสต์อายุ 14 วัน มีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้เกิดแคลเซียมออกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) และ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานบ้างแล้ว ในขณะที่เพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยมีความแตกต่างค่อนข้างมาก ดังแสดงในภาพที่ 2 และเมื่อเพสต์มีอายุ 28 วัน ดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่าเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยยังคงปรากฏ Ettringite ให้เห็นเป็นจำนวนมาก ซึ่งคาดว่าอาจเป็นผลบางส่วนจากการทำปฏิกิริยาของเถ้าชานอ้อยที่ผสมลงไป ปริมาณของแคลเซียมออกไซด์และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ลดลง มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา และเมื่อเพสต์มีอายุ 91 วัน ดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่ามีความทึบแน่นมากขึ้นและลักษณะของภาพใกล้เคียงกับซีเมนต์เพสต์มากขึ้น

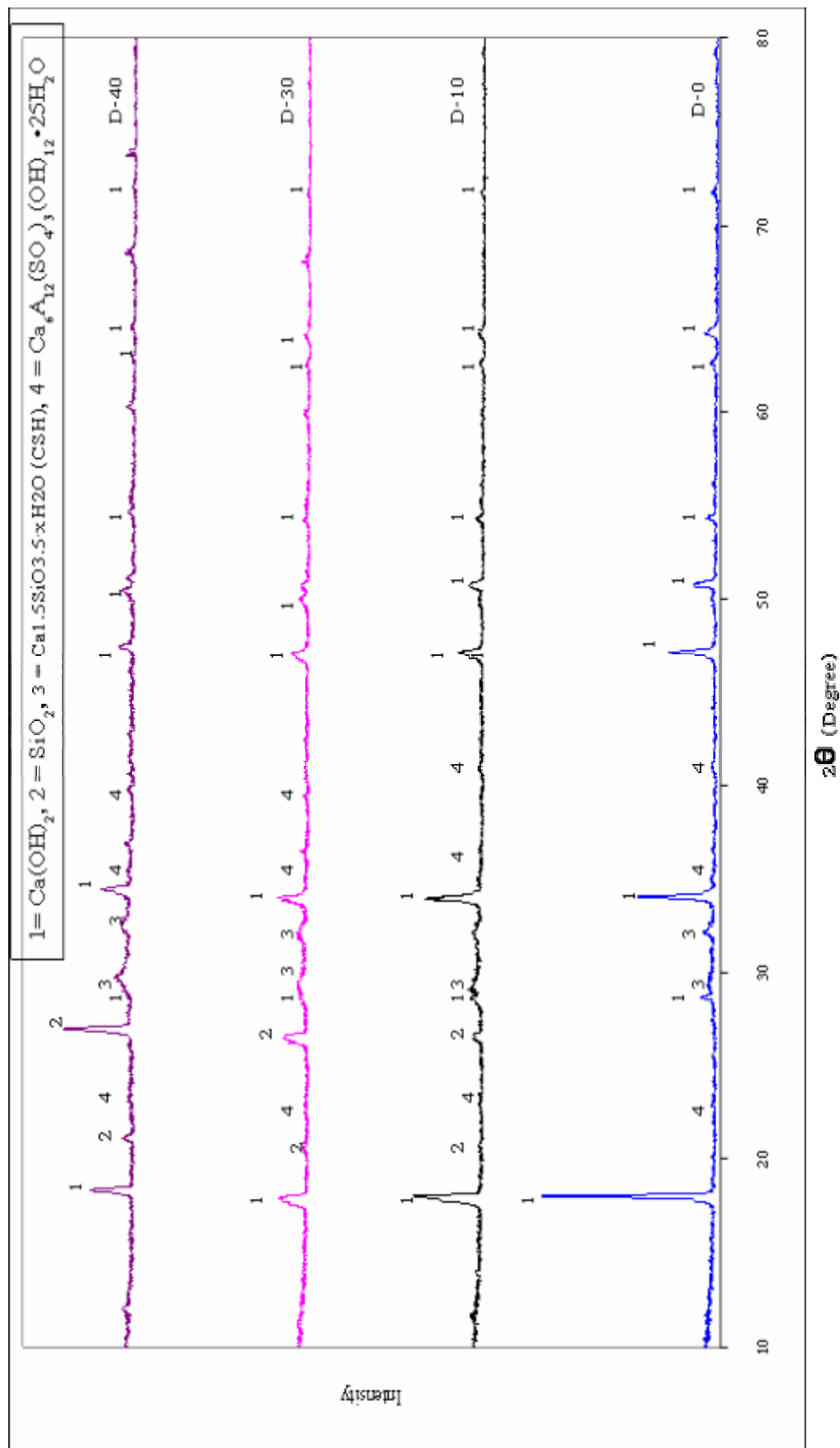
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง XRD ดังแสดงในภาพที่ 6 ถึง 9 พบว่ามีปริมาณ SiO_2 เพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อย ซึ่งมี SiO_2 เป็นสารองค์ประกอบหลักและความเข้มของ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ลดลง ซึ่งอาจอธิบายจากปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง ทำให้มีปริมาณ C_2S และ C_3S ลดลง ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้น้อยลง และปฏิกิริยาปอซโซลานที่อาจเริ่มเกิดขึ้นบ้าง อาจมีส่วนในการใช้ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ด้วย จากภาพที่ 10 เห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป ปริมาณ SiO_2 และ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ มีความเข้มลดลงสำหรับเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อย เนื่องมีการทำปฏิกิริยาปอซโซลานมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของ CSH เพิ่มขึ้น ขณะที่ซีเมนต์เพสต์ยังมีปริมาณ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ เพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันยังคงเกิดขึ้นต่อเนื่อง แม้ว่ามีอัตราช้าลงมาก ส่วนปริมาณของ $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 25\text{H}_2\text{O}$ (Ettringite) มีปริมาณลดลง



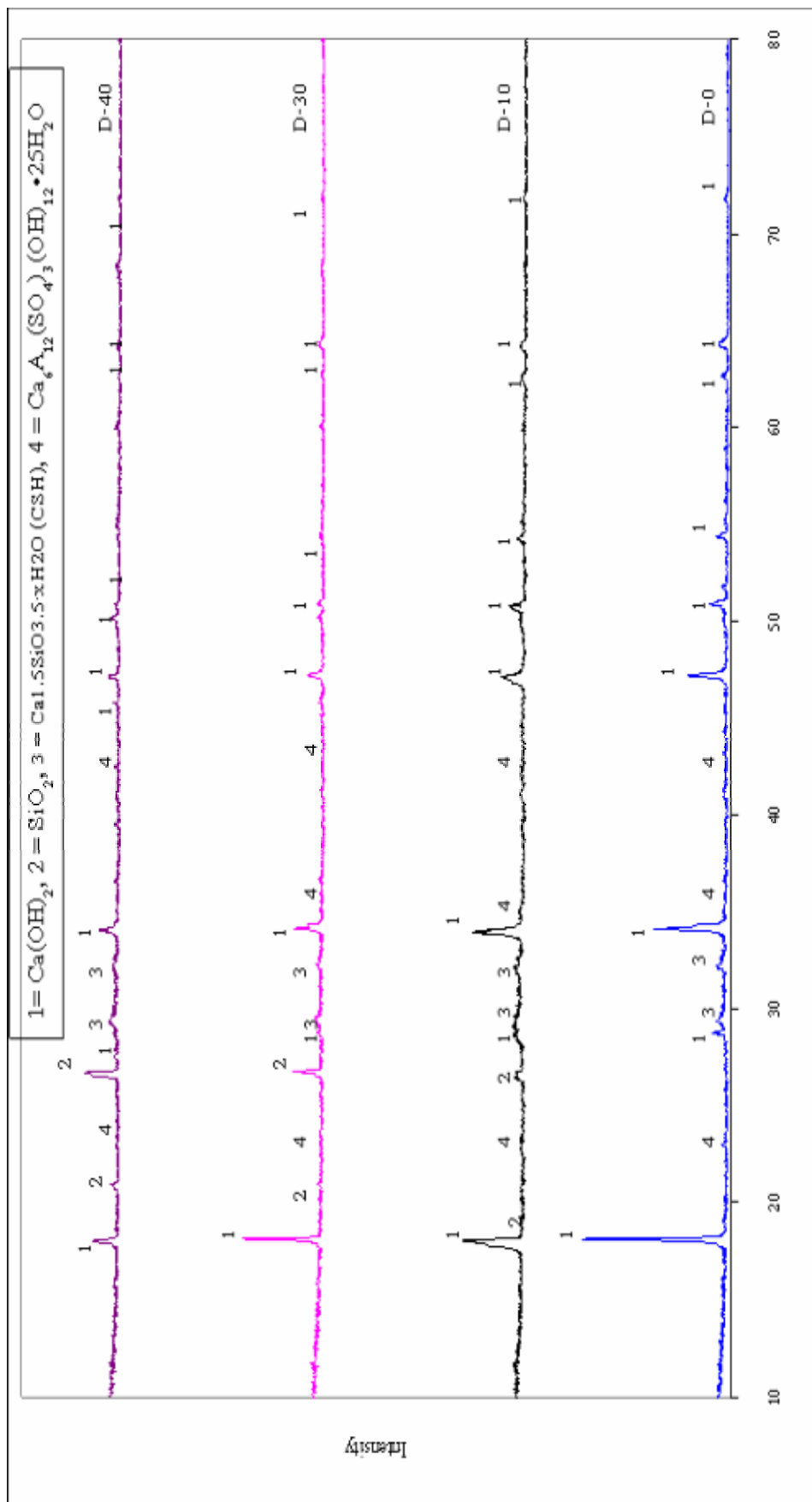
ภาพที่ 6 ผลการทดสอบ XRD ของซีเมนต์เฟสและเฟสผสมแก่ชาน้อยร้อยละ 0, 10, 30 และ 40 อายุ 7 วัน



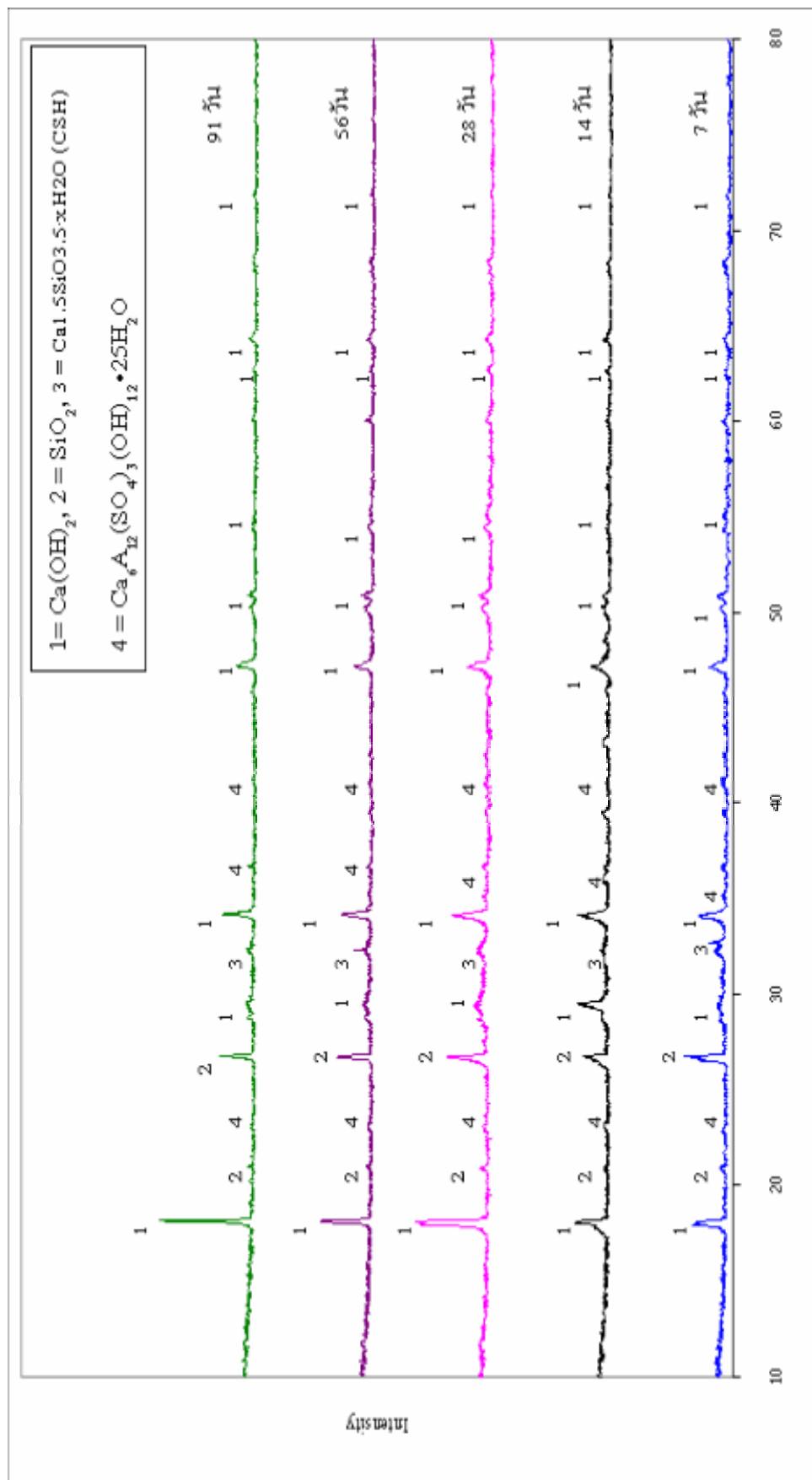
ภาพที่ 7 ผลการทดสอบ XRD ของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมถ้ำขาน้อยร้อยละ 0, 10, 30 และ 40 อายุ 28 วัน



ภาพที่ 8 ผลการทดสอบ XRD ของซีเมนต์เฟสและเฟสพัฒนาที่อายุ 0, 10, 30 และ 40 อายุ 56 วัน



ภาพที่ 9 ผลการทดสอบ XRD ของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าขาน้อยร้อยละ 0, 10, 30 และ 40 อายุ 91 วัน



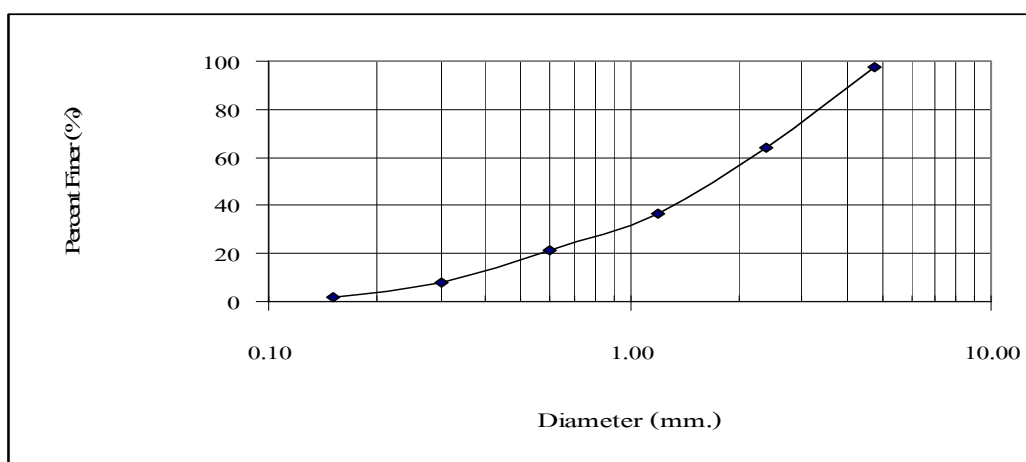
ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบผลการทดสอบ XRD ของเฟสพัฒนาแกนอ้อยระยะ 30 อายุ 7, 14, 28, 56 และ 91 วัน

1.5 การกระจายตัวของหินฝุ่น

ทำการทดสอบหาการกระจายตัวของหินฝุ่น ที่ใช้เป็นส่วนผสม ในการผลิตคอนกรีต บล็อก โดยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานตาม ASTM C136 พบว่าส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร เนื่องจากสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ถึงร้อยละ 97.54 ซึ่งหินฝุ่นมีขนาด 0.60 – 4.75 มิลลิเมตรถึงประมาณร้อยละ 80 ของวัสดุทั้งหมด และมีส่วนที่เล็กกว่า 0.60 มิลลิเมตรประมาณร้อยละ 20 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6 และแสดงการกระจายตัวดังภาพที่ 9

ตารางที่ 6 ผลการกระจายตัวของหินฝุ่น

ขนาดตะแกรง เบอร์	น้ำหนักที่ค้าง (กรัม)	ร้อยละที่ค้าง (%)	ร้อยละค้างสะสม (%)	ร้อยละที่ผ่าน (%)
4	24.60	2.46	2.46	97.54
8	332.60	33.30	35.77	64.23
16	273.90	27.43	63.19	36.81
30	151.70	15.19	78.38	21.62
50	136.50	13.67	92.05	7.95
100	61.50	6.16	98.21	1.79
PAN	18.10	1.81		



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการผ่านตะแกรงกับขนาดของหินฝุ่น

2. การศึกษาคุณสมบัติของเพสต์และมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย

2.1 ปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อย

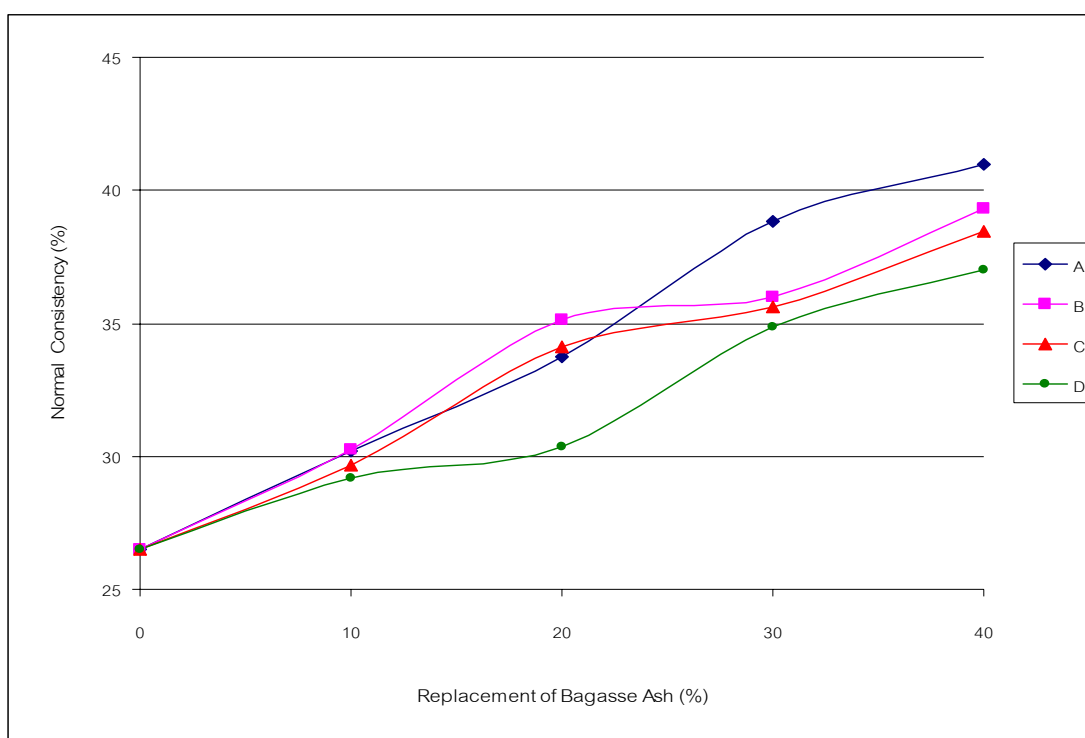
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าชานอ้อย ดังแสดงในตารางที่ 7 และภาพที่ 12 พบว่าเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยชนิด A ซึ่งมีความละเอียดขนาดค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 28.7 ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 มีปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 26.50 เป็น 30.20, 33.75, 38.86 และ 41.00 ตามลำดับ เมื่อการแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยที่มีความละเอียดมากขึ้น มีผลให้ปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติมีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 7 ปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อย

Paste	Normal Consistency (%)				
	Replacement of Bagasse Ash by Weight (%)				
	0	10	20	30	40
A	26.50	30.20	33.75	38.86	41.00
B	26.50	30.24	35.14	36.00	39.33
C	26.50	29.69	34.14	35.64	38.47
D	26.50	29.18	30.36	34.89	37.00

แต่ยังมีค่าเพิ่มขึ้นตามร้อยละการแทนที่ที่เพิ่มขึ้นเช่นเดิม โดยมีค่าเท่ากับ 30.24, 35.14, 36.00 และ 39.33 สำหรับการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานสำหรับเถ้าชานอ้อยชนิด B ที่มีส่วนค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 13.4 สำหรับเถ้าชานอ้อยชนิด C ขนาดค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 6.2 มีค่าปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติเท่ากับร้อยละ 29.69, 34.41, 35.64 และ 38.47 ตามลำดับของการแทนที่ที่เท่ากัน และเถ้าชานอ้อยขนาดค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 2.1 (ชนิด D) มีค่าปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติเท่ากับร้อยละ 29.18, 30.36, 34.89 และ 37.00 ตามลำดับของการแทนที่ร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติของเถ้าชานอ้อยเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนร้อยละที่เพิ่มขึ้นของการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อย แต่ใช้ปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติลดลงเมื่อเถ้าชานอ้อยมีการบดละเอียดมากขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเถ้าชานอ้อยมีรูพรุนสูง ระยะห่างระหว่างอนุภาคมาก

เมื่อมีอนุภาคขนาดใหญ่ จึงคุดน้ำมากเพื่อเข้าไปเติมในช่องว่างระหว่างอนุภาคและรูพรุนเหล่านั้น เมื่อทำการปรับปรุงขนาดอนุภาคของเถ้าชานอ้อยให้มีความละเอียดขึ้น ปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติจึงลดลง แสดงว่าการบดให้เถ้าชานอ้อยละเอียดเพิ่มขึ้นลดขนาดของอนุภาคลงและมีผลต่อการลดปริมาณรูพรุน ช่องว่างระหว่างอนุภาคลดลงทำให้ปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติของเพสต์ลดลงซึ่งจะเป็นผลดีต่อกำลังอัดและการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าชานอ้อย เนื่องจากเถ้าชานอ้อยที่บดละเอียดมากขึ้น ทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าชานอ้อยมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยนั่นเอง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการวิจัยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้และเถ้าปาล์มน้ำมัน (สุรพันธุ์,2545) และเป็นเช่นเดียวกับผลการวิจัยเถ้าชานอ้อยเพื่อพัฒนาเป็นวัสดุปอซโซลาน (ณพงศธร,2548)



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการแทนที่เถ้าชานอ้อยกับปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลวปกติ

2.2 ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อย

ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยและซีเมนต์เพสต์ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 191 ดังแสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 13 ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นจากซีเมนต์เพสต์ควบคุมมาก คือเพิ่มจาก 96 นาที เป็น 155, 148, 151

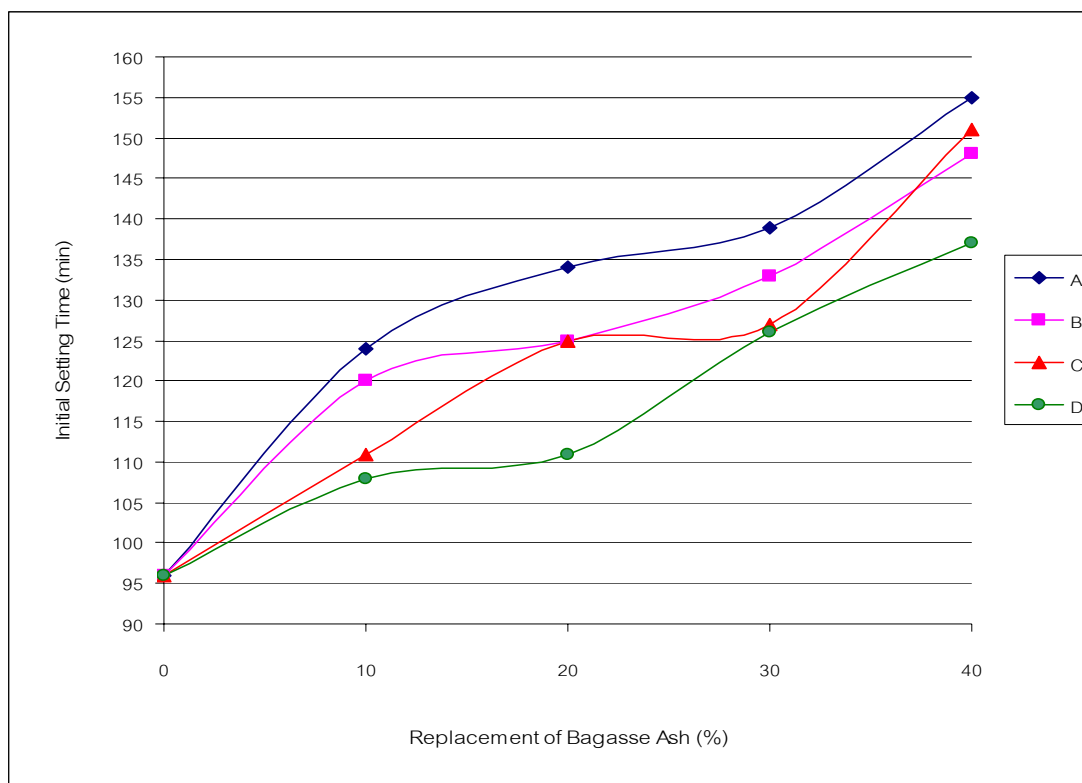
และ 137 นาที สำหรับการแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยชนิด A, B, C และ D ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาการก่อตัวมีค่าใกล้เคียงกันถึงแม้จะมีความละเอียดของวัสดุต่างกัน การก่อตัวเริ่มต้นของเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยขึ้นอยู่กับปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อย คือ เถ้าชานอ้อยชนิด A มีระยะเวลาการก่อตัว เป็น 124, 134, 139 และ 155 นาที เมื่อการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานตามลำดับ สำหรับเพสต์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยชนิด B ระยะเวลาการก่อตัวเท่ากับเพสต์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยชนิด C ที่การแทนที่ร้อยละ 20 การที่ระยะเวลาการก่อตัวเท่ากัน อาจอธิบายได้จากปริมาณน้ำที่ใช้มีปริมาณใกล้เคียงกันมาก และระยะเวลาการก่อตัวมีค่า 120, 133 และ 148 นาที

ตารางที่ 8 เวลาการก่อตัวเริ่มต้นของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อย

Paste	Initial Setting Time (min)				
	Replacement of Bagasse Ash by Weight (%)				
	0	10	20	30	40
A	96	124	134	139	155
B	96	120	125	133	148
C	96	111	125	127	151
D	96	108	111	126	137

ตารางที่ 9 เวลาการก่อตัวระยะปลายของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อย

Paste	Final Setting Time (min)				
	Replacement of Bagasse Ash by Weight (%)				
	0	10	20	30	40
A	135	150	165	165	195
B	135	150	165	165	165
C	135	135	165	165	195
D	135	135	135	135	165



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการแทนที่เถ้าชานอ้อยกับระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น

ที่การแทนที่ร้อยละ 10, 30 และ 40 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเถ้าชานอ้อยชนิด A สำหรับเถ้าชานอ้อยชนิด C ระยะเวลาการก่อตัว เป็น 111, 125, 127 และ 151 นาที เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับการแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยชนิด A และ B ที่ปริมาณร้อยละของการแทนที่เท่ากัน และมีระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นน้อยลงอีกเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยชนิด D คือ 108, 111, 126 และ 137 นาที สำหรับการแทนที่ร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน การแทนที่เถ้าชานอ้อยชนิด A ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 5165 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม มีระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นนานกว่าเถ้าชานอ้อยชนิด B ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าชนิด A ถึง 1.42 เท่า โดยเฉพาะเมื่อแทนที่ปริมาณมาก ในทำนองเดียวกันระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยชนิด C และ D มีค่าใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วนของการแทนที่ เพราะเถ้าชานอ้อยทั้ง 2 ชนิดมีพื้นที่ผิวจำเพาะไม่แตกต่างกันมากคือ 7497 และ 7884 ซม²/กรัม ตามลำดับ จากเหตุผลดังกล่าวจึงสรุปได้ว่า เมื่อเถ้าชานอ้อยมีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นจะทำให้การทำให้ปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น ส่วนการก่อตัวระยะปลายของเถ้าชานอ้อยชนิดละเอียดมาก (ชนิด C และ D) มีค่าเท่ากับเพสต์ควบคุม

ที่ 135 นาที่ และมีค่าเท่ากับ 1 สำหรับการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 สำหรับเถาขานอ้อยชนิด A, B และ C ระยะเวลาการก่อตัวระยะปลายมีค่ามากกว่าเพสต์ควบคุมสำหรับเถาขานอ้อยที่มีความละเอียดน้อย ขนาดข้างตะแกรงเบอร์ 325 มากกว่าร้อยละ 13.4 คือเพิ่มจาก 135 นาที่เป็น 150 นาที่ การแทนที่ปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นมีผลกับระยะเวลาการก่อตัวระยะปลายไม่มากนัก ดังข้อมูลในตารางที่ 9

2.3 ความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ผสมเถาขานอ้อย

ความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ซึ่งหาโดยการควบคุมการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ โดยใช้วิธีใช้ โต๊ะการไหล ดังแสดงในตารางที่ 9 พบว่าเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถาขานอ้อยชนิด A, B, C และ D เห็นได้ว่าความต้องการน้ำในรูปของอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับเถาขานอ้อยชนิด A และ B มีค่าเท่ากับ 0.67, 0.68, 0.72 และ 0.74 สำหรับการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถาขานอ้อยร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และความต้องการน้ำของเถาขานอ้อยชนิด C และ D มีความต้องการน้ำใกล้เคียงกันคือมีค่าเท่ากับ 0.66, 0.68, 0.71 และ 0.72 สำหรับการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ซึ่งจะเห็นได้ว่าความต้องการน้ำลดลงเล็กน้อย เมื่อเถาขานอ้อยที่ใช้แทนที่มีความละเอียดมากขึ้น และมีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อการแทนที่ปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 20, 30 และร้อยละ 40 แสดงให้เห็นว่าการบดเถาขานอ้อยสามารถลดปัญหาความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นของเถาขานอ้อยลงได้เล็กน้อย

ตารางที่ 10 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานของมอร์ตาร์มาตรฐาน และมอร์ตาร์ผสมเถาขานอ้อย

Mortar	Water – Cement Ratio				
	Replacement of Bagasse Ash by Weight (%)				
	0	10	20	30	40
Control	0.60	-	-	-	-
A	-	0.67	0.68	0.72	0.74
B	-	0.67	0.68	0.72	0.74
C	-	0.66	0.68	0.71	0.72
D	-	0.65	0.68	0.71	0.72

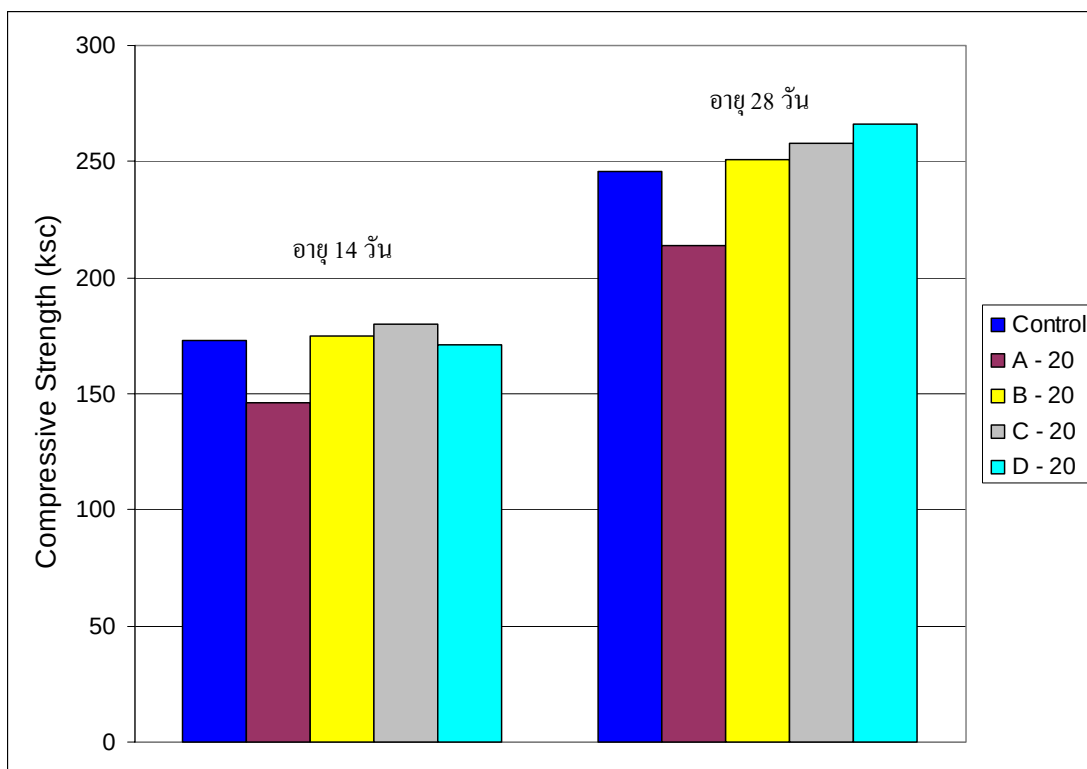
2.4 กำลังอัดของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C311 (ตรวจหาค่าความเป็นปอซโซลาน)

กำลังอัดของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C311 ทดสอบตรวจหาค่าความเป็นปอซโซลานของเถ้าขานอ้อยเป็นส่วนสำคัญในการทดสอบครั้งนี้ ในการผสมมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของเถ้าขานอ้อยชนิด A, B, C และ D โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ควบคุมการไหลแผ่ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้ผสมต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 5 ของการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ควบคุม ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASTM C311

ตารางที่ 11 กำลังอัดเฉลี่ยของมอร์ตาร์เพื่อทดสอบตรวจหาค่าความเป็นปอซโซลาน

Mortar	Compressive Strength (ksc)		Flow (%)
	7 Days	28 Days	
Control	173 (100%)	246 (100%)	95.35
A - 20	146 (84%)	214 (87%)	91.48
B - 20	175 (101%)	251 (102%)	94.72
C - 20	180 (104%)	258 (105%)	94.97
D - 20	171 (99%)	266 (108%)	95.47

ผลการทดสอบตรวจหาค่าความเป็นปอซโซลานจากกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยที่อายุ 7 วันและ 28 วัน ดังตารางที่ 11 และภาพที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบกำลังของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยและมอร์ตาร์ซีเมนต์ล้วนที่อายุ 7 วันและ 28 วันตามลำดับ เห็นได้ว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการบด 30 นาที มีกำลังอัดที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการบด 60, 90 และ 120 นาที คือเท่ากับ 146 และ 214 กก/ชม² หรือคิดเป็นร้อยละ 84 และ 87 ของมอร์ตาร์มาตรฐานที่อายุเดียวกัน สำหรับกำลังอัด มอร์ตาร์ของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการบด 60 นาที มีกำลังอัดเท่ากับ 175 และ 251 กก/ชม² โดยคิดเป็นร้อยละ 101 และ 102 ของมอร์ตาร์มาตรฐาน ที่อายุ 7 และ 28 วัน ตามลำดับ มอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการบด 90 นาที มีกำลังอัดเท่ากับ 180 และ 258 กก/ชม² โดยคิดเป็นร้อยละ 104 และ 105 ของมอร์ตาร์มาตรฐาน ที่อายุ 7 และ 28 วัน ตามลำดับ และมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการบด 120 นาที มีกำลังอัดเท่ากับ 171 และ 266 กก/ชม² โดยคิดเป็นร้อยละ 99 และ 108 ของมอร์ตาร์มาตรฐาน ที่อายุ 7 และ 28 วัน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผ่านการบดตั้งแต่ 60 ถึง 120 นาทีมีกำลังอัดที่ใกล้เคียงกันคือมีค่าร้อยละ 99 ถึง 104 ของมอร์ตาร์มาตรฐาน



ภาพที่ 14 การเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยกับมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนอายุ 7 และ 28 วัน

ที่อายุ 7 วันและมีค่าร้อยละ 102 ถึง 108 ของมอร์ต้าร์มาตรฐานที่อายุ 28 วัน ซึ่งตามมาตรฐาน ASTM C618 กำหนดครรชนีความเป็นปอซโซลานของวัสดุต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 ของมอร์ต้าร์มาตรฐาน ที่อายุ 7 วันหรือ 28 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากำลังอัดที่ได้จากมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการบดสามารถใช้ทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนได้ เพราะมีการทำปฏิกิริยาปอซโซลานค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ต้าร์มาตรฐาน การบดเถ้าขานอ้อย สามารถเพิ่มกำลังอัดของมอร์ต้าร์ได้ ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าความละเอียดที่เพิ่มขึ้น ทำให้เถ้าขานอ้อยทำปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นและดีขึ้น อย่างไรก็ตามค่ากำลังอัดอาจเป็นผลกระทบส่วนหนึ่งจากการอุดแทรกช่องว่าง (filling effect) ของอนุภาคต่างขนาดของเถ้าขานอ้อยด้วย

2.6 กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อย

ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยที่อายุต่างๆ จากการทดสอบขึ้นตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง สำหรับแต่ละอายุ ในตารางที่ 12 และภาพที่ 15 ถึง 18

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย ที่มีความละเอียดต่างกัน ในปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0 ถึง 40 ตามลำดับ โดยการควบคุมอัตราการใช้เท่ากับ 110 ± 5

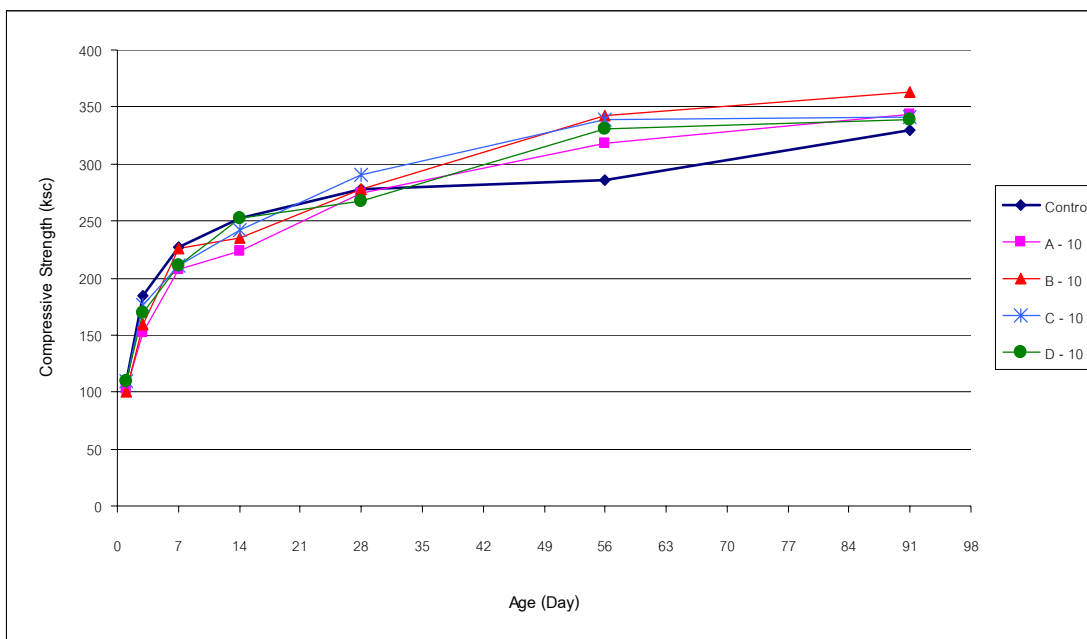
ตารางที่ 12 กำลังอัดเฉลี่ยของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อยที่ระยะเวลาการบดและปริมาณการแทนที่ต่างกัน

Mortar	Compressive Strength (ksc)						
	1 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	56 วัน	91 วัน
Control	109	184	227	252	278	286	330
A - 10	103	152	207	224	274	318	343
B -10	100	159	226	235	278	342	363
C - 10	109	176	211	242	290	339	341
D - 10	109	169	211	252	267	331	339
A - 20	83	154	192	258	259	274	332
B -20	102	138	189	240	262	275	311
C - 20	91	155	196	242	262	304	332
D - 20	107	153	214	247	274	296	357
A -30	64	127	153	192	226	259	281
B - 30	59	127	152	200	226	286	303
C -30	67	131	159	201	234	280	319
D - 30	67	132	160	216	228	302	332
A - 40	73	83	109	154	196	228	235
B - 40	68	79	109	151	194	224	246
C - 40	60	100	109	185	229	270	294
D - 40	59	101	133	184	235	272	300

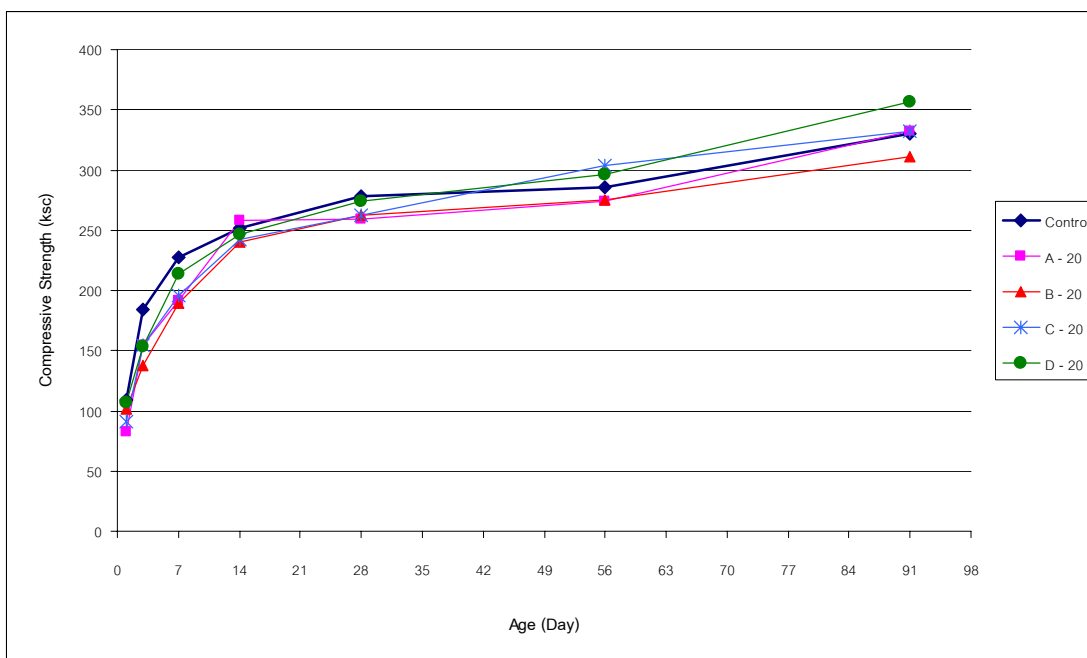
การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10 ของน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์มาตรฐานในช่วงอายุทดสอบ 1 ถึง 28 วัน คือที่อายุ 7 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 207 ถึง 226 กก/ซม² คิดเป็นร้อยละ 91 ถึง 100 เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐานและที่อายุ 28 วัน

มีค่ากำลังรับแรงอัดคิดเป็นร้อยละ 99, 100, 104 และ 96 เมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์มาตรฐานและกำลังอัดมีค่าสูงกว่ามอร์ต้าร์มาตรฐานที่อายุทดสอบ 56 วันขึ้นไป โดยมีค่าคิดเป็นร้อยละ 111 ถึง 120 ของมอร์ต้าร์มาตรฐานที่อายุ 56 วัน และคิดเป็นร้อยละ 103 ถึง 110 ของมอร์ต้าร์มาตรฐานที่อายุทดสอบ 91 วัน สำหรับการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าขานอ้อยทุกชนิดของการบดร้อยละ 20 ของน้ำหนักวัสดุประสาน จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยมีค่าใกล้เคียง กับมอร์ต้าร์มาตรฐานตั้งแต่อายุการทดสอบที่ 14 วันขึ้นไป โดยมีกำลังอัดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 ของมอร์ต้าร์มาตรฐาน แต่มีค่าต่ำกว่ามอร์ต้าร์มาตรฐานเล็กน้อยที่อายุทดสอบตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน โดยมีค่าคิดเป็นร้อยละ 75 ถึง 98 ของมอร์ต้าร์มาตรฐาน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับทุกความละเอียดของเถ้าขานอ้อยที่บดด้วยระยะเวลาที่ต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 16 สำหรับการแทนที่เถ้าขานอ้อยที่มีความละเอียดแตกต่างกันในปริมาณร้อยละ 30 ในภาพที่ 17 มีค่ากำลังอัดต่ำกว่ามอร์ต้าร์มาตรฐานที่อายุการทดสอบน้อยกว่า 56 วัน มีค่าใกล้เคียงกับมอร์ต้าร์มาตรฐานตั้งแต่อายุ 56 วันขึ้นไป โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของเถ้าขานอ้อยที่ทำการแทนที่ โดยเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการบดละเอียดมากขึ้นจะมีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าเถ้าขานอ้อยที่หยาบกว่าเล็กน้อย สำหรับการแทนที่เถ้าขานอ้อยที่มีความละเอียดแตกต่างกันในปริมาณร้อยละ 40 นั้นจะเห็นได้ว่ามีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่ามอร์ต้าร์มาตรฐานอย่างชัดเจนดังแสดงในภาพที่ 18 และเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเถ้าขานอ้อยชนิด A และ B มีค่ากำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกัน ส่วนเถ้าขานอ้อยชนิด C และ D มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าสูงกว่าเถ้าขานอ้อยชนิด B ประมาณร้อยละ 21 ถึง 28 ที่อายุการทดสอบต่างกัน อันเป็นผลมาจากความละเอียดของเถ้าขานอ้อยที่แตกต่างกันคือเถ้าขานอ้อยชนิด C และ D มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 7497 และ 7884 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ซึ่งมีความละเอียดต่างกันเพียงร้อยละ 3 เท่านั้น จึงทำให้ความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ใกล้เคียงกัน

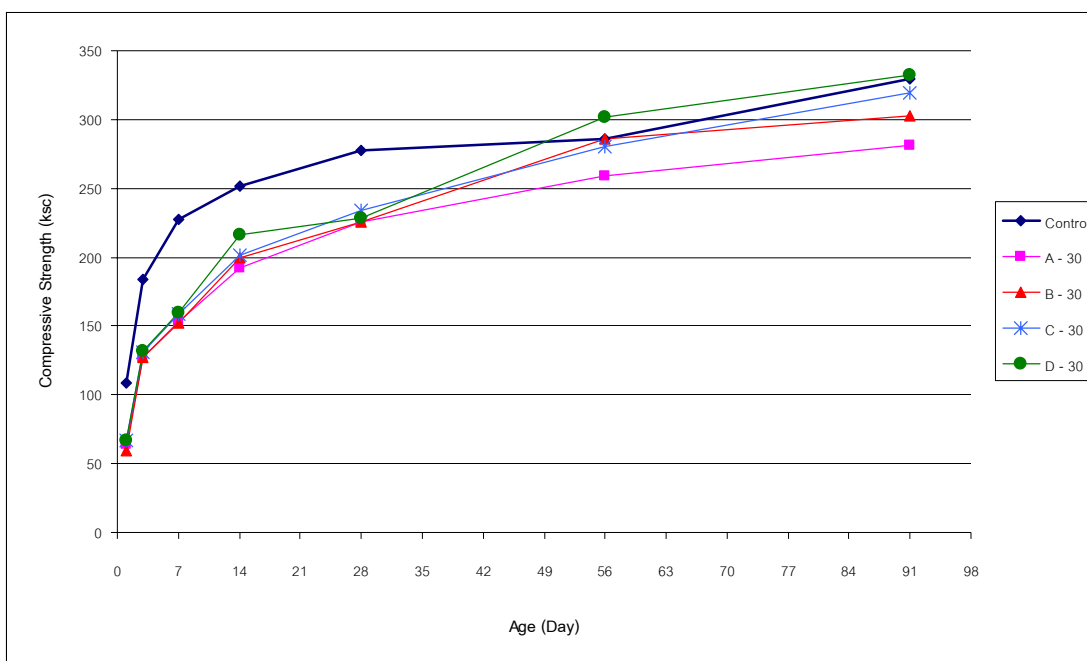
การเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยที่มีความละเอียดเท่ากัน ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10 ถึง 40 แสดงไว้ในภาพที่ 19 ถึง 22 พบว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์มีค่าลดลง เมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มมากขึ้นเหมือนกันในทุกความละเอียดที่แตกต่างกันมีแนวโน้มที่เหมือนกันดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยที่ค่ากำลังรับแรงอัดร้อยละ 99, 93, 81 และ 71 ของมอร์ต้าร์มาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน สำหรับการแทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการบด 30 นาที ในปริมาณร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 ตามลำดับ สำหรับการแทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยชนิด B สามารถรับแรงอัดได้ร้อยละ 100, 94, 81 และ 70 ของมอร์ต้าร์มาตรฐานที่อายุ 28 วันตามการแทนที่ร้อยละ 10 ถึง 40 ตามลำดับ



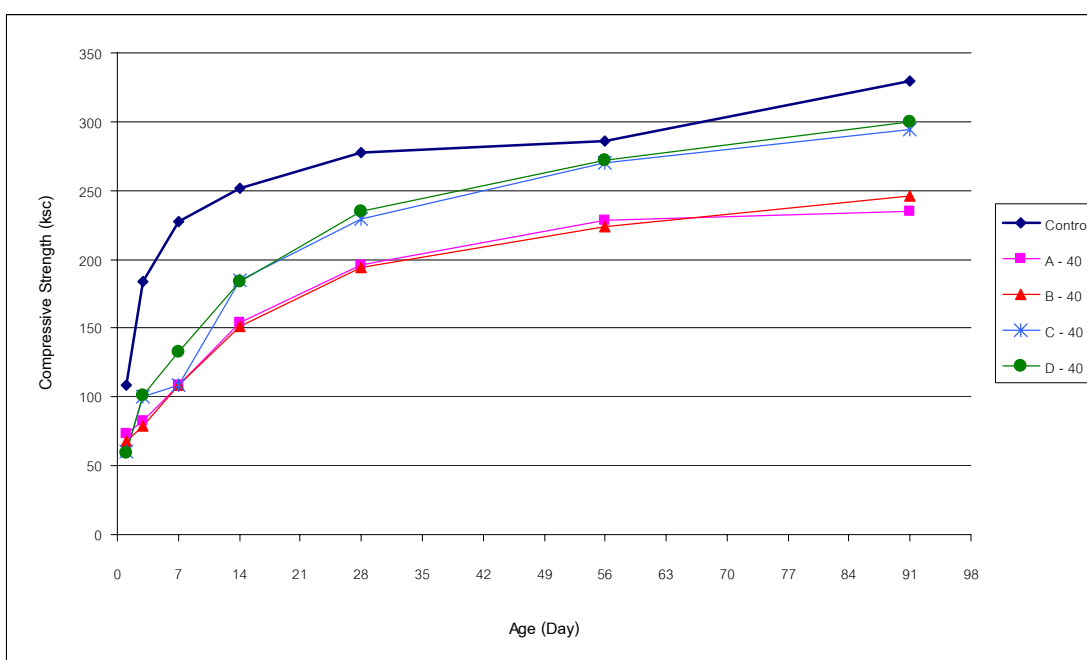
ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขาน้อยผ่านการบดต่างกันที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10 และอายุทดสอบ



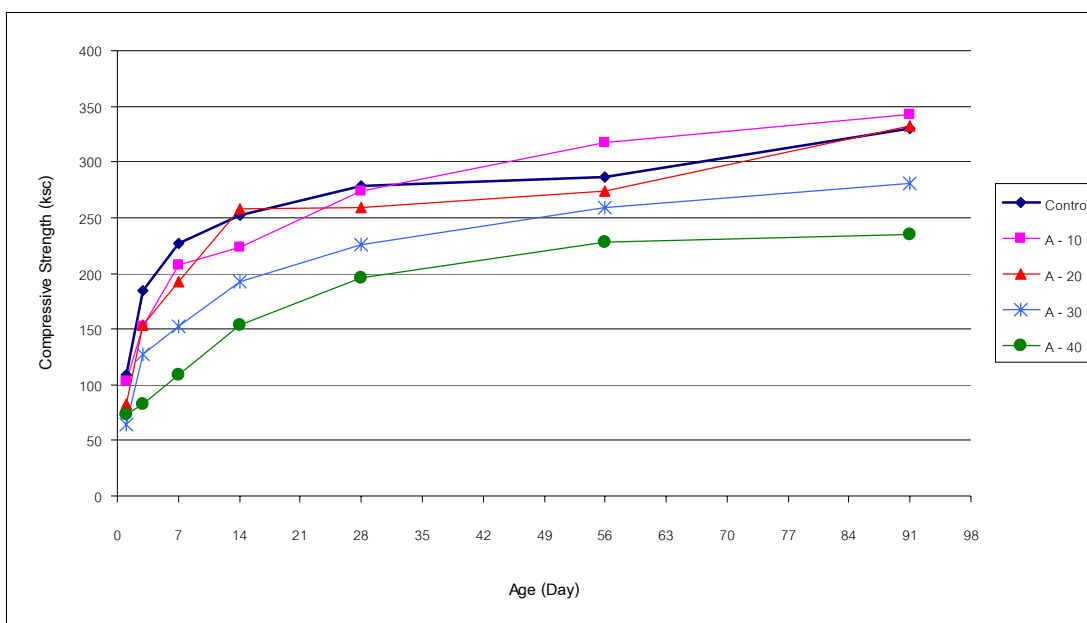
ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขาน้อยผ่านการบดต่างกันที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 20 และอายุทดสอบ



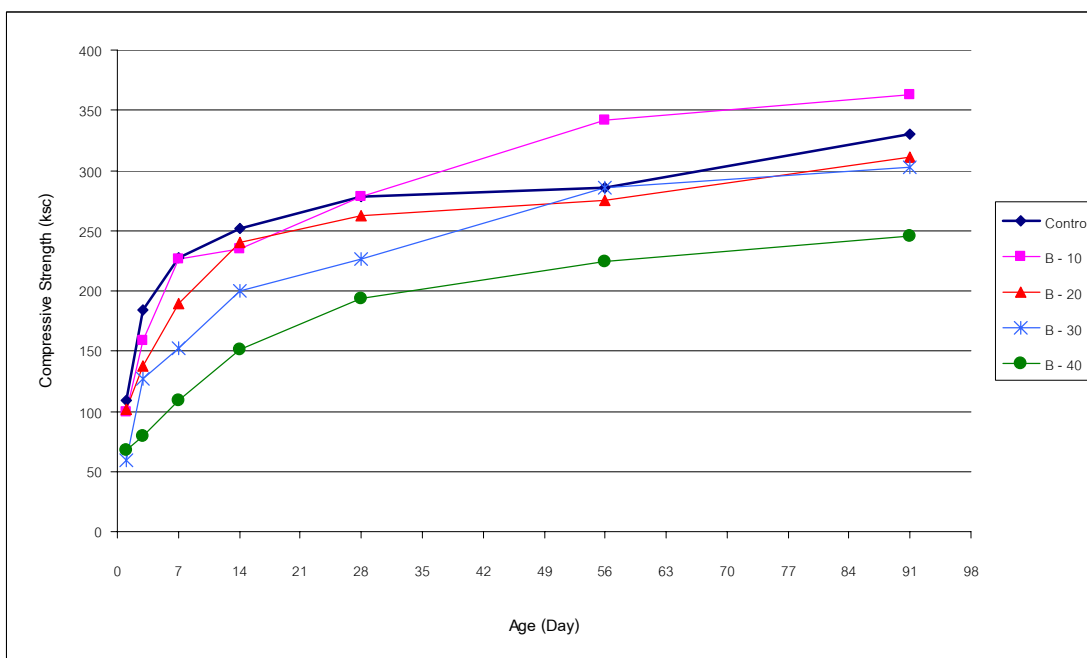
ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขาน้อยผ่านการบดต่างกันที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 30 และอายุทดสอบ



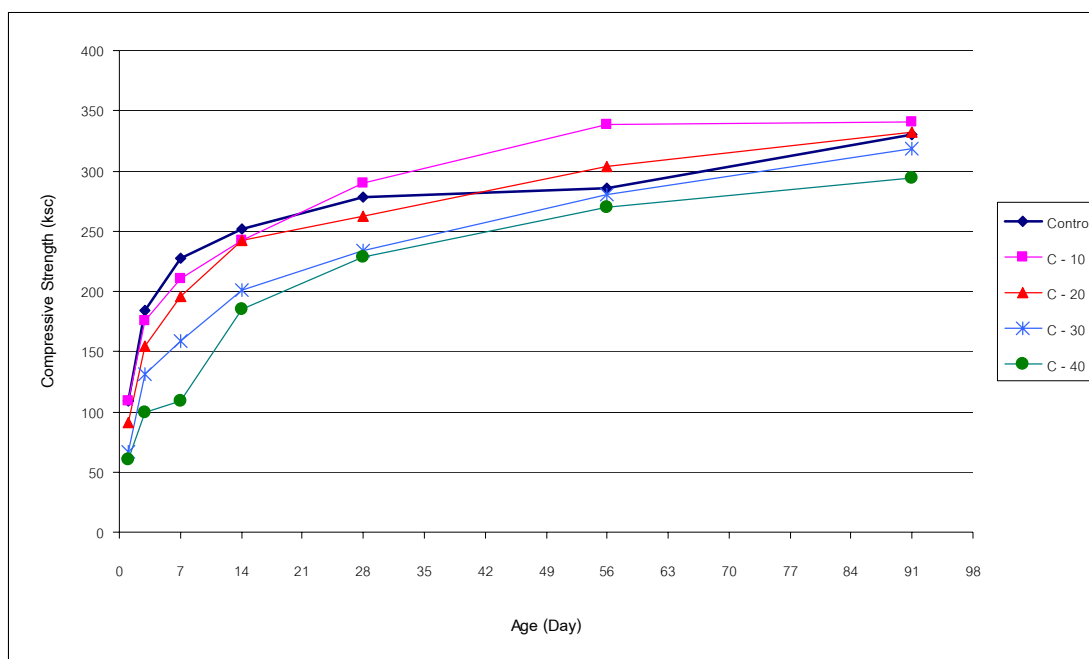
ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขาน้อยผ่านการบดต่างกันที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 40 และอายุทดสอบ



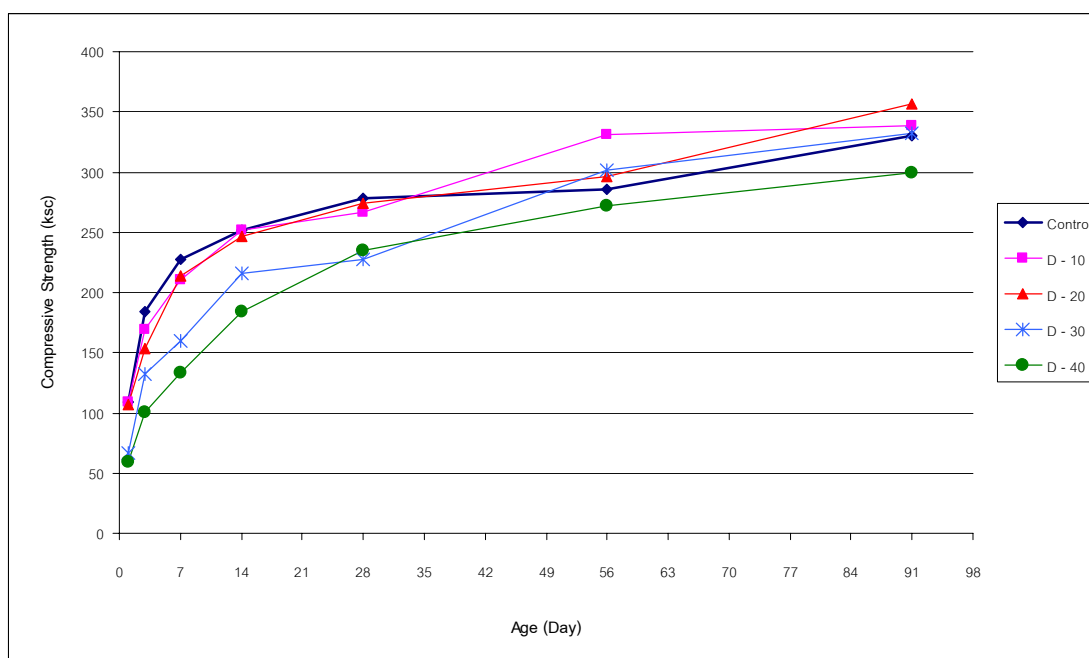
ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถาขนอ้อยชนิด A ในปริมาณ
การแทนที่ร้อยละ 10 – 40



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถาขนอ้อยชนิด B ในปริมาณ
การแทนที่ร้อยละ 10 – 40



ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด C ในปริมาณ
การแทนที่ร้อยละ 10 – 40



ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด D ในปริมาณ
การแทนที่ร้อยละ 10 – 40

ส่วนเถาซานอ้อยชนิด C มีกำลังรับแรงอัดคิดเป็นร้อยละ 104, 94, 84 และ 82 ของมอร์ตาร์ดมาตรฐานตามลำดับของการแทนที่ข้างต้น ที่อายุทดสอบ 28 วัน ส่วนเถาซานอ้อยชนิด D มีกำลังรับแรงอัดเป็นร้อยละ 96, 99, 82 และ 85 ของมอร์ตาร์ดมาตรฐานที่อายุ 28 วัน ตามลำดับของการแทนที่ร้อยละ 10 ถึง 40 และมีค่าสูงกว่ามอร์ตาร์ดมาตรฐานที่อายุทดสอบตั้งแต่อายุ 56 วันขึ้นไปสำหรับการแทนที่ไม่เกินร้อยละ 30 และมีค่ามากกว่าร้อยละ 90 ของมอร์ตาร์ดมาตรฐานที่การแทนที่ร้อยละ 40 ดังนั้นจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ดผสมเถาซานอ้อยชนิดความละเอียดเดียวกันที่ปริมาณการแทนที่ต่างกันการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น ทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ดลดลงและลดลงอย่างชัดเจนเมื่อแทนที่ถึงร้อยละ 40 ของวัสดุประสาน

จากการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ดผสมเถาซานอ้อยที่มีความละเอียดแตกต่างกันในปริมาณการแทนที่เท่ากัน เห็นได้ว่าความละเอียดที่ทำให้กำลังรับแรงอัดไม่แตกต่างกันมากระหว่างเถาซานอ้อยชนิด A และ B ส่วนเถาซานอ้อยชนิด C และ D มีค่าใกล้เคียงกัน จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จึงเลือกการแทนที่เถาซานอ้อยชนิด A และ C เพราะประหยัดพลังงานการบด ในปริมาณการแทนที่ร้อยละ 20 และ 30 ของวัสดุประสาน เพื่อทดลองหล่อชิ้นตัวอย่างคอนกรีตซึ่งใช้ส่วนผสมของหินปูนที่ใช้สำหรับคอนกรีตบล็อกในเชิงพาณิชย์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกด้วยขบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ โดยไม่มีการปรับเปลี่ยนกรรมวิธีการผลิต

3. กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกในห้องปฏิบัติการ

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างขนาด 7.50 X 7.50 X 7.50 เซนติเมตร ซึ่งใช้ส่วนผสมของหินปูนที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกในท้องตลาด ซึ่งมีส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 13 หลังจากผสมให้เข้ากันแล้ว อัดลงแบบ 2 ชั้น ด้วยแรงกด 25 กก/ซม² ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดลองแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถาซานอ้อยชนิด C ร้อยละ 50 ในส่วนผสม เพื่อผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ทำการทดสอบที่อายุ 3 วัน พบว่าสามารถรับแรงอัดได้ 44 กก/ซม² ดังค่าที่แสดงในตารางที่ 14 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 58 -2530 ซึ่งกำหนดให้คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักต้องมีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 25 กก/ซม² ข้อมูลดังกล่าวจึงอาจนำไปใช้เป็นแนวทางส่วนผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักได้ กำลังรับแรงอัดของส่วนผสมอื่นที่อายุ 3 วัน มีค่าเท่ากับ 177, 184, 149 และ 150 กก/ซม² สำหรับตัวอย่างชนิด A-20, C-20, A-30 และ C-30 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่ามาตรฐาน มอก. 57-2530 ที่กำหนดให้คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักต้องรับ

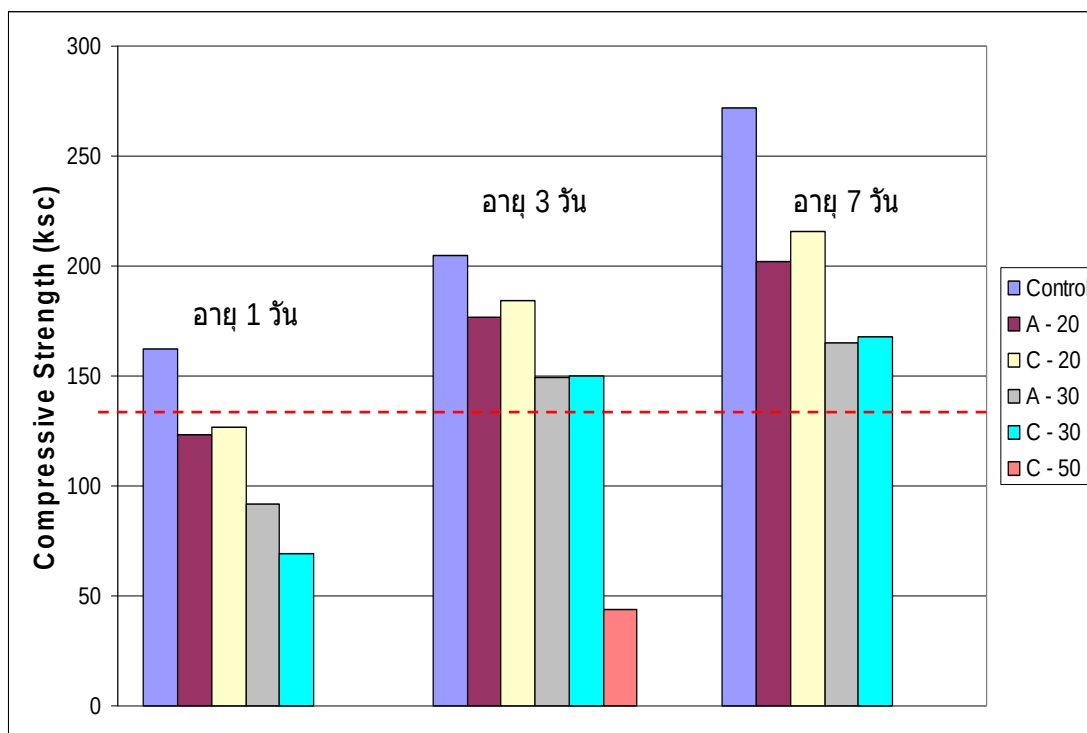
แรงอัดได้มากกว่า 140 กก/ชม² ที่อายุ 3 วัน ดังนั้นจากผลของกำลังอัดของคอนกรีตในการทดสอบในห้องปฏิบัติการนี้มีความเป็นไปได้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยชนิดรับน้ำหนัก โดยใช้วิธีการอัดบล็อกด้วยเครื่องอัดที่ใช้ผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ จากภาพที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยชนิด A และ C แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 และ 30 คอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุมตั้งแต่อายุทดสอบ 56 วัน

ตารางที่ 13 สัดส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยในห้องปฏิบัติการ

Mix	Cement (kg/m ³)	Bagasse Ash (kg/m ³)	Crushed Stone (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Water (kg/m ³)
Control	243	0	1705	244	190
A – 20	176	44	1538	220	263
A – 30	150	64	1505	215	276
C – 20	186	46	1628	233	224
C – 30	154	66	1542	220	260
C – 50	117	117	1636	234	270

ตารางที่ 14 ค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยที่ระยะเวลาการบดและปริมาณการแทนที่ต่างกัน

Concrete	Compressive Strength (ksc)						
	1 day	3 days	7 days	14 days	28 days	56 days	91 days
Control	162	205	272	359	364	378	419
A – 20	123	177	202	284	328	348	380
C – 20	127	184	216	303	350	381	420
A – 30	92	149	165	230	270	313	340
C – 30	69	150	168	238	288	338	367
C – 50	-	44	-	-	-	-	-



ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยชนิด A และ C
แทนที่ร้อยละ 20, 30 และ 50

ซึ่งมีค่าสูงกว่าร้อยละ 81 สำหรับส่วนผสมทั้ง 4 ส่วนผสม คอนกรีตผสมของเถ้าขานอ้อยร้อยละ 20 และ 30 มีการพัฒนากำลังได้ใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุมและมีความเป็นไปได้สำหรับการนำไปใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก และเป็นไปได้ในการใช้เถ้าขานอ้อยชนิด C แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 50 เพื่อผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักได้

4. กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกและการใช้งานก่อสร้างจริง

เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการผลิตและใช้งานจริง จึงเลือกส่วนผสมที่เหมาะสม ทดลองผลิตจริงตามกระบวนการผลิตในเชิงพาณิชย์ในโรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกและในการผลิตเชิงพาณิชย์ของโรงงานที่ใช้ศึกษาใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมทั้งหมด จึงมีการปรับส่วนผสม จากเดิมที่เลือกไว้ โดยปรับลดทรายออกและใช้หินฝุ่นแทนทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 15 เพื่อให้สามารถแทรกการผลิตได้ โดยไม่เกิดความเสียหายต่อกระบวนการผลิตของโรงงาน

4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีต

การผลิตจริงใช้วิธีการขึ้นรูปโดยการเขย่าแบบ ซึ่งต่างจากการอัดให้แน่นโดยควบคุมหน่วยแรงกด 25 กก/ซม² ในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 15 สัดส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกสำหรับผลิตในโรงงาน

Concrete Block	Cement (kg/m ³)	Bagasse Ash (kg/m ³)	Crushed Stone (kg/m ³)	Water (kg/m ³)
โรงงาน ¹	255	0	1785	240
Control ²	255	0	1785	240
A – 20 ³	180	45	1574	324
C – 20 ³	194	49	1698	272
A – 30 ³	154	66	1536	338
C – 30 ³	158	68	1579	320
C – 50 ³	108	108	1510	345

1 : ส่วนผสมที่ใช้ในกระบวนการผลิตในโรงงานปกติ

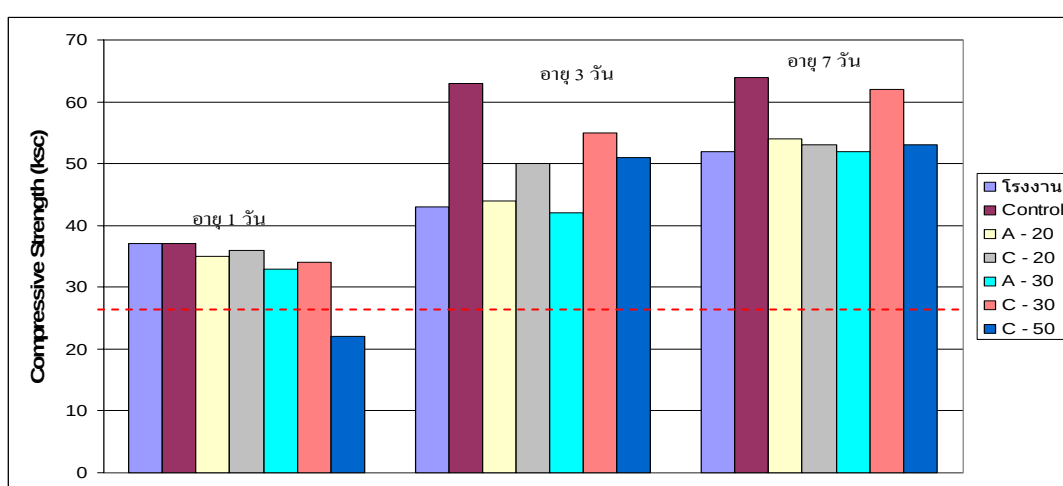
2 : ส่วนผสมที่มีการควบคุมน้ำหนักของปูนซีเมนต์อย่างเคร่งครัด

3 : ส่วนผสมที่มีการควบคุมน้ำหนักของวัสดุประสานอย่างเคร่งครัด

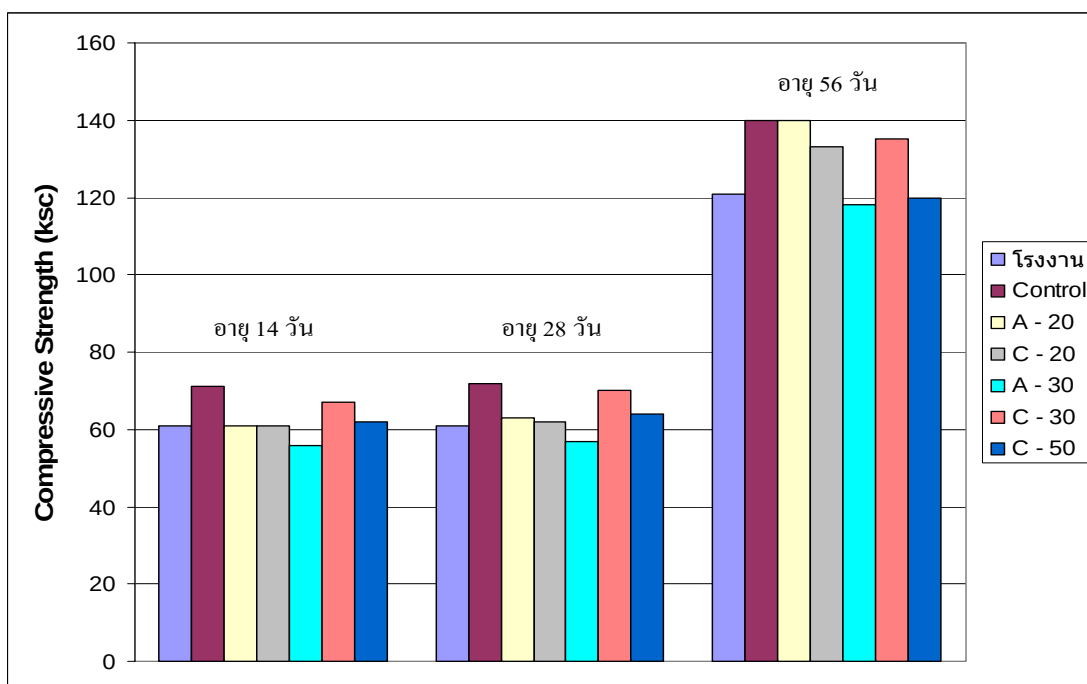
ตารางที่ 16 กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกควบคุมและคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อย

Concrete Block	Compressive Strength (ksc)					
	1 day	3 days	7 days	14 days	28 days	56 days
โรงงาน	37	43	52	61	61	121
Control	37	63	64	71	72	140
A – 20	35	44	54	61	63	140
C – 20	36	50	53	61	62	133
A – 30	33	42	52	56	57	118
C – 30	34	55	62	67	70	135
C – 50	22	51	53	62	64	120

เมื่ออายุครบทดสอบจึงนำชิ้นตัวอย่างอายุละ 5 ก้อน มาทดสอบผลการทดสอบรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก แสดงในตารางที่ 16 เมื่อเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผลิตในเชิงพาณิชย์ บล็อกควบคุมและคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยที่อายุทดสอบ 3 วันกับค่าที่กำหนดของมาตรฐาน มอก. 58-2530 ซึ่งกำหนดให้คอนกรีตบล็อกด้านทานแรงอัดได้ไม่น้อยกว่า 25 กก/ซม² พบว่าคอนกรีตบล็อกเชิงพาณิชย์มีกำลังอัดเฉลี่ย 43 กก/ซม² ส่วนบล็อกคอนกรีตควบคุมซึ่งใช้สัดส่วนผสมเช่นเดียวกัน แต่มีการควบคุมน้ำหนักปูนซีเมนต์แน่นอน เช่นเดียวกับส่วนผสมวัสดุประสานที่ทดลองใช้ มีกำลังอัด 63 กก/ซม² และบล็อกคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยร้อยละ 20 ชนิด A และ C มีกำลังรับแรงอัด 44 และ 50 กก/ซม² ตามลำดับ ส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 30 มีกำลังอัดเท่ากับ 42 และ 55 กก/ซม² ตามลำดับ ส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าขานอ้อยชนิด C ร้อยละ 50 สามารถรับแรงอัดได้ 51 กก/ซม² ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานของมอก. ที่กำหนดไว้ แต่จะเห็นได้ว่าแม้จะแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าขานอ้อยสูงถึงร้อยละ 50 คอนกรีตบล็อกยังสามารถรับน้ำหนักได้สูงกว่าที่มาตรฐาน มอก.กำหนดไว้ และมีค่าสูงกว่าคอนกรีตบล็อกเชิงพาณิชย์ เห็นได้ว่าเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการให้มีความละเอียดข้างตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 6.2 เมื่อทำการแทนที่ร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน สามารถรับแรงอัดได้มากกว่าคอนกรีตบล็อกที่กำหนดในเชิงพาณิชย์ ภาพที่ 24 และ 25 แสดงให้เห็นว่ามีการพัฒนากำลังรับแรงอัดได้ใกล้เคียงกันในทุกส่วนผสมที่ทำการทดสอบ และในทุกช่วงอายุที่ทดสอบจะมีค่าเท่ากับและสูงกว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตในโรงงาน เช่น การทดสอบตั้งแต่อายุ 3 วัน และกำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาสูงอย่างชัดเจนเมื่ออายุครบ 56 วัน



ภาพที่ 24 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกควบคุมเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยและคอนกรีตบล็อกเชิงพาณิชย์อายุ 1, 3 และ 7 วัน



ภาพที่ 25 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกควบคุมเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน
อ้อยและคอนกรีตบล็อกเชิงพาณิชย์อายุ 14, 28 และ 56 วัน

จากกรรมวิธีการผลิตคอนกรีตบล็อกที่มีข้อจำกัดจากการจัดการที่ไม่อาจควบคุมได้และความแตกต่างจากการหล่อก้อนตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ มีผลทำให้การผลิตบล็อกคอนกรีตแบบเชิงพาณิชย์ในการวิจัยครั้งนี้ ทำได้เฉพาะคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักเท่านั้น แต่ยังคงให้แนวโน้มว่าสามารถผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักได้ หากมีการปรับเปลี่ยนและควบคุมกระบวนการผลิต

4.2 ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำ

จากการทดสอบการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน มอก.109-2517 พบว่าบล็อกทุกชนิดมีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ (ร้อยละ 25) ดังแสดงในตารางที่ 17 โดยคอนกรีตบล็อกที่ผลิตเชิงพาณิชย์มีค่าการดูดกลืนน้ำมากที่สุด (ร้อยละ 8.12) และคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยมีค่าดูดกลืนมากขึ้นเมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มมากขึ้น เช่น คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยผ่านการบด 30 นาที (ชนิด A) แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 มีค่า 6.78 และมีค่า 7.27 ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยที่ความละเอียดมากขึ้นมีค่ากา

ดูดกลืนน้ำน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อยที่หยาบกว่าเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องผลการทดสอบความต้องการน้ำของมอร์ตาร์และซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ 17 ผลร้อยละของการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก

ชนิดของคอนกรีตบล็อก	ร้อยละของการดูดกลืนน้ำ (%)
คอนกรีตบล็อกโรงงาน	8.12
Control	6.51
A – 20	6.78
C – 20	6.54
A – 30	7.27
C – 30	7.10
C – 50	7.06

4.3 การทดสอบการใช้คอนกรีตบล็อกในงานก่อสร้าง

นอกเหนือจากกำลังต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ มอก. กำหนดแล้ว ในการศึกษาี้ยังมีการทดสอบการก่อฉาบให้สัมผัสอากาศภายนอกอาคาร ในสภาพจริง เพื่อสังเกตพฤติกรรมในการใช้งาน จากการสังเกตพฤติกรรมในด้านการหลุดร่อนของปูนก่อฉาบ สีที่เปลี่ยนไป การแตกร้าวของคอนกรีตบล็อก การแตกร้าวระหว่างปูนก่อ ปูนฉาบกับคอนกรีตบล็อก การเกิดตะไคร่น้ำ รา ทุกกระยะ 15 วัน เป็นเวลา 6 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 26 ถึง 29 ทำการเปรียบเทียบแผงตัวอย่างบล็อกคอนกรีต 7 ชนิด รวม 4 ลักษณะ คือ ก่อโดยไม่ฉาบทั้ง 2 ด้าน ก่อฉาบ 1 ด้าน ก่อฉาบ 2 ด้าน และก่อไม่ฉาบในสภาพชื้น หลังจากก่อผนังมาเป็นเวลา 6 เดือน จากการตรวจสอบพบว่าคอนกรีตบล็อกทุกชนิดยังคงอยู่ในสภาพดีเหมือนเดิม ดังแสดงในภาพที่ 26 ถึง 28 แม้ว่าจะผ่านการสัมผัสกับอากาศที่มีทั้งช่วงฝนตกและอากาศร้อนมาแล้ว (บันทึกลักษณะอากาศแสดงในภาคผนวก ข) สำหรับการก่อฉาบ จากการสอบถามถึงความยากง่ายของการทำงานโดยไม่มีการแจ้งให้ทราบว่ามีวัสดุแต่ละชนิดเป็นวัสดุชนิดใด พบว่าไม่มีความแตกต่างจากคอนกรีตที่ผลิตเชิงพาณิชย์ และจากการตรวจสอบการก่อฉาบนั้น เห็นได้ว่ายังไม่มียอดแตกร้าวของปูนฉาบ และยังไม่มีการหลุดร่อนหรือแตกร้าวของผนังคอนกรีตบล็อกให้เห็น บล็อกทุกชนิดมีสีซีดลง ดังแสดงในภาพที่ 26 ถึง 28



ภาพที่ 26 ผนังคอนกรีตบล็อกไม่ฉาบปูนทั้งสองด้าน



ภาพที่ 27 ผนังคอนกรีตบล็อกฉาบปูนหนึ่งด้าน



ภาพที่ 28 ผนังคอนกรีตบล็อกฉาบปูนสองด้าน



ภาพที่ 29 ผนังคอนกรีตบล็อกก่อโดยไม่มีการฉาบให้สัมผัสกับน้ำโดยตรง

ส่วนการทดสอบก่อให้เกิดผลความชื้นทุกวันตลอดช่วงเวลาที่ผ่านประมาณ 6 เดือน ยังไม่เกิดตะไคร่และรา ปรากฏให้เห็น สำหรับคอนกรีตบล็อกทั้ง 7 ชนิด ดังแสดงในภาพที่ 29

จากการคำนวณราคาค่าใช้จ่ายเฉพาะวัสดุประสานเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางผนวกที่ ค1 พบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ มีราคา 688.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ขณะที่คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยมีราคาระหว่าง 453.42 ถึง 667.59 บาทต่อลูกบาศก์เมตร จากการคิดค่าใช้จ่ายการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าขานอ้อยชนิด C (มีความละเอียดข้างตะแกรงเบอร์ 325 ประมาณร้อยละ 6 ผ่านการบด 90 นาที) ร้อยละ 50 สามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของวัสดุประสานลงได้ร้อยละ 31 เมื่อเทียบกับการใช้ปูนซีเมนต์ล้วน และลดได้ราคาค่าใช้จ่ายลงได้ร้อยละ 34 สำหรับการแทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยชนิด A (มีความละเอียดขนาดข้างตะแกรงเบอร์ 325 ประมาณร้อยละ 28) ที่การแทนที่ร้อยละ 20 สามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของวัสดุประสานลงได้ร้อยละ 26 และยังคงคุณสมบัติการใช้งานได้ดีตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในทุกด้าน ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 26 ถึง 29

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าชานอ้อย ตั้งแต่การศึกษาคุณสมบัติของเพสต์ มอร์ตาร์ คอนกรีตและคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อย สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เถ้าชานอ้อยมีองค์ประกอบของ SiO_2 ร้อยละ 83.27 มีรูปร่างไม่แน่นอน มีความพรุนมาก เถ้าชานอ้อยที่ผ่านการบดให้มีความละเอียดมากขึ้น จะมีความถ่วงจำเพาะเพิ่มมากขึ้น แสดงว่าการบดทำให้ขนาดของอนุภาคเล็กลง ทำให้ช่องว่างลดน้อยลงและทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มมากขึ้นทำให้มีการทำปฏิกิริยาได้มากกว่าด้วย
2. เถ้าชานอ้อยมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประมาณ 1.60 -2.42 เท่า ทำให้ต้องการน้ำมากกว่าเพสต์และมอร์ตาร์มาตรฐานประมาณร้อยละ 2 – 8
3. เถ้าชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยการบด มีค่าครรชนความเป็นปอซโซลาน ร้อยละ 84 ถึง 104 (146 ถึง 180 กก/ชม²) ที่อายุ 7 วันและร้อยละ 87 ถึง 108 (214 ถึง 266 กก/ชม²) ที่อายุ 28 วัน ซึ่งมีค่ามากกว่าร้อยละ 75 ของมอร์ตาร์มาตรฐาน ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดไว้ จัดเป็นวัสดุปอซโซลานประเภทที่ N ตามมาตรฐาน ASTM C618
4. การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึง 40 ทำให้เพสต์มีระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นนานกว่าซีเมนต์เพสต์ควบคุมจาก 96 นาที เป็น 108 ถึง 155 นาที ขึ้นอยู่กับความละเอียดและปริมาณการแทนที่ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยที่มีความละเอียดมากกว่าช่วยลดระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นเร็วขึ้นกว่าเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยที่หยาบ การก่อตัวระยะปลายมีค่าเท่ากับเพสต์ควบคุมสำหรับเถ้าชานอ้อยชนิด D สำหรับการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ถึง 30
5. มอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อยให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่ามอร์ตาร์มาตรฐานประมาณ 2-8 เปอร์เซ็นต์สำหรับการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักวัสดุประสาน เมื่อบดให้มีความละเอียดที่เหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความละเอียดของเถ้าชานอ้อยที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นผลมาจากการอุดแทรกช่องว่างขนาดเล็กและการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานซึ่งช่วยปรับปรุงโครงสร้างภายในให้มีความแน่นมากขึ้น

5.1 เมื่อพิจารณาผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์แล้ว เลือกเก้าชานอ้อยชนิด A และ C ในปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20, 30 และ 50 ในการผลิตคอนกรีตบล็อกในห้องปฏิบัติการ ด้วยเหตุผลด้านการประหยัดพลังงานการบิดและความคุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากกำลังอัดมอร์ตาร์ผสมเก้าชานอ้อยชนิด A และ B มีค่าใกล้เคียงกัน ในทำนองเดียวกันชนิด C และ D ก็เช่นกัน

6. คอนกรีตบล็อกผสมเก้าชานอ้อยที่เตรียมตัวอย่างและทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งมีการบ่มขึ้นตลอดอายุของการทดสอบ และการควบคุมแรงกดที่ 25 กก/ซม² มีกำลังรับแรงอัดอายุ 3 วัน สูงกว่า 140 กก/ซม² ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานกำหนดสำหรับคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก คอนกรีตบล็อกผสมเก้าชานอ้อยที่ผลิตตามกระบวนการผลิตในโรงงานมีค่า 42 ถึง 55 กก/ซม² ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก

7. มีความเป็นไปได้สำหรับการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเก้าชานอ้อยได้สูงถึงร้อยละ 50 ของน้ำหนักวัสดุประสานโดยยังคงคุณสมบัติการรับแรงอัด การดูดกลืนน้ำและการใช้งานได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ โดยใช้ขบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ผลิตตามปกติไม่ต้องการปรับเปลี่ยนวิธีในการผลิต

จากการวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

จากการวิจัยจะเห็นได้ว่าเมื่อเก้าชานอ้อยมีการปรับปรุงคุณภาพความละเอียดแล้ว ทำให้นำไปใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้สูงถึงร้อยละ 50 ทำให้ประหยัดราคาค่าใช้จ่ายในส่วนของวัสดุประสานลงได้ถึงร้อยละ 31 โดยยังคงคุณสมบัติการใช้งานและการรับแรงได้ดี โดยมีค่าสูงกว่าที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดไว้ สำหรับคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก แต่ทั้งนี้ในการผลิตต้องใช้ความระมัดระวังมาก เนื่องจากมีปัญหาการคงรูปในขณะผลิต แต่การศึกษาครั้งนี้ไม่มีการทดสอบการแทนที่ซึ่งมากกว่านี้ ดังนั้นควรทดลองเพิ่มการแทนที่ปูนซีเมนต์ให้สูงกว่านี้โดยใช้สารผสมเพิ่ม และควรมีการเผยแพร่ให้มีการนำไปใช้ผลิตใช้กันโดยทั่วไป เพราะไม่ต้องการปรับเปลี่ยนขบวนการผลิตแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามการใช้ปริมาณมากทำให้มีปัญหาในด้านการขนส่ง จึงควรส่งเสริมให้มีการผลิตคอนกรีตบล็อกผสมเก้าชานอ้อยในท้องถิ่นที่มีโรงงานผลิตน้ำตาลเพื่อจะได้ประโยชน์ทั้งการลดต้นทุนในการผลิตวัสดุก่อสร้าง ช่วยลดปริมาณและทำให้วัสดุเหลือใช้อย่างเก้าชานอ้อยได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กองนโยบายอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล,สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม,2547.น.1-3. **สรุปสถานการณ์อ้อยและน้ำตาลทรายของประเทศไทยประจำปีการผลิต 2546/2547.**

ไกรวุฒิ เกียรติโกมล. 2546. ถิ่นถิ่นในในงานคอนกรีต. น. 1-18. ใน เอกสารประกอบการสัมมนา **เรื่องการนำถิ่นถิ่นในประเทศไทยมาใช้ในงานคอนกรีต.** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

คำวิ มณฑการติวงศ์. 2548. การศึกษากำลั้งอัดและความร้อนของคอนกรีตผสมถิ่นถิ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ณพงศธร ลิขิตศรีไพบุลย์. 2548. การพัฒนาถิ่นถิ่นเพื่อเป็นวัสดุปอชโซลาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

จรรณู เจริญเนตรกุล. 2547. การศึกษากำลั้งอัดของมอร์ต้าร์ที่ผสมด้วยถิ่นถิ่นเเลื้อยไม้ยางพารา. น. MAT 19- MAT 24. ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยและมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, เพชรบุรี.

จิรศักดิ์ ภูริพันธุ์วิชัย, ชาตรี จิรากาญจนวนิช และ ธนิษฐ์ เรื่องสวัสดิพิงศ์. 2544.**คอนกรีตบล็อกจากถิ่นถิ่นอ้อย.** โครงการปริญญาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บุรณัทร นัทรวิระ และ ณรงค์ศักดิ์ มากุล. 2547. ผลกระทบของถิ่นถิ่นกลบขาวบดละเอียดมากที่มีต่อคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต. น. MAT 83- MAT 88. ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยและมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, เพชรบุรี.

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ บัณฑิต รักษาดี. 2547. การใช้เถ้าแกลบไม่บดในการผลิตคอนกรีตบล็อก. น. MAT 131- MAT 136. ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยและมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, เพชรบุรี.

ทวีศักดิ์ และ พีรเกียรติ. 2542. การศึกษาผลกระทบต่อการรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมเถ้าลอย และเถ้าขาน้อย. โครงการงานปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจักขณ์ เมชชนัน และ อนุชา เลิศอดิพัฒน์. 2546. การศึกษาสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ผสมกับเถ้าขาน้อย. โครงการงานปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร สาขาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ษณรรักษ์ เทียมวีรสกุล และ นที อธิคุณาการ. 2543. กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมเถ้าขาน้อย. โครงการงานปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2530. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก. มอก. 58-2530.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2517. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีชักตัวอย่าง และการทดสอบวัสดุงานก่อสร้างด้วยคอนกรีต. มอก. 109-2517.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2530. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีชักตัวอย่าง และทดสอบอิฐและอิฐกลวง. มอก. 243-2520 :

สุชีรา กุลชนะประสิทธิ์ และ ชุชัย สุจิวิกุล. 2548. ผลกระทบของเถ้าขาน้อยต่อคุณสมบัติของมอร์ต้าปอร์ตแลนด์ซีเมนต์. น. MAT67-MAT72. ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 10. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยและสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ชลบุรี.

สุรพันธ์ สุคันธปรีย์. 2545. การศึกษาอิฐคอนกรีตที่มีเถ้าแกลบ-เปลือกไม้และเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สุวิมล สัจจาณิชย์. 2546. ผลกระทบของเถ้าขานอ้อยในลักษณะวัสดุประสาน. วิศวกรรมสาร มก. (48) : 18-22.

สุวิมล สัจจาณิชย์และอาทิมา ดวงจันทร์. 2547. ดัชนีความเป็นปอซโซลานของเถ้าขานอ้อยและความต้องการน้ำ. น. 118-120. ใน เอกสารการประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติครั้งที่ 2. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, เชียงใหม่.

อาทิมา ดวงจันทร์และสุวิมล สัจจาณิชย์. 2548. คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อย. น. MAT6-MAT10. ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 10. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยและสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ชลบุรี.

American Society for testing and Material. 1994. **ASTM C618 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete.** Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.02.

Martirena Hernandez,J.F., Middendorf,B., Gehrke,M. and Budelmann,H. 1998. **Use of wastes of sugar industry as pozzolana in lime-pozzolana binders** : study of the reaction, Universidad Central de las Villas, Santa Clara, Cuba Department of Structural Materials, University of Kassel, D-34109 Kassel, Germany.

Neville,A.M. 1995. **Properties of Concrete.** 4ed., Addison wesley Longman Ltd.,London.

Troxell,G.E., H.E.Davis and J.W.Kelly. 1968. **Compostion and properties of concrete.** 2ed., McGraw-Hill,Inc., Mexico.

Xie,J.1996.**Influence of Fineness of Pozzolans on Consistency and Strength of Mortars.**

M.Eng. Thesis No. A.I.T.,Bangkok.

Zhang,M.H. and Malhotra, V.M. 1996. **High – Performance Concrete Incorporating Rice**

Husk Ash as Supplementary Cementing Material. ACI Material Journal, Title No. 93-

M72, pp. 629 – 636., November-December.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการหาค่าความชื้นเหลือปกติของเฟสค์ผสมเถ้าชานอ้อย

Mix	Weight of Binder (g)		Water	
	Cement	Bagasse Ash	%	ml.
Control	300	0	26.50	79.50
A – 10	270	30	30.20	90.60
A – 20	240	60	33.75	101.25
A – 30	210	90	38.86	116.57
A – 40	180	120	41.00	123.00
B – 10	270	30	30.24	90.71
B – 20	240	60	35.14	105.43
B – 30	210	90	36.00	108.00
B – 40	180	120	39.33	118.00
C – 10	270	30	29.69	89.08
C – 20	240	60	34.41	103.23
C – 30	210	90	35.64	106.91
C – 40	180	120	38.47	115.41
D – 10	270	30	29.18	87.53
D – 20	240	60	30.36	91.09
D – 30	210	90	34.89	104.67
D – 40	180	120	37.00	111.00

ตารางผนวกที่ ก2 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยบด 30 นาที

Time (min)	Penetration (mm)				
	Control	A – 10	A – 20	A – 30	A – 40
30	40	40	40	40	40
45	40	40	40	40	40
60	40	40	40	40	40
75	40	40	40	40	40
90	36	40	40	40	40
105	5	38	37	38	40
120	2	30	32	23	40
135	0	10	9	14	37
150		0	1	3	27
165			0	0	16
180					3
195					0
210					
225					

ตารางผนวกที่ ก3 ผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวระยะแรกและปลายของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยบด 30 นาที

Type of Sample	Initial Setting Time	Final Setting Time
	(min)	(min)
Control	96	135
A – 10	124	150
A – 20	125	165
A – 30	118	165
A – 40	155	195

ตารางผนวกที่ ก4 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าขาน้อยยบด 60 นาที

Time (min)	Penetration (mm)				
	Control	B – 10	B – 20	B – 30	B – 40
30	40	40	40	40	40
45	40	40	40	40	40
60	40	40	40	40	40
75	40	40	40	40	40
90	36	40	40	40	40
105	5	37	40	40	40
120	2	30	35	38	36
135	0	7	26	24	24
150		0	14	2	2
165			2	0	0
180			0		
195					
210					
225					

ตารางผนวกที่ ก5 ผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวระยะแรกและปลายของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าขาน้อยยบด 60 นาที

Type of Sample	Initial Setting Time	Final Setting Time
	(min)	(min)
Control	96	135
B – 10	124	150
B – 20	134	165
B – 30	139	165
B – 40	148	165

ตารางผนวกที่ ก6 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าขาน้อยยบด 90 นาที

Time (min)	Penetration (mm)				
	Control	C – 10	C – 20	C – 30	C – 40
30	40	40	40	40	40
45	40	40	40	40	40
60	40	40	40	40	40
75	40	40	40	40	40
90	36	40	40	40	40
105	5	38	40	38	40
120	2	3	36	23	40
135	0	0	15	14	38
150			1	3	26
165			0	0	5
180					1
195					0
210					
225					

ตารางผนวกที่ ก7 ผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวระยะแรกและปลายของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าขาน้อยยบด 90 นาที

Type of Sample	Initial Setting Time	Final Setting Time
	(min)	(min)
Control	96	135
C – 10	111	135
C – 20	128	165
C – 30	118	165
C – 40	151	195

ตารางผนวกที่ ก8 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าขานอ้อยบด 120 นาที

Time (min)	Penetration (mm)				
	Control	D – 10	D – 20	D – 30	D – 40
30	40	40	40	40	40
45	40	40	40	40	40
60	40	40	40	40	40
75	40	40	40	40	40
90	36	40	40	40	40
105	5	30	36	40	40
120	2	3	2	38	38
135	0	0	0	34	26
150				7	5
165				0	0
180					
195					
210					
225					

ตารางผนวกที่ ก9 ผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวระยะแรกและปลายของซีเมนต์เพสต์และเพสต์ผสมเถ้าขานอ้อยบด 120 นาที

Type of Sample	Initial Setting Time	Final Setting Time
	(min)	(min)
Control	96	135
D – 10	108	135
D – 20	111	135
D – 30	140	165
D – 40	137	165

ตารางผนวกที่ ก10 สัดส่วนผสมของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยและปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่าการไหลที่ต้องการ

Mix	Cement (g)	Bagasse Ash (g)	Sand (g)	Water (g)	Mean Dia. (cm)	Flow %
Control	500	0	1375	300	20.750	106.67
A – 10	450	50	1375	335	20.675	105.93
A – 20	400	100	1375	340	20.650	105.68
A – 30	350	150	1375	360	20.675	105.93
A – 40	300	200	1375	370	20.700	106.18
B – 10	450	50	1375	335	21.025	109.41
B – 20	400	100	1375	340	20.650	105.68
B – 30	350	150	1375	360	20.925	108.42
B – 40	300	200	1375	370	20.675	105.93
C – 10	450	50	1375	330	20.675	105.93
C – 20	400	100	1375	340	20.850	107.67
C – 30	350	150	1375	355	21.325	112.40
C – 40	300	200	1375	360	20.725	106.42
D – 10	450	50	1375	325	20.750	106.67
D – 20	400	100	1375	340	21.000	109.16
D – 30	350	150	1375	355	20.850	107.67
D – 40	300	200	1375	360	21.400	113.15

ตารางผนวกที่ ก11 สัดส่วนผสมของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขาน้อยและปริมาณน้ำเพื่อทดสอบ Strength
Activity Index with Portland Cement

Mix	Cement (g)	Bagasse Ash (g)	Sand (g)	Water (g)	Mean Dia. (cm)	Flow %
Control	500	0	1375	242.00	19.613	95.35
A – 20	400	100	1375	266.20	19.225	91.48
B – 20	400	100	1375	266.20	19.550	94.72
C – 20	400	100	1375	266.20	19.575	94.97
D – 20	400	100	1375	266.20	19.625	95.47

ตารางผนวกที่ ก12 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขาน้อยๆ เพื่อทดสอบ Strength
Activity Index with Portland Cement

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
Control	1	7	5.11	×	5.10	2040.19	4400	169	173
	2	7	5.08	×	5.14	2058.56	4525	173	
	3	7	5.10	×	5.08	2067.19	4350	168	
	4	7	5.07	×	5.18	2053.66	4650	177	
	5	7	5.15	×	5.10	2030.10	4625	176	
	1	28	5.06	×	5.06	2071.55	6275	245	246
	2	28	5.07	×	5.06	2075.47	6150	240	
	3	28	5.08	×	5.10	2071.26	6550	253	
	4	28	5.15	×	5.19	2041.19	6475	242	
	5	28	5.18	×	5.19	2034.65	6675	248	
A – 20	1	7	5.11	×	5.12	2047.01	4100	157	146
	2	7	5.11	×	5.14	2075.33	3500	133	
	3	7	5.15	×	5.14	2075.85	3625	137	
	4	7	5.18	×	5.07	2025.39	4000	152	
	5	7	5.10	×	5.09	2036.50	3925	151	
	1	28	5.10	×	5.13	2052.66	5675	217	214
	2	28	5.16	×	5.16	2018.18	5825	219	
	3	28	5.17	×	5.16	2030.08	5975	224	
	4	28	5.11	×	5.19	2049.61	5375	203	
	5	28	5.17	×	5.21	2030.92	5600	208	

ตารางผนวกที่ ก12 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
B – 20	1	7	5.05	×	5.13	2126.06	4100	158	
	2	7	5.06	×	5.12	2113.94	4525	175	
	3	7	5.16	×	5.15	2058.65	4775	180	175
	4	7	5.14	×	5.13	2064.28	4625	175	
	5	7	5.12	×	5.13	2070.20	4900	187	
	1	28	5.15	×	5.14	2053.40	6375	241	
	2	28	5.14	×	5.20	2049.36	6575	246	
	3	28	5.12	×	5.10	2084.63	6500	249	251
	4	28	5.15	×	5.09	2064.09	6725	257	
	5	28	5.10	×	5.06	2077.86	6775	263	
C – 20	1	7	5.14	×	5.14	2068.74	4525	171	
	2	7	5.12	×	5.12	2083.52	4675	178	
	3	7	5.06	×	5.21	2092.99	5025	191	180
	4	7	5.15	×	5.08	2051.95	4725	181	
	5	7	5.14	×	5.09	2091.53	4750	182	
	1	28	5.14	×	5.10	2083.26	6425	245	
	2	28	5.07	×	5.12	2076.60	6375	246	
	3	28	5.07	×	5.12	2088.12	6900	266	258
	4	28	5.16	×	5.15	2069.33	7125	268	
	5	28	5.17	×	5.15	2065.14	7000	263	

ตารางผนวกที่ ก12 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
D – 20	1	7	5.03	×	5.11	2106.56	4650	181	171
	2	7	5.08	×	5.14	2099.43	4225	162	
	3	7	5.15	×	5.09	2100.01	4350	166	
	4	7	5.09	×	5.08	2155.33	4325	167	
	5	7	5.09	×	5.14	2082.23	4750	182	
	1	28	5.09	×	5.10	2105.12	7375	284	266
	2	28	5.15	×	5.13	2091.25	7000	265	
	3	28	5.10	×	5.09	2095.96	6800	262	
	4	28	5.14	×	5.04	2106.22	6975	269	
	5	28	5.14	×	5.04	2101.14	6450	249	

ตารางผนวกที่ ก13 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร้ความคุมที่อายุต่างๆ

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
Control	1	1	5.16	×	5.12	2071.26	2875	109	109
	2	1	5.13	×	5.11	2072.12	2875	110	
	3	1	5.15	×	5.09	2054.23	2870	109	
	4	1	5.06	×	5.19	2025.86	2795	106	
	5	1	5.17	×	5.09	2053.49	2865	109	
Control	1	3	5.14	×	5.08	2077.75	4900	188	184
	2	3	5.11	×	5.05	2119.75	4500	174	
	3	3	5.17	×	5.16	2094.89	4575	171	
	4	3	5.16	×	5.09	2083.34	5150	196	
	5	3	5.13	×	5.12	2076.95	4950	188	
Control	1	7	5.17	×	5.13	2073.55	5875	222	227
	2	7	5.13	×	5.08	2067.53	5900	226	
	3	7	5.07	×	5.11	2081.03	5925	229	
	4	7	5.11	×	5.17	2043.64	6150	233	
	5	7	5.15	×	5.12	2058.03	5975	227	
Control	1	14	5.15	×	5.17	2096.21	6925	260	252
	2	14	5.17	×	5.13	2075.58	6375	240	
	3	14	5.15	×	5.10	2068.96	6500	247	
	4	14	5.12	×	5.14	2051.03	6700	255	
	5	14	5.16	×	5.12	2090.97	6775	256	

ตารางผนวกที่ ก13 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
Control	1	28	5.16	×	5.12	2062.26	6875	260	278
	2	28	5.19	×	5.08	2117.57	7500	284	
	3	28	5.14	×	5.15	2078.28	7150	270	
	4	28	5.12	×	5.11	2116.34	7650	292	
	5	28	5.15	×	5.14	2060.24	7500	283	
Control	1	56	5.10	×	5.06	2123.01	7675	297	286
	2	56	5.08	×	5.12	2102.73	7225	278	
	3	56	5.08	×	5.13	2095.72	7575	291	
	4	56	5.11	×	5.07	2100.02	6875	265	
	5	56	5.13	×	5.16	2100.80	7875	297	
Control	1	91	5.14	×	5.11	2104.66	8450	322	330
	2	91	5.18	×	5.11	2105.58	8375	316	
	3	91	5.20	×	5.15	2079.50	8850	330	
	4	91	5.11	×	5.19	2079.75	8925	337	
	5	91	5.15	×	5.07	2128.42	8950	343	

ตารางผนวกที่ ก14 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด A แทนที่ 10 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
A -10	1	1	5.14	×	5.08	2100.91	2750	105	103
	2	1	5.11	×	5.11	2077.04	2645	101	
	3	1	5.14	×	5.08	2092.86	2625	101	
	4	1	5.11	×	5.13	2114.55	2810	107	
	5	1	5.07	×	5.12	2101.00	2650	102	
A -10	1	3	5.11	×	5.13	2081.43	4075	155	152
	2	3	5.11	×	5.17	2119.55	3700	140	
	3	3	5.12	×	5.20	2075.84	3875	146	
	4	3	5.14	×	5.13	2119.17	4325	164	
	5	3	5.15	×	5.11	2076.57	4025	153	
A -10	1	7	5.12	×	5.22	2114.25	5675	212	207
	2	7	5.09	×	5.21	2097.79	5225	197	
	3	7	5.18	×	5.15	2108.53	5300	199	
	4	7	5.06	×	5.12	2124.14	5625	217	
	5	7	5.13	×	5.12	2116.67	5550	212	
A -10	1	14	5.13	×	5.11	2098.27	5375	205	224
	2	14	5.09	×	5.12	2127.07	6175	237	
	3	14	5.10	×	5.15	2124.34	6425	245	
	4	14	5.13	×	5.14	2102.61	5975	227	
	5	14	5.08	×	5.17	2125.76	5425	207	

ตารางผนวกที่ ก14 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
A -10	1	28	5.13	×	5.15	2145.60	6875	260	274
	2	28	5.12	×	5.11	2160.09	6950	266	
	3	28	5.15	×	5.12	2142.03	7425	282	
	4	28	5.15	×	5.08	2137.71	7500	287	
	5	28	5.11	×	5.10	2165.43	7125	273	
A -10	1	56	5.11	×	5.17	2116.44	7550	286	318
	2	56	5.14	×	5.11	2140.44	8975	342	
	3	56	5.16	×	5.20	2153.45	8725	325	
	4	56	5.11	×	5.04	2131.35	8525	331	
	5	56	5.12	×	5.09	2129.95	8000	307	
A -10	1	91	5.13	×	5.05	2146.12	8925	345	343
	2	91	5.16	×	5.15	2077.77	8875	334	
	3	91	5.16	×	5.20	2110.89	9375	349	
	4	91	5.09	×	5.10	2126.94	8675	334	
	5	91	5.10	×	5.11	2128.19	9200	353	

ตารางผนวกที่ ก15 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขานอ้อยชนิด B แทนที่ 20 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
A – 20	1	1	5.10	×	5.16	2057.35	2215	84	83
	2	1	5.15	×	5.13	2067.48	2315	88	
	3	1	5.14	×	5.14	2063.05	2210	84	
	4	1	5.13	×	5.10	2081.31	2100	80	
	5	1	5.13	×	5.16	2037.56	2130	80	
A – 20	1	3	5.11	×	5.18	2007.44	4100	155	154
	2	3	5.11	×	5.19	2102.31	4025	152	
	3	3	5.09	×	5.23	2081.83	4050	152	
	4	3	5.10	×	5.11	2120.97	4125	158	
	5	3	5.11	×	5.09	2105.02	3925	151	
A – 20	1	7	5.14	×	5.10	2093.86	5475	209	192
	2	7	5.14	×	5.18	2105.89	5100	192	
	3	7	5.13	×	5.10	2075.23	4850	185	
	4	7	5.16	×	5.13	2074.71	4825	182	
	5	7	5.06	×	5.12	2084.36	5025	194	
A – 20	1	14	5.14	×	5.11	2119.21	7500	286	258
	2	14	5.07	×	5.18	2072.13	7025	267	
	3	14	5.12	×	5.12	2145.49	6950	265	
	4	14	5.13	×	5.19	2078.55	6375	239	
	5	14	5.14	×	5.19	2094.07	6225	233	

ตารางผนวกที่ ก15 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
A – 20	1	28	5.12	×	5.14	2109.45	7000	266	259
	2	28	5.14	×	5.15	2121.12	6675	252	
	3	28	5.17	×	5.21	2095.17	6975	259	
	4	28	5.12	×	5.16	2124.10	6875	260	
	5	28	5.12	×	5.15	2128.10	6800	258	
A – 20	1	56	5.13	×	5.22	2091.95	6875	257	274
	2	56	5.10	×	5.12	2135.01	7025	269	
	3	56	5.10	×	5.14	2107.84	7600	290	
	4	56	5.09	×	5.16	2061.24	6975	266	
	5	56	5.09	×	5.23	2089.42	7675	288	
A – 20	1	91	5.15	×	5.17	2064.42	9375	352	332
	2	91	5.19	×	5.19	2117.76	8300	308	
	3	91	5.17	×	5.14	2120.58	9525	358	
	4	91	5.13	×	5.13	2125.69	8775	333	
	5	91	5.13	×	5.16	2124.83	8125	307	

ตารางผนวกที่ ก16 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด A แทนที่ 30 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
A – 30	1	1	5.11	×	5.10	2039.00	1585	61	64
	2	1	5.13	×	5.16	2021.92	1625	61	
	3	1	5.06	×	5.14	2020.10	1735	67	
	4	1	5.10	×	5.08	2038.89	1605	62	
	5	1	5.11	×	5.11	2030.64	1785	68	
A – 30	1	3	5.13	×	5.16	2012.59	3250	123	127
	2	3	5.16	×	5.17	2033.97	3625	136	
	3	3	5.12	×	5.14	1977.12	3225	123	
	4	3	5.14	×	5.14	2035.90	3275	124	
	5	3	5.13	×	5.18	2025.29	3450	130	
A – 30	1	7	5.10	×	5.15	2009.13	3900	148	153
	2	7	5.21	×	5.18	1973.74	3775	140	
	3	7	5.14	×	5.16	2064.89	4125	156	
	4	7	5.08	×	5.18	2064.14	4300	163	
	5	7	5.05	×	5.19	2031.45	4125	157	
A – 30	1	14	5.18	×	5.12	2037.97	4875	184	192
	2	14	5.10	×	5.19	2013.46	5025	190	
	3	14	5.13	×	5.17	2008.95	5175	195	
	4	14	5.13	×	5.09	2055.05	4800	184	
	5	14	5.15	×	5.17	2045.22	5500	207	

ตารางผนวกที่ ก16 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
A – 30	1	28	5.08	×	5.07	2095.39	5525	215	226
	2	28	5.12	×	5.17	2067.39	5600	212	
	3	28	5.15	×	5.04	2064.37	5500	212	
	4	28	5.09	×	5.11	2081.74	6350	244	
	5	28	5.17	×	5.12	2061.21	6525	247	
A – 30	1	56	5.10	×	5.10	2065.06	6475	249	259
	2	56	5.17	×	5.15	2048.01	6975	262	
	3	56	5.10	×	5.14	2057.16	6900	263	
	4	56	5.13	×	5.16	2070.67	7125	269	
	5	56	5.10	×	5.07	2069.23	6500	251	
A – 30	1	91	5.16	×	5.09	2032.62	7425	283	281
	2	91	5.12	×	5.10	2065.29	7250	278	
	3	91	5.07	×	5.08	2051.53	7500	291	
	4	91	5.10	×	5.14	2021.50	7100	271	
	5	91	5.07	×	5.17	2077.76	7350	280	

ตารางผนวกที่ ก17 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด A แทนที่ 40 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
A – 40	1	1	5.17	×	5.14	1903.17	1980	75	73
	2	1	5.15	×	5.10	1913.67	1830	70	
	3	1	5.16	×	5.12	1909.94	1950	74	
	4	1	5.14	×	5.11	1933.16	1990	76	
	5	1	5.12	×	5.11	1909.59	1870	71	
A – 40	1	3	5.14	×	5.06	2017.66	2190	84	83
	2	3	5.14	×	5.14	1988.37	2215	84	
	3	3	5.14	×	5.15	2020.43	2315	87	
	4	3	5.07	×	5.11	2031.85	2110	81	
	5	3	5.14	×	5.12	2004.38	2100	80	
A – 40	1	7	5.11	×	5.15	2017.04	2830	108	109
	2	7	5.13	×	5.15	2018.19	2875	109	
	3	7	5.14	×	5.11	2038.72	2900	110	
	4	7	5.09	×	5.12	2030.49	2905	111	
	5	7	5.10	×	5.15	2029.83	2855	109	
A – 40	1	14	5.08	×	5.14	2025.54	4025	154	154
	2	14	5.13	×	5.15	2026.62	4325	164	
	3	14	5.09	×	5.11	2042.31	3725	143	
	4	14	5.13	×	5.12	2027.85	3950	150	
	5	14	5.10	×	5.12	2033.58	4100	157	

ตารางผนวกที่ ก17 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
A – 40	1	28	5.08	×	5.10	2073.42	5425	209	196
	2	28	5.15	×	5.06	2060.73	4675	179	
	3	28	5.08	×	5.09	2056.91	4925	190	
	4	28	5.11	×	5.10	2060.51	5325	204	
	5	28	5.15	×	5.11	2067.41	5200	198	
A – 40	1	56	5.10	×	5.10	2048.76	6025	232	228
	2	56	5.08	×	5.09	2082.54	5775	223	
	3	56	5.09	×	5.11	2062.04	5850	225	
	4	56	5.08	×	5.12	2062.41	5875	226	
	5	56	5.08	×	5.10	2070.38	6050	233	
A – 40	1	91	5.08	×	5.15	2036.61	6250	239	235
	2	91	5.07	×	5.19	2026.84	6050	230	
	3	91	5.09	×	5.09	2040.54	6325	244	
	4	91	5.08	×	5.10	2021.36	5950	230	
	5	91	5.08	×	5.09	2029.63	6025	233	

ตารางผนวกที่ ก18 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด B แทนที่ 10 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
B – 10	1	1	5.14	×	5.09	2100.80	2580	99	100
	2	1	5.14	×	5.07	2106.02	2675	103	
	3	1	5.14	×	5.09	2096.31	2565	98	
	4	1	5.17	×	5.13	2061.32	2605	98	
	5	1	5.13	×	5.14	2072.65	2765	105	
B – 10	1	3	5.13	×	5.13	2091.40	4225	161	159
	2	3	5.11	×	5.13	2106.58	3950	151	
	3	3	5.12	×	5.14	2112.69	4300	163	
	4	3	5.12	×	5.11	2127.67	4125	158	
	5	3	5.27	×	5.19	2088.06	4500	165	
B – 10	1	7	5.16	×	5.06	2122.87	5800	222	226
	2	7	5.15	×	5.08	2122.94	6175	236	
	3	7	5.06	×	5.10	2126.10	5700	221	
	4	7	5.12	×	5.12	2086.91	5800	221	
	5	7	5.13	×	5.12	2119.20	6075	231	
B – 10	1	14	5.13	×	5.09	2141.01	6200	237	235
	2	14	5.05	×	5.13	2135.47	6075	234	
	3	14	5.09	×	5.05	2144.28	6000	233	
	4	14	5.11	×	5.12	2115.45	5900	226	
	5	14	5.05	×	5.13	2126.62	6325	244	

ตารางผนวกที่ ก18 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
B – 10	1	28	5.09	×	5.11	2130.05	7275	280	278
	2	28	5.17	×	5.13	2119.12	7875	297	
	3	28	5.15	×	5.07	2178.39	7625	292	
	4	28	5.08	×	5.10	2121.59	6725	260	
	5	28	5.16	×	5.15	2129.77	6925	261	
B – 10	1	56	5.11	×	5.14	2124.92	9450	360	342
	2	56	5.06	×	5.12	2128.58	8800	340	
	3	56	5.15	×	5.04	2147.13	8500	327	
	4	56	5.10	×	5.11	2111.18	8700	334	
	5	56	5.09	×	5.12	2130.86	9075	348	
B – 10	1	91	5.09	×	5.08	2113.75	9300	360	363
	2	91	5.10	×	5.12	2132.90	9150	350	
	3	91	5.13	×	5.08	2093.73	9475	364	
	4	91	5.11	×	5.12	2117.24	9550	365	
	5	91	5.14	×	5.05	2142.88	9750	376	

ตารางผนวกที่ ก19 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด B แทนที่ 20 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
B – 20	1	1	5.18	×	5.19	1973.97	2625	98	102
	2	1	5.15	×	5.12	1989.66	2685	102	
	3	1	5.14	×	5.12	2026.83	2620	100	
	4	1	5.15	×	5.17	2004.54	2720	102	
	5	1	5.16	×	5.10	2023.45	2815	107	
B – 20	1	3	5.13	×	5.20	2091.30	3825	143	138
	2	3	5.10	×	5.11	2094.29	3625	139	
	3	3	5.10	×	5.13	2100.91	3400	130	
	4	3	5.01	×	5.12	2112.81	3675	143	
	5	3	5.18	×	5.22	2075.77	3600	133	
B – 20	1	7	5.17	×	5.03	2112.08	5100	196	189
	2	7	5.11	×	5.11	2081.41	4800	184	
	3	7	5.14	×	5.05	2120.43	5025	194	
	4	7	5.08	×	5.14	2097.26	4525	173	
	5	7	5.14	×	5.11	2106.52	5250	200	
B – 20	1	14	5.15	×	5.04	2156.44	5650	218	240
	2	14	5.19	×	5.13	2115.29	6300	237	
	3	14	5.06	×	5.18	2111.94	6450	246	
	4	14	5.09	×	5.14	2127.55	7225	276	
	5	14	5.13	×	5.10	2091.75	5900	226	

ตารางผนวกที่ ก19 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
B – 20	1	28	5.12	×	5.12	2122.93	7200	275	262
	2	28	5.15	×	5.17	2123.10	6400	240	
	3	28	5.15	×	5.10	2128.65	6675	254	
	4	28	5.12	×	5.06	2135.15	6725	260	
	5	28	5.07	×	5.12	2141.16	7250	279	
B – 20	1	56	5.06	×	5.12	2107.19	700	270	275
	2	56	5.09	×	5.17	2108.67	7825	297	
	3	56	5.12	×	5.17	2068.38	7275	275	
	4	56	5.12	×	5.12	2122.84	7275	278	
	5	56	5.21	×	5.11	2117.87	6825	256	
B – 20	1	91	5.12	×	5.18	2110.84	7950	300	311
	2	91	5.17	×	5.10	2095.16	8600	326	
	3	91	5.10	×	5.15	2121.66	7900	301	
	4	91	5.15	×	5.09	2118.43	8050	307	
	5	91	5.16	×	5.12	2086.78	8500	322	

ตารางผนวกที่ ก20 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด B แทนที่ 30 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
B – 30	1	1	5.14	×	5.08	2024.52	1450	56	59
	2	1	5.12	×	5.05	2033.50	1515	59	
	3	1	5.11	×	5.09	2045.95	1475	57	
	4	1	5.03	×	5.10	2052.90	1625	63	
	5	1	5.07	×	5.13	2000.65	1620	62	
B – 30	1	3	5.08	×	5.14	2011.68	3125	120	127
	2	3	5.18	×	5.15	2044.01	3500	131	
	3	3	5.09	×	5.13	2013.11	3125	120	
	4	3	5.09	×	5.09	2060.07	3400	131	
	5	3	5.11	×	5.15	2020.19	3500	133	
B – 30	1	7	5.20	×	5.12	2074.51	4125	155	152
	2	7	5.14	×	5.15	2015.28	3800	144	
	3	7	5.15	×	5.11	2046.78	4250	161	
	4	7	5.10	×	5.07	2023.96	3725	144	
	5	7	5.16	×	5.16	2066.94	4175	157	
B – 30	1	14	5.19	×	5.15	2022.31	5025	188	200
	2	14	5.12	×	5.11	2070.18	5275	202	
	3	14	5.10	×	5.13	2086.95	5425	207	
	4	14	5.14	×	5.13	2039.74	5050	192	
	5	14	5.09	×	5.07	2096.64	5450	211	

ตารางผนวกที่ ก20 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
B – 30	1	28	5.14	×	5.07	2073.50	6175	237	226
	2	28	5.15	×	5.07	2067.69	5700	218	
	3	28	5.11	×	5.05	2089.60	5275	204	
	4	28	5.10	×	5.11	2090.83	6450	247	
	5	28	5.10	×	5.10	2049.51	5800	223	
B – 30	1	56	5.11	×	5.08	2104.74	7400	285	286
	2	56	5.11	×	5.09	2084.27	7500	288	
	3	56	5.06	×	5.10	2106.24	7025	272	
	4	56	5.11	×	5.12	2090.95	7725	295	
	5	56	5.00	×	5.10	2089.86	7400	290	
B – 30	1	91	5.08	×	5.09	2101.29	8775	339	303
	2	91	5.13	×	5.09	2072.29	8000	306	
	3	91	5.11	×	5.07	2099.46	7925	306	
	4	91	5.10	×	5.05	2080.38	7500	291	
	5	91	5.19	×	5.06	2072.94	7125	271	

ตารางผนวกที่ ก21 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด B แทนที่ 40 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
B – 30	1	1	5.08	×	5.18	1922.99	1755	67	68
	2	1	5.17	×	5.22	1903.41	1775	66	
	3	1	5.13	×	5.11	1960.14	1755	67	
	4	1	5.07	×	5.12	1990.80	1885	73	
	5	1	5.09	×	5.17	1970.82	1780	68	
B – 30	1	3	5.09	×	5.14	2030.02	1985	76	79
	2	3	5.08	×	5.14	2017.93	2160	83	
	3	3	5.10	×	5.18	2010.05	2035	77	
	4	3	5.00	×	5.15	2047.82	2080	81	
	5	3	5.16	×	5.20	2000.82	2060	77	
B – 30	1	7	5.10	×	5.10	2014.82	2805	108	109
	2	7	5.15	×	5.19	2032.61	2875	108	
	3	7	5.16	×	5.15	2000.44	2900	109	
	4	7	5.14	×	5.15	2025.16	2905	110	
	5	7	5.12	×	5.15	2037.57	2855	108	
B – 30	1	14	5.13	×	5.21	2020.91	4250	159	151
	2	14	5.05	×	5.13	2074.01	4200	162	
	3	14	5.13	×	5.18	2009.44	4000	151	
	4	14	5.12	×	5.20	2024.63	3725	140	
	5	14	5.07	×	5.12	2033.14	3725	143	

ตารางผนวกที่ ก21 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
B – 30	1	28	5.11	×	5.15	2057.47	5400	205	194
	2	28	5.13	×	5.10	2048.47	4750	182	
	3	28	5.09	×	5.08	2061.36	5100	197	
	4	28	5.11	×	5.11	2064.77	5275	202	
	5	28	5.09	×	5.10	2067.61	4825	186	
B – 30	1	56	5.12	×	5.14	2066.90	5875	223	224
	2	56	5.12	×	5.09	2055.50	5750	221	
	3	56	5.09	×	5.06	2090.43	5625	218	
	4	56	5.14	×	5.12	2063.39	5900	224	
	5	56	5.13	×	5.06	2048.35	6075	234	
B – 30	1	91	5.10	×	5.08	2047.05	6625	256	246
	2	91	5.14	×	5.10	2062.28	6375	243	
	3	91	5.09	×	5.09	2042.83	6375	246	
	4	91	5.12	×	5.13	2048.44	6375	243	
	5	91	5.06	×	5.09	2051.55	6300	245	

ตารางผนวกที่ ก22 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด C แทนที่ 10 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
C – 10	1	1	5.11	×	5.23	2075.09	2855	107	109
	2	1	5.08	×	5.18	2085.16	2875	109	
	3	1	5.13	×	5.15	2063.77	2895	110	
	4	1	5.17	×	5.21	2078.70	2880	107	
	5	1	5.08	×	5.18	2053.44	2905	110	
C – 10	1	3	5.16	×	5.25	2097.27	5025	185	176
	2	3	5.15	×	5.16	2121.19	4400	166	
	3	3	5.09	×	5.17	2086.60	4675	178	
	4	3	5.17	×	5.19	2109.50	4975	185	
	5	3	5.17	×	5.11	2103.63	4325	164	
C – 10	1	7	5.15	×	5.18	2123.29	5250	197	211
	2	7	5.15	×	5.17	2095.95	5775	217	
	3	7	5.16	×	5.18	2080.66	5700	213	
	4	7	5.09	×	5.17	2119.50	5600	213	
	5	7	5.10	×	5.15	2083.63	5625	214	
C – 10	1	14	5.14	×	5.18	2083.74	6500	244	242
	2	14	5.18	×	5.17	2075.90	6600	246	
	3	14	5.10	×	5.19	2124.05	5775	218	
	4	14	5.07	×	5.12	216.88	6425	248	
	5	14	5.11	×	5.20	2093.02	6725	253	

ตารางผนวกที่ ก22 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
C – 10	1	28	5.07	×	5.18	2164.37	7225	275	290
	2	28	5.13	×	5.17	2082.08	7750	292	
	3	28	5.08	×	5.17	2123.62	7400	282	
	4	28	5.14	×	5.07	2160.06	8175	314	
	5	28	5.14	×	5.14	2150.04	7600	288	
C – 10	1	56	5.14	×	5.17	2137.27	9300	350	339
	2	56	5.11	×	5.17	2125.44	8400	318	
	3	56	5.14	×	5.18	2132.59	9500	357	
	4	56	5.16	×	5.17	2134.14	9250	347	
	5	56	5.06	×	5.18	2138.04	8500	324	
C – 10	1	91	5.19	×	5.17	2113.20	8750	326	341
	2	91	5.18	×	5.16	2108.79	9675	362	
	3	91	5.10	×	5.07	2156.11	9200	356	
	4	91	5.18	×	5.14	2126.70	8725	328	
	5	91	5.12	×	5.17	2110.91	8775	332	

ตารางผนวกที่ ก23 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด C แทนที่ 20 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
C – 20	1	1	5.11	×	5.06	2060.37	2345	91	91
	2	1	5.06	×	5.10	2053.40	2350	91	
	3	1	5.08	×	5.09	2041.42	2300	89	
	4	1	5.14	×	5.06	2038.98	2410	93	
	5	1	5.14	×	5.12	2058.58	2355	89	
C – 20	1	3	5.08	×	5.07	2104.86	4025	156	155
	2	3	5.13	×	5.13	2103.53	4300	163	
	3	3	5.08	×	5.13	2091.16	4225	162	
	4	3	5.07	×	5.08	2107.96	3625	141	
	5	3	5.15	×	5.12	2083.78	4050	154	
C – 20	1	7	5.10	×	5.16	2091.84	5500	209	196
	2	7	5.16	×	5.16	2106.17	5200	195	
	3	7	5.13	×	5.08	2109.53	4625	177	
	4	7	5.11	×	5.09	2107.84	5075	195	
	5	7	5.12	×	5.15	2116.06	5375	204	
C – 20	1	14	5.11	×	5.10	2115.14	6050	232	242
	2	14	5.11	×	5.12	2093.30	6650	254	
	3	14	5.13	×	5.11	2126.18	6200	237	
	4	14	5.20	×	5.10	2085.87	6400	241	
	5	14	5.12	×	5.09	2098.60	6475	248	

ตารางผนวกที่ ก23 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
C – 20	1	28	5.15	×	5.03	2117.50	6750	261	262
	2	28	5.12	×	5.08	2118.73	6900	265	
	3	28	5.15	×	5.12	2076.55	6825	259	
	4	28	5.11	×	5.08	2102.22	6875	265	
	5	28	5.14	×	5.12	2087.51	6850	260	
C – 20	1	56	5.08	×	5.11	2100.32	8025	309	304
	2	56	5.15	×	5.09	2084.96	7175	274	
	3	56	5.14	×	5.10	2118.82	8200	313	
	4	56	5.11	×	5.07	2094.41	7575	292	
	5	56	5.15	×	5.12	2119.41	8725	331	
C – 20	1	91	5.07	×	5.10	2110.25	9000	348	332
	2	91	5.05	×	5.06	2108.99	8000	313	
	3	91	5.08	×	5.04	2145.00	8225	321	
	4	91	5.10	×	5.10	2122.61	9275	357	
	5	91	5.17	×	5.05	2111.87	8425	323	

ตารางผนวกที่ ก24 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด C แทนที่ 30 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
C – 30	1	1	5.11	×	5.14	2060.94	1710	65	67
	2	1	5.10	×	5.07	2059.62	1790	69	
	3	1	5.12	×	5.07	2054.07	1735	67	
	4	1	5.14	×	5.13	2013.29	1745	66	
	5	1	5.16	×	5.16	2074.73	1800	68	
C – 30	1	3	5.13	×	5.13	2059.44	3500	133	131
	2	3	5.13	×	5.17	2054.86	3500	132	
	3	3	5.13	×	5.21	2056.84	3525	132	
	4	3	5.12	×	5.04	2055.24	3350	130	
	5	3	5.06	×	5.21	2051.66	3425	130	
C – 30	1	7	5.13	×	5.04	2103.02	4150	161	159
	2	7	5.12	×	5.11	2130.20	3925	150	
	3	7	5.07	×	5.06	2090.70	3900	152	
	4	7	5.07	×	5.12	2071.52	4400	170	
	5	7	5.09	×	5.15	2095.19	4250	162	
C – 30	1	14	5.15	×	5.10	2080.04	5125	195	201
	2	14	5.18	×	5.06	2090.21	5000	191	
	3	14	5.13	×	5.13	2065.21	5400	205	
	4	14	5.07	×	5.16	2068.93	5100	195	
	5	14	5.07	×	5.17	2089.18	5700	217	

ตารางผนวกที่ ก24 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
C – 30	1	28	5.07	×	5.20	2086.40	6300	239	234
	2	28	5.12	×	5.15	2063.81	5950	226	
	3	28	5.13	×	5.06	2092.51	5775	222	
	4	28	5.18	×	5.09	2056.67	6150	233	
	5	28	5.16	×	5.16	2038.54	6700	252	
C – 30	1	56	5.17	×	5.10	2088.52	7450	283	280
	2	56	5.06	×	5.08	2085.23	6925	269	
	3	56	5.08	×	5.18	2116.41	7450	283	
	4	56	5.12	×	5.23	2094.02	7325	274	
	5	56	5.14	×	5.17	2109.97	7725	291	
C – 30	1	91	5.16	×	5.15	2040.07	8625	325	319
	2	91	5.12	×	5.10	2079.35	7850	301	
	3	91	5.02	×	5.16	2155.53	7950	307	
	4	91	5.09	×	5.15	2100.19	8850	338	
	5	91	5.13	×	5.12	2109.61	8550	326	

ตารางผนวกที่ ก25 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด C แทนที่ 40 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
C – 40	1	1	5.08	×	5.10	2035.31	1610	62	60
	2	1	5.09	×	5.17	2001.39	1520	58	
	3	1	5.08	×	5.12	2047.79	1570	60	
	4	1	5.07	×	5.16	2049.36	1545	59	
	5	1	5.08	×	5.10	2064.89	1535	59	
C – 40	1	3	5.12	×	5.11	2060.22	2550	97	100
	2	3	5.10	×	5.12	2064.20	2630	101	
	3	3	5.06	×	5.11	2065.71	2610	101	
	4	3	5.15	×	5.14	2045.22	2600	98	
	5	3	5.07	×	5.12	2058.07	2630	101	
C – 40	1	7	5.08	×	5.13	2012.87	2890	111	109
	2	7	5.18	×	5.18	2028.21	2880	107	
	3	7	5.07	×	5.14	2143.69	2900	111	
	4	7	5.06	×	5.11	2035.23	2890	112	
	5	7	5.10	×	5.09	2059.57	2745	106	
C – 40	1	14	5.16	×	5.18	2060.96	4825	181	185
	2	14	5.12	×	5.20	2069.81	5100	192	
	3	14	5.16	×	5.10	2086.77	4625	176	
	4	14	5.09	×	5.19	2034.21	4825	183	
	5	14	5.17	×	5.18	2054.78	5250	196	

ตารางผนวกที่ ก25 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
C – 40	1	28	5.10	×	5.16	2045.77	5525	210	229
	2	28	5.14	×	5.07	2102.32	6350	244	
	3	28	5.18	×	5.16	2059.69	5875	220	
	4	28	5.11	×	5.19	2046.08	6050	228	
	5	28	5.11	×	5.12	2071.66	6400	245	
C – 40	1	56	5.15	×	5.14	2092.82	7600	287	270
	2	56	5.07	×	5.13	2132.15	6825	262	
	3	56	5.16	×	5.15	2096.21	7650	288	
	4	56	5.12	×	5.14	2069.84	6675	254	
	5	56	5.15	×	5.14	2085.15	6800	257	
C – 40	1	91	5.07	×	5.10	2081.90	7350	284	294
	2	91	5.08	×	5.20	2049.59	7175	272	
	3	91	5.08	×	5.17	2045.75	8275	315	
	4	91	5.16	×	5.18	2081.87	8075	302	
	5	91	5.16	×	5.11	2054.00	7825	297	

ตารางผนวกที่ ก26 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด D แทนที่ 10 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
D – 10	1	1	5.11	×	5.13	2107.46	2840	108	109
	2	1	5.13	×	5.16	2087.20	2890	109	
	3	1	5.12	×	5.07	2130.51	2805	108	
	4	1	5.09	×	5.10	2167.97	2855	110	
	5	1	5.08	×	5.18	2046.49	2860	109	
D – 10	1	3	5.26	×	5.17	2091.12	4600	169	169
	2	3	5.15	×	5.13	2107.03	4650	176	
	3	3	5.09	×	5.15	2095.91	4250	162	
	4	3	5.13	×	5.08	2117.43	4250	163	
	5	3	5.17	×	5.14	2090.37	4625	174	
D – 10	1	7	5.15	×	5.10	2120.64	5525	210	211
	2	7	5.19	×	5.14	2083.05	5425	203	
	3	7	5.13	×	5.11	2125.59	5825	222	
	4	7	5.05	×	5.14	2112.70	5525	213	
	5	7	5.03	×	5.14	2084.93	5275	204	
D – 10	1	14	5.12	×	5.18	2111.19	7100	268	252
	2	14	5.09	×	5.05	2134.62	6350	247	
	3	14	5.13	×	5.11	2126.57	6800	259	
	4	14	5.14	×	5.16	2100.86	6700	253	
	5	14	5.13	×	5.18	2101.32	6175	232	

ตารางผนวกที่ ก26 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
D – 10	1	28	5.10	×	5.07	2145.36	7275	281	267
	2	28	5.15	×	5.09	2142.33	6925	264	
	3	28	5.12	×	5.14	2136.30	7075	269	
	4	28	5.10	×	5.11	2138.16	6675	256	
	5	28	5.10	×	5.10	2145.92	6925	266	
D – 10	1	56	5.08	×	5.13	2122.88	8625	331	331
	2	56	5.13	×	5.13	2108.70	8875	337	
	3	56	5.08	×	5.12	2143.31	8275	318	
	4	56	5.15	×	5.10	2150.22	8750	333	
	5	56	5.14	×	5.09	2128.01	8800	336	
D – 10	1	91	5.17	×	5.12	2092.41	8675	328	339
	2	91	5.16	×	5.04	2136.67	9175	353	
	3	91	5.09	×	5.15	2129.42	8575	327	
	4	91	5.08	×	5.09	2126.88	9375	363	
	5	91	5.14	×	5.09	2115.54	8550	327	

ตารางผนวกที่ ก27 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด D แทนที่ 20 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
D – 20	1	1	5.13	×	5.03	2076.76	2790	108	107
	2	1	5.11	×	5.11	2074.76	2785	107	
	3	1	5.14	×	5.08	2079.14	2800	107	
	4	1	5.13	×	5.06	2076.17	2775	107	
	5	1	5.13	×	5.11	2071.69	2820	107	
D – 20	1	3	5.13	×	5.05	2079.57	4325	167	153
	2	3	5.06	×	5.09	2094.14	3800	148	
	3	3	5.09	×	5.11	2091.98	4075	157	
	4	3	5.18	×	5.11	2109.51	4150	157	
	5	3	5.11	×	5.10	2104.22	3600	138	
D – 20	1	7	5.14	×	5.07	2135.28	6125	235	214
	2	7	5.22	×	5.13	2078.51	5875	219	
	3	7	5.20	×	5.18	2085.32	5350	199	
	4	7	5.10	×	5.13	2135.95	5825	223	
	5	7	5.25	×	5.13	2096.75	5225	194	
D – 20	1	14	5.06	×	5.09	2120.77	6500	252	247
	2	14	5.14	×	5.11	2088.62	6575	250	
	3	14	5.15	×	5.14	2082.19	6425	243	
	4	14	5.15	×	5.12	2094.59	6425	244	
	5	14	5.09	×	5.05	2120.37	6275	244	

ตารางผนวกที่ ก27 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
D – 20	1	28	5.17	×	5.11	2096.87	7600	288	274
	2	28	5.07	×	5.10	2102.45	6400	248	
	3	28	5.18	×	5.09	2117.60	7325	278	
	4	28	5.10	×	5.10	2113.24	7600	292	
	5	28	5.16	×	5.12	2091.51	6950	263	
D – 20	1	56	5.14	×	5.10	2100.91	7775	297	296
	2	56	5.12	×	5.11	2098.67	7200	275	
	3	56	5.16	×	5.14	2116.92	7725	291	
	4	56	5.12	×	5.08	2101.64	7600	292	
	5	56	5.08	×	5.07	2120.17	8350	324	
D – 20	1	91	5.17	×	5.13	2084.66	9650	364	357
	2	91	5.15	×	5.06	2109.98	9425	362	
	3	91	5.11	×	5.15	2110.40	8875	337	
	4	91	5.07	×	5.08	2118.58	9625	374	
	5	91	5.13	×	5.12	2123.26	9125	347	

ตารางผนวกที่ ก28 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด D แทนที่ 30 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
D – 30	1	1	5.10	×	5.11	2055.72	1685	65	67
	2	1	5.09	×	5.11	2045.05	1840	71	
	3	1	5.09	×	5.03	2043.30	1705	67	
	4	1	5.11	×	5.03	2071.85	1645	64	
	5	1	5.05	×	5.11	2053.75	1785	69	
D – 30	1	3	5.12	×	5.20	2037.45	3525	132	132
	2	3	5.23	×	5.17	2022.43	3550	131	
	3	3	5.18	×	5.13	2027.37	3500	132	
	4	3	5.09	×	5.09	2052.06	3400	131	
	5	3	5.15	×	5.10	2039.79	3525	134	
B – 30	1	7	5.14	×	5.12	2064.89	4500	171	160
	2	7	5.13	×	5.07	2012.26	3875	149	
	3	7	5.14	×	5.15	2051.83	4125	156	
	4	7	5.14	×	5.13	2071.43	4300	163	
	5	7	5.04	×	5.15	2063.31	4150	160	
D – 30	1	14	5.14	×	5.06	2081.32	5075	195	216
	2	14	5.14	×	5.16	2050.03	5675	214	
	3	14	5.12	×	5.08	2095.08	6025	232	
	4	14	5.16	×	5.19	2052.44	5800	217	
	5	14	5.23	×	5.13	2072.43	6000	224	

ตารางผนวกที่ ก28 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
D – 30	1	28	5.11	×	5.12	2092.13	6225	238	228
	2	28	5.14	×	5.08	2088.09	5750	220	
	3	28	5.14	×	5.13	2078.91	6125	232	
	4	28	5.13	×	5.17	2041.67	5675	214	
	5	28	5.16	×	5.11	2091.99	6150	233	
D – 30	1	56	5.09	×	5.13	2055.44	7350	281	302
	2	56	5.11	×	5.13	2106.83	7700	294	
	3	56	5.11	×	5.01	2111.50	8050	314	
	4	56	5.08	×	5.14	2079.45	7800	299	
	5	56	5.12	×	5.13	2098.65	8425	321	
D – 30	1	91	5.10	×	5.02	2129.00	9325	364	332
	2	91	5.07	×	5.19	2013.46	7825	297	
	3	91	5.11	×	5.14	2058.39	9600	365	
	4	91	5.19	×	5.13	2053.00	8875	333	
	5	91	5.15	×	5.11	2070.00	7900	300	

ตารางผนวกที่ ก29 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าขาน้อยชนิด D แทนที่ 40 %

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
D – 40	1	1	5.08	×	5.19	2053.89	1610	61	59
	2	1	5.12	×	5.26	2021.16	1520	56	
	3	1	5.06	×	5.23	2048.21	1570	59	
	4	1	5.14	×	5.20	2045.00	1545	58	
	5	1	5.05	×	5.19	2051.16	1535	59	
D – 40	1	3	5.10	×	5.15	2069.28	2700	103	101
	2	3	5.11	×	5.13	2068.47	2560	98	
	3	3	5.22	×	5.24	2084.01	2855	104	
	4	3	5.16	×	5.20	2053.02	2805	105	
	5	3	5.10	×	5.08	2079.35	2480	96	
D – 40	1	7	5.14	×	5.16	2071.34	3700	140	133
	2	7	5.23	×	5.31	2054.02	3650	131	
	3	7	5.07	×	5.15	2069.63	3625	139	
	4	7	5.15	×	5.20	2042.40	3425	128	
	5	7	5.11	×	5.11	2068.23	3375	129	
D – 40	1	14	5.11	×	5.16	2097.79	4950	188	184
	2	14	5.08	×	5.12	2085.29	4450	171	
	3	14	5.12	×	5.12	2102.56	4950	189	
	4	14	5.08	×	5.14	2100.76	4975	191	
	5	14	5.13	×	5.23	2042.89	4875	182	

ตารางผนวกที่ ก29 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
D – 40	1	28	5.06	×	5.15	2095.70	6150	236	235
	2	28	5.10	×	5.08	2100.10	6025	233	
	3	28	5.11	×	5.09	2099.85	6150	236	
	4	28	5.20	×	5.22	2070.67	6350	234	
	5	28	5.11	×	5.11	2106.28	6125	235	
D – 40	1	56	5.07	×	5.13	2114.08	7425	285	272
	2	56	5.06	×	5.10	2104.35	7375	286	
	3	56	5.09	×	5.10	2108.97	6550	252	
	4	56	5.13	×	5.10	2121.11	7325	280	
	5	56	5.10	×	5.08	2115.39	6700	259	
D – 40	1	91	5.12	×	5.11	2062.00	7750	296	300
	2	91	5.16	×	5.11	2080.26	8250	313	
	3	91	5.10	×	5.13	2063.70	7775	297	
	4	91	5.17	×	5.27	2053.19	8000	294	
	5	91	5.15	×	5.13	2081.80	7900	299	

ตารางผนวกที่ ก30 สัดส่วนผสมและปริมาณน้ำคอนกรีตบดล็อกในห้องทดลอง

Mix	Cement (g)	BA (g)	หินฝุ่น (kg)	Sand (g)	Water (g)	w/b
Control	4800	0	33.60	4800	3750	0.78
A – 20	3200	800	28.00	4000	4785	1.20
A – 30	2800	1200	28.00	4000	5145	1.29
C – 20	3200	800	28.00	4000	3860	0.97
C – 30	2800	1200	28.00	4000	4735	1.18

ตารางผนวกที่ ก31 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกควบคุมในห้องทดลอง

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
Control	1	1	7.65	×	7.69	2286.49	10200	173	162
	2	1	7.65	×	7.59	2283.04	9150	158	
	3	1	7.70	×	7.60	2272.36	8825	151	
	4	1	7.59	×	7.57	2277.43	10050	175	
	5	1	7.62	×	7.49	2261.25	8625	151	
Control	1	3	7.65	×	7.80	2246.95	11925	200	205
	2	3	7.65	×	7.65	2295.16	12925	221	
	3	3	7.67	×	7.72	2238.37	11250	190	
	4	3	7.63	×	7.73	2218.86	13000	220	
	5	3	7.61	×	7.70	2194.35	11425	195	
Control	1	7	7.66	×	7.63	2288.14	16000	274	272
	2	7	7.72	×	7.70	2248.25	16200	273	
	3	7	7.62	×	7.71	2284.82	15600	266	
	4	7	7.66	×	7.78	2262.02	15000	252	
	5	7	7.63	×	7.65	2306.58	17200	295	
Control	1	14	7.75	×	7.76	2303.93	22000	366	359
	2	14	7.63	×	7.71	2251.97	21200	360	
	3	14	7.70	×	7.63	2263.45	20000	340	
	4	14	7.97	×	7.69	2261.30	21400	349	
	5	14	7.67	×	7.80	2303.00	22800	381	

ตารางผนวกที่ ก31 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
Control	1	28	7.59	×	7.56	2232.84	21300	371	364
	2	28	7.70	×	7.68	2253.96	22300	377	
	3	28	7.69	×	7.68	2287.74	21500	364	
	4	28	7.63	×	7.73	2245.66	21200	359	
	5	28	7.71	×	7.69	2269.00	20700	349	
Control	1	56	7.61	×	7.69	2263.91	23100	395	378
	2	56	7.53	×	7.69	2235.49	21600	373	
	3	56	7.63	×	7.66	2209.85	23400	400	
	4	56	7.63	×	7.73	2279.94	20700	348	
	5	56	7.64	×	7.71	2173.45	22100	375	
Control	1	91	7.71	×	7.60	2230.50	24400	416	419
	2	91	7.69	×	7.80	2255.30	27000	450	
	3	91	7.61	×	7.79	2227.62	23300	393	
	4	91	7.63	×	7.73	2180.07	23100	392	
	5	91	7.78	×	7.80	2278.11	26900	443	

ตารางผนวกที่ ก32 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อยชนิด A
แผนที่ร้อยละ 20

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
A – 20	1	1	7.60	×	7.75	2168.61	7125	121	123
	2	1	7.60	×	7.67	229.47	7175	123	
	3	1	7.66	×	7.70	2171.17	7300	124	
	4	1	7.77	×	7.65	2200.06	7425	125	
	5	1	7.67	×	7.77	2190.88	7225	121	
A – 20	1	3	7.77	×	7.76	2261.23	11400	189	177
	2	3	7.60	×	7.56	2191.00	10125	176	
	3	3	7.71	×	7.71	2300.42	9750	164	
	4	3	7.72	×	7.96	2199.51	11625	189	
	5	3	7.72	×	7.62	2132.46	9675	164	
A – 20	1	7	7.64	×	7.64	2259.64	11675	200	202
	2	7	7.71	×	7.84	2251.88	11625	192	
	3	7	7.66	×	7.65	2270.16	12500	213	
	4	7	7.78	×	7.65	2259.75	12775	215	
	5	7	7.76	×	7.71	2295.13	11275	188	
A – 20	1	14	7.73	×	7.69	2274.38	17500	294	284
	2	14	7.84	×	7.68	2279.70	18000	299	
	3	14	7.64	×	7.68	2288.50	16500	281	
	4	14	7.75	×	7.78	2227.72	16300	270	
	5	14	7.70	×	7.81	2241.42	16400	273	

ตารางผนวกที่ ก32 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
A – 20	1	28	7.84	×	7.75	2243.49	19000	313	328
	2	28	7.70	×	7.75	2209.75	20300	340	
	3	28	7.69	×	7.74	2235.02	18700	314	
	4	28	7.70	×	7.73	2208.20	19400	326	
	5	28	7.72	×	7.71	2281.80	20800	349	
A – 20	1	56	7.59	×	7.76	2244.39	22000	374	348
	2	56	7.72	×	7.78	2145.06	19500	325	
	3	56	7.65	×	7.75	2263.84	20600	347	
	4	56	7.57	×	7.79	2198.42	19800	336	
	5	56	7.60	×	7.79	2241.62	21200	358	
A – 20	1	91	7.63	×	7.64	2126.64	22700	389	380
	2	91	7.66	×	7.78	2189.55	21800	366	
	3	91	7.79	×	7.69	2154.36	22200	371	
	4	91	7.67	×	7.62	2217.98	23000	394	
	5	91	7.94	×	7.73	2188.72	23400	381	

ตารางผนวกที่ ก33 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อยชนิด A
 แทนที่ร้อยละ 30

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
A – 30	1	1	7.79	×	7.68	2237.40	6050	101	92
	2	1	7.66	×	7.62	2232.47	5875	101	
	3	1	7.66	×	7.70	2138.73	5050	86	
	4	1	7.71	×	7.57	2175.87	4925	84	
	5	1	7.70	×	7.71	2091.02	5175	87	
A – 30	1	3	7.63	×	7.65	2197.05	9175	157	149
	2	3	7.64	×	7.58	2171.20	7950	137	
	3	3	7.66	×	7.60	2203.03	8900	153	
	4	3	7.70	×	7.68	2118.18	8750	148	
	5	3	7.64	×	7.61	2179.46	8725	150	
A – 30	1	7	7.70	×	7.63	2226.44	10100	172	165
	2	7	7.80	×	7.73	2216.55	9225	153	
	3	7	7.71	×	7.77	2228.73	9875	165	
	4	7	7.62	×	7.81	2163.18	10000	168	
	5	7	7.89	×	7.65	2210.35	10125	168	
A – 30	1	14	7.80	×	7.69	2205.04	13900	232	230
	2	14	7.65	×	7.75	2213.43	13600	229	
	3	14	7.91	×	7.64	2210.24	13800	228	
	4	14	7.61	×	7.65	2132.18	13000	223	
	5	14	7.70	×	7.66	2208.77	14000	237	

ตารางผนวกที่ ก33 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
A – 30	1	28	7.69	×	7.80	2260.92	17200	287	270
	2	28	7.63	×	7.70	2241.65	15500	264	
	3	28	7.66	×	7.75	2214.50	15400	259	
	4	28	7.70	×	7.70	2235.63	16000	270	
	5	28	7.65	×	7.60	2231.70	15600	268	
A – 30	1	56	7.69	×	7.62	2157.28	19400	331	313
	2	56	7.61	×	7.57	2140.22	17600	306	
	3	56	7.82	×	7.70	2185.15	18600	309	
	4	56	7.60	×	7.63	2238.47	17300	298	
	5	56	7.66	×	7.61	2155.32	18700	321	
A – 30	1	91	7.64	×	7.72	2285.62	20800	353	340
	2	91	7.58	×	7.64	2228.56	18600	321	
	3	91	7.40	×	7.75	2345.97	21000	366	
	4	91	7.62	×	7.61	2150.86	19100	329	
	5	91	7.61	×	7.67	2161.99	19400	332	

ตารางผนวกที่ ก34 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อยชนิด C
แผนที่ร้อยละ 20

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
C – 20	1	1	7.79	×	7.64	2187.70	7125	120	127
	2	1	7.58	×	7.65	2212.59	7325	126	
	3	1	7.62	×	7.62	2189.17	7675	132	
	4	1	7.66	×	7.62	2175.43	7275	125	
	5	1	7.58	×	7.64	2212.95	7750	134	
C – 20	1	3	7.63	×	7.69	212.12	11275	192	184
	2	3	7.63	×	7.67	2156.16	10175	174	
	3	3	7.66	×	7.68	2123.51	11000	187	
	4	3	7.56	×	7.70	2167.04	11450	197	
	5	3	7.71	×	7.62	2101.42	9925	169	
C – 20	1	7	7.64	×	7.67	2241.87	12875	220	216
	2	7	7.43	×	7.60	2314.25	11775	209	
	3	7	7.63	×	7.75	2231.88	12825	217	
	4	7	7.67	×	7.70	2165.55	13150	223	
	5	7	7.62	×	7.59	2236.74	12225	211	
C – 20	1	14	7.70	×	7.48	2250.79	16900	293	303
	2	14	7.73	×	7.67	2207.35	18300	309	
	3	14	7.68	×	7.51	2231.64	17100	296	
	4	14	7.71	×	7.64	2222.15	17400	295	
	5	14	7.72	×	7.68	2265.69	19000	320	

ตารางผนวกที่ ก34 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
C – 20	1	28	7.87	×	7.66	2212.53	21100	350	350
	2	28	7.59	×	7.69	2255.35	19700	338	
	3	28	7.65	×	7.79	2224.33	21500	361	
	4	28	7.63	×	7.63	2243.29	20300	349	
	5	28	7.63	×	7.65	2239.84	20600	353	
C – 20	1	56	7.82	×	7.63	2213.78	21600	362	381
	2	56	7.57	×	7.66	2229.14	22800	393	
	3	56	7.66	×	7.70	2228.94	22400	380	
	4	56	7.63	×	7.63	2255.47	21700	373	
	5	56	7.68	×	7.68	2216.13	23300	395	
C – 20	1	91	7.57	×	7.66	2229.14	23600	407	420
	2	91	7.59	×	7.69	2255.35	24700	423	
	3	91	7.63	×	7.75	2231.88	25200	426	
	4	91	7.67	×	7.70	2165.55	23000	389	
	5	91	7.62	×	7.59	2236.74	26300	455	

ตารางผนวกที่ ก35 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อยชนิด C
 แทนที่ร้อยละ 30

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
C – 30	1	1	7.64	×	7.68	2069.68	3700	63	69
	2	1	7.56	×	7.56	2116.21	3875	68	
	3	1	7.59	×	7.52	2105.44	4225	74	
	4	1	7.55	×	7.59	2088.87	3750	65	
	5	1	7.70	×	7.58	2109.70	4375	75	
C – 30	1	3	7.62	×	7.57	2179.10	7900	137	150
	2	3	7.82	×	7.64	2180.70	9300	156	
	3	3	7.65	×	7.64	2108.12	9000	154	
	4	3	7.75	×	7.66	2162.98	8350	141	
	5	3	7.68	×	7.76	2257.37	9800	164	
C – 30	1	7	7.60	×	7.63	2117.80	9250	160	168
	2	7	7.68	×	7.63	2109.48	9875	169	
	3	7	7.70	×	7.72	2153.71	10425	175	
	4	7	7.62	×	7.54	2257.26	9175	160	
	5	7	7.59	×	7.68	2162.40	10225	175	
C – 30	1	14	7.65	×	7.64	2177.45	13500	231	238
	2	14	7.66	×	7.64	2188.99	14100	241	
	3	14	7.57	×	7.60	2103.71	14200	247	
	4	14	7.61	×	7.54	2092.30	13900	242	
	5	14	7.64	×	7.59	2101.86	13400	231	

ตารางผนวกที่ ก35 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Unit	Ult.	Comp.	Average
			cm	×	cm	Weight (kg/m ³)	Load (kg)	Str. (ksc)	Comp.Str (ksc)
C – 30	1	28	7.68	×	7.76	2221.04	17100	287	288
	2	28	7.65	×	7.55	2263.67	16400	284	
	3	28	7.63	×	7.65	2211.95	15900	272	
	4	28	7.56	×	7.60	2231.02	16700	291	
	5	28	7.57	×	7.55	2240.39	17500	306	
C – 30	1	56	7.70	×	7.47	2107.66	20400	355	338
	2	56	7.65	×	7.60	2191.10	19200	330	
	3	56	7.66	×	7.73	2163.54	18600	314	
	4	56	7.69	×	7.63	2086.04	19500	332	
	5	56	7.80	×	7.61	2219.79	21300	359	
C – 30	1	91	7.70	×	7.47	2107.66	22400	389	367
	2	91	7.65	×	7.60	2191.10	21800	375	
	3	91	7.66	×	7.73	2163.54	19700	333	
	4	91	7.69	×	7.63	2178.07	22100	377	
	5	91	7.80	×	7.61	2184.49	21300	359	

ตารางผนวกที่ ก36 สัดส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกผลิตในโรงงาน

Mix	Cement (kg/m ³)	Bagasse Ash (kg/m ³)	หินฝุ่น (kg/m ³)	Water (kg/m ³)
โรงงาน	255	0	1785	240
Control	255	0	1785	240
A – 20	180	45	1574	324
C – 20	194	49	1698	272
A – 30	154	66	1536	338
C – 30	158	68	1579	320
C – 50	108	108	1510	345

ตารางผนวกที่ ก37 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตเชิงพาณิชย์

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Weight (g)	Ult. Load (kg)	Comp. Str. (ksc)	Average Comp.Str. (ksc)
			Thickness (cm)	Width (cm)	Length (cm)				
โรงงาน	1	1	6.60	38.70	18.50	5910.80	4375	37	37
	2	1	6.61	39.00	18.50	5211.10	3900	34	
	3	1	6.55	39.00	18.60	5771.40	3800	35	
	4	1	6.52	38.80	18.70	5977.00	4450	40	
	5	1	6.57	38.90	18.60	5977.10	4300	37	
โรงงาน	1	3	6.60	39.00	18.70	6004.60	3975	45	43
	2	3	6.63	38.90	18.80	6024.00	3025	41	
	3	3	6.68	38.80	18.60	5951.90	3450	41	
	4	3	6.55	39.00	18.60	5725.10	3650	41	
	5	3	6.55	39.00	18.70	6032.80	3975	44	
โรงงาน	1	7	6.66	38.80	18.50	5558.30	4125	52	52
	2	7	6.56	38.90	18.40	5493.50	4125	50	
	3	7	6.53	38.70	18.60	5782.00	4400	56	
	4	7	6.56	38.90	18.70	5730.00	4425	52	
	5	7	6.50	39.10	18.60	5693.30	4200	52	
โรงงาน	1	14	6.60	39.20	19.20	5946.10	5225	60	61
	2	14	6.54	39.10	18.70	5634.80	4875	61	
	3	14	6.57	39.20	18.90	5551.20	5000	59	
	4	14	6.63	39.00	18.70	6044.90	5275	62	
	5	14	6.64	39.00	18.90	5899.90	5775	63	

ตารางผนวกที่ ก37 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Weight (g)	Ult. Load (kg)	Comp. Str. (ksc)	Average Comp.Str. (ksc)
			Thickness (cm)	Width (cm)	Length (cm)				
โรงงาน	1	28	6.53	39.10	18.60	5568.90	4875	63	61
	2	28	6..58	38.90	18.60	5731.80	5475	58	
	3	28	6.60	39.00	19.00	5983.70	5725	63	
	4	28	6.64	39.00	19.10	5996.50	5050	65	
	5	28	6.54	39.00	18.70	5594.80	5500	57	
โรงงาน	1	56	6.55	39.20	18.80	5648.90	11000	127	121
	2	56	6.65	39.20	18.80	5618.90	10600	113	
	3	56	6.54	39.20	18.90	5827.70	11600	133	
	4	56	6.60	39.10	18.80	5637.50	10000	115	
	5	56	6.56	39.20	19.00	5652.60	10000	116	

ตารางผนวกที่ ก38 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกควบคุม (ผลิตในโรงงาน)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Weight (g)	Ult. Load (kg)	Comp. Str. (ksc)	Average Comp.Str. (ksc)
			Thickness (cm)	Width (cm)	Length (cm)				
Control	1	1	6.70	39.00	18.50	6497.70	2700	34	37
	2	1	6.58	39.00	18.30	6551.80	2825	39	
	3	1	6.66	39.80	18.60	6652.80	2625	36	
	4	1	6.65	39.00	18.60	6312.10	2600	37	
	5	1	6.76	38.90	19.00	7047.00	2675	38	
Control	1	3	6.62	39.00	18.40	6343.60	4750	63	63
	2	3	6.70	38.80	18.90	7040.60	4650	63	
	3	3	6.58	38.90	18.70	5901.30	4550	62	
	4	3	6.73	38.80	19.00	7231.20	5275	62	
	5	3	6.68	38.70	18.80	6279.80	5725	63	
Control	1	7	6.57	38.90	19.00	6164.80	5100	67	64
	2	7	6.76	38.80	18.80	6850.00	4425	59	
	3	7	6.64	39.00	18.50	5742.10	4125	64	
	4	7	6.72	39.00	18.70	6882.90	5500	65	
	5	7	6.60	38.90	18.20	6126.20	4825	66	
Control	1	14	6.70	39.20	18.80	6174.80	6125	76	71
	2	14	6.70	39.20	18.70	6680.90	5875	67	
	3	14	6.77	39.10	18.60	6156.00	5750	66	
	4	14	6.70	39.10	18.90	6766.80	6875	74	
	5	14	6.60	39.00	18.70	6267.80	5750	74	

ตารางผนวกที่ ก38 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Weight (g)	Ult. Load (kg)	Comp. Str. (ksc)	Average Comp.Str. (ksc)
			Thickness (cm)	Width (cm)	Length (cm)				
Control	1	28	6.62	39.00	18.80	6143.60	6325	75	72
	2	28	6.65	39.00	18.70	6406.00	6175	70	
	3	28	6.65	39.10	19.00	6615.00	6375	78	
	4	28	6.62	39.10	18.90	6151.50	6325	73	
	5	28	6.62	39.10	18.50	6242.20	6200	68	
Control	1	56	6.60	39.20	18.50	6357.50	10500	136	140
	2	56	6.63	39.10	18.60	6022.00	10700	146	
	3	56	6.73	39.20	18.80	6732.20	12900	133	
	4	56	6.65	39.00	18.70	6122.30	13800	152	
	5	56	6.73	39.00	18.50	6354.00	12100	135	

ตารางผนวกที่ ก39 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยชนิด A
แทนที่ร้อยละ 20 (ผลิตในโรงงาน)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Weight (g)	Ult. Load (kg)	Comp. Str. (ksc)	Average Comp.Str. (ksc)
			Thickness (cm)	Width (cm)	Length (cm)				
A – 20	1	1	6.74	38.90	18.70	6637.00	2375	34	35
	2	1	6.63	39.00	18.40	6366.30	2750	36	
	3	1	6.66	39.00	18.60	6331.30	2875	38	
	4	1	6.67	38.90	19.00	6894.00	2700	33	
	5	1	6.57	39.00	18.60	6189.80	2575	35	
A – 20	1	3	6.66	39.00	18.50	6231.60	3500	45	44
	2	3	6.62	39.00	18.40	6133.60	3350	45	
	3	3	6.60	39.00	18.60	6033.50	3625	44	
	4	3	6.70	39.00	18.70	6319.10	3500	43	
	5	3	6.63	39.00	18.30	6006.90	3275	43	
A – 20	1	7	6.63	39.00	18.90	6518.90	4475	56	54
	2	7	6.75	39.10	18.90	6354.10	4650	51	
	3	7	6.60	38.90	18.50	6355.40	4275	51	
	4	7	6.73	38.70	18.50	6214.00	4175	56	
	5	7	6.60	39.00	18.60	5908.10	4775	54	
A – 20	1	14	6.60	39.20	18.70	5913.30	4300	61	61
	2	14	6.67	39.00	19.00	6695.20	4875	57	
	3	14	6.53	39.20	18.80	6351.00	5075	66	
	4	14	6.56	39.20	18.80	6013.70	5000	65	
	5	14	6.70	39.00	18.70	6056.30	4675	57	

ตารางผนวกที่ ก39 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Weight (g)	Ult. Load (kg)	Comp. Str. (ksc)	Average Comp.Str. (ksc)
			Thickness (cm)	Width (cm)	Length (cm)				
A – 20	1	28	6.70	39.00	18.80	6126.60	6175	61	63
	2	28	6.68	39.20	18.80	6084.30	5400	67	
	3	28	6.56	39.20	18.80	6013.60	5025	66	
	4	28	6.74	39.10	18.80	6371.40	5650	61	
	5	28	6.67	39.20	18.80	6008.60	5375	61	
A – 20	1	56	6.83	39.20	18.60	6211.30	12300	132	140
	2	56	6.72	39.20	18.90	6692.80	12000	143	
	3	56	6.72	39.00	18.80	6447.90	11500	143	
	4	56	6.63	39.20	18.90	6070.50	11000	141	
	5	56	6.66	39.20	18.60	6232.60	10800	143	

ตารางผนวกที่ ก40 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยชนิด C
แทนที่ร้อยละ 20 (ผลิตในโรงงาน)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Weight (g)	Ult. Load (kg)	Comp. Str. (ksc)	Average Comp.Str. (ksc)
			Thickness (cm)	Width (cm)	Length (cm)				
C – 20	1	1	6.76	39.00	18.70	6675.00	2975	35	36
	2	1	6.70	38.90	18.90	6775.00	3150	36	
	3	1	6.61	39.00	18.60	6140.90	2750	34	
	4	1	6.62	38.90	18.70	6377.50	2525	37	
	5	1	6.60	39.00	18.80	5999.80	2550	38	
C – 20	1	3	6.60	39.00	18.50	6224.90	3550	49	50
	2	3	6.62	39.00	18.50	6252.40	4300	51	
	3	3	6.70	39.00	18.70	6716.40	4375	50	
	4	3	6.57	39.00	18.40	6225.30	4200	48	
	5	3	6.60	38.90	18.70	6082.20	3750	50	
C – 20	1	7	6.62	39.00	18.80	6305.10	4475	54	53
	2	7	6.70	38.80	18.70	6630.40	4875	60	
	3	7	6.63	39.00	18.70	6086.80	4550	52	
	4	7	6.72	38.80	18.70	6672.60	4225	52	
	5	7	6.75	38.80	18.70	6618.30	4375	52	
C – 20	1	14	6.70	39.20	19.00	6668.80	5450	61	61
	2	14	6.63	39.20	18.90	6026.80	4875	62	
	3	14	6.65	39.20	18.80	6612.20	5275	59	
	4	14	6.60	39.10	18.70	6211.00	4850	63	
	5	14	6.60	39.00	18.80	6385.20	4950	57	

ตารางผนวกที่ ก40 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Weight (g)	Ult. Load (kg)	Comp. Str. (ksc)	Average Comp.Str. (ksc)
			Thickness (cm)	Width (cm)	Length (cm)				
C – 20	1	28	6.68	39.10	18.90	6526.20	6000	65	62
	2	28	6.63	39.10	18.70	6328.70	5750	61	
	3	28	6.70	39.20	19.00	6760.40	5250	61	
	4	28	6.60	39.10	19.00	6072.80	5250	58	
	5	28	6.66	39.00	18.80	6490.70	5875	65	
C – 20	1	56	6.72	39.20	18.80	6688.70	13100	140	133
	2	56	6.67	39.10	18.70	6166.00	11700	125	
	3	56	6.66	39.20	19.00	6629.90	12800	131	
	4	56	6.70	39.20	18.70	6136.10	11000	135	
	5	56	6.67	39.20	18.80	6126.40	11200	132	

ตารางผนวกที่ ก41 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยชนิด A
แทนที่ร้อยละ 30 (ผลิตในโรงงาน)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Weight (g)	Ult. Load (kg)	Comp. Str. (ksc)	Average Comp.Str. (ksc)
			Thickness (cm)	Width (cm)	Length (cm)				
A – 30	1	1	6.64	39.00	18.90	6797.60	2750	34	33
	2	1	6.74	39.00	18.50	6397.40	2550	33	
	3	1	6.66	39.00	18.90	6606.00	2125	34	
	4	1	6.60	39.00	19.00	6357.80	2450	31	
	5	1	6.68	39.00	18.70	6980.10	2750	33	
A – 30	1	3	6.57	39.00	18.50	6709.30	3325	43	42
	2	3	6.75	38.80	18.70	6781.10	3775	46	
	3	3	6.65	39.00	18.70	6249.60	3525	40	
	4	3	6.75	39.00	18.50	6697.30	3975	40	
	5	3	6.64	38.70	18.50	6510.70	3450	41	
A – 30	1	7	6.55	39.00	18.40	6343.70	3775	53	52
	2	7	6.74	38.90	18.80	6925.40	4250	50	
	3	7	6.78	38.90	18.90	6790.60	4250	53	
	4	7	6.74	38.70	18.70	6888.50	4125	51	
	5	7	6.50	39.00	18.50	6228.30	3975	51	
A – 30	1	14	6.60	39.10	18.90	6420.20	4275	59	56
	2	14	6.56	39.10	19.00	6451.00	4125	59	
	3	14	6.58	39.10	18.90	6366.00	4125	52	
	4	14	6.64	39.00	18.90	6587.80	4250	53	
	5	14	6.60	39.10	18.80	6567.00	4375	55	

ตารางผนวกที่ ก41 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Weight (g)	Ult. Load (kg)	Comp. Str. (ksc)	Average Comp.Str. (ksc)
			Thickness (cm)	Width (cm)	Length (cm)				
A – 30	1	28	6.65	39.10	18.80	6320.40	4875	54	57
	2	28	6.67	39.20	18.70	6337.40	4600	55	
	3	28	6.70	39.00	18.80	6812.70	5125	61	
	4	28	6.66	39.20	18.90	6152.20	4875	59	
	5	28	6.60	39.10	18.60	6499.10	4675	57	
A – 30	1	56	6.76	39.10	19.00	6774.00	10700	126	118
	2	56	6.60	39.20	18.80	6215.70	9200	115	
	3	56	6.75	39.20	19.00	6851.00	11000	113	
	4	56	6.70	39.20	18.50	5969.40	9800	114	
	5	56	6.76	39.10	19.00	6820.40	10000	121	

ตารางผนวกที่ ก42 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยชนิด C
แทนที่ร้อยละ 30 (ผลิตในโรงงาน)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Weight (g)	Ult. Load (kg)	Comp. Str. (ksc)	Average Comp.Str. (ksc)
			Thickness (cm)	Width (cm)	Length (cm)				
C – 30	1	1	6.64	39.00	18.60	6292.70	2525	35	34
	2	1	6.64	39.00	18.70	6379.20	2500	36	
	3	1	6.73	38.90	19.00	7011.80	2925	33	
	4	1	6.60	39.00	18.60	6611.20	2650	34	
	5	1	6.57	39.00	18.50	6421.00	2500	33	
C – 30	1	3	6.56	39.00	18.40	6449.80	4000	58	55
	2	3	6.57	39.00	18.70	6465.00	3875	56	
	3	3	6.70	39.00	18.80	6936.00	4275	55	
	4	3	6.63	38.80	18.50	6662.10	3925	52	
	5	3	6.72	38.90	18.90	6875.80	4625	52	
C – 30	1	7	6.53	39.00	18.70	6307.50	4425	65	62
	2	7	6.63	38.80	18.80	6292.80	4375	59	
	3	7	6.70	39.00	18.70	6745.80	5275	61	
	4	7	6.65	38.80	18.90	6501.90	4775	64	
	5	7	6.52	39.00	19.00	6349.70	4775	63	
C – 30	1	14	6.90	39.10	19.00	6772.20	6275	69	67
	2	14	6.67	39.20	18.80	6558.70	5875	71	
	3	14	6.60	39.20	19.00	6043.20	6000	66	
	4	14	6.72	39.30	19.00	6907.30	6600	68	
	5	14	6.67	39.10	19.10	6644.70	6000	65	

ตารางผนวกที่ ก42 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Weight (g)	Ult. Load (kg)	Comp. Str. (ksc)	Average Comp.Str. (ksc)
			Thickness (cm)	Width (cm)	Length (cm)				
C – 30	1	28	6.77	39.10	18.90	6493.80	5625	67	70
	2	28	6.87	39.10	18.80	6788.00	6700	69	
	3	28	6.60	39.10	19.00	6171.00	5875	75	
	4	28	6.75	39.00	19.20	6860.50	5875	70	
	5	28	6.54	39.20	18.60	6246.20	5375	71	
C – 30	1	56	6.70	39.20	18.70	6254.40	11400	132	135
	2	56	6.50	39.20	18.80	6234.60	11000	137	
	3	56	6.71	39.20	18.90	6811.80	11800	136	
	4	56	6.60	39.10	18.90	6158.70	11000	138	
	5	56	6.66	39.10	18.80	6394.90	11200	133	

ตารางผนวกที่ ก43 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยชนิด C
 แทนที่ร้อยละ 50 (ผลิตในโรงงาน)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Weight (g)	Ult. Load (kg)	Comp. Str. (ksc)	Average Comp.Str. (ksc)
			Thickness (cm)	Width (cm)	Length (cm)				
C – 50	1	1	6.60	39.00	18.40	6327.50	2875	20	22
	2	1	6.56	39.00	18.40	6329.80	3125	22	
	3	1	6.72	38.90	18.50	6484.20	3000	23	
	4	1	6.57	39.10	18.40	6140.00	2875	22	
	5	1	6.70	38.90	18.50	6706.30	3300	22	
C – 50	1	3	6.77	38.80	18.40	6537.10	4000	51	51
	2	3	6.66	39.00	18.50	6462.40	4100	48	
	3	3	6.57	39.00	18.60	6220.40	2875	52	
	4	3	6.77	38.80	18.40	6573.40	3800	51	
	5	3	6.57	39.00	18.80	6151.10	4100	53	
C – 50	1	7	6.60	39.00	18.80	5967.00	4250	55	53
	2	7	6.70	39.00	18.60	6463.20	3850	49	
	3	7	6.61	39.00	18.50	5993.90	3875	56	
	4	7	6.60	39.00	18.50	5941.40	4000	54	
	5	7	6.69	38.80	18.80	6640.90	3825	51	
C – 50	1	14	6.70	39.20	18.60	6615.00	5375	60	62
	2	14	6.65	39.20	19.10	6724.70	5125	60	
	3	14	6.60	39.30	18.80	6365.80	5500	66	
	4	14	6.66	39.10	18.70	6247.80	5675	64	
	5	14	6.64	39.10	18.70	6373.70	5500	60	

ตารางผนวกที่ ก43 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	Age (day)	Dimension			Weight (g)	Ult. Load (kg)	Comp. Str. (ksc)	Average Comp.Str. (ksc)
			Thickness (cm)	Width (cm)	Length (cm)				
C – 50	1	28	6.60	39.20	18.80	6030.50	5025	64	64
	2	28	6.66	39.20	18.80	6030.60	5500	66	
	3	28	6.68	39.00	18.70	6285.20	5375	68	
	4	28	6.60	39.20	18.70	5870.30	5500	64	
	5	28	6.70	39.10	19.00	6588.20	5900	60	
C – 50	1	56	6.74	39.20	19.00	6765.50	11300	128	120
	2	56	6.64	39.20	18.90	5929.20	10700	117	
	3	56	6.72	39.10	18.80	6149.90	9800	113	
	4	56	6.63	39.40	18.80	6205.10	9000	116	
	5	56	6.74	39.00	18.80	6402.60	10400	126	

ตารางผนวกที่ ก44 ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก

Mix	Spec. No.	น้ำหนักแห้ง (g)	น้ำหนักอิ่มน้ำ (g)	การดูดกลืนน้ำ (%)	การดูดกลืนน้ำเฉลี่ย (%)
โรงงาน	1	5631.90	6054.90	7.51	
	2	5683.50	6130.70	7.87	
	3	5665.60	6169.70	8.90	8.12
	4	5597.50	6040.30	7.91	
	5	5507.60	5971.60	8.42	
Control	1	6175.30	6592.90	6.76	
	2	6485.60	6894.50	6.30	
	3	6730.10	7154.30	6.30	6.51
	4	6340.40	6759.50	6.61	
	5	6566.20	6997.50	6.57	
A – 20	1	6199.40	6537.00	5.45	
	2	6169.60	6592.10	6.85	
	3	6133.10	6580.00	7.29	6.78
	4	6109.60	6545.00	7.13	
	5	6091.20	6528.70	7.18	
C – 20	1	6284.90	6677.50	6.25	
	2	6013.10	6434.80	7.01	
	3	6472.70	6888.00	6.42	6.54
	4	6069.80	6480.20	6.76	
	5	6310.10	6705.50	6.27	

ตารางผนวกที่ ก44 (ต่อ)

Mix	Spec. No.	น้ำหนักแห้ง (g)	น้ำหนักอิมน้ำ (g)	การดูดกลืนน้ำ (%)	การดูดกลืนน้ำเฉลี่ย (%)
A – 30	1	6133.40	6592.80	7.49	7.27
	2	6327.90	6794.00	7.37	
	3	6073.20	6508.60	7.17	
	4	6051.70	6480.30	7.08	
	5	6059.50	6499.50	7.26	
C – 30	1	6828.10	7257.30	6.29	7.10
	2	6128.20	6575.10	7.29	
	3	6271.20	6705.80	6.93	
	4	6056.40	6510.90	7.50	
	5	6132.40	6591.90	7.49	
C – 50	1	6594.70	7036.30	6.70	7.06
	2	5910.20	6344.50	7.35	
	3	6067.70	6500.30	7.13	
	4	5845.20	6265.00	7.18	
	5	6215.10	6647.80	6.69	

ภาคผนวก ข
สรุปลักษณะอากาศ

ตารางผนวกที่ ข1 อุณหภูมิสูงสุด/ต่ำสุดประจำวันตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2548 – เมษายน 2549

วันที่	พ.ย. 48	ธ.ค. 48	ม.ค. 49	ก.พ. 49	มี.ค. 49	เม.ย. 49
	Temp. (C)	Temp. (C)	Temp. (C)	Temp. (C)	Temp. (C)	Temp. (C)
1	32.6/26.0	33.1/25.8	31.9/25.6	34.7/25.5	34.7/26.6	32.5/24.9
2	33.3/25.8	33.1/26.6	33.8/25.7	34.8/26.9	34.0/25.9	34.6/25.9
3	35.3/27.3	32.1/26.9	33.4/25.1	35.0/26.5	32.9/26.6	35.3/25.9
4	34.5/25.9	33.6/25.9	33.9/25.8	33.5/26.1	33.6/25.5	36.4/26.7
5	30.5/25.2	31.2/27.3	34.6/26.4	33.2/24.9	34.2/26.5	34.9/27.4
6	32.1/25.4	31.1/25.1	32.4/25.3	33.7/25.3	35.1/26.4	36.0/28.0
7	33.0/26.6	29.2/24.5	30.0/23.5	33.7/24.9	35.2/26.6	37.2/27.4
8	31.4/25.6	30.1/22.7	30.4/22.1	33.0/24.7	35.1/25.9	33.6/25.4
9	31.7/25.1	32.5/23.0	29.8/21.8	33.4/23.7	35.5/26.9	34.5/26.5
10	33.7/25.8	31.9/23.8	29.9/20.7	33.0/24.2	36.2/26.4	35.3/27.2
11	33.3/26.2	32.5/24.3	31.4/21.5	34.4/26.1	35.9/27.4	36.0/26.2
12	33.1/26.6	30.9/23.7	32.1/23.5	33.2/24.7	37.5/26.4	35.8/26.2
13	32.1/26.8	30.4/23.4	33.6/22.7	25.6/22.6	35.9/27.1	36.5/28.2
14	33.9/27.0	30.2/22.4	34.2/23.1	32.9/23.1	33.5/25.9	36.8/29.0
15	32.6/27.0	26.5/23.4	33.8/24.0	34.4/25.1	34.1/25.5	35.2/25.2
16	32.9/25.7	27.6/22.0	33.7/23.8	34.4/26.9	36.4/28.1	33.1/25.3
17	33.0/25.2	29.4/21.7	34.6/24.6	34.6/26.6	35.9/28.9	33.5/26.7
18	33.8/26.3	28.7/20.0	34.3/24.2	33.9/24.5	37.4/28.5	35.3/27.7
19	31.7/26.4	27.4/17.9	34.4/24.1	34.1/26.4	37.1/28.1	36.6/27.2
20	30.3/24.1	28.8/18.9	34.7/22.9	34.0/27.1	36.6/26.8	
21	29.2/22.3	26.4/22.0	34.6/21.7	34.6/26.7	35.5/27.8	
22	29.5/21.1	22.9/19.4	33.3/22.9	36.5/27.3	36.0/27.3	
23	27.4/22.0	26.5/19.9	32.9/23.4	35.2/26.6	36.9/27.2	
24	29.7/22.4	27.0/20.1	30.4/23.5	36.0/26.6	36.0/27.7	
25	30.1/23.7	31.7/23.9	30.8/21.9	35.8/26.9	36.4/27.2	

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

วันที่	พ.ย. 48	ธ.ค. 48	ม.ค. 49	ก.พ. 49	มี.ค. 49	เม.ย. 49
	Temp. (C)	Temp. (C)	Temp. (C)	Temp. (C)	Temp. (C)	Temp. (C)
26	30.3/25.0	31.5/24.1	30.1/21.1	35.8/27.3	36.4/27.9	
27	32.4/25.5	29.3/24.1	31.2/23.4	34.9/26.9	36.4/27.9	
28	33.4/25.6	31.5/24.9	32.1/22.3	35.3/28.0	36.8/27.4	
29	33.0/26.1	31.9/23.5	33.8/22.9		34.5/24.1	
30	34.1/25.5	32.4/23.2	34.3/24.4		34.6/24.1	
31		32.8/22.9	33.8/24.5		32.9/23.9	

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา สถานีวัดอากาศดอนเมือง

ตารางผนวกที่ ข2 ปริมาณฝนตกประจำวันตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2548 – เมษายน 2549

วันที่	พ.ย. 48	ธ.ค. 48	ม.ค. 49	ก.พ. 49	มี.ค. 49	เม.ย. 49
	(มม.)	(มม.)	(มม.)	(มม.)	(มม.)	(มม.)
1	0	0	0	0	0	1.7
2	0	0	0	0	T	0
3	0	0	0	0	0	1.2
4	2.7	0	0	0	T	0
5	11.0	6.7	0	0	T	2.1
6	2.3	0	5.8	0	0	0
7	0.3	0	0	0	0	4.4
8	6.2	0	0	0	0	0
9	T	0	0	0	0	4.4
10	0	0	0	0	0	0
11	39.5	0	0	0	0	0
12	6.1	0	0	8	0	0.9
13	2.0	0	0	1.3	0	0
14	3.0	0	0	0	0	0
15	1.3	T	0	0	0	13.5
16	T	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	T	0	0	T	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	
21	0	T	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	
23	0	0	0	0	0	
24	0	0	0	0	0	
25	0	0	0	0	0	

ตารางผนวกที่ ๒ (ต่อ)

วันที่	พ.ย. 48	ธ.ค. 48	ม.ค. 49	ก.พ. 49	มี.ค. 49	เม.ย. 49
	(มม.)	(มม.)	(มม.)	(มม.)	(มม.)	(มม.)
26	0	12.4	0	T	0	
27	0	2.2	0	0	0	
28	T	0	0	0	2.6	
29	0	0	0		0.4	
30	0	0	0		77	
31		0	0		23	

T คือวันที่ฝนตกรวมน้อยกว่า 0.1 มม.

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา สถานีวัดอากาศดอนเมือง

ตารางผนวกที่ ข3 ความเร็วลมประจำวันตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2548 – กุมภาพันธ์ 2549

วันที่	พ.ย. 48	ธ.ค. 48	ม.ค. 49	ก.พ. 49
	(Knots)	(Knots)	(Knots)	(Knots)
1	12	17	11	12
2	13	20	10	10
3	9	11	10	8
4	16	19	11	12
5	17	20	10	17
6	15	19	19	9
7	15	15	10	11
8	17	17	11	12
9	9	19	10	10
10	13	22	10	12
11	27	20	10	11
12	13	15	7	14
13	13	22	9	10
14	12	22	11	9
15	14	32	9	15
16	9	32	10	13
17	13	0	10	15
18	15	26	14	11
19	12	0	10	10
20	10	28	10	13
21	13	26	8	9
22	10	28	16	12
23	14	19	10	15
24	15	17	14	13
25	12	22	11	10

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

วันที่	พ.ย. 48	ธ.ค. 48	ม.ค. 49	ก.พ. 49
	(Knots)	(Knots)	(Knots)	(Knots)
26	9	13	13	24
27	10	20	11	15
28	10	19	11	13
29	12	19	9	
30	13	22	10	
31		20	8	

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา สถานีวัดอากาศดอนเมือง

ภาคผนวก ค
ประมาณราคาในการเตรียมวัสดุ

ประมาณราคาในการเตรียมวัสดุประสาน

ข้อกำหนดในการประมาณราคา

1. บดเถ้าขานอ้อยประมาณ 5 กิโลกรัม เป็นเวลา 30 และ 90 นาที ด้วยเครื่องบดขนาด 1.9 กิโลวัตต์
2. ราคาไฟฟ้า ต่อหน่วยการใช้งาน 3.0 บาท

ราคาค่าเตรียมเถ้าขานอ้อยชนิด A = $1/5 \times 0.5 \times 1.9 \times 3.0 = 0.57$ บาทต่อกิโลกรัม

ราคาค่าเตรียมเถ้าขานอ้อยชนิด C = $1/5 \times 1.5 \times 1.9 \times 3.0 = 1.71$ บาทต่อกิโลกรัม

ราคาปูนซีเมนต์ = $135/50 = 2.70$ บาทต่อกิโลกรัม

ตารางผนวกที่ ค1 ราคาวัดวัสดุประสานแต่ละสัดส่วนผสมต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร

Mix	Cementitious		Unit Price		Total Price (Bath/m ³)
	Cement (kg/m ³)	BA (kg/m ³)	Cement (Bath/m ³)	BA (Bath/m ³)	
โรงงาน	255	0	688.50	0	688.50
Control	255	0	688.50	0	688.50
A – 20	180	45	486.00	25.65*	511.65
C – 20	194	49	523.80	83.79*	607.59
A – 30	154	66	415.80	37.62*	453.42
C – 30	158	68	426.60	116.28*	542.81
C – 50	108	108	291.60	184.68*	476.28

* : ราคาไม่รวมค่าขนส่งและราคาค่าเถ้าขานอ้อยจากโรงงาน

ภาคผนวก ง
ภาพเครื่องบดเข้าขาน้อย



ภาพผนวกที่ ๑1 เครื่องบด Los Angeles



ภาพผนวกที่ ๑2 Rods Mill ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.25 ซม. ยาว 46 ซม.

