

การศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต
ที่ผสมแบบแบ่งนำออกเป็นสองส่วน

INFLUENCE OF FLY ASH ON PROPERTIES OF
DOUBLE MIXING CEMENTITIOUS MATERIALS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-093-054

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต
ที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน

INFLUENCE OF FLY ASH ON PROPERTIES OF
DOUBLE MIXING CEMENTITIOUS MATERIALS



T105090



กฤษฎากร อร่ามเมือง

KIDSADAKORN ARAMMUANG

b. 12164708
i.

ศ.พ.
ก 279 ก
2552

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....105090
รับ เดือน.ปี.....1.6.พ.ศ. 2552

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-093-054

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**INFLUENCE OF FLY ASH ON PROPERTIES OF
DOUBLE MIXING CEMENTITIOUS MATERIALS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT' S INTITUTE OF TECNOLOGY LADKRABUNG**

2009

KMITL-2009-EN-M-093-054

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT' S INTITUTE OF TECNOLOGY LADKRABUNG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน

Thesis Title Influence of Fly ash on Properties of Double Mixing Cementitious Materials

นักศึกษา นายกฤษฎากร อร่ามเมือง

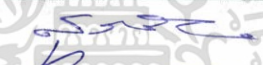




รหัสประจำตัว 49061515

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.อำนวยการ พานิชกุลพงศ์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-093-054

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ศักดิ์ชัย สถานุพงษ์	
ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี	
รศ.ดร.ปิติ สุคนธ์สุขกุล	
ผศ.สุวัฒน์ ฉิรเศรษฐ์	
รศ.อำนวยการ พานิชกุลพงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 12.00-14.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน
นักศึกษา	นาย กฤษฎากร อร่ามเมือง
รหัสนักศึกษ	49061515
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.อำนาจ พานิชกุลพงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของวัสดุปอซโซลาน ได้แก่ เถ้าลอยที่ใส่แทนที่ปูนซีเมนต์ ในหลายอัตราส่วนทางด้านคุณสมบัติต่างๆ ที่เปลี่ยนไป เมื่อทำการผสมด้วย วิธีการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing Method: DM) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการผสมด้วยวิธีธรรมดา (Simple Mixing Method : SM) และทำการศึกษาถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ในการใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ ซึ่งการทดลองจะทำการทดสอบในเรื่องอัตราการยึมน้ำ ความสามารถในการไหล ความสามารถในการเท ความหนาแน่น การหดตัว และความสามารถในการรับกำลังอัด จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ซีเมนต์เพสต์ที่มีวัสดุปอซโซลานเป็นส่วนผสม โดยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ปริมาณวัสดุปอซโซลานแทนที่ และชนิดของเถ้าลอยนั้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านต่างๆของซีเมนต์เพสต์ และคอนกรีต ซึ่งการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนสามารถพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้น เช่น สามารถลดการยึมน้ำในซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตสดได้ อีกทั้งยังเพิ่มความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ให้มากขึ้นด้วย

Thesis Title	Influence of Fly ash on Properties of Double Mixing Cementitious Materials
Student	Mr. Kidsadakorn Arammuang
Student ID	49061515
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Amnouy Panitkulpong
Thesis Co-Advisor	Asst.Prof.Dr.Komson Maleesee

ABSTACT

This research project was a comparative study of various properties, which are changed when cement paste is compared with cement with pozzolanic material and cement without pozzolanic material. Both of them were examined after applying the double mixing (DM) method. The study was conducted in order to determine the most appropriate mix ratios. The experiments tested the bleeding, workability, setting time, autogenous shrinkage and compressive strengths. Results of the study of the cement paste with pozzolanic material mixed using the double mixing method revealed that the w/b ratio, quantity of fly ash that replaced cement, and type of fly ash were the important factors in making positive changes in the properties of the cement paste using the DM method. For example, the cement with the pozzolanic material reduces the bleeding of cement paste and fresh concrete. It also increased the fluidity of the cement paste.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วย ความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อำนาจ พานิชกุลพงศ์ และผศ.ดร.คมสัน มาลีสี ที่ให้ความช่วยเหลือพร้อมให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้ และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ บริษัท นครหลวงคอนกรีต จำกัด และบริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ได้ลดยในการทดลอง

ขอขอบคุณพี่ๆ ในห้องปฏิบัติการ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ไปด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

กฤษฎากร อร่ามเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 ที่มาของการวิจัย	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการทดลอง	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	4
2.1 คำนิยาม	4
2.2 ผลของการศึกษางานวิจัย	6
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานการศึกษา	11
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	12
3.1 การออกแบบการทดลอง.....	12
3.1.1 การทดลองซีเมนต์เพสต์.....	12
3.1.2 การทดลองคอนกรีต.....	13
3.2 การเตรียมตัวอย่าง	13
3.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	13
3.2.2 น้ำผสมคอนกรีต.....	15
3.2.3 มวลรวมผสมคอนกรีต.....	16
3.2.4 สารผสมเพิ่ม.....	16

สารบัญ (ต่อ)

3.3	วิธีการทดลอง	22
3.3.1	การทดลองซีเมนต์เพสต์	23
3.3.2	การทดลองคอนกรีต	27
3.4	วิธีการศึกษา	27
3.4.1	ขั้นตอนการเก็บข้อมูล	27
3.4.2	วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	33
บทที่ 4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	34
4.1	ผลการทดลองในส่วนของซีเมนต์เพสต์	34
4.1.1	ค่าการเยิ้ม (Bleeding)	34
4.1.2	ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง (Workability)	38
4.1.3	ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkage)	42
4.1.4	ความสามารถในการรับกำลังอัด (Compressive strength)	46
4.1.5	ค่าการก่อตัวเริ่มต้น (Initial setting time)	49
4.3	ผลการทดลองในส่วนของคอนกรีต	51
4.2.1	การทดสอบการเยิ้ม (Bleeding)	51
4.2.2	การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump test)	55
4.2.3	การทดสอบหาค่าการหดตัวของคอนกรีต (Shrinkage)	58
4.2.4	การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต	61
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย	66
บรรณานุกรม	.....	71
ภาคผนวก	.....	73
ภาคผนวก ก	.....	74
ภาคผนวก ข	.....	81
ประวัติผู้เขียน	.....	95

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงสารประกอบทางเคมีที่สำคัญของปูนซีเมนต์.....	13
3.2 แสดงพฤติกรรมของสารประกอบ.....	14
3.3 Chemical Requirements for fly ash.....	21
3.4 Physical Requirements for fly ash.....	21
3.5 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองซีเมนต์เพสต์.....	23
3.6 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองคอนกรีต.....	23



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการทำงานคอนกรีตพื้น หรือ Shortcrete.....	6
2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W1/C และการคายน้ำ.....	6
2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมน้ำส่วนแรกและการคายน้ำ.....	7
2.4 แสดงค่าการเยิ้ม (Bleeding) ที่ W1/C ต่างกัน.....	8
2.5 แสดงค่าการเยิ้ม (Bleeding) ที่เวลาในการผสม y ต่างกัน.....	9
2.6 แสดงการเยิ้ม (Bleeding) ที่ W/C ต่างกัน.....	10
2.7 แสดงค่าการไหลของตัวอย่างเมื่อทดสอบด้วยวิธี JSCE.....	10
2.8 แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์.....	11
3.1 แสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์.....	15
3.2 แสดงขนาดของมวลรวมที่ดี.....	16
3.3 แสดงภาพถ่ายกำลังสูงของอนุภาคเถ้าลอย.....	17
3.4 แสดงแร่ผสมเพิ่มและปูนซีเมนต์.....	22
3.5 แสดงขั้นตอนในการผสมซีเมนต์เพสต์ มอร์ต้าและคอนกรีต.....	22
3.6 แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์.....	23
3.7 แสดงเวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์วิธีการผสมแบบ SM และ DM.....	24
3.8 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.40 , Fly ash = 10 %.....	24
3.9 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.40 , Fly ash = 20 %.....	24
3.10 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.40 , Fly ash = 30 %.....	24
3.11 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.50 , Fly ash = 10 %.....	25
3.12 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.50 , Fly ash = 20 %.....	25
3.13 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.50 , Fly ash = 30 %.....	25
3.14 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.60 , Fly ash = 10 %.....	25
3.15 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.60 , Fly ash = 20 %.....	25
3.16 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.60 , Fly ash = 30 %.....	26
3.17 แสดงตัวอย่างการเก็บค่าการเยิ้ม (Bleeding).....	28
3.18 แสดงอุปกรณ์การทดลอง (JSCE-F531-1993).....	28
3.19 แสดงการวัดค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์.....	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 แสดงการยู่บตัวชนิดต่างของคอนกรีต.....	29
3.21 แสดงชุดทดสอบการยู่บตัวของคอนกรีต.....	30
3.22 แสดงขั้นตอนการหาค่าการยู่บตัวของคอนกรีต.....	30
4.1 แสดงค่าการยู่บน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.4$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	34
4.2 แสดงค่าการยู่บน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.5$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	34
4.3 แสดงค่าการยู่บน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.6$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	35
4.4 แสดงค่าการยู่บน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.4$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยะของเป็นสารผสมเพิ่ม.....	35
4.5 แสดงค่าการยู่บน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.5$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยะของเป็นสารผสมเพิ่ม.....	36
4.6 แสดงค่าการยู่บน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.6$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยะของเป็นสารผสมเพิ่ม.....	36
4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยู่บน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.4$ ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและ ระของเป็นสารผสมเพิ่ม.....	37
4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยู่บน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.5$ ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและ ระของเป็นสารผสมเพิ่ม.....	37
4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยู่บน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.4$ ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและ6 ระของเป็นสารผสมเพิ่ม.....	37
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio กับ Time of flow ในซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแบบ SM ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	38
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio กับ Time of flow ในซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแบบ DM ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	39
4.12 แสดงการเปรียบเทียบ Time of flow ของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งมีเถ้าลอย จากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	39
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio กับ Time of flow ในซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแบบ SM ซึ่งมีเถ้าลอยจากระยะของเป็นสารผสมเพิ่ม.....	40
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio กับ Time of flow ในซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแบบ DM ซึ่งมีเถ้าลอยจากระยะของเป็นสารผสมเพิ่ม.....	40
4.15 แสดงการเปรียบเทียบ Time of flow ของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งมีเถ้าลอย จากระยะของเป็นสารผสมเพิ่ม.....	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.16 แสดงการเปรียบเทียบ Time of flow ในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.4$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะ และระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	41
4.17 แสดงการเปรียบเทียบ Time of flow ในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.5$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะ และระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	42
4.18 แสดงการเปรียบเทียบ Time of flow ในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.6$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะ และระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	42
4.19 แสดงค่า Autogenous Shrinkage ในซีเมนต์เพสต์ W/C 0.40 ที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	43
4.20 แสดงค่า Autogenous Shrinkage ในซีเมนต์เพสต์ W/C 0.40 ที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	43
4.21 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkage ในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.4$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	44
4.22 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkage ในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.5$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	44
4.23 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkage ในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.6$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	45
4.24 แสดงค่า Comp. strength ในซีเมนต์เพสต์ $W/C = 0.5$ ที่ผสมแบบ DM ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	46
4.25 แสดงการเปรียบเทียบ Comp. strength ในซีเมนต์เพสต์ $W/C = 0.5$ ที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	46
4.26 แสดงค่า Comp. strength ในซีเมนต์เพสต์ $W/C = 0.5$ ที่ผสมแบบ DM ซึ่งมีเถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	47
4.27 แสดงการเปรียบเทียบ Comp. strength ในซีเมนต์เพสต์ $W/C = 0.5$ ที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งมีเถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	47
4.28 แสดงการเปรียบเทียบค่า Compressive strength ในซีเมนต์เพสต์ $W/C = 0.4$ ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.29 แสดงการเปรียบเทียบค่า Compressive strength ในซีเมนต์เพสต์ W/C = 0.5 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	48
4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่า Compressive strength ในซีเมนต์เพสต์ W/C = 0.6 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	49
4.31 แสดงค่า Initial setting time ในซีเมนต์เพสต์ที่มีเถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	50
4.32 แสดงค่า Initial setting time ในซีเมนต์เพสต์ที่มีเถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	50
4.33 แสดงการเปรียบเทียบค่า Initial setting time ในซีเมนต์เพสต์ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	50
4.34 แสดงค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.4 ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	51
4.35 แสดงค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.5 ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	52
4.36 แสดงค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.6 ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	52
4.37 แสดงค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.4 ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	52
4.38 แสดงค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.5 ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	53
4.39 แสดงค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.6 ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	53
4.40 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.4 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	53
4.41 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.5 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	54
4.42 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.6 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	54
4.43 แสดงค่าการยุบตัวในคอนกรีตที่ผสมแบบ DM ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	55
4.44 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในคอนกรีตที่ผสมแบบ SM และDM ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	55
4.45 แสดงค่าการยุบตัวในคอนกรีตที่ผสมแบบ DM ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	56
4.46 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในคอนกรีตที่ผสมแบบ SM และDM ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.47 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในคอนกรีตที่ $W/C=0.4$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	57
4.48 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในคอนกรีตที่ $W/C=0.5$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	57
4.49 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในคอนกรีตที่ $W/C=0.6$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	58
4.50 แสดงค่า Autogenous Shrinkage ในคอนกรีต W/C 0.40 ที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	59
4.51 แสดงค่า Autogenous Shrinkage ในคอนกรีต W/C 0.40 ที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	59
4.52 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkage ในคอนกรีตที่ $W/C=0.4$ ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	60
4.53 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkage ในคอนกรีตที่ $W/C=0.5$ ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	60
4.54 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkage ในคอนกรีตที่ $W/C=0.6$ ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	61
4.55 แสดงค่า Comp. strength ในคอนกรีต $W/C = 0.5$ ที่ผสมแบบ DM ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	62
4.56 แสดงการเปรียบเทียบ Comp. strength ในคอนกรีตที่ $W/C = 0.5$ ที่ผสมแบบ DM และ SM ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม.....	62
4.57 แสดงค่า Comp. strength ในคอนกรีต $W/C = 0.5$ ที่ผสมแบบ DM ซึ่งมีเถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	63
4.58 การเปรียบเทียบ Comp. strength ในคอนกรีตที่ $W/C = 0.5$ ที่ผสมแบบ DM และ SM ซึ่งมีเถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	63
4.59 แสดงการเปรียบเทียบค่า Compressive strength ในคอนกรีต $W/C = 0.4$ ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะ และระยองเป็นสารผสมเพิ่ม.....	64

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.60 แสดงการเปรียบเทียบค่า Compressive strength ในคอนกรีต W/C = 0.5 ซึ่งมีเถ้าลอยจาก
แม่เมาะ และระยองเป็นสารผสมเพิ่ม64
- 4.61 แสดงการเปรียบเทียบค่า Compressive strength ในคอนกรีต W/C = 0.6 ซึ่งมีเถ้าลอยจาก
แม่เมาะ และระยองเป็นสารผสมเพิ่ม64



แข็งตัวมีแนวโน้มจะเกิดเป็นฝุ่นที่ผิว (Dusting) และเมื่อต้องการเทคอนกรีตทับบนผิวนี้ เช่น การเทคอนกรีตฐานรากขนาดใหญ่จะเกิดขึ้นที่อ่อนแอและเป็นรูพรุน ทำให้โครงสร้างนั้นขาดความคงทน อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดปัญหาอื่นตามมาอีกมากมาย เช่น เกิดการหดตัวและกำลังอัดในคอนกรีตลดลง

1.2 ที่มาของการวิจัย

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ากรรมวิธีการผสมคอนกรีตมีส่วนช่วยลดปัญหาการเยิ้ม (Bleeding) ที่ผิวหน้าคอนกรีตได้ พร้อมทั้งยังเพิ่มความสามารถในการทำงาน (Workability) ได้ดีขึ้นด้วย ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า DOUBLE MIXING METHOD หรือวิธีการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ เช่น การเยิ้ม น้ำ ความสามารถในการทำงาน การหดตัว และความสามารถในด้านกำลังของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีต ที่ทำการผสมด้วยวิธีการแบบ Double Mixing Method, DM โดยการศึกษาได้ทำการศึกษาและนำมาเปรียบเทียบกับกรรมวิธีแบบธรรมดาที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน (Single mixing method, SM) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ต่างๆ เริ่มจาก W/C=0.4 , 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ โดยผลการวิจัยพบว่า กรรมวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) สามารถลดการเยิ้ม (Bleeding) ลงได้ถึงสองเท่าในซีเมนต์เพสต์ที่มีค่า W/C=0.60 และสามารถเพิ่มความสามารถในการไหลได้มากกว่าสองเท่าสำหรับซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.40

การใช้เถ้าถ่านหินในงานคอนกรีตนั้น สามารถใช้เพื่อเพิ่มปริมาณวัสดุประสานหรือใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน เนื่องจากเถ้าถ่านหินมีทรงกลม จึงทำให้ส่วนผสมคอนกรีตมีความสามารถเทได้ดีขึ้น และต้องการน้ำน้อยลง การใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน ทำให้กำลังอัดที่อายุต้นของคอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าถ่านหิน แต่จะมีกำลังอัดสูงกว่าเมื่ออายุมากขึ้น นอกจากนี้การบ่มคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าถ่านหินก็มีความสำคัญมากกว่าคอนกรีตธรรมดา เพราะคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินต้องอาศัยค่าที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันและต้องการความชื้นในปฏิกิริยาปอซโซลาน

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึง ผลกระทบต่างๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing Method) เมื่อมีเถ้าลอย (Mineral Admixture) เป็นส่วนผสม
2. เพื่อศึกษาถึง วิธีการประยุกต์ใช้เถ้าลอยร่วมกับคอนกรีตที่ได้จากการผสม แบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนในอัตราส่วนที่เหมาะสม
3. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของเถ้าลอยจากแหล่งที่มาต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตการทดลอง

ขอบเขตการศึกษา จะทำการศึกษาดังอิทธิพลของเถ้าลอยที่มีผลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ และคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน(Double Mixing Method) โดยทำการศึกษา คุณสมบัติต่างๆ เช่น ทางด้านการเข้มน้ำ (Bleeding), ความสามารถในการไหล (Workability), ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time), การหดตัว (Autogenous Shrinkage) และความสามารถในการรับกำลังอัด (Compressive Strength) โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4, 0.5, และ 0.6 ที่มีการใช้เถ้าลอยเข้าไปแทนที่ซีเมนต์ในอัตราส่วน 10%, 20%, และ 30% เปรียบเทียบ ระหว่างการผสมแบบปกติและการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน
2. ศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตที่เปลี่ยนไป เมื่อมีการใช้เถ้าลอยไปทดแทนซีเมนต์ในอัตราส่วนต่างๆกัน
3. ศึกษามาตรฐานการทดสอบ ที่ใช้สำหรับการหา คุณสมบัติการเข้มน้ำ, ความสามารถในการไหลระยะเวลาการก่อตัว, การหดตัวและความสามารถในการรับกำลังอัด โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C191-92, ASTM C 232-92, ASTM C39-93a, JIS A 1129, JSCE-F531 1993 เป็นต้น
4. เตรียมวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ
5. สร้างชิ้นตัวอย่าง เพื่อทดสอบหา คุณสมบัติทางกายภาพต่างๆที่ปัจจัยต่างๆกัน โดยมีกรจำแนกเป็นซีเมนต์เพสต์และคอนกรีต
6. วิเคราะห์ลักษณะที่เกิดขึ้นในเนื้อตัวอย่าง เปรียบเทียบที่ปัจจัยต่างๆกัน เช่น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์, ปริมาณของเถ้าลอยและชนิดของเถ้าลอย
7. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองที่ตัวแปรต่างๆกัน

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 คำนิยาม

คอนกรีตสด (Fresh Concrete)

คือ คอนกรีตสดที่คงสภาพเหลวอยู่ในช่วงหนึ่ง ก่อนที่จะแข็งตัวในเวลาต่อมา และมีความเข้มข้นเหลว เหมาะที่จะนำไปใช้งานหล่อเป็นคอนกรีตแข็งตัวที่มีรูปร่างและคุณสมบัติตามต้องการ

ความสามารถทำได้ (Workability)

คือ ปริมาณงานที่ในการอัดคอนกรีตสดให้แน่น โดยปราศจากการแยกตัว

การยึดเกาะ (Cohesion)

คือ คุณสมบัติของเนื้อคอนกรีตสด ที่สามารถจับรวมเป็นกลุ่มก้อนหรือสลายตัวออกจากกันได้ยาก และเกี่ยวข้องกับแนวโน้มของคอนกรีตสดที่จะเกิดการแยกตัว

ความข้นเหลว (Consistency)

คือ สภาพของเหลวคอนกรีตสด โดยขึ้นกับปริมาณน้ำเป็นส่วนใหญ่ ความข้นเหลวเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของความสามารถในการใช้งาน และสามารถวัดค่าได้ชัดเจนด้วยวิธีการทดสอบ เช่น ค่าการยุบตัว และการไหล เป็นต้น

การแยกตัว (Segregation)

คือ การแยกจากกันของวัสดุองค์ประกอบต่าง ๆ ในเนื้อคอนกรีตสด ทำให้ส่วนผสมมีเนื้อที่ไม่สม่ำเสมอตลอดทุกส่วน

การแยกน้ำ (Bleeding)

คือ การแยกตัวชนิดหนึ่ง โดยปรากฏการคายน้ำของคอนกรีตสด เกิดขึ้นเมื่อส่วนประกอบที่หนักกว่าจมตัวลงแล้วดันน้ำซึ่งเบาที่สุดขึ้นสู่ผิวหน้าคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมแบบปกติ (Single Mixing)

คือ วิธีการผสมซีเมนต์เพสต์ โดยทำการผสมน้ำกับซีเมนต์ตามอัตราส่วนที่ได้กำหนดไว้เพียงครั้งเดียวในการผสม และจะทำการควบคุมปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการผสม เช่น เวลาในการผสม เครื่องผสม ขั้นตอนการป้อนวัสดุลงเครื่องผสม เป็นต้น

การผสมแบบแบ่งสัดส่วนน้ำออกเป็นสองครั้ง (Double Mixing)

คือ วิธีการผสมซีเมนต์เพสต์ โดยทำการผสมน้ำกับซีเมนต์ตามอัตราส่วนที่กำหนด ตามการแบ่งสัดส่วนของน้ำในการผสมสองครั้ง โดยที่มีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผสม เช่น เวลาในการผสมในสัดส่วนน้ำของแต่ละครั้ง เครื่องผสม ขั้นตอนการป้อนวัสดุลงเครื่องผสม เป็นต้น

การผสมส่วนแรก (Primal Mixing)

คือ การผสมซีเมนต์เพสต์ โดยเป็นการผสมส่วนแรกกับซีเมนต์จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing)

การผสมส่วนที่สอง (Secondary Mixing)

คือ วิธีการผสมซีเมนต์เพสต์ โดยเป็นการผสมน้ำส่วนสองกับซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากการผสมส่วนแรก (Primal Mixing) จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) ซึ่งน้ำในส่วนที่สองจะทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับค่าที่ได้กำหนด

เวลาในการผสม (Mixing Time)

คือ ระยะเวลาในการผสมทั้งหมดของ 2 วิธี คือ วิธีการผสมแบบปกติ (Single Mixing) และวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) ในการผสมซีเมนต์กับน้ำหรือที่เรียกว่าซีเมนต์เพสต์

เวลาในการผสมส่วนแรก (Primal Mixing Time)

คือ ระยะเวลาในการผสมซีเมนต์กับน้ำส่วนแรกของการผสมในส่วนแรก (Primal Mixing) จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing)

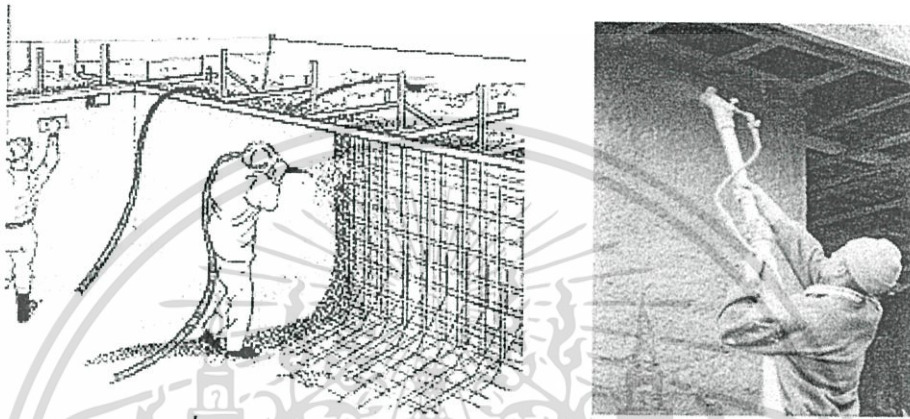
เวลาในการผสมส่วนที่สอง (Secondary Mixing Time)

คือ ระยะเวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์กับน้ำส่วนสุดท้ายของวิธีการผสม ซึ่งอยู่ในส่วนที่สอง (Secondary Mixing) จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) โดยระยะเวลาในการผสมส่วนที่สองเมื่อรวมกับส่วนแรกจะเท่ากับเวลาในการผสม (Mixing Time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

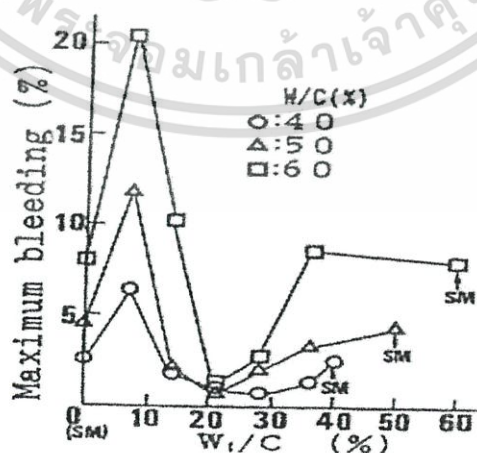
2.2 ผลของการศึกษางานวิจัย

Prof.Ei-ichi TAZAWA และ Prof.Tetsurou KASAI (1989) วิธีการผสมแบบใหม่ที่เรียกว่า SEC Method (Sand Enveloped with Cement) โดยวิธีการดังกล่าวจะทำการผสมทรายที่มีการปรับแก้ค่าความชื้นที่ผิวแล้วด้วยซีเมนต์เพสต์ที่ทำการผสมด้วยน้ำในอัตราส่วนที่น้อยก่อน แล้วจึงทำการเพิ่มน้ำลงไปตามความเหมาะสมกับสภาพของงานที่ใช้ แต่วิธีการดังกล่าว ได้ประสบปัญหาในเรื่องของการคายน้ำ



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานคอนกรีตพื้น หรือ Shortcrete

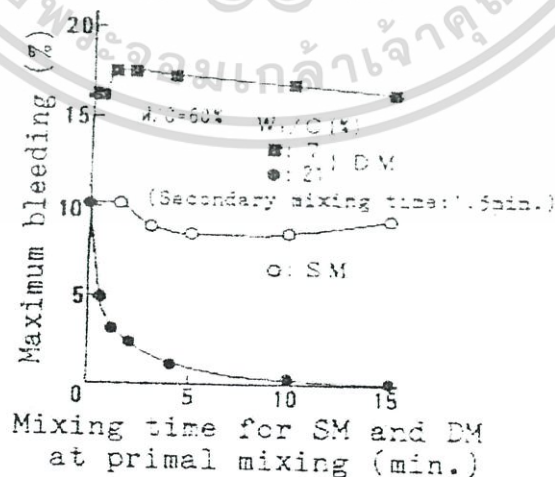
โดยปกติการผสมจะทำการผสมแบบแห้งด้วยซีเมนต์กับทรายก่อน แล้วจึงทำการผสมน้ำลงไปตามอัตราส่วน แต่วิธีดังกล่าวไม่ได้ช่วยในเรื่องของการเพิ่มหรือลดการคายน้ำเช่นเดียวกัน จึงทำการศึกษาเพิ่มเติมและได้นำวิธีการผสมซีเมนต์กับน้ำ แบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing) มาช่วยในเรื่องของการคายน้ำ (Bleeding) ของซีเมนต์เพสต์ และได้ทำการประยุกต์นำไปใช้ในงาน Shortcrete ในประเทศญี่ปุ่น โดยผลของการศึกษาวิจัยมีดังนี้



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Wt./C และการคายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าในรูปที่ 2.2 เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง W/C กับการคายน้ำมากที่สุด (Maximum Bleeding) ในแต่ละตัวอย่างของการทดลองด้วยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) โดยทำการทดสอบอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่างกัน คือ นำน้ำที่ใช้ในการผสมมีค่า 40, 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบการคายน้ำ ซึ่งจะทำการทดสอบเพิ่มน้ำในส่วนแรกของการผสมที่ละ 7% ของน้ำหนักซีเมนต์ และน้ำในส่วนที่สองของการผสมจะเพิ่มจนครบตามอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ จะพบว่าน้ำส่วนแรกในการผสมระหว่าง 27-30% มีการคายน้ำน้อยที่สุด และน้ำในส่วนแรกในการผสมที่ 7% มีการคายน้ำมากที่สุด เมื่อเทียบการผสมแบบปกติ (Single Mixing) ซึ่งผลจากการทดสอบดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า การที่น้ำในส่วนแรกของการผสมที่ 27-30% มีการคายน้ำน้อยนั้น เนื่องจากน้ำในส่วนนั้นได้มีการทำให้ซีเมนต์กับน้ำเข้ากันได้ดีก่อน โดยมีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์จึงทำให้การจับตัวระหว่างน้ำในซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง เมื่อรวมตัวกันในน้ำส่วนที่สองน้ำจะมีการยึดเกาะส่วนแรกได้ดีขึ้น ส่วนการผสมแบบปกติ เป็นการผสมน้ำเพียงครั้งเดียว ดังนั้นน้ำที่ผสมลงไปนั้นมีส่วนที่เป็นน้ำส่วนเกิน (Excess Water) อยู่ จึงทำให้การจับตัวระหว่างซีเมนต์กับน้ำ มีบางส่วนเป็นการจับตัวระหว่างน้ำกับน้ำ เป็นผลที่ให้น้ำในส่วนนั้นสามารถที่จะเกิดการคั่นหรือยกตัวขึ้นมาได้ทำให้มีการคายน้ำมาก ส่วนการคายน้ำที่ 7% มีค่ามากที่สุดเป็นผลเนื่องจากน้ำในส่วนแรกของการผสมทำให้ซีเมนต์มีการจับตัวกันเป็นก้อน เมื่อนำน้ำในส่วนที่สองผสมลงไป ทำให้การจับตัวระหว่างน้ำกับซีเมนต์ไม่ดี เนื่องจากอนุภาคของซีเมนต์มีขนาดใหญ่ ทำให้การจับตัวกันมีช่องว่างที่ใหญ่และพื้นผิวในการจับระหว่างซีเมนต์มีน้อย จึงทำให้การจับตัวระหว่างน้ำกับน้ำมีมากขึ้น แล้วน้ำจึงเกิดการคั่นตัวหรือยกตัวผ่านตามช่องว่างที่มีขนาดใหญ่จึงเกิดการคายน้ำมากที่สุด ซึ่งดังข้อความที่กล่าวมานั้นแสดงให้เห็นว่าซีเมนต์ ที่นำมาใช้งานในปัจจุบัน ถ้ามีความชื้นในซีเมนต์ เป็นผลทำให้น้ำในส่วนนั้นเป็นน้ำในส่วนแรกของการผสมซีเมนต์ เมื่อนำซีเมนต์ไปใช้งานจึงทำให้เกิดการคายน้ำมีมากจนเกินไป

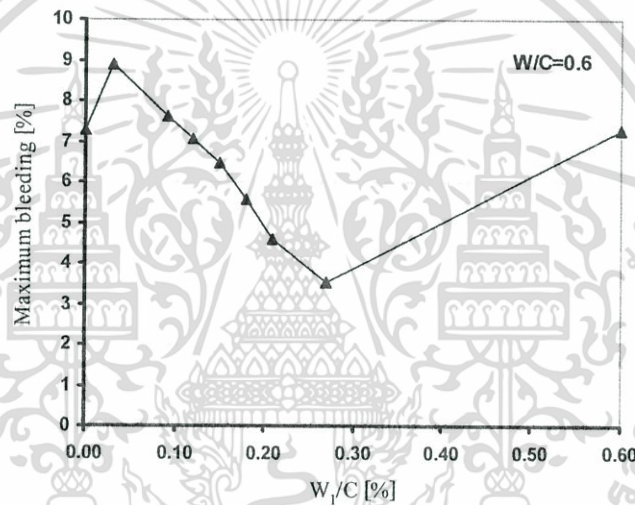


รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมน้ำส่วนแรกและการคายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมน้ำในส่วนแรกกับการคายน้ำมากที่สุดในแต่ละตัวอย่างทำการเปรียบเทียบการผสมแบบปกติ (Single Mixing) กับแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) เป็นการศึกษาต่อไปอีกว่าหากมีการใช้เวลาในการผสมในช่วงแรกที่มีค่ามากขึ้นจะเป็นอย่างไร พบว่าการคายน้ำที่มีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) ที่มีการใช้เวลาในการผสมน้ำในส่วนแรกที่มีค่ามากขึ้น พบว่าการคายน้ำจะมีค่าลดลงมาก เมื่อเทียบกับการผสมแบบปกติ (Single Mixing)

พิเชษฐ์ เบ็ญโต และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาถึง อิทธิพลของการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติของคอนกรีต โดยการศึกษาทำการศึกษ เพื่อเปรียบเทียบกับการผสมแบบธรรมดา

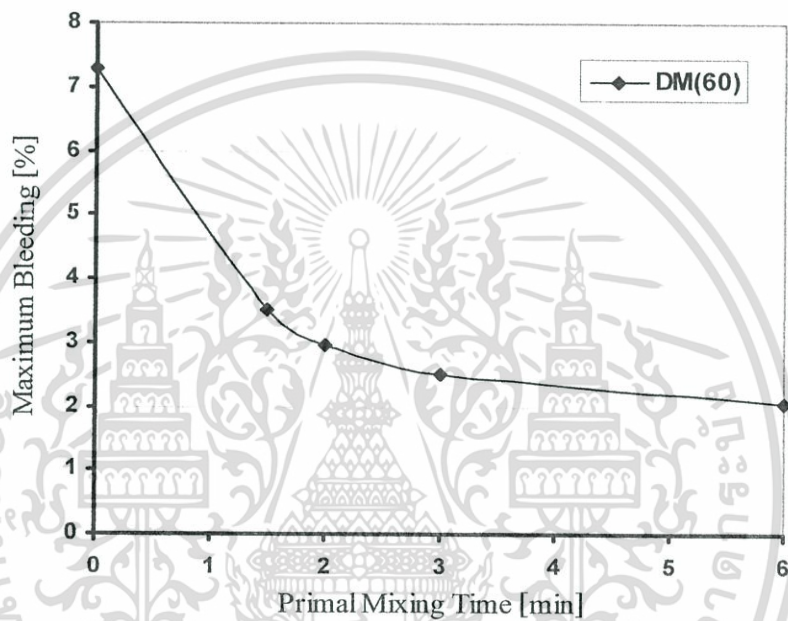


รูปที่ 2.4 แสดงค่าการเยิ้ม (Bleeding) ที่ W₁/C ต่างกัน

จากรูปที่ 2.4 แสดงค่าการเยิ้มของการทดลองซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C = 0.60$ โดยการทดลองทำการปรับเพิ่มค่า W_1/C เริ่มตั้งแต่ 0 และทำการเพิ่มทีละ 0.03 จนถึงที่ $W_1/C = 0.60$ (SM) พบว่า เมื่อใช้ W_1/C ที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 0.13 จะเกิดการ Bleeding ในปริมาณสูงโดยมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การผสมแบบธรรมดา (SM) แต่เมื่อทำการทดลองเพิ่มค่า W_1/C ต่อไป พบว่า การ Bleeding จะมีค่าลดลงตามลำดับ และจะมีค่าลดต่ำสุดที่ค่า $W_1/C = 0.24$ ถึง 0.27 โดยประมาณ ซึ่งสามารถ สมมติฐานได้ว่าในช่วงที่ W_1/C ตั้งแต่ 0 ถึง 0.06 ซีเมนต์มีการจับตัวกันเป็นมวลขนาดใหญ่คล้าย ซีเมนต์ที่ขึ้น เมื่อนำมาทำการผสม จะทำให้เกิดการเยิ้ม (Bleeding) ในปริมาณมาก เพราะ เนื่องจากว่า ในส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์นี้ มีอนุภาคที่เบาและการจับตัวระหว่างอนุภาคซีเมนต์มี น้อยเนื่องจากมวลมีขนาดใหญ่จึงทำให้เกิดน้ำส่วนเกิน (Excess Water) ที่หลุดจากแรงยึดเหนี่ยว

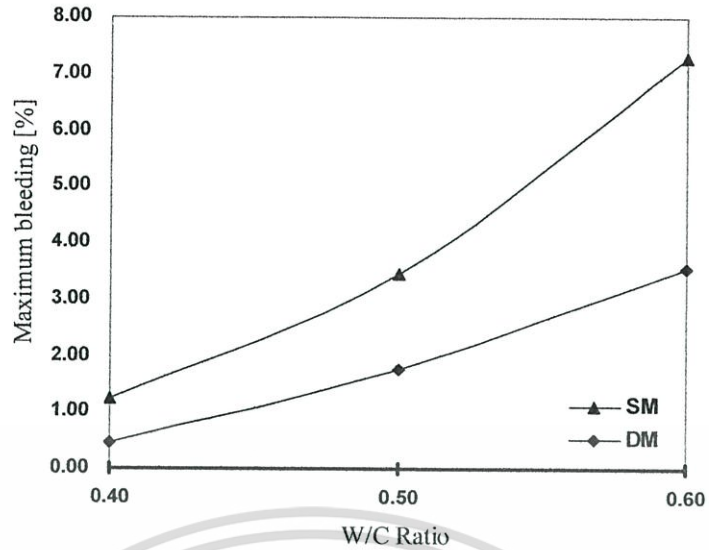
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าเป็นผลให้เกิดการเข้มน้ำ (Bleeding) ในปริมาณที่มากที่สุดในช่วงนี้ และจะลดต่ำลงตามลำดับ เมื่อทำการเพิ่มค่า W_1/C ให้มีค่าประมาณ 0.24–0.27 โดยการ Bleeding ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำสุด ซึ่งลักษณะดังกล่าว เกิดจากการที่ซีเมนต์มีการผสมกับน้ำส่วนแรก และมีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นเมื่อทำการผสมน้ำในส่วนที่สอง จึงทำให้ซีเมนต์เพสต์มีการยึดจับอนุภาคของน้ำได้ดีมากขึ้น หรือมีพื้นที่ในการยึดจับน้ำได้มากขึ้น ทำให้ลดการยึดจับกันระหว่างอนุภาคน้ำ กับน้ำด้วยตัวเอง จึงมีผลให้เกิดการเข้มน้ำ (Bleeding) ลดน้อยลง ทั้งนี้ไม่เพียงแต่ปริมาณน้ำในส่วนแรก (W_1) เท่านั้นที่มีผลต่อการเกิด Bleeding แต่เวลาที่ใช้ในการผสมก็มีผลด้วยเช่นกัน



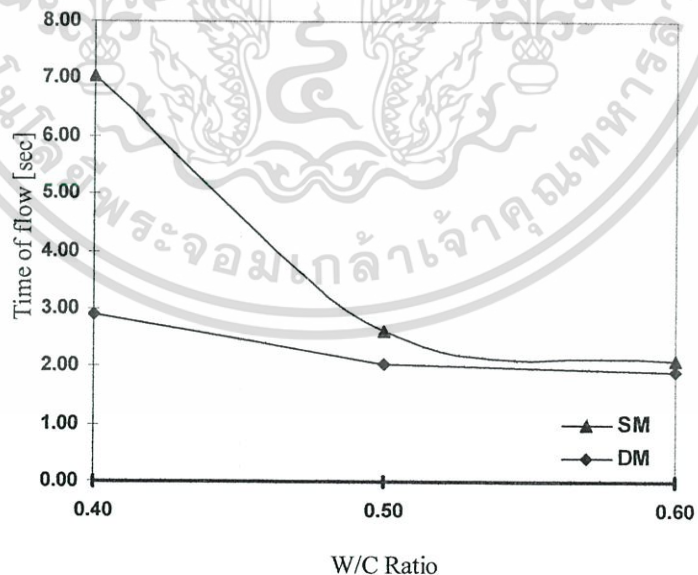
รูปที่ 2.5 แสดงค่าการเข้มน้ำ (Bleeding) ที่เวลาในการผสม y ต่างกัน

จากรูปที่ 2.5 แสดงการใช้เวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C = 0.60$ และ $W_1/C = 0.27$ เวลาในการผสม y (Primal Mixing Time for DM) ที่มากขึ้นจะทำให้การเข้มน้ำลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะในช่วงเวลาตั้งแต่ 0–3 นาที อัตราการ Bleeding จะลดต่ำลง แต่เมื่อใช้เวลาในการผสม y มากกว่า 3 นาทีไปแล้วอัตราการคายน้ำจะลดต่ำลงเล็กน้อยเท่านั้น จะเห็นได้ว่าสิ่งสำคัญประการหนึ่งในการผสมแบบ DM นอกจากปริมาณน้ำในส่วนแรก (W_1) ที่ใช้ผสมแล้ว เวลาที่ใช้ในการผสมก็เป็นส่วนที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ควรให้ความสนใจเช่นกัน



รูปที่ 2.6 แสดงการเยิ้ม (Bleeding) ที่ W/C ต่างกัน

จากรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าการผสมแบบ DM สามารถลดการเกิด Bleeding ในซีเมนต์เพสต์ ตัวอย่างได้ในทุกๆ W/C (0.40, 0.50, 0.60) โดยเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C = 0.60 ด้วยวิธีการผสมแบบ DM สามารถลดการ Bleeding ได้มากกว่าสองเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการผสมแบบ SM และไม่เพียงลดการ Bleeding ได้แล้วแต่วิธีการผสมแบบ DM ยังสามารถทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่ W/C = 0.40 มีอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นด้วย ตามรูปแสดงที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงค่าการไหลของตัวอย่างเมื่อทดสอบด้วยวิธี JSCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานการศึกษา

จากการศึกษาบทความงานวิจัย Prof.Eiichi TAZAWA และ Prof.Tetsuro KASAI ทฤษฎีที่จะนำมาใช้ในการศึกษา คือ วิธีการผสมซีเมนต์กับน้ำหรือที่เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ที่แตกต่างกันออกไป จากปกติโดยวิธีในการผสมมีดังนี้

$$SM : w \frac{L : 0.5 \text{ min}}{+ \text{cement}} \rightarrow \frac{H : x \text{ min}}{\text{Mixing}}$$

$$DM : w_1 \frac{L : 0.5 \text{ min}}{+ \text{cement}} \rightarrow \frac{H : y \text{ min}}{PM.} \rightarrow w_2 \frac{H : z \text{ min}}{SM.}$$

รูปที่ 2.8 แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์

จากรูปที่ 2.8 ซึ่งจะใช้ในการเตรียมตัวอย่างในการทดสอบการคายน้ำของการศึกษาการคายน้ำจากการผสมที่แตกต่างกันคือ วิธีการผสมแบบปกติ (Single Mixing) และวิธีการผสมแบบแบ่งสัดส่วนน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing)

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบการทดลอง

3.1.1 การทดลองซีเมนต์เพสต์

การทดลองในขั้นต้นทำการศึกษาทดลองถึงคุณสมบัติต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปของซีเมนต์เพสต์ ตัวอย่างที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) โดยการทดลองจะทำการเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างก่อนการใช้สารผสมเพิ่มและหลังจากใช้แร่ผสมเพิ่มในสัดส่วนและปริมาณที่แตกต่างกัน โดยการทดลองจะศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ แบ่งได้ดังนี้

1. ปริมาณน้ำและสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เกิดการเยิ้ม (Bleeding) น้อยที่สุด
2. ค่าการก่อตัว (Setting time)
3. ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์
4. ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkage)

เมื่อทำการศึกษาทราบถึงคุณสมบัติต่างๆของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมในสัดส่วนและปริมาณการใช้ที่แตกต่างกันแล้ว จะนำผลการศึกษาทดลองที่ได้เพื่อใช้อ้างอิงกับการศึกษาทดลองในส่วนของคอนกรีตต่อไป โดยการศึกษาดังกล่าวในส่วนของซีเมนต์เพสต์ในขั้นต้นนั้นก็เพื่อลดขอบเขตการศึกษาให้น้อยลง จากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์มีผล โดยตรงกับคุณภาพและคุณสมบัติในด้านต่างๆ ของคอนกรีต เนื่องจากซีเมนต์เพสต์ที่คืนน้ำจะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานระหว่างซีเมนต์เพสต์และมวลรวม โดยจะแทรกไปตามช่องว่างของหินและทรายเพื่อเคลือบหรือหุ้มเม็ดทรายและหินทั้งหมดให้เกาะรวมตัวกัน เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วสามารถรับกำลังได้ตามต้องการ ไม่เพียงแต่ซีเมนต์เพสต์จะมีผลโดยตรงในแง่ของการรับกำลังในคอนกรีตแล้ว ซีเมนต์เพสต์ยังมีอิทธิพลและส่งผลต่อความสามารถในการทำงาน (Workability) และปริมาณการเยิ้ม (Bleeding) ของคอนกรีตด้วย เนื่องจากการเยิ้มที่เกิดขึ้นในคอนกรีตจะไม่เกิดขึ้นในส่วนของมวลรวมแต่จะเกิดขึ้นแต่เฉพาะส่วนของซีเมนต์เพสต์เพียงเท่านั้น โดยการเยิ้มที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งที่สำคัญมาจากปริมาณน้ำส่วนเกิน (Excess Water) ที่เพิ่มเข้าไปในงานคอนกรีตเพื่อให้ง่ายต่อการทำงาน การขนส่ง และง่ายต่อเทเข้าแบบนั้น ซึ่งเป็นน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำหากมีในปริมาณที่มากจะส่งผลให้เกิดการเยิ้มในปริมาณที่มากตามมา ดังนั้นคุณสมบัติของคอนกรีตจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของซีเมนต์เพสต์เป็นสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การทดลองคอนกรีต

การเตรียมตัวอย่างการทดลองในส่วนของคอนกรีตจะมีหลักการผสมในลักษณะเดียวกัน โดยหลังจากได้มีการเตรียมวัสดุตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยการทดลองจะศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ แบ่งได้ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างการเข้มน้ำ (Bleeding) ที่สัดส่วนและปริมาณแร่ผสมเพิ่มต่างกับ ปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่เปลี่ยนไป
2. ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogeneous Shrinkage)
3. การทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัด ซึ่งในการทดสอบนั้น จะต้องทำการทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM C109, “Standrad Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar,” Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01
4. ค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump)

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

3.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ควรเลือกใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีคุณภาพตาม มอก. 15 หรือ ASTM C 150 ที่ผลิตจากบริษัทที่มีความน่าเชื่อถือ สามารถมั่นใจได้ในเรื่องความสม่ำเสมอของ คุณภาพปูนซีเมนต์ และมีการบรรจุปูนซีเมนต์ในถุงที่มีชั้นพลาสติกปิดมิดชิด เพื่อช่วยป้องกัน ความชื้นช่วยให้ปูนซีเมนต์ใหม่สดเก็บไว้ได้นาน

ตารางที่ 3.1 สารประกอบทางเคมีที่สำคัญของปูนซีเมนต์

ชื่อย่อ	สูตรทางเคมี	ชื่อทางเคมี
C ₃ S	3CaO.SiO ₂	ไตรแคลเซียมซิลิเกต
C ₂ S	2CaO.SiO ₂	ไดแคลเซียมซิลิเกต
C ₃ A	3CaO.Al ₂ O ₃	ไตรแคลเซียม อลูมิเนต
C ₄ AF	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	เตตราแคลเซียมอลูมิโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 พฤติกรรมของสารประกอบ

คุณสมบัติด้านต่างๆ	พฤติกรรมของสารประกอบแต่ละตัว			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
อัตราการเกิดปฏิกิริยา	ปานกลาง	ช้า	รวดเร็ว	ช้า
ความร้อนของปฏิกิริยา	ปานกลาง	น้อย	มาก	น้อย
การพัฒนากำลังอัด				
ระยะแรก (Early)	เร็ว	ช้า	เร็ว	ช้า
ระยะหลัง (Ultimate)	สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำ
ความทนทานต่อการกัดกร่อน	ปานกลาง	สูง	น้อย	-

คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

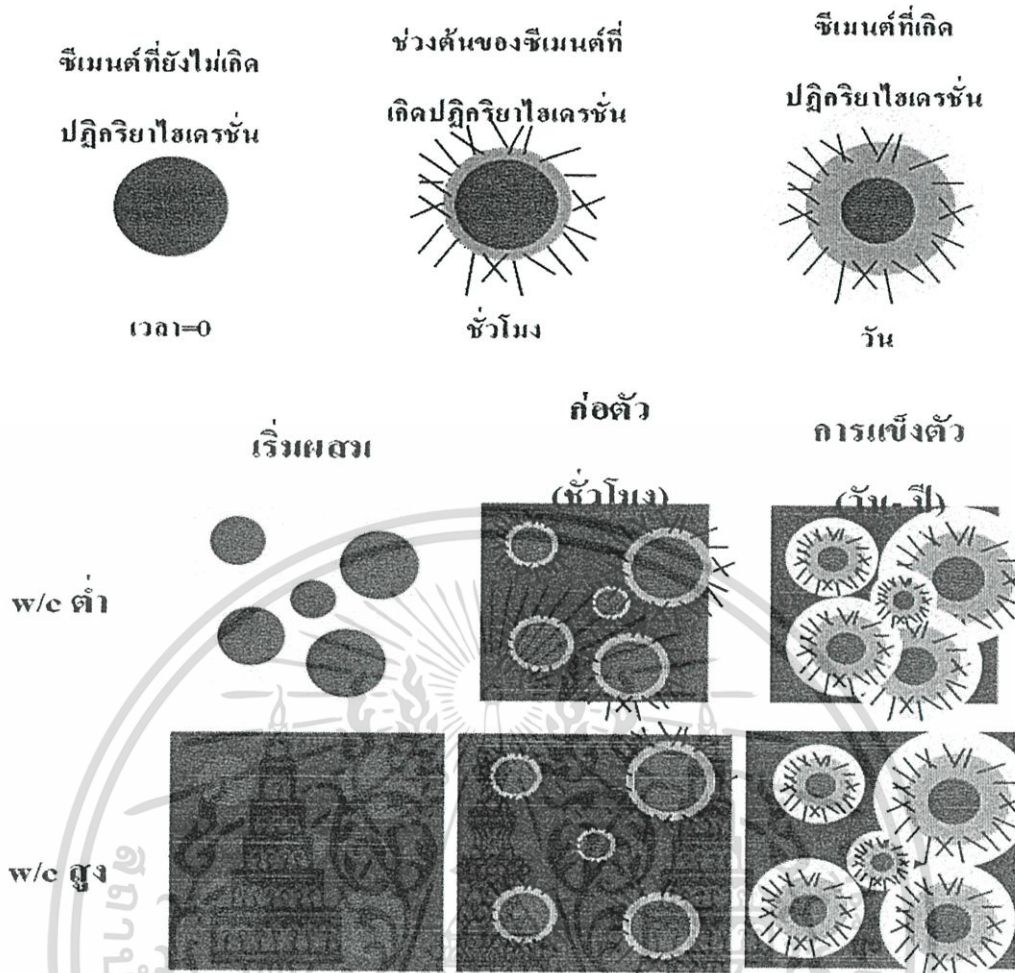
1. ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์
2. ความละเอียด
3. ระยะเวลาการก่อตัว
4. ความอยู่ตัว
5. กำลังการรับแรง
6. การก่อตัวผิปกติ
7. การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา
8. ความถ่วงจำเพาะ

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ (Hydration of cement)



CSH/CAH คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต/แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต เป็นสารประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดความแข็งแรงขึ้นในคอนกรีต มีลักษณะเป็นผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



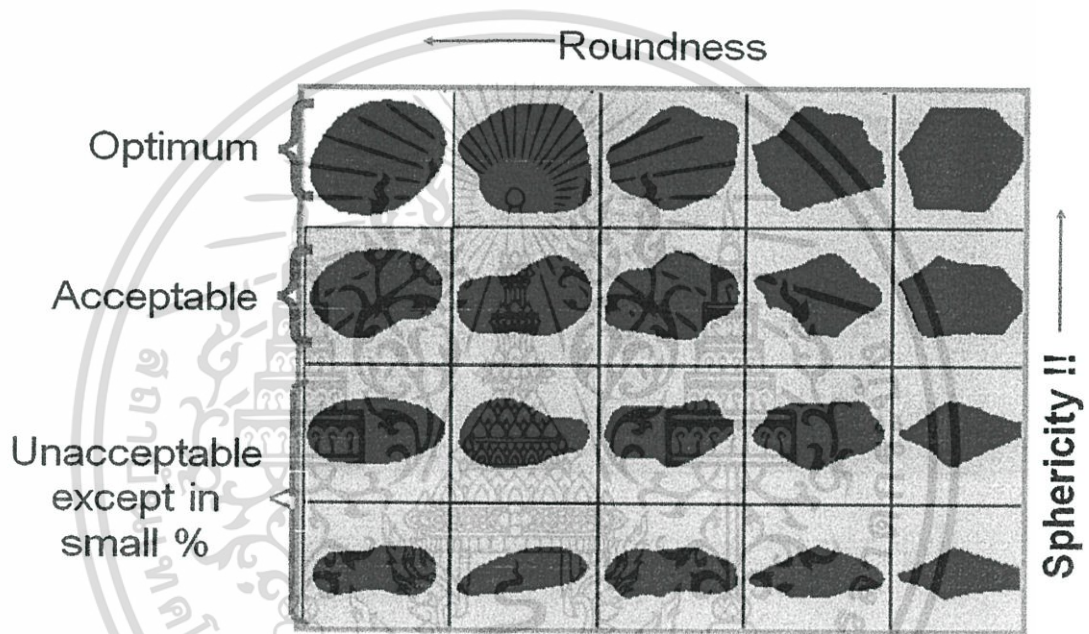
รูปที่ 3.1 แสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์

3.2.2 น้ำผสมคอนกรีต

น้ำผสมคอนกรีตจะมีผลต่อคุณภาพของคอนกรีต ตามความใสหรือขุ่นของน้ำ ที่มีสารแขวนลอยเจือปนอยู่จะทำให้คุณภาพของคอนกรีตต่ำลง ซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของสารแขวนลอยนั้น ดังนั้นจึงควรใช้น้ำผสมคอนกรีตที่สะอาดมีสารแขวนลอยไม่เกิน 2,000 ppm (ส่วนในล้าน) ปราศจากกรด ค่าง น้ำมัน หรือสารอินทรีย์อื่นๆ ในปริมาณที่จะทำอันตรายต่อคอนกรีตน้ำประปาหรือน้ำจืดจากแหล่งธรรมชาติ ที่ไม่มีน้ำเสียจากชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรมเจือปน ถือว่ามีคุณภาพดีเพียงพอสำหรับนำมาใช้ผสมคอนกรีต มาตรฐาน ASTM ที่ใช้ทดสอบน้ำโดยตรงนั้น ไม่มี แต่สามารถใช้เกณฑ์สำหรับทดสอบน้ำสำหรับคอนกรีตผสมเสร็จคือ ASTM C 94 โดยกำหนดให้ทดสอบการเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์และกำลังอัดของมอร์ต้าโดยเปรียบเทียบระหว่างส่วนผสมที่ใช้น้ำที่ต้องการทดสอบกับส่วนผสมควบคุมที่ใช้น้ำสะอาดหรือน้ำกลั่น

3.2.3 มวลรวมผสมคอนกรีต

มวลรวมผสมคอนกรีต อันได้แก่ หินย่อยหรือกรวด และทราย เป็นวัสดุผสมคอนกรีตที่มีปริมาณมากถึงประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของคอนกรีต คุณภาพของมวลรวมจึงมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของคอนกรีต คอนกรีตทั่วไปมวลรวมมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปมักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสต์ มวลรวมสำหรับงานคอนกรีตที่ดีควรมีคุณภาพตาม มอก. 566 หรือ ASTM C 33 โดยมีความสะอาด มีขนาดละเอียด แข็งแกร่ง ทนทาน มีรูปร่างค่อนข้างกลม แต่มีเหลี่ยมมุมและมีลักษณะผิวหยาบไม่ขยายตัวมาก และไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์



รูปที่ 3.2 แสดงขนาดของมวลรวมที่ดี

3.2.4 แร่ผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มมาตรฐาน ASTM C 125 ได้ให้คำนิยามของสารผสมเพิ่มว่า เป็นสารใดๆ นอกเหนือจากน้ำ ปูนซีเมนต์ ทราย และหิน ที่ใช้เติมลงในส่วนผสมของคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ ไม่ว่าจะก่อนหรือขณะกำลังผสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตให้ได้คุณสมบัติตามต้องการไม่ว่าจะเป็นขณะที่ยังเหลวอยู่หรือแข็งตัวอยู่แล้ว

สารประเภทแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral Admixtures) มีลักษณะเป็นผงละเอียด ใช้สำหรับทำให้ความสามารถทำงานได้และความคงทนดีขึ้น แบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

1. วัสดุเพื่อการทำปฏิกิริยา (Inert Materials)

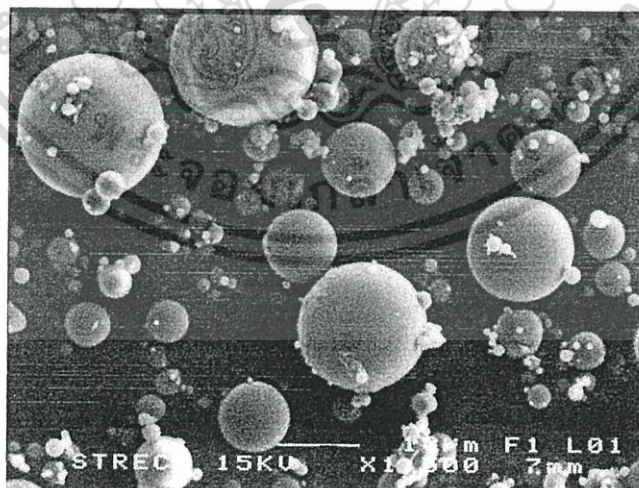
สารผสมเพิ่มชนิดนี้ใช้ เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตสด โดยเฉพาะในคอนกรีตที่ขาดอนุภาคเล็ก เช่น คอนกรีตที่ทำจากทรายหยาบ หรือที่มีปริมาณปูนซีเมนต์อยู่น้อย คอนกรีตนี้อาจแยกตัวได้ง่ายไม่เหมาะสำหรับการลำเลียงและการเทลงแบบการปรับปรุงการเกาะตัวและความเหลวของคอนกรีตนี้ด้วยการใส่แร่ เช่น ผงหินปูน ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความไวต่อปฏิกิริยาค่าไม่มีคุณสมบัติเป็นตัวเชื่อมประสาน เหมาะสำหรับการปรับปรุงความสามารถในการทำงานของคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงเท่านั้น

2. วัสดุเชื่อมประสาน (Cementitious Material)

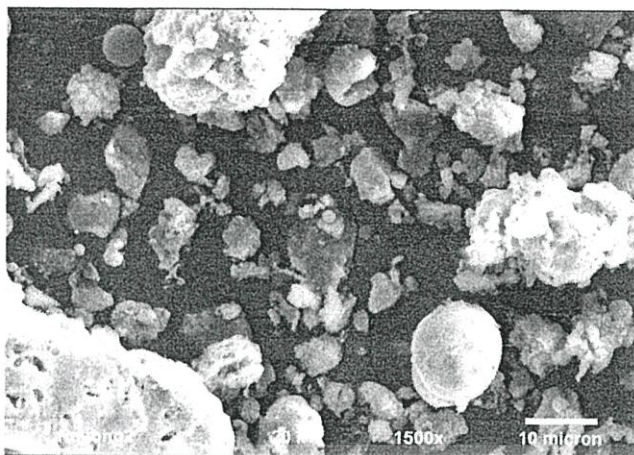
สารที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน คือสารซึ่ง สามารถทำปฏิกิริยาไฮเดรชันเมื่อผสมน้ำ เช่น GGBS และเถ้าลอยบางประเภท สามารถใช้ปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีต เช่น เพิ่มกำลังในระยะยาว, ลดปริมาณความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน, เพิ่มความทึบน้ำ, เพิ่มความต้านทานซัลเฟตและน้ำทะเล, และลดปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction)

3. วัสดุปอซโซลาน (Pozzolanic Materials)

วัสดุที่มีส่วนประกอบของ ซิลิกา หรือ ซิลิกาและอลูมินา ซึ่งไม่มีคุณสมบัติของความเป็นซีเมนต์ หรือ มีเพียงเล็กน้อยแต่มีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำที่อุณหภูมิและความชื้นปกติ ทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสานเหมือนซีเมนต์ คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเพิ่มขึ้น เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ว่า ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) สารปอซโซลาน ได้แก่ เถ้าลอย, ซิลิกาฟูม, วัสดุปอซโซลานธรรมชาติ, และ Metakaolin



(a)



(b)

รูปที่ 3.3 แสดงภาพถ่ายกำลังสูงของอนุภาคเถ้าลอยจาก (a) แม่เมาะ และ (b) ระยอง

เถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอย (fly ash หรือ pulverized fuel ash) เกิดจากการเผาถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า เถ้าถ่านหินจะถูกพัดออกมาตามลมร้อนเพื่อออกไปสู่ปล่องควัน จากนั้นตัวคักจับ (electrostatic precipitator) จะรวบรวมเถ้าถ่านหินเพื่อเก็บไว้ในไซโลต่อไป ในกรณีที่เถ้าถ่านหินหลอมเหลวและบางส่วนจับกันเป็นก้อนหรือเป็นเม็ดใหญ่ขึ้น ทำให้มีน้ำหนักมากและตกลงสู่ก้นเตา จึงเรียกว่า เถ้าก้นเตาหรือเถ้าหนัก (bottom ash) การผลิตกระแสไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง กากที่เหลือจากการเผาถ่านหินประกอบด้วยเถ้าถ่านหินประมาณร้อยละ 80 และ เถ้าก้นเตาอีกประมาณร้อยละ 20 และประมาณว่ามีเถ้าถ่านหินลิกไนต์ที่ได้จากการเผาถ่านหินเฉพาะที่แม่เมาะถึงปีละ 3 ล้านตันในปี พ.ศ. 2536 นอกจากนี้ยังมีเถ้าถ่านหินจากแหล่งภาคกลางและภาคตะวันออกอีกปีละประมาณ 2.8 แสนตันต่อปี และคาดว่าจะมีการนำเถ้าถ่านหินจากทุกแหล่งไปใช้ในงานคอนกรีตประมาณปีละ 1.5 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2546

การใช้เถ้าถ่านหินในงานก่อสร้างไม่ใช่เรื่องใหม่ มีรายงานเกี่ยวกับการนำเถ้าถ่านหินมาใช้แทนปูนซีเมนต์โดย Davis และคณะ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1937 ซึ่งถือได้ว่าเป็นก้าวแรกของการนำเถ้าถ่านหินมาใช้ในงานคอนกรีต หลังจากนั้นมามีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำเถ้าถ่านหินมาใช้ประโยชน์อีกเป็นจำนวนมากและมีการนำเถ้าถ่านหินไปใช้ในงานจริงเป็นจำนวนมากด้วยเช่นกัน

ในการขยายสนามบินที่เมือง Newark ในรัฐนิวเจอร์ซีย์ สหรัฐอเมริกา ได้มีการนำเถ้าถ่านหินผสมกับปูนขาว ปูนซีเมนต์ และหินคลุก เพื่อใช้ในงานรองพื้นทางสำหรับทางวิ่งของสนามบิน โครงการนี้ใช้เถ้าถ่านหินถึง 1.6 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งสามารถประหยัดค่าก่อสร้างเนื่องจากการใช้เถ้าถ่านหินสูงถึง 21 ล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา งานก่อสร้างขนาดใหญ่อีกงานหนึ่งที่ใช้เถ้าถ่านหินในปริมาณมาก คือ งานก่อสร้างถนน east street valley expressway ซึ่งใช้เถ้าถ่านหินในงานถมถึง 353,000 ตัน อย่างไรก็ตามการใช้เถ้าถ่านหินยังมีอยู่น้อยเมื่อเทียบกับกำลังการผลิต กล่าวคือกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตเถาถ่านหินของสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1988 มีประมาณ 50 ล้านตันและมีเพียงร้อยละ 20 เท่านั้นที่สามารถนำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้ ส่วนที่เหลือต้องนำไปทิ้งและทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในการกำจัดทิ้ง เถาถ่านหินที่นำไปใช้งานจำนวนร้อยละ 20 หรือ 10 ล้านตันประมาณว่าครึ่งหนึ่งใช้ในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์และโรงงานผลิตคอนกรีต สำหรับในประเทศไทยพบว่าในช่วงก่อนปี พ.ศ. 2536 มีการนำเถาถ่านหินไปใช้ในงานต่างๆ ทั่วประเทศไทยค่อนข้างน้อยประมาณ 100 ถึง 500 ตันต่อปี พ.ศ. 2541 มีการใช้เถาถ่านหินจาก อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เป็นปริมาณสูงถึง 300,000 ตัน และเพิ่มเป็น 600,000 ตันในปี พ.ศ. 2542 และปริมาณ 880,000 ตัน ในปี พ.ศ. 2543 โดยเถาถ่านหินส่วนใหญ่นำไปใช้ในงานคอนกรีตผสมเสร็จของโครงการสร้างต่างๆ เช่น โรงไฟฟ้าราชบุรี และโครงการรถไฟฟ้ามหานคร และโครงการก่อสร้างเขื่อนคลองท่าด่านที่จังหวัดนครนายก ซึ่งคาดว่าจะใช้เถาถ่านหินถึง 700,000 ตัน

เถาถ่านหิน นิยมนำไปใช้ในงานคอนกรีตมากกว่าในงานชนิดอื่นด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ ประการแรก พบว่าเถาถ่านหินมีออกไซด์ของธาตุซิลิกา, อลูมินา, และเหล็ก ซึ่งออกไซด์ของธาตุเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดีและเพิ่มกำลังอัดคอนกรีตให้สูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้เถาถ่านหินที่มีคุณภาพดีและในปริมาณที่เหมาะสม ประการที่สอง เนื่องจากเถาถ่านหินมีอนุภาคที่ค่อนข้างเล็กและส่วนใหญ่เป็นเม็ดกลมเมื่อผสมในคอนกรีตเถาถ่านหินจะเข้าไปอุดช่องว่างเล็กๆ ระหว่างปูนซีเมนต์และหินหรือทรายทำให้คอนกรีตแน่นขึ้น และลักษณะทรงกลมของเถาถ่านหินจะช่วยทำให้คอนกรีตมีการไหลได้ดีขึ้นทำให้การสูบส่งคอนกรีตหรือเทคอนกรีตลงในแบบทำได้สะดวกและง่ายขึ้น นอกจากนี้คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถาถ่านหินยังสามารถผสมได้ง่ายและลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องผสมลงได้เนื่องจากรูปร่างที่กลมและผิวสัมผัสที่ลื่นของเถาถ่านหินทำให้แรงเสียดทานระหว่างอนุภาคต่ำลง

การใช้เถาถ่านหินในงานคอนกรีตมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ เพิ่มความสามารถในการเทได้ เพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนของคอนกรีต ลดผลกระทบจากการแยกตัว ลดความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ลดการหดตัว ลดอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต และที่สำคัญคือเพิ่มกำลังอัดและกำลังดึงประลัยของคอนกรีตเมื่อคอนกรีตมีอายุมากขึ้น แต่ทั้งนี้การใช้เถาถ่านหินจะมีข้อเสียด้วยคือทำให้อัตราการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตต่ำลงในช่วงอายุต้น ลดความต้านทานต่อสภาวะการแข็งตัวและละลายของน้ำสลับกันไป และทำให้ต้องใช้สารเพื่อเพิ่มฟองอากาศมากขึ้น เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีปริมาณฟองอากาศตามต้องการในระดับเดียวกับคอนกรีตที่ไม่มีเถาถ่านหินผสมอยู่

เถาถ่านหิน โดยทั่วไปแล้วจะมีความละเอียดใกล้เคียงหรือสูงกว่าปูนซีเมนต์เพียงเล็กน้อย โดยลักษณะทั่วไปจะเป็นรูปทรงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่เล็กกว่า 1 ไมโครเมตร (0.001 มม.) จนถึง 0.15 มม. เถาถ่านหินที่กลวงมีน้ำหนักเบาและอาจลอยน้ำได้ได้เรียกว่าเถาถ่านหินกลวง (cenospheres) และในบางครั้งภายในเถาถ่านหินที่มีรูพรุนอาจมีเถาถ่านหินขนาดเล็กๆ อยู่ภายในก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เรียกว่า plerospheres ความละเอียดของเถ้านหินที่ได้จากการเผาเถ้านหินจะขึ้นอยู่กับ การบดเถ้านหิน ชนิดของเครื่องบด และชนิดของเตาเผา ถ้าเถ้านหินละเอียดมากขึ้นและเผาใหม้อย่าง สมบูรณ์ในเตาเผา จะได้เถ้านหินที่มีความละเอียดสูงและมีทรงกลม แต่ในกรณีที่เผาใหม่ไม่ สมบูรณ์ รูปร่างของเถ้านหินจะไม่แน่นอน สำหรับเถ้านหินในประเทศไทยพบว่าความละเอียด ของเถ้านหินจากโรงไฟฟ้าที่แม่เมาะ ซึ่งทดสอบโดยวิธีของ เบลนมีความละเอียดอยู่ในช่วง 2,500 ถึง 3,500 ซม./กรัม

การวัดความละเอียดของเถ้านหินมี 2 วิธีที่นิยมใช้กันคือวิธีการร่อนผ่านร่งเบอร์ 325 (ช่อง เปิด 45 ไมโครเมตร) กับวิธีวัดพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักโดยวิธีของเบลน ในสหรัฐอเมริกา ใช้วิธี ร่อนผ่านร่งเป็นวิธีเดียวในการกำหนดความละเอียดของเถ้านหิน กล่าวคือเถ้านหินต้องมี ขนาดของอนุภาคที่ร่อนผ่านร่งเบอร์ 325 ไม่น้อยกว่าร้อยละ 66 โดยน้ำหนัก เถ้านหินที่ ละเอียดมากขึ้นจะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นและทำให้กำลังอัดคอนกรีตสูงกว่า คอนกรีตที่ใช้เถ้านหินที่หยาบกว่า

องค์ประกอบหลักทางเคมีของเถ้านหินคือ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 อัตราส่วนของออกไซด์ ทั้ง 3 ชนิดจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของเถ้านหิน อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมขณะเผา ด้วยเหตุนี้ ASTM C 618 จึงแยกเถ้านหินออกเป็น 2 ประเภท คือ Class F และ Class C โดยเถ้านหิน Class F มี ปริมาณ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ มากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ขณะที่เถ้านหิน Class C มีปริมาณ ของออกไซด์ดังกล่าวระหว่างร้อยละ 50 ถึง 70 โดยน้ำหนัก ส่วนใหญ่แล้วเถ้านหินชนิดแอนทรา ไซต์ (anthracite) และบิทูมินัส (bituminous) เมื่อเผาแล้วจะให้เถ้านหิน Class F ส่วนเถ้านหินสับบิ ทูมินัส (sub-bituminous) และเถ้านหินลิกไนต์ (lignite) เมื่อเผาแล้วจะให้เถ้านหิน Class C เป็น ส่วนใหญ่ สำหรับโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ใช้เถ้านหินลิกไนต์เป็นวัตถุดิบในการให้ความร้อน เถ้านหินที่ได้ในช่วงปีพ.ศ. 2533 ถึง 2536 เป็นเถ้านหินทั้ง Class F และ Class C การที่เถ้านหินจากแหล่งเดียวกันเป็นทั้ง Class C และ Class F เป็นเรื่องปกติ เพราะเถ้านหินวัสดุธรรมชาติและมีเนื้อไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีย่อมเปลี่ยนไปได้ แต่อย่างไรก็ตามเถ้านหินทั้ง Class C และ Class F ต่างก็มีศักยภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้ในงานคอนกรีต นอกจากนี้การศึกษาของ Nimityongskul และ Tahir ซึ่งใช้เถ้านหินที่มี SiO_2 ระหว่างร้อยละ 29.2 ถึง 43.1 และมี CaO ระหว่างร้อยละ 8.10 ถึง 23.4 ซึ่งมีความแตกต่างกันพอสมควร พบว่ามีผลการทดสอบกำลังอัดไม่ แตกต่างกันอย่างนัก ขณะที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานและร้อยละของการแทนที่เถ้านหินใน ปูนซีเมนต์จะมีผลกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีตค่อนข้างสูง

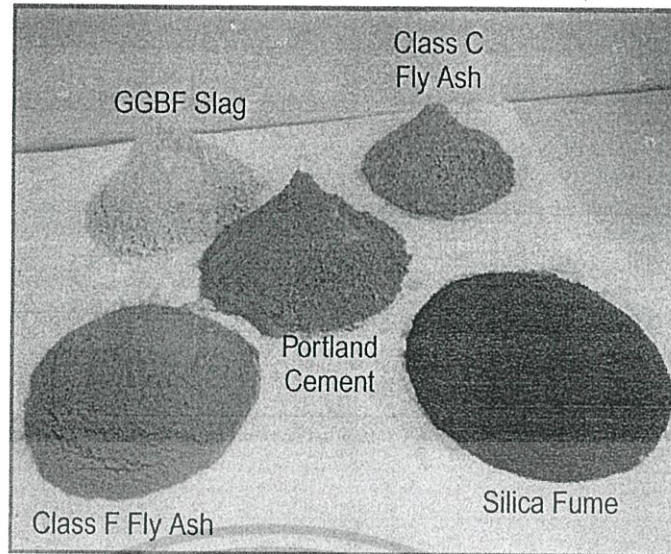
ตารางที่ 3.3 Chemical Requirements for fly ash

Standard specification for coal fly ash	Class		
	N	F	C
Silicon dioxide (SiO ₂) plus aluminum oxide (Al ₂ O ₃) plus iron oxide (Fe ₂ O ₃), min, %	70.0	70.0	50.0
Sulfur trioxide (SO ₃), max, %	4.0	5.0	5.0
Moisture content, max, %	3.0	3.0	3.0
Loss on ignition, max, %	10.0	6.0	6.0

ตารางที่ 3.4 Physical Requirements for fly ash

Standard specification for coal fly ash	Class		
	N	F	C
<i>Fineness:</i>			
Amount retained when wet-solved on 45µm (No.325) max, %	34	34	34
<i>Strength activity index:</i>			
With Portland cement, at 7 days, min, percent of control	75	75	75
With Portland cement, at 28 days, min, percent of control	75	75	75
Water requirement, max, percent of control	115	105	105
<i>Soundness</i>			
Autoclave expansion or contraction, max, %	0.8	0.8	0.8

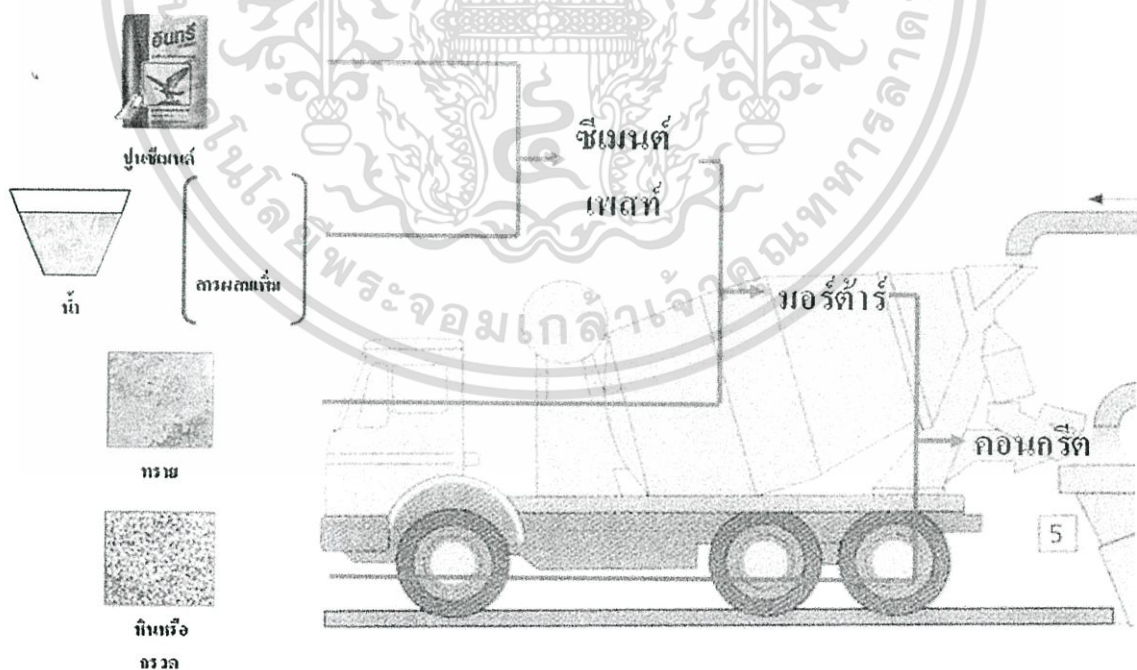
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงแร่ผสมเพิ่มและปูนซีเมนต์

3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะทำการทดลองในส่วนของซีเมนต์เพสต์และสุดท้ายจะทำการทดลองในคอนกรีต ซึ่งทั้งสองส่วนนี้ จะเป็นตัวอย่างที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) และมีการใช้เกลือยวเข้าไปทดแทนปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10-30 โดยสัดส่วนการผสมแสดงในตามตารางที่ 3.5 และตารางที่ 3.6



รูปที่ 3.5 แสดงขั้นตอนในการผสมซีเมนต์เพสต์ มอร์ตาร์และคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองซีเมนต์เพสต์

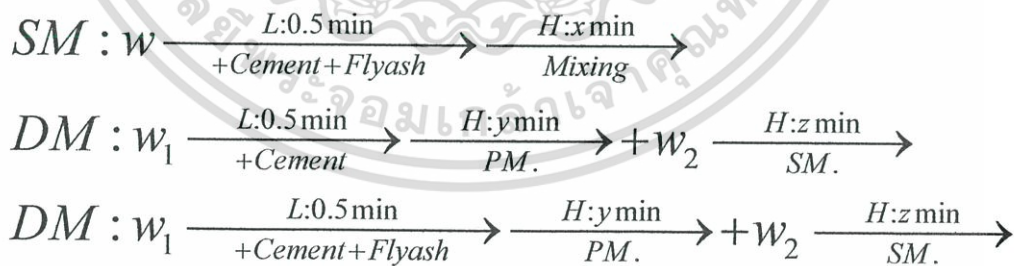
Cement paste			
W/C Ratio	0.4		
ปูน	100		
น้ำ	40		
ถ้ำลอย	10%	20%	30%

ตารางที่ 3.6 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองคอนกรีต

Concrete			
W/C Ratio	0.4		
ปูน	100		
ทราย	200		
หิน	400		
น้ำ	40		
ถ้ำลอย	10%	20%	30%

3.3.1 การทดลองซีเมนต์เพสต์

ทำการเตรียมตัวอย่างตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ ตามตารางที่ 3.5 จากนั้นทำการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนโดยมีขั้นตอนการผสมตามรูปที่ 3.7 น้ำส่วนแรก (W_1) ที่ใช้ผสมจะทำการคลุกเคล้ากับปูนซีเมนต์ในเวลา 0.5 นาที และทำการเติมน้ำส่วนที่เหลือลงไปและทำการผสมอีก



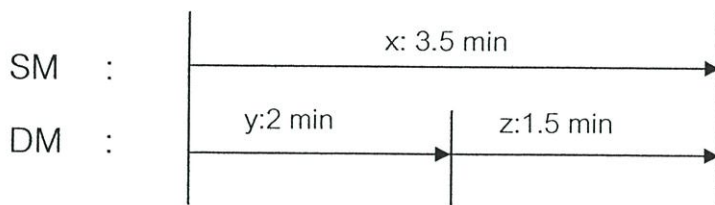
x : mixing time for SM , y, x : primal and secondary mixing time for DM , $x=y+z$

C : cement , W : water , W_1 : primal water , W_2 : secondary water , L : low speed

H : high speed , p.m.: primal mixing , s.m.: secondary mixing

รูปที่ 3.6 แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



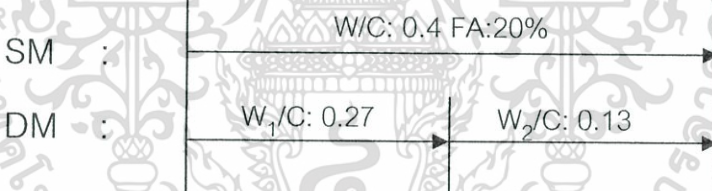
รูปที่ 3.7 แสดงเวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์ที่วิธีการผสมแบบ SM และ DM

ทำการคลุกเคล้ากับซีเมนต์ที่ความเร็วในการผสมซีเมนต์ต่ำหลังจากนั้น ทำการปรับความเร็วในการผสมที่เวลา $y = 2$ นาที แล้วจึงทำการใส่น้ำในส่วนที่เหลือลงไป ทำการผสมที่เวลา $z = 1.5$ นาทีโดยทำการทดสอบเริ่มจากตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C = 0.4, 0.5$ และ 0.6 ตามลำดับ

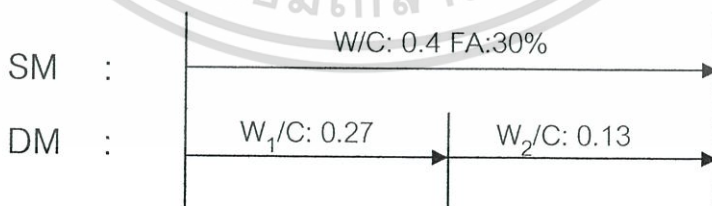
1. การทดลองซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C = 0.40$, การทดแทน Fly ash, FA = 10, 20 และ 30 % โดยวิธีการผสมมีรายละเอียดตามที่แสดงในรูปที่ 3.8, 3.9 และ 3.10



รูปที่ 3.8 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ $W/C = 0.40$, Fly ash = 10 %



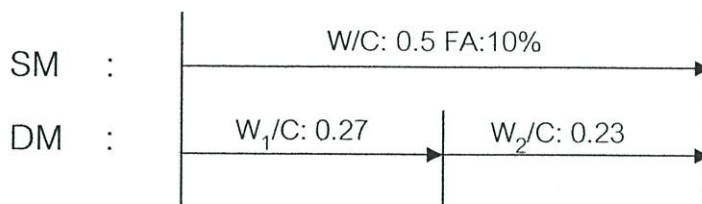
รูปที่ 3.9 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ $W/C = 0.40$, Fly ash = 20 %



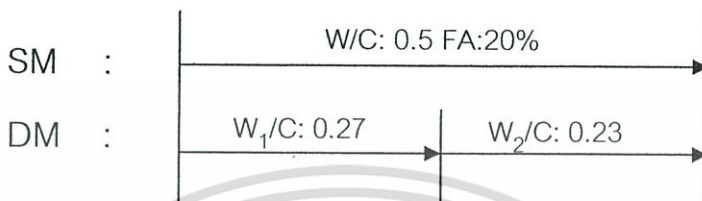
รูปที่ 3.10 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ $W/C = 0.40$, Fly ash = 30 %

2. การทดลองซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C = 0.50$, การทดแทน Fly ash, FA = 10, 20 และ 30 % โดยวิธีการผสมมีรายละเอียดตามที่แสดงในรูปที่ 3.11, 3.12 และ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ $W/C = 0.50$, $FA = 10\%$

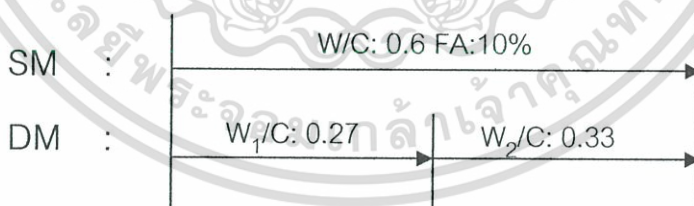


รูปที่ 3.12 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ $W/C = 0.50$, $FA = 20\%$

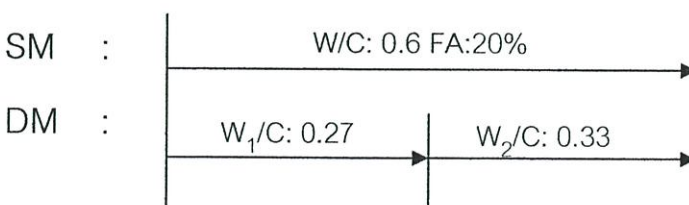


รูปที่ 3.13 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ $W/C = 0.50$, $FA = 30\%$

3. การทดลองซีเมนต์เฟสท์ที่ $W/C = 0.60$, การทดแทน Fly ash, $FA = 10, 20$ และ 30% โดยวิธีการผสมมีรายละเอียดตามรูปที่ 3.14, 3.15 และ 3.16

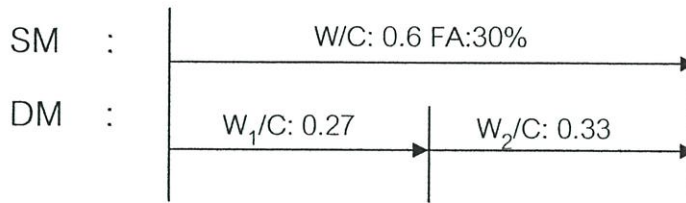


รูปที่ 3.14 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ $W/C = 0.60$, $FA = 10\%$



รูปที่ 3.15 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ $W/C = 0.60$, $FA = 20\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.60 , FA = 30 %

จากนั้นนำซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ได้ ไปทำการทดสอบเพื่อหาค่าต่างๆ ดังนี้

(1) การทดลองวัดค่าการเอิ่มน้ำ (Bleeding) ที่ผิวด้านบน โดยการทดลองจะทำการผสมซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.4 จากนั้นทำการเทซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างลงในชุดทดสอบการเอิ่มน้ำ (Bleeding) ซึ่งปริมาตรซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ในการทดลองประมาณ 400 มิลลิลิตร จากนั้นนำแผ่น Scale ที่มีความละเอียดเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ติดที่ผิวภายนอกของชุดทดสอบ โดยกำหนดค่าศูนย์อยู่ที่ผิวบนของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง จากนั้นทำการแขวนชุดทดสอบไว้แล้ว ทำการจดบันทึกค่าทุก 30 นาที จนกว่าซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างจะหยุดการเอิ่มน้ำ หรือระยะเวลาผ่านไปอย่างน้อย 4-6 ชั่วโมง ทำการบันทึกค่า โดยค่าการเอิ่มน้ำที่อ่านได้จะนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ การ Bleeding ดังสมการข้างล่าง

$$\text{Bleeding [\%]} = \frac{V_2 - V_1}{V_c} \times 100$$

V_c = ความสูงของซีเมนต์เพสต์ที่ปริมาตรเริ่มต้น

V_1 = ความสูงที่ระดับผิวของซีเมนต์เพสต์

V_2 = ความสูงที่ระดับผิวน้ำของตัวอย่างทดสอบ

(2) การทดลองหาความสามารถในการไหล ในการทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993 โดยการทดสอบจะทำการผสมซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ ทำการเทซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ผสมเสร็จลงในอุปกรณ์ทดสอบจนเต็มพอดี โดยทำการปิดช่องเปิดบริเวณด้านล่างของอุปกรณ์ทดสอบให้สนิท ทำการจับเวลาอัตราการไหลผ่านของซีเมนต์เพสต์ทันที ที่เปิดช่องเปิดด้านล่างให้ซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบอย่างอิสระ ทำการจดบันทึกค่าอัตราการไหล ผ่านอุปกรณ์ทดสอบมาตรฐานของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง โดยค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของเวลาของการไหลของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง (วินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) การทดลองการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ตามมาตรฐาน JIS A 1129 การทดลองจะทำการทดสอบวัดการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkage) ซึ่งเป็นการวัดการหดตัวภายนอกของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง เป็นไปตามมาตรฐาน JIS A 1129 “Test method for length change of mortar and concrete”

3.3.2 การทดลองคอนกรีต

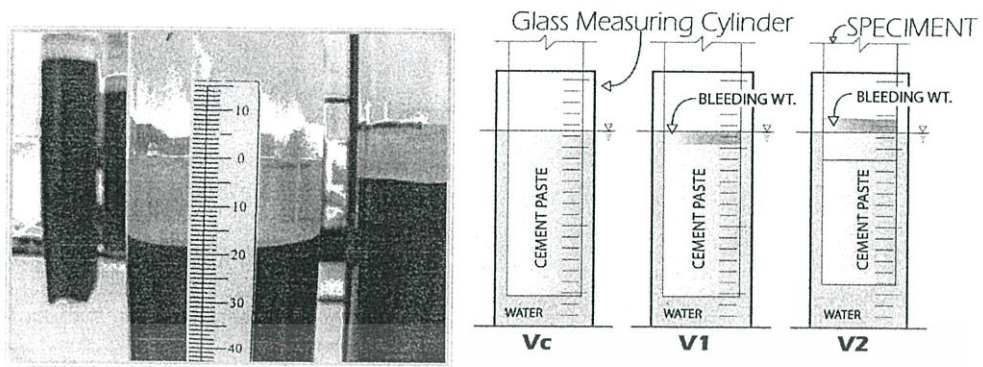
การเตรียมตัวอย่างการทดลองในส่วนของคอนกรีตจะมีหลักการผสมในลักษณะเดียวกัน โดยหลังจากได้มีการเตรียมวัสดุตามที่ได้ออกแบบไว้ตามตารางที่ 3.6 การผสมคอนกรีตด้วยวิธีการแบบ DM ทำโดยเริ่มจากแบ่งน้ำส่วนแรกที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.27 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่พอให้ซีเมนต์เพสต์ที่คลุกเคล้าในการผสมได้ในเครื่องผสมแบบโม และในขั้นต้นของการผสมจะเริ่มจากการใส่หินที่อ้อมตัวผิวแห้งลงไป 1 ใน 3 ส่วนของหินที่มีการออกแบบไว้ เพื่อต้องการให้ซีเมนต์เพสต์นั้นไม่ติดกับบริเวณรอบๆ ของเครื่องผสมและเพื่อต้องการให้มีการคลุกเคล้าที่ดีด้วย หลังจากนั้น จึงทำการใส่น้ำส่วนแรกที่มีส่วนผสมของสารผสมเพิ่ม โดยปรับลดปริมาณน้ำในส่วนที่สารผสมเพิ่มเข้าไปทดแทนทำการคลุกเคล้าตามเวลาและความเร็วเครื่องผสมที่กำหนด จากนั้นทำการใส่น้ำส่วนที่เหลือจนครบตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ทำการใส่หินและทรายที่เหลือตามลำดับ โดยการทดสอบคอนกรีต จะทำการทดสอบคอนกรีตตัวอย่างที่ W/C = 0.40, 0.5 และ 0.6 ที่อัตราการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10, 20 และ 30

3.4 วิธีการศึกษา

3.4.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

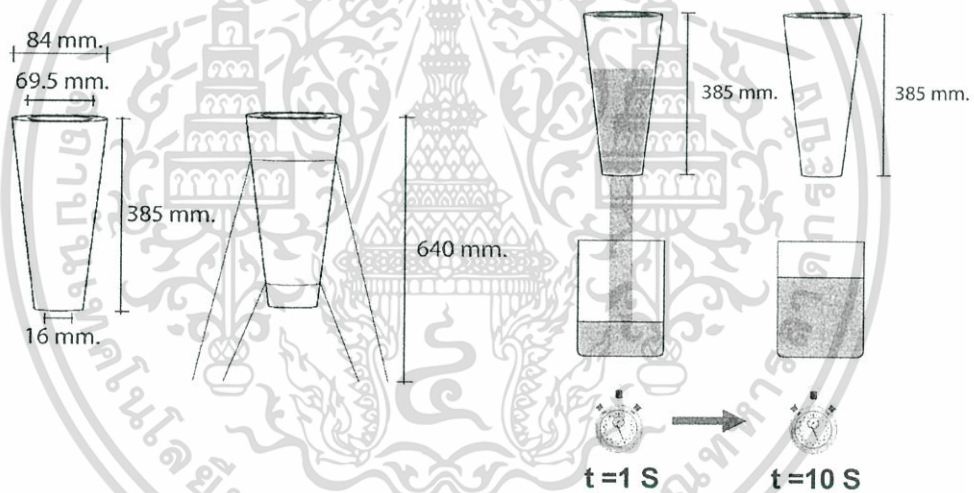
1. ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลจากเนื้อหาทางทฤษฎี จากหนังสือต่างประเทศ วิทยานิพนธ์ มาตรฐานการก่อสร้าง (ASTM, JSCE) ข้อมูลจากเอกสาร ตำราเรียนที่เกี่ยวข้อง
2. ทำการจัดหาวัสดุดิบ และอุปกรณ์การทดสอบ
3. ทำการศึกษาทดลองในส่วนของซีเมนต์เพสต์ และคอนกรีตตามอัตราส่วนผสมที่ทำการออกแบบไว้ โดยการศึกษาทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

(1) การทดสอบหาอัตราการเข้มน้ำ (Bleeding)



รูปที่ 3.17 แสดงตัวอย่างการเก็บค่าการเข้มน้ำ (Bleeding)

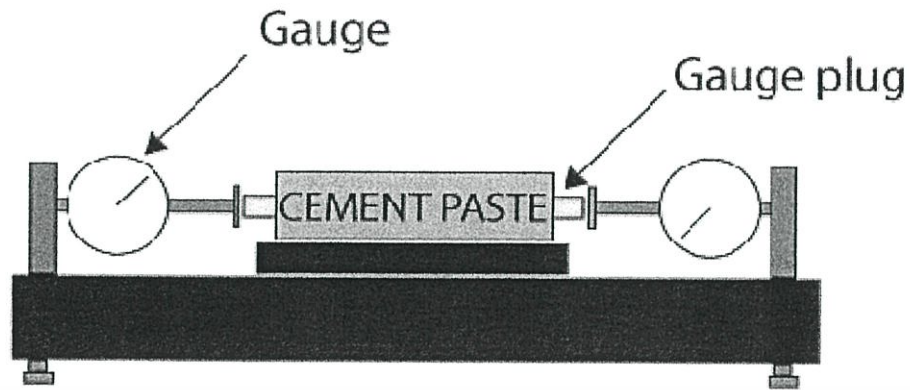
(2) การทดลองหาความสามารถในการไหล โดยการทดลองการไหลของตัวอย่าง จะทำการทดสอบมาตรฐาน JSCE-F531-1993 ซึ่งใช้อุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงอุปกรณ์การทดลอง (JSCE-F531-1993)

(3) ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkage) เทตัวอย่างที่ทำการทดลองลงในแบบหล่อตัวอย่าง และทำการเก็บค่าเมื่อซีเมนต์ตามมาตรฐาน JIS A 1129 , “Test method for length change of mortar and concrete,” ตามที่แสดงในรูปที่ 3.20

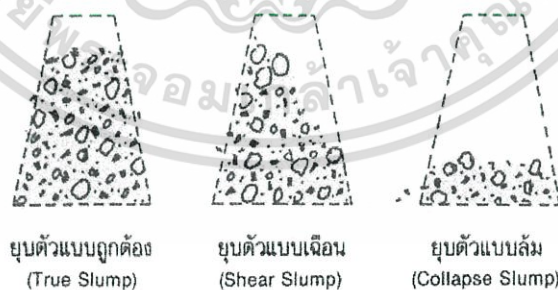
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แสดงการวัดค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์

(4) ความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ ที่ผสมด้วย DM ในการทดสอบจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109, "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar," Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01 โดยจะทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ ซม. และ $15 \times 15 \times 15$ ซม. ทำการทดสอบตัวอย่างที่อายุ 3, 7, 28 และ 60 วัน ในการทดสอบจะเลือกทำการผสมที่ W/C 0.40, 0.50, 0.60 ในการทดสอบจะเลือกทำการผสมที่ W/C 0.24 – 0.27

(5) การทดสอบหาค่ายุบตัวในการทดสอบจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 143 Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete โดยทั่วไปลักษณะการยุบตัวของคอนกรีตจะมีหลักๆอยู่ 3 รูปแบบ คือ การยุบตัวแบบถูกต้อง (True Slump), การยุบตัวแบบเฉือน (Shear Slump) และการยุบตัวแบบล้ม (Collapse Slump)



ยุบตัวแบบถูกต้อง
(True Slump)

ยุบตัวแบบเฉือน
(Shear Slump)

ยุบตัวแบบล้ม
(Collapse Slump)

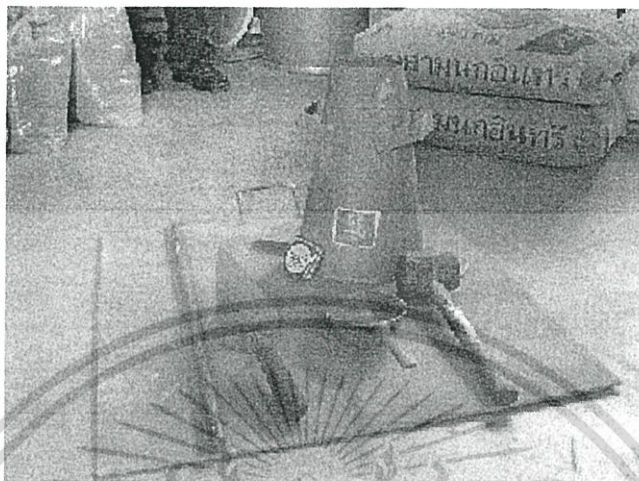
รูปที่ 3.20 แสดงการยุบตัวชนิดต่างของคอนกรีต

อุปกรณ์

1. โคน (Slump Mold) รูปกรวยทรงตัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน 10 ซม. และด้านล่าง 20 ซม. สูง 30 ซม. มีหูจับและแผ่นเหล็กยื่นออกมาให้เท้าเหยียบทั้ง 2 ข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

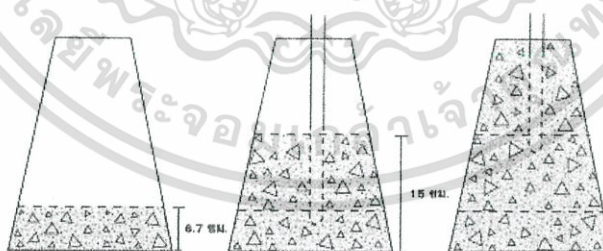
2. เหล็กกระทู้ (Tamping Rod) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มม. ยาว 60 ซม. ปลายกลมมน
3. แผ่นเหล็กสำหรับรองมีลักษณะเรียบเป็นระนาบ (Metal Base Plate)
4. ช้อนตัก (Scoop) เกรียงเหล็ก (Trowel) และ ตลับเมตร



รูปที่ 3.21 แสดงชุดทดสอบการยบตัวของคอนกรีต

วิธีการทดสอบ

1. นำอุปกรณ์จุ่มน้ำให้เปียก
2. วางแผ่นเหล็กลงกับพื้นราบ นำโคนขึ้นวางใช้ทำเหยียบปลายทั้ง 2 ข้างไว้
3. ใช้ช้อนตักคอนกรีตใส่ลงในโคน โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นให้มีปริมาตรเท่า ๆ กัน กระทู้ด้วยเหล็กกระทู้ 25 ครั้ง ในการกระทู้ต้องกระทู้ให้ทั่วพื้นที่ในแต่ละชั้น



รูปที่ 3.22 แสดงขั้นตอนการหาค่าการยบตัวของคอนกรีต

4. ดึงโคนขึ้นตรง ๆ โดยไม่หมุนหรือเอียง
5. วางโคนลงข้าง ๆ คอนกรีตแล้ววัดค่ายบตัวของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ นำค่ายุบตัวที่ได้จากการหา 3 ครั้ง มาเฉลี่ย

การรายงานผล ค่ายุบตัวของคอนกรีตต้องวัดให้ละเอียดถึง 0.5 ซม. และ รูปแบบการยุบตัวของคอนกรีต

(6) การทดสอบหาเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ในการทดสอบจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 191-92

วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. ซีเมนต์ ประมาณ 500 กรัม
2. น้ำกลั่นหรือน้ำบริสุทธิ์
3. ตาชั่ง (ชั่งละเอียดถึง 0.1 กรัม)
4. กระบอกลวดขนาด 100 มล.
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เครื่องเหล็ก
7. ถาด
8. ถังมือยาง

วิธีการทดสอบแบบใช้อุปกรณ์ไวแคท ASTM : C 191-92

1. เลื่อนกรวยที่อัดวุ้นซีเมนต์จากการเตรียมตัวอย่างไว้เรียบร้อยแล้ววางลงบนแท่นของอุปกรณ์ไวแคท และให้เลื่อนกึ่งกลางของแบบกรวยตรงแนวของแท่ง
2. ปรับแท่ง โดยให้ก้าน needle ซึ่งมีขนาดพื้นที่หน้าตัดประมาณ 1 ตร.มม. เลื่อนลงมาสัมผัสที่ผิวหน้าของปูนที่บรรจุในแบบกรวย ล็อคด้วยสกรู เสียก่อน เพื่อปรับเข็ม บนหน้าปัดให้อยู่ที่ตำแหน่ง 0 แล้วทิ้งตัวอย่างไว้เฉยๆ โดยไม่รบกวน 30 นาที
3. เมื่อครบเวลาดังกล่าว จิตลายสกรู เพื่อปล่อยให้ปลายเข็มจมลงในวุ้นซีเมนต์ และอ่านระยะการจมของเข็มเมื่อเวลาผ่านไป 30 วินาที ภายหลังจากการคลายสกรูให้เข็มจมลงในซีเมนต์
4. เวลาการเริ่มก่อตัวของวุ้นซีเมนต์ จะนับตั้งแต่เวลาเริ่มผสมกระทั่งถึงเวลาที่เข็มจมลงในวุ้นซีเมนต์เป็นระยะ 25 ± 2 มม.
5. เนื่องจากการทดลอง จำเป็นต้องทำซ้ำเรื่อยๆ เพราะไม่สามารถที่จะทราบเวลาที่แน่นอนสำหรับให้เข็มจมได้ระยะตามต้องการ จึงต้องหาความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาที่ผ่านไป (elapsed) กับระยะจม (penetration) เพื่อนำไปพล็อตกราฟหาค่าที่แน่นอนต่อไป ในการทดลองซ้ำให้ย้อนกลับไปขั้นตอนที่ 2 และ 3 ทุกๆ 15 นาที (หรือทุกๆ 10 นาที สำหรับซีเมนต์ประเภท 3) โดยแต่ละครั้ง ค่อยๆหมุนกรวยให้เปลี่ยนไปจากตำแหน่งที่เข็มจมเดิม ไม่น้อยกว่า 6 มม. และเข็มควรอยู่ห่างจากขอบกรวยไม่น้อยกว่า 10 มม.
6. สำหรับเวลาก่อตัวเสร็จ คือเวลารวมทั้งหมดจกระทั่งปลายเข็ม ไม่สามารถจมลงไปในวุ้นซีเมนต์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(7) การทดสอบอัตราการคายน้ำของคอนกรีตสดในการทดสอบจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 232-92

วัสดุและอุปกรณ์ในการทดสอบ

1. ภาชนะบรรจุรูปทรงกระบอก ขนาดประมาณ 15 ลิตร หรือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน $10 \pm \frac{1}{4}$ นิ้ว (254 ± 6.4 มม.) และมีความสูงที่วัดภายใน $11 \pm \frac{1}{4}$ นิ้ว (279 ± 6.4 มม.) ภาชนะดังกล่าวทำจากโลหะที่มีความหนาอยู่ระหว่าง 2.8 ถึง 3.6 มม. พร้อมฝาเปิดโลหะเช่นเดียวกัน
2. แท่นหรือ โต๊ะเขย่า (Vibrating Platform) พร้อมภาชนะบรรจุ
3. ตาชั่ง
4. ปิเปตหรือหลอดทดลองสำหรับดูดน้ำออกจากผิวคอนกรีต
5. เหล็กกระทุ้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาวประมาณ 24 นิ้ว ลักษณะเช่นเดียวกับเหล็กกระทุ้งคอนกรีตในการทดลองทั่วไป
6. นาฬิกาจับเวลา

ขั้นตอนการทดสอบ แบบวิธีการกระทุ้ง

1. ผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนที่ต้องการแล้วใส่ลงในภาชนะที่เตรียมไว้โดยแบ่งใส่เป็น 3 ชั้นเท่าๆ กันแต่ละชั้นใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง ปาดผิวหน้าให้เรียบด้วยเกรียงเบาๆ บันทึกเวลาตั้งแต่เริ่มจนถึงตอนนี้
2. นำภาชนะไปวางไว้ในที่ที่มั่งคั่งแข็งแรงแล้วปิดฝาเหล็กกระทุ้งขอบบนให้แน่น เพื่อป้องกันไม่ให้ น้ำที่ถูกระเหย
3. ภายใน 40 นาทีแรก ให้ดูดน้ำที่คอนกรีตคายออกมาทุกๆ 10 นาที หลังจากนั้นให้ดูดน้ำทุกๆ 30 นาที จนกว่าขบวนการคายน้ำจะเสร็จสิ้น แต่ละครั้งที่ดูดน้ำออกมาให้จดบันทึกปริมาณไว้
4. ปริมาณน้ำที่คาย คำนวณต่อหน่วยพื้นที่ผิวของคอนกรีตได้ดังนี้

$$V = V_1/A$$

ซึ่ง : V_1 = ปริมาณน้ำที่คอนกรีตคาย, มล. (ที่วัดแต่ละครั้งในช่วงเวลากำหนด)
 A = พื้นที่ผิวของคอนกรีตม ชม2

จากนั้น จะคำนวณอัตราการคายน้ำเป็นเปอร์เซ็นต์ได้จาก

$$C = (w/W) \times s$$

$$\text{อัตราการคายน้ำ, \%} = (D/C) \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ซึ่ง : C = ปริมาณน้ำในคอนกรีตสดม กรัม
 W = น้ำหนักของภาชนะม กก.
 w = ปริมาณน้ำผสมคอนกรีตสุทธิ (หมายถึงปริมาณน้ำทั้งหมดหักปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมโดยมวลรวมผสม), กก.
 s = ปริมาณคอนกรีต
 D = ปริมาณน้ำที่ถูกคาย (หรือปริมาณน้ำทั้งหมด ที่ถูกคูดออกมาในขั้นตอนการทดลอง), กรัม

5. ทำการตรวจสอบ และแก้ไขข้อมูล

3.4.2 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ทำการรวบรวมข้อมูล
2. วิเคราะห์และศึกษาความสัมพันธ์
3. ประเมินและสรุปผลการทดลอง

นำผลการทดสอบทำการวิเคราะห์ ประเมินผล และสรุปผล เพื่อเสนอผลการวิจัยที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งจะเป็แนวทางในการศึกษาวิจัยในรายละเอียดอื่นๆ ที่น่าสนใจ และเป็นประโยชน์ต่อไป

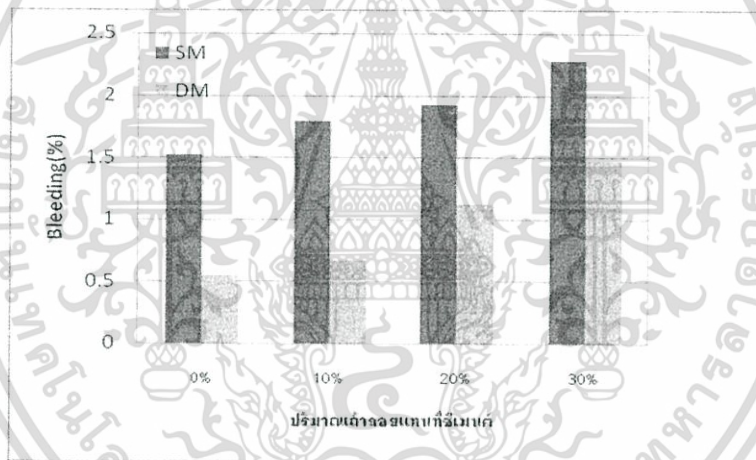
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

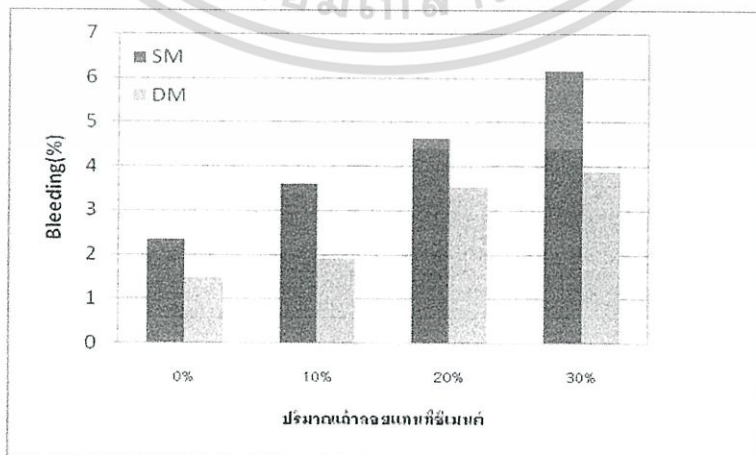
4.1 ผลการทดลองในส่วนของซีเมนต์เพสต์

4.1.1 ค่าการเยิ้ม (Bleeding)

ลักษณะของการเยิ้มที่เกิดขึ้นในซีเมนต์เพสต์ ตัวอย่างที่ได้จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นหนึ่งส่วน (SM) และการผสมแบบแบ่งน้ำสองส่วน (DM) ที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่างกัน และสัดส่วนของเถ้าลอยรวมถึงแหล่งที่มาของเถ้าลอยที่แตกต่างกัน พบว่าเถ้าลอยจะมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มปริมาณการเยิ้มในซีเมนต์เพสต์ในทุกอัตราส่วน แต่ด้วยวิธีการผสมแบบ DM ที่กำหนดให้ W/C มีค่า 0.27 สามารถลดการเยิ้ม (Bleeding) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นหนึ่งส่วน (SM) ในอัตราส่วน W/C เดียวกัน

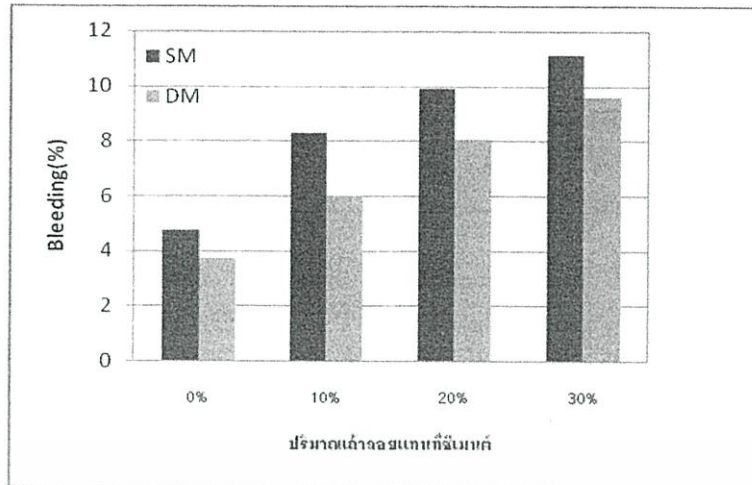


รูปที่ 4.1 แสดงค่าการเยิ้มในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.4 ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม



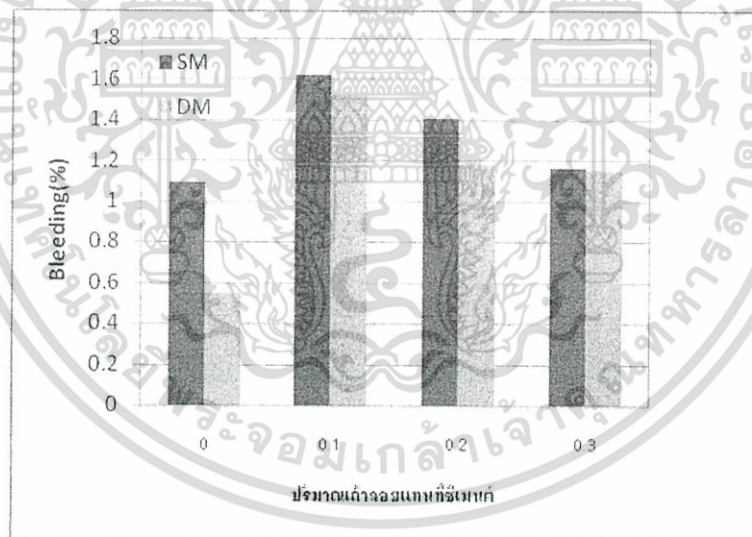
รูปที่ 4.2 แสดงค่าการเยิ้มในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.5 ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



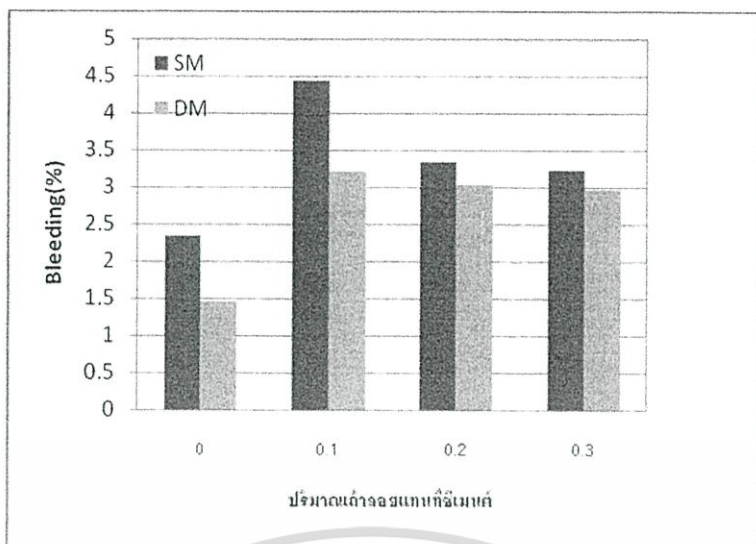
รูปที่ 4.3 แสดงค่าการเข้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.6$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม

จากรูป 4.1-4.3 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการผสมเถ้าลอยจากแม่เมาะแทนที่ซีเมนต์ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการเข้มน้ำของซีเมนต์เพสต์มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นหนึ่งส่วน (SM) และการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) แต่การผสมแบบ DM จะสามารถช่วยลดอัตราการเข้มน้ำได้



รูปที่ 4.4 แสดงค่าการเข้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.4$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

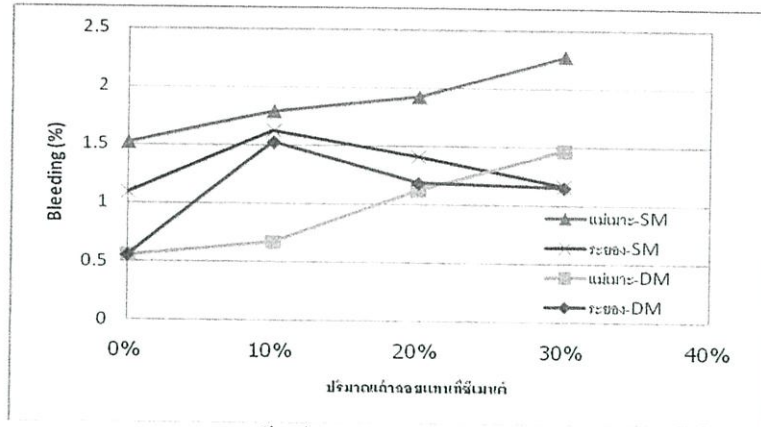


รูปที่ 4.5 แสดงค่าการเข้มน้ำในฉิเมนต์เพสท์ที่ W/C=0.5 ซึ่งใช้แฉ่ำลดจระกษของเป็นสารผสมเพิ่ม

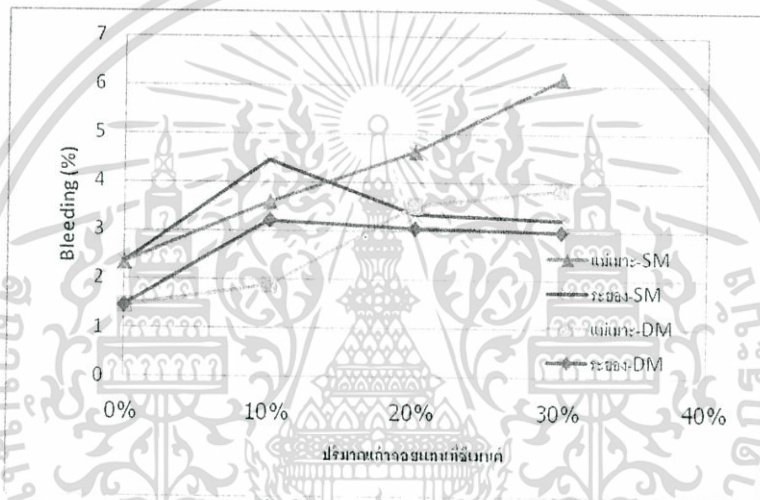


รูปที่ 4.6 แสดงค่าการเข้มน้ำในฉิเมนต์เพสท์ที่ W/C=0.6 ซึ่งใช้แฉ่ำลดจระกษของเป็นสารผสมเพิ่ม

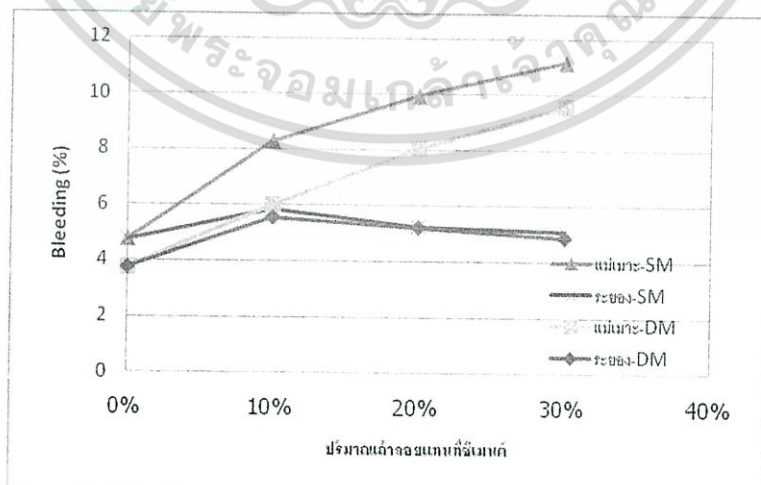
จากรูป 4.4 - 4.6 เมื่อทำการผสมแฉ่ำลดจระกษของแทนที่ฉิเมนต์จะทำให้ฉิเมนต์เพสท์มีอัตราการเข้มน้ำเพิ่มขึ้น แต่ในอัตราส่วนแฉ่ำลดจระกษของที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการเข้มน้ำมีค่าลดลงทั้งการผสมแบบ SM และ DM การผสมแบบ DM สามารถช่วยลดอัตราการเข้มน้ำได้



รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเข้มน้ำในซีเมนต์เฟสที่ที่ W/C=0.4 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเข้มน้ำในซีเมนต์เฟสที่ที่ W/C=0.5 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม



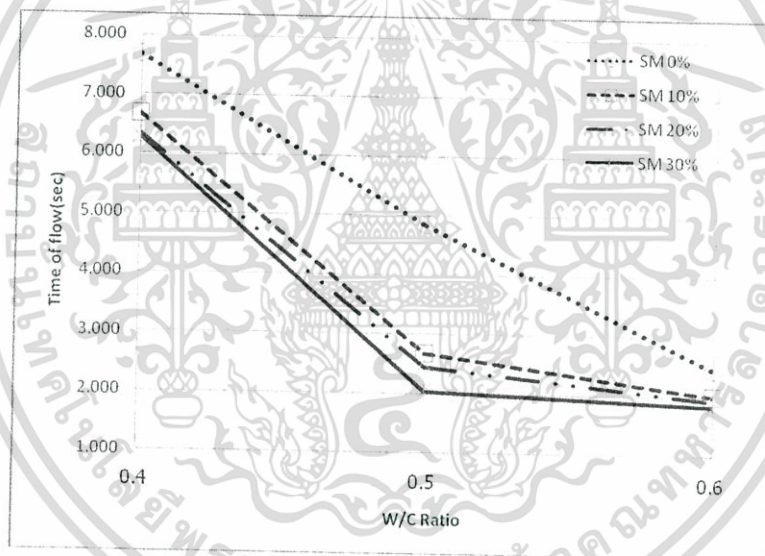
รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเข้มน้ำในซีเมนต์เฟสที่ที่ W/C=0.6 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

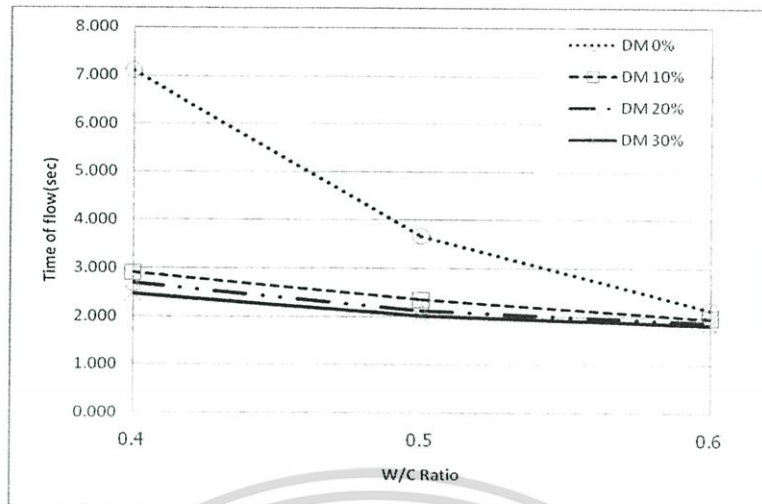
จากรูปที่ 4.7-4.9 แสดงการเปรียบเทียบการเข้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ที่มีการผสมเถ้าลอยจากสองแหล่ง จะเห็นได้ว่าเถ้าลอยจากสองแหล่งมีผลต่อการเข้มน้ำที่แตกต่างกัน กล่าวคือเถ้าลอยจากแม่เมาะมีความแตกต่างของการเข้มน้ำน้อยกว่าเถ้าลอยจากกระยอง ที่การพิจารณา W/C ต่างๆและปริมาณแทนที่ซีเมนต์ต่างกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าเถ้าลอยจากแม่เมาะ สามารถลดการเข้มน้ำได้ดีกว่าเถ้าลอยจากกระยอง

4.1.2 ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง (Workability)

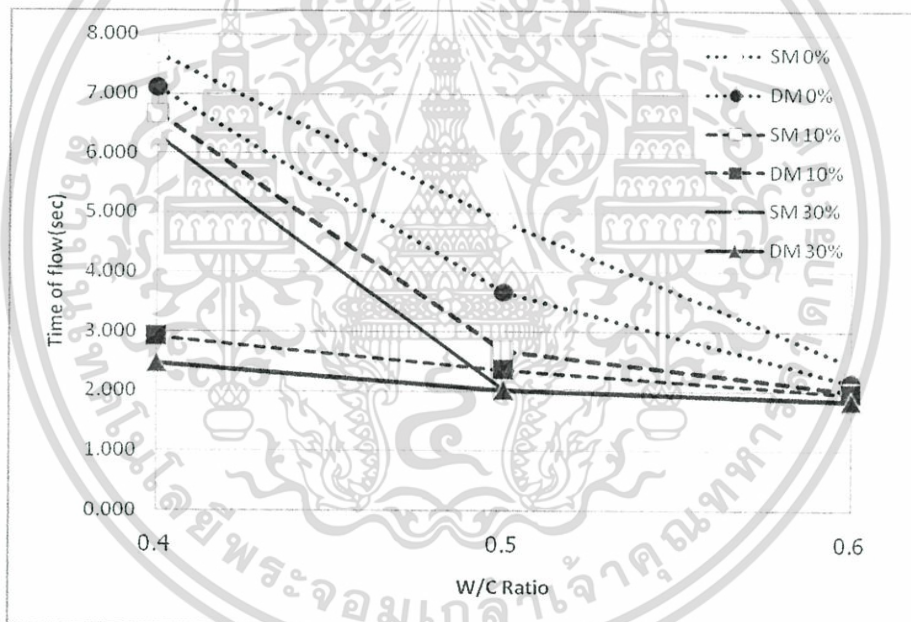
จากการทดลองพบว่า ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่มีเถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นส่วนผสมมีความสามารถการไหลที่ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ได้รับการผสมแบบธรรมดา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตัวอย่างที่ค่า W/C ต่ำมากเท่าไรก็จะเห็นถึงความแตกต่างได้อย่างชัดเจน การทดลองตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993 พบว่า ในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.40, 0.50 และ 0.60 วิธี DM สามารถพัฒนาให้ซีเมนต์เพสต์มีการไหลได้ดีขึ้น ดังรูป 4.10-4.12



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio กับ Time of flow ในซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแบบ SM ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม

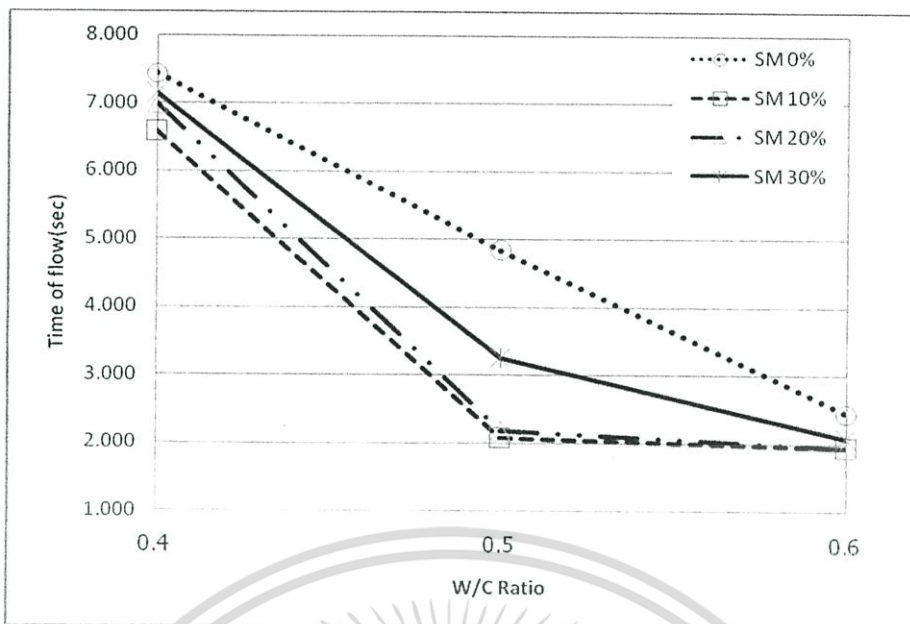


รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio กับ Time of flow ในซีเมนต์เฟสที่ผสมแบบ DM ซึ่งมีได้มาจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม

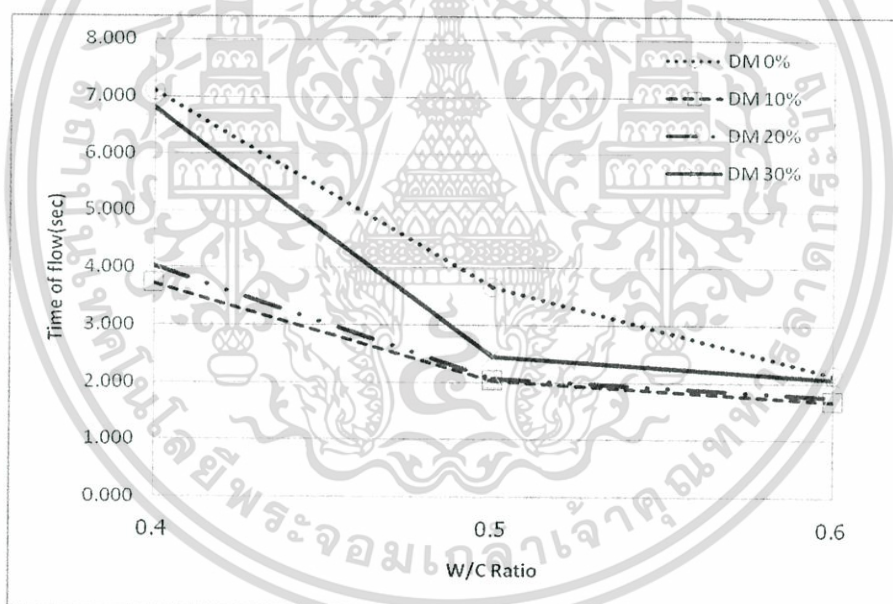


รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบ Time of flow ของซีเมนต์เฟสที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งมีได้มาจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

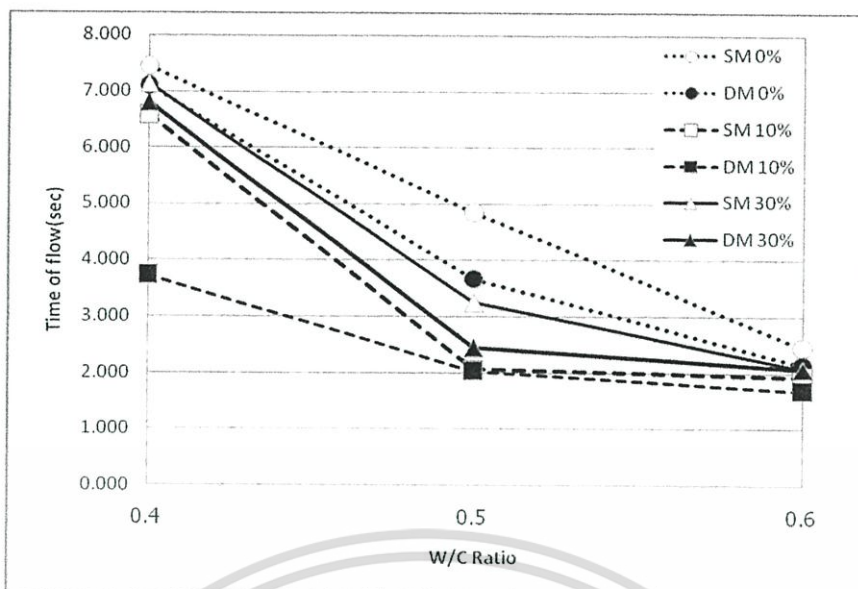


รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio กับ Time of flow ในซีเมนต์พิเศษที่ผสมแบบ SM ซึ่งมีได้ลยจากระยะของเป็นสารผสมเพิ่ม



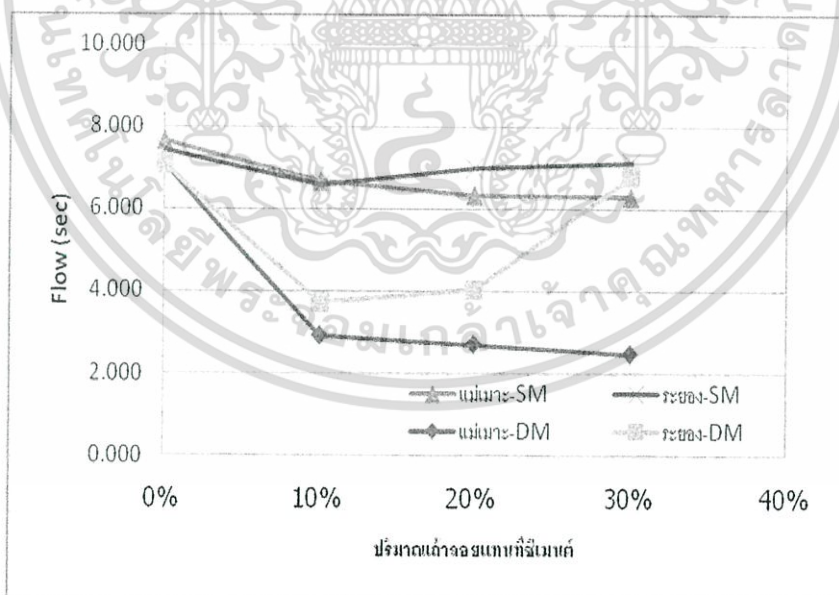
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio กับ Time of flow ในซีเมนต์พิเศษที่ผสมแบบ DM ซึ่งมีได้ลยจากระยะของเป็นสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



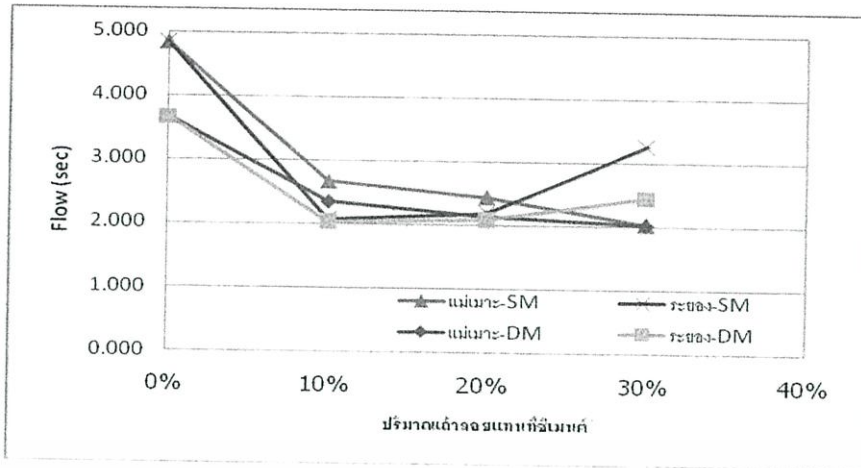
รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบ Time of flow ของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งมี
 etailoyจากระยะของเป็นสารผสมเพิ่ม

จากรูป 4.13-4.15 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการผสมetailoyจากระยะของแทนที่ซีเมนต์จะทำให้
 ความสามารถในการไหลเพิ่มขึ้น แต่ในอัตราส่วนetailoyที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการไหลมี
 ค่าลดลงทั้งการผสมแบบ SM และ DM และการผสมแบบ DM สามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการ
 ไหลได้

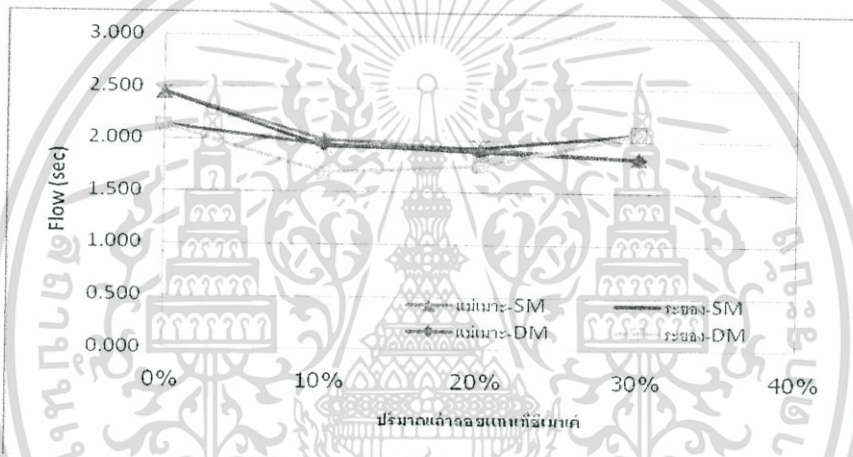


รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบTime of flow ในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.4 ซึ่งใช้etailoyจากแม่เมาะ
 และละเอียดเป็นสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบTime of flow ในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.5$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะ และระยองเป็นสารผสมเพิ่ม



รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบTime of flow ในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.6$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะ และระยองเป็นสารผสมเพิ่ม

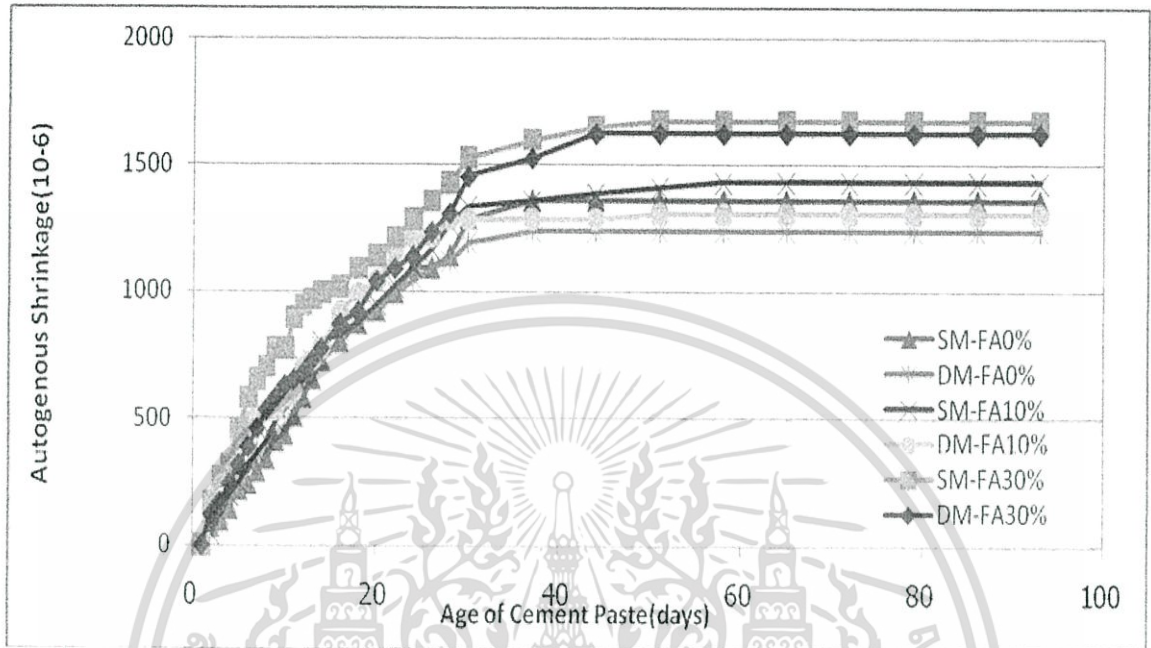
จากรูปที่ 4.16-4.18 จะเห็นได้ว่าที่อัตรา W/C 0.4 จะเห็นผลต่างของการไหลอย่างชัดเจนว่า ซีเมนต์เพสต์ที่มีเถ้าลอยจากแม่เมาะใช้เวลาในการไหลน้อยกว่าส่วนที่มีเถ้าลอยจากระยองเป็นส่วนผสม แต่จะเกิดผลต่างเพียงเล็กน้อยที่อัตรา W/C สูงๆ หากพิจารณาที่ลักษณะเส้นกราฟเส้นกราฟของการผสมแบบมีเถ้าลอยจากระยองจะมีความชันสูงกว่า นั่นแสดงว่าผลต่างของเวลาที่ใช้ในการไหลมีค่ามากจึงส่งผลให้การไหลที่อัตราการแทนที่ซีเมนต์ต่างๆสูงตามไปด้วย

4.1.3 ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkage)

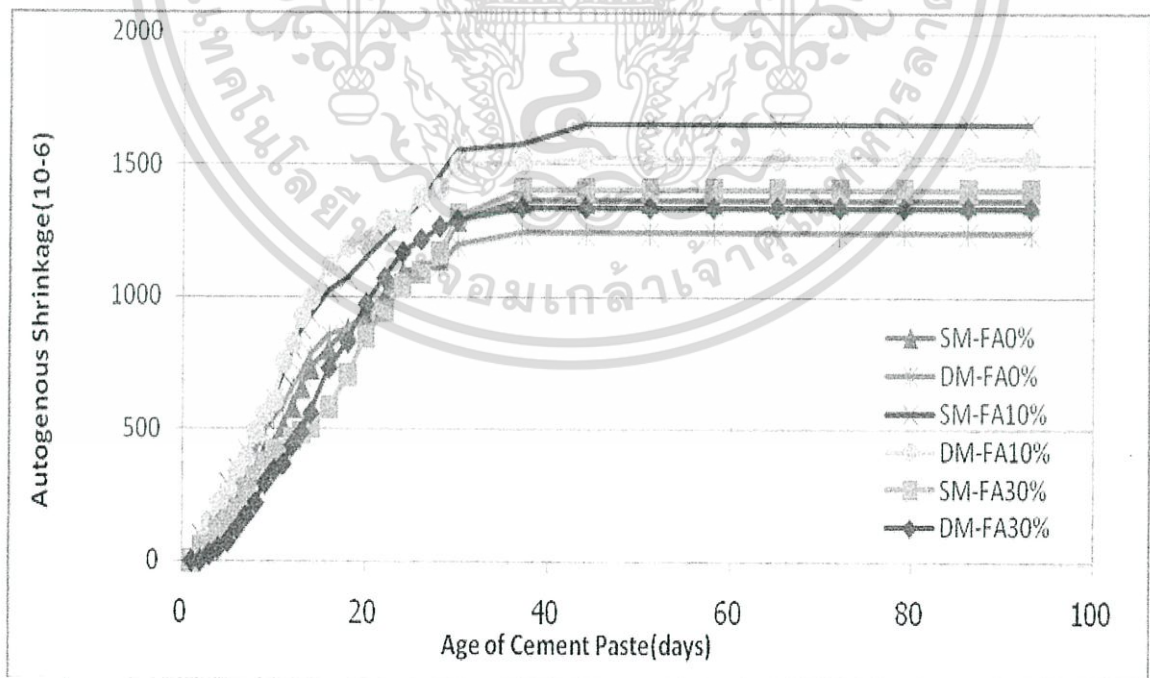
จากการทดลอง การหดตัวของซีเมนต์เพสต์ SM และ DM จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของซีเมนต์เพสต์ โดยมีค่าการหดตัวที่ใกล้เคียงกัน แต่จะมีผลเล็กน้อยที่ W/C มากขึ้น เมื่อพิจารณาไปถึงความสัมพัทธ์แล้ว การ Bleeding ในซีเมนต์เพสต์ SM จากการทดลอง ที่ผ่านมามีพบว่า ซีเมนต์เพสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SM จะมีค่า Bleeding มากกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการ DM แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการ Bleeding ที่ผิวซีเมนต์เพสต์ และอัตราการระเหยมีค่าเท่ากับการ Bleeding ปริมาตรที่น้ำระเหยออกไปทำให้ปริมาตรของซีเมนต์เพสต์ลดลงหรือมีการหดตัว

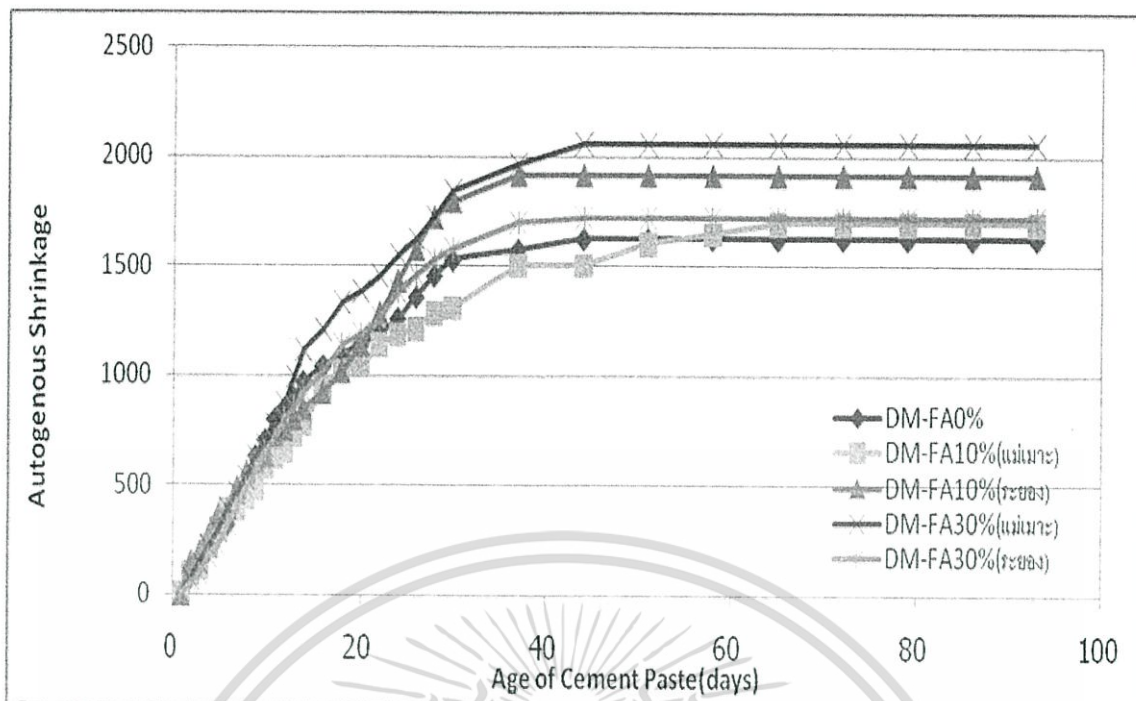


รูปที่ 4.19 แสดงค่า Autogenous Shrinkage ในซีเมนต์เพสต์ W/C 0.40 ที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งใช้ถั่วลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม

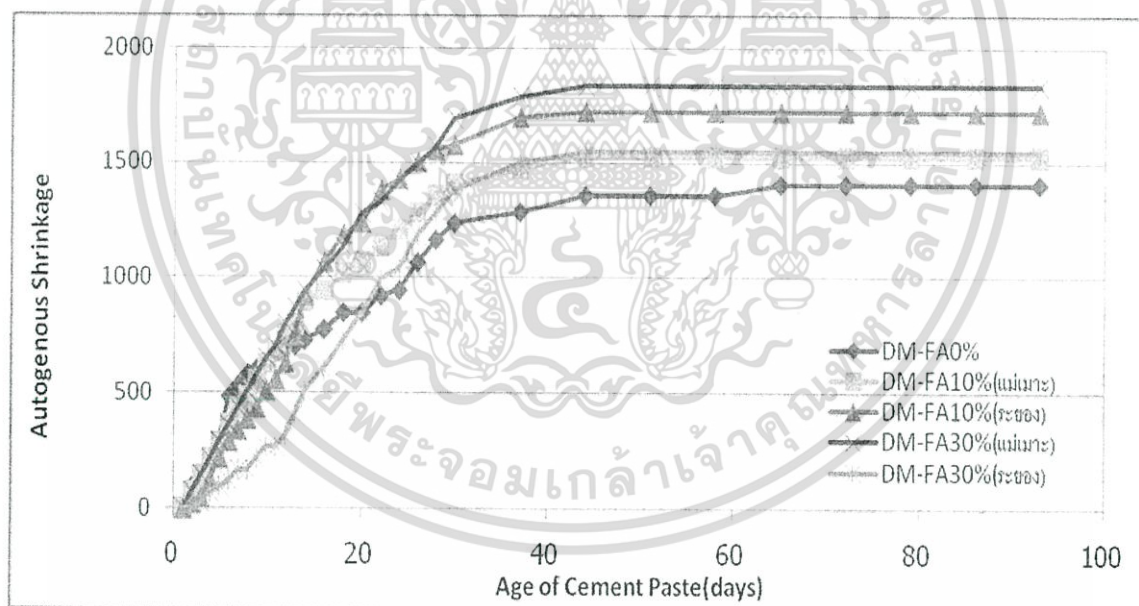


รูปที่ 4.20 แสดงค่า Autogenous Shrinkage ในซีเมนต์เพสต์ W/C 0.40 ที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งใช้ถั่วลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

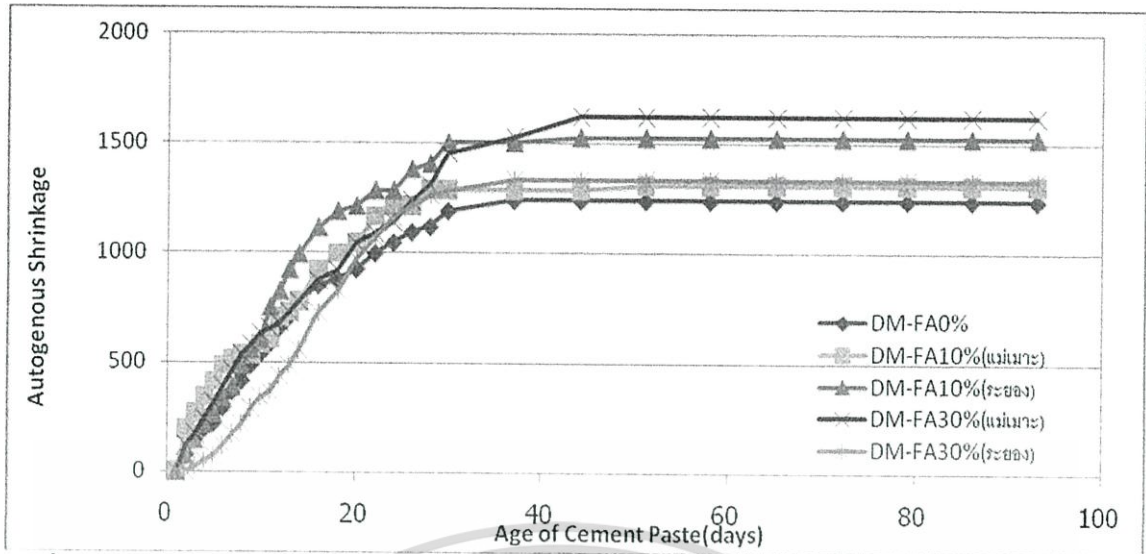


รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkage ในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.4$ ซึ่งใช้ถ้ำลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม



รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkage ในซีเมนต์เพสต์ที่ $W/C=0.5$ ซึ่งใช้ถ้ำลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



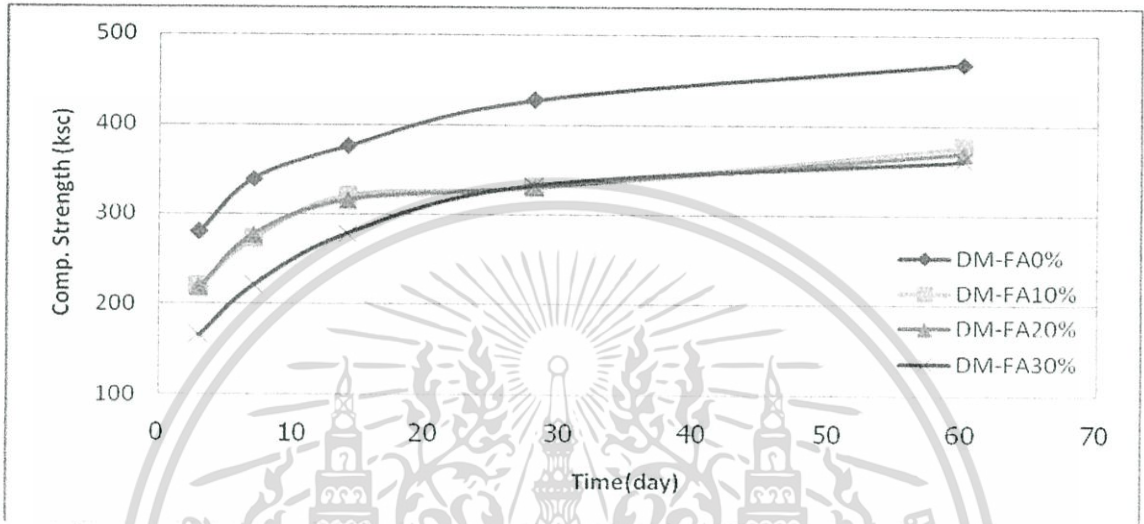
รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkage ในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.6 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นส่วนผสมเพิ่ม

จากรูปที่ 4.19-4.20 จะเห็นได้ว่าค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมทั้งสองแห่งมีการหดตัวสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ โดยอิทธิพลของเถ้าลอยที่มีผลต่อการหดตัวจะแตกต่างกัน คือซีเมนต์เพสต์ที่มีการผสมด้วยเถ้าลอยจากแม่เมาะ จะเกิดการหดตัวสูงสุดที่การแทนที่ปริมาณซีเมนต์ที่ 30% และลดหลั่นลงมาตามลำดับ ส่วนอิทธิพลเถ้าลอยจากระยองมีผลไม่แตกต่างจากเถ้าลอยจากแม่เมาะแต่ปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ที่ 10% จะเกิดการหดตัวสูงสุด ซึ่งการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนช่วยลดการหดตัวได้ดีกว่าการผสมแบบธรรมดา

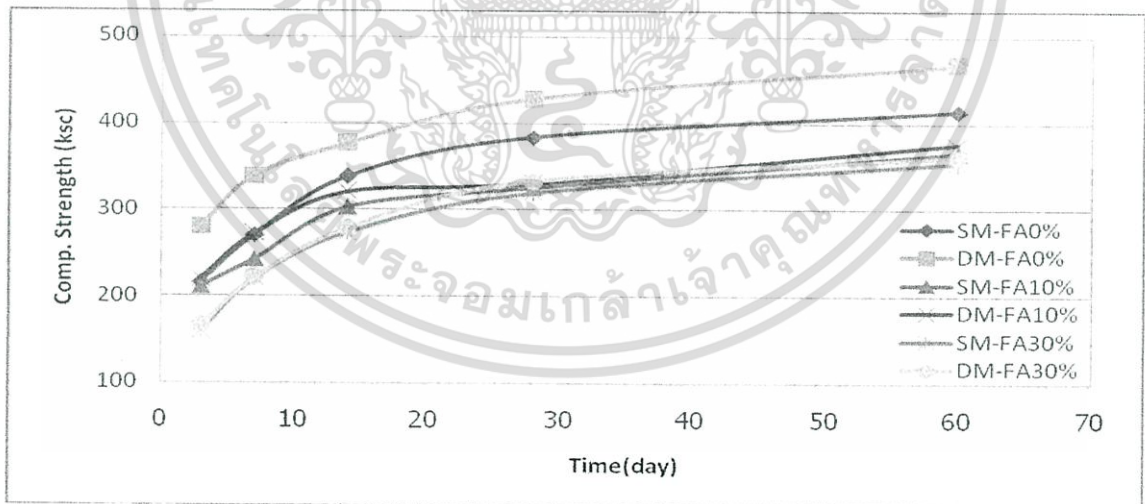
จากรูปที่ 4.21-4.23 จะเปรียบเทียบการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ตามกำหนดโดยช่วงระยะแรก การหดตัวจากสองตัวอย่างไม่แตกต่างกันมากและยังมีการหดตัวที่น้อยในระยะแรก การหดตัวจะเริ่มแตกต่างกันหลังจากวันที่ 20 เป็นต้นไป ซึ่งการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเถ้าลอยจากสองแหล่งมีแนวโน้มที่แตกต่างกัน โดยการหดตัวสูงสุดจะเกิดที่ปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ 30% ของเถ้าลอยจากแม่เมาะ แต่ความแตกต่างของการหดตัวจะมีค่าไม่ต่างกันมาก ที่ระยะเวลาช่วงปลายการทดสอบ ถ้าพิจารณาที่การแทนที่ซีเมนต์เดียวกันจะเห็นได้ว่าที่ 10% ซีเมนต์เพสต์ที่มีเถ้าลอยจากระยองเป็นส่วนผสมจะหดตัวสูงกว่าตัวอย่างที่มีเถ้าลอยจากแม่เมาะ และที่การแทนที่ 30% เถ้าลอยจากแม่เมาะจะส่งผลให้การหดตัวของซีเมนต์เพสต์สูงกว่าเถ้าลอยจากระยอง

4.1.4 ความสามารถในการรับกำลังอัด (Compressive strength)

การทดสอบกำลังรับแรงอัด จะเป็นการบ่งบอกถึงความสามารถในการรับแรงของซีเมนต์เพสต์ โดยการผสมซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ย่อมเกิดผลต่างของกำลังรับแรงอัดอย่างแน่นอน โดยขณะการผสมและเทลงแบบหล่อซีเมนต์เพสต์ที่มีการเขี่ยน้ำและการหดตัวสูง จะส่งผลให้รูปร่างของตัวอย่างทดสอบเปลี่ยนไปและเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดต่ำลง



รูปที่ 4.24 แสดงค่า Comp. strength ในซีเมนต์เพสต์ W/C = 0.5 ที่ผสมแบบ DM ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม

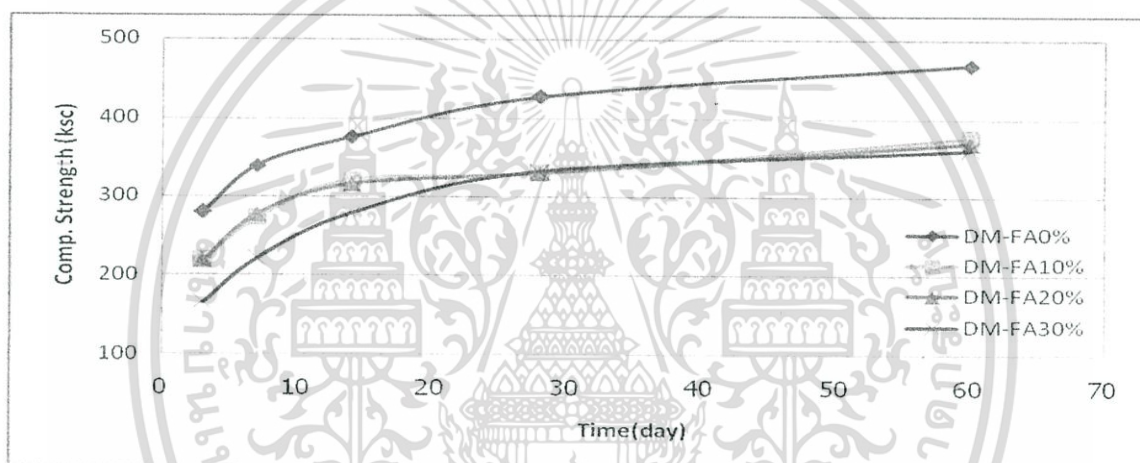


รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบ Comp. strength ในซีเมนต์เพสต์ W/C = 0.5 ที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม

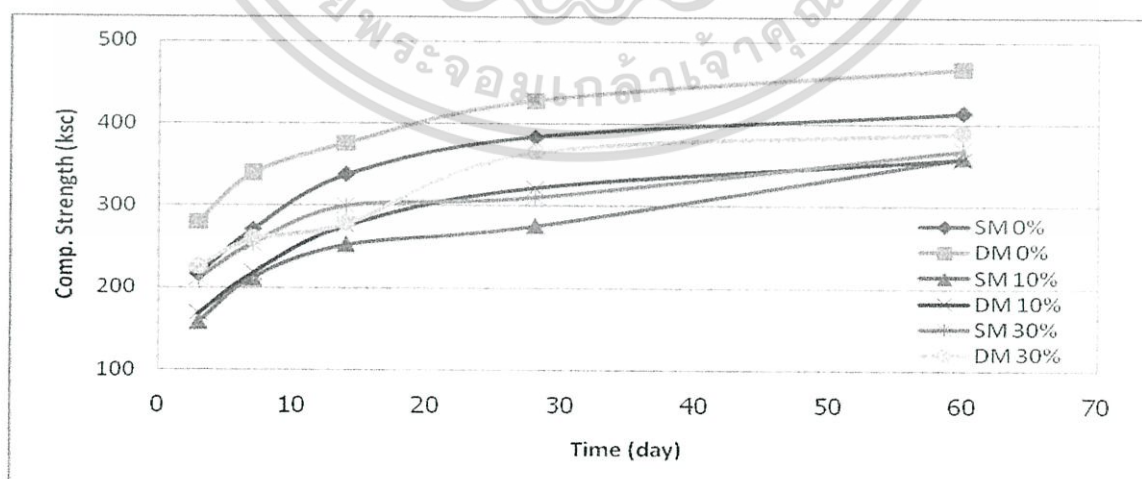
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.24 เมื่อมีการใส่เถ้าลอยของแม่เมาะเพิ่มขึ้น จะทำให้ความสามารถในการรับกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์มีค่าลดน้อยลง และในระยะแรก จะมีการพัฒนาความสามารถในการรับแรงอัดขึ้น เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆ แต่ความสามารถในการรับแรงอัดในระยะหลังมีค่าต่ำกว่าซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ผสมเถ้าลอย จากการศึกษพบว่าหากทำการบ่มขึ้นให้นานกว่าปกติ กำลังรับแรงอัดจะมีค่าเท่ากันหรือมากกว่า ซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ผสมเถ้าลอย

จากรูปที่ 4.25 เป็นการเปรียบเทียบซีเมนต์เพสต์ที่ทำการผสมแบบ SM และ DM จะเห็นได้ว่าการผสมแบบ DM จะมีอัตราการเพิ่มความสามารถในการรับกำลังอัดไม่ต่างจากการผสมแบบ SM แต่ในระยะหลังค่าความสามารถในการรับกำลังอัดของการผสมแบบ DM จะสูงกว่าการผสมแบบ SM แต่อย่างไรก็ตามการผสมแบบ SM และ DM โดยใช้เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ จะส่งผลให้ความสามารถในการรับกำลังอัดลดลง จาก การผสมซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ใช้เถ้าลอย



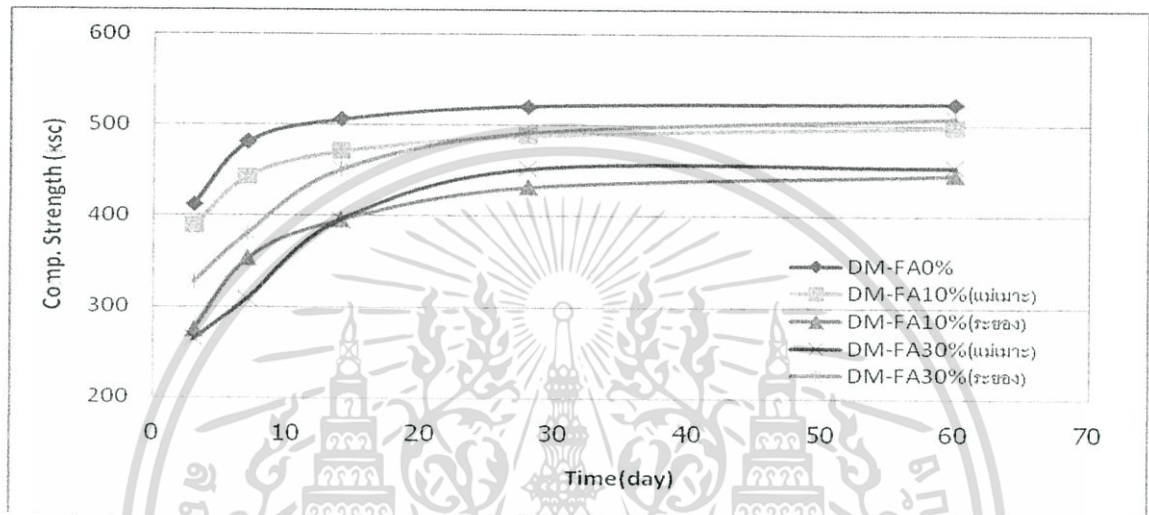
รูปที่ 4.26 แสดงค่า Comp. strength ในซีเมนต์เพสต์ $W/C = 0.5$ ที่ผสมแบบ DM ซึ่งมีเถ้าลอยจากระยะของเป็นสารผสมเพิ่ม



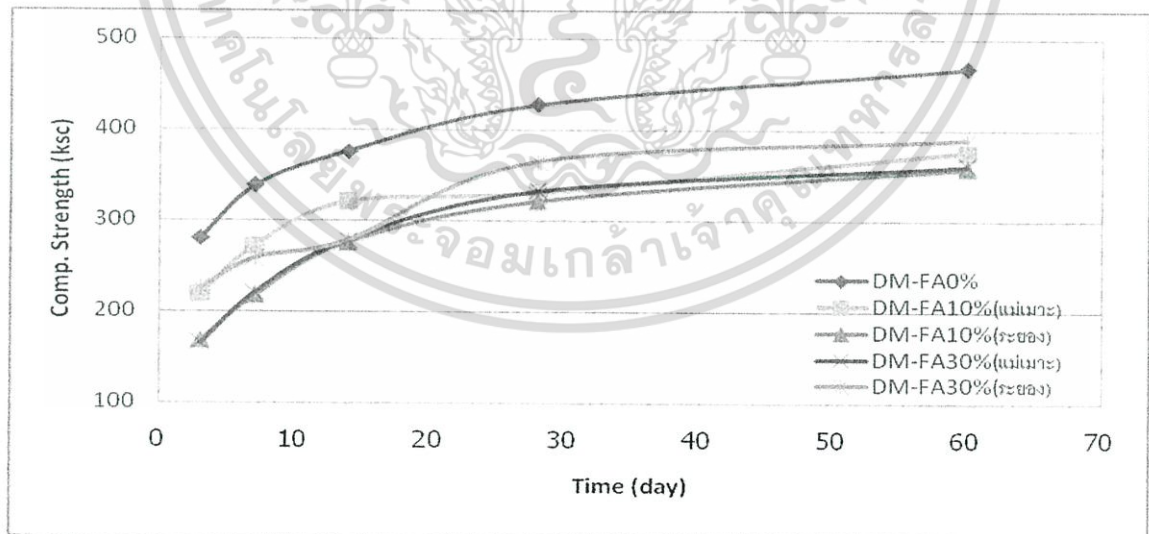
รูปที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบ Comp strength ในซีเมนต์เพสต์ $W/C = 0.5$ ที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งมีเถ้าลอยจากระยะของเป็นสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอิทธิพลของเถ้าลอยจากระยะของที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงอัด เมื่อนำไปผสมกับซีเมนต์เพสต์แล้วจะทำให้ความสามารถในการรับกำลังอัดลดลง แต่เมื่อผสมเถ้าลอยในปริมาณที่มากขึ้นก็จะทำให้ความสามารถในการรับกำลังอัดเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูป 4.26 และการผสมซีเมนต์เพสต์แบบ DM ก็ยังคงช่วยให้ความสามารถในการรับกำลังอัดเพิ่มมากขึ้น ในอัตราส่วนผสมต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.27 และในอัตราส่วน W/C อื่นๆ ความสามารถในการรับกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม ก็มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับตัวอย่างที่นำมาแสดง

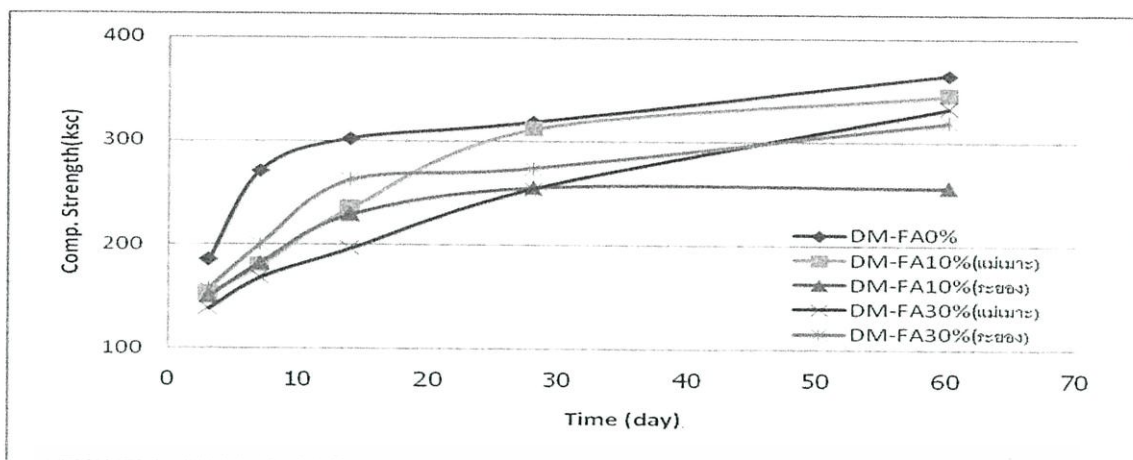


รูปที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบค่า Compressive strength ในซีเมนต์เพสต์ W/C = 0.4 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม



รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบค่า Compressive strength ในซีเมนต์เพสต์ W/C = 0.5 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

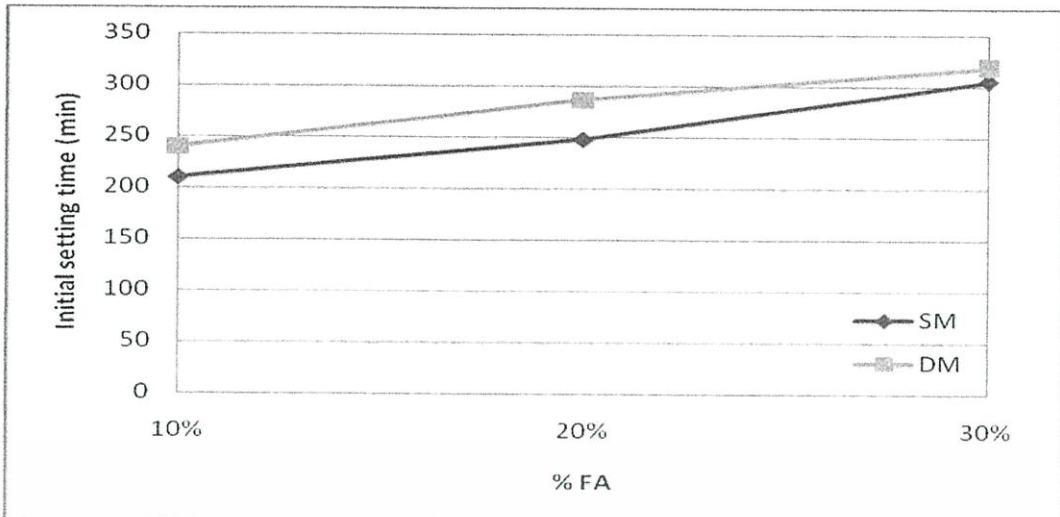


รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่า Compressive strength ในซีเมนต์เพสต์ W/C = 0.6 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นส่วนผสมเพิ่ม

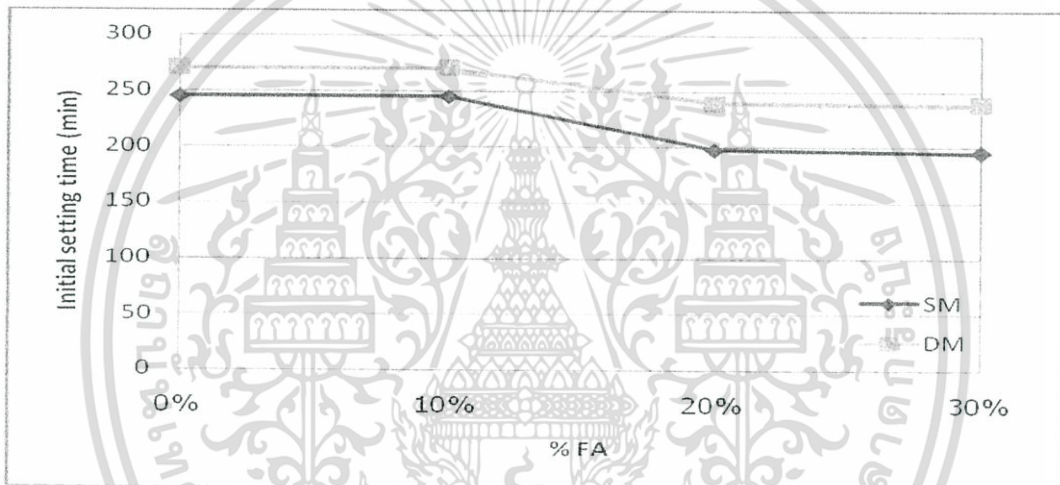
รูปที่ 4.28-4.30 แสดงให้เห็นว่า เถ้าลอยจากสองแหล่งมีผลต่อการรับแรงอัด ในแนวโน้มที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ที่ปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ 10% ของเถ้าลอยจากแม่เมาะจะมีค่าใกล้เคียงกันกับตัวอย่างที่มีการผสมเถ้าลอยจากระยองที่การแทนที่ 30% โดยค่ากำลังรับแรงอัดจะเห็นได้แตกต่างในช่วงเวลา 20 วันแรกหลังจากการผสม และจะมีค่าใกล้เคียงกันในระยะหลัง ซึ่งความสามารถในการรับแรงอัดนี้เป็นผลที่เกิดจากปัจจัยของตัวอย่างในหลายๆด้าน กล่าวคือ การเข้มน้ำ การหดตัว จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัตินี้ได้ จากการใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสม เพื่อเพิ่มกำลังรับแรงอัดอาจไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากความสามารถของกำลังรับแรงอัด จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และจะมีค่าต่ำกว่าการผสมแบบไม่มีเถ้าลอยผสมเพิ่ม และเมื่อพิจารณาที่กำลังรับแรงอัดสูงสุดจากการทดสอบ ยังมีค่าน้อยกว่าการผสมแบบธรรมดา จากการทดลองเถ้าลอยจากระยองที่การแทนที่ 30% จะมีค่าการรับแรงอัดสูงสุด

4.1.5 ค่าการก่อตัวเริ่มต้น (Initial setting time)

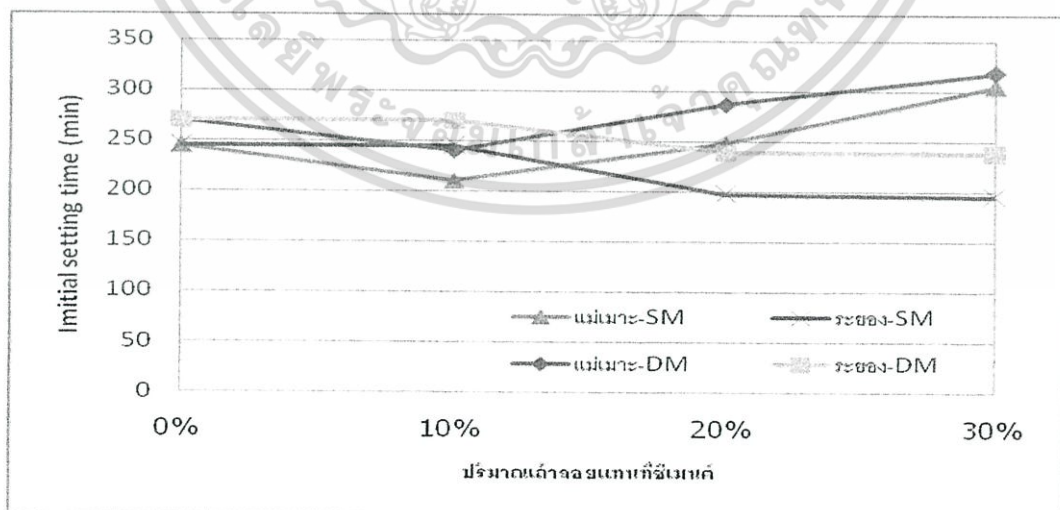
การทดสอบนี้จะทดสอบที่อัตรา W/C 0.4 และปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ตามกำหนด การทดสอบนี้ จะทดสอบเพื่อตรวจสอบถึงอิทธิพลของเถ้าลอย ที่มีผลต่อคุณสมบัติในการหน่วงเวลาการก่อตัวของตัวอย่างทดสอบ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งเมื่อทราบเวลาการก่อตัว เมื่อต้องปฏิบัติงานที่ต้องใช้เวลานานในการทำงาน และยังสามารถใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่ต้องการให้ก่อตัวช้ากว่าปกติ หากไม่มีการหน่วงก่อตัวอาจส่งผลเสียต่อการทำงานได้ ซึ่งจะทำให้เปลืองงบประมาณและเสียเวลางานได้



รูปที่ 4.31 แสดงค่า Initial setting time ในซีเมนต์เพสต์ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม



รูปที่ 4.32 แสดงค่า Initial setting time ในซีเมนต์เพสต์ซึ่งมีเถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม



รูปที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบค่า Initial setting time ในซีเมนต์เพสต์ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะ และระยองเป็นสารผสมเพิ่ม

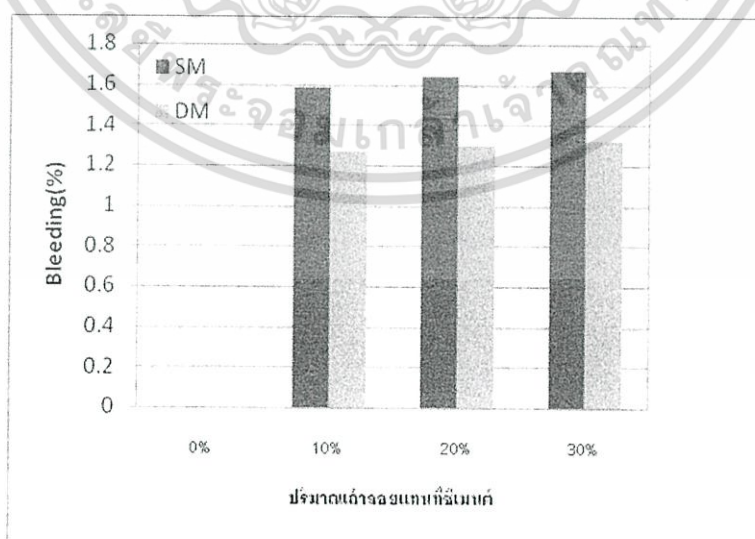
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.31-4.33 แสดงให้เห็นว่า การผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน จะเพิ่มระยะเวลาในการก่อตัวได้ดีกว่าการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นหนึ่งส่วน สำหรับการหน่วงการก่อตัวเด็ลลอยจากแม่เมาะ จะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าและมีค่าสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ที่ไม่มีเด็ลลอยเป็นส่วนผสม ในทุกอัตราส่วน โดยเด็ลลอยจากกระของจะส่งผลให้การก่อตัวเกิดขึ้น ซึ่งจะไม่เป็นประโยชน์ เมื่อใช้เด็ลลอยจากกระของเป็นส่วนผสมในอัตราแทนที่ซีเมนต์ที่ทดสอบ

4.2 ผลการทดลองในส่วนของคอนกรีต

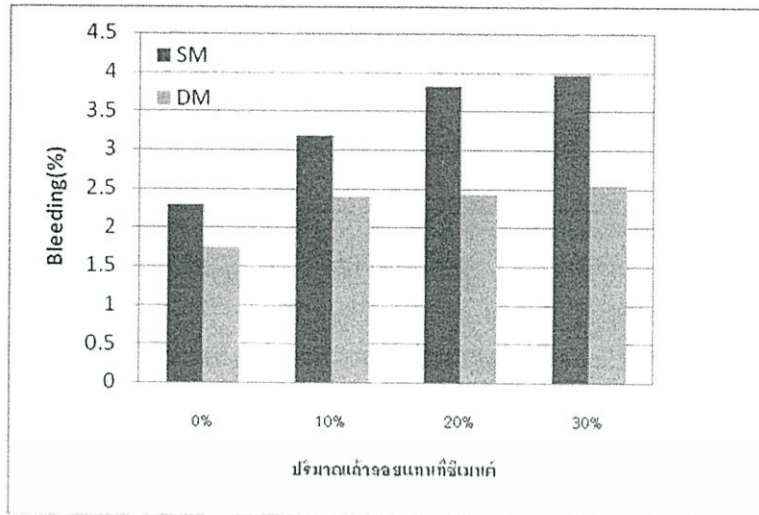
4.2.1 การทดสอบการเยิ้มน้ำ (Bleeding)

พบว่าการเยิ้มน้ำของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป การผสมแบบ DM สามารถช่วยลดการเยิ้มน้ำได้ โดยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองในส่วนของซีเมนต์เพสต์ ทั้งแบบผสมเด็ลลอยจากแม่เมาะและแบบผสมเด็ลลอยจากกระของ แต่การเยิ้มน้ำที่เกิดขึ้นในคอนกรีต จะมีอัตราการเยิ้มน้ำน้อยกว่าที่เกิดในซีเมนต์เพสต์ เนื่องจากว่าในคอนกรีต สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนหลักๆ คือ ส่วนที่เป็นซีเมนต์และส่วนที่เป็นมวลรวม เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตในปริมาตรที่เท่ากันก็จะพบว่า ปริมาณของซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในคอนกรีต จะมีปริมาณที่น้อยกว่าเพราะมีการแทนที่ของมวลรวมอยู่ในส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งผลดีของการเยิ้มน้ำจะเกิดขึ้นกับซีเมนต์เป็นหลัก ดังนั้นเกิดเยิ้มน้ำในคอนกรีต จึงมีในปริมาณที่ต่ำกว่าในซีเมนต์เพสต์ ด้วยวิธีการผสมแบบ DM สามารถลดการเกิด Bleeding ในคอนกรีตที่มีเด็ลลอยเป็นส่วนผสมได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.34 - 4.39 โดยคอนกรีตที่ไม่ผสมเด็ลลอยและผสมเด็ลลอยจากกระของ 30% ที่ W/C = 0.4 ไม่มีการเยิ้มน้ำเกิดขึ้น



รูปที่ 4.34 แสดงค่าการเยิ้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.4 ซึ่งใช้เด็ลลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม

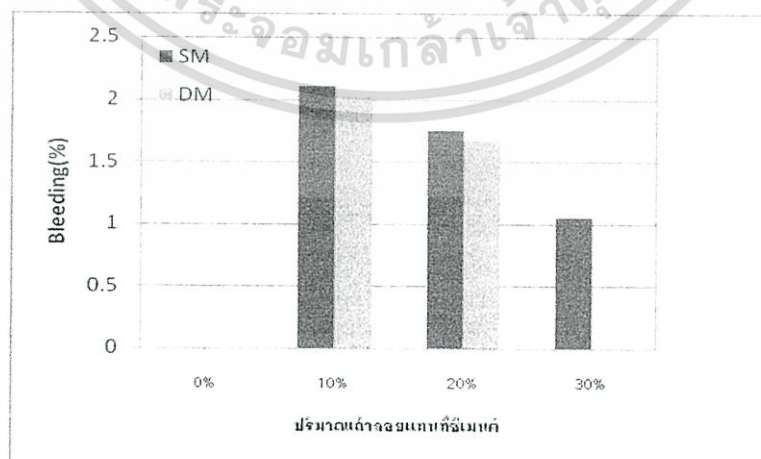
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 แสดงค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.5 ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม

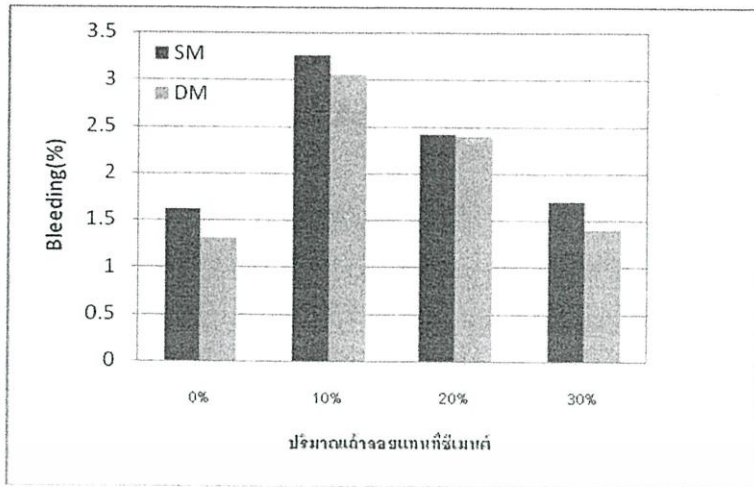


รูปที่ 4.36 แสดงค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.6 ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม



รูปที่ 4.37 แสดงค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.4 ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม

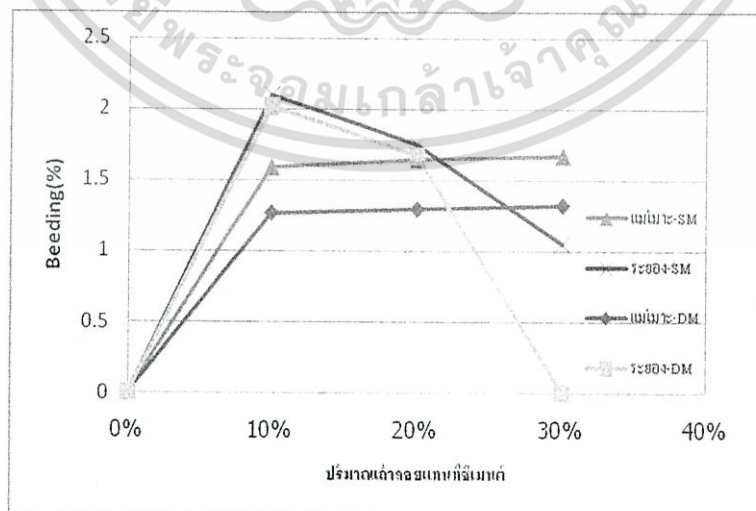
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 แสดงค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.5 ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยะของเป็นสารผสมเพิ่ม



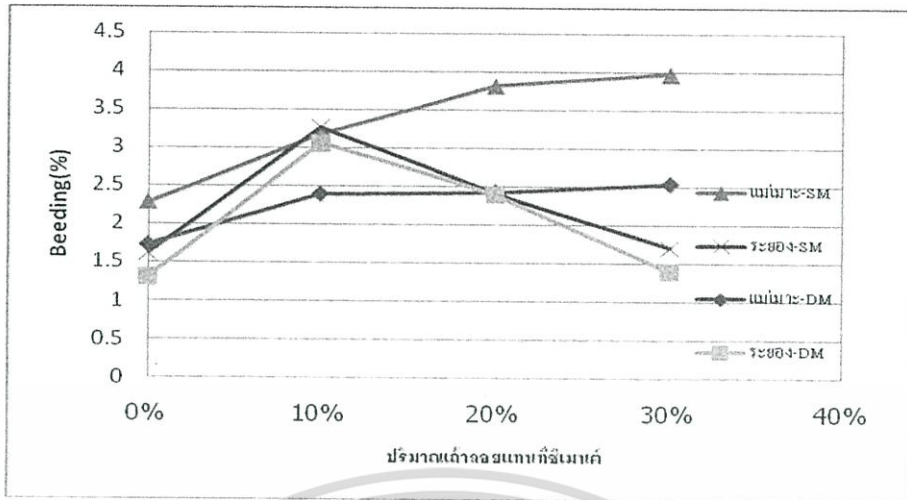
รูปที่ 4.39 แสดงค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.6 ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยะของเป็นสารผสมเพิ่ม



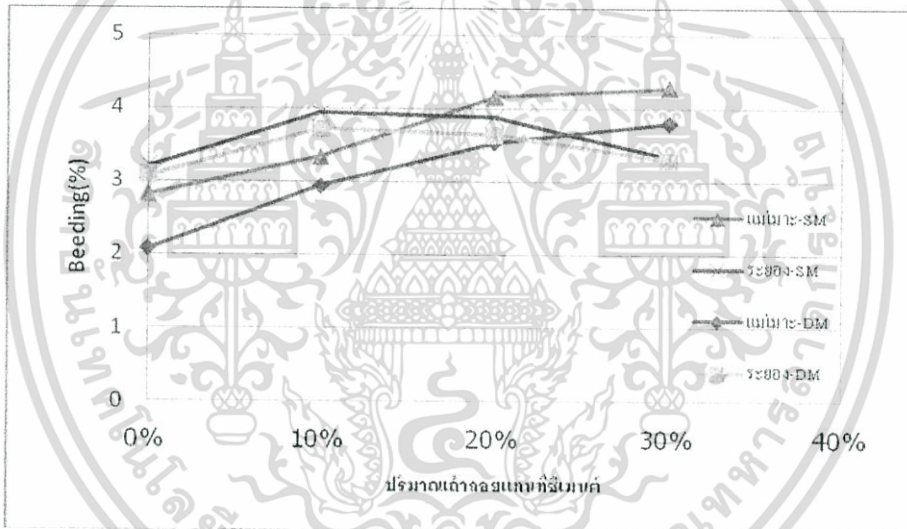
รูปที่ 4.40 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.4 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยงเป็นสารผสมเพิ่ม



รูปที่ 4.41 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.5 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยงเป็นสารผสมเพิ่ม



รูปที่ 4.42 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเข้มน้ำในคอนกรีตที่ W/C=0.6 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะและระยงเป็นสารผสมเพิ่ม

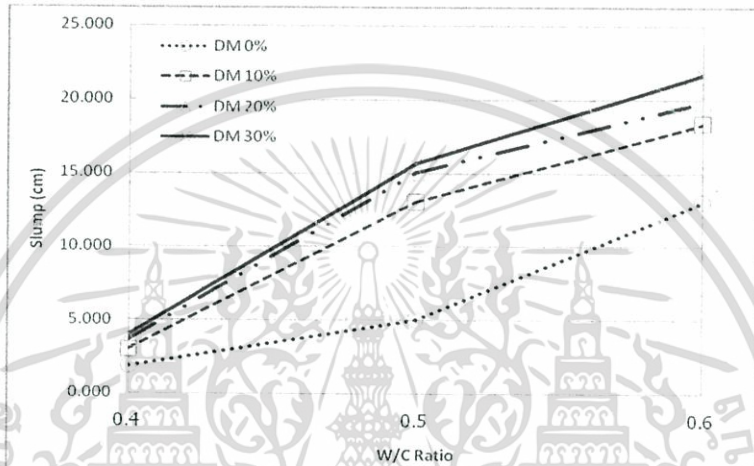
การเข้มน้ำที่เกิดขึ้นในคอนกรีต เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการผสมโดยใช้เถ้าลอยจากสองแหล่งจะทำให้ทราบถึงอิทธิพลของเถ้าลอยต่อการเข้มน้ำของคอนกรีต ที่ W/C 0.4 จะเกิดความแตกต่างของการเข้มน้ำอย่างชัดเจนที่ปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ต่างๆ และที่ W/C 0.5, 0.6 จะเกิดการเข้มน้ำที่ไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเส้นกราฟแล้วจะเห็นได้ว่า เส้นกราฟของคอนกรีตที่มีเถ้าลอยจากระยงจะมีความชันของเส้นสูงกว่าเส้นกราฟของคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะ โดยเส้นกราฟจะเห็นต่างกันอย่างชัดเจนที่อัตรา W/C 0.4 และ 0.5 จะเห็นผลเพียงเล็กน้อยที่ W/C 0.6 หมายความว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

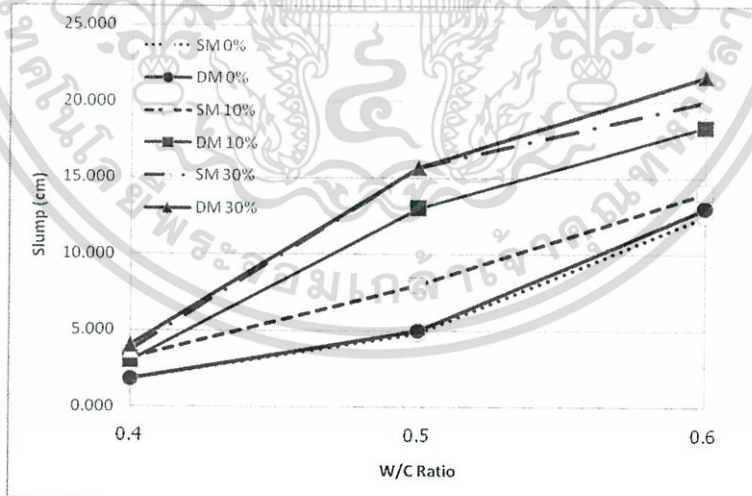
ความชันของเส้นกราฟจะบ่งบอกถึงผลต่างของการเข้มน้ำที่อัตราทดแทนที่ซีเมนต์ต่างๆ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าการเข้มน้ำมีค่าสูงขึ้นด้วยคังรูปที่ 4.40-4.42

4.2.2 การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump test)

ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด จะบ่งบอกถึงความสามารถในการทำงานซึ่งจะหมายถึง ความสะดวกในการเทคอนกรีตเข้าสู่แบบหล่อและช่วยลดระยะเวลาในการทำงานได้ โดยการทดสอบนี้จะใช้เก้าอี้ลอกจากสองแหล่งในการแทนที่ปริมาณซีเมนต์ตามที่กำหนด ซึ่งค่าการยุบตัวที่เป็นมาตรฐานของงานคอนกรีตมีค่าอยู่ระหว่าง 2-10 เซนติเมตร



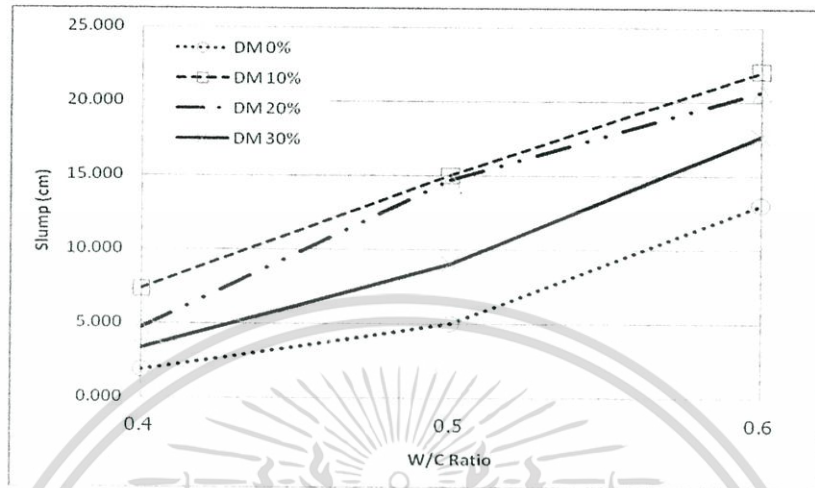
รูปที่ 4.43 แสดงค่าการยุบตัวในคอนกรีตที่ผสมแบบ DM ซึ่งใช้เก้าอี้ลอกจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม



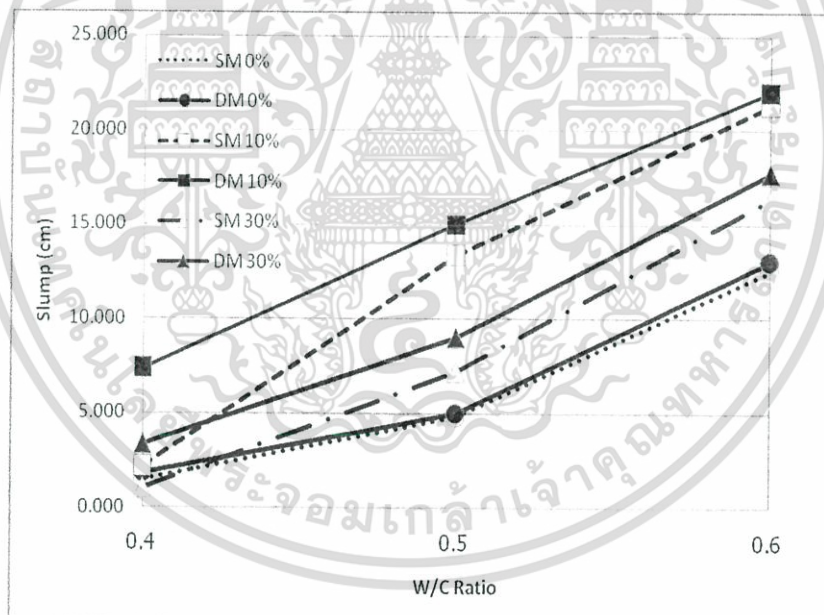
รูปที่ 4.44 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในคอนกรีตที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งใช้เก้าอี้ลอกจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม

จากรูปที่ 4.43 และ 4.44 เป็นกราฟแสดงการยุบตัวของคอนกรีตสดที่มีเก้าอี้ลอกจากแม่เมาะเป็นส่วนผสม จะเห็นได้ว่าค่าการยุบตัวที่ W/C 0.4 เป็นช่วงเดียวที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานซึ่งแสดงให้เห็นว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใส่เถ้าลอยจะส่งผลให้ค่าการยุบตัวดีขึ้น แต่จะเกิดค่าการยุบตัวสูงที่ W/C 0.5, 0.6 โดยแนวโน้มการยุบตัวจากการแทนที่ซีเมนต์ที่ 30% จะส่งผลให้เกิดการยุบตัวสูงสุดและลดลงตามลำดับ และการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนจะช่วยให้การยุบตัวที่ดีขึ้น

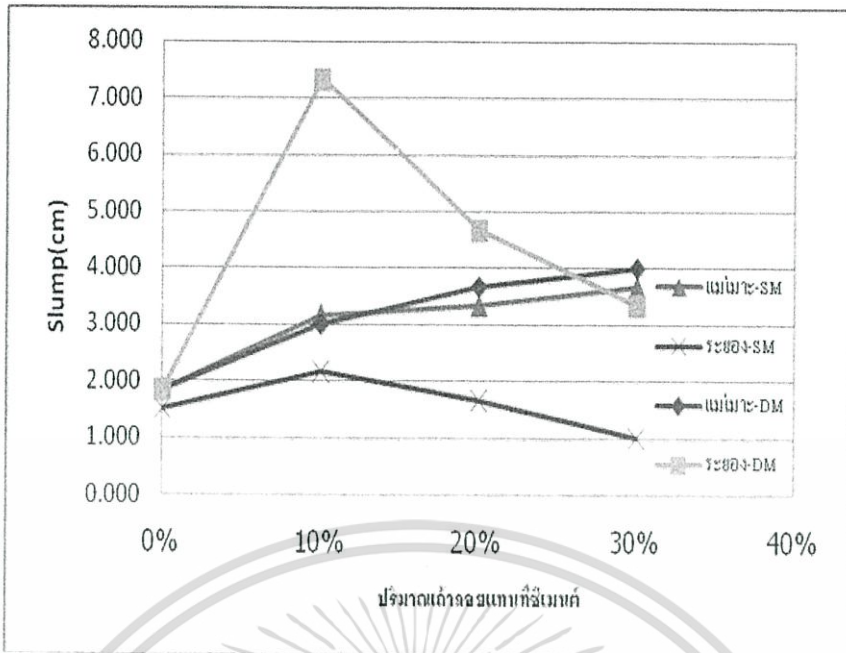


รูปที่ 4.45 แสดงค่าการยุบตัวในคอนกรีตที่ผสมแบบ DM ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยะของเป็นสารผสมเพิ่ม

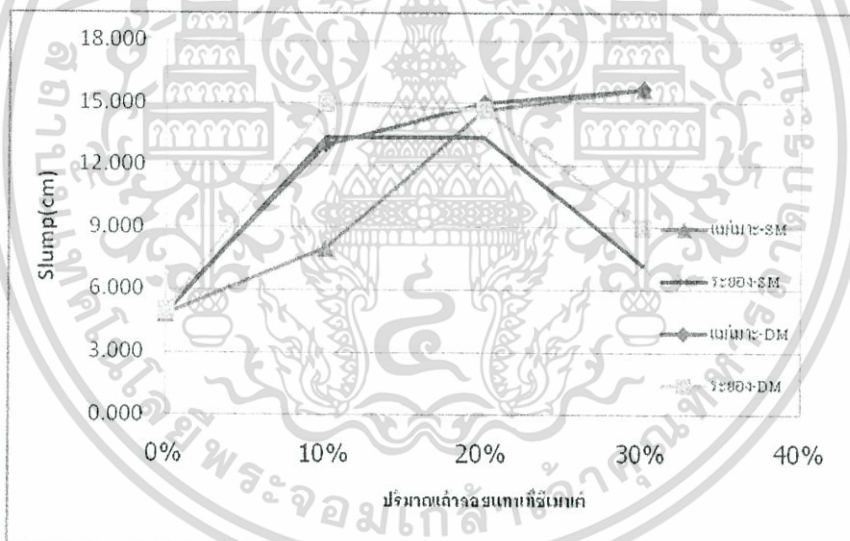


รูปที่ 4.46 การเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในคอนกรีตที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยะของเป็นสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

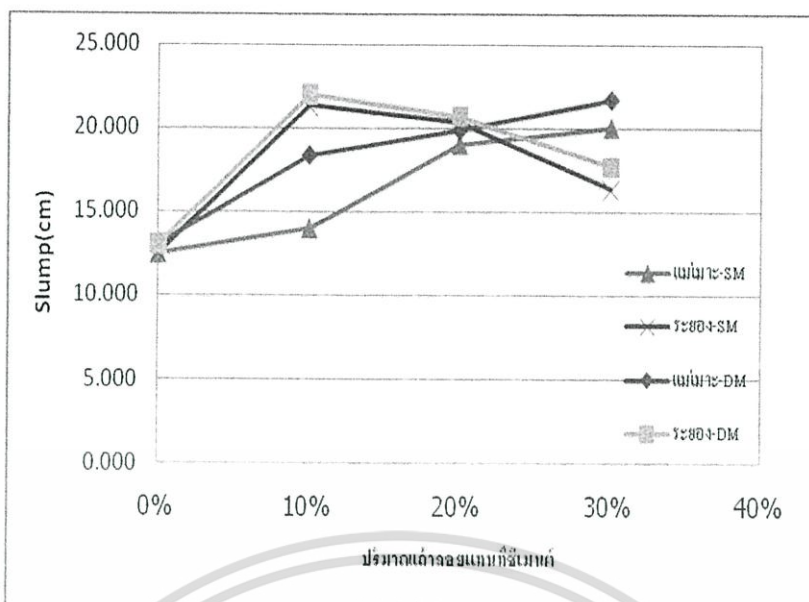


รูปที่ 4.47 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในคอนกรีตที่ $W/C=0.4$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม



รูปที่ 4.48 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในคอนกรีตที่ $W/C=0.5$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



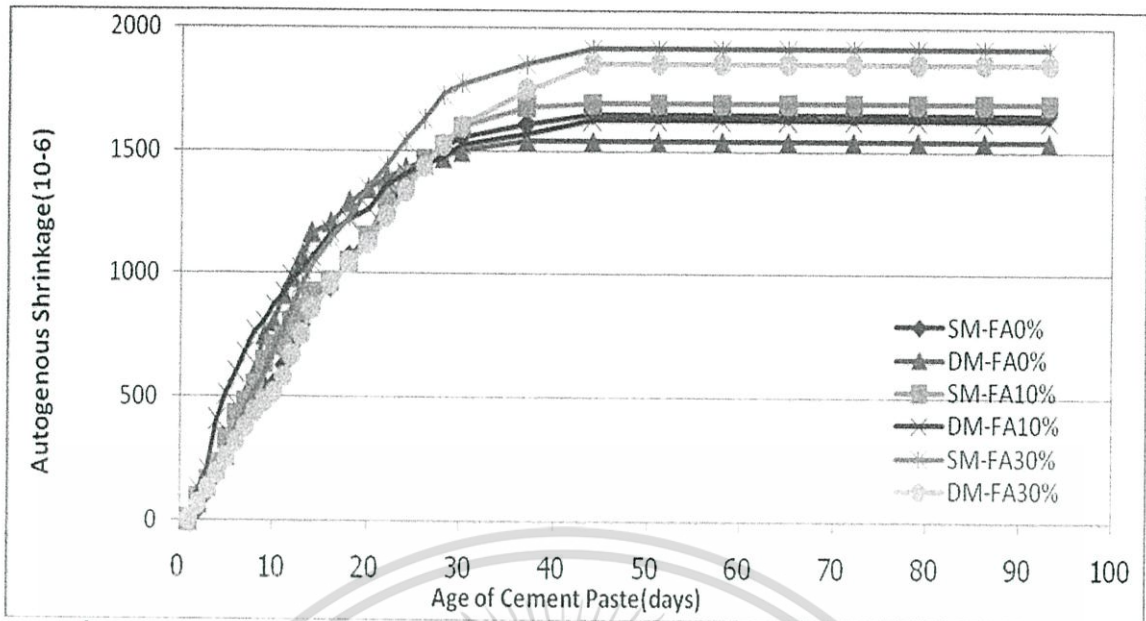
รูปที่ 4.49 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในคอนกรีตที่ $W/C=0.6$ ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะและระยองเป็นสารผสมเพิ่ม

จากรูปที่ 4.45 และ 4.46 เป็นกราฟแสดงการยุบตัวของคอนกรีตสดที่มีเถ้าลอยจากระยองเป็นส่วนผสม แนวโน้มเดียวกับผลจากแม่เมาะ แต่ที่ 10% จะเกิดการยุบตัวสูงสุด

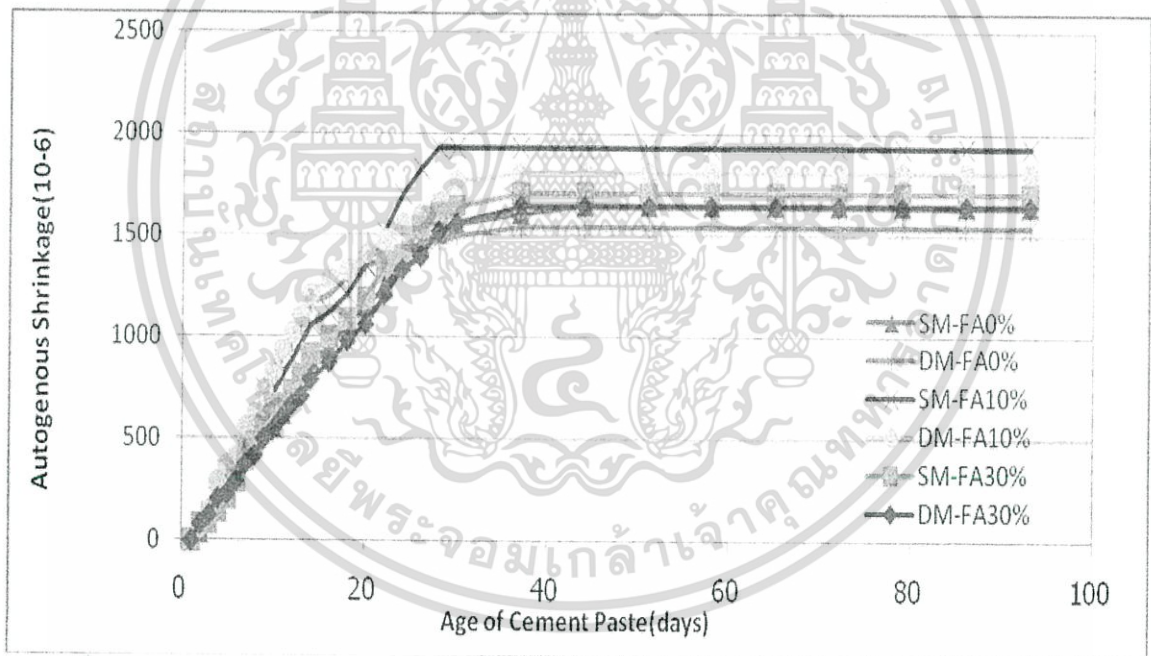
จากรูปที่ 4.47-4.49 เมื่อเปรียบเทียบแล้วเถ้าลอยจากระยองจะเกิดการยุบตัวที่สูงกว่าซึ่งอยู่ในช่วงมาตรฐานที่ W/C 0.4 ซึ่งจะสามารถทำงานได้สะดวกกว่าในการใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะ ส่วนที่ W/C 0.5, 0.6 จะเกิดการยุบตัวเกินค่ากำหนด และผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน

4.2.3 การทดสอบหาค่าการหดตัวของคอนกรีต (Shrinkage)

การหดตัวของคอนกรีตคือ เป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการรับกำลังอัดของคอนกรีต โดยการหดตัวที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากน้ำส่วนเกินที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา ออกมาในลักษณะของการเย็นน้ำ ซึ่งน้ำส่วนนี้จะระเหยสู่บรรยากาศและเกิดการหดตัวในที่สุด และที่บริเวณผิวหน้าของคอนกรีตทดสอบจะเกิดเป็นฟูนทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาให้เกิดการหดตัวที่น้อยที่สุดเมื่อใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสม



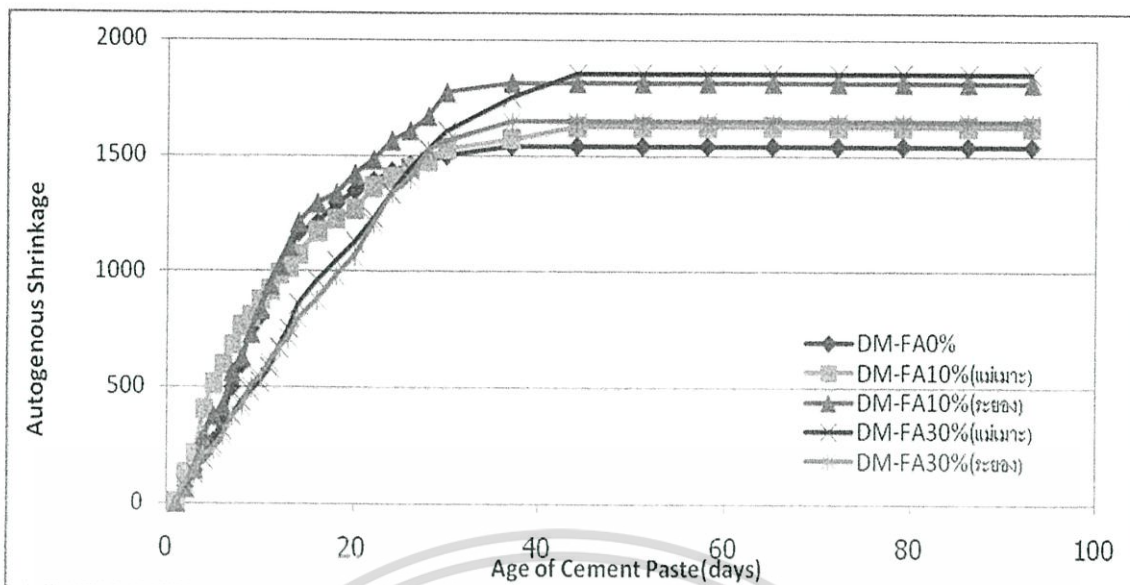
รูปที่ 4.50 แสดงค่า Autogenous Shrinkage ในคอนกรีต W/C 0.40 ที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม



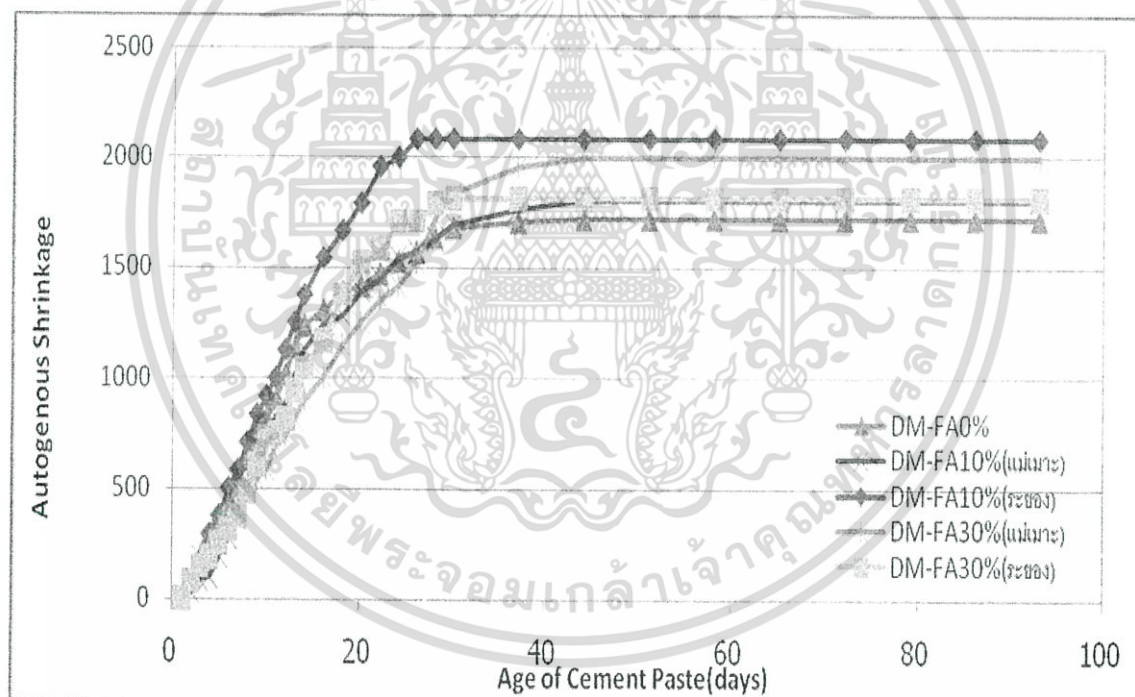
รูปที่ 4.51 แสดงค่า Autogenous Shrinkage ในคอนกรีต W/C 0.40 ที่ผสมแบบ SM และ DM ซึ่งใช้เถ้าลอยจากระยองเป็นสารผสมเพิ่ม

เถ้าลอยจากสองแหล่ง จะส่งผลต่อการหดตัวของตัวอย่างคอนกรีตทดสอบไม่แตกต่างจากการทดสอบซีเมนต์เพสต์ โดยปกติแล้วการหดตัวของคอนกรีตจะมีค่าน้อยกว่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ เพราะจะเกิดน้ำส่วนเกินที่น้อยกว่า เมื่อพิจารณาที่ปริมาตรเดียวกัน ซึ่งผลจากการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะ และระยอง ดังแสดงในกราฟ 4.50 และ 4.51 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

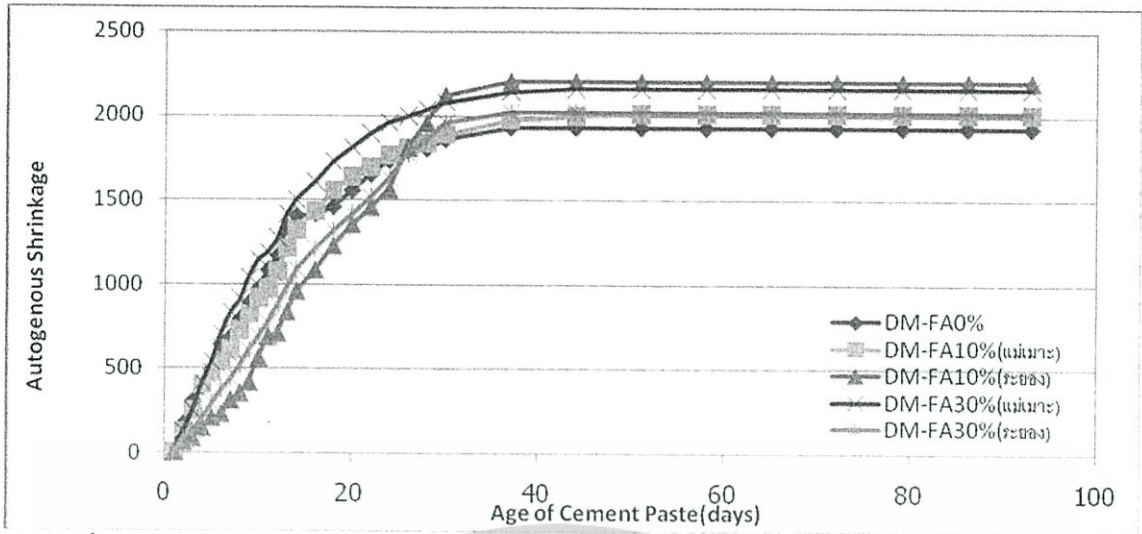


รูปที่ 4.52 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkage ในคอนกรีตที่ W/C=0.4 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะ และระยองเป็นสารผสมเพิ่ม



รูปที่ 4.53 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkage ในคอนกรีตที่ W/C=0.5 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะ และระยองเป็นสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.54 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkage ในคอนกรีตที่ W/C=0.6 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะ และระยองเป็นส่วนผสมเพิ่ม

จากรูปที่ 4.52-4.54 จะเปรียบเทียบการหดตัวของคอนกรีตที่อัตราส่วนผสมต่างๆตามกำหนด โดยช่วงระยะแรก การหดตัวจากสองตัวอย่างไม่แตกต่างกันมาก เส้นกราฟมีลักษณะตัดสลับกันไปมา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการหดตัวช่วงนี้มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ไม่แน่นอน และยังเกิดการหดตัวน้อย การหดตัวจะเริ่มแตกต่างกันหลังจากวันที่ 20 เป็นต้นไป ซึ่งการหดตัวของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยจากสองแหล่งมีแนวโน้มที่แตกต่างกัน โดยการหดตัวสูงสุดจะเกิดที่ปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ 30% ของเถ้าลอยจากแม่เมาะที่ W/C 0.4 และการหดตัวสูงสุดจะเกิดที่ปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ 10% ของเถ้าลอยจากระยองที่ W/C 0.5, 0.6 แต่ความแตกต่างของการหดตัวจะมีค่าไม่ต่างกันมากนัก ระยะเวลาช่วงปลายการทดสอบ ถ้าพิจารณาที่การแทนที่ซีเมนต์เดียวกันจะเห็นได้ว่าที่ 10% คอนกรีตที่มีเถ้าลอยจากระยองเป็นส่วนผสมจะหดตัวสูงกว่าตัวอย่างที่มีเถ้าลอยจากแม่เมาะ และที่การแทนที่ 30% เถ้าลอยจากแม่เมาะจะส่งผลให้การหดตัวของคอนกรีตสูงกว่าเถ้าลอยจากระยอง

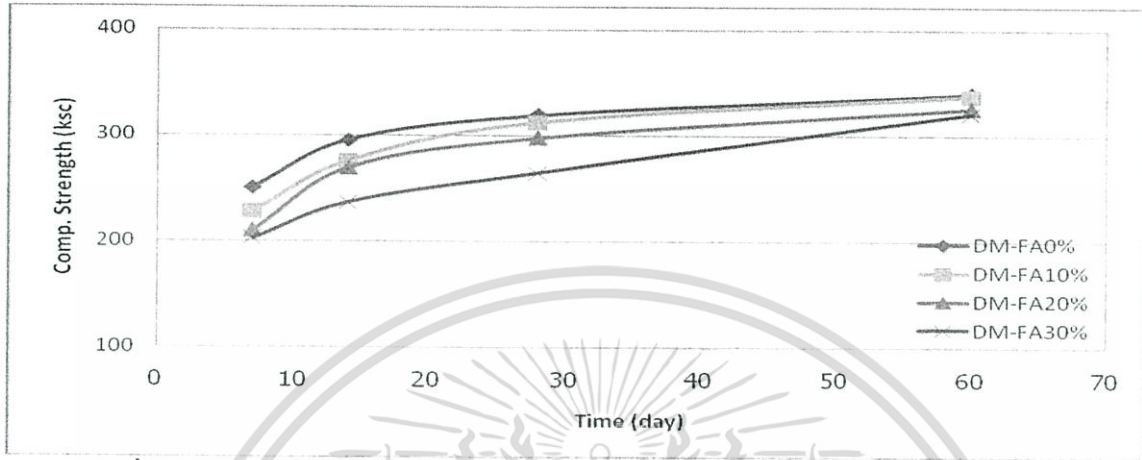
4.2.4 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

จากการทดลองพบว่ากำลังอัดของคอนกรีต ที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยจากแม่เมาะ และเถ้าลอยจากระยองที่อายุ 7, 14, 28 และ 60 วัน มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์

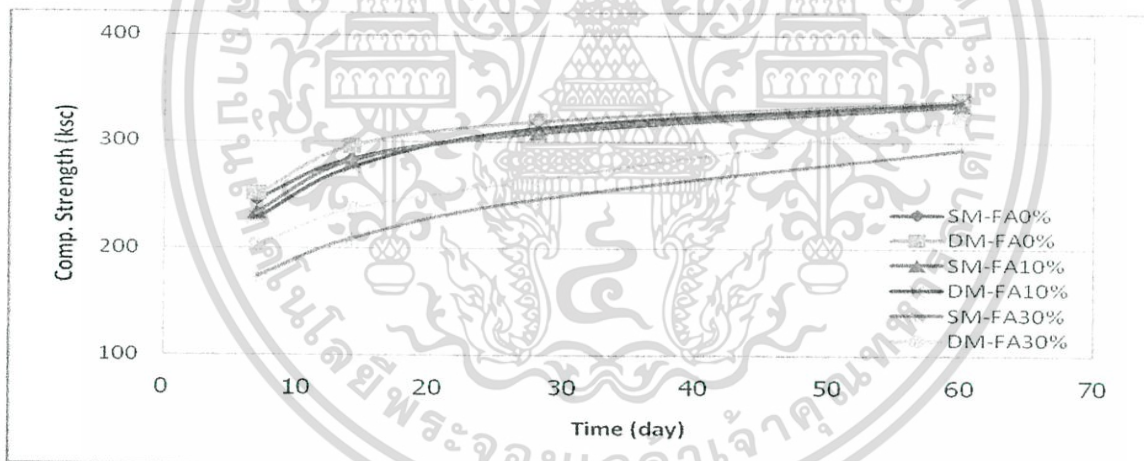
ดังรูปที่ 4.55 และ 4.56 ถ้าพิจารณาระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดในคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบ DM กับคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสมเพิ่ม พบว่า DM สามารถพัฒนากำลังอัดในคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ได้ดีกว่าโดยไม่ต้องเติมเถ้าลอยผสมเพิ่มลงในส่วนผสมเลย โดยกำลังอัดในระยะแรกนั้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออายุของคอนกรีตมากขึ้น กำลังอัดก็จะพัฒนาตามไปเป็นลำดับ และที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W/C 0.5 และปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ 20% 30% มีค่าใกล้เคียงกับการผสมคอนกรีตแบบไม่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม และการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน จะช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงอัดได้

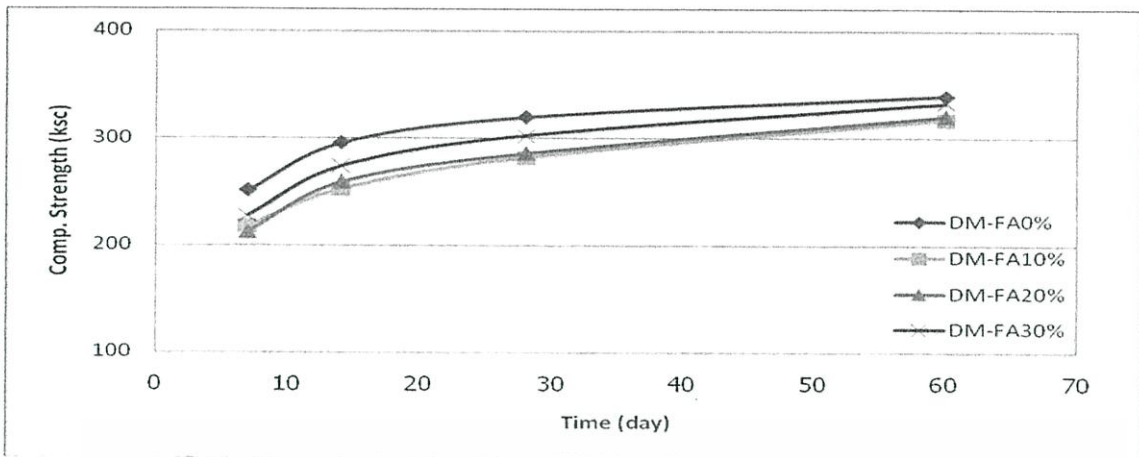


รูปที่ 4.55 แสดงค่า Comp. strength ในคอนกรีต W/C = 0.5 ที่ผสมแบบ DM ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม

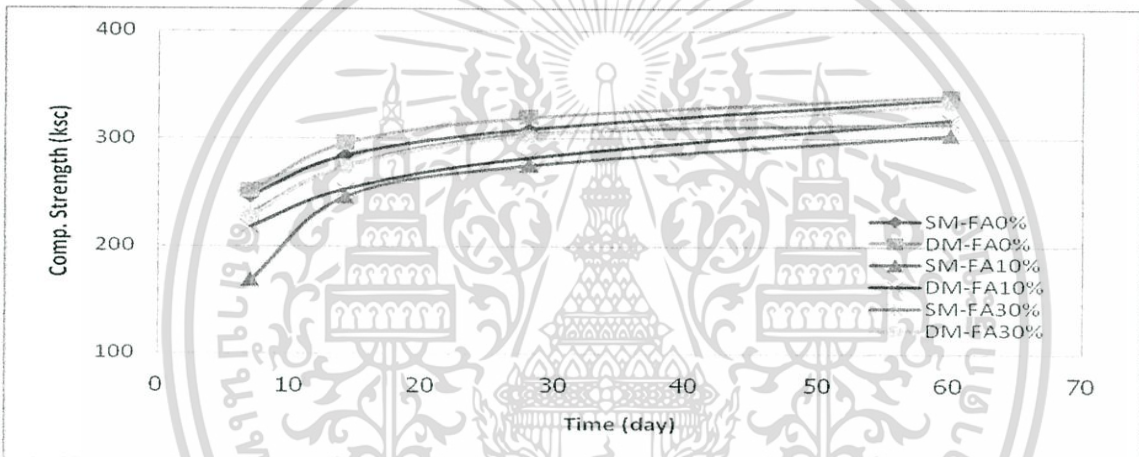


รูปที่ 4.56 แสดงการเปรียบเทียบ Comp. strength ในคอนกรีตที่ W/C = 0.5 ที่ผสมแบบ DM และ SM ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

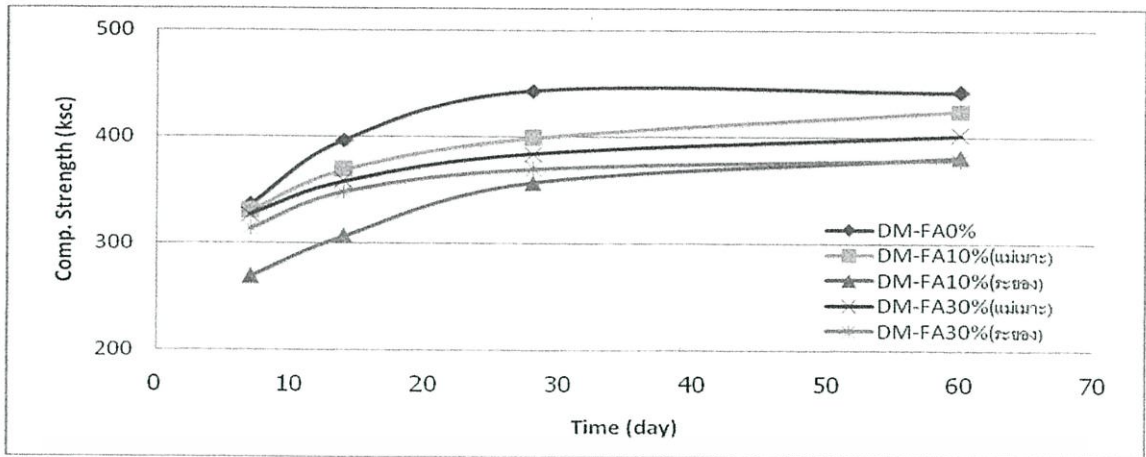


รูปที่ 4.57 แสดงค่า Comp. strength ในคอนกรีต W/C = 0.5 ที่ผสมแบบ DM ซึ่งมีเถ้าลอยจากระยองเป็นส่วนผสมเพิ่ม

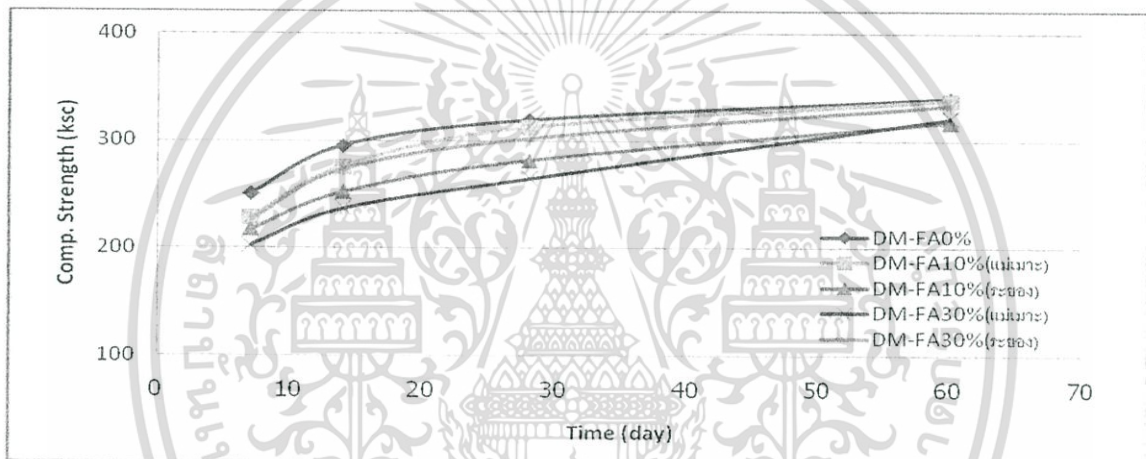


รูปที่ 4.58 การเปรียบเทียบ Comp. strength ในคอนกรีตที่ W/C = 0.5 ที่ผสมแบบ DM และ SM ซึ่งมีเถ้าลอยจากระยองเป็นส่วนผสมเพิ่ม

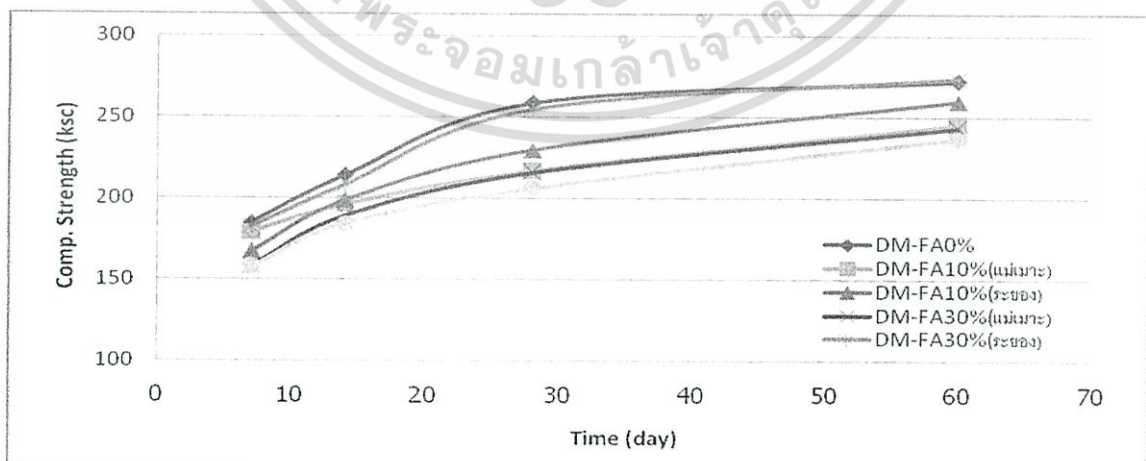
การใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าจังหวัดระยองมาเป็นส่วนผสมเพิ่มในการผสมคอนกรีต เพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด ค่ากำลังรับแรงอัดในระยะสุดท้ายไม่แตกต่างจากการใช้เถ้าลอยจากแม่เมาะเป็นส่วนผสม ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีการผสมเถ้าลอยลงไป จะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม โดยปริมาณเถ้าลอย 30% จะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดใกล้เคียงคอนกรีตปกติมากที่สุด และปริมาณเถ้าลอย 10%, 20% กำลังรับแรงอัดจะมีค่าใกล้เคียงกัน การผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนจะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้เพียงเล็กน้อยเมื่อใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสมคอนกรีต ดังแสดงในรูป 4.57 และ 4.58



รูปที่ 4.59 แสดงการเปรียบเทียบค่า Compressive strength ในคอนกรีต W/C = 0.4 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะ และระยองเป็นสารผสมเพิ่ม



รูปที่ 4.60 แสดงการเปรียบเทียบค่า Compressive strength ในคอนกรีต W/C = 0.5 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะ และระยองเป็นสารผสมเพิ่ม



รูปที่ 4.61 แสดงการเปรียบเทียบค่า Compressive strength ในคอนกรีต W/C = 0.6 ซึ่งมีเถ้าลอยจากแม่เมาะ และระยองเป็นสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.59-4.61 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต โดยจะบ่งบอกถึงคุณสมบัติของเถ้าลอยจากสองแหล่ง ในการพัฒนากำลังรับแรงอัดที่มีผลต่อคอนกรีต ซึ่งความสามารถนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้คอนกรีตเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในวงการก่อสร้าง โดยต้องพิจารณาให้เกิดกำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด ซึ่งจุดประสงค์หลักของการใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสม เพื่อต้องการลดการแตกร้าวที่เกิดขึ้น และความสามารถในการรับแรงอัดเป็นเพียงผลที่ตามมาเท่านั้น โดยค่ากำลังรับแรงอัดในคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสม มีแนวโน้มไม่แตกต่างจากการทดสอบซีเมนต์เพสต์ คือมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสม ปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ที่ 10% และ 30% ของเถ้าลอยจากแม่เมาะ และระยอง ตามลำดับ จะเกิดค่าสูงสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

1. ลักษณะของการเย็นน้ำที่เกิดขึ้น ในซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตตัวอย่างที่ได้จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นหนึ่งส่วน และผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน ที่มีเถ้าลอยเป็นสารผสมเพิ่มแทนที่ปริมาณซีเมนต์ที่มีอัตราทดแทนที่ต่างๆ และทำการผสมที่อัตราส่วน W/C ที่ต่างกัน ซึ่งผลการศึกษาค่าการใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ โดยนำเถ้าลอยมาจากสองแหล่งผลิตด้วยกัน ปรากฏว่าเถ้าลอยทั้งสองมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มปริมาณการเย็นน้ำในซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตในทุก

อัตราส่วน แต่ปริมาณเถ้าลอยจากสองแหล่งมีผลต่อการเย็นน้ำที่แตกต่างกัน คือ เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เมื่อทำการผสมตาม W/C ต่างๆ ปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์แปรผันตามกับการเย็นน้ำของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีต กล่าวคือ อัตราการแทนที่สูงจะเกิดการเย็นน้ำสูงเช่นกัน แต่ในทางกลับกันเถ้าลอยจากแหล่งที่สอง จังหวัดระยอง ปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์จะแปรผกผันกับอัตราการเย็นน้ำของซีเมนต์ตัวอย่างทดสอบ กล่าวคือ อัตราการแทนที่สูงจะเกิดการเย็นน้ำที่ลดลงเนื่องมาจากเถ้าลอยจากระยองมีความพรุนมากกว่าทำให้ดูดน้ำเข้าไปในโพรงเมื่อมีการแทนที่สูง ถ้าหากพิจารณาถึงความแตกต่างของการเย็นน้ำ ระหว่างซีเมนต์เพสต์และคอนกรีต อัตราการเย็นน้ำของคอนกรีตจะมีค่าต่ำกว่า เนื่องจากการดูดน้ำของมวลรวมทำให้ช่วยลดการเย็นน้ำได้ ซึ่งวิธีการผสมแบบ DM สามารถควบคุมการเย็นน้ำให้มีค่าต่ำกว่าวิธีการผสมแบบ SM ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทุกอัตราส่วน โดยอัตรา W/C 0.6 มีการเย็นน้ำสูงสุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ

2. ลักษณะความสามารถของการไหลของซีเมนต์เพสต์ จากการทดสอบการผสมซีเมนต์เพสต์โดยการผสมแบบธรรมดา และการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน ความสามารถในการไหลขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในซีเมนต์เพสต์โดยตรง กล่าวคือโดยปกติอัตราผสม W/C 0.6 จะมีความสามารถในการไหลสูงสุด แต่จากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน สามารถทำให้ความสามารถในการไหลดีขึ้นอีก ซึ่งการทดลองได้ใช้เถ้าลอยจากสองแหล่งเป็นตัวแปรที่แตกต่างกันในการผสมซีเมนต์เพสต์ ให้ผลว่าเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง สามารถเพิ่มความสามารถในการไหลให้ดีขึ้นได้โดยเห็นผลอย่างชัดเจน ระหว่างการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นหนึ่งส่วนและสองส่วนในอัตรา W/C 0.4 แต่จะเห็นผลเพียงเล็กน้อย เมื่อทำการผสมที่อัตราส่วน W/C ที่สูงขึ้น โดยปริมาณเถ้าลอยจะแปรผันตรงต่อความสามารถในการไหล คือ ปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์สูงจะช่วยให้ความสามารถในการไหลดีขึ้น สำหรับการนำเถ้าลอยจากจังหวัดระยองสามารถเพิ่มความสามารถในการไหลได้ดีขึ้นเช่นกัน แต่จะมีส่วนที่แตกต่างกันอยู่ประการหนึ่ง คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ต่ำ จะสามารถเพิ่มอัตราการใช้ได้ดีกว่าปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์สูง

3. ความสามารถในการหดตัวของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีต ที่ได้จากวิธีการผสมแบบปกติ และผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน ที่มีเถ้าลอยเป็นสารผสมเพิ่มแทนที่ปริมาณซีเมนต์ที่มีอัตราการแทนที่ต่างๆ และทำการผสมที่อัตราส่วน W/C ที่ต่างกัน การหดตัวของชิ้นตัวอย่างทดสอบจะเกิดการหดตัวแปรผันตรงกับเวลา กล่าวคือ เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการหดตัวจะสูงขึ้น เนื่องมาจากอัตราการยึมน้ำในตัวอย่างทดสอบ คุณสมบัติการหดตัวนี้จะแปรตามค่าการยึมน้ำ โดยน้ำจากการยึมน้ำเป็นน้ำส่วนเกินที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา ซึ่งน้ำส่วนนี้จะระเหยไปและจะส่งผลให้เกิดการหดตัวขึ้นในชิ้นตัวอย่างทดสอบ อีกทั้งจากการศึกษาถึงอิทธิพลของเถ้าลอยต่อคุณสมบัตินี้ ทำให้เราทราบว่าเถ้าลอยจะส่งผลให้เกิดอัตราการหดตัวที่สูงกว่าการผสมแบบไม่มีเถ้าลอย ซึ่งการทดสอบเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ปรากฏว่าเมื่อปริมาณเถ้าลอยสูงอัตราการหดตัวของตัวอย่างทดสอบจะสูงขึ้นด้วยเช่นกัน สำหรับเถ้าลอยจากจังหวัดระยองผลของปริมาณเถ้าลอยที่ผสมจะแปรผกผันกับการหดตัวของตัวอย่างทดสอบ และการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนสามารถลดการหดตัวของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตได้

4. ความสามารถในการรับกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีต ที่ได้จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นหนึ่งส่วน และผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน ที่มีเถ้าลอยเป็นสารผสมเพิ่มแทนที่ปริมาณซีเมนต์ที่มีอัตราการแทนที่ต่างๆและทำการผสมที่อัตราส่วน W/C ที่ต่างกัน โดยเถ้าลอยมีคุณสมบัติในการพัฒนากำลังอัดช้า เมื่อเทียบกับคอนกรีตหรือซีเมนต์เพสต์ที่ล้วน เนื่องจากการทำปฏิกิริยาอย่างช้าๆ แต่สามารถพัฒนากำลังอัดในระยะหลังให้มีค่าเทียบเท่า หรือสูงกว่าปกติได้ หากมีการบ่มชื้นให้นานกว่าปกติ เถ้าลอยจากสองแหล่ง จะส่งผลต่อกำลังอัดที่แตกต่างกันของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีต โดยเถ้าลอยจากจังหวัดลำปาง จะส่งผลให้กำลังอัดมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างทดสอบที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ซึ่งปริมาณเถ้าลอยที่ผสมไปในปริมาณที่ต่างกันจะส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดแตกต่างกันด้วย เมื่อปริมาณเถ้าลอยสูงขึ้นกำลังอัดที่ได้จะต่ำลง แต่เมื่อเทียบกับเถ้าลอยจังหวัดระยองผลที่ได้จะแปรผกผันกัน กล่าวคือ เมื่อปริมาณเถ้าลอยสูงขึ้นความสามารถในการรับแรงอัดจะสูงขึ้น แต่กำลังรับแรงอัดยังคงมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างทดสอบ ที่ไม่มีการผสมเถ้าลอยเช่นเดียวกันกับเถ้าลอยจากจังหวัดลำปาง แต่อย่างไรก็ตาม การผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาการรับแรงอัดที่สูงกว่าการผสมแบบปกติ

5. การยุบตัวของคอนกรีตสด เป็นการทดสอบเพื่อหาความชื้นเหลือของคอนกรีตสดซึ่งจะเป็นคุณสมบัติที่บ่งชี้ให้ทราบว่าคอนกรีตสดสามารถไหลเข้าแบบหล่อได้ดี ทำให้แน่นตัวได้ง่ายโดยใช้กำลังน้อย โดยการทดสอบคุณสมบัตินี้ ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบไม่แตกต่างจากการทดสอบคุณสมบัตินอื่นๆ กล่าวคือ ผลการทดสอบทำให้ทราบว่าเถ้าลอยจากสองแหล่งจะส่งผลต่อการยุบตัวของคอนกรีตสดที่ต่างกัน โดยการทดสอบการผสมคอนกรีต ที่ทำการผสมแบบธรรมดา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน ความสามารถในการยวบตัวขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ที่มีอยู่ในคอนกรีตโดยตรงโดยปกติอัตราการผสม W/C 0.6 จะมีความสามารถในการยวบตัวสูงสุด แต่จะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดต่ำลง จึงไม่นิยมให้คอนกรีตสดมีการยวบตัวสูงเกินความเหมาะสม และจากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน สามารถทำให้ความสามารถในการยวบตัวมากขึ้น ซึ่งการทดลองได้ใช้เถ้าลอยจากสองแหล่งเป็นตัวแปรที่แตกต่างกันในการผสมคอนกรีต ให้ผลว่าเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง สามารถเพิ่มความสามารถในการยวบตัวให้ดีขึ้นได้ แต่จะเห็นผลเพียงเล็กน้อยเมื่อทำการผสมที่อัตราส่วนเถ้าลอยสูงๆ โดยปริมาณเถ้าลอยจะแปรผันตรงต่อความสามารถในการยวบตัว คือ ปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์สูงจะช่วยให้ความสามารถในการยวบตัวดีขึ้น สำหรับการให้เถ้าลอยจากจังหวัดระยองสามารถเพิ่มความสามารถในการยวบตัวได้ดีขึ้นเช่นกัน แต่จะมีส่วนที่แตกต่างกันอยู่ประการหนึ่ง คือ ปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ต่ำจะสามารถเพิ่มอัตราการยวบตัวได้ดีกว่าปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์สูง

6. ความสามารถในการก่อตัวเริ่มต้น ส่วนนี้เป็นการทดสอบ โดยใช้ตัวอย่างทดสอบเป็นซีเมนต์เพสต์ที่อัตรา W/C 0.4 โดยใช้เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในการผสมซีเมนต์เพสต์ และคอนกรีต ซึ่งเถ้าลอยทั้งสองแหล่งมีผลต่อการก่อตัวเริ่มต้นของตัวอย่างทดสอบ โดยจะเพิ่มระยะเวลาการก่อตัวขึ้น หากพิจารณาเปรียบเทียบเถ้าลอยทั้งสองแหล่งที่มีผลต่อการก่อตัวเริ่มต้น เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ส่งผลให้การหน่วงเวลาก่อตัวสูงขึ้น เมื่อใส่ในปริมาณเถ้าลอยแทนที่ 30%, 20% และ 10% ตามลำดับ ส่วนเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า จังหวัดระยอง จะมีอิทธิพลให้การหน่วงตัวขึ้นเมื่อใส่ที่ปริมาณ 10%, 20% และ 30% ตามลำดับ โดยการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนช่วยเพิ่มการหน่วงของตัวอย่างทดสอบได้ดีกว่าการผสมแบบธรรมดา

7. จากการทดสอบคุณสมบัติต่างๆด้วยเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยเมื่อใช้เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ จะเกิดทั้งผลดีและผลด้อยต่อคุณสมบัติที่ทดสอบ ซึ่งโดยรวมแล้วผลดีที่เกิดขึ้นจะสามารถพัฒนาคุณสมบัติทางด้านการไหลของซีเมนต์เพสต์ ค่าความยวบตัวของคอนกรีตสด และการก่อตัวเริ่มต้น ซึ่งการพัฒนาที่ดีขึ้นของคุณสมบัติเหล่านี้ช่วยในการปฏิบัติงานคอนกรีตสด ให้สามารถทำงานได้อย่างสะดวกและยี่ระยะเวลาการแข็งตัว ในกรณีที่การทำงานแบบต่อเนื่อง และผลด้อยที่เกิดขึ้นจากการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด เนื่องจากซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ ต้องมีระยะเวลาการบ่มที่นานกว่าปกติจึงจะมีกำลังเทียบเท่าคอนกรีตปกติ ด้านคุณสมบัติการยึมน้ำและการหดตัว หากทำการผสมที่ปริมาณน้ำปกติจะเกิดการยึมน้ำและหดตัวสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีเถ้าลอยผสมอยู่ โดยปกติแล้วเมื่อผสมเถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ การผสมสามารถลดน้ำในการผสมลงได้ร้อยละ 1-10 ของปริมาณน้ำผสมปกติ โดยแนวโน้มปริมาณของเถ้าลอยจะส่งผลให้คุณสมบัติของตัวอย่างทดสอบเปลี่ยนไป กล่าวคือ ในอัตราการแทนที่ 10% จะส่งผลต่อค่าคุณสมบัติที่ทดสอบต่ำกว่าค่าของคุณสมบัติทดสอบ ที่ปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ 20% และ 30% ในอัตรา W/C เดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. จากการทดสอบคุณสมบัติต่างๆด้วยเถาลอยจากโรงไฟฟ้า จังหวัดระยอง ผลที่เกิดขึ้นต่อคุณสมบัติที่ทดสอบมีแนวโน้มไม่แตกต่างกับเถาลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ทั้งอิทธิพลของเถาลอยต่อความสามารถในการไหล การยุบตัวของคอนกรีตสด การหดตัว กำลังรับแรงอัด การก่อตัวเริ่มต้น การเยิ้ม น้ำ แต่เกิดจุดต่างในส่วนของปริมาณเถาลอยแทนที่ซีเมนต์ คือ ที่อัตราการแทนที่ 10% ผลของคุณสมบัติที่เกิดขึ้นมีค่าสูงกว่าคุณสมบัติของตัวอย่างทดสอบ ที่ปริมาณเถาลอยแทนที่ซีเมนต์ 20% และ 30% ในอัตรา W/C เดียวกัน

9. จากวัตถุประสงค์หลักของการใส่เถาลอย คือ การเพิ่มความสามารถในการทำงาน และลดการเยิ้ม น้ำที่เกิดขึ้น ส่วนการเพิ่มกำลังรับแรงอัด การหดตัว และระยะก่อตัวเริ่มต้น เป็นผลที่เกิดตามมาจากการใส่เถาลอยเป็นส่วนผสม โดยพิจารณาคุณสมบัติที่ทดสอบแล้วนั้น เถาลอยจากสองแหล่งช่วยให้ความสามารถในการไหล การยุบตัวดีขึ้น จึงช่วยในการทำงานได้สะดวกขึ้น แต่การเยิ้ม น้ำที่เกิดตามมานั้นเถาลอยจากโรงไฟฟ้าจังหวัดระยองจะเกิดสูงกว่า กล่าวคือ เมื่อพิจารณาที่ W/C เดียวกันแต่อัตราการแทนที่ปริมาณซีเมนต์ที่แตกต่างกัน (%) ผลต่างของการเยิ้ม น้ำจะสูงกว่า จึงสรุปได้ว่าอิทธิพลเถาลอยจากระยอง ส่งผลให้คุณสมบัติลดการเยิ้ม นำน้อยกว่า แม้ว่าจะใส่ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นแล้วก็ตาม ส่วนการพิจารณาผลที่เกิดตามมานั้น เมื่อเถาลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะช่วยลดการเยิ้ม น้ำทำให้การหดตัวที่เกิดขึ้นต่ำด้วยเช่นกัน แม้ว่าจะมีค่าสูงกว่าเมื่อไม่มีการผสมก็ตาม (ต่างเพียงเล็กน้อย) การเพิ่มของกำลังรับแรงอัดนั้นเถาลอยจากแม่เมาะจะให้กำลังสูงกว่าที่ 60 วัน ส่วนการหน่วงเวลาการก่อตัวนั้น เถาลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะจะช่วยให้ การหน่วงเวลาการก่อตัวทำได้ดีกว่า จึงสอดคล้องกับการสรุปข้างต้น

10. จากการทดสอบเห็นได้ชัดเจนว่า การผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนนั้นจะเกิด ผลดีกว่าการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นหนึ่งส่วนในทุกคุณสมบัติ จึงสามารถสรุปได้ว่า การผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนโดย W1/C มีค่า 0.27 (ในการทดสอบนี้) เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยในการพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้นอย่างแน่นอน

11. จากการศึกษาข้อมูลอื่นๆเพื่อประกอบการทำปฏิญานี้ ทำให้ทราบว่าเถาลอยยังมีคุณสมบัติในการช่วยพัฒนาคอนกรีตด้านอื่นๆอีกมากมาย อาทิ เช่น

- ความต้องการน้ำ เถาลอยสามารถลดความต้องการน้ำได้ถึง 10% ปริมาณน้ำปกติ
- ปริมาณอากาศ เมื่อใช้เถาลอยผสมในคอนกรีต จะทำให้ความต้องการสารกระจายกักฟองอากาศเพิ่มขึ้นเพื่อต้องการให้มีอากาศตามกำหนด โดยเถาลอยชนิด C ต้องการสารกระจายกักฟองอากาศต่ำกว่าเถาลอยชนิด F
- ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน เถาลอยสามารถลดความร้อนจากปฏิกิริยาได้ดี จึงนิยมใช้เถาลอยเพื่อลดปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น
- การตกแต่งผิวคอนกรีต การใช้เถาลอยผสม จะทำให้ความสามารถในการตกแต่งผิวหน้าไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความสามารถในการบีบ โดยทั่วไปการใช้ถั่วลอยเพิ่มความสามารถในการบีบให้ดีขึ้น
- รอยร้าวจากการหดตัวของแบบพลาสติก(Plastic Shrinkage) ถั่วลอยจะเกิดผลกระทบไม่มากต่อการแตกร้าวนี้ การใช้ถั่วลอยจะช่วยหน่วงเวลาการก่อตัวให้สูงขึ้นซึ่งเป็นปัจจัยที่เสี่ยงต่อการแตกร้าวแบบพลาสติก
- ความสามารถในการซึมผ่านน้ำและการดูดซึมน้ำ เมื่อมีการบ่มที่เพียงพอ การใช้ถั่วลอยจะช่วยลดคุณสมบัตินี้ได้
- ความต่อต้านซัลเฟต การใช้ถั่วลอยสามารถเพิ่มความต่อต้านซัลเฟตที่เกิดขึ้นได้ โดยถั่วลอยชนิด F อัตราการใช้ถั่วลอยอยู่ที่ร้อยละ 20 ของวัสดุประสาน
- การเกิดสนิมของเหล็กเสริม ถั่วลอยจะลดการแพร่ของคลอไรด์ไอออน ซึ่งทำปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่มีการกัดกร่อนเหล็กเสริมลดน้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ปิยะ ประสพแสง, “อิทธิพลของสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน” การประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ, ปี 2550, ครั้งที่ 12, 2550, หน้า 99-105
- [2] Ei-ichi TAZAWA and Tetsorou KASAI, “**Double Mixing of Fresh Cement paste**”, JSCE , No.396/V-9 1988-8
- [3] A.M. Neville, “**Properties of Concrete**”, 4th Edition, 1995.
- [4] Ei-ichi TAZAWA, “**Autogenous Shrinkage of Concrete**”, 1988.
- [5] JSCE Standard, “**Testing Method of Bleeding Ratio and Expansion Ratio of Grouting Mortar for Prepacked Concrete,**”
- [6] ASTM C 191, “**Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle,**” Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01
- [7] ASTM C 939, “**Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced Aggregate Concrete (Flow of Grout),**” Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.02
- [8] JSCE-F531-1993, “**Test Method for Fluidity Test by Using J-14 Funnel,**”
- [9] ASTM C 940, “**Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Fresh Mixed Grouts for Preplaced – Aggregate Concrete in the Laboratory,**” Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.02
- [10] ASTM C 109, “**Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar,**” Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01
- [11] ASTM C 192, “**Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in Laboratory,**” Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.02
- [12] ASTM C 618, “**Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete,**” Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.02
- [13] วินิต ช่อวิเชียร, **คอนกรีตเทคโนโลยี**, พิมพ์ครั้งที่ 9, กรุงเทพฯ, หป.สัมพันธ์พาณิชย์, 2544
- [14] ศิริวัฒน์ ไชยชนะ, **ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี**, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ วี.เจ.พรินติ้ง, 2542
- [15] ปริญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลานและคอนกรีต**, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, สมาคมคอนกรีตไทย, 2547.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] Davis, R.E., Carlson, R.W., Relly, J.W., and Davis, H.E., “**Properties of Cements and Concretes Containing Fly Ash**”, American Concrete Institute Journal, 1937, Proceedings Vol. 33, No. 5, pp. 577-612.
- [17] Pichai Nimityongskul and Akram Tahir, **Role of Chemical Composition in Strength Development of Fly Ash Concrete, Proceedings of the 6th East-Asia Pacific Conference on Structural Engineering and Construction**, 1998, Vol. 2, National Taiwan University, Taiwan, 1247-1252.
- [18] I. W. Farmer, **Coal mine structures**, London; New York : Chapman and Hall, 1984.
- [19] G.R. Tucker, “**Patent on use of chemicals in concrete and in preparation of hydraulic cement**”, 1938.
- [20] K. Winkler, “**Patent on hydroxylated carboxylic acid admixtures**”, 1939.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อิทธิพลของเถ้าลอยที่มีผลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน

INFLUENCE OF FLY ASH ON PROPERTIES OF CEMENT PASTE WITH DOUBLE MIXING METHOD

กฤษฎากร อร่ามเมือง (Kidsadakorn Arammuang)¹

อำนาจ พานิชกุลพงษ์ (Amnoug Panitkulpong)²

คมสัน มาลีสี (Komsun Maleese)³

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
kidsadakorn@yahoo.com

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
kmsan@kmitl.ac.th

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
kpamnoug@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของวัสดุปอซโซลานได้แก่เถ้าลอยที่ใส่แทนที่ปูนซีเมนต์ในหลายอัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสานซึ่งได้ศึกษาคุณสมบัติต่างๆที่เปลี่ยนไปเมื่อทำการผสมด้วยวิธีการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน(Double Mixing Method: DM) เปรียบเทียบกับการผสมด้วยวิธีธรรมดา(Simple Mixing Method : SM) และทำการศึกษาถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ซึ่งการทดลองจะทำการทดสอบอัตราการยืมน้ำ ความสามารถในการไหล ความสามารถในการเท ความหนาแน่น การหดตัว และความสามารถในการรับกำลัง ซึ่งการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนสามารถพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้น เช่น สามารถลดการยืมน้ำในซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตสดได้ และเพิ่มความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ให้มากขึ้นอีกด้วย

ABSTRACT : This research was a comparative of various properties, which are changed when cement paste is compared with cement with pozzolanic material and cement without pozzolanic material. Both of them were examined after applying the double mixing (DM) method. The study was conducted in order to determine the appropriate mix ratios. The experiments tested the bleeding, workability, density, autogenous shrinkage and compressive strengths. Results of the study of the cement paste with pozzolanic material mixed using the double mixing method revealed that the w/b ratio, quantity of fly ash that replaced cement, and type of fly ash were the important factors in making positive changes in the properties of the cement paste using the DM method. For example , the cement with the pozzolanic material reduce the bleeding of cement paste and fresh concrete. It also increased the fluidity of the cement paste.

KEYWORDS : Double Mixing, Fly ash, Bleeding, Workability, Shrinkage
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนชื่อของผู้นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. บทนำ

การทดลองการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน ได้มีการค้นคว้าและวิจัยครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่น โดย Eiichi Tazawa และ Tetsuro Kasai [1] พบว่าการเขี่ยน้ำในซีเมนต์เพสต์หนึ่งจากการผสมน้ำแบบปกติสามารถแก้ไขด้วยการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนและเติมในอัตราส่วนและเวลาที่เหมาะสมด้วยวิธีนี้เรียกว่า Double Mixing (DM)

ในประเทศไทยได้มีการศึกษาโดยนำวิธี Double Mixing มาประยุกต์ใช้กับวัสดุในประเทศไทยโดย P.Pichet, C.Nantawat และ M.Poomchai [2] พบว่าการผสมแบบ DM นอกจากสามารถลดการเขี่ยน้ำของซีเมนต์เพสต์แล้วยังเพิ่มความสามารถในการทำงาน (Workability) ได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการผสมแบบปกติ Simple Mixing (SM)

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการนำถ้ำลอยมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในงานคอนกรีตผสมเสร็จ จึงจำเป็นต้องศึกษาผลกระทบของถ้ำลอยที่มีผลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์และด้วยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน สามารถปรับปรุงคุณภาพของซีเมนต์เพสต์ให้ดียิ่งขึ้น

2. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type I

2.1.2 น้ำ ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้น้ำประปา

2.1.3 ถ้ำลอย

2.1.4 แบบหล่อขนาด 5?5?5 ซม.

2.1.5 แบบหล่อขนาด 4?4?16 ซม.

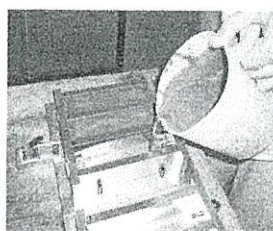
2.1.6 เครื่องโม

2.1.7 ชุดทดสอบการเขี่ยน้ำ

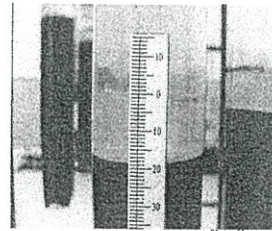
2.1.8 Flow cone



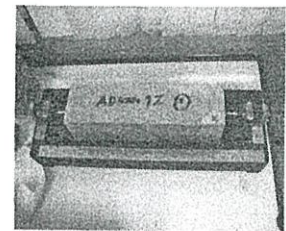
ก. เครื่องโม



ข. แบบหล่อขนาด 4?4?16 ซม.



ค. การทดสอบการเขี่ยน้ำ

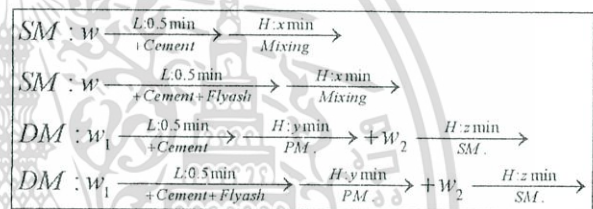


ง. การวัดค่าการหดตัว

3. วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมตัวอย่างการทดลอง

การผสมด้วยวิธีการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน DM และการผสมแบบปกติ SM มีวิธีการและลำดับการผสมตามภาพที่ 1



x : mixing time for SM , y, x : primal and secondary mixing time for DM , x=y+z , C : cement , W : water , W1 : primal water , W2 : secondary water , L : low speed , H : high speed , p.m. : primal mixing , s.m. : secondary mixing FA : Fly Ash

ภาพที่ 1 แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์

การทดลองนี้มีความสำคัญได้แก่ ถ้ำลอยและวิธีการผสมโดยถ้ำลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในอัตราส่วน FA0%, FA10 %, FA20 % และ FA30% โดยการคลุกเคล้ากับซีเมนต์ใน 30 วินาทีที่ความเร็วในการผสมซีเมนต์ต่ำหลังจากนั้นเพิ่มความเร็วในการผสมที่ y นาที แล้วจึงทำการใส่น้ำในส่วนที่เหลือลงไปทำการผสมที่เวลา z นาที ส่วนในการผสมแบบปกติ SM จะทำการผสมน้ำทั้งหมดกับซีเมนต์คลุกเคล้าให้เข้ากันใน 30 วินาทีแรกโดยใช้ความเร็วในการผสมต่ำ แล้วทำการปรับระดับเป็นความเร็วสูงในการผสมเป็นเวลา x นาที ซึ่งเวลาที่ x,y และ z จะปรับเปลี่ยนตามวัตถุประสงค์ในการทดลอง โดยมีการควบคุมให้เวลา y+z ที่ผสมแบบ DM มีค่าเท่ากับเวลา x ที่ผสมแบบ SM เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมที่เปลี่ยนไปของซีเมนต์ระหว่างวิธีผสมทั้งสองแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วิธีการทดลอง

3.2.1 การเข้มน้ำ (Bleeding)

การเข้มน้ำบริเวณผิวด้านบนของซีเมนต์เพสต์ ในชุดทดสอบการเข้มน้ำดังในภาพที่ 2 โดยนำตัวอย่างที่เตรียมตามวิธีการตามที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อผสมซีเมนต์เพสต์เสร็จแล้วจึงนำมาทดลองในชุดทดสอบที่ทำเครื่องหมายไว้โดยใช้ซีเมนต์เพสต์ประมาณ 400 มล. หลังจากนั้นนำแผ่นวัดปริมาตรที่มีมาตรฐานการวัดความละเอียดในหน่วยมิลลิเมตรมาวัดที่ด้านข้างของชุดทดสอบโดยให้ระดับศูนย์อยู่ตรงกับระดับบนสุดของซีเมนต์เพสต์หลังจากนั้นทำการเข้มน้ำชุดทดสอบทั้งไว้ เพื่อทำการวัดปริมาตรที่เปลี่ยนไปของซีเมนต์เพสต์และน้ำที่เข้มน้ำออกมาโดยจะทำการวัดค่าทุก 30 นาที จนปริมาตรของน้ำที่เข้มน้ำออกมามีค่าคงที่ หรือเวลาผ่านไปอย่างน้อย 6 ชั่วโมง ผลของการทดลองที่จำเป็นสำหรับการอ่านค่าระดับคือระดับบนของน้ำที่เข้มน้ำออกมาและระดับผิวของซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ด้านล่างของน้ำแล้วบันทึกไว้เป็นค่า ให้เป็น V₁ และ V₂ ตามลำดับแล้วค่าที่ได้จะไปแทนในสมการที่ 2 เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเข้มน้ำดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Bleeding [\%]} = \frac{V_2 - V_1}{V_c} \times 100 \quad (1)$$

V_c = ความสูงของซีเมนต์เพสต์ที่ปริมาตรเริ่มต้น

V₁ = ความสูงที่ระดับผิวของตัวอย่างทดสอบ

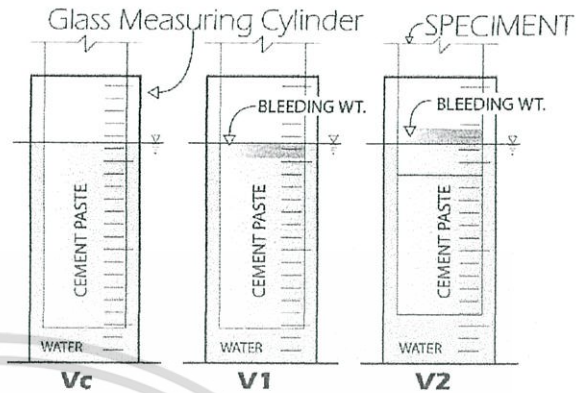
V₂ = ความสูงที่ระดับผิวของซีเมนต์เพสต์

3.2.2 การทดสอบการไหล (Fluidity)

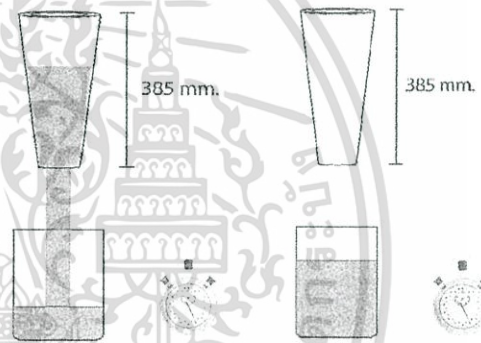
การทดลองการไหลของตัวอย่าง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993[3] ซึ่งใช้อุปกรณ์ดังภาพที่ 3 โดยใช้อุปกรณ์ที่มีลักษณะทรงกรวย ใส่ซีเมนต์เพสต์ให้เต็มสมอกรวยปล่อยให้ซีเมนต์เพสต์ไหลผ่าน แล้วทำการจับเวลาหยุดเวลาเมื่อการไหลไม่ต่อเนื่องนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกัน

3.2.3 การทดลองการหดตัว

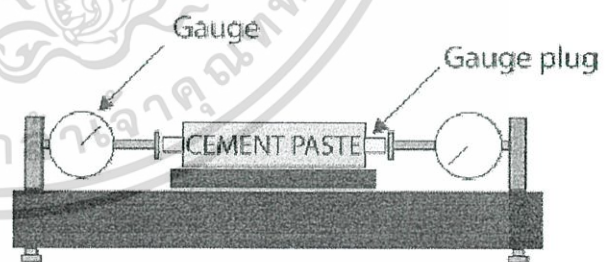
การทดสอบการหดตัว (Autogenous Shrinkage) ของตัวอย่างทำการทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 1129 “Test method for length change of mortar and concrete” [4] ทำการวัดค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ปลายมือหลังจากถอดแบบจนถึง 90 วันซึ่งใช้อุปกรณ์ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 2 แสดงการวัดค่าการเข้มน้ำ



ภาพที่ 3 แสดงการทดสอบการไหลตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993 [6]

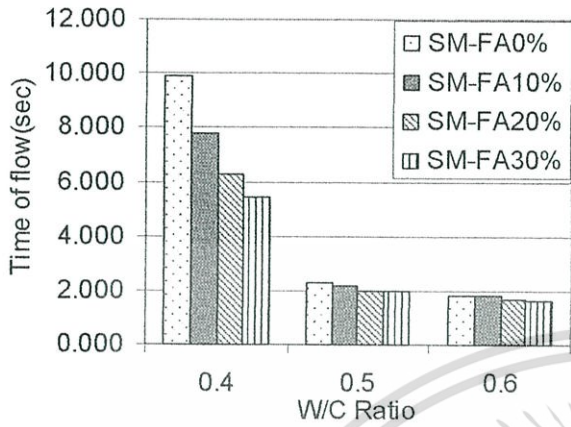


ภาพที่ 4 แสดงการทดสอบการหดตัวตามมาตรฐาน JIS A 1129

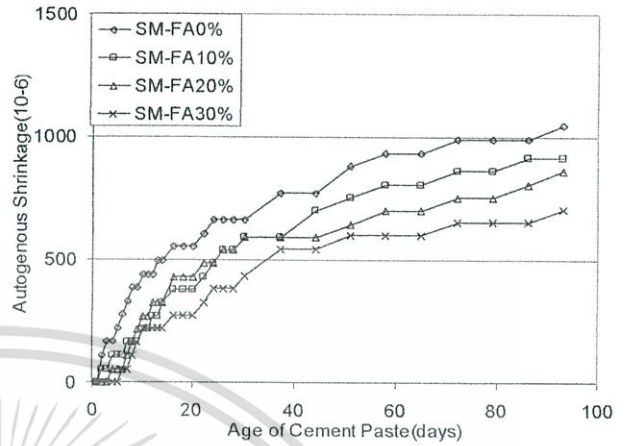
3.2.4 การทดลองการรับกำลังอัดในคอนกรีต

การทดลองการรับกำลังอัดในซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109 “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar” Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01 [5]

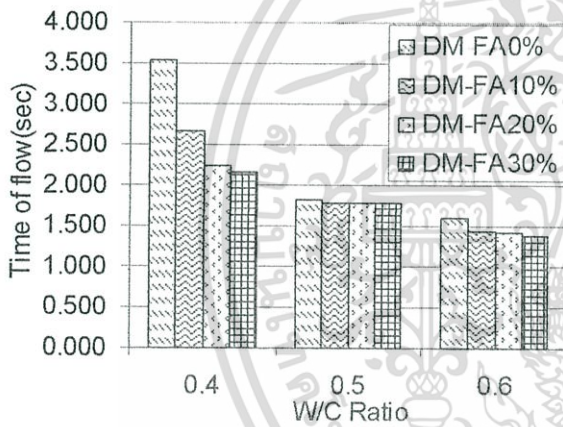
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



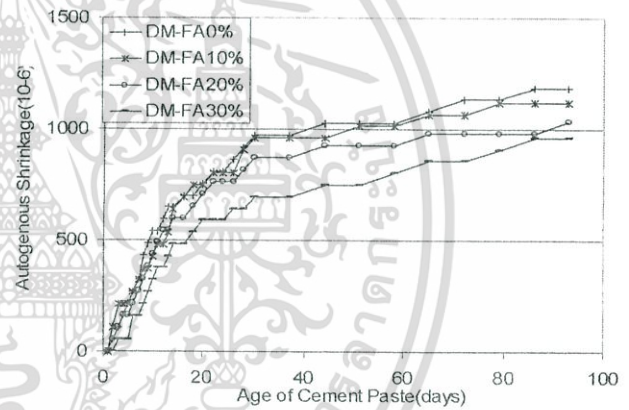
ภาพที่ 8 แสดงความสามารถในการไหลของซีเมนต์เฟสที่ผสมแบบ SM



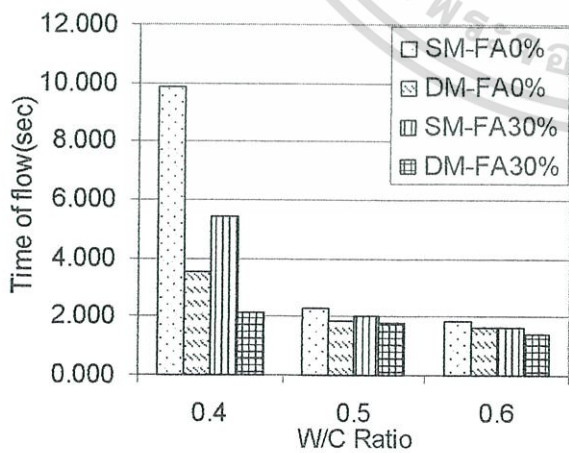
ภาพที่ 11 แสดงค่าการหดตัวที่ W/C 0.6 ที่ผสมแบบ SM



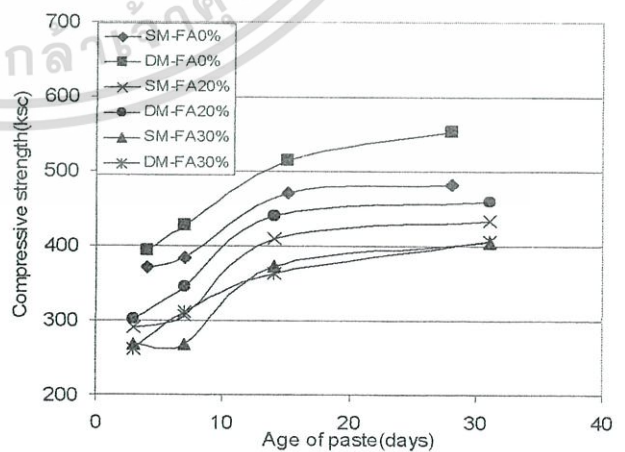
ภาพที่ 9 แสดงความสามารถในการไหลของซีเมนต์เฟสที่ผสมแบบ DM



ภาพที่ 12 แสดงค่าการหดตัวที่ W/C 0.6 ที่ผสมแบบ DM



ภาพที่ 10 แสดงความสามารถในการไหลระหว่าง SM และ DM



ภาพที่ 13 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่ W/C 0.5 ที่อัตราส่วนเข้าออกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4.3 ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkage)

จากภาพที่ 11 และ 12 แสดงให้เห็นถึงการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ที่มีอายุ 90 วันผสมแบบ SM เมื่อโดยมีเถ้าลอย 10%, 20% และ 30% มีการหดตัวลดลง 12.75%, 17.95% และ 32.56% ตามลำดับเมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ใส่เถ้าลอยพบและเมื่อพิจารณาถึงการผสมแบบ DM จะมีการหดตัวลดลง 0.56%, 12.86% และ 18.91% ตามลำดับ

4.4 ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

ค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมด้วยวิธี DM มีค่ามากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่ผสมด้วยวิธี SM โดยที่ 28 วันเทียบจากซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ผสมเถ้าลอย มีค่า 524.66 ksc และ 482.44 ksc. ตามลำดับหรือเพิ่มขึ้น 8.75% ดังที่แสดงในภาพที่ 13

5. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ สามารถสรุปรวบรวมไว้เป็นลำดับดังต่อไปนี้

1. การใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากขึ้นจะมีผลให้เกิดการเข้มน้ำในปริมาณที่สูงขึ้นด้วยเนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่เป็นสารตั้งต้นทำปฏิกิริยากับน้ำมีน้อยตามอัตราส่วนของเถ้าลอยที่ถูกแทนที่ลงไปทำให้น้ำส่วนที่ไม่จับตัวกับซีเมนต์มีมากขึ้น แต่ด้วยวิธีผสมแบบ DM สามารถช่วยลดการเข้มน้ำ ลงได้
2. ด้วยวิธีผสมแบบ DM และการใส่เถ้าลอยในส่วนผสมทั้งนี้ สามารถเพิ่มความสามารถในการไหลได้สูงขึ้น จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้โดยการลดน้ำแต่ยังมีความสามารถในการไหลไม่ต่างจากเดิม
3. การหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแบบ DM เทียบกับ SM มีค่าไม่ต่างกันมากนัก
4. การผสมแบบ DM สามารถพัฒนากำลังอัดในซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเถ้าลอย โดยให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เถ้าลอยที่ใช้ในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Tazawa, E. and Kasai, T., Double Mixing Effects of Fresh Cement Paste, Concrete library of NO. JSCE 13 JUNE 1989, Reprint from proceeding of JSCE, NO.396/V-9 1988
- [2] P.Pichet, C.Nantawat, M.Poomchai and Dr.Komsan Maleesee, "INFLUENCE OF DOUBLE MIXING ON PROPERTIES OF CEMENTITIOUS MATERIAL"
- [3] Japan Society of Civil Engineer, JSCE-F531-1993, "Test Method for Fluidity Test by Using J-14 Funnel,"
- [4] Japanese Industrial Standard, JIS A 1129 "Test method for length change of mortar and concrete"
- [5] American Society for Testing and Materials, ASTM C 109 "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar" Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบ

- ข1. การทดสอบหาความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์
- ข2. การทดสอบหาความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์
- ข3. การทดสอบหาหาค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์
- ข4. การทดสอบหาหาค่าการยึมน้ำของซีเมนต์เพสต์
- ข5. การทดสอบหาหาค่าการก่อตัวเริ่มต้นของซีเมนต์เพสต์
- ข6. การทดสอบหาหาค่าการยึมน้ำของคอนกรีต
- ข7. การทดสอบหาหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต
- ข8. การทดสอบหาหาค่าการหดตัวของคอนกรีต
- ข9. การทดสอบหาความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข1. การทดสอบหาความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ ผ.ข.1. ความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ (Compressive Strength :ksc)

แม่เมาะ

0%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	397.53	375.60	215.67	280.26	152.86	185.41
7 day	474.42	481.68	270.36	338.60	243.85	271.22
14 day	482.85	505.98	337.73	375.80	287.68	302.00
28 day	500.89	520.87	383.17	477.78	298.40	317.98
60 day	502.11	524.15	413.81	467.61	328.51	364.37

10%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	400.33	388.68	210.88	219.52	126.03	152.73
7 day	446.24	443.35	242.08	272.10	199.82	179.94
14 day	473.27	470.86	302.44	320.46	230.39	235.14
28 day	477.03	488.40	325.47	330.21	294.36	311.22
60 day	488.93	498.20	365.47	375.41	333.48	344.74

20%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	346.55	361.40	190.64	218.11	131.60	159.74
7 day	444.27	445.93	239.94	277.18	195.38	173.90
14 day	459.05	463.86	298.70	315.59	210.49	221.25
28 day	463.50	464.70	330.58	329.88	283.09	293.48
60 day	468.09	469.82	364.45	368.72	326.20	343.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	262.72	264.09	159.09	165.38	122.22	137.95
7 day	306.86	309.32	220.13	220.91	143.35	167.94
14 day	387.57	394.79	272.51	278.22	202.06	195.91
28 day	450.15	452.00	318.97	332.17	269.00	253.92
60 day	454.33	454.44	353.65	360.12	321.17	332.13

ระยอง

0%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	397.53	375.60	215.67	280.26	152.86	185.41
7 day	474.42	481.68	270.36	338.60	243.85	271.22
14 day	482.85	505.98	337.73	375.80	287.68	302.00
28 day	500.89	520.87	383.17	427.28	298.40	317.98
60 day	502.11	524.15	413.81	467.61	328.51	364.37

10%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	267.34	274.92	157.49	168.09	145.04	150.05
7 day	359.47	353.30	211.23	217.52	177.20	182.02
14 day	396.39	395.56	252.23	275.50	206.91	228.81
28 day	403.68	431.81	275.77	321.55	215.10	255.33
60 day	445.01	446.00	359.53	357.60	246.50	256.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	273.23	278.48	165.59	171.35	158.12	152.32
7 day	358.67	362.50	222.30	226.40	194.14	189.11
14 day	425.31	427.73	263.92	286.18	228.60	259.72
28 day	431.23	466.17	281.38	319.20	230.97	263.76
60 day	475.34	490.01	356.81	375.28	263.50	287.53

30%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	323.76	326.27	210.59	225.35	148.44	157.54
7 day	363.01	381.16	253.13	258.52	191.51	200.05
14 day	441.48	451.00	299.13	277.92	259.72	262.16
28 day	469.07	491.45	310.62	364.56	274.29	273.70
60 day	485.21	508.34	368.71	389.26	292.34	318.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข2. การทดสอบหาความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ ผ.ข.2. ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ (Fluidity: Second)

แม่เมาะ

	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
0%	7.667	7.087	4.833	4.500	2.447	2.133
10%	6.667	2.907	2.667	2.767	2.000	1.957
20%	6.330	2.700	2.437	2.347	1.917	1.883
30%	6.290	2.470	2.023	2.033	1.833	1.830

ระยอง

	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
0%	7.437	7.087	4.833	3.667	2.447	2.133
10%	6.577	3.730	2.073	2.027	1.933	1.687
20%	6.987	4.033	2.180	2.077	1.930	1.757
30%	7.133	6.797	3.250	2.443	2.073	2.073

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข3. การทดสอบหาการหดตัวของซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ ผ.ข.3. การหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogeneous Shrinkage: 10^{-6})

แม่เมาะ

	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
0%	1362.53	1240.88	1551.52	1406.06	1721.21	1624.24
10%	1433.75	1309.73	1624.24	1527.27	1793.94	1696.97
20%	1569.34	1524.41	1768.38	1600.00	1890.91	1776.16
30%	1673.35	1624.89	1939.39	1837.75	2206.06	2060.61

ระยอง

	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
0%	1362.53	1240.88	1551.52	1406.06	1721.21	1624.24
10%	1652.47	1527.84	1818.18	1721.21	2036.36	1915.15
20%	1554.03	1451.82	1719.89	1648.48	1915.15	1800.49
30%	1406.51	1334.06	1648.48	1547.58	1818.18	1721.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข4. การทดสอบหาค่าการเยิ้ม น้ำของซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ ผ.ข.4. ค่าการเยิ้ม น้ำของซีเมนต์เพสต์ (Bleeding:%)

แม่เมาะ

	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
0%	1.520	0.548	2.338	1.459	4.752	3.732
10%	1.791	0.667	3.595	1.891	8.283	6.003
20%	1.922	1.120	4.628	3.519	9.925	8.070
30%	2.275	1.467	6.147	3.861	11.152	9.585

ระยอง

	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
0%	1.088	0.548	2.338	1.459	4.752	3.732
10%	1.620	1.523	4.442	3.202	5.825	5.531
20%	1.406	1.179	3.335	3.037	5.248	5.201
30%	1.161	1.149	3.222	2.976	5.077	4.854

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข5. การทดสอบหาค่าการก่อดำเริ่มต้นของซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ ผ.ข.5 การก่อดำเริ่มต้นของซีเมนต์เพสต์

	แม่เมาะ		ระยอง	
	SM	DM	SM	DM
0%	245.0	270.0	245.0	270.0
10%	210.0	240.0	245.0	270.0
20%	247.5	286.5	197.5	239.0
30%	305.0	318.0	195.0	237.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข6. การทดสอบหาค่าการเยิ้มหน้าของคอนกรีต

ตารางที่ ผ.ข.6. ค่าการเยิ้มหน้าของคอนกรีต (Bleeding :%)

แม่เมาะ

	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
0%	0.000	0.000	2.283	1.732	2.820	2.073
10%	1.589	1.265	3.180	2.393	3.332	2.938
20%	1.642	1.292	3.810	2.424	4.158	3.529
30%	1.669	1.319	3.967	2.534	4.277	3.791

ระยอง

	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
0%	0.000	0.000	1.621	1.307	3.201	3.070
10%	2.100	2.019	3.259	3.054	3.935	3.712
20%	1.750	1.669	2.409	2.393	3.870	3.634
30%	1.050	0.000	1.700	1.393	3.319	3.286

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข7. การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต

ตารางที่ ผ.ข.7. การยุบตัวของคอนกรีต (Slump:cm.)

แม่เมาะ

	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
0%	1.83	1.83	4.83	5.00	12.50	13.00
10%	3.17	3.00	8.00	13.00	14.00	18.33
20%	3.33	3.67	14.67	15.00	19.00	19.83
30%	3.67	4.00	15.67	15.67	20.00	21.67

ระยอง

	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
0%	1.50	1.83	4.83	5.00	12.50	13.00
10%	2.17	7.33	13.33	15.00	21.33	22.00
20%	1.67	4.67	13.33	14.67	20.33	20.67
30%	1.00	3.33	7.17	9.00	16.33	17.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข8. การทดสอบหาค่าการหดตัวของคอนกรีต

ตารางที่ ผ.ข.8. ค่าการหดตัวของคอนกรีต (Autogeneous Shrinkage: 10^{-6})

แม่เมาะ

	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
0%	1652.78	1541.67	1833.33	1722.22	2027.78	1930.56
10%	1694.44	1625.00	1902.78	1805.56	2152.78	2013.89
20%	1875.00	1736.11	2069.44	1979.17	2250.00	2145.83
30%	1916.67	1854.17	2041.67	2000.00	2416.67	2166.67

ระยอง

	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
0%	1652.78	1541.67	1833.33	1722.22	2027.78	1930.56
10%	1937.50	1812.50	2125.00	2083.33	2395.83	2208.33
20%	1833.33	1708.33	2041.67	1916.67	2208.33	2104.17
30%	1708.33	1645.83	1937.50	1812.50	2104.17	2020.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข9. การทดสอบหาความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต

ตารางที่ ผ.ข.9. ความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต(Compressive Strength :ksc)

แม่เมาะ

0%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	318.96	335.57	246.08	250.59	184.21	184.87
7 day	378.56	396.64	283.58	295.30	212.80	213.78
14 day	402.64	442.95	308.33	319.18	246.12	258.83
28 day	412.90	442.30	338.86	339.56	254.64	272.17

10%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	318.48	330.09	233.48	228.48	179.10	179.13
7 day	364.77	368.99	281.40	275.81	191.99	196.01
14 day	387.12	398.67	307.79	312.41	212.52	216.68
28 day	404.76	424.64	334.78	337.34	245.49	245.48

20%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	293.48	321.81	208.17	210.09	149.62	157.71
7 day	361.49	368.12	267.84	269.47	183.81	188.79
14 day	392.49	394.74	295.13	297.82	207.59	215.92
28 day	407.89	420.47	324.99	325.91	243.52	243.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	287.16	326.44	173.83	202.72	143.74	157.45
7 day	347.20	358.26	208.67	236.76	163.18	184.28
14 day	384.40	383.95	245.92	264.76	193.99	206.31
28 day	399.65	401.60	293.09	320.70	227.51	236.77

ระยอง

0%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	318.96	335.57	246.08	250.59	184.21	184.87
7 day	378.56	396.64	283.58	295.30	212.80	213.78
14 day	402.64	442.95	308.33	319.18	246.12	258.83
28 day	412.90	442.30	338.86	339.56	254.64	272.17

10%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	256.18	269.07	168.11	217.27	136.05	167.20
7 day	305.77	306.58	245.37	252.07	153.47	198.47
14 day	346.72	356.50	274.62	281.58	199.27	229.60
28 day	364.15	381.51	303.30	317.16	231.13	259.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	263.62	273.44	171.96	211.88	138.41	167.46
7 day	317.67	322.95	254.55	258.85	176.05	204.41
14 day	361.30	363.09	277.46	285.58	222.47	229.61
28 day	380.01	382.49	303.07	320.16	233.91	268.92

30%	0.40		0.50		0.60	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM
3 day	308.35	313.57	230.50	227.31	164.81	182.15
7 day	334.78	347.91	273.54	273.28	191.44	208.11
14 day	359.57	369.81	304.13	301.84	223.69	254.64
28 day	384.02	378.91	313.69	332.62	241.49	274.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายกฤษฎากร อร่ามเมือง
 วัน เดือน ปีเกิด 22 มกราคม 2524
 ที่อยู่ 1299 ซ.ลาซาล ถ.ศรีนครินทร์
 แขวงบางนา เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10260 โทร.0-2361-4950
 ประวัติการศึกษา 2548 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2548-2549 ตำแหน่งวิศวกรควบคุมงาน บริษัท วรพงษ์วิศวกรรม1997 จำกัด
 - โครงการศูนย์การค้าการค้าศูนย์เนชั่นมอลล์
 พ.ศ.2549-2550 ตำแหน่งวิศวกรควบคุมงาน บริษัท MSP ดีไซน์ จำกัด
 - โครงการ Arthit Campaign 3 Phase B
 พ.ศ.2551-ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกรประจำหน่วยผลิต บริษัท นครหลวงคอนกรีต จำกัด
 ผลงานวิจัย เรื่องอิทธิพลของเถ้าลอยที่มีผลต่อคอนกรีตที่ผสมแบบ
 แบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน Influence Fly Ash on Properties of Double
 Ming Cementitious Materials

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้