อิทธิพลของการผสมซ้ำแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอย

INFLUENCE OF DOUBLE MIXING ON PROPERTIES OF FLY ASH CONCRETE

โดย

นายธีราวุฒิ อุดมยาม

นายณัฐวัตร รักษะจินดา

นางสาวทักษอร ตำชื่น

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

อิทธิพลของการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอย

INFLUENCE OF DOUBLE MIXING ON PROPERTIES OF FLY ASH CONCRETE

โดย

นายจีรายุทธ อุตมะยาน

นายณัฐวัตร รัตทะรินทร์

นางสาวทักษอร ดำชื่น

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INFLUENCE OF DOUBLE MIXING ON PROPERTIES OF FLY ASH CONCRETE

MR.JEERAYUT UTTAMAYAN

MR.NUTTAWAT RATTARIN

MS.THAKSAORN DAMCHUEN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THEREQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHLOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ อิทธิพลของการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอย

INFLUENCE OF DOUBLE MIXING ON PROPERTIES OF FLY ASH CONCRETE

นักศึกษา นายจีรายุทธ อุตมะยาน รหัส 53010240

นายณัฐวัตร รัตทะรินทร์ รหัส 53010510

นางสาวทักษอร ดำชื่น รหัส 53010583

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. คมสัน มาลีสี

คณะกรรมการการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ. ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์	
ผศ.ดร. คมสัน มาลิสี	
อ. ศิลป์ชัย จานสุวรรณ	

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(.....)

(ผศ.สุพจน์ ศรีนิล)

ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พศ 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอย
นักศึกษา	นายจีรายุทธ อุตมะยาน รหัส 53010240
	นายณัฐวัตร รัตทะรินทร์ รหัส 53010510
	นางสาวทักษอร ดำชื่น รหัส 53010583
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. คมสัน มาลีสี

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการ ศึกษาถึงอิทธิพลของการผสม คอนกรีตแบบ แบ่งน้ำเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอย เมื่อเปรียบเทียบกันกับการผสมด้วยวิธีธรรมดา (Simple Mixing Method: SM) เพื่อที่จะนำมาแก้ไขปัญหาการสึกกร่อน อัตราการเยิ้มน้ำ ความสามารถในการเท ความหนาแน่น การหดตัว ความสามารถในการรับกำลังอัด และการแก้ไขสัดส่วนของเถ้าลอยให้เหมาะสมกับการใช้งาน การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าซีเมนต์เพสที่มีวัสดุปอซโซลานเป็นส่วนผสมโดยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ปริมาณวัสดุปอซโซลานแทนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านต่างๆของซีเมนต์และคอนกรีตซึ่งการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนสามารถพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้น เช่นสามารถลดการเยิ้มน้ำในซีเมนต์เพสและคอนกรีตสดได้ อีกทั้งยังเพิ่มความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสให้มากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Influence of Double Mixing On Properties of Fly Ash Concrete
Student	Mr. Nuttawat Rattarin Student ID 53010240
	Mr. Jeerayut Uttamayan Student ID 53010510
	Ms. Thaksaorn Damchuen Student ID 53010583
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2013
Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Komson Maleesee

Abstract

This research is The effect of mixing concrete and divided into two parts, the properties of concrete containing fly ash . Compared with conventional mixing methods (Simple Mixing Method: SM) so as to solve the problem of erosion. Oily water rate The ability to pour density shrinking ability to compressive strength. And modified to suit the proportions of fly ash use. Education research shows that cement paste containing pozzolanic materials as mixture by mixing water divided into two parts . Water to cement ratio Replaced with pozzolan material changes affecting the properties of cement and concrete mixing water divided into two parts to better improve the properties of concrete. For example, can reduce the oily water in the cement paste and concrete. It also adds the ability to flow more with the cement paste.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.คมสัน มาลิสี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือพร้อมให้คำชี้แนะและแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่กลุ่มของข้าพเจ้า ซึ่งถือได้ว่าเป็นสิ่งที่มีคุณค่าที่ผู้วิจัยได้รับมาตลอดการทำวิจัยนี้ นอกจากความรู้ทางวิชาการแล้วท่านยังให้ข้อแนะนำที่ดีในการทำงาน และการใช้ชีวิตอีกด้วย

ขอขอบพระคุณเหล่าคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณ คุณขจรศักดิ์ ไชยวงศ์ ในการคอยดูแล ให้คำปรึกษา การช่วยเหลือชี้แนะแนวทางและตอบข้อสงสัยของข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้และสละเวลามาช่วยดูแลโครงงานพิเศษเรื่องนี้จนจบโครงงาน ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณสมนึก ปีติพีระกุล และบริษัทน่ำเฮง 1991จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เถ้าลอยในการทำงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วง

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ณัฐวัตร รัตทะรินทร์
จีรายุทธ อุตมะยาน
ทักษอร ดำชื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญรูป	ญ
	สารบัญตาราง	ฑ
1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	3
	1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
	1.4 ขั้นตอนการศึกษา	3
	1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	4
2	วรรณกรรมปริทัศน์	5
	2.1 บททฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
	2.1.1 เถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอย	5
	2.1.2 การผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing Method)	7
	2.1.3 การสึกกร่อน	9
	2.1.4 การเยิ้มน้ำ	10
	2.1.5 ความสามารถเทได้	11
	2.1.6 การหดตัวแบบออโตจีเนียส	11
	2.1.7 กำลังต้านทานแรงอัด	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.2 ผลของการศึกษางานวิจัย	14
3	**การดำเนินการวิจัย**	21
	3.1 การออกแบบกำรทดลอง	21
	3.1.1 การทดลองซีเมนต์เพสต์	21
	3.1.2 การทดลองคอนกรีต	22
	3.2 การเตรียมตัวอย่างและวัสดุที่ใช้	23
	3.2.1 วัสดุ	23
	3.2.2 การเตรียมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์	24
	3.2.3 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต	25
	3.3 วิธีการทดลอง	26
	3.3.1 การเยิ้มน้ำ (Bleeding) JCI by Prof. Eiichi TAZAWA	26
	3.3.2 ความสามารถการไหล (JSCE-F531-1993)	28
	3.3.3 กำรทดลองการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ตามมาตรฐาน JIS A 1129	28
	3.3.4 การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้า (Surface Abrasion)	29
	3.3.5 ความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีต (Compressive strength)	30
4	**ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล**	31
	4.1 ผลการทดสอบซีเมนต์เพสต์	31
	4.1.1 ค่าการเยิ้มน้ำ (Bleeding)	31
	4.1.2 ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์	33
	4.1.3 ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkages)	35
	4.2 ผลการทดสอบคอนกรีต	37
	4.2.1 ค่าความสามารถในการรับกำลังอัด	37
	4.2.2 ค่าการต้านทานการสึกกร่อน (Abrasion)	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
5	สรุปผลการศึกษา	50
	บรรณานุกรม	53
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก	ผก.1
	ภาคผนวก ข	ผข.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
รูปที่ 2.1	วิธีการผสมซีเมนต์เพสต์	7
รูปที่ 2.2	แสดงการทำงานคอนกรีตพ่น หรือ Short Crete	14
รูปที่ 2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W1/C และการคายน้ำ	15
รูปที่ 2.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมน้ำส่วนแรกและการคายน้ำ	16
รูปที่ 2.5	แสดงค่าการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ที่ W1/C ต่างกัน	17
รูปที่ 2.6	แสดงค่าการเยิ้มน้ำ Bleeding ที่เวลาในการผสม y ต่างกัน	18
รูปที่ 2.7	แสดงการเยิ้มน้ำ Bleeding ที่ W/C ต่างกัน	19
รูปที่ 2.8	แสดงค่าการไหลของตัวอย่างเมื่อทดสอบด้วยวิธีJSCE	20
รูปที่ 3.1	การกำหนดสัดส่วนของเถ้าถ่านหิน และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่แตกต่างกันของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง	21
รูปที่ 3.2	การกำหนดสัดส่วนของเถ้าถ่านหิน และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่แตกต่างกันของคอนกรีตตัวอย่าง	22
รูปที่ 3.3	ปูนซีเมนต์ และเถ้าถ่านหินแม่เมาะ	23
รูปที่ 3.4	แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์	24
รูปที่ 3.5	แสดงเวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์ทั้งแบบ SM และ DM	25
รูปที่ 3.6	ตัวอย่างการผสมซีเมนต์เพสต์แบบSM และ DM โดยมี w/c = 0.4	25
รูปที่ 3.7	ตัวอย่างการผสมซีเมนต์เพสต์แบบ SM และ DM โดยมี w/c = 0.6 และ %FA=10	25
รูปที่ 3.8	วิธีการคำนวณการเยิ้มน้ำ	27
รูปที่ 3.9	แสดงขั้นตอนการผสมแบบ SM และ DM	27
รูปที่ 3.10	แสดงตัวอย่างการวัดค่าการเยิ้มน้ำ	27
รูปที่ 3.11	แสดงอุปกรณ์การทดลองวัดอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์(JSCE-F531-1993)	28
รูปที่ 3.12	แสดงการทดลองการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ตามมาตรฐาน JIS A 1129	29
รูปที่ 3.13	แสดงการทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าตามมาตรฐาน The ASTM C944-99	29
รูปที่ 3.14	แสดงการทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าตามมาตรฐาน The ASTM C944-99	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
รูปที่ 3.15	แสดงการทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าตามมาตรฐาน The ASTM C944-99	29
รูปที่ 3.16	แสดงการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109, “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement”	30
รูปที่ 4.1	แสดงค่าการเยิ้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C = 0.4	31
รูปที่ 4.2	แสดงค่าการเยิ้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C = 0.6	32
รูปที่ 4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio และ Time of flow ของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแบบ SM	33
รูปที่ 4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio และ Time of flow ของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแบบ DM	33
รูปที่ 4.5	แสดงการเปรียบเทียบ Time of flow ของซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากการผสมแบบ SM และ DM	34
รูปที่ 4.6	แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkages ของซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.4จากการผสมแบบ SM	35
รูปที่ 4.7	แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkages ของซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.6 จากการผสมแบบ SM	35
รูปที่ 4.8	แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkages ของซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.4จากการผสมแบบ DM	36
รูปที่ 4.9	แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkages ของซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.6จากการผสมแบบ DM	36
รูปที่ 4.10	แสดงผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอายุ 7 และ 28 วัน จากการผสมแบบ SM ที่กำลังอัด 210 ksc	37
รูปที่ 4.11	แสดงผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอายุ 7 และ 28 วัน จากการผสมแบบ DM ที่กำลังอัด 210 ksc	38
รูปที่ 4.12	แสดงผลการทดสอบค่าก้าลังรับแรงอัดของคอนกรีตอายุ 7 และ 28 วัน จากการผสมแบบ SM ที่กำลังอัด 350 ksc	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
รูปที่ 4.13	แสดงผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอายุ 7 และ 28 วัน จากการผสมแบบ DM ที่กำลังอัด 350 ksc	39
รูปที่ 4.14	แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต ที่กำลังอัด 210 ksc ที่ได้จากการผสมแบบ SM และ DM	40
รูปที่ 4.15	แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต ที่กำลังอัด 350 ksc ที่ได้จากการผสมแบบ SM และ DM	40
รูปที่ 4.16	แสดงการเปรียบเทียบค่าการสึกกร่อนของคอนกรีตตัวอย่างจากการผสม แบบ SM ที่กำลังอัด 210 ksc	41
รูปที่ 4.17	แสดงการเปรียบเทียบค่าการสึกกร่อนคอนกรีตตัวอย่างจากการผสมแบบ DM ที่กำลังอัด 210 ksc	41
รูปที่ 4.18	แสดงการเปรียบเทียบค่าการสึกกร่อนคอนกรีตตัวอย่างจากการผสมแบบ SM ที่กำลังอัด 350 ksc	42
รูปที่ 4.19	แสดงการเปรียบเทียบค่าการสึกกร่อนของคอนกรีตตัวอย่างจาก การผสมแบบ DM ที่กำลังอัด 350 ksc	42
รูปที่ 4.20	แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสึกกร่อนของคอนกรีต ตัวอย่างที่มีกำลังอัด 210 ksc และอายุ 7 วัน จากการผสมแบบ SM และ DM	43
รูปที่ 4.21	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสึกกร่อนของคอนกรีต ตัวอย่างที่มีกำลังอัด 210 ksc และอายุ 28 วัน จากการผสมแบบ SM และ DM	43
รูปที่ 4.22	แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสึกกร่อนของคอนกรีต ตัวอย่างที่มีกำลังอัด 350 ksc และอายุ 7 วัน จากการผสมแบบ SM และ DM	44
รูปที่ 4.23	แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสึกกร่อนของคอนกรีต ตัวอย่างที่มีกำลังอัด 350 ksc และอายุ 28 วัน จากการผสมแบบ SM และ DM	44
รูปที่ 4.24	แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับ คอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ SM กำลังอัด 210 ksc ที่อายุ 7 วัน	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
รูปที่ 4.25	แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ DM กำลังอัด 210 ksc ที่อายุ 7 วัน	45
รูปที่ 4.26	แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ SM กำลังอัด 210 ksc ที่อายุ 28 วัน	46
รูปที่ 4.27	แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ DM กำลังอัด 210 ksc ที่อายุ 28 วัน	46
รูปที่ 4.28	แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ SM กำลังอัด 350 ksc ที่อายุ 7 วัน	47
รูปที่ 4.29	แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ DM กำลังอัด 350 ksc ที่อายุ 7 วัน	47
รูปที่ 4.30	แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ SM กำลังอัด 350 ksc ที่อายุ 28 วัน	48
รูปที่ 4.31	แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ DM กำลังอัด 350 ksc ที่อายุ 28 วัน	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1	อัตราส่วนร้อยละของส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมซีเมนต์เพสต์	24
ตารางที่ 3.2	อัตราส่วนร้อยละของส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมคอนกรีต	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ทั้งนี้เพราะคอนกรีตมีความเหมาะสมกว่าวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ทั้งด้านการลดต้นทุน และด้านคุณสมบัติต่างๆ คอนกรีตแยกเป็น 2 ส่วน คือ 1.ส่วนที่เป็นวัสดุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต 2.ส่วนที่เป็นมวลรวม ได้แก่ ทราย หิน หรือกรวด การผสมคอนกรีตเป็นการนำปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ น้ำยาผสมคอนกรีต และวัสดุผสมอื่นๆ ผสมคลุกเคล้าเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเคลือบหรือหุ้มผิวของมวลรวมทั้งหมดด้วยซีเมนต์เพสต์ และเพื่อผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เป็นเนื้อเดียวกัน อันจะส่งผลให้คอนกรีตที่ได้มีคุณภาพดี

ประเทศไทยมีการใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตปูนซีเมนต์และคอนกรีตหลายชนิด ตัวอย่างเช่น เถ้าลอย ผงหินปูน ผงซิลิกา เป็นต้น ในงานคอนกรีต การใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์เป็นเรื่องที่สมควรให้การสนับสนุนเพราะไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุนการผลิตในเรื่องของราคาวัสดุได้ แต่ยังสามารถลดการใช้พลังงานในการผลิต เนื่องจากวัสดุทดแทนเหล่านั้นไม่จำเป็นต้องเผาแต่สามารถผสมกับปูนซีเมนต์ได้เลย ซึ่งวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์แต่ละชนิดจะให้คุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ดังนั้น การใช้วัสดุดังกล่าวอย่างฉลาดก็จะทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิต ประหยัดพลังงาน ลดมลภาวะ และปรับเปลี่ยนสมรรถนะของปูนซีเมนต์ได้

วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ที่นิยมนำไปใช้ในงานคอนกรีตคือ เถ้าลอย ซึ่งเถ้าลอยนั้นเมื่อใช้ในงานคอนกรีตจะมีข้อดีอยู่หลายประการ เช่น ถ้าใช้ในปริมาณที่เหมาะสม จะช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานได้ ลดการสูญเสียการยุบตัว เพิ่มกำลังในระยะยาว และเพิ่มความคงทนหลายอย่าง แต่ในขณะเดียวกันการใช้เถ้าลอยก็มีข้อเสียคือทำให้อัตราการพัฒนากำลังของคอนกรีตต่ำลงในช่วงต้นลดความต้านทานต่อสภาวะการแข็งตัวและละลายของน้ำสลับกันไป ซึ่งคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสมต้องเพิ่มสารกักกระจายฟองอากาศทั้งหมดเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีปริมาณฟองอากาศตามต้องการในระดับเดียวกันกับคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าถ่านหินผสมอยู่ และปัญหาหนึ่งที่พบในโครงสร้างพื้นหรือถนนคอนกรีตคือการเกิดฝุ่นที่ผิวหน้าคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝุ่นที่ผิวหน้าคอนกรีตนี้เป็นตัวบ่งบอกว่าโครงสร้างคอนกรีตนั้นสึกกร่อนง่าย ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นกับโครงสร้างคอนกรีตประเภทพื้นและผิวถนน โดยจะเกิดภายหลังจากการใช้งานหรือถูกขัดสีไปแล้วระยะเวลาหนึ่ง ฝุ่นที่ผิวหน้าคอนกรีตเป็นการสะสมของเถ้าลอยที่มีลักษณะเป็นผงหรืออนุภาคขนาดเล็กที่บริเวณผิวหน้าคอนกรีตหลังจากการเทคอนกรีต เนื่องจากอนุภาคมีน้ำหนักเบากว่าอนุภาคซีเมนต์ทำให้อนุภาคของเถ้าลอยลอยตัวมาที่ผิวหน้าและมีการกระจายตัวที่ผิวหน้ามากกว่าบริเวณส่วนอื่นอันเนื่องมาจากการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ทำให้พื้นคอนกรีตที่ได้ถึงแม้ว่าจะมีกำลังต้านทานของคอนกรีตตามมาตรฐานแต่กลับมีผิวหน้าคอนกรีตที่ไม่แข็งแรง มีความต้านทานต่อการสึกกร่อนที่ต่ำลง ทำให้คอนกรีตมีอายุการใช้งานต่ำลงเกิดปัญหาฝุ่นที่ผิวหน้าคอนกรีตตามที่กล่าวข้างต้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ากรรมวิธีการผสมคอนกรีตมีส่วนช่วยลดปัญหาการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ที่ผิว หน้าคอนกรีตได้ ทำให้ความทนทาน(Durability)ของคอนกรีตเพิ่มขึ้น พร้อมทั้งยังเพิ่มความสามารถในการทำงาน(Workability) ได้ดีขึ้นด้วย ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า Double Mixing Method หรือวิธีการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ เช่น การเยิ้มน้ำ ความสามารถในการทำงาน การหดตัว และกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตที่ทำการผสมด้วยวิธีการแบบ Double Mixing Method โดยการศึกษาได้ทำการศึกษาและนำมาเปรียบเทียบกับการผสมแบบธรรมดาที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน Single Mixing Method โดยผลการวิจัยพบว่า กรรมวิธีการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน สามารถลดการเยิ้มน้ำและสามารถเพิ่มความสามารถในการไหลได้มากกว่าการผสมแบบมาตรฐาน

โดยสรุป การเกิดฝุ่นที่ผิวหน้าคอนกรีตเป็นปัญหาที่พบมากในโครงสร้างประเภทพื้นและผิวถนน ซึ่งส่งผลกระทบในด้านต่างๆ ทั้งต่อโครงสร้างพื้นผิวที่มีความแข็งแรงต่ำลงและต้านทานการสึกกร่อนได้น้อย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากฝุ่นคอนกรีตที่เกิดขึ้น จึงมีการศึกษาถึงการนำกรรมวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing Method) เข้ามาแก้ไขปัญหาการสึกกร่อน ลดการเยิ้มน้ำ เพื่อให้สามารถนำคอนกรีตผสมเถ้าลอยไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. ศึกษาถึงผลกระทบต่างๆและเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่ได้จากกรรมวิธีการผสมแบบมาตรฐาน (Single Mixing) และการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing)
2. ศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนเถ้าลอยที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาถึงอิทธิพลของการผสมคอนกรีตแบบมาตรฐาน(Single Mixing)ต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอย โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตและซีเมนต์เพสต์ ที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน(Double Mixing) และศึกษาถึงอิทธิพลของการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนที่มีผลต่อการสึกกร่อน (Abrasion), การเยิ้ม (Bleeding), ความสามารถในการไหล (Workability), การหดตัว (Autogenous Shrinkage) และความสามารถในการรับกำลังอัด (Compressive Strength) ซึ่งในการศึกษาเลือกใช้เถ้าลอยจากแหล่งโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งในอัตราส่วนร้อยละ 0,10,30 และ50 โดยกำหนดให้กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยอยู่ที่ 210 ksc และ 350 ksc โดยทำการทดสอบค่าการสึกกร่อน และกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาวรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing) และคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอย รวมถึงทั้งทฤษฎีพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการศึกษา
2. ออกแบบ วางแผนการดำเนินการศึกษา และศึกษามาตรฐานการทดสอบ วิธีการทดสอบ รวมไปถึงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการทดสอบ และเก็บรวบรวมผลการทดสอบ
4. วิเคราะห์ผลการทดสอบและสรุปผลการศึกษา จัดทำรูปเล่มนำเสนอ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1. การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมแบบ Single Mixing(SM) และ Double Mixing(DM) เพื่อที่ให้ได้การผสมซีเมนต์เพสที่มีประสิทธิภาพเพื่อที่จะได้คอนกรีตที่มีคุณภาพ
2. ทำให้ทราบถึงผลกระทบของปริมาณเถ้าลอยในอัตราร้อยละต่างๆที่ส่งผลต่อความทนทานและการต้านทานความสึกกร่อนของผิวหน้าคอนกรีต
3. สามารถนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้กับงานก่อสร้างเพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันการสึกกร่อนที่ผิวหน้าคอนกรีตผสมเถ้าลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2

วรรณกรรมปริทัศน์

บทนี้จะกล่าวสรุปถึงการทบทวนวรรณกรรม , ตำรา, เอกสาร, วารสารและงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัย

2.1 บททฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอย

เถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอย (Fly ash) เกิดจากการเผาถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า เถ้าถ่านหินจะถูกพัดออกมาตามลมร้อนเพื่อออกไปสู่ปล่องควัน จากนั้นตัวดักจับ (Electrostatic Precipitator) รวบรวมเถ้าถ่านหินเพื่อเก็บไว้ในไซโลต่อไป ในกรณีที่เถ้าถ่านหินหลอมเหลวและบางส่วนจับตัวกันเป็นก้อนหรือเป็นเม็ดใหญ่ขึ้น ทำให้มีน้ำหนักมากและตกสู่ก้นเตา จึงเรียกว่า เถ้าก้นเตาหรือเถ้าหนัก (Bottom ash) การผลิตกระแสไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง กากที่เหลือจากการเผาถ่านหินประกอบด้วยเถ้าถ่านหินประมาณร้อยละ 80 และเถ้าก้นเตาอีกประมาณร้อยละ 20 และประมาณได้ว่ามีเถ้าถ่านหินจากการเผาถ่านหินที่แม่เมาะถึงปีละ 3 ล้านตัน ในปีพ.ศ.3536 นอก จากนี้ยังมีเถ้าถ่านหินจากแหล่งภาคกลางและภาคตะวันออกอีกปีละประมาณ 2.8 แสนตันต่อปี และมีการนำเถ้าถ่านหินจากทุกแหล่งไปใช้ในงานคอนกรีตประมาณปีละ 1.5 ล้านตันในปีพ.ศ.2546

เถ้าถ่านหินเป็นวัสดุพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าซึ่งเถ้าถ่านหินเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาถ่านหินซึ่งเถ้าถ่านหินจะมีออกไซด์ของซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al2O3) และเหล็ก (Fe2O3) เป็นองค์ประกอบหลักอัตราส่วนของออกไซด์ทั้ง 3 ชนิดจะขึ้นอยู่กับชนิดของถ่านหินอุณหภูมิการเผาและสภาพแวดล้อมขณะเผาด้วยเหตุนี้ American Society for Testing and Materials (1997 G : 294-296) จึงได้แยกเถ้าถ่านหินออกเป็น 2 ประเภท คือชั้น F และชั้น C โดยเถ้าถ่านหินชั้นF มีปริมาณ SiO2+Al2O3+ Fe2O3 รวมมากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนักขณะที่เถ้าถ่านหินชั้น C มีปริมาณของออกไซด์ดังกล่าวอยู่ระหว่างร้อยละ 50-70 โดยน้ำหนักและนอกจากนี้แล้วยังมีข้อกำหนดที่เหมือนกันของเถ้าถ่านหินชั้น F และชั้น C คือกำหนดให้มีปริมาณ SO3 ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนักมีความชื้นไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักมีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI, Loss on Ignition) ไม่เกินร้อยละ 6 โดยน้ำหนักสำหรับชั้น C ส่วนชั้น F ไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนักมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนักและเมื่อนำมาร่อนผ่านน้ำด้วยตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ซึ่งมีขนาดช่องเปิด 45ไมโครเมตรต้องมีอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงไม่เกินร้อยละ 34 ของน้ำหนักทั้งหมดส่วนกำลังอัดคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสานต้องให้กำลังที่อายุ 7 หรือ 28 วันไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 ของกำลังอัดคอนกรีตควบคุม (คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานทั้งหมด)

เถ้าถ่านหิน นิยมนำไปใช้ในงานคอนกรีตในเถ้าถ่านหินประกอบไปด้วยออกไซด์ของซิลิกา อะลูมินา และเหล็ก ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี และเพิ่มกำลังอัดคอนกรีตให้สูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้เถ้าถ่านหินที่มีคุณภาพดีและในปริมาณที่เหมาะสม อีกทั้งเถ้าถ่านหินยังมีอนุภาคค่อนข้างเล็ก และมีความเป็นเม็ดกลมค่อนข้างสูง ทำให้เมื่อผสมในคอนกรีตเถ้าลอยจะเข้าไปอุดช่องว่างๆเล็กๆระหว่างปูนซีเมนต์กับมวลรวม ทำให้คอนกรีตแน่นและช่วยให้มีการไหลลื่นได้ดีขึ้นทำให้การสูบส่งคอนกรีตหรือเทคอนกรีตลงในแบบทำได้สะดวกและง่ายขึ้น นอก จากนี้คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าถ่านหินยังสามารถผสมได้ง่ายและลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องผสมลงได้เนื่องจากรูปร่างที่กลมและผิวสัมผัสที่ลื่นของเถ้าถ่านหินทำให้แรงเสียดทานระหว่างอนุภาคต่ำลง

การใช้เถ้าถ่านหินในงานคอนกรีตมีข้อดีหลายประการได้แก่เพิ่มความสามารถในการทำงานได้เพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนของคอนกรีตลดผลกระทบจากการแยกตัวลดความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีตลดการหดตัวลดอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตและที่สำคัญคือเพิ่มกำลังอัดและกำลังดึงประลัยของคอนกรีตเมื่อคอนกรีตมีอายุมากขึ้นแต่ทั้งนี้การใช้เถ้าถ่านหินก็มีข้อเสียด้วยคือทำให้อัตราการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตต่ำในช่วงอายุต้นลดความต้านทานต่อสภาวะการแข็งตัวและละลายของน้ำสลับกันไปและทำให้ต้องใช้สารเพื่อเพิ่มฟองอากาศมากขึ้นเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีปริมาณฟองอากาศตามต้องการในระดับเดียวกันกับคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าถ่านหินผสมอยู่ (Laneและ Best; 1982), (Yu และคณะ. 2005: 1814-1820) โดยใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปริมาณร้อยละ 30 ใน w/c ที่ 0.5 0.36 0.32 และ 0.28 ต่อวัสดุประสานและมวลรวมหยาบขนาดใหญ่ที่ 5 13และ25 มิลลิเมตรในการทดสอบหาปริมาณการสึกกร่อนโดยวิธี water-borne sand พบว่าอัตราการขัดสีเพิ่มขึ้นร้อยละ 76 ที่ w/c เปลี่ยนที่ 0.28-0.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing Method)

กรรมวิธีการผสมคอนกรีตมีส่วนช่วยลดปัญหาการเยิ้มน้ำ(Bleeding) ที่ผิวหน้าคอนกรีตได้ พร้อมทั้งยังเพิ่มความสามารถในการทำงาน(Workability)ได้ดีขึ้นด้วย จากการศึกษา บทความงานวิจัยของ Prof.Ei-ichi TAZAWA และ Prof.Tetsurou KASAI (1989) ได้ทำการวิจัยวิธีการผสมวิธีการผสมซีเมนต์กับน้ำหรือ 'ซีเมนต์ เพสต์' ที่แตกต่างจากการผสมแบบมาตรฐาน (Single Mixing Method)โดยวิธีในการผสมที่ได้จากการวิจัยคือการผสมที่เรียกว่า Double Mixing Method หรือวิธีการผสมซีเมนต์เพสท์แบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน(DM) ซึ่งสามารถลดการเกิดการเยิ้มน้ำได้เป็นอย่างดี

โดยในงานวิจัยจะใช้การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตผสมเถ้าลอยจากการผสมที่แตกต่างกันคือ วิธีการผสมแบบมาตรฐาน(Single Mixing method) และวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double mixing Method)

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

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

รูปที่ 2.1 วิธีการผสมซีเมนต์เพสต์

การผสมแบบมาตราฐาน Single Mixing Method (SM)

คือ วิธีการผสมซีเมนต์เพสท์โดยทำการผสมน้ำ W กับซีเมนต์ตามอัตราส่วนตามที่กำหนดเพียงครั้งเดียวในการผสม และจะทำการควบคุมปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการผสม เช่น เวลาในการผสม เครื่องผสม ขั้นตอนการป้อนวัสดุลงเครื่องผสม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน Double Mixing Method (DM)

คือ วิธีการผสมซีเมนต์เพสท์โดยทำการผสมน้ำกับซีเมนต์ตามอัตราส่วนที่กำหนดตามการ แบ่งสัดส่วนของน้ำในการผสมสองครั้งเป็น W1 และ W2 โดยที่มีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผสม เช่น เวลาในการผสม สัดส่วนน้ำ W1 เครื่องผสม ขั้นตอนการป้อนวัสดุลงเครื่องผสม เป็นต้น

- การผสมส่วนแรก (Primal Mixing)

คือ การผสมซีเมนต์เพสท์ โดยเป็นการผสมน้ำส่วนแรก W1 กับซีเมนต์จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน DM

- การผสมส่วนที่สอง (Secondary Mixing)

คือ วิธีการผสมซีเมนต์เพสท์ โดยเป็นการผสมน้ำส่วนที่สอง W2 กับซีเมนต์เพสท์ที่ได้จากการผสมส่วนแรก (Primal Mixing) จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน DM ซึ่งน้ำที่ใส่ลงไปในส่วนที่สองจะทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับค่าที่ ได้กำหนดและเวลาที่ใช้ในการผสมโดยรวมแล้วจะเท่ากับการผสมแบบ SM

- เวลาในการผสม (Mixing Time)

คือ ระยะเวลาในการผสมทั้งหมดของ 2 วิธี คือวิธีการผสมแบบมาตรฐาน(Single Mixing) และวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double mixing) ในการผสมซีเมนต์เพสต์

- เวลาในการผสมส่วนแรก (Primal Mixing Time)

คือ ระยะเวลาในการผสมซีเมนต์กับน้ำส่วนแรกของการผสมในส่วนแรก (Primal mixing) จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double mixing)

- เวลาในการผสมส่วนที่สอง (Secondary Mixing Time)

คือ ระยะเวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์กับน้ำส่วนสุดท้ายของวิธีการผสมซึ่งอยู่ในส่วนที่สอง (Secondary mixing) จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double mixing)โดยระยะเวลาในการผสมส่วนที่สองเมื่อรวมกับส่วนแรกจะเท่ากับเวลาในการผสม (Mixing Time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การสึกกร่อน

ความต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตหมายถึงความสามารถของผิวหน้าของคอนกรีตที่จะทนทานต่อการขัดสีหรือเสียดสีของวัตถุอื่นในงานโยธาการสึกกร่อนที่พบอยู่บ่อยๆสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆคือ

ประเภทที่ 1 คือการสึกกร่อนของพื้นคอนกรีตเนื่องจากรถยนต์บรรทุกมีน้ำหนักเบาหรือจากคนเดินเท้าหรือจากการลื่นไถลของผิวคอนกรีต

ประเภทที่ 2 เป็นการสึกกร่อนของพื้นผิวคอนกรีตเนื่องจากมีการบรรทุกขนาดใหญ่หรือพวกรถตีนตะขาบ

ประเภทที่ 3 คือการสึกกร่อนของพวกโครงสร้างกันน้ำเช่นเขื่อนรางระบายน้ำอุโมงค์ส่งน้ำหรือตอม่อสะพานซึ่งการกัดกร่อนเหล่านี้เนื่องมากจากกระแสน้ำไหล

ประเภทที่ 4 การสึกกร่อนของโครงสร้างกั้นน้ำในประเภทที่ 3 เกิดจากการไหลของน้ำที่มีความเร็วสูงทำให้เกิดฟองอากาศและการกัดกร่อนที่เรียกว่า cavitation นอกจากนี้ยังมีการสึกกร่อนอื่นอีกเช่นลมที่หอบเอาทรายมาปะทะกับผิวหน้าตึกก็สามารถทำให้เกิดการสึกกร่อนได้

การสึกกร่อนของคอนกรีตนั้นเกิดขึ้นจากการกลิ้งหรือการเสียดสีจากวัตถุอื่นบนผิวของโครงสร้างคอนกรีตโครงสร้างที่เกิดการสึกกร่อนได้มากเช่นพื้นผิวถนนสะพานอาคารบังคับน้ำทางชลศาสตร์ฯลฯการสึกกร่อนทำให้โครงสร้างคอนกรีตเหล่านี้เสียหายและต้องมีการซ่อมบำรุงถ้าปราศจากการดูแลแล้วการสึกกร่อนจะทำให้อายุการของโครงสร้างนั้นสั้นลงการสึกกร่อนของคอนกรีตขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยการต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตก็ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่นคุณสมบัติและปริมาณของมวลรวมกำลังอัดของคอนกรีตปฏิภาคส่วนผสมการใช้วัสดุและสารผสมเพิ่มการบ่มและการตบแต่งผิวคอนกรีตซึ่งผลจากปัจจัยเหล่านี้รวมกันก็จะทำให้คอนกรีตมีความทนทานต่อการสึกกร่อนมากขึ้นในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าความสามารถในการต้านทานการสึกกร่อนขึ้นอยู่กับกำลังอัดหรือความแข็งแรงของคอนกรีต (Rafat Siddique และคณะ. 2003; 1877-1881)

การต้านทานการสึกกร่อนและมาตรฐานทดสอบการต้านทานการสึกกร่อน

การต้านทานการสึกกกร่อนของคอนกรีตมีอยู่หลายปัจจัยที่ได้ศึกษาก่อนหน้านี้และได้พบว่าความต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของคอนกรีตดังนั้นคอนกรีตกำลังสูงมีความต้านทานการสึกกร่อนที่ดีเพราะว่ามีความทนทานต่อสภาพการขัดสีมากกว่าคอนกรีตที่มีกำลังต่ำอย่างไรก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากจะมีความร้อนสูงและจะมีการหดตัวและทำให้เกิดรอยแตกและมีความทนทานต่ำลง

ในปัจจุบันมีมาตรฐานASTM ที่ใช้สำหรับการทดสอบคอนกรีตอยู่ 4 วิธีหลักๆกล่าวคือ

1. The ASTM C418, Standard Test Method for Concrete Abrasion Resistance to Sand Blasting.วิธีทดสอบมาตรฐานคอนกรีตความต้านทานการขัดสีด้วยการเป่าทรายวิธีนี้เป็นการทดสอบความทนทานการสึกกร่อนของคอนกรีตโดยวิธีเกี่ยวพันกับการทดสอบทรายออตตาวาเป็นการทดสอบเครื่องพ่นทรายไปยังส่วนที่ต้องการทดสอบแต่วิธีนี้คืออาจควบคุมพลังงานบางส่วนไม่ค่อยได้และทรายที่ใช้ต้องมีขนาดอนุภาคที่สม่ำเสมอกัน

2. The ASTM C779, Standard Test Method for Horizontal Concrete Surface Abrasion Resistance วิธีทดสอบมาตรฐานคอนกรีตแนวนอนโดยการขัดสีที่ผิววิธีนี้เป็นการทดสอบความทนทานการสึกกร่อนของคอนกรีตตามแนวขวางวิธีนี้เป็นการประเมินเช่นกันกับการกระแทกและแรงเฉือนบนแผ่นคอนกรีตที่ใช้ทดสอบโดยใช้แรงน้ำหมุน

3. The ASTM C944, Standard Test Method for Concrete or Mortar Surface Abrasion Resistance using the Rotating-Cutter Method. วิธีการทดสอบมาตรฐานคอนกรีตหรือความต้านทานผิวปูนจากการขัดสีโดยวิธีการตัดโดยขั้นตอนนี้ใช้ล้อวางและกดและบนแผ่นตัวอย่างในการเจาะหรือการตัดผิดทดสอบจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่กำหนดไว้และการทดสอบนี้ส่วนมากแล้วจะนิยมใช้กับเส้นทางถนนหรือการควบคุมคุณภาพผิวสะพานคอนกรีต

4. The ASTM C1138, Standard Test Method for Concrete Abrasion Resistance (Underwater Method) วิธีการทดสอบมาตรฐานคอนกรีตโดยวิธีใต้น้ำและเป็นมาตรฐานล่าสุดในการหาค่าการสึกกร่อนโดยการนำแผ่นตัวอย่างคอนกรีตไปทดสอบในเครื่องทดสอบและมีลูกบอลสแตนเลส 3 ขนาดวางอยู่บนพื้นแผ่นตัวอย่างหมุนไปตามแรงของน้ำที่ใช้แรงของมอร์เตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน

2.1.4 การเยิ้มน้ำ

การเยิ้ม เป็นปรากฏการณ์หนึ่งของคอนกรีตที่เทลงแบบใหม่ๆ และยังไม่ถูกกระทบกระเทือนเลยก็มีน้ำใสๆเยิ้มขึ้นมาบนผิวหน้าของคอนกรีต สาเหตุเกิดจากหินทรายในส่วนผสมคอนกรีตซึ่งหนักกว่าค่อยๆทรุดตัวผ่านน้ำลงมาจึงเหลือน้ำใสๆ และเกิดฝ้าปูนที่ผิวคอนกรีต และจับเหล็กเสริมในแนวนอน ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้คนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตลดลง นอกจากนี้ยังทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อคอนกรีต เป็นเหตุให้คอนกรีตไม่ทึบน้ำ และเป็นอันตรายเมื่อน้ำแข็งตัวซึ่งสามารถทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้

การเยิ้มน้ำหรือการคายน้ำของคอนกรีต ทำให้คอนกรีตส่วนบนมีความหนาแน่นและกำลังน้อยกว่าคอนกรีตที่อยู่ส่วนล่าง นอกจากนี้ผลของการคายน้ำยังทำให้งานตกแต่งผิวของคอนกรีตล่าช้าไป ถ้าหากอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวคอนกรีตเร็วกว่าอัตราการคายน้ำของคอนกรีต ก็จะเป็นเหตุให้ผิวคอนกรีตร้าวเนื่องจากการหดตัวได้ง่าย

การใช้ปูนซีเมนต์ที่ละเอียดจะป้องกันการเยิ้มน้ำได้ดี รูปร่างและสัดส่วนของขนาดคละของวัสดุผสมก็มีผลต่อการคายน้ำ ทรายหยาบจะทำให้เกิดการคายน้ำได้ง่าย การเติมสารผสมเพิ่มเช่นสารกักกระจายฟองอากาศ สารเร่งการก่อตัวจำพวกคัลเซียมคลอไรด์หรือใช้ปูนซีเมนต์ที่มีความด่างมากๆ หรือ C_3A จะช่วยขจัดการเยิ้มลงได้ การเยิ้มหรือการคายน้ำจะหยุดเมื่อซีเมนต์เพสต์แข็งตัว

2.1.5 ความสามารถเทได้

ความสามารถเทได้ (Workability) เป็นคุณสมบัติที่ต้องการอย่างหนึ่งของคอนกรีตสด หมายถึงการที่คอนกรีตสดสามารถไหลเข้าแบบหล่อได้ดี ทำให้แน่นตัวได้ง่ายโดยใช้กำลังงานน้อย และคอนกรีตที่หล่อได้ปราศจากรูโพรงต่างๆ กล่าวคือ ช่องว่างระหว่างวัสดุผสมจะต้องมีซีเมนต์เพสต์บรรจุเต็ม เหล็กเสริมก็ต้องมีคอนกรีตหุ้มอยู่เป็นอย่างดี และต้องไม่มีการแยกขนาดของส่วนผสมคอนกรีต

ความสามารถเทได้ของคอนกรีตสำหรับงานแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับขนาดของคอนกรีตที่เท ความซับซ้อนของรูปร่างของคอนกรีต ปริมาณเหล็กเสริม ลักษณะความข้นเหลวของคอนกรีตสด ชนิดและประเภทของการใช้เครื่องสั่นคอนกรีต

2.1.6 การหดตัวแบบออโตจีเนียส

การหดตัวแบบออโตจีเนียส (Autogenous shrinkage) ของคอนกรีตคือการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่ไม่มีการถ่ายโอนความชื้นกับสภาพแวดล้อม เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ที่ยังคงเกิดขึ้นภายหลังจากการก่อตัว ในกรณีที่ไม่มีความชื้นหรือไม่มีน้ำเข้าออกซึ่งอาจทำให้ซีเมนต์เพสต์เกิดการหดตัว เนื่องจากมีการนำน้ำที่อยู่ในโพรงคาปิลลารีมาใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และในบางครั้งคอนกรีตอาจใช้น้ำจนแห้ง (Self-Desiccation) โดยส่วนใหญ่แล้วการหดตัวแบบออโตจีเนียสจะเกิดขึ้นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนภายในของคอนกรีตขนาดใหญ่ ซึ่งแม้ว่าการหดตัวชนิดนี้จะเกิดขึ้นทั้งสามทิศทาง แต่โดยทั่วไปแล้วนิยมบอกเป็นค่าตามยาวในรูปของหน่วยความเครียดเพื่อให้สามารถใช้พิจารณาร่วมกับการหดตัวแห้งได้

การหดตัวแบบออโตจีเนียสมีความสำคัญที่จำเป็นต้องพิจารณาในกรณีที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำมากและในกรณีของงานคอนกรีตขนาดใหญ่

2.1.7 กำลังต้านทานแรงอัด

กำลังต้านทานแรงอัด (Compressive Strength) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีต เป็นตัวบอกให้ทราบถึงคุณสมบัติอื่นๆได้เป็นอย่างดี เพราะกำลังต้านทานหรือรับแรงแบบอื่นเป็นสัดส่วนกำลังต้านทานแรงอัด ซึ่ง หากมิได้มีการกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น จะถือว่าผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วันเป็นเกณฑ์

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับ

1. กำลังของมอร์ต้าร์
2. กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม
3. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้าร์กับผิวของมวลรวม

กำลังของมอร์ต้า

กำลังของมอร์ต้ามีบทบาทอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยกำลังอัดของมอร์ต้านี้ขึ้นอยู่กับความพรุนภายในเนื้อมอร์ต้า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และ Degree of Hydration แต่ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังและความพรุน จะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กำลังของมอร์ต้าขึ้นอยู่อย่างมากกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม

กำลังของมอร์ต้าที่กำหนดให้ความสามารถต้านแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับกำลังของหินและแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้า ดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวจะเป็นตัวควบคุมการแตกของคอนกรีต

สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่กำหนดให้ กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลงเมื่อใช้หินขนาดใหญ่ขึ้นขนาดของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำหรือปานกลางมากกว่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูงการเพิ่มปริมาณของมวลรวมในส่วนผสม จะเป็นการเพิ่มกำลังอัด รวมทั้งถ้าใช้หินที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงจะทำให้กำลังของคอนกรีตดีขึ้น

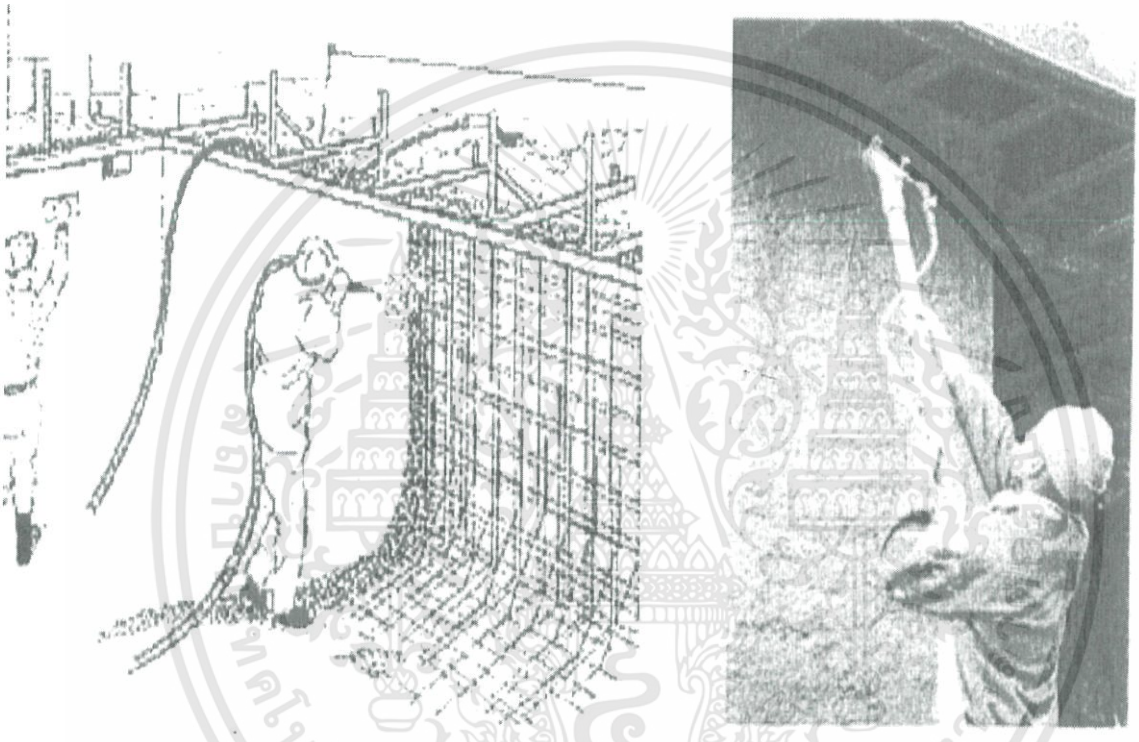
แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมกับมอร์ต้า

แรงยึดเหนี่ยวนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวม และลักษณะทางเคมี คือปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่าง ๆ ในเนื้อมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ผลของการศึกษางานวิจัย

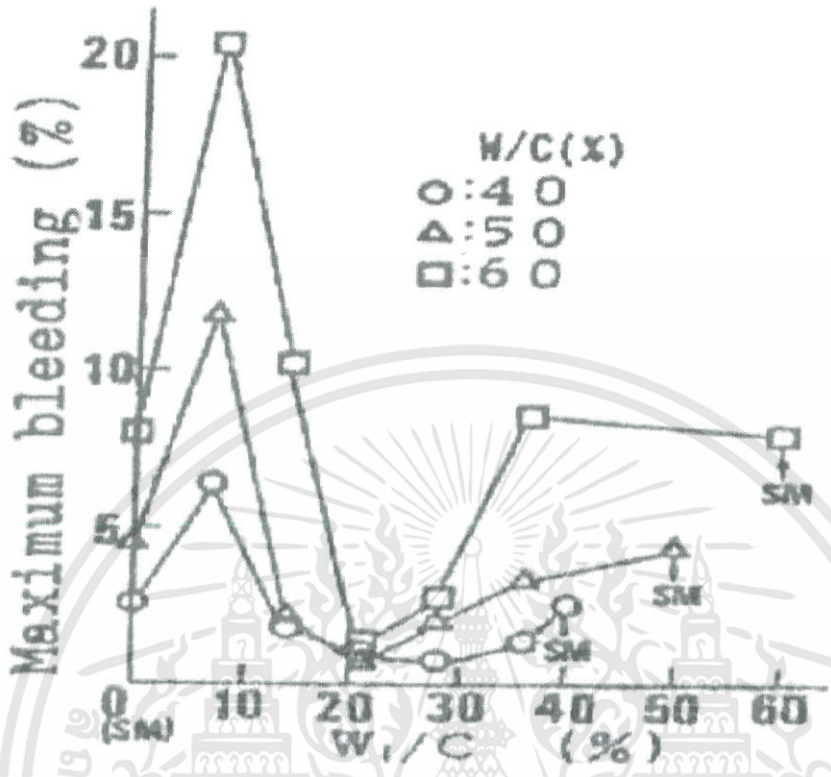
Prof.Ei-ichi TAZAWA และProf.Tetsurou KASAI (1989) วิธีการผสมแบบใหม่ที่เรียกว่า SEC Method (Sand Enveloped with Cement) โดยวิธีการดังกล่าวจะทำการผสมทรายที่มีการปรับแก้ค่าความชื้นที่ผิวแล้วด้วยซีเมนต์เพสท์ที่ทำการผสมด้วยน้ำในอัตราส่วนที่น้อยก่อนแล้วจึงทำการเพิ่มน้ำลงไปตามความเหมาะสมกับสภาพของงานที่ใช้ แต่วิธีการดังกล่าว ได้ประสบปัญหาในเรื่องของการคลายน้ำ



รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานคอนกรีตพ่น หรือ Short Crete

โดยปกติการผสมจะทำการผสมแบบแห้งด้วยซีเมนต์กับทรายก่อนแล้วจึงทำการผสมน้ำลงไปตามอัตราส่วนแต่วิธีดังกล่าวไม่ได้ช่วยในเรื่องของการเพิ่มหรือลดการคายน้ำเช่นเดียวกัน จึงทำการศึกษาเพิ่มเติมและได้นำวิธีการผสมซีเมนต์กับน้ำ แบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing)มาช่วยในเรื่องของการคายน้ำ (Bleeding)ของซีเมนต์เพสท์ และได้ทำการประยุกต์นำไปใช้ในงาน Short crete ในประเทศญี่ปุ่น โดยผลของการศึกษาวิจัยมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

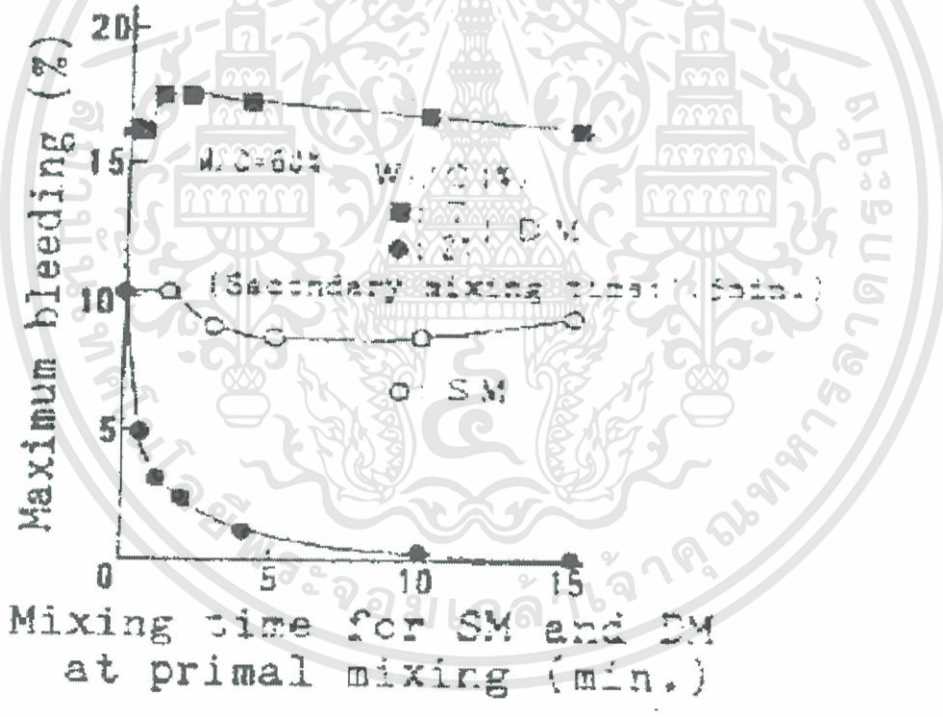


รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W_1 /C และการคายน้ำ

จะเห็นได้ว่าในรูปที่ 2.3 เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง W_1 /C กับการคายน้ำมากที่สุด (Maximum Bleeding)ในแต่ละตัวอย่างของการทดลองด้วยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing)โดยทำการทดสอบอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่างกัน คือ นำน้ำที่ใช้ในการผสมมีค่า 40, 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซีเมนต์ที่ในการทดสอบการคายน้ำ ซึ่งจะทำการทดสอบเพิ่มน้ำในส่วนแรกของการผสมทีละ 7% ของน้ำหนักซีเมนต์ และน้ำในส่วนที่สองของการผสมจะเพิ่มจนครบตามอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ จะพบว่าน้ำส่วนแรกในการผสมระหว่าง 27-30% มีการคายน้ำน้อยที่สุด และน้ำในส่วนแรกในการผสมที่ 7% มีการคายน้ำมากที่สุด เมื่อเทียบการผสมแบบปกติ (Single Mixing)ซึ่งผลจากการทดสอบดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า การที่น้ำในส่วนแรกของการผสมที่ 27-30% มีการคายน้ำน้อยนั้น เนื่องจากน้ำในส่วนนั้นได้มีการทำให้ซีเมนต์กับน้ำเข้ากันได้ดีก่อน โดยมีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอย่างสมบูรณ์จึงทำให้การจับตัวระหว่างน้ำในซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง เมื่อรวมตัวกันในน้ำส่วนที่สองน้ำจะมีการยึดส่วนแรกได้ดีขึ้น ส่วนการผสมแบบปกติ เป็นการผสมน้ำเพียงครั้งเดียว ดังนั้นที่ผสมลงไปนั้นมีส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เป็นน้ำส่วนเกิน (Excess Water)อยู่ จึงทำให้การจับตัวระหว่างซีเมนต์กับน้ำมีบางส่วนเป็นการจับตัวระหว่างน้ำกับน้ำ เป็นผลที่ทำให้น้ำในส่วนนั้นสามารถที่จะเกิดการดันหรือยกตัวขึ้นมาได้ทำให้มีการคายน้ำมาก ส่วนการคายน้ำที่ 7% มีค่ามากที่สุดเป็นผลเนื่องจากน้ำในส่วนแรกของการผสมทำให้ซีเมนต์มีการจับตัวกันเป็นก้อน เมื่อนำน้ำในส่วนที่สองผสมลงไป ทำให้การจับตัวระหว่างน้ำกับซีเมนต์ไม่ดี เนื่องจากอนุภาคของซีเมนต์มีขนาดใหญ่ ทำให้การจับตัวกันมีช่องว่างที่ใหญ่และพื้นผิวในการจับระหว่างซีเมนต์น้อยจึงทำให้การจับตัวระหว่างน้ำกับน้ำมีมากขึ้น แล้วน้ำจึงเกิดการดันตัวหรือยกตัวผ่านตามช่องว่างที่มีขนาดใหญ่จึงเกิดการคายน้ำมากที่สุด ซึ่งดังข้อความที่กล่าวมานั้นแสดงให้เห็นว่าซีเมนต์ ที่นำมาใช้งานในปัจจุบัน ถ้ามีความชื้นในซีเมนต์ เป็นผลทำให้น้ำในส่วนนั้นเป็นน้ำในส่วนแรกของการผสมซีเมนต์ เมื่อนำซีเมนต์ไปใช้งานจึงทำให้เกิดการคายน้ำมีมากจนเกินไป



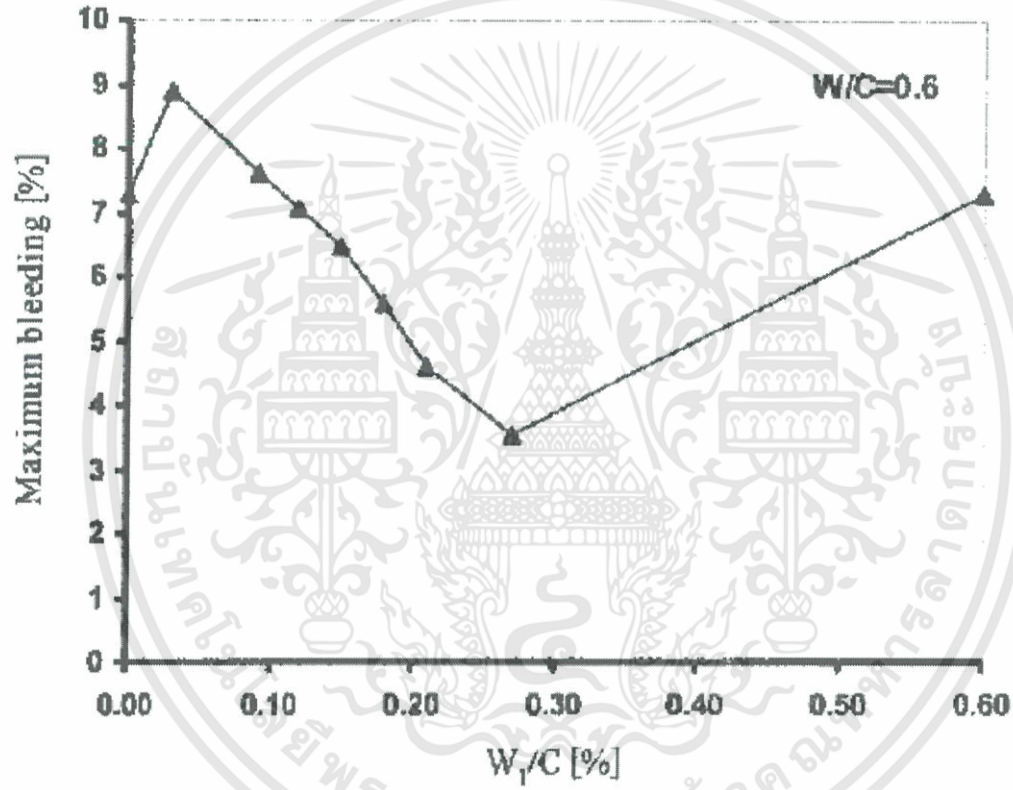
รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมน้ำส่วนแรกและการคายน้ำ

จากรูปที่ 2.4 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมน้ำในส่วนแรกกับการคายน้ำมากที่สุดในแต่ละตัวอย่างทำการเปรียบเทียบการผสมแบบปกติ (Single Mixing)กับแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) เป็นการศึกษาต่อไปอีกว่าหากมีการใช้เวลาในการผสมในช่วงแรกที่มีค่ามากขึ้นจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไร พบว่าการคายน้ำที่มีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) ที่มีการใช้เวลาในการผสมน้ำในส่วนแรกที่มากขึ้น พบว่าการคายน้ำจะมีค่าลดลงมาก เมื่อเทียบกับการผสมแบบปกติ (Single Mixing)

พิเชษฐ์ เป็งโตและคณะ(2548) ได้ทำการศึกษาถึง อิทธิพลของการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติของคอนกรีต โดยทำการศึกษา เพื่อเปรียบเทียบกับการผสมแบบธรรมดา

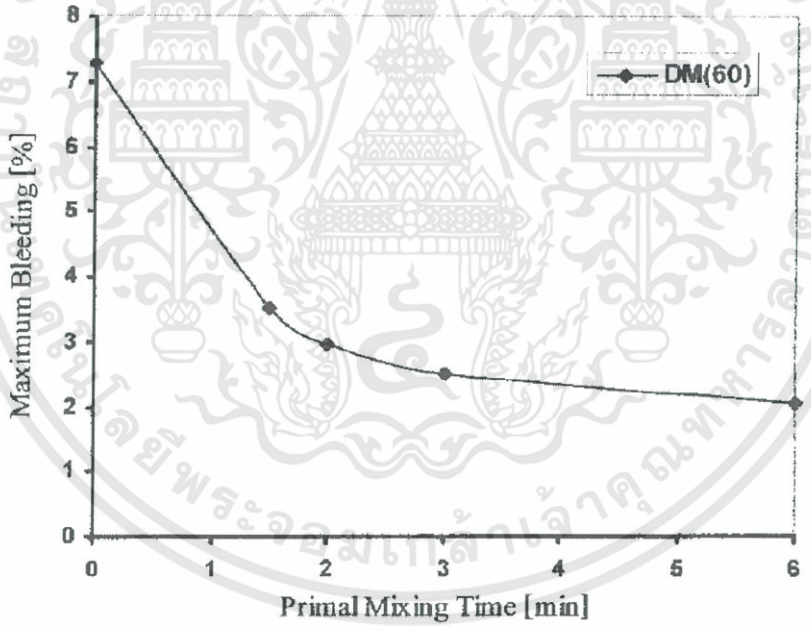


รูปที่2.5 แสดงค่าการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ที่w1/Cต่างกัน

จากรูป 2.5 แสดงค่าการเยิ้มน้ำของการทดลองซีเมนต์เพสท์ที่ w/c=0.60 โดยการทดลองทำการปรับเพิ่มค่า w1/c เริ่มตั้งแต่ 0 และทำการเพิ่มที่ล่ะ 0.03 จนถึงที่ w1/c=0.60(SM) พบว่าเมื่อใช้ w1/c ที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 0.13 จะเกิดการ Bleeding ในปริมาณสูงโดยมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการผสมแบบธรรมดา(SM) แต่เมื่อทำการทดลองเพิ่มค่า w1/c ต่อไป พบว่า Bleeding จะมีค่าลดลงมาตามลำดับ และจะมีค่าลดต่ำสุดที่ค่าw1/c=0.24 ถึง 0.27 โดยประมาณซึ่งสามารถสมมติฐานได้ว่าในช่วงที่ w1/c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งแต่ 0 ถึง 0.06 ซีเมนต์มีการจับตัวกันเป็นมวลขนาดใหญ่คล้ายซีเมนต์ที่ชื้น เมื่อนำมาทำการผสม จะทำให้เกิดการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ในปริมาณมากเพราะเนื่องจากว่าในส่วนผสมของซีเมนต์เพสท์น้ำมีอนุภาคที่เบาและการจับตัวระหว่างอนุภาคซีเมนต์มีน้อยเนื่องจากมวลมีขนาดใหญ่จึงทำให้เกิดน้ำส่วนเกิน (Excess Water) ที่หลุดจากแรงยึดเหนี่ยวลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าเป็นผลทำให้เกิดการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ในปริมาณที่มากที่สุดในช่วงนี้ และจะลดลงตามลำดับเมื่อทำการเพิ่มค่า w1/c ให้มีค่าประมาณ 0.24-0.27 โดยการ Bleeding ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำสุด ซึ่งลักษณะดังกล่าว เกิดจากการที่ซีเมนต์มีการผสมกับน้ำส่วนแรกและมีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นเมื่อทำการผสมน้ำในส่วนที่สอง จึงทำให้ซีเมนต์เพสท์มีการยึดจับกับอนุภาคของน้ำได้ดีมากขึ้น หรือมีพื้นที่ในการยึดจับน้ำได้มากขึ้นทำให้ลดการยึดจับกันระหว่างอนุภาคน้ำกับน้ำด้วยกันเองจึงมีผลทำให้เกิดการเยิ้ม Bleeding ลดน้อยลง ทั้งนี้ไม่เพียงแต่ปริมาณน้ำในส่วนแรก (w1) เท่านั้นที่มีผลต่อการเกิด Bleeding แต่เวลาที่ใช้ในการผสมก็มีผลด้วยเช่นกัน

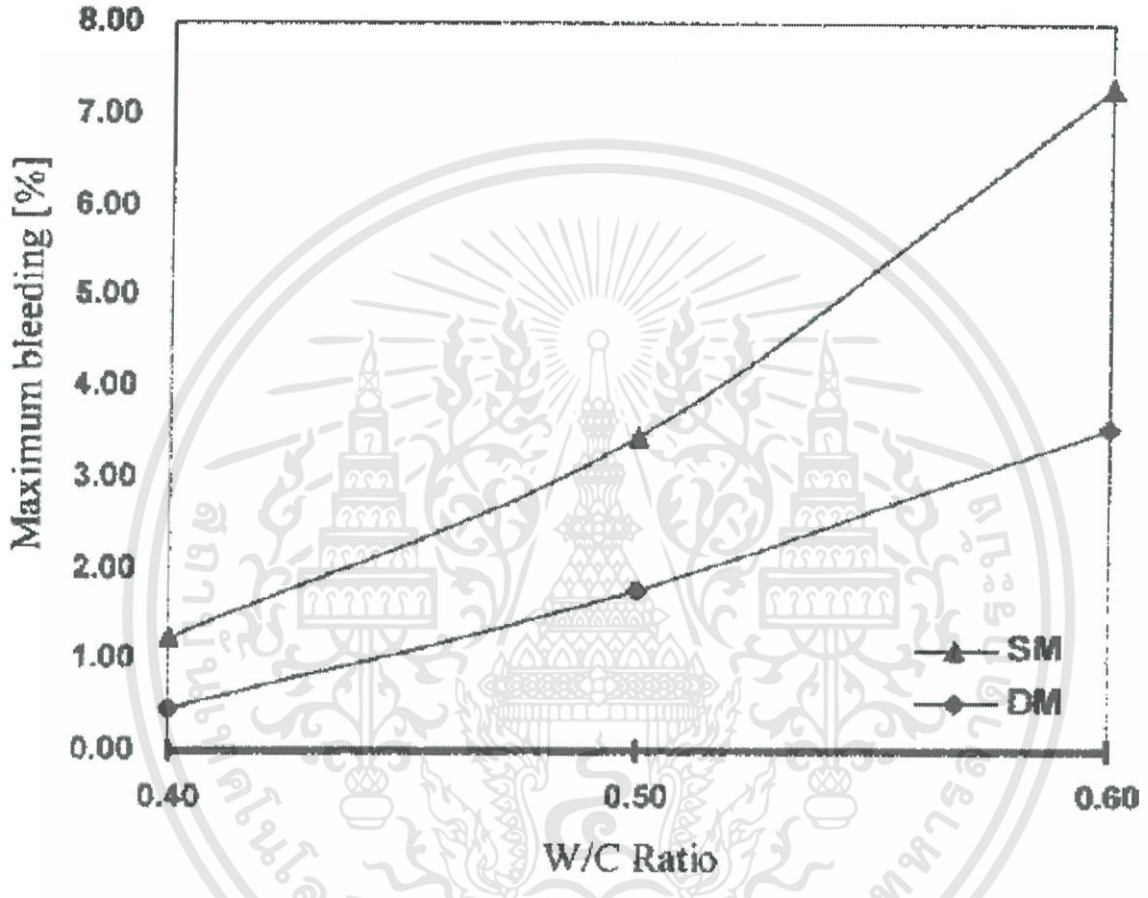


รูปที่ 2.6 แสดงค่าการเยิ้มน้ำ Bleeding ที่เวลาในการผสม y ต่างกัน

จากรูปที่ 2.6 แสดงการใช้เวลาในการผสมซีเมนต์เพสท์ที่ w/c=0.60 และ w1/c=0.27 เวลาในการผสม y (Primal Mixing Time for DM)ที่มากขึ้นจะทำให้การเยิ้มน้ำลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะในช่วงเวลาตั้งแต่ 0-3นาทีอัตราการ Bleeding จะลดต่ำลงแต่เมื่อใช้เวลาในการผสม y มากกว่า 3นาทีไปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

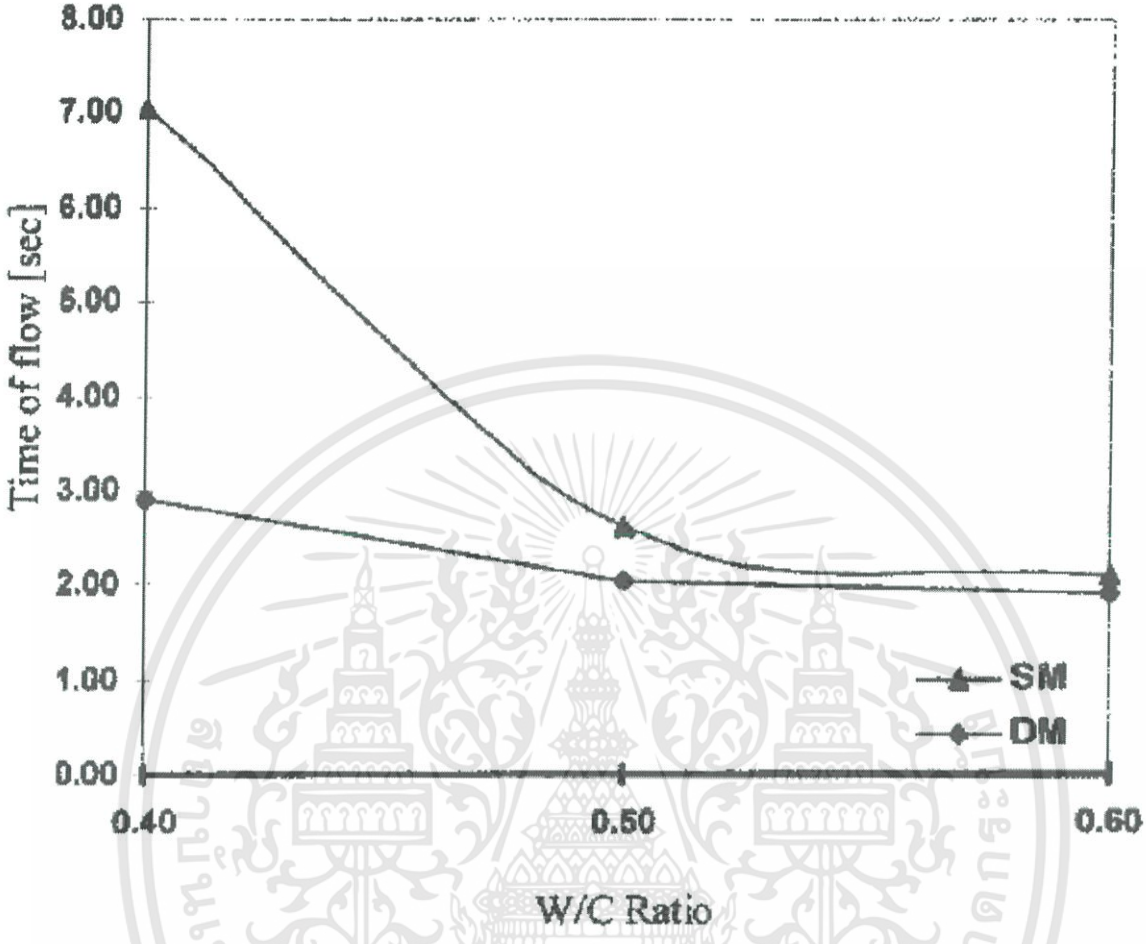
อัตราการคายน้ำจะลดต่ำลงเล็กน้อยเท่านั้น จะเห็นได้ว่าสิ่งที่สำคัญประการหนึ่งในการผสมแบบ DM นอกจากปริมาณน้ำในส่วนแรก (W1) ที่ใช้ผสมแล้ว เวลาที่ใช้ในการผสมก็เป็นส่วนสำคัญอีกประการหนึ่งที่ควรให้ความสนใจเช่นกัน



รูปที่ 2.7 แสดงการเยิ้มน้ำ Bleeding ที่W/Cต่างกัน

รูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่าการผสมแบบ DM สามารถลดการเกิด Bleeding ในซีเมนต์เพสท์ตัวอย่างได้ในทุกๆ W/C (0.40,0.50,0.60) โดยเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในซีเมนต์เพสท์ที่ W/C=0.60 ด้วยวิธีการผสมแบบ DM สามารถลดการ Bleeding ได้มากกว่าสองเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับการผสมแบบ SM และไม่เพียงลดการ Bleeding ได้แล้วแต่วิธีการผสมแบบ DM ยังสามารถทำให้ซีเมนต์เพสท์ที่ w/C=0.40 มีอัตราการไหลที่ดีขึ้นด้วย ตามรูปแสดงที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงค่าการไหลของตัวอย่างเมื่อทดสอบด้วยวิธีJSCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

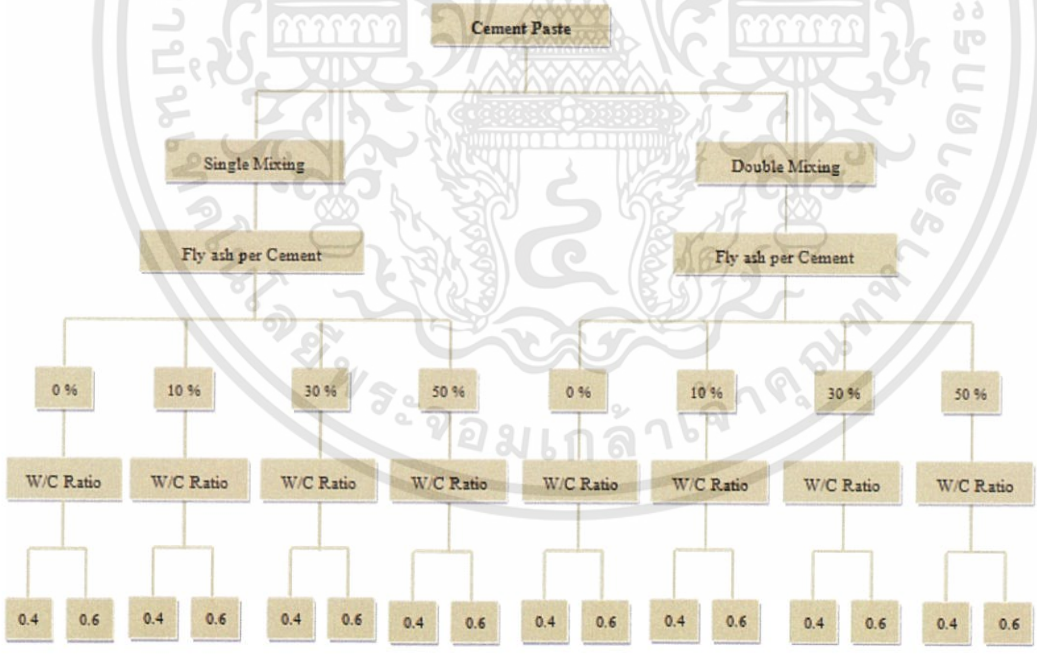
การดำเนินการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงวัสดุที่ใช้ในการทดลอง, วิธีการจัดเตรียมวัสดุ, เครื่องมืออุปกรณ์ตลอดจนขั้นตอนการทดลองโดยละเอียดซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM และ JSCE

3.1 การออกแบบการทดลอง

3.1.1 การทดลองซีเมนต์เพสต์

ศึกษาถึงคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ได้จากการผสมแบบมาตรฐาน (Single Mixing) และการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นส่วน (Double Mixing) เปรียบเทียบกัน โดยกำหนดส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างให้มีสัดส่วนของเถ้าถ่านหิน และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่แตกต่างกันในแต่ละชุดตัวอย่างดังนี้



รูปที่ 3.1 การกำหนดสัดส่วนของเถ้าถ่านหิน และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่แตกต่างกันของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง

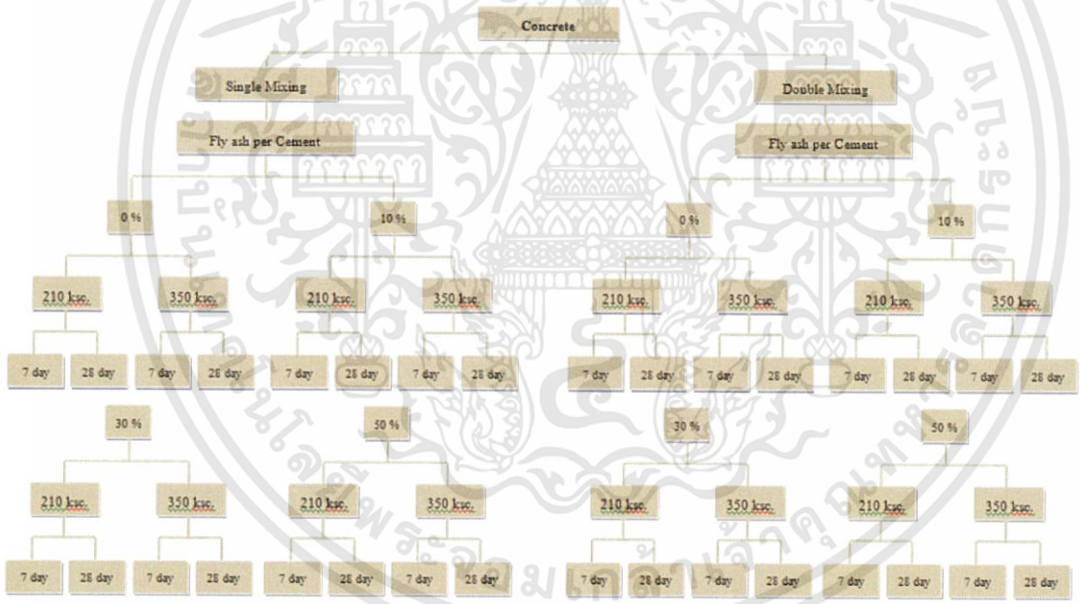
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการทดลองจะทำการศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. การเยิ้มน้ำ (Bleeding)
2. ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ (Workability)
3. ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkage)

3.1.2 การทดลองคอนกรีต

ศึกษาถึงคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปของคอนกรีตตัวอย่างที่ได้จากการผสมแบบมาตรฐาน (Single Mixing) และการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นส่วน (Double Mixing) เปรียบเทียบกัน โดยกำหนดส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างให้มีสัดส่วนของเถ้าถ่านหิน และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่แตกต่างกันในแต่ละชุดตัวอย่างเช่นเดียวกับการทดลองในส่วนของซีเมนต์เพสต์ ดังนี้



รูปที่ 3.2 การกำหนดสัดส่วนของเถ้าถ่านหิน และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่แตกต่างกันของคอนกรีตตัวอย่าง

โดยการทดลองจะทำการศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้า (Surface Abrasion)
2. การทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัด (Compressive Strength)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการทดสอบคุณสมบัติทั้งสองประเภทของคอนกรีต กำหนดกำลังของก้อนตัวอย่างที่ 210ksc และ 350 ksc เป็นจำนวน 3 ชุดการทดลอง (3ก้อน) และทำการทดสอบที่คอนกรีตตัวอย่างมีอายุ 7 วัน และ 28 วัน

3.2 การเตรียมตัวอย่างและวัสดุที่ใช้

3.2.1 วัสดุ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตใช้มากที่สุดเหมาะสำหรับผลิตคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดายี่ห้อที่ใช้คือปูนซีเมนต์ตราช้าง

2. เถ้าถ่านหิน (Fly Ash) จากแหล่งโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

รูปที่ 3.3 ปูนซีเมนต์ และเถ้าถ่านหินแม่เมาะ

3. มวลรวมละเอียด เป็นทรายแม่น้ำล้างน้ำจนสะอาดก่อนนำมาใช้ปรับให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งหาขนาดคละของมวลรวมโดยนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 230 ค้างบนตะแกรงเบอร์ 200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. มวลรวมหยาบ หินย่อยหรือกรวด มีขนาดคละดี สะอาด แข็งแกร่ง มีลักษณะค่อนข้างกลม แต่มีเหลี่ยมมุมและผิวหยาบ ตามมาตรฐานมอก.556 หรือ ASTM C33

5. น้ำ เป็นน้ำประปาสะอาด

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์

เป็นการเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งตัวอย่างที่ได้มาจากทั้งการผสมแบบมาตรฐาน (SM) และการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) และใช้เถ้าลอยเข้าไปทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนตามที่กำหนด

w/c	%FA	Water	Cement
0.4	0%	40	100
	10%		
	30%		
	50%		
0.6	0%	60	
	10%		
	30%		
	50%		

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนร้อยละของส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมซีเมนต์เพสต์

ขั้นตอนการผสมซีเมนต์เพสต์แบบมาตรฐานและแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน

ทำการผสมซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดลอง โดยมีขั้นตอนในการผสมตัวอย่างทั้งสองวิธีดังนี้

$$SM : w \xrightarrow[+Cement+Flyash]{L:0.5\,\text{min}} \xrightarrow[Mixing]{H:x\,\text{min}}$$

$$DM : w_1 \xrightarrow[+Cement]{L:0.5\,\text{min}} \xrightarrow[PM.]{H:y\,\text{min}} +w_2 \xrightarrow[SM.]{H:z\,\text{min}}$$

$$DM : w_1 \xrightarrow[+Cement+Flyash]{L:0.5\,\text{min}} \xrightarrow[PM.]{H:y\,\text{min}} +w_2 \xrightarrow[SM.]{H:z\,\text{min}}$$

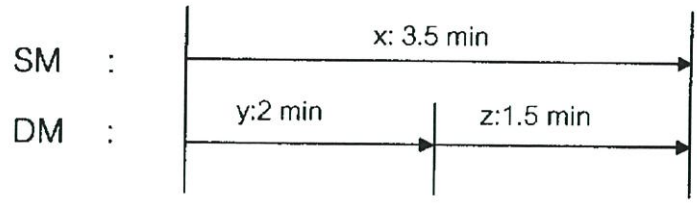
x : mixing time for SM , y,x : primal and secondary mixing time for DM , x=y+z

C : cement , W : water , W1 : primal water , W2 : secondary water , L : low speed

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

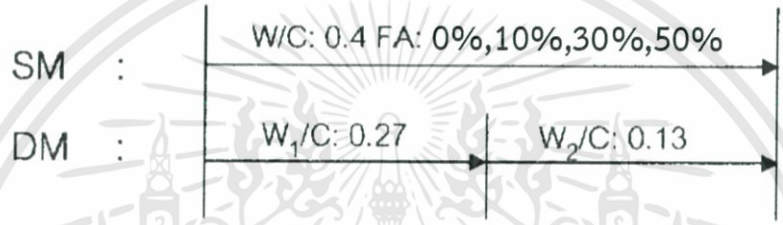
รูปที่ 3.4 แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



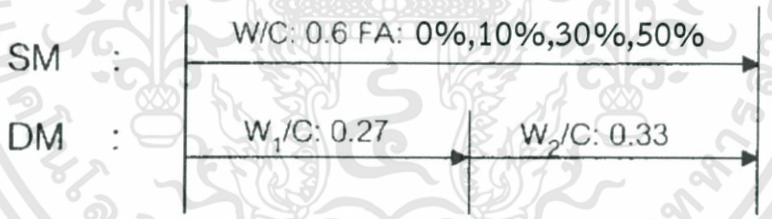
รูปที่ 3.5 แสดงเวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์ทั้งแบบ SM และ DM

1.การผสมซีเมนต์เพสต์ที่มี w/c=0.4 และมีการทดแทน Fly ash ที่ 0%, 10%, 30% และ 50%



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการผสมซีเมนต์เพสต์แบบSM และ DM โดยมี w/c = 0.4

2.การผสมซีเมนต์เพสต์ที่มี w/c=0.6 และมีการทดแทน Fly ash ที่ 0%, 10%, 30% และ 50%



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการผสมซีเมนต์เพสต์แบบ SM และ DM โดยมี w/c = 0.6 และ %FA=10

แล้วจึงนำซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ได้ ไปทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆดังที่กำหนดไว้เบื้องต้น

3.2. การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

การเตรียมตัวอย่างการทดลองในส่วนของคอนกรีตจะมีหลักการผสมในลักษณะเดียวกันกับการผสมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ โดยการเตรียมวัสดุผสมไว้ตามที่ออกแบบตามตารางที่ 3.2 การผสมคอนกรีตด้วยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน ทำโดยเริ่มจากการแบ่งน้ำส่วนแรกที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.27 และในขั้นต้นของการผสมจะเริ่มจากการใส่หินที่อิ่มตัวผิวแห้งลงไป 1 ใน 3 ส่วนของหินที่ได้เตรียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไว้ แล้วจึงทำการใส่น้ำส่วนแรกเข้าไปทำการคลุกเคล้าตามเวลา และความเร็วเครื่องผสมที่กำหนด จากนั้น ทำการใส่น้ำที่เหลือจนครบตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ทำการใส่หินและทรายที่เหลือตามลำดับ

w/c	%FA	Water	Cement	Sand	Rock
40%	0%	40	100	200	400
	10%				
	30%				
	50%				
0.6	0%	60			
	10%				
	30%				
	50%				

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนร้อยละของส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมคอนกรีต

3.3 วิธีการทดลอง

การดำเนินการวิจัยได้ปฏิบัติตามขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

3.3.1 การเยิ้มน้ำ (Bleeding)JCI by Prof. Eiichi TAZAWA

การทดสอบวัดค่าการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ที่ผิวด้านบน ทำโดยการผสมซีเมนต์กับน้ำในเครื่องผสมซีเมนต์เพสท์ตามขั้นตอนการผสมดังแสดงในรูปที่ 3.8 จากนั้นทำการเทซีเมนต์เพสท์ตัวอย่างลงในชุดทดสอบการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ซึ่งปริมาตรซีเมนต์เพสท์ที่ใช้ในการทดลองประมาณ400 มิลลิลิตร จากนั้นนำแผ่น Scale ที่มีความละเอียดเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ติดที่ผิวภายนอกของชุดทดสอบ โดยกำหนดค่าศูนย์อยู่ที่ผิวบนของซีเมนต์เพสท์ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.9จากนั้นทำการแขวนชุดทดสอบไว้แล้วทำการจดบันทึกค่าทุก 30 นาที จนกว่าซีเมนต์เพสท์ตัวอย่างจะหยุดการเยิ้มน้ำ หรือระยะเวลาผ่านไปอย่างน้อย 4-6 ชั่วโมง ทำการบันทึกค่า โดยค่าการเยิ้มน้ำที่อ่านได้จะนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การ Bleeding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

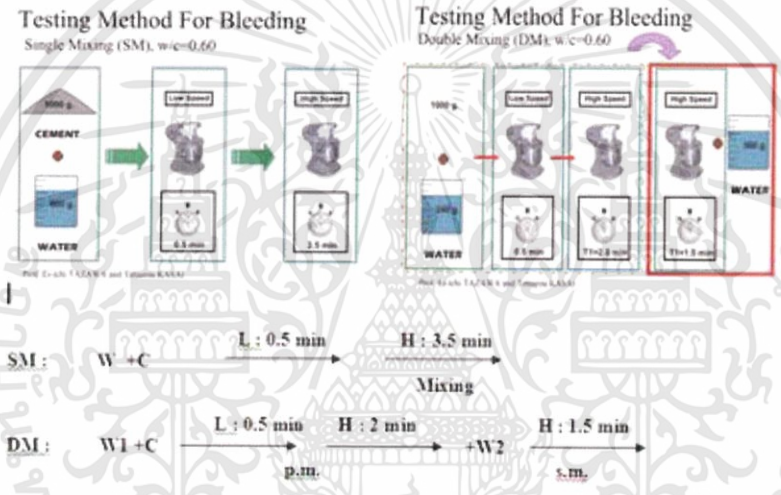
$$\text{Bleeding [\%]} = \frac{V_2 - V_1}{V_c} \times 100$$

V_c = ความสูงของซีเมนต์เพสท์ที่ปริมาตรเริ่มต้น

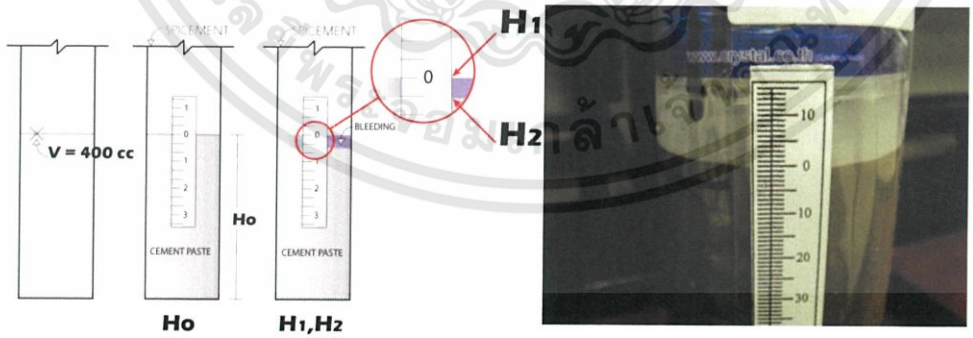
V_1 = ความสูงที่ระดับผิวของซีเมนต์เพสท์

V_2 = ความสูงที่ระดับผิวน้ำของตัวอย่างทดสอบ

รูปที่ 3.8 แสดงวิธีการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเยิ้มน้ำ



รูปที่ 3.9 แสดงขั้นตอนการผสมแบบ SM และ DM

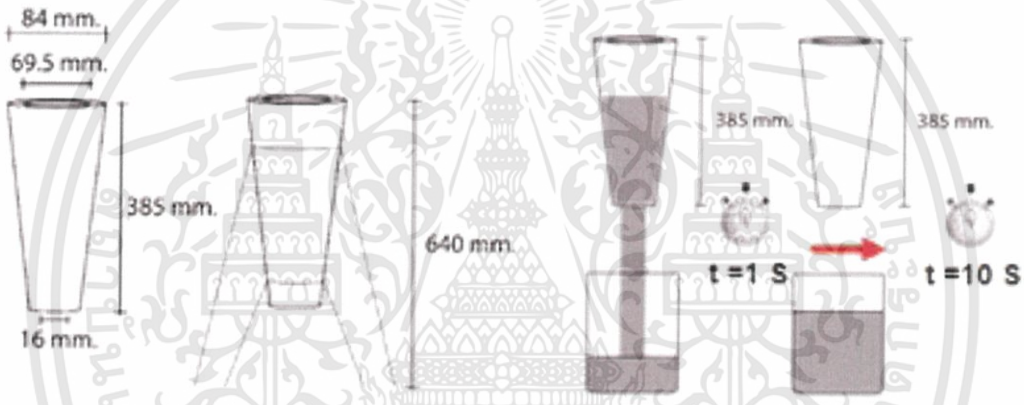


รูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่างการวัดค่าการเยิ้มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ความสามารถการไหล (JSCE-F531-1993)

การทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสท์ตัวอย่างจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993 โดยการทดสอบจะทำการผสมซีเมนต์เพสท์ตัวอย่างในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ ทำการเทซีเมนต์เพสท์ตัวอย่างที่ผสมเสร็จลงในอุปกรณ์ทดสอบจนเต็มพอดี โดยทำการปิดช่องเปิดบริเวณด้านล่างของอุปกรณ์ทดสอบให้สนิท ทำการจับเวลาอัตราการไหลผ่านของซีเมนต์เพสท์ทันทีเปิดช่องเปิดด้านล่าง ให้ซีเมนต์เพสท์ตัวอย่างไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบอย่างอิสระ ทำการจดบันทึกค่าอัตราการไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบมาตรฐานของซีเมนต์เพสท์ตัวอย่าง โดยค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของเวลาของการไหลของซีเมนต์เพสท์ตัวอย่าง (วินาที)

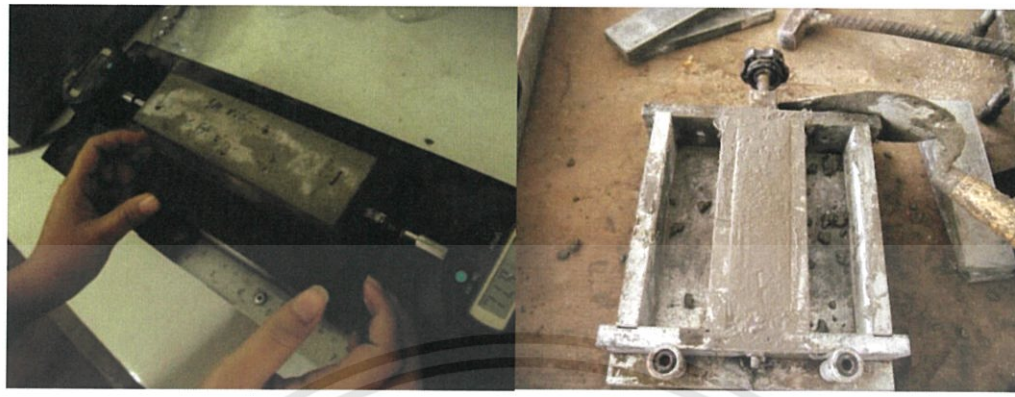


รูปที่ 3.11 แสดงอุปกรณ์การทดลองวัดอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์ (JSCE-F531-1993)

3.3.3 การทดลองการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ตามมาตรฐาน JIS A 1129

การทดลองจะเป็นการทดสอบวัดค่าการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkage) ซึ่งเป็นการวัดการหดตัวภายนอกของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง ทำการทดสอบได้โดยการเทซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างลงในแบบหล่อตัวอย่างขนาด 40x40x160 มิลลิเมตร และทำการเก็บค่าเมื่อซีเมนต์แข็งตัว บันทึกค่าทุกวันตลอด 90 วัน ตามมาตรฐาน JIS A 1129, “Test method for length change of mortar and concrete.”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงการทดลองการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ตามมาตรฐาน JIS A 1129

3.3.4 การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้า (Surface Abrasion)

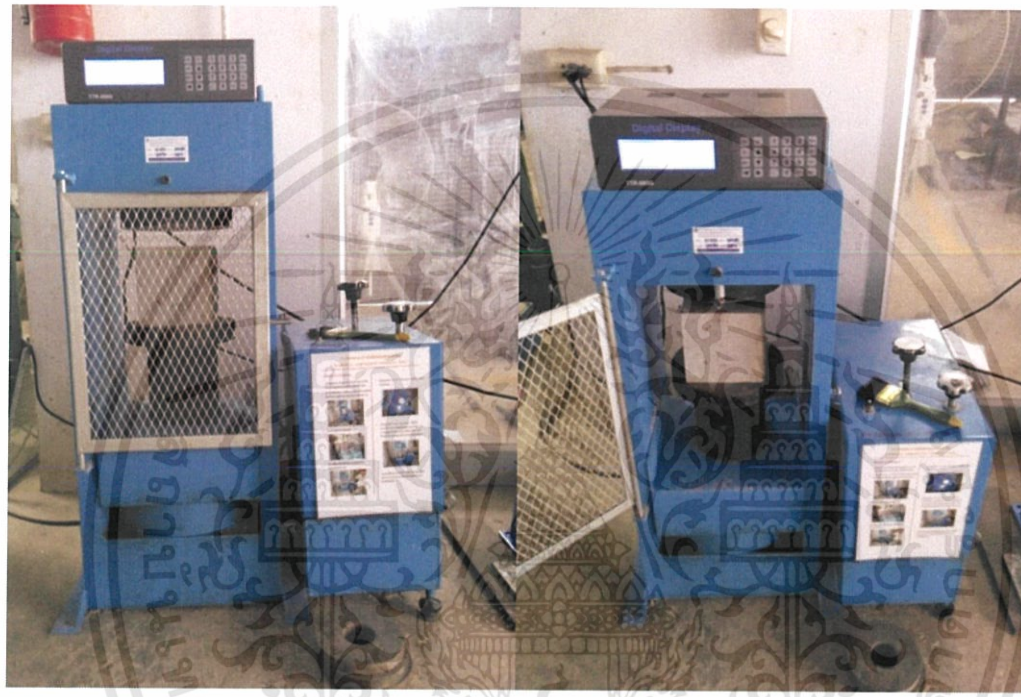
วิธีทดสอบมาตรฐานคอนกรีตโดยการขัดสีที่ผิว (The ASTM C944 : Standard Test for Abrasion Resistance Method of Concrete or Mortar Surface by the Rotating-Cutter Method) เริ่มทำการทดลองนำคอนกรีตตัวอย่างที่มีอายุ 7 วัน และ 28 วันมาทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าเป็นเวลา 2 นาที โดยจะชั่งน้ำหนักลูกปูนตัวอย่างก่อนและหลังทำการทดสอบเพื่อวัดค่าน้ำหนักที่ขาดหายไป (loss weight) ซึ่งเกิดจากการสึกกร่อนโดยเครื่องทดสอบ

รูปที่ 3.13 - 3.15 แสดงการทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าตามมาตรฐาน The ASTM C944-99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 ความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีต (Compressive Strength)

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39, “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens” โดยจะทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 ซม. ทำการทดสอบคอนกรีตตัวอย่างที่อายุ 7 วันและ 28 วัน



รูปที่ 3.16 แสดงการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39
“Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

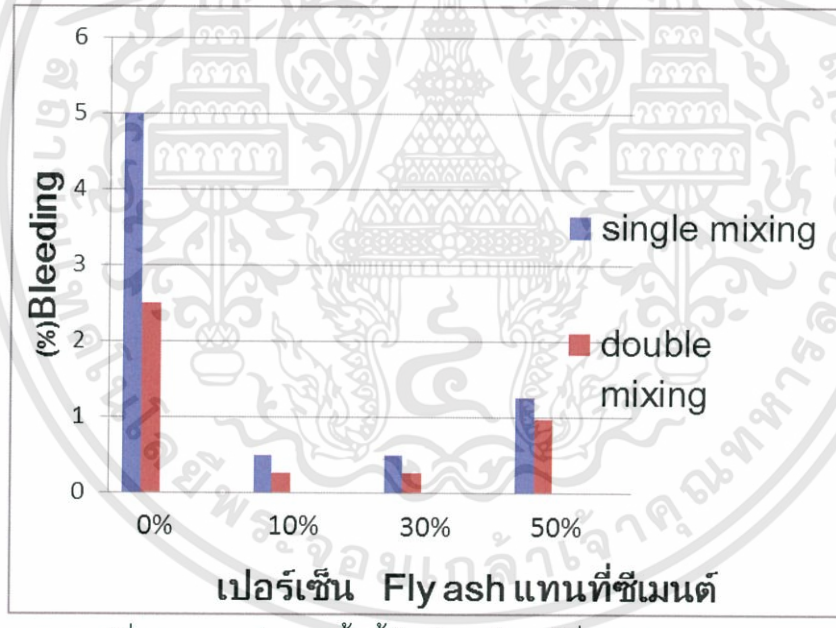
บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดสอบซีเมนต์เพสต์

4.1.1 ค่าการเยิ้มน้ำ (Bleeding)

จากการทดสอบการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง โดยผสมซีเมนต์เพสต์ตามมาตรฐานACI และการผสมที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่างกัน พบว่าเมื่อผสมเถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนต่างๆ ที่แตกต่างกันจะส่งผลให้เกิดการเยิ้มน้ำที่แตกต่างกัน และซีเมนต์เพสต์ที่มีการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) สามารถลดการเยิ้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ได้ในทุกตัวอย่าง

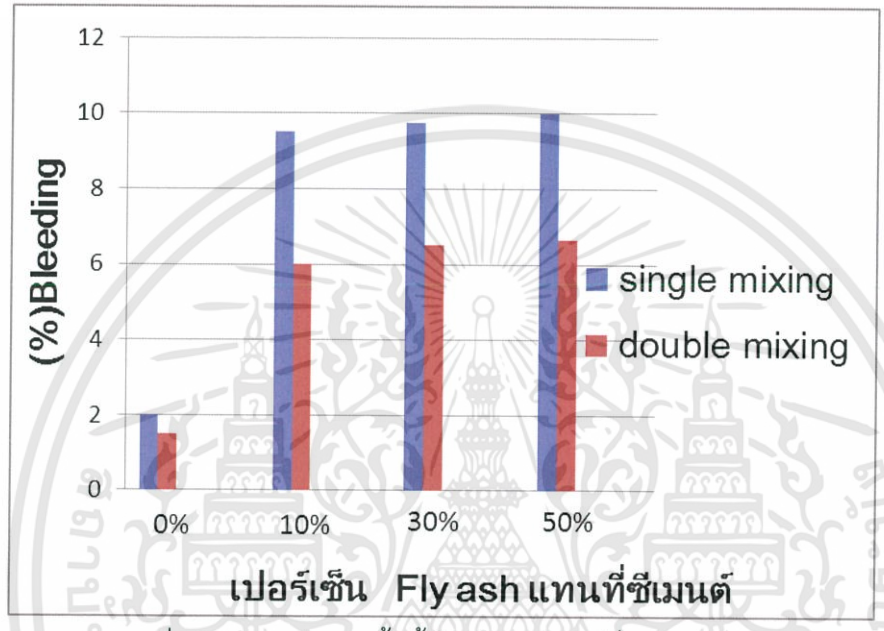


รูปที่ 4.1 แสดงค่าการเยิ้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C = 0.4

จากรูปที่ 4.1พบว่าในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) = 0.4 เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยในการแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ จะส่งผลให้ค่าการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างลดต่ำลง และเมื่อนำมาเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ผสมโดยไม่มีการแทนที่ปริมาณเถ้าลอยในซีเมนต์ พบว่าค่าการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ที่มีเถ้าลอยผสมอยู่จะลดต่ำลงมากที่สุดเมื่อผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 10 และจะมีการเยิ้มน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการเยิ้มน้ำในซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพสต์ที่ได้จากการผสมแบบมาตรฐาน และแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน พบว่าการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนส่งผลให้การเยิ้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ลดลง ซึ่งสามารถลดการเยิ้มน้ำได้สูงสุดถึง 40-50% ในซีเมนต์เพสต์ที่มีปริมาณเถ้าลอยผสมอยู่ 0%-30% และความสามารถลดการเยิ้มน้ำของการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนจะต่ำลงเมื่อใส่เถ้าลอยในปริมาณ 50%



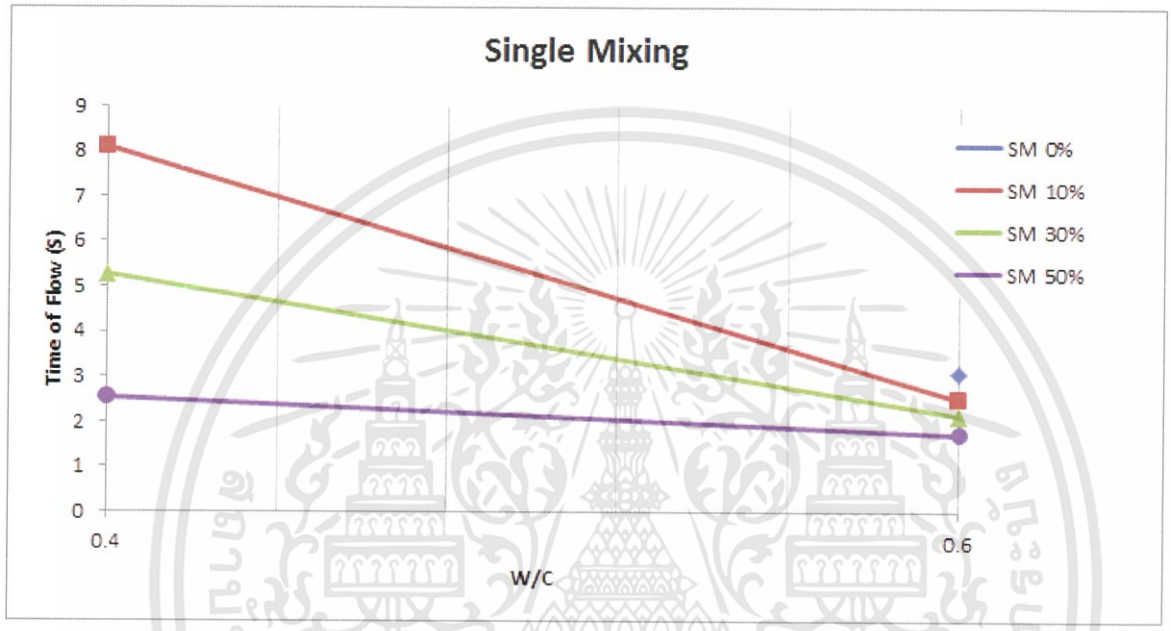
รูปที่ 4.2 แสดงค่าการเยิ้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C = 0.6

จากรูป 4.2 ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) = 0.6 เมื่อเปรียบเทียบค่าการเยิ้มน้ำระหว่างซีเมนต์เพสต์ที่ไม่มีการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยและซีเมนต์เพสต์ พบว่ามีค่าต่ำกว่าการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ที่มีการผสมเถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ และการเพิ่มสัดส่วนเถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ทำให้เกิดการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์เพิ่มขึ้น และการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนสามารถลดการเยิ้มน้ำได้สูงถึง 30-40% และสามารถลดการเยิ้มน้ำได้มากขึ้นในซีเมนต์เพสต์ที่มีปริมาณเถ้าลอยผสมอยู่ 50% ซึ่งการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนสามารถลดการเยิ้มน้ำได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4

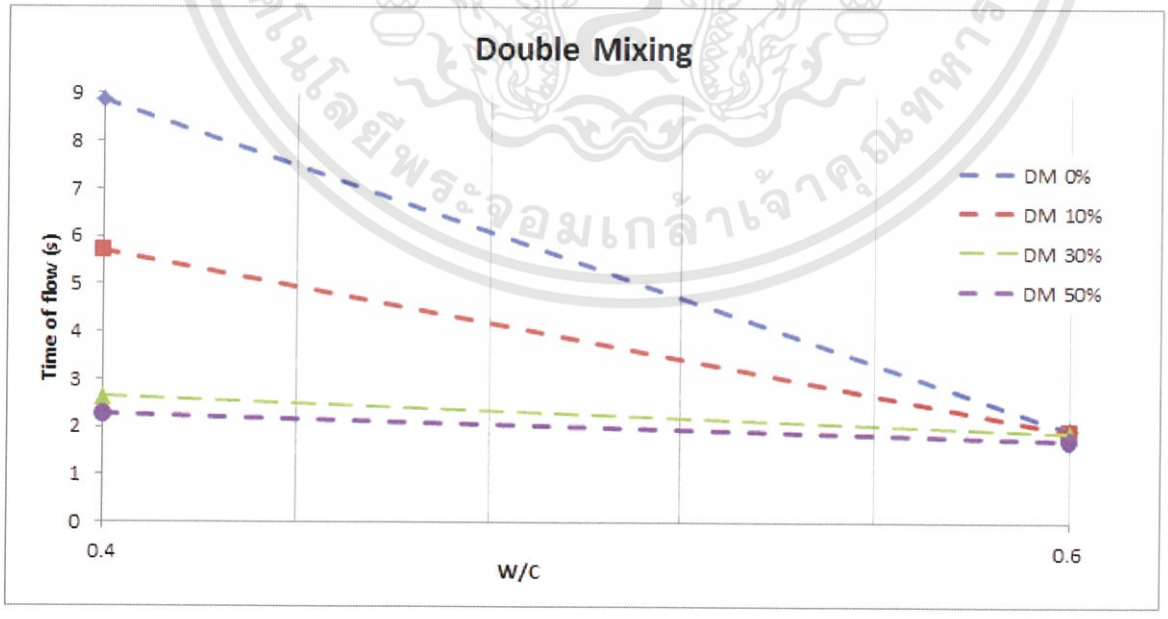
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์

ผลการทดสอบพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่แตกต่างกัน โดยนำมาเปรียบเทียบระหว่างการผสมสองวิธีคือการผสมตามมาตรฐาน และการผสมโดยการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน



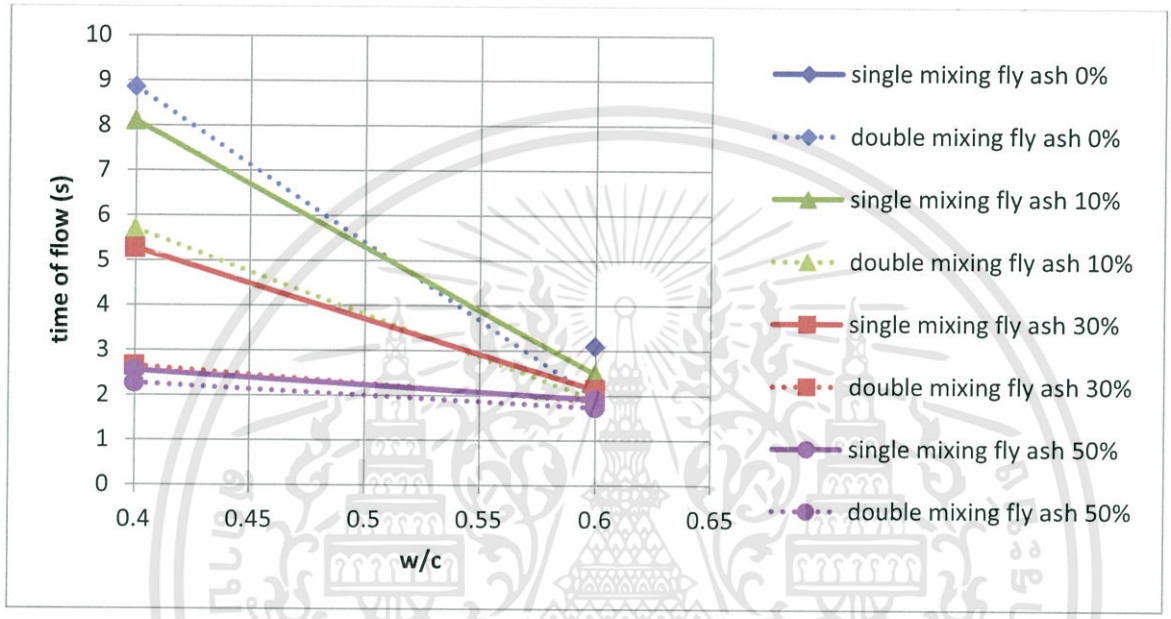
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio และ Time of flow ของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแบบ SM



รูปที่ 4.4แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio และ Time of flow ของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแบบ DM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3-4.4 พบว่าความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์จะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยในการผสม โดยในซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4 จะใช้เวลาในการไหลผ่านชุดทดสอบลดลง ความสามารถในการไหลมีการพัฒนาขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยในการผสม



รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบ Time of flow ของซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากการผสมแบบ SM และ DM

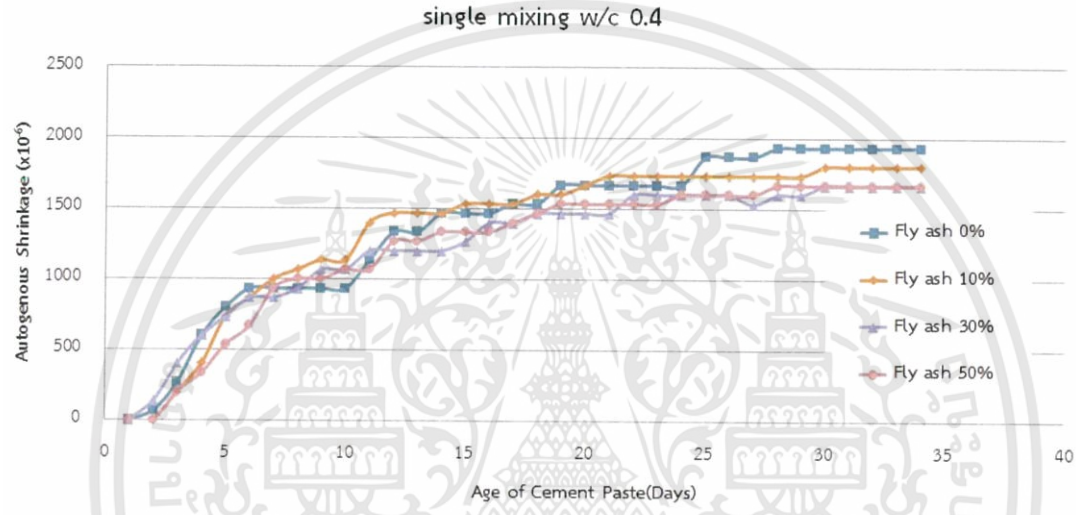
จากรูปที่ 4.5 เปรียบเทียบความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์จากการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนและแบบมาตรฐาน พบว่าเมื่อผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนสามารถลดเวลาที่ใช้ในการไหลซีเมนต์เพสต์จะมีความสามารถในการไหลดีขึ้นมากเมื่อเทียบกับการผสมแบบมาตรฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อซีเมนต์เพสต์มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำลงมากก็จะมีการพัฒนาความสามารถในการไหลได้ดีขึ้นอย่างชัดเจน โดยจากการทดสอบที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4 จะพบว่าเมื่อผสมซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนเถ้าลอย=0% ด้วยวิธีการผสมแบบมาตรฐาน ซีเมนต์เพสต์ไม่สามารถไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบได้ แต่เมื่อผสมด้วยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน ซีเมนต์เพสต์สามารถไหลผ่านได้โดยใช้เวลาในการไหล 9 วินาที และเมื่อเปรียบเทียบกับการผสมแบบมาตรฐาน พบว่าเมื่อผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน สามารถพัฒนาความสามารถในการไหลให้ดีขึ้นได้ถึงประมาณ 50% เมื่อมีการผสมเถ้าลอยในอัตราส่วน 10% และ 30% ในซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

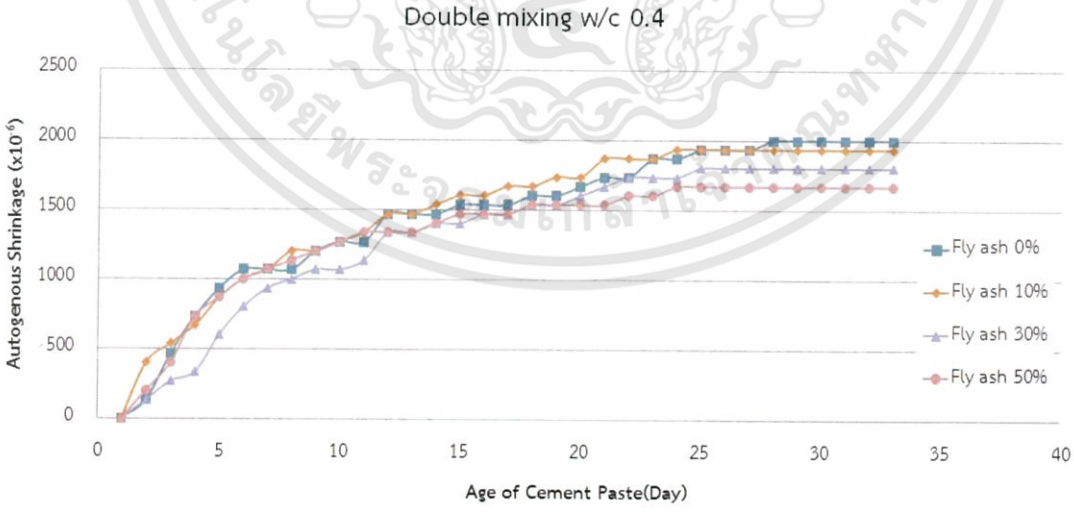
4.1.3 ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkages)

จากการทดสอบการหดตัวของซีเมนต์ตัวอย่างที่ผสมด้วยวิธีการผสมแบบมาตรฐาน (SM) และการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) โดยผสมเถ้าลอยในสัดส่วนปริมาณต่างๆ พบว่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างจะมีการหดตัวเพิ่มขึ้นตามอายุของซีเมนต์เพสต์

ความสัมพันธ์ของปริมาณเถ้าลอยกับค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์

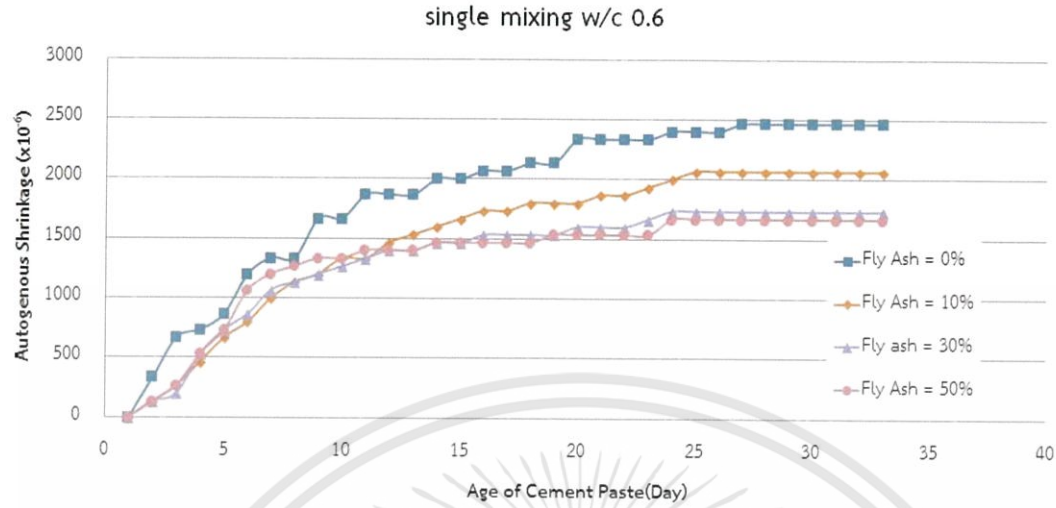


รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkages ของซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.4 จากการผสมแบบ SM

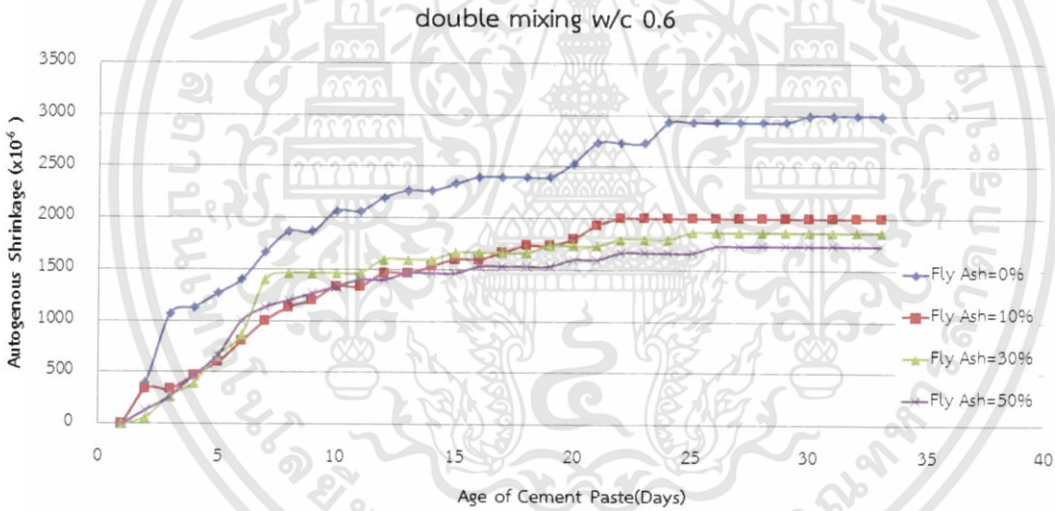


รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkages ของซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.4 จากการผสมแบบ DM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkages ของซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.6 จากการผสม SM



รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบ Autogenous Shrinkages ของซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.6 จากการผสมแบบ DM

รูปที่ 4.7-4.9 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ ปริมาณของเถ้าลอย และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) พบว่าค่าการหดตัวมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน โดยซีเมนต์เพสต์ที่ไม่มีการแทนที่ของเถ้าลอยจะมีค่าการหดตัวสูงสุดมากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่มีการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยซึ่งจะมีค่าการหดตัวลดลงตามปริมาณของเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น

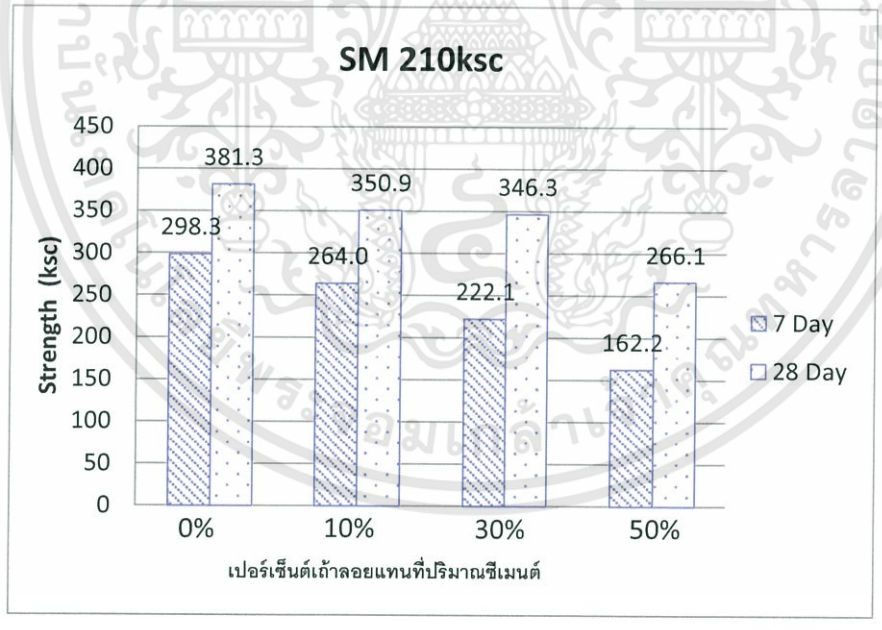
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อเปรียบเทียบค่าการหดตัวที่ได้จากการผสมทั้งสองวิธี จะพบว่าซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ผสมด้วยวิธีการผสมแบบมาตรฐาน (SM) และการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) มีค่าการหดตัวสูงสุดที่ใกล้เคียงกัน โดยซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างจากการผสมแบบมาตรฐานจะมีค่าการหดตัวสูงสุดมากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากกการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนเล็กน้อย

4.2 ผลการทดสอบคอนกรีต

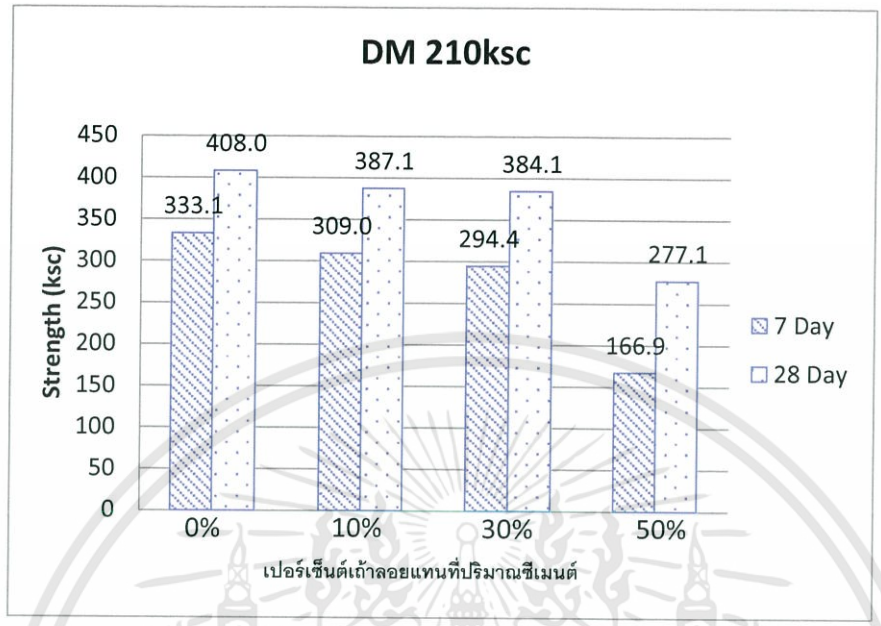
4.2.1 ค่าความสามารถในการรับกำลังอัด

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีวิธีการผสมแบบมาตรฐาน (SM) และวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนโดยกำหนดให้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีกำลังรับแรงอัดที่ 210 ksc และ 350ksc และทำการทดสอบคอนกรีตที่อายุ 7 วันและ 28 วัน โดยทำการเปรียบเทียบตัวอย่างคอนกรีตที่ปริมาณเถ้าลอยต่างๆกัน

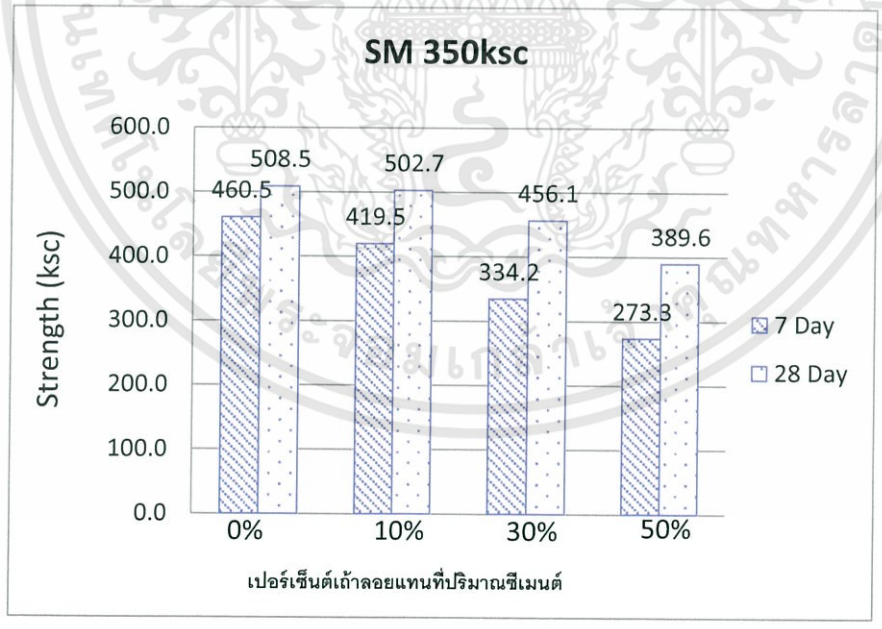


รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอายุ 7 และ 28 วัน จากการผสมแบบ SM ที่กำลังอัด 210 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

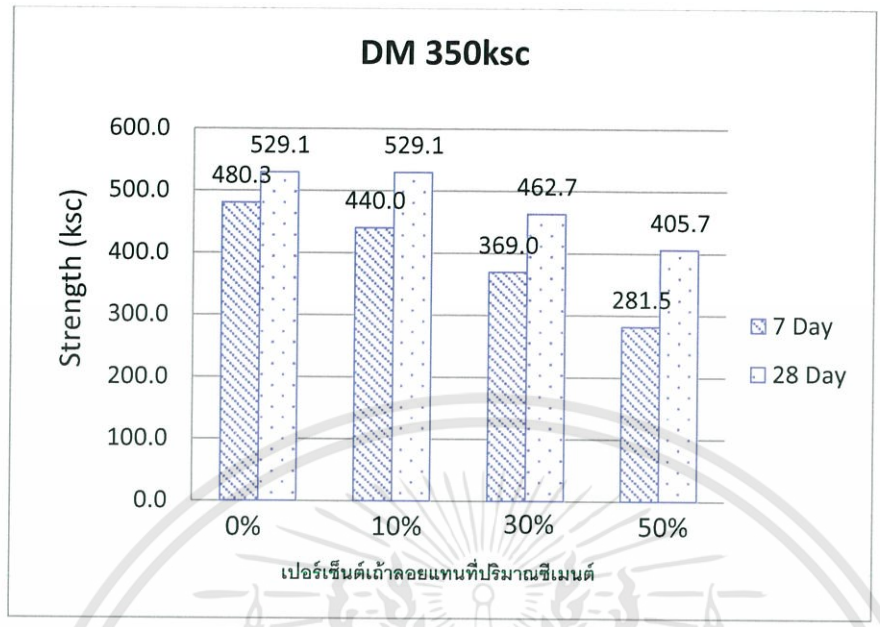


รูปที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอายุ 7 และ 28 วัน จากการผสมแบบ DM ที่กำลังอัด 210 ksc



รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอายุ 7 และ 28 วัน จากการผสมแบบ SM ที่กำลังอัด 350 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

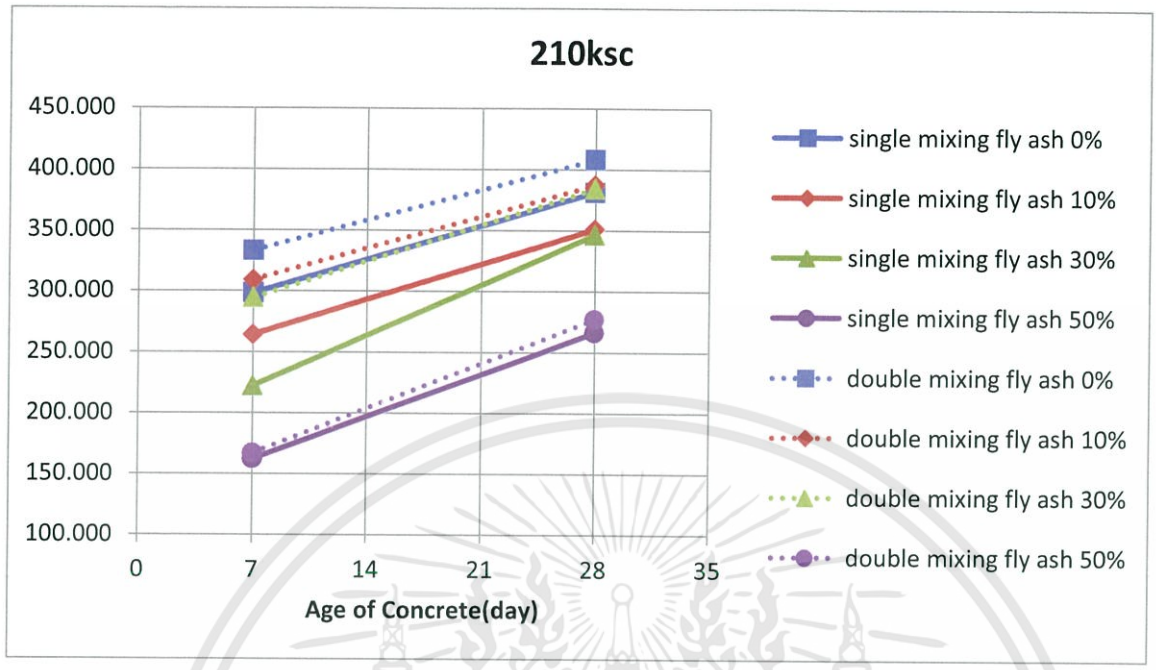


รูปที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอายุ 7 และ 28 วัน จากการผสมแบบ DM ที่กำลังอัด 350 ksc

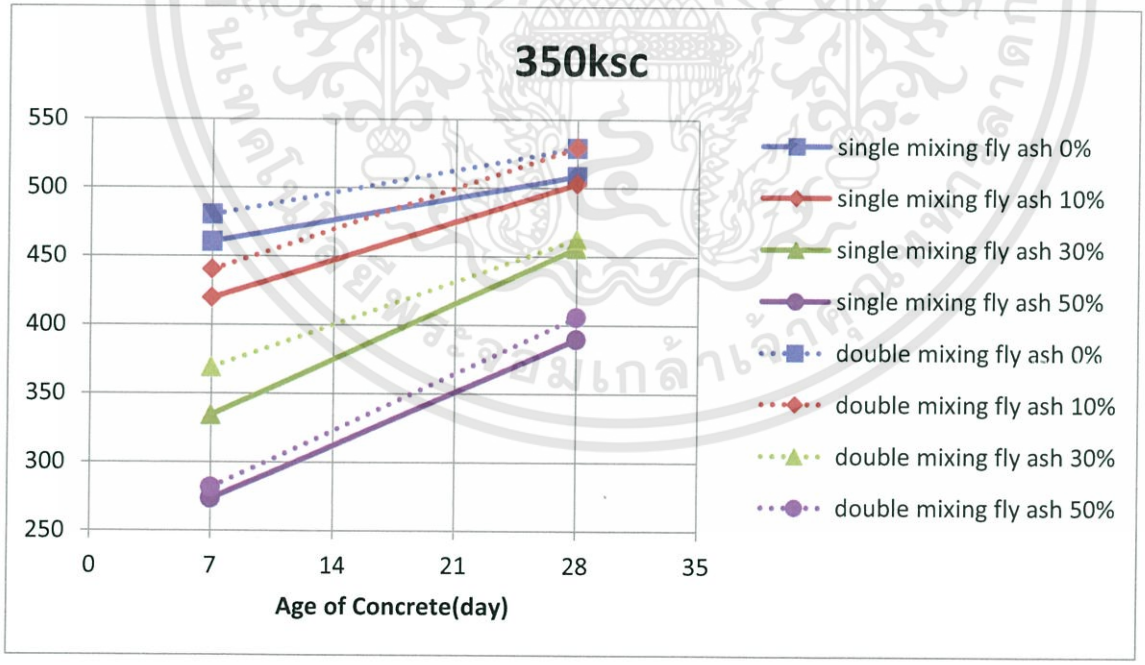
จากรูปที่ 4.10 – 4.13 เป็นผลการทดสอบค่าความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่อายุ 7 วันและ 28 วัน พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีการผสมเถ้าลอยลงไป จะมีค่าต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม โดยค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่มีการผสมเถ้าลอยจะลดลงตามปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.14 – 4.15 เป็นการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่ได้จากวิธีการผสมแบบมาตรฐาน (SM) และวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) พบว่าการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนจะช่วยเพิ่มความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่างได้ โดยจะเพิ่มขึ้นไม่มากนักเมื่อเทียบกับค่าความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต ที่กำลังอัด 210 ksc ที่ได้จากการผสมแบบ SM และ DM

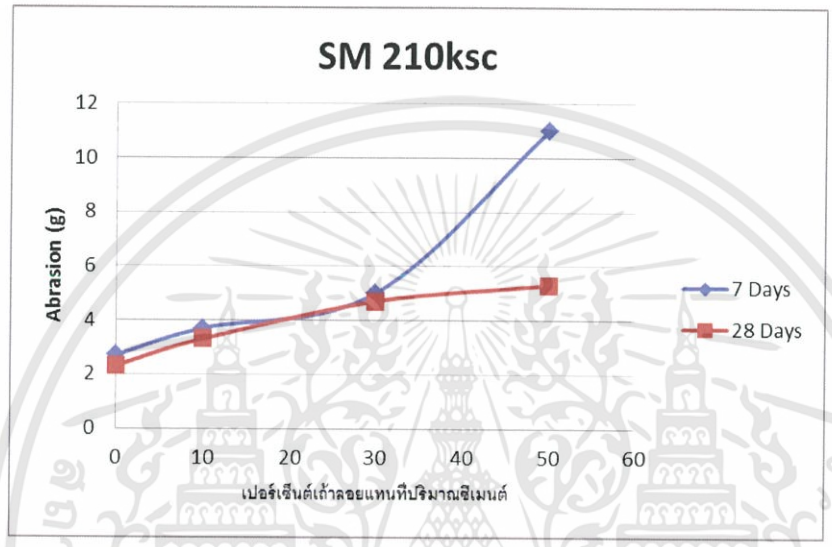


รูปที่ 4.15 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต ที่กำลังอัด 350 ksc ที่ได้จากการผสมแบบ SM และ DM

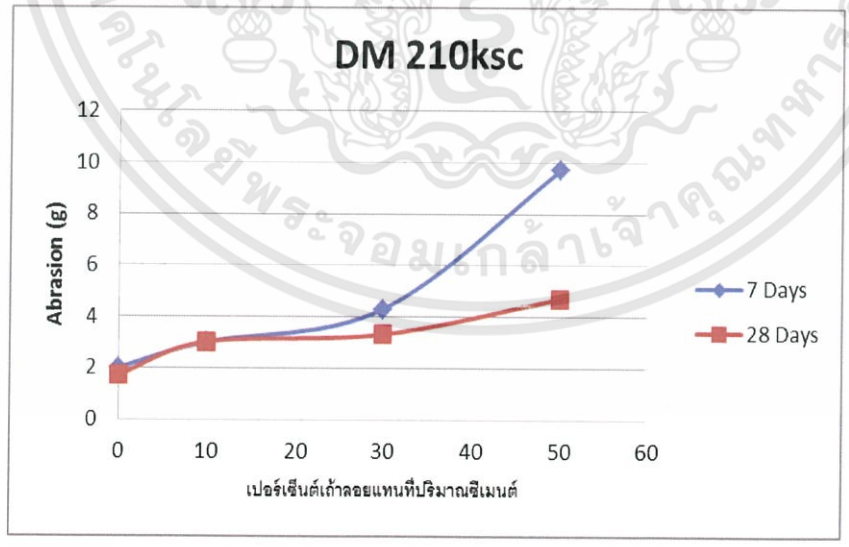
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ค่าการต้านทานการสึกกร่อน (Abrasion)

จากการทดสอบค่าการต้านทานการสึกกร่อน ของตัวอย่างคอนกรีต ที่ได้จากวิธีการผสมแบบมาตรฐาน (Single Mixing Method) และวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing Method) ซึ่งมีปริมาณเถ้าลอยในสัดส่วนต่างๆ และทำการทดสอบที่คอนกรีตอายุ 7 วันและ 28 วัน

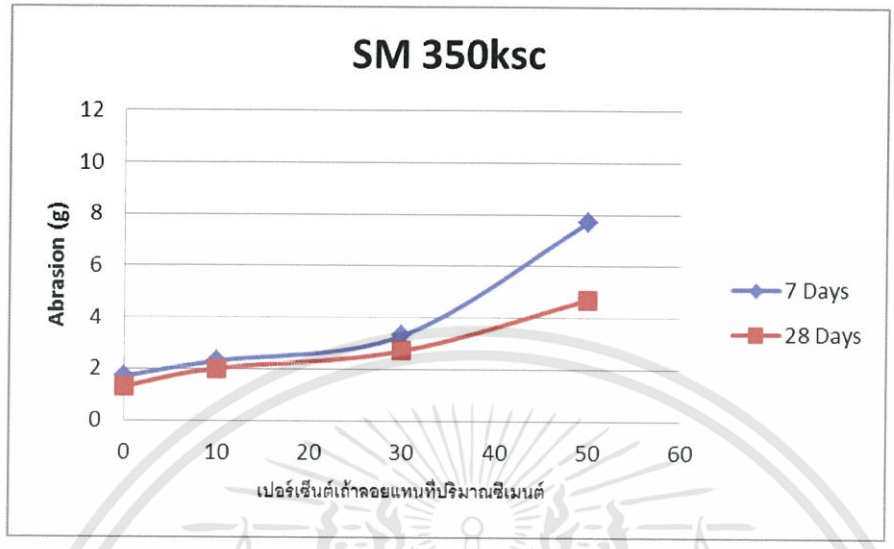


รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าการสึกกร่อนของคอนกรีตตัวอย่าง จากการผสมแบบ SM ที่กำลังอัด 210 ksc

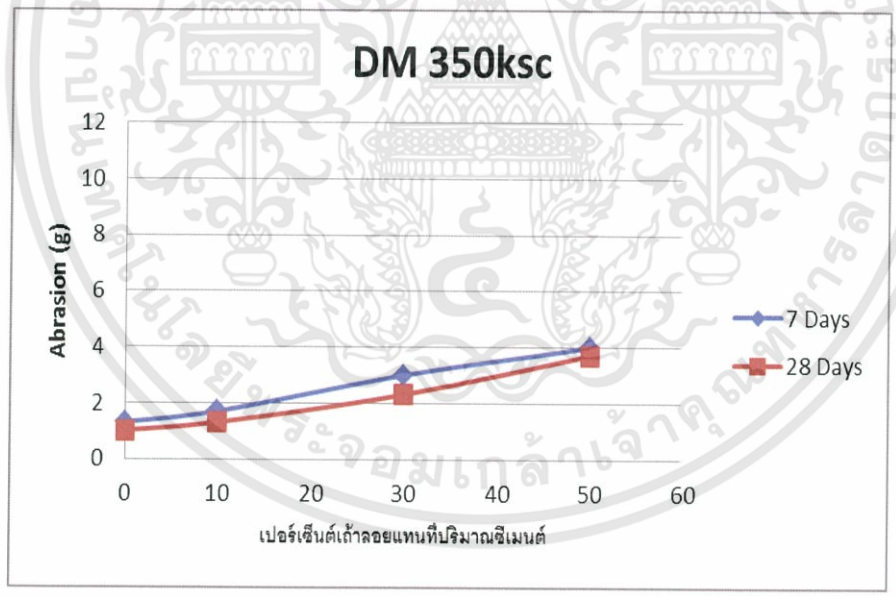


รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าการสึกกร่อนคอนกรีตตัวอย่าง จากการผสมแบบ DM ที่กำลังอัด 210 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าการสึกกร่อนของคอนกรีตตัวอย่าง
จากการผสมแบบ SM ที่กำลังอัด 350 ksc

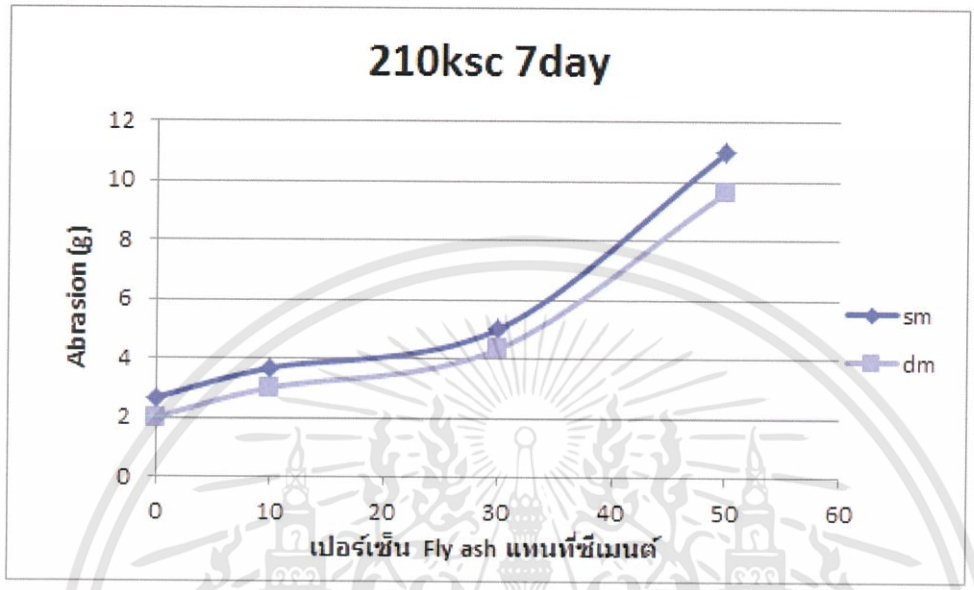


รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าการสึกกร่อนของคอนกรีตตัวอย่าง
จากการผสมแบบ DM ที่กำลังอัด 350 ksc

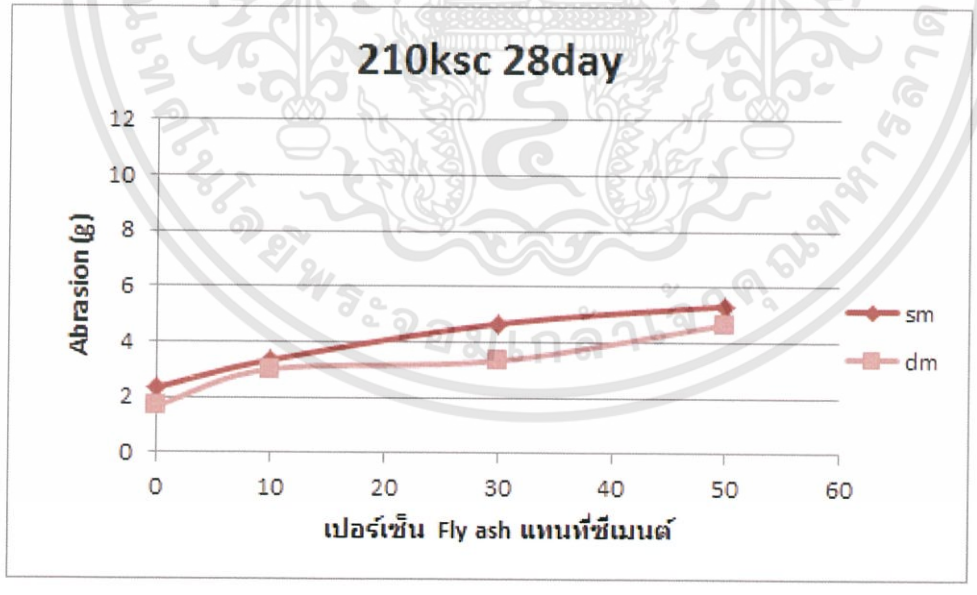
จากรูปที่ 4.16 - 4.19 เมื่อเทียบค่าการสึกกร่อนของคอนกรีตตัวอย่างที่อายุ 7 วันและ 28 วัน พบว่าเมื่อคอนกรีตตัวอย่างมีอายุเพิ่มขึ้น จะมีค่าการสึกกร่อนที่ลดลง โดยที่ปริมาณเถ้าลอย 50% จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสึกกร่อนที่28วันน้อยกว่าที่ 7วันอย่างเห็นได้ชัด และในคอนกรีตตัวอย่างที่มีปริมาณเถ้าลอยผสมอยู่ในช่วง 10%- 20% ปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตจะใกล้เคียงกันมาก

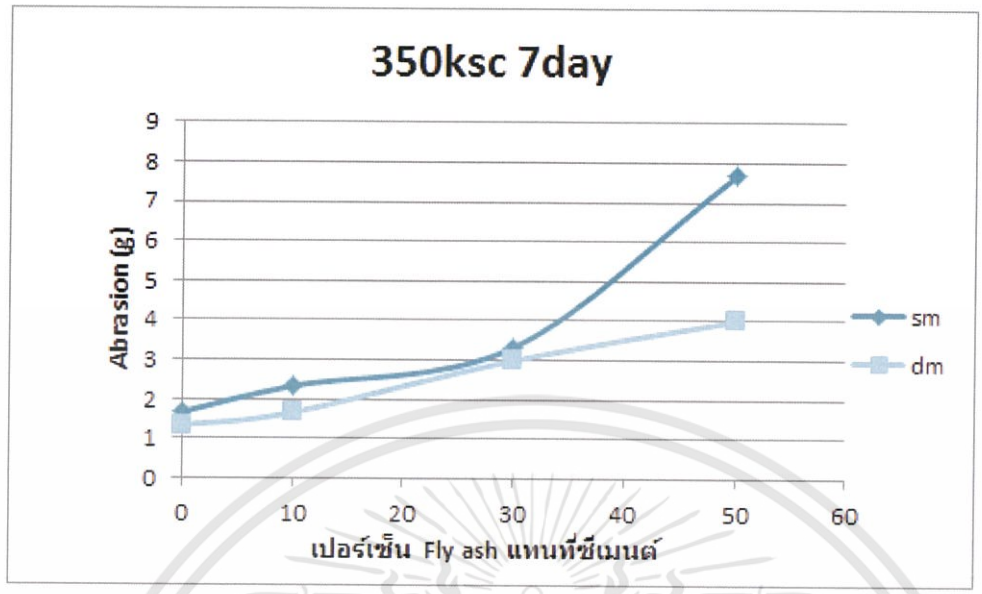


รูปที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสึกกร่อนของคอนกรีตตัวอย่างที่มีกำลังอัด 210kscและอายุ 7 วัน จากการผสมแบบ SM และ DM

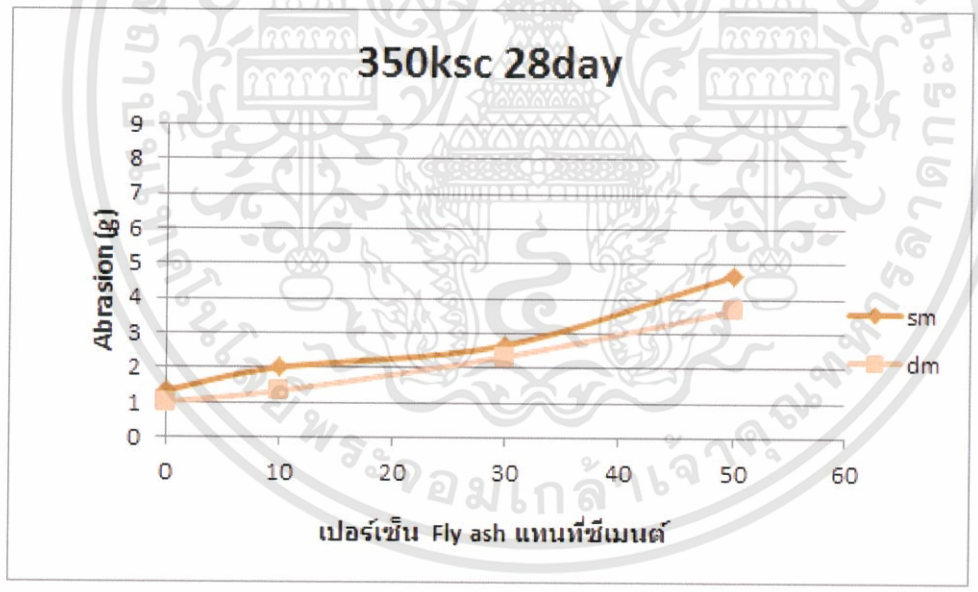


รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสึกกร่อนของคอนกรีตตัวอย่างที่มีกำลังอัด 210 kscและอายุ 28วัน จากการผสมแบบ SM และ DM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



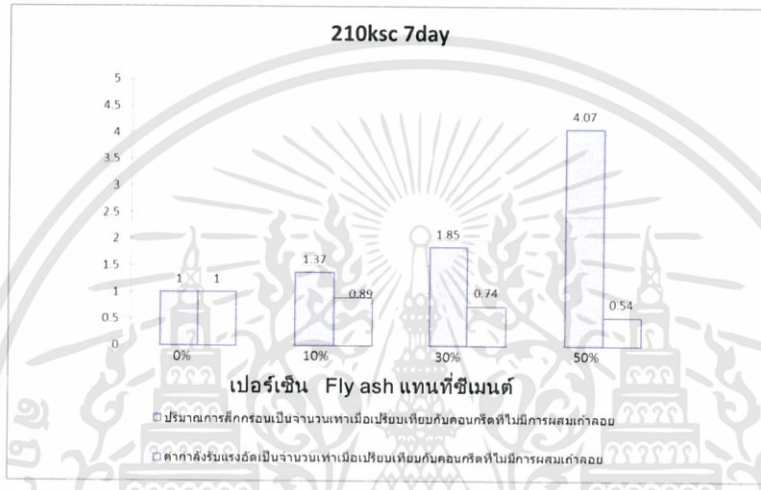
รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสึกกร่อนของคอนกรีตตัวอย่าง ที่มีกำลังอัด 350 kscและอายุ 7วัน จากการผสมแบบ SM และ DM



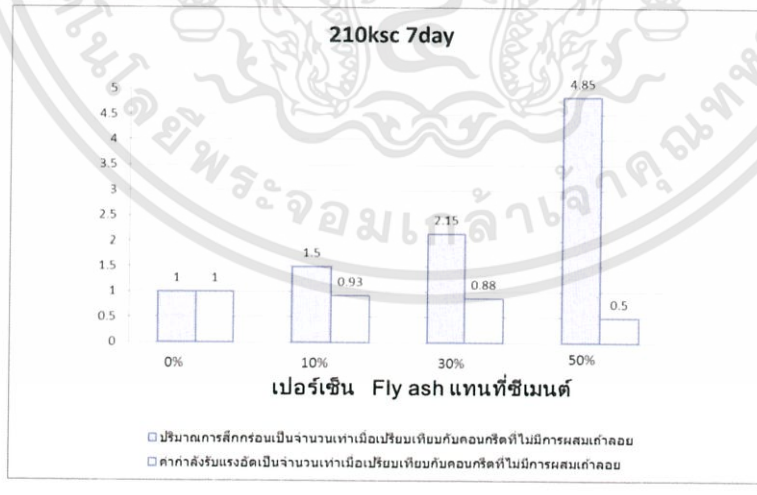
รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสึกกร่อนของคอนกรีตตัวอย่าง ที่มีกำลังอัด 350 ksc และอายุ 28วัน จากการผสมแบบ SM และ DM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.20 – 4.23 เมื่อเปรียบเทียบค่าการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของตัวอย่างคอนกรีต พบว่าการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนสามารถลดปริมาณการสึกกร่อนลงได้ โดยตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบมาตรฐาน จะมีการสึกกร่อนสูงกว่าการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน และเมื่อปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้น พบว่าคอนกรีตตัวอย่างมีการสึกกร่อนเพิ่มขึ้นเมื่อการเพิ่มปริมาณเถ้าลอย

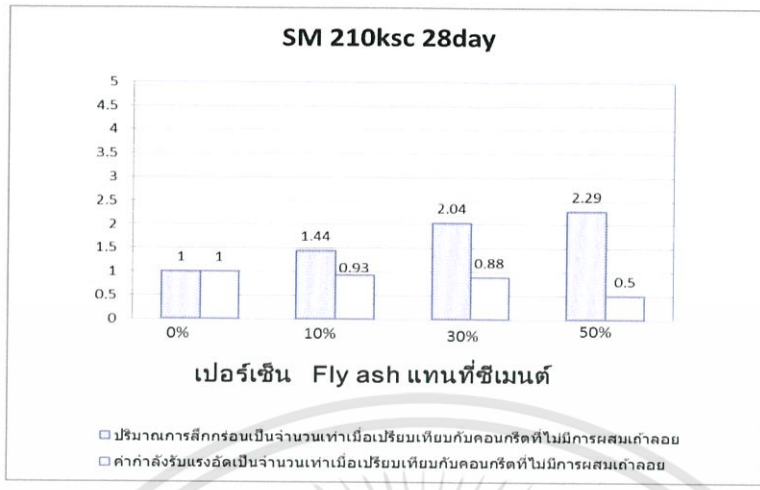


รูปที่ 4.24 แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ SM กำลังอัด 210 ksc ที่อายุ 7 วัน



รูปที่ 4.25 แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ DM กำลังอัด 210 ksc ที่อายุ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ SM กำลังอัด 210 ksc ที่อายุ 28 วัน

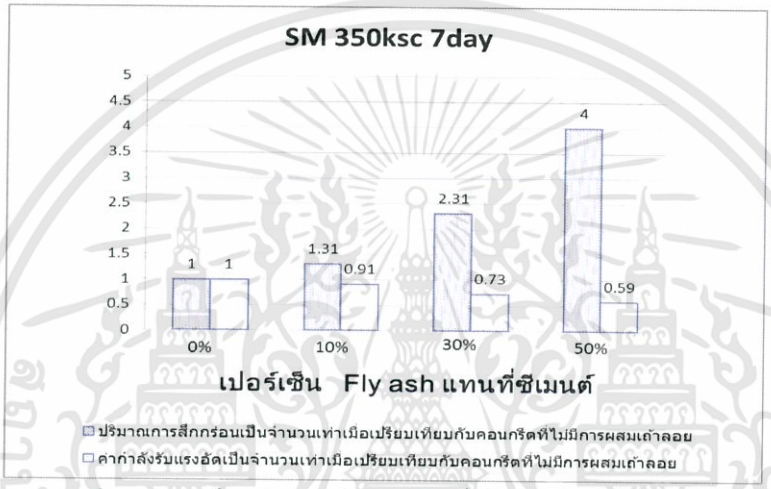
รูปที่ 4.27 แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ DM กำลังอัด 210 ksc ที่อายุ 28 วัน

จากรูปที่ 4.24-4.27 เป็นการแสดงค่าการสึกกร่อนของคอนกรีตตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบเป็นจำนวนเท่าตัวของค่าการสึกกร่อนที่ไม่มีการผสมของเถ้าลอย โดยพบว่าปริมาณการสึกกร่อนเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ค่าการสึกกร่อนจะสูงสุดเมื่อมีปริมาณเถ้าลอย 50% โดยจะมีค่าการสึกกร่อนของคอนกรีตผสมแบบ SM และ DM เป็น 4.07 และ 4.85 เท่า ที่อายุ 7 วัน ค่าการสึกกร่อนที่อายุ 28 วันเป็น 2.3 และ 2.76 ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าเมื่อคอนกรีต

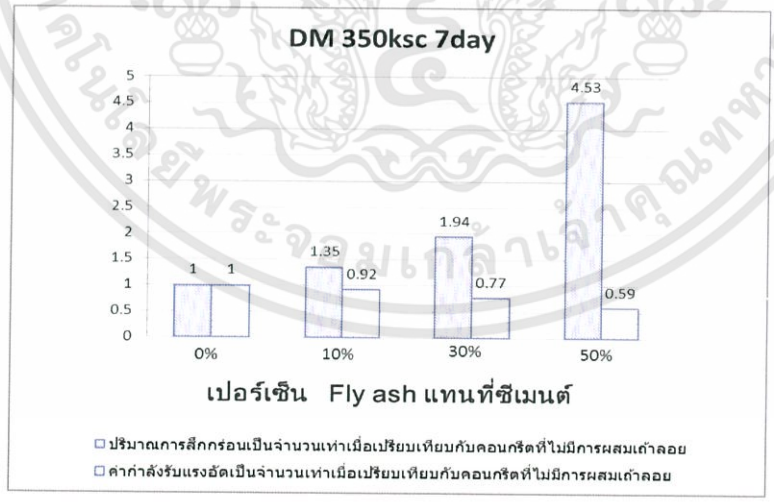
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างมีอายุ 28 วัน จะมีปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตที่มีการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยและคอนกรีตที่ไม่มีการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย น้อยกว่าที่ 7 วัน

และเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าตัวของกำลังของคอนกรีตล้วน พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดจะมีแนวโน้มลดลงเป็นจำนวนเท่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเถ้าลอย ซึ่งแนวโน้มที่ได้จะแปรผกผันกับค่าปริมาณการสึกกร่อน แต่ค่าเทียบเท่าของกำลังอัดที่ลดลง จะมีสัดส่วนการลดลงที่น้อยกว่าค่าการสึกกร่อนที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีตตัวอย่าง

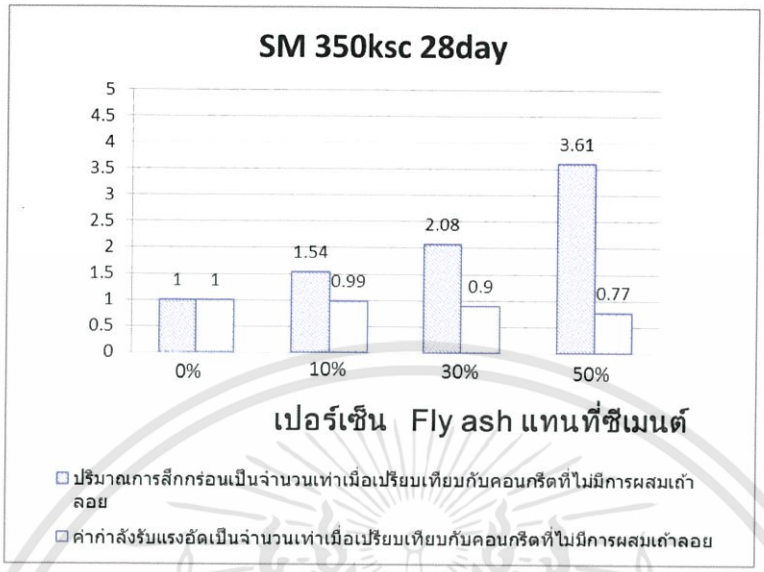


รูปที่ 4.28 แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ SM กำลังอัด 350 ksc ที่อายุ 7 วัน

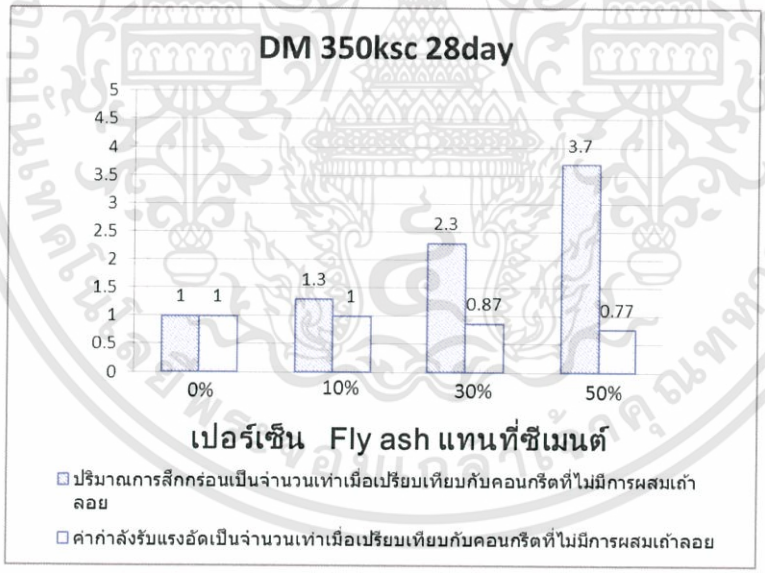


รูปที่ 4.29 แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ DM กำลังอัด 350 ksc ที่อายุ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ SM กำลังอัด 350 ksc ที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 4.31 แสดงปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ของคอนกรีตผสมแบบ DM กำลังอัด 350 ksc ที่อายุ 28 วัน

จากรูปที่ 4.28-4.31 แสดงในเห็นว่าปริมาณการสึกกร่อนของคอนกรีตที่มีการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่มีกำลังอัด 350 ksc จะมีค่าปริมาณการสึกกร่อนเพิ่มขึ้นในทุกปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่ม เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับคอนกรีตที่กำลังอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

210 ksc และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าเทียบกับคอนกรีตล้วน พบว่าค่ากำลังอัดจะมีแนวโน้มลดลงเป็นจำนวนเท่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเถ้าลอย ซึ่งแนวโน้มที่ได้จะแปรผกผันกับค่าปริมาณการสึกกร่อนเช่นเดียวกับคอนกรีตกำลังอัด 210 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

1. การเยิ้มน้ำที่เกิดในซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างโดยการผสมตามวิธีการผสมแบบมาตรฐาน ACI และแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน ซึ่งมีการใช้เถ้าลอยในการผสมแทนที่ปริมาณซีเมนต์ตามในสัดส่วนต่างๆ และทำการผสมที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่างกัน ผลปรากฏว่า เถ้าลอยส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มปริมาณการเยิ้มน้ำในซีเมนต์เมื่อผสมตามอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างๆ การเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์แปรผันตามสัดส่วนของเถ้าลอย คือปริมาณการเยิ้มน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเถ้าลอย และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการเยิ้มน้ำระหว่างซีเมนต์เพสต์ที่ผสมตามมาตรฐานACI และการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน พบว่าวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน สามารถควบคุมการเยิ้มน้ำให้ลดต่ำลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการเยิ้มน้ำที่เกิดจากการผสมตามมาตรฐาน และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันในทุกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยที่พบว่าการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนส่งผลให้การเยิ้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ลดลง ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการลดน้ำได้มากขึ้นเมื่อซีเมนต์เพสต์มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงขึ้น โดยพิจารณาจากซีเมนต์เพสต์ที่มีปริมาณเถ้าลอยผสมอยู่ 50% ซึ่งในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.6 จะสามารถลดการเยิ้มน้ำได้ดีขึ้นมากเมื่อเมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4

2. ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ จากการทดสอบซีเมนต์เพสต์จากการผสมตามมาตรฐานACI และแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน โดยมีการผสมเถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนต่างๆ พบว่า ปริมาณของเถ้าลอยจะส่งผลต่อความสามารถในการไหล โดยจะแปรผันตรงกับความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ คือเมื่อมีการผสมโดยเพิ่มปริมาณเถ้าลอย ทำให้ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ดีขึ้น และเป็นไปในแนวโน้มเดียวกันในทุกอัตราส่วน และการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนสามารถทำให้ซีเมนต์เพสต์มีความสามารถในการไหลได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการผสมแบบมาตรฐาน โดยเฉพาะในกรณีที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4 ความสามารถในการไหลจะดีขึ้นมาก โดยสามารถพัฒนาความสามารถในการไหลได้ถึง 50% ในซีเมนต์เพสต์ที่มีเถ้าลอยผสมอยู่ 10%และ30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความสามารถในการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ได้จากวิธีการผสมตามมาตรฐานACI และแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนที่มีการใช้เถ้าลอยในการผสมแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนต่างๆ และทำการผสมที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างกัน ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างจะแปรผันโดยตรงกับเวลา คือ เมื่อซีเมนต์เพสต์มีอายุมากขึ้นจะมีค่าการหดตัวสะสมเพิ่มขึ้นจนถึงค่าการหดตัวสะสมสูงสุด และจะแปรผกผันกับปริมาณเถ้าลอยที่ผสมแทนที่ซีเมนต์ คือเมื่อปริมาณเถ้าลอยที่ใช้ในการผสมเพิ่มมากขึ้น ค่าการหดตัวสูงสุดของซีเมนต์เพสต์จะลดลง เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่ลดลงเนื่องจากการแทนที่ของเถ้าลอย จึงส่งผลให้ความสามารถในการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ลดลง และการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนสามารถลดการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ได้เล็กน้อย ทำให้ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนเทียบกับแบบมาตรฐาน มีค่าไม่ต่างกันมากนัก

4. ความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีต ที่ได้จากการผสมตามวิธีแบบมาตรฐานและแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน ซึ่งมีการใช้เถ้าลอยในการผสมแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนที่ต่างกัน และทำการผสมที่กำลังอัด 210 ksc และ 350 ksc โดยเถ้าลอยมีคุณสมบัติในการพัฒนากำลังอัดช้า เมื่อเทียบกับคอนกรีตล้วน เนื่องจากการทำปฏิกิริยาอย่างช้าๆ ค่ากำลังอัดของเถ้าลอยจะแปรผกผันกับปริมาณเถ้าลอยที่แทนที่ซีเมนต์ในการผสมทั้งสองวิธี คือ กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยมีค่าต่ำกว่ากำลังอัดของคอนกรีตล้วน และเมื่อปริมาณเถ้าลอยสูงขึ้น กำลังอัดที่ได้จะต่ำลง ซึ่งจะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันในทุกอัตราส่วน และการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาการรับกำลังอัดที่สูงกว่าการผสมแบบปกติ โดยให้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

5. ลักษณะของการสึกกร่อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีตตัวอย่างที่ได้จากวิธีการผสมแบบมาตรฐาน และวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน โดยมีเถ้าลอยผสมแทนที่ปริมาณซีเมนต์ตามสัดส่วนต่างๆ และทำการผสมที่กำลังอัด 210 ksc และ 350 ksc ปรากฏว่า เถ้าลอยมีผลโดยตรงต่อความต้านทานการสึกกร่อนที่ผิวหน้าคอนกรีตตัวอย่างในทุกอัตรา ส่วน โดยค่าการสึกกร่อนที่ผิวหน้าคอนกรีตจะแปรผันตามปริมาณเถ้าลอยซึ่งผสมแทนที่ปริมาณซีเมนต์ กล่าวคือ เมื่อปริมาณเถ้าลอยในการผสมมีปริมาณสูงขึ้น ค่าการสึกกร่อนที่ผิวหน้าจะเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน และสูงกว่าค่าการสึกกร่อนที่ผิวหน้าคอนกรีตตัวอย่างที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ซึ่งจะสัมพันธ์กับการเยิ้มน้ำ และความสามารถในการรับกำลังอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคอนกรีต และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสึกกร่อนเป็นจำนวนเท่า เทียบกับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเป็นจำนวนเท่าเทียบกับคอนกรีตล้วน พบว่าค่ากำลังอัดจะมีแนวโน้มลดลงเป็นจำนวนเท่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเถ้าลอย ซึ่งแนวโน้มที่ได้จะแปรผกผันกับการเพิ่มขึ้นของค่าการสึกกร่อน แต่จะมีจำนวนเท่าลดลงน้อยกว่าการเพิ่มขึ้นของการสึกกร่อน คือผลกระทบที่เกิดกับกำลังอัดจะน้อยกว่าที่เกิดกับความต้านทานการสึกกร่อน และการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนสามารถควบคุมค่าการสึกกร่อนที่ผิวหน้า ให้มีค่าต่ำกว่าค่าการสึกกร่อนที่ผิวหน้าคอนกรีตตัวอย่างที่ได้จากการผสมแบบมาตรฐาน ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันในทุกอัตราส่วน ทำให้ความสามารถในการต้านทานการสึกกร่อนที่ผิวหน้าคอนกรีตดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[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.369/V-9 1988-8

[2] Tazawa, E. and Kasai,T., **Mechanism and Effects of Double Mixing on Properties of Cement Paste (1990).**

[3] Pengto, P., Chairat, N., Mattayompoppinyo, P. and Maleesee, K., **Influence of Double Mixing Method on Properties of Cement Paste**, The First Annual Concrete Conference, Thai Concrete Association, pp.CON134-CON137, 2005.

[4] The ASTM C779, **Standard Test Method for Horizontal Concrete Surface Abrasion**, Annual Book ASTM Standards, 4 (04.02), 2002.

[5] JSCE-F531-1993,"**Test Method for Fluidity Test by Using J-14 Funnel**"

[6] JIS A 1129, "**Test method for length change of mortar and concrete.**"

[7] ASTM C109, "**Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement**" Annual Book ASTM Standards, Vol.04.04

[8] ปิยะ ประสบแสง, "อิทธิพลของสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน" **การประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ**, ปี 2550, ครั้งที่ 12, 2550, หน้า 99-105

[9] นาวิน เกขุนทด และ สหลาภ หอมวุฒิวงศ์. 2554. "การสึกกร่อนของปอซโซลานคอนกรีต".**เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 16**, 8-20 พฤษภาคม 2554.

[10] ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. **ปูนซีเมนต์ปอซโซลานและคอนกรีต.**พิมพ์ครั้งที่5, กรุงเทพฯ: สมาคมคอนกรีตไทย (ส.ค.ท.). 2551

[11] วินิต ช่อวิเชียร. **คอนกรีตเทคโนโลยี**, พิมพ์ครั้งที่ 9, กรุงเทพฯ, พป.สัมพันธ์พาณิชย์ 2554

[10] ศิริวัฒน์ ไชยชนะ, **ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี**,พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ วี.เจ.พริ้นติ้ง, 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การศึกษางานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของเถ้าลอยที่มีผลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน

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

กฤษฎากร อร่ามเมือง (Kidsadakorn Arammuang)[1]
อำนวย พานิชกุลพงศ์ (Amnouy Panitkulpong)[2]
คมสัน มาลีสี (Komsun Maleesee)[3]

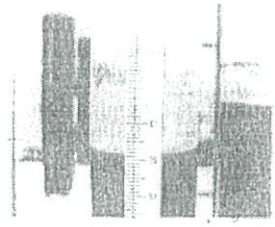
[1]นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
kidsadakorn@yahoo.com
[2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
kmkomsan @kmitl.ac.th
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
kpamnouy @kmitl.ac.th

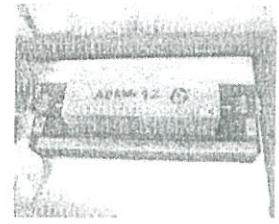
บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของวัสดุปอซโซลานได้แก่เถ้าลอยที่ใส่แทนที่ปูนซีเมนต์ในหลายอัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสานซึ่งได้ศึกษาคุณสมบัติต่างๆที่เปลี่ยนไปเมื่อทำการผสมด้วยวิธีการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน(Double Mixing Method: DM) เปรียบเทียบกันกับการผสมด้วยวิธีธรรมดา (Simple Mixing Method : SM) และทำการศึกษาถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ซึ่งการทดลองจะทำการทดสอบอัตราการเยิ้มน้ำ ความสามารถในการไหล ความสามารถในการเท ความหนาแน่น การหดตัว และความสามารถในการรับกำลัง ซึ่งการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนสามารถพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้น เช่น สามารถลดการเยิ้มน้ำในซีเมนต์เพสท์และคอนกรีตสดได้ และเพิ่มความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสท์ให้มากขึ้นอีกด้วย

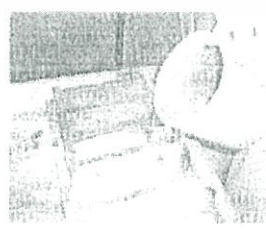
ABSTRACT : This research was a comparative of various properties, which are changed when cement paste is compared with cement with pozzolanic material and cement without pozzolanic material. Both of them were examined after applying the double mixing (DM) method. The study was conducted in order to determine 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

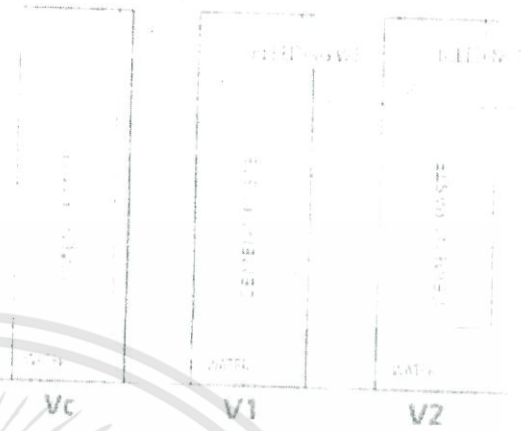
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

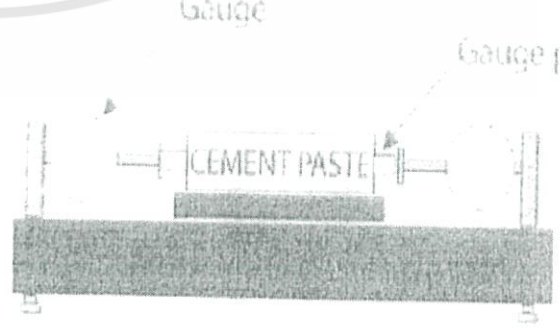






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสท์ (Autogenous Shrinkage)

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

4.4 ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

ค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมด้วยวิธี DM มีค่ามากกว่าซีเมนต์เพสท์ที่ผสมด้วยวิธี SM โดยที่ 28 วันเทียบจากซีเมนต์เพสท์ที่ไม่ผสมเถ้าลอย มีค่า 524.66 ksc และ 482.44 ksc ตามลำดับหรือเพิ่มขึ้น 8.75% ดังที่แสดงในภาพที่13

5.สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ สามารถสรุปรวมรวมไว้เป็นลำดับดังต่อไปนี้

1. การใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากขึ้นจะมีผลให้เกิดการเยิ้มน้ำในปริมาณที่สูงขึ้นด้วยเนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่เป็นสารตั้งต้นทำปฏิกิริยากับน้ำมีน้อยตามอัตราส่วนของเถ้าลอยที่ถูกแทนที่ลงไปทำให้น้ำส่วนที่ไม่จับตัวกับซีเมนต์มีมากขึ้น แต่ด้วยวิธีผสมแบบ DM สามารถช่วยลดการเยิ้มน้ำลงได้

2.ด้วยวิธีผสมแบบ DM และการใส่เถ้าลอยในส่วนผสมทำให้สามารถเพิ่มความสามารถในการไหลได้ดีขึ้น จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้โดยการลดน้ำแต่ยังมีความสามารถในการไหลไม่ต่างจากเดิม

3.การหดตัวของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมแบบ DM เทียบกับ SM มีค่าไม่ต่างกันมากนัก

4.การผสมแบบ DM สามารถพัฒนากำลังอัดในซีเมนต์เพสท์ที่ผสมเถ้าลอย 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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติการเยิ้มน้ำและการรับกำลังอัด

INFLUENCE OF DOUBLE MIXNG METHOD ON BLEEDING AND COMPRESSIVE STRENGTH

คมสัน มาลีสี (Komsan Maleesee) [1]

อำนวย พานิชกุลพงศ์ (Amnouy Panitkulpong) [2]

พิเชษฐ์ เป็งโต[3], **นันทวัฒน์ ไชยรัตน์**[3], **ภูมิชาย มัธยมภพภิญโญ**[3]

[1]*ดร.อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง kmkomsan@kmitl.ac.th*

[2]*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง kpamnouy@kmitl.ac.th*

[3]*นักศึกษาปริญญาตรีภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*

บทคัดย่อ: การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงคุณสมบัติของซีเมนต์เพสท์และคอนกรีตที่ได้จากขบวนการในการผสมซีเมนต์โดยแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double mixing method: DM) เปรียบเทียบกับการผสมแบบมาตรฐานทั่วไป (Single mixing method: SM) โดยทำการทดสอบอัตราการเยิ้มน้ำ ความสามารถในการเท และความสามารถในการรับกำลังอัด จากการศึกษาจึงพบว่าการผสมแบบ DM สามารถช่วยลดการเยิ้มน้ำให้น้อยลงและยังเพิ่มความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสท์ สำหรับคอนกรีตนั้นการผสมแบบ DM สามารถช่วยลดการเยิ้มน้ำ(Bleeding) และยังเพิ่มความสามารถในการรับกำลังอัดได้อีกด้วย

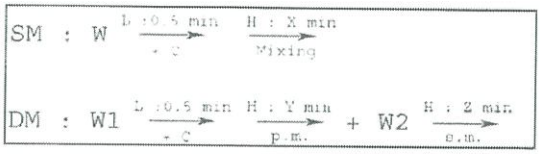
ABSTRACT: The research involves the study on the properties of cement paste and concrete from the new cement mixing procedure called Double mixing method (DM). The process requires dividing the water into two portions and mixing both portions with cement in sequence. The DM results are examined against those from the conventional Single mixing method (SM). This investigation consists of the tests for bleeding, workability and compressive strength. In the case of cement paste, it is found that DM can help alleviate the bleeding and achieve higher fluidity. Furthermore, in the case of concrete specimens, the bleeding is alleviated and the compressive strength becomes higher.

KEYWORDS : Double Mixing; Single mixing; Bleeding; Fluidity; Compressive strength

1. บทนำ

ในปัจจุบันคอนกรีตได้นำถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความทนทานแข็งแรงและสามารถที่จะสร้างให้มีรูปร่างลักษณะและขนาดที่ต้องการได้โดยง่าย ไม่ต้องถูกจำกัดเหมือนวัสดุอื่นๆ เช่น อิฐ ไม้ เหล็ก เป็นต้น เป็นที่ทราบกันดีว่าคอนกรีตนั้นมีซีเมนต์เพสท์เป็นวัสดุประสานที่ใช้ยึดมวลรวม ทราย หินหรือ กรวดเข้าด้วยกัน และความสามารถในการรับกำลังยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของซีเมนต์เพสท์เป็นหลักด้วยเช่นกัน อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มีความสำคัญต่อความสามารถในการรับกำลังของซีเมนต์เพสท์ ปฏิกิริยา Hydration ที่เกิดขึ้นจากรวมตัวกันของซีเมนต์กับน้ำทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SM : Single Mixing method DM : Double Mixing method x : mixing time for SM, y, z : 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

รูปที่ 1 ขบวนการและวิธีที่ใช้ผสมในการศึกษา

ให้เกิดวัสดุประสาน ซึ่งถ้าสัดส่วนของ W/C มีค่าน้อยกว่า 0.44 ปฏิกิริยา Hydration จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ [1] สำหรับคอนกรีตนั้นซีเมนต์เพสท์นอกจากจะ เป็นวัสดุประสานที่สำคัญแล้ว สัดส่วนต่างๆ ของซีเมนต์เพสท์ยังเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของคอนกรีตสด เช่น การเยิ้มน้ำ (Bleeding) ที่ผิวหน้า การหดตัวของคอนกรีตและความสามารถในการเทรวมทั้งคุณสมบัติอื่นๆ

ได้มีงานวิจัยในอดีตของ Prof.Eiichi TAZAWA และ Prof.Tetsurou KASAI [2], [3] รวมทั้งงานวิจัยในเมืองไทย [4] ที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการผสมซีเมนต์กับน้ำ โดยแบ่งน้ำเป็นสองส่วน DM ซึ่งสามารถช่วยลดการเกิด bleeding ในซีเมนต์เพสท์ สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องความสัมพันธ์ของ DM กับคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปของซีเมนต์เพสท์และคอนกรีตที่ใช้ในเมืองไทย โดยเน้นในเรื่อง bleeding ความสามารถในการเท และความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งทำการทดสอบโดยอ้างอิงมาตรฐานของ ASTM และของ JSCE

2. ความสำคัญของงานวิจัย

เทคโนโลยีการก่อสร้างในเมืองไทยปัจจุบันได้มีการนำเอาสารผสมเพิ่ม (Admixture) มาใช้อย่างกว้างขวาง เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น ช่วยเพิ่มความสามารถในการไหล และทำให้ระยะเวลาการเริ่มก่อตัวของซีเมนต์เพสท์หรือมอร์ต้าที่ใช้ในงานเกราท์(grouting) นานขึ้น และใช้ผสมลงในคอนกรีตเพื่อต้องการให้คอนกรีตสดมีความสามารถในการเทที่ดี หรือก่อตัวช้าลง แต่สารผสมเพิ่มเหล่านี้อาจมีผลข้างเคียงด้านอื่น เช่นทำให้เกิดการเยิ้มน้ำ(bleeding) ในปริมาณมากขึ้น และในบางครั้งทำให้การแข็งตัวเกิดเร็วขึ้นหลังจากที่ปฏิกิริยาของสารนั้นหมดไป ซึ่งด้วยวิธี DM สามารถเพิ่มความสามารถในการเทและลดการเยิ้มน้ำ (bleeding) โดยที่ไม่ต้องใช้สารผสมเพิ่ม จึงน่าที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการก่อสร้างในเมืองไทยได้ต่อไป

3. การทดลอง

3.1การเตรียมตัวอย่าง

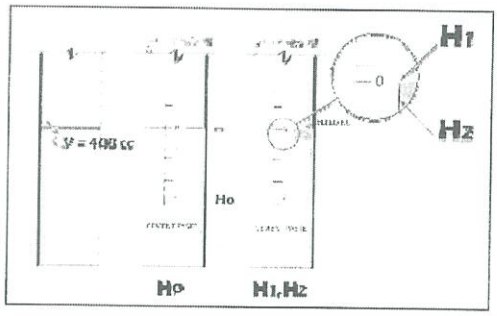
3.1.1 การเตรียมตัวอย่างซีเมนต์เพสท์

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างจะเป็นไปตามวิธีการดังรูปที่ 1 ซึ่งในส่วนของการผสมโดยแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน DM ในช่วงแรกของการผสม น้ำส่วนแรกจะทำการคลุกเคล้ากับซีเมนต์ในเวลา 30 วินาที ที่ความเร็วในการผสมซีเมนต์ต่ำ หลังจากนั้นจะทำการปรับความเร็วแล้วทำการผสมที่เวลา y นาที แล้วจึงทำการใส่น้ำในส่วนที่เหลือลงไปทำการผสมที่เวลา z นาที ส่วนในการผสมแบบปกติ SM จะทำการผสมน้ำทั้งหมดกับซีเมนต์คลุกเคล้าให้เข้ากันใน 30 วินาทีแรกโดยใช้ความเร็วในการผสมต่ำ แล้วทำการปรับเป็นระดับความเร็วสูงในการผสมเป็นเวลา x นาที ซึ่งเวลาที่ x, y และ z จะปรับ เปลี่ยนตามวัตถุประสงค์ในการทดลอง โดยมีการควบคุมให้เวลา y + z ที่ผสมแบบ DM มีค่าเท่ากับ x ที่ผสมแบบ SM

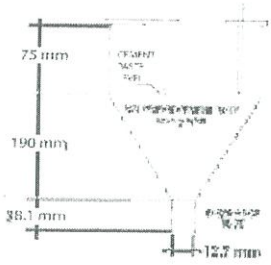
3.1.2 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

ในส่วนของคอนกรีตจะมีหลักการผสมในลักษณะเดียวกันโดยหลังจากได้มีการเตรียมวัสดุตามรายการคำนวณ (Mix design) ที่ได้ออกแบบแล้ว การผสมแบบ DM ทำโดยเริ่มจากการแบ่งน้ำส่วนแรกที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.30 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่พอให้ซีเมนต์เพสท์คลุกเคล้าในการผสมได้ในเครื่องผสมแบบไม่ และในขั้นต้นของการผสมจะเริ่มจากการใส่หินที่อิ่มตัวผิวแห้งลงไปใน 1 ใน 3 ส่วนของหินที่มีการออกแบบไว้เพื่อต้องการให้ซีเมนต์เพสท์นั้นไม่ติดกับบริเวณรอบๆ ของเครื่องผสมและเพื่อต้องการให้มีการคลุกเคล้าที่ดีด้วย หลังจากนั้นจึงทำการใส่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 การวัดค่าการเยิ้มน้ำของตัวอย่าง



รูปที่ 3 อุปกรณ์การทดลอง (ASTM C939)

ส่วนแรกที่ได้กล่าวข้างต้นกับซีเมนต์ก่อน แล้วจึง ทำการใส่น้ำส่วนที่เหลือลงไป ให้ครบตามอัตราส่วนที่ได้ออก แบบไว้ หลังจากนั้นก็ใส่หินส่วนที่เหลือและทรายตามลำดับโดยเวลาการผสมดังกล่าวจะไม่เกินตามหลักการของการผสมแบบซีเมนต์เพสท์ ส่วนการผสมแบบปกติ SM จะทำการผสมตามแบบทั่วไป โดยมีการผสมน้ำกับซีเมนต์ตามอัตราส่วนที่ได้มีการออกแบบเพียงครั้งเดียว

รูปที่ 4 อุปกรณ์การทดลอง (JSCE-F531-1993)

3.2.วิธีการทดลอง

3.2.1 การทดลองการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสท์และคอนกรีต

นำตัวอย่างที่เตรียมตามวิธีการดังข้างต้น ทำการเทลงในชุดทดสอบการเยิ้มน้ำที่ได้เตรียมไว้ ในขั้นตอนการเตรียมจะทำเครื่องหมายที่ชุดทดสอบไว้ ซึ่งระยะที่ทำเครื่อง หมายในชุดทดสอบการเยิ้มน้ำ จะอยู่ที่ระดับปริมาตรของซีเมนต์เพสท์ประมาณ 400 มล. ในส่วนของคอนกรีตจะมีปริมาตรประมาณ 1500 มล. หลังจากที่เทเสร็จ จะทำการอ่านค่าปริมาตรของซีเมนต์เพสท์เริ่มต้นดัง รูปที่ 2 โดยการอ่านค่าที่จะทำการจดบันทึกคือตำแหน่งที่ได้ทำการติดตั้งสเกลในการวัดที่ผิวของซีเมนต์เพสท์หรือคอนกรีต แล้วจึงทำการจดบันทึกค่านั้นให้เป็นค่า H_o แล้วทำการจดบันทึกค่าทุกๆ 30 นาทีที่ผิวของคอนกรีตและผิวโค้งน้ำที่มีการเยิ้มน้ำจนครบเวลาอย่างน้อย 4 –6 ชั่วโมง ซึ่งค่าที่อ่านในทำการจดบันทึกค่าให้เป็น H1 และ H2 ซึ่งค่าที่ได้จะทำการหาค่าเปอร์เซ็นต์การเยิ้มน้ำดังสมการ

$$\text{Bleeding (\%)} = \frac{H_1 - H_2}{H_0} \times 100$$

H_0 = ปริมาตรซีเมนต์เพสท์ที่อ่านได้จากชุดทดสอบ

H1 = ปริมาตรที่วัดจากผิวน้ำของตัวอย่างทดสอบ

H2 = ปริมาตรที่วัดจากผิวของซีเมนต์เพสท์

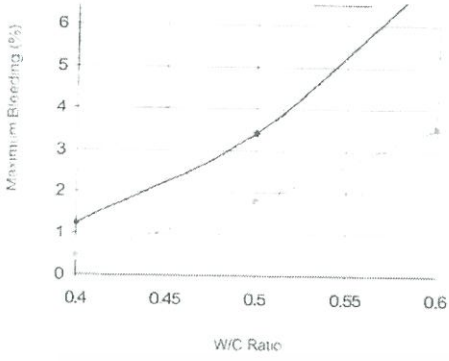
3.2.2 การทดลองการไหล

การทดลองการไหลของตัวอย่าง จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 939 ซึ่งใช้อุปกรณ์ ดังรูปที่ 3 และตาม JSCE-F531-1993 ซึ่งใช้อุปกรณ์ ดังรูปที่ 4

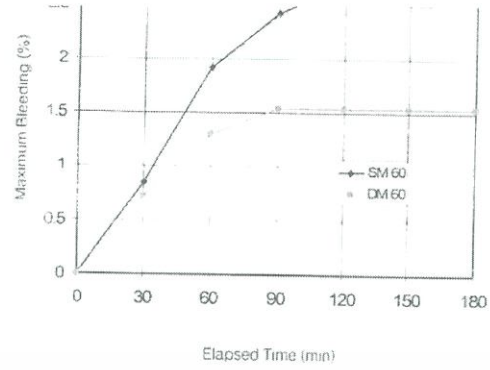
3.2.3 การทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัด

ในการทดสอบจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109, "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar," Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01 โดยจะทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม.ทำการทดสอบ ที่อายุคอนกรีต 1, 3, 7 และ 28 วัน ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Maximum Bleeding และ W/C ของซีเมนต์เพสท์



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Maximum Bleeding และ Elapsed Time ของคอนกรีต

ทดสอบจะเลือกทำการผสมที่ W/C 0.60โดยวิธีการผสมแบบ DM จะทำการใช้ W1/C 0.30

4.ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 การทดสอบการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ของซีเมนต์เพสท์

จะพบว่าการ SM จะมีค่าการเยิ้มน้ำ (Bleeding) มากกว่าถึง 2 เท่า เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีการผสมแบบ DM และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ที่ 0.40, 0.50 และ 0.60 ตามลำดับ ดังรูปที่ 5 จากข้อมูลดังข้างต้นแสดงให้เห็นว่าวิธีการผสมแบบ DM จะช่วยลดการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ให้น้อยลง โดยที่น้ำส่วนแรกของวิธีการผสม W1/C จะเท่ากับ 0.27 ซึ่งเป็นค่าที่ได้มีการทดสอบตามผลงานวิจัย [4] จากการทดสอบปริมาณน้ำส่วนแรกที่เหมาะสมต่อวิธีการผสมแบบ DM

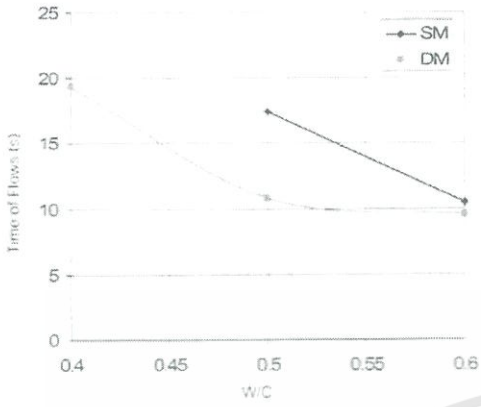
4.2 การทดสอบการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ของคอนกรีต

จากการทดลองพบว่า คอนกรีตตัวอย่างที่ W/C 0.60 จะมีค่าการ Bleeding ของผิวหน้าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปตั้งแต่ 0 ถึง 120 นาที ดังรูปที่ 6 และพบว่าการผสมแบบ DM จะช่วยลดการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ได้เช่นเดียวกับการทดสอบของซีเมนต์เพสท์ จากข้อมูลดังข้างต้นในการทดสอบจะพบว่าค่าการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ที่ผิวหน้าของคอนกรีตมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสท์ดังรูปที่ 5 ซึ่งเนื่องมาจากปริมาณน้ำและซีเมนต์ที่น้อยกว่าทำให้การเยิ้มน้ำ(Bleeding) ของคอนกรีตเกิดขึ้นน้อยกว่าซีเมนต์เพสท์ขึ้นปริมาตรเดียวกันระหว่างซีเมนต์เพสท์เพียงอย่างเดียวกับคอนกรีตนั้นในปริมาณของซีเมนต์ที่ทำการเคลือบมวลรวม

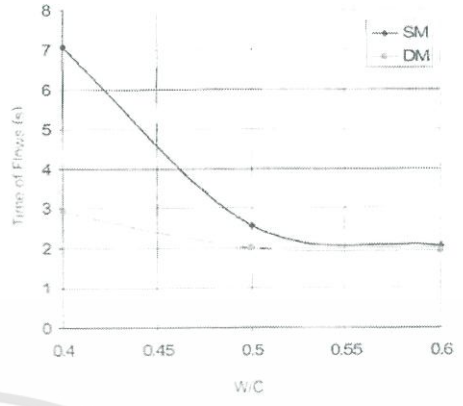
4.3 อัตราการไหลของซีเมนต์เพสท์ผ่าน Flow cone

จากการทดลองพบว่า อัตราการไหลของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมโดยวิธี DM ดีขึ้นมากเมื่อเทียบกับการผสมโดยวิธี SM โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีอัตราส่วน W/C ต่ำมากเท่าไรก็จะเห็นค่าความต่างมากขึ้น จากการทดลองโดยวิธี ASTM ที่ W/C= 0.40 พบว่าการผสมแบบ SM นั้นซีเมนต์เพสท์ไม่สามารถไหลผ่านอุปกรณ์ได้ แต่เมื่อใช้วิธีการผสมแบบ DM พบว่าซีเมนต์เพสท์สามารถไหลผ่านอุปกรณ์การทดลอง โดยใช้เวลาในการไหล ผ่านประมาณ 19 วินาที สำหรับ W/C= 0.5 กับการผสมแบบ DM เทียบกับแบบ SM แล้วพบว่าซีเมนต์เพสท์สามารถไหลผ่านอุปกรณ์การทดลอง โดยใช้เวลาในการไหลลดลงถึง 7 วินาที ดังรูปที่ 7 สำหรับการทดลองโดยวิธี JSCE ดังรูปที่ 8 พบว่าที่ W/C=0.40 ซีเมนต์เพสท์ที่ผสมแบบ SM ให้ค่าการไหลผ่าน Flow cone ที่เวลา 7 วินาทีส่วนซีเมนต์เพสท์ที่ผสมโดยวิธี DM ให้ค่าการไหลผ่านที่เวลา 2.9 วินาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการผสมแบบ DM สามารถเพิ่มอัตราการไหลของซีเมนต์เพสท์โดยทำให้เวลาในการไหลผ่านอุปกรณ์ทดลองลดลงมากกว่าครึ่งหนึ่งของการผสมแบบ SM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



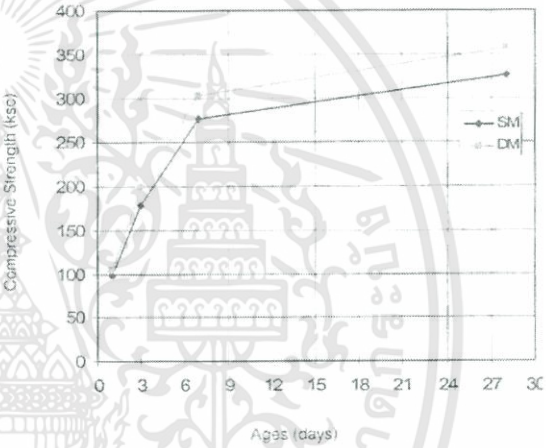
รูปที่ 7 แสดงค่าการไหลของตัวอย่างเมื่อทดสอบด้วยวิธี ASTM



รูปที่ 8 แสดงค่าการไหลของตัวอย่างเมื่อทดสอบด้วยวิธี JSCE

4.4 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่ W/C 0.60

จากการทดลอง พบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 1, 3, 7 และ 28 วันในการผสมแบบวิธี DM จะมีค่ากำลังอัดคอนกรีตที่มีค่ามากกว่าวิธีการผสมแบบ SM ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งการที่วิธีการผสมแบบ SM มีค่ากำลังอัดที่น้อยอาจจะเป็นผลกระทบเนื่องการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ที่มีมากเพราะน้ำที่ลอยตัวสู่ผิวหน้าคอนกรีต น้ำบางส่วนอาจจะอยู่ใต้มวลรวมหยาบที่มีขนาดใหญ่เมื่อมีการแข็งตัวน้ำส่วนนั้นอาจจะระเหยแล้วอาจทำให้เกิดเป็นโพรงขึ้นมาได้หรืออาจเนื่องมาจากสัดส่วนของ W/C ที่ผิวหน้ามีค่ามากจึงทำให้ความสามารถในการรับกำลังลดต่ำลงได้



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Compressive Strength และ Ages ของคอนกรีต

5.สรุปผลการทดลอง

5.1 การผสมซีเมนต์เพสท์หรือคอนกรีตที่มีค่า W/C สูง ที่ค่า W/C=0.6 ด้วยวิธี DM สามารถทำให้ค่าการเยิ้มน้ำ (bleeding) ลดลงได้กว่าสองเท่าของการผสมแบบโดยวิธีปกติ

5.2 ค่าความสามารถในการไหลลื่น (Fluidity) ของซีเมนต์เพสท์สามารถที่จะพัฒนาขึ้นได้โดยวิธีผสมแบบ DM โดยเฉพาะกรณีที่ W/C ต่ำ ที่ค่า W/C=0.4 สามารถเพิ่มอัตราการไหลได้มากกว่า 2 เท่าของการผสมโดยวิธีปกติ

5.3 คอนกรีตที่ผสมด้วยวิธี DM นั้นจะรับกำลังแรงอัดได้มากกว่าผสมด้วยวิธี SM โดยจะเห็นความแตกต่างชัดยิ่งขึ้นเมื่อใช้ W/C ที่สูงขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Taylor, H.F.W.: Cement chemistry 2nd edition, pp.227-255, 1997.

[2] 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.369/V-9 1988-8

[3] Tazawa, E. and Kasai,T., Mechanism and Effects of Double Mixing on Properties of Cement Paste (1990)

[4] Pengto, P., Chairat, N., Mattayompoppinyo, P. and Maleesee, K., Influence of Double Mixing Method on Properties of Cement Paste, The First Annual Concrete Conference, Thai Concrete Association, pp.CON134-CON137,2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 การทดสอบหาค่าการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ ผ.ข.1 ค่าการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ (Bleeding : %)

W/C	Fly Ash 0%		Fly Ash 10%		Fly Ash 30%		Fly Ash 50%	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM	SM	DM
0.4	5	2.5	0.5	0.25	0.49	0.25	1.25	0.97
0.6	2	1.5	9.5	6	9.75	6.5	10	6.65

ข.2 การทดสอบความสามารถเทได้ (Workability)

ตารางที่ ผ.ข.2 ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ (Second)

W/C	Fly Ash 0%		Fly Ash 10%		Fly Ash 30%		Fly Ash 50%	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM	SM	DM
0.4	9	8.85	8.1	5.7	5.27	2.65	2.55	2.27
0.6	3.08	1.95	2.48	1.91	2.13	1.88	1.91	1.73

ข.3 การทดสอบหาค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ ผ.ข. 3 ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkages : $\times 10^{-6}$)

W/C	Fly Ash 0%		Fly Ash 10%		Fly Ash 30%		Fly Ash 50%	
	SM	DM	SM	DM	SM	DM	SM	DM
0.4	1667	1667	1667	1800	1800	1933	1933	2000
0.6	1667	1733	1733	1867	2067	2000	2467	3000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.4 การทดสอบหาความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต

ตารางที่ ผ.ข. 4 ความสามารถในการรับแรงอัด (compression test : ksc)

Fly ash 0%	210ksc		350ksc	
	SM	DM	SM	DM
7 Day	298.28	333.10	460.51	480.25
28 Day	381.26	407.98	508.50	529.06

Fly ash 10%	210ksc		350ksc	
	SM	DM	SM	DM
7 Day	264.04	309.02	419.46	440.03
28 Day	350.91	387.14	502.68	529.15

Fly ash 30%	210ksc		350ksc	
	SM	DM	SM	DM
7 Day	222.11	294.41	334.21	369.04
28 Day	346.32	384.07	456.07	462.66

Fly ash 50%	210ksc		350ksc	
	SM	DM	SM	DM
7 Day	162.19	166.88	273.33	281.48
28 Day	266.05	257.08	389.55	405.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.ข. 5 การทดสอบหาค่าการต้านทานการสึกกร่อน

ตารางที่ ผ.ข. 5 ค่าการต้านทานการสึกกร่อน (Abrasion : g)

Fly ash 0%	210ksc		350ksc	
	SM	DM	SM	DM
7 Day	2.67	2.00	1.67	1.33
28 Day	2.33	1.67	1.33	1.00

Fly ash 10%	210ksc		350ksc	
	SM	DM	SM	DM
7 Day	3.67	3.00	2.33	1.67
28 Day	3.33	3.00	2.00	1.33

Fly ash 30%	210ksc		350ksc	
	SM	DM	SM	DM
7 Day	5.00	4.33	3.33	3.00
28 Day	4.67	3.33	2.67	2.33

Fly ash 50%	210ksc		350ksc	
	SM	DM	SM	DM
7 Day	11.00	9.67	7.67	4.00
28 Day	5.33	4.67	4.67	3.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้