

การศึกษาคอิทธิพลของสารผสมเพิ่มเติมผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต  
ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน

INFLUENCE OF ADMIXTURE ON PROPERTIES OF  
DOUBLY MIXING CEMENTITIOUS MATERIALS

ปิยะ ประสพแสง  
PIYA PRASOPSAENG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

การศึกษาอิทธิพลของสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต  
ที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน

INFLUENCE OF ADMIXTURE ON PROPERTIES OF  
DOUBLY MIXING CEMENTITIOUS MATERIALS

ปิยะ ประสพแสง

PIYA PRASOPSAENG

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 75079  
วัน,เดือน,ปี..... 19 ต.ค. 2550

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2550

**INFLUENCE OF ADMIXTURE ON PROPERTIES OF  
DOUBLY MIXING CEMENTITIOUS MATERIALS**

**PIYA PRASOPSAENG**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABUNG**

**2007**

**COPYRIGHT 2007**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT' S INTITUTE OF TECNOLOGY LADKRABUNG**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลของสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน
ชื่อนักศึกษา	นายปิยะ ประสพแสง
รหัสประจำตัว	48061508
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.อำนาจ พานิชกุลพงศ์ ดร.คมสัน มาลีสี

### บทคัดย่อ

การวิจัยเป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบถึงคุณสมบัติต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างซีเมนต์เพสต์ที่มีสารผสมเพิ่ม (Admixture) เป็นส่วนผสมและไม่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสม โดยซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตใช้การผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double mixing method: DM) และศึกษาถึงสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการที่จะใช้สารผสมเพิ่มร่วมกับซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double mixing method: DM) ซึ่งการทดลองจะทำการทดสอบอัตราการเข้มน้ำความสามารถในการไหล ความสามารถในการเท การหดตัว ความสามารถในการรับกำลังอัด จากการศึกษาพบว่า การผสมซีเมนต์เพสต์ที่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสม โดยทำการผสมด้วยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน ปริมาณ, สัดส่วน และชนิดของสารผสมเพิ่มนั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางด้านต่างๆของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนให้ดีขึ้นด้วย เช่น สามารถลดการเข้มน้ำในซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตให้น้อยลง และยังสามารถเพิ่มความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ได้ขึ้นด้วย

<b>Thsis</b>	Influence of Admixture on Properties of Doubly Mixing Cementitious Materials
<b>Student</b>	Mr.Piya Prasopsaeng
<b>Student ID</b>	48061508
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Civil Engineering
<b>Year</b>	2007
<b>Thesis Advistor</b>	Assoc.Prof.Amnouy Panitkulpong Dr.Komson Maleesee

## **ABSTACT**

This research project was a comparative study of various properties, which are changed when cement paste is compared with cement with admixtures and cement without admixtures. Both cement and concrete with admixtures and cement and concrete without admixture were examined after applying the double mixing (DM) method. The study was conducted in order to determine the most appropriate mix ratios. The experiments tested the bleeding, workability and compressive strengths. Results of the study of the cement paste with admixture mixed using the double mixing method revealed that the quantity, portion, and type of admixture 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 admixture helped to alleviate the bleeding of cement paste and concrete. It also increased the fluidity of the cement paste.

## กิตติกรรมประกาศ

ไม่มีคำกล่าวใดที่สามารถบ่งบอกถึงความกรุณา และความอนุเคราะห์ของ รศ.อำนาจ พานิชกุลพงศ์ และ คร.คมตัน มาลีสี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์นี้ได้ ตลอดระยะเวลาของการศึกษานี้ ท่านได้ให้คำแนะนำและการสั่งสอนที่มีค่ามากมายนอกเหนือจากขอบข่ายของทางวิศวกรรม ท่านได้เน้นให้ประพุดิคนโดยอุทิศให้กับงาน และการปรับปรุงเกี่ยวกับภาษาและการนำเสนองาน ซึ่งถือเป็นสิ่งอันมีค่าที่ผู้ประพันธ์ได้จากการศึกษา ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นอกเหนือจากปริญญาอันสูงส่ง ขอกล่าวคำขอบคุณอย่างซาบซึ้ง และนับถือแก่ รศ.อำนาจ พานิชกุลพงศ์ และ คร.คมตัน มาลีสี

ท้ายที่สุดแต่ไม่ใช่น้อยที่สุดสำหรับคำขอบคุณอันพิเศษสุดที่ขอมอบให้แก่สมาชิกครอบครัว และพี่ๆ น้องๆ เพื่อนๆ ที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองตัน อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาครทุกคนที่มอบความรัก ความห่วงใย และให้การช่วยเหลืออย่างต่อเนื่องตลอดการศึกษาของผู้ประพันธ์ และขอขอบคุณห้องสมุด KMITL สำหรับหนังสือและแหล่งข้อมูลอันทรงค่าสำหรับงานศึกษานี้

นายปิยะ ประสพแสง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำ .....	1
1.2 ที่มาของการวิจัย .....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	4
1.4 ขอบเขตการทดลอง .....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์ .....	5
2.1 คำนิยาม .....	5
2.2 ผลของการศึกษางานวิจัย .....	7
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานการศึกษา .....	12
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย .....	13
3.1 การออกแบบการทดลอง.....	13
3.1.1 การทดลองซีเมนต์เพสต์ .....	13
3.1.2 การทดลองมอร์ต้า .....	14
3.1.3 การทดลองคอนกรีต.....	14
3.2 การเตรียมตัวอย่าง .....	14
3.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	14
3.2.2 น้ำผสมคอนกรีต.....	15
3.2.3 มวลรวมผสมคอนกรีต.....	15
3.2.4 สารผสมเพิ่ม.....	17

## สารบัญ (ต่อ)

3.3	วิธีการทดลอง .....	19
3.3.1	การทดลองซีเมนต์เพสต์ .....	20
3.3.2	การทดลองมอร์ต้า .....	24
3.3.3	การทดลองคอนกรีต .....	24
3.4	วิธีการศึกษา .....	25
3.4.1	ขั้นตอนการเก็บข้อมูล .....	25
3.4.2	วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล .....	27
บทที่ 4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล .....	28
4.1	ผลการทดลองในส่วนของซีเมนต์เพสต์ .....	28
4.2	ผลการทดลองในส่วนของมอร์ต้า .....	35
4.3	ผลการทดลองในส่วนของคอนกรีต .....	36
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	38
บรรณานุกรม	.....	42
ภาคผนวก	.....	43
ภาคผนวก ก	.....	44
ภาคผนวก ข	.....	48
ภาคผนวก ค	.....	51
ประวัติผู้เขียน	.....	60

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงกำลังอัดของหินที่พบบ่อยบางชนิด.....	17
3.2 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองซีเมนต์เพสต์.....	20
3.3 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองมอร์ต้า.....	20
3.4 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองคอนกรีต.....	20
4.1 แสดงค่า Slump ของคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบ DM.....	38

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการทำงานคอนกรีตพ่น หรือ Shotcrete.....	7
2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C และการคายน้ำ.....	7
2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมน้ำส่วนแรกและการคายน้ำ.....	8
2.4 แสดงค่าการเข้มน้ำ (Bleeding) ที่ W/C ต่างกัน.....	9
2.5 แสดงค่าการเข้มน้ำ (Bleeding) ที่เวลาในการผสม y ต่างกัน.....	10
2.6 แสดงการเข้มน้ำ (Bleeding) ที่ W/C ต่างกัน.....	11
2.7 แสดงค่าการไหลของตัวอย่างเมื่อทดสอบด้วยวิธี JSCE.....	11
2.8 แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์.....	12
3.1 แสดงประจุไฟฟ้าที่ล้อมรอบเม็ดซีเมนต์เมื่อผสมสารลดน้ำพิเศษ (Heinz, 1983).....	19
3.2 แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์.....	21
3.3 แสดงเวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์วิธีการผสมแบบ DM.....	21
3.4 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.40 , SP = 0.5 %.....	21
3.5 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.40 , SP = 1.0 %.....	22
3.6 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.40 , SP = 1.5 %.....	22
3.7 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.50 , SP = 0.5 %.....	22
3.8 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.50 , SP = 1.0 %.....	22
3.9 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.50 , SP = 1.5 %.....	22
3.10 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.60 , SP = 0.5 %.....	23
3.11 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.60 , SP = 1.0 %.....	23
3.12 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่ W/C = 0.60 , SP = 1.5 %.....	23
3.13 แสดงตัวอย่างการเก็บค่าการเข้มน้ำ (Bleeding).....	25
3.14 แสดงอุปกรณ์การทดลอง (JSCE-F531-1993).....	26
3.15 แสดงการวัดค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์.....	26
4.1 แสดงค่าการเข้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C = 0.40.....	28
4.2 แสดงค่าการเข้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C = 0.50.....	29
4.3 แสดงค่าการเข้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C = 0.60.....	29
4.4 แสดงค่าการเข้มน้ำสูงสุด (Maximum Bleeding) ที่ W/C ต่างกัน.....	30

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 แสดงค่าการเข้มน้ำสูงสุด (Maximum Bleeding) ที่ W/C ต่างกัน.....	31
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio กับ Time of flow.....	32
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio กับ Time of flow .....	32
4.8 แสดงค่าการไหลในซีเมนต์เพสต์ DM ที่ W/C ต่างกัน .....	33
4.9 แสดงค่า (Autogenous Shrinkage) ในซีเมนต์เพสต์ DM = 0.40.....	34
4.10 แสดงค่า (Autogenous Shrinkage) ในซีเมนต์เพสต์ DM = 0.40.....	34
4.11 แสดงค่า (Autogenous Shrinkage) ในซีเมนต์มอร์ต้า DM , W/C = 0.40.....	35
4.12 แสดงค่า Compressive Strenth ในซีเมนต์มอร์ต้า DM , W/C = 0.40.....	36
4.13 แสดงค่าการ Maximum Bleeding ในคอนกรีตที่ W/C = 0.60.....	37
4.14 แสดงค่า Compressive Strenth ในซีเมนต์คอนกรีต DM , W/C = 0.60.....	38

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันมาตั้งแต่สมัยโบราณหลายร้อยปี ซึ่งมีหลายคนมักจะคิดว่าไม่มีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาอีก เพราะมีวัตถุดิบคือ หิน ปูน ทราย และน้ำ ผสมกันจนเป็นคอนกรีตให้ได้กำลังที่ 28 วัน ในพิภคที่เหมาะสมถือว่าพอเพียงแล้ว แต่ในสภาพความเป็นจริงงานคอนกรีตหรือเทคโนโลยีของคอนกรีตไม่เคยหยุดนิ่งเลยแต่กลับวิวัฒนาการสืบหน้าไปอย่างมากในช่วง 20 ปีหลังนี้ เริ่มตั้งแต่คอนกรีตกำลังสูง, คอนกรีตไหล, คอนกรีตสมรรถนะสูง, คอนกรีตเพิ่มความอดทน และคอนกรีตเพื่องานพิเศษ เป็นต้น และเป็นที่ทราบกันดีว่าคอนกรีตจะประกอบด้วยส่วนผสมหลัก 5 อย่าง ได้แก่ ซีเมนต์ (Cement) หิน (Crush Rock ; Coarse Agg.) ทราย (Sand ; Fine Agg.) น้ำ (Water) และสารผสมเพิ่ม (Admixture) ผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสม และไม่เพียงแต่สัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดเพียงเท่านั้นที่จะทำให้ได้มาซึ่งคอนกรีตมีคุณสมบัติที่ดีตามที่ต้องการได้ แต่ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอย่างอื่นอีกมากมาย

ถ้าจะพิจารณาถึงผลของปฏิกิริยาไฮเดรชันนั้นก็เป็นส่วนที่มีสำคัญโดยตรงต่อคุณสมบัติของคอนกรีต โดยปฏิกิริยาไฮเดรชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำทำให้เกิดความร้อน เกิดการก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์ ปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์เพียงใดนั้นส่วนที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับสารประกอบที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ โดยสารประกอบเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาและมีอิทธิพลต่อกันและกัน โดย โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติในซีเมนต์เพสต์ทั้งในสภาพพลาสติกและในสภาพที่แข็งตัวแล้ว สารประกอบหลักๆ ในปูนซีเมนต์ที่สำคัญ คือ  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  และ  $C_4AF$  ซึ่งในสัดส่วนของแต่ละตัวของเคมีหลักที่เกี่ยวข้องจะควบคุมพฤติกรรมทางเคมี พฤติกรรมทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตอย่างลึกซึ้ง ซึ่งพฤติกรรมเหล่านี้จะส่งผลทั้งเชิงบวกที่ให้ผลดีและผลเชิงลบที่ทำให้ผลคือไปในบางส่วน ซึ่งผู้ที่เข้าใจและรู้อจริงจึงสามารถปรุงแต่งให้ได้ผลดีที่สุดในแต่ละประเภทการใช้งาน เช่น การควบคุมการไหล, ควบคุมกำลัง, ควบคุมความร้อน, ควบคุมการทึบน้ำ, ควบคุมความแกร่ง, ควบคุมการหดตัวต่างๆ เหล่านี้ โดยคุณสมบัติต่างๆ นี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลเป็นอย่างมากต่อคุณสมบัติต่างๆ ที่กล่าวถึง ปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สมบูรณ์ต้องใช้น้ำในส่วนผสมประมาณ  $28 \pm 1$  เปอร์เซ็นต์ แต่ในการผสมคอนกรีตใช้งานโดยทั่วไปปริมาณน้ำที่ใช้เทียบกับซีเมนต์โดยน้ำหนักใช้มากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้คอนกรีตนั้นง่ายต่อการทำงาน

ซีระยะเวลาการก่อตัว การขนส่ง และง่ายต่อการที่จะเทลงแบบ ซึ่งน้ำส่วนที่เกินจาก 44 เปอร์เซ็นต์นี้เรียกว่า น้ำส่วนเกิน (Exceed water) น้ำในส่วนนี้จะไม่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน จึงเกิดการหลุดหรือคันตัวออกจากซีเมนต์เพสต์ และถ้ามีในปริมาณมากจนเกินไปจะก่อให้เกิดการซึมน้ำ (Bleeding) ที่ผิวหน้าของคอนกรีต โดยผิวด้านบนของคอนกรีตจะมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงที่สุดหรือมีกำลังอัดต่ำสุด เมื่อคอนกรีตแข็งตัวมีแนวโน้มจะเกิดเป็นฝุ่นที่ผิว (Dusting) และเมื่อต้องการเทคอนกรีตทับบนผิวนี้เช่นการเทคอนกรีตฐานรากขนาดใหญ่จะเกิดชั้นที่อ่อนแอ และเป็นรูปพรุนทำให้โครงสร้างขาดความคงทน พร้อมทั้งยังส่งผลให้เกิดปัญหาอื่นตามมาอีกมากมาย เช่น เกิดการหดตัวและกำลังอัดในคอนกรีตลดลง

## 1.2 ที่มาของการวิจัย

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า กรรมวิธีการผสมคอนกรีตมีส่วนช่วยลดปัญหาการซึมน้ำ (Bleeding) ที่ผิวหน้าคอนกรีตได้ พร้อมทั้งยังเพิ่มความสามารถในการทำงาน (Workability) ได้ดีขึ้นด้วย ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า DOUBLE MIXING METHOD หรือวิธีการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน(DM) โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ เช่น การซึมน้ำ ความสามารถในการทำงาน การหดตัว และความสามารถในด้านกำลังของซีเมนต์เพสต์ และคอนกรีตที่ทำการผสมด้วยวิธีการแบบ Double Mixing Method, DM โดยการศึกษาได้ทำการศึกษาและนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการผสมแบบธรรมดาที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน (Single mixing method, SM) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ต่างๆ เริ่มจาก W/C=0.4, 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ โดยผลการวิจัยพบว่ากรรมวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) สามารถลดการซึมน้ำ (Bleeding) ลงได้ถึงสองเท่าในซีเมนต์เพสต์ที่มีค่า W/C=0.60 และสามารถเพิ่มความสามารถในการไหลได้มากกว่าสองเท่าสำหรับซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.40 โดยที่ไม่ใช้สารผสมเพิ่ม (Admixture) จำพวกสารลดน้ำหรือสารลดน้ำพิเศษใดๆมาช่วยเลย

ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาคุณสมบัติในด้านการเพิ่มความสามารถในการทำงาน (Workability) ของคอนกรีต โดยใช้สารผสมเพิ่ม (Admixture) ผสมเข้าไปในส่วนผสมของคอนกรีตกันอย่างแพร่หลายก็เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามที่ผู้ใช้ต้องการ โดยสารผสมเพิ่มได้เข้ามา มีบทบาทในวงการก่อสร้างทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศเป็นอย่างมาก โดยได้มีการนำสารผสมเพิ่มมาใช้เติมลงไปในส่วนผสมของคอนกรีต นอกเหนือจากส่วนผสมปกติคือ ปูนซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ เพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีต เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการทำงานตามที่ต้องการ เช่น ปรับปรุงความสามารถทำงานได้ การหน่วงหรือเร่งเวลาการก่อตัว ควบคุมการพัฒนากำลังอัดตามการออกแบบ หรือปรับปรุงคุณสมบัติด้านความคงทนต่อสภาวะ

ต่าง ๆ และจากสาเหตุหลักอีกประการที่ทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดลดลงนั้น สาเหตุอีกประการหนึ่งคือในส่วนผสมของคอนกรีตนั้นมีปริมาณน้ำที่เป็นส่วนผสมมากเกินไป โดยปัจจุบันก็มีการแก้ไขโดยการนำสารผสมเพิ่มบางตัวมาใช้ทำการลดปริมาณน้ำในส่วนผสมลงก็เพื่อให้คอนกรีตมีกำลังต้านทานแรงอัดที่สูงขึ้นและสามารถที่จะทำงานได้ แต่สารผสมเพิ่มเหล่านี้ส่วนใหญ่แล้วจะทำให้เกิดเข็มน้ำ (Bleeding) ในปริมาณที่มาก

ดังนั้นการที่จะใช้สารผสมเพิ่มเพื่อที่จะมาปรับปรุงหรือเพื่อที่จะทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้นไปนั้น จึงเป็นสิ่งที่สำคัญควรศึกษาและควรให้ความสำคัญไม่ย่อหย่อนไปกว่าปัญหาทางด้านอื่นเช่นกัน ทั้งนี้การศึกษาวิจัยนี้จะทำการศึกษาคครอบคลุมถึงอิทธิพลของสารผสมเพิ่มมีผลทั้งในเชิงบวกและเชิงลบต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) เช่นไรและมากน้อยเพียงใด รวมถึงสัดส่วนและปริมาณการใช้สารผสมเพิ่มแต่ละชนิดที่เหมาะสมที่สุดและสิ่งสำคัญที่ไม่ควรละเลยคือความประหยัด ฉะนั้นองค์ประกอบที่ขกตัวอย่างมาทั้งหมดล้วนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและมีความสัมพันธ์ต่อกันเป็นระบบ การศึกษาที่ถูกต้องและการทดลองที่ละเอียดพอจะทำให้สามารถรวบรวมให้องค์ประกอบต่างๆที่มีความสัมพันธ์ต่อกันนั้นเข้ากันได้อย่างลงตัวที่สุด และมีประสิทธิภาพมากที่สุด และด้วยคุณสมบัติหลักของวิธีการผสมแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) คือเพิ่มความสามารถในการไหลและลดการเข็มน้ำ (Bleeding) ได้มากกว่าสองเท่า

การศึกษาวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาถึงการนำสารผสมเพิ่มมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการผสมคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน(DM) โดยสารผสมเพิ่มที่ใช้เป็นชนิด Naphthalene Sulphonate Formaldehyde Condensate ผลิตจากกรรมวิธีทางเคมีโดยใช้ Naphthalene ( $C_{10}H_6$ ) ผ่านขบวนการซัลโฟเนชัน (Sulphonation) ด้วยกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) จะได้สารประกอบของแนพทาลินกับกรดซัลโฟนิก ( $SO_3H$ ) และนำสารที่ได้ทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde,  $CH_2O$ ) ได้สารประกอบชนิดใหม่ และนำไปทำการแปรสภาพโดยวิธีโพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) แต่เนื่องจากสารประกอบชนิดใหม่นี้มีสภาพเป็นกรด ดังนั้นกลุ่มกรดซัลโฟนิกจึงถูกทำลายให้เป็นกลาง (Neutralization) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ได้สารประกอบทางเคมีของเกลือ Naphthalene Sulphonate Formaldehyde Condensate จะได้สารลดน้ำ Superplasticizer, SP โดยทำการศึกษาและวิจัยถึงผลดีและผลเสียอย่างจริงจังถึงอิทธิพลของสารผสมเพิ่ม(SP) ที่จะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีต เช่น การเข็มน้ำ(Bleeding) ความสามารถในการไหล(Workability) การหดตัว(Autogenous Shrinkage) และความสามารถในด้านกำลัง(Compressive Strength) โดยประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัยนี้อาจเป็นทางเลือกทางใหม่ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างในเมืองไทยต่อไป

### 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบต่างๆที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing Method) เมื่อมีสารผสมเพิ่ม (Admixture) ประเภทสารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixture) จำพวกสารลดปริมาณน้ำจำนวนมาก (Superplasticizer) เป็นส่วนผสม
2. เพื่อศึกษาถึงวิธีการประยุกต์ใช้สารลดปริมาณน้ำจำนวนมากร่วมกับคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน

### 1.4 ขอบเขตการทดลอง

ขอบเขตการศึกษาจะทำการศึกษาถึงอิทธิพลของสารผสมเพิ่ม (Admixture) ประเภทสารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixture) จำพวกสารลดปริมาณน้ำจำนวนมาก (Superplasticizer) ที่มีผล ต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing Method) โดยทำการศึกษาคูณสมบัติต่างๆ ทั้งทางด้าน การเข้มน้ำ (Bleeding), ความสามารถในการไหล (Workability), การหดตัว (Autogenous Shrinkage) และความสามารถในการรับกำลังอัด (Compressive Strength) โดยการศึกษาทำการเปรียบเทียบกันระหว่างซีเมนต์เพสต์และคอนกรีต ที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนที่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสม และไม่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสม

## บทที่ 2

# วรรณกรรมปริทัศน์

### 2.1 คำนิยาม

#### คอนกรีตสด (Fresh Concrete)

คือ คอนกรีตสดที่คงสภาพเหลวอยู่ในช่วงหนึ่งก่อนที่จะแข็งตัวในเวลาต่อมา และมีความข้นเหลวเหมาะที่จะนำไปใช้งานหล่อเป็นคอนกรีตแข็งตัวแล้วที่มีรูปร่างและคุณสมบัติตามต้องการ

#### ความสามารถทำได้ (Workability)

คือ ปริมาณงานที่ในการอัดคอนกรีตสดให้แน่น โดยปราศจากการแยกตัว

#### การยึดเกาะ (Cohesion)

คือ คุณสมบัติของเนื้อคอนกรีตสดที่สามารถจับรวมเป็นกลุ่มหรือสลายตัวออกจากกันได้ยาก และเกี่ยวข้องกับแนวโน้มของคอนกรีตสดที่จะเกิดการเข็ม หรือการแยกตัว

#### ความข้นเหลว (Consistency)

คือ สภาพของเหลวคอนกรีตสดซึ่งขึ้นกับปริมาณน้ำเป็นส่วนใหญ่ ความข้นเหลวเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของความสามารถในการใช้งาน และสามารถวัดค่าได้ชัดเจนด้วยวิธีการทดสอบ เช่น ค่าการยุบตัว และการไหล เป็นต้น

#### การแยกตัว (Segregation)

คือ การแยกจากกันของวัสดุองค์ประกอบต่าง ๆ ในเนื้อคอนกรีตสด ทำให้ส่วนผสมมีเนื้อที่ไม่สม่ำเสมอตลอดทุกส่วน

#### การเข็ม (Bleeding)

คือ การแยกตัวชนิดหนึ่ง โดยปรากฏการคายน้ำของคอนกรีตสด เกิดขึ้นเมื่อส่วนประกอบที่หนักกว่าจมตัวลงแล้วค้ำน้ำซึ่งเบาที่สุดขึ้นสู่ผิวหน้าคอนกรีต

### การผสมแบบปกติ (Single Mixing)

คือ วิธีการผสมซีเมนต์เพสต์โดยทำการผสมน้ำกับซีเมนต์ตามอัตราส่วนตามที่กำหนดเพียงครั้งเดียวในการผสม และจะทำการควบคุมปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการผสม เช่น เวลาในการผสม เครื่องผสม ขั้นตอนการป้อนวัสดุลงเครื่องผสม เป็นต้น

### การผสมแบบแบ่งสัดส่วนน้ำออกเป็นสองครั้ง (Double Mixing)

คือ วิธีการผสมซีเมนต์เพสต์โดยทำการผสมน้ำกับซีเมนต์ตามอัตราส่วนที่กำหนดตามการแบ่งสัดส่วนของน้ำในการผสมสองครั้ง โดยที่มีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผสม เช่น เวลาในการผสมในสัดส่วนน้ำของแต่ละครั้ง เครื่องผสม ขั้นตอนการป้อนวัสดุลงเครื่องผสม เป็นต้น

### การผสมส่วนแรก (Primal Mixing)

คือ การผสมซีเมนต์เพสต์ โดยเป็นการผสมส่วนแรกกับซีเมนต์จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing)

### การผสมส่วนที่สอง (Secondary Mixing)

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

### เวลาในการผสม (Mixing Time)

คือ ระยะเวลาในการผสมทั้งหมดของวิธีการผสมแบบปกติ (Single Mixing) และวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) ในการผสมซีเมนต์กับน้ำหรือที่เรียกว่าซีเมนต์เพสต์

### เวลาในการผสมส่วนแรก (Primal Mixing Time)

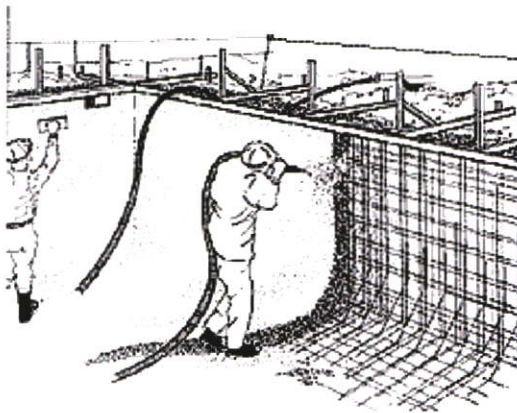
คือ ระยะเวลาในการผสมซีเมนต์กับน้ำส่วนแรกของการผสมในส่วนแรก (Primal Mixing) จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing)

เวลาในการผสมส่วนที่สอง (Secondary Mixing Time)

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

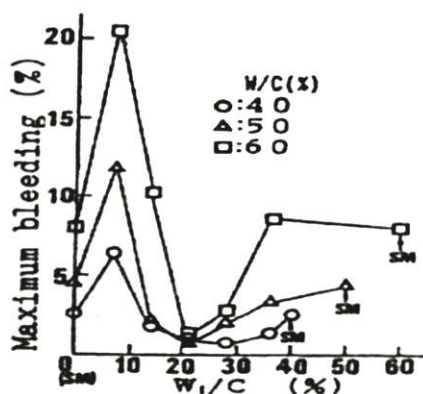
## 2.2 ผลของการศึกษางานวิจัย

Prof.Ei-ichi TAZAWA และ Prof.Tetsuro KASAI (1989) วิธีการผสมแบบใหม่ที่เรียกว่า SEC Method (Sand Enveloped with Cement) โดยวิธีการดังกล่าวจะทำการผสมทรายที่มีการปรับแก้ค่าความชื้นที่ผิวแล้ว ด้วยซีเมนต์เพสต์ที่ทำการผสมด้วยน้ำในอัตราส่วนที่น้อยก่อนแล้วทำการเพิ่มน้ำลงไปตามความเหมาะสมกับสภาพของงานที่ใช้ แต่วิธีการดังกล่าวได้ประสบปัญหาในเรื่องของการคายน้ำ



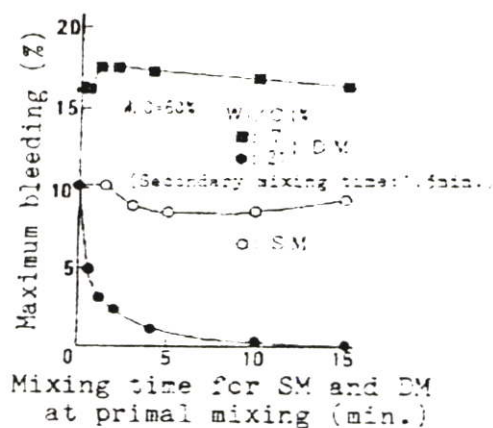
รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานคอนกรีตพื้น หรือ Shortcrete

โดยปกติการผสมจะทำการผสมแบบแห้งด้วยซีเมนต์กับทรายก่อนแล้วจึงทำการผสมน้ำลงไปตามอัตราส่วน แต่วิธีดังกล่าวไม่ได้ช่วยในเรื่องของการเพิ่มหรือลดการคายน้ำเช่นเดียวกัน จึงทำการศึกษาเพิ่มเติม และได้้นำวิธีการผสมซีเมนต์กับน้ำแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (Double Mixing) มาช่วยในเรื่องของการคายน้ำ (Bleeding) ของซีเมนต์เพสต์และได้ทำการประยุกต์นำไปใช้ใน งาน Shortcrete ในประเทศญี่ปุ่น โดยผลของการศึกษามีดังนี้



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W<sub>1</sub>/C และการคายน้ำ

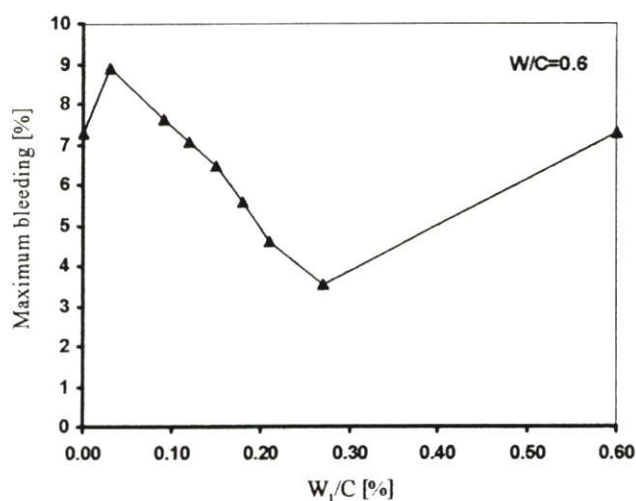
จะเห็นได้ว่าในรูปที่ 2.2 เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง W<sub>1</sub>/C กับการคายน้ำมากที่สุด (Maximum Bleeding) ในแต่ละตัวอย่างของการทดลองด้วยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) โดยทำการทดสอบอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่างกัน คือ น้ำที่ใช้ในการผสมมีค่า 40 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบการคายน้ำ ซึ่งจะทำการทดสอบเพิ่มน้ำในส่วนแรกของการผสมที่ละ 7% ของน้ำหนักซีเมนต์และน้ำในส่วนที่สองของการผสมจะเพิ่มจนครบตามอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์จะพบว่าน้ำส่วนแรกในการผสมระหว่าง 27-30% มีการคายน้ำน้อยที่สุด และน้ำในส่วนแรกในการผสมที่ 7% มีการคายน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบการผสมแบบปกติ (Single Mixing) ซึ่งผลจากการทดสอบดังที่กล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าการที่น้ำในส่วนแรกของการผสมที่ 27-30% มีการคายน้ำน้อยนั้น เนื่องจากน้ำในส่วนนั้นได้มีการทำให้ซีเมนต์กับน้ำเข้ากันได้ดีก่อนโดยมีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ (จากการทดสอบปริมาณน้ำที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์ มีค่า  $27 \pm 1$ ) จึงทำให้การจับตัวระหว่างน้ำในซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึงเมื่อรวมตัวกันในน้ำส่วนที่สองน้ำจะมีการยึดเกาะส่วนแรกได้ดีขึ้น ส่วนการผสมแบบปกติเป็นการผสมน้ำเพียงครั้งเดียว ดังนั้นน้ำที่ผสมลงไปนั้นมีส่วนที่เป็นน้ำส่วนเกิน (Excess Water) อยู่ จึงทำให้การจับตัวระหว่างซีเมนต์กับน้ำมีบางส่วนเป็นการจับตัวระหว่างน้ำกับน้ำ เป็นผลที่ทำให้น้ำในส่วนนั้นสามารถที่จะเกิดการดันหรือยกตัวขึ้นมาได้ทำให้มีการคายน้ำมาก ส่วนการคายน้ำที่ 7% มีค่ามากที่สุดเป็นผลเนื่องจากน้ำในส่วนแรกของการผสมทำให้ซีเมนต์มีการจับตัวกันเป็นก้อน เมื่อนำน้ำในส่วนที่สองทำการผสมลงไปทำให้การจับตัวระหว่างน้ำกับซีเมนต์ไม่ดี เนื่องจากอนุภาคของซีเมนต์มีขนาดใหญ่ทำให้การจับตัวกันมีช่องว่างที่ใหญ่ และพื้นผิวในการจับระหว่างซีเมนต์มีน้อยจึงทำให้การจับตัวระหว่างน้ำกับน้ำมีมากขึ้นแล้วน้ำจึงเกิดการดันตัวหรือยกตัวผ่านตามช่องว่างที่มีขนาดใหญ่จึงเกิดการคายน้ำมากที่สุด ซึ่งดังข้อความที่กล่าวมานั้นแสดงให้เห็นว่าซีเมนต์ที่นำมาใช้งานในปัจจุบันถ้ามีความชื้นในซีเมนต์เป็นผลทำให้น้ำในส่วนนั้นเป็นน้ำในส่วนแรกของการผสมซีเมนต์เมื่อนำซีเมนต์ไปใช้งานจึงทำให้เกิดการคายน้ำมีมากจนเกินไป



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมน้ำส่วนแรกและการคายน้ำ

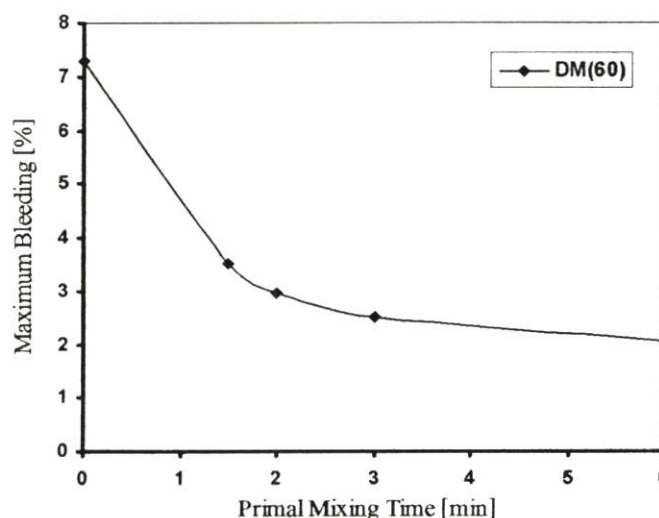
จากรูปที่ 2.3 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมน้ำในส่วนแรกกับการคายน้ำมากที่สุด ในแต่ละตัวอย่างทำการเปรียบเทียบการผสมแบบปกติ (Single Mixing) กับแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) เป็นการศึกษาต่อไปอีกว่าหากมีการใช้เวลาในการผสมในช่วงแรกที่มีค่ามากขึ้นจะเป็นอย่างไร พบว่าการคายน้ำที่มีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) ที่มีการใช้เวลาในการผสมน้ำในส่วนแรกที่มีค่ามากขึ้น พบว่าการคายน้ำจะมีค่าลดลงมากเมื่อเทียบกับการผสมแบบปกติ (Single Mixing)

พิเชษฐ์ เป็งโต และคณะ (2548) นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน ต่อคุณสมบัติของคอนกรีต โดยการศึกษาทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการผสมแบบธรรมดา



รูปที่ 2.4 แสดงค่าการเข้มน้ำ (Bleeding) ที่ W<sub>1</sub>/C ต่างกัน

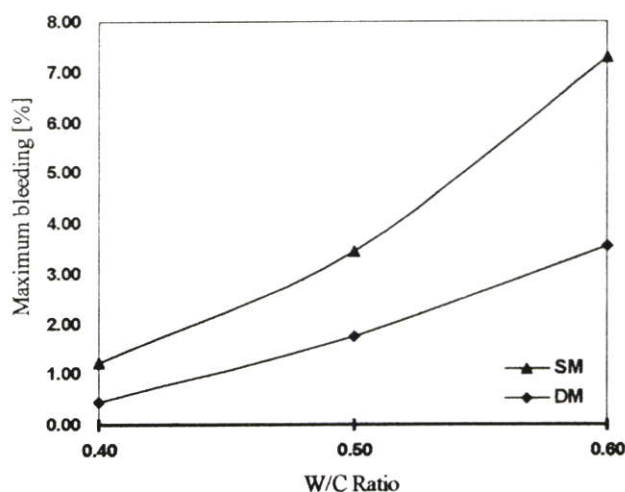
จากรูปที่ 2.4 แสดงค่าการเข้มน้ำของการทดลองซีเมนต์เพสต์ที่  $W/C = 0.60$  โดยการทดลองทำการปรับเพิ่มค่า  $W_1/C$  เริ่มตั้งแต่ 0 และทำการเพิ่มทีละ 0.03 จนถึงที่  $W_1/C = 0.60$  (SM) พบว่า เมื่อใช้  $W_1/C$  ที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 0.13 จะเกิดการ Bleeding ในปริมาณสูงโดยมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การผสมแบบธรรมดา (SM) แต่เมื่อทำการทดลองเพิ่มค่า  $W_1/C$  ต่อไป พบว่า การ Bleeding จะมีค่าลดลงตามลำดับ และจะมีค่าลดต่ำสุดที่ค่า  $W_1/C = 0.24$  ถึง 0.27 โดยประมาณ ซึ่งสามารถ สมมติฐานได้ว่าในช่วงที่  $W_1/C$  ตั้งแต่ 0 ถึง 0.06 ซีเมนต์มีการจับตัวกันเป็นมวลขนาดใหญ่ คล้ายซีเมนต์ที่ขึ้น เมื่อนำมาทำการผสมจะทำให้เกิดการเข้มน้ำ (Bleeding) ในปริมาณมาก เพราะเนื่องจากว่าในส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์น้ำมีอนุภาคที่เบาและการจับตัวระหว่างอนุภาคซีเมนต์ มีน้อยเนื่องจากมวลมีขนาดใหญ่จึงทำให้เกิดน้ำส่วนเกิน (Excess Water) ที่หลุดจากแรงยึดเหนี่ยว ลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าเป็นผลให้เกิดการเข้มน้ำ (Bleeding) ในปริมาณที่มากที่สุดในช่วงนี้ และจะลดต่ำลงตามลำดับเมื่อทำการเพิ่มค่า  $W_1/C$  โดยการ Bleeding จะมีค่าต่ำสุดที่  $W_1/C$  มีค่าประมาณ 0.24–0.27 ซึ่งลักษณะดังกล่าวเกิดจากการที่ซีเมนต์มีการผสมกับน้ำส่วนแรกและมีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ และเมื่อทำการผสมน้ำในส่วนที่สองจึงทำให้ซีเมนต์เพสต์มีการยึดจับอนุภาคของน้ำได้มากขึ้น หรือมีพื้นที่ในการยึดจับน้ำได้มากขึ้น ทำให้ลดการยึดจับกันระหว่างอนุภาคน้ำกับน้ำด้วยตัวเอง จึงมีผลให้เกิดการเข้มน้ำ (Bleeding) ลดน้อยลง ทั้งนี้ไม่เพียงแต่ปริมาณน้ำในส่วนแรก ( $W_1$ ) เท่านั้นที่มีผลต่อการเกิด Bleeding แต่เวลาที่ใช้ในการผสมก็มีผลด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.5 แสดงค่าการเข้มน้ำ (Bleeding) ที่เวลาในการผสม  $y$  ต่างกัน

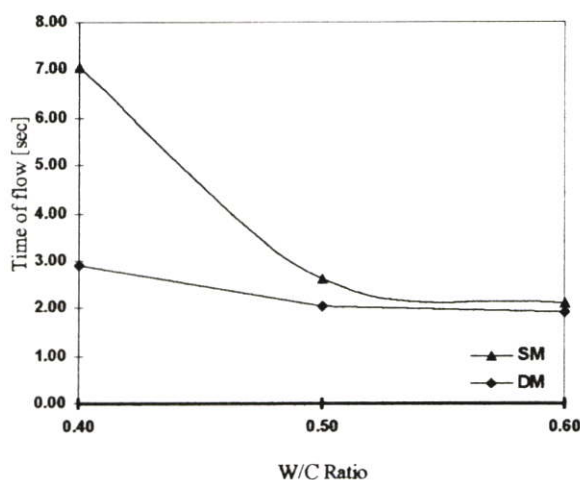
จากรูปที่ 2.5 แสดงการใช้เวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์ที่  $W/C = 0.60$  และ  $W_1/C = 0.27$  เวลาในการผสม  $y$  (Primal Mixing Time for DM) ที่มากขึ้นจะทำให้การเข้มน้ำลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะ

ในช่วงเวลาดังแต่ 0-3 นาที อัตราการ Bleeding จะลดต่ำลง แต่เมื่อใช้เวลาในการผสม  $y$  มากกว่า 3 นาทีไปแล้วอัตราการคายน้ำจะลดต่ำลงเล็กน้อยเท่านั้น จะเห็นได้ว่าสิ่งที่สำคัญประการหนึ่งในการผสมแบบ DM นอกจากปริมาณน้ำในส่วนแรก ( $W_1$ ) ที่ใช้ผสมแล้ว เวลาที่ใช้ในการผสมก็เป็นส่วนที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ควรให้ความสนใจเช่นกัน



รูปที่ 2.6 แสดงการเข้มน้ำ (Bleeding) ที่ W/C ต่างกัน

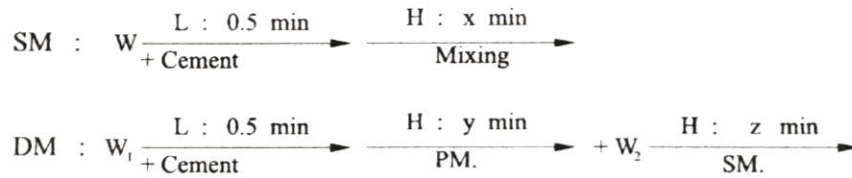
จากรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าการผสมแบบ DM สามารถลดการเกิด Bleeding ในซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างได้ในทุกๆ W/C (0.40, 0.50, 0.60) โดยเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C = 0.60 ด้วยวิธีการผสมแบบ DM สามารถลดการ Bleeding ได้มากกว่าสองเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับการผสมแบบ SM และไม่เพียงลดการ Bleeding ได้แล้วแต่วิธีการผสมแบบ DM ยังสามารถทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่ W/C = 0.40 มีอัตราการไหลที่คืบขึ้นด้วย ตามรูปแสดงที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงค่าการไหลของตัวอย่างเมื่อทดสอบด้วยวิธี JSCE

### 2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานการศึกษา

จากการศึกษาบทความงานวิจัย Prof.Eiichi TAZAWA และ Prof.Tetsuro KASAI ทฤษฎีที่จะนำมาใช้ในการศึกษาคือวิธีการผสมซีเมนต์กับน้ำ หรือที่เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ที่แตกต่างกันออกไปจากปกติโดยวิธีในการผสมมีดังนี้



รูปที่ 2.8 แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์

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

## บทที่ 3

# การดำเนินการวิจัย

### 3.1 การออกแบบการทดลอง

#### 3.1.1 การทดลองซีเมนต์เพสต์

การทดลองในขั้นต้นทำการศึกษาทดลองถึงคุณสมบัติต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) โดยการทดลองจะทำการเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างก่อนการใช้สารผสมเพิ่มและหลังจากใช้สารผสมเพิ่มในสัดส่วนและปริมาณที่แตกต่างกัน โดยการทดลองจะศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ แบ่งได้ดังนี้

3.1.1.1 ปริมาณน้ำและสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เกิดการเอิ่มน้ำ (Bleeding) น้อยที่สุด

3.1.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการเอิ่มน้ำ (Bleeding) ที่สัดส่วนและปริมาณสารผสมเพิ่มต่างกับกับปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่เปลี่ยนไป

3.1.1.3 ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์

3.1.1.4 ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogeneous Shrinkage)

เมื่อทำการศึกษารายถึงคุณสมบัติต่างๆของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมในสัดส่วนและปริมาณการใช้ที่แตกต่างกันแล้ว จะนำผลการศึกษาทดลองที่ได้เพื่อใช้อ้างอิงกับการศึกษาทดลองในส่วนของคอนกรีตต่อไป โดยการศึกษาดทดลองในส่วนของซีเมนต์เพสต์ในขั้นต้นนั้นก็เพื่อลดขอบเขตการศึกษาให้น้อยลง จากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์มีผลโดยตรงกับคุณภาพและคุณสมบัติในด้านต่างๆ ของคอนกรีต เนื่องจากซีเมนต์เพสต์ที่ดีนั้นจะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานระหว่างซีเมนต์เพสต์และมวลรวม โดยจะแทรกไปตามช่องว่างของหินและทรายเพื่อเคลือบหรือหุ้มเม็ดทรายและหินทั้งหมดให้เกาะรวมตัวกัน เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วสามารถรับกำลังได้ตามต้องการ ไม่เพียงแต่ซีเมนต์เพสต์จะมีผลโดยตรงในแง่ของการรับกำลังในคอนกรีตแล้ว ซีเมนต์เพสต์ยังมีอิทธิพลและส่งผลกระทบต่อความสามารถในการทำงาน (Workability) และปริมาณการเอิ่มน้ำ (Bleeding) ของคอนกรีตด้วย เนื่องจากการเอิ่มน้ำที่เกิดขึ้นในคอนกรีตจะไม่เกิดขึ้นในส่วน of มวลรวมแต่จะเกิดขึ้นแต่เฉพาะส่วนของซีเมนต์เพสต์เพียงเท่านั้น โดยการเอิ่มน้ำที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งที่สำคัญมาจากปริมาณน้ำส่วนเกิน (Excess Water) ที่เพิ่มเข้าไปในงานคอนกรีตเพื่อให้ง่ายต่อการทำงาน การขนส่ง และง่ายต่อเทเข้าแบบนั้น ซึ่งเป็นน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำหากมีในปริมาณที่มากจะส่งผลให้เกิดการเอิ่มน้ำในปริมาณที่มากตามมา ดังนั้นคุณสมบัติของคอนกรีตจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของซีเมนต์เพสต์เป็นสำคัญ

### 3.1.2 การทดลองมอร์ต้า

การทดลองจะมีลักษณะเดียวกันกับการทดลองในส่วนซีเมนต์เพสต์ เริ่มจากการแบ่งน้ำส่วนแรกให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.27 ผสมกับซีเมนต์และทรายมาตรฐาน โดยทรายที่ใช้ในการผสมจะต้องมีขนาดละเอียดเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.15 เล่ม 12 และ ASTM C778 โดยการวิเคราะห์ขนาดละเอียดของทรายมาตรฐานที่ใช้ในการทดลองจะทำได้โดยการร่อนด้วยตะแกรงมาตรฐานขนาดต่างๆ จนได้ทรายที่ตรงตามมาตรฐานมาใช้ในการทดลอง จากนั้นทำการเติมน้ำในส่วนแรกโดยมีส่วนประกอบของสารผสมเพิ่มอยู่ในส่วนผสม ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยสารผสมเพิ่มที่ผสมเข้าไปจะต้องทำการปรับลดปริมาณน้ำในส่วนที่สารผสมเพิ่มเข้าไปทดแทนด้วย การทดลองจะศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ แบ่งได้ดังนี้

#### 3.1.2.1 ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkage)

3.1.2.2 การทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัด ในการทดสอบจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109, “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar,” Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01

### 3.1.3 การทดลองคอนกรีต

การเตรียมตัวอย่างการทดลองในส่วนของคอนกรีตจะมีหลักการผสมในลักษณะเดียวกัน โดยหลังจากได้มีการเตรียมวัสดุตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยการทดลองจะศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ แบ่งได้ดังนี้

3.1.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการเข้มน้ำ (Bleeding) ที่สัดส่วนและปริมาณสารผสมเพิ่มต่างกับกับปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่เปลี่ยนไป

#### 3.1.3.2 ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkage)

3.1.3.3 การทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัด ในการทดสอบจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109, “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar,” Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01

## 3.2 การเตรียมตัวอย่าง

### 3.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ควรเลือกใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีคุณภาพตาม มอก.15 หรือ ASTM C 150 ที่ผลิตจากบริษัทที่มีความน่าเชื่อถือ สามารถมั่นใจได้ในเรื่องความสม่ำเสมอของคุณภาพปูนซีเมนต์และมีการบรรจุปูนซีเมนต์ในถุงที่มีชั้นพลาสติกปิดมิดชิด เพื่อช่วยป้องกันความชื้นช่วยให้ปูนซีเมนต์ไม่หมดเก็บไว้ได้นาน อาทิ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตราช้าง

### 3.2.2 น้ำผสมคอนกรีต

น้ำผสมคอนกรีตมีผลต่อคุณภาพของคอนกรีตตามความใส น้ำขุ่นหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยเจือปนอยู่จะทำให้คุณภาพของคอนกรีตต่ำลง ซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารแขวนลอยนั้น ดังนั้นจึงควรใช้น้ำผสมคอนกรีตที่สะอาดมีสารแขวนลอยไม่เกิน 2,000 ppm (ส่วนในล้าน) ปราศจากกรด ค่าง น้ำมัน หรือสารอินทรีย์อื่น ๆ ในปริมาณที่จะทำอันตรายต่อคอนกรีตน้ำประปาหรือน้ำจืดจากแหล่งธรรมชาติที่ไม่มีน้ำเสียจากชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรมเจือปน ถือว่ามีคุณภาพดีเพียงพอสำหรับนำมาใช้ผสมคอนกรีต อาจใช้น้ำดื่มหรือน้ำกลั่นซึ่งให้ผลที่ดีกว่าเล็กน้อยแต่ไม่มีนัยสำคัญ และราคาแพงกว่า

### 3.2.3 มวลรวมผสมคอนกรีต

มวลรวมผสมคอนกรีต อันได้แก่ หินข้อยหรือกรวด และทราย เป็นวัสดุผสมคอนกรีตที่มีปริมาณมากถึงประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของคอนกรีต คุณภาพของมวลรวมจึงมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของคอนกรีต คอนกรีตทั่วไปมวลรวมมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปมักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสต์ มวลรวมสำหรับงานคอนกรีตที่ดีควรมีคุณภาพตาม มอก. 566 หรือ ASTM C 33 โดยมีความสะอาด มีขนาดคละดี แข็งแกร่ง ทนทาน มีรูปร่างค่อนข้างกลมแต่มีเหลี่ยมมุมและมีลักษณะผิวหยาบไม่ขยาขตัวมาก และไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์

3.2.3.1 มวลรวมละเอียด แหล่งมวลรวมละเอียด นิยมใช้ทรายแม่น้ำ เพราะค่อนข้างสะอาด มีลักษณะค่อนข้างกลมและผิวค่อนข้างเรียบ ทำให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำน้อยกว่า ส่วนกรวดที่รูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมและผิวหยาบด้านมากกว่า จะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเป็นเม็ดทรายกับซีเมนต์เพสต์สูงกว่าแต่โดยมากทรายบดมักสกปรกมากกว่าทรายแม่น้ำ ทำให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำมากกว่า และมีกำลังต่ำกว่า ส่วนทรายควอร์ตซ์ (Quartz Sand) มีความแข็งระดับ 7 (เพชรคือแร่ที่มีความแข็งแรงสูงสุดในระดับ 10) เป็นทรายที่มีเหลี่ยมมุมและสะอาดกว่าทั้งทรายแม่น้ำและทรายบด เพราะเกิดจากการบดขยี้หินควอร์ตซ์ ไซด์ให้ละเอียดจึงมีเหลี่ยมมุมจำนวนมากที่ช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์เพสต์กับทรายให้สูงขึ้น และช่วยปรับปรุงกำลังของคอนกรีตได้ แต่มีราคาสูงมากและต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ดังนั้นในงานก่อสร้างจริง การใช้ทรายแม่น้ำจึงมีความเหมาะสมมากกว่า ความละเอียดของขนาดมวลรวมละเอียด ควรมีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus หรือ F.M.) อยู่ในช่วง 2.7-3.2 หรือค่อนข้างออกหยาบ เพราะมวลรวมละเอียดที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะลดลง ความต้องการน้ำของคอนกรีตจึงลดลงส่งผลทำให้คอนกรีตมีกำลังและความคงทนสูงขึ้น

3.2.3.2 มวลรวมหยาบ แหล่งมวลรวมหยาบ มวลรวมหยาบที่ใช้ในการผสมคอนกรีตส่วนใหญ่ในประเทศไทยคือ หินปูน (Limestone) ซึ่งมีคุณสมบัติโดยรวมพอใช้ได้ และราคาไม่แพง แต่มีความแข็งแรงไม่สูงมากนัก มวลรวมหยาบที่แนะนำให้ใช้ คือ หินแกรนิต (Granite)

และ หินบะซอลต์ (Basalt) ซึ่งมีความแข็งแกร่งและคุณภาพค่อนข้างสม่ำเสมอมากกว่าก็ตาม แม้ว่าจะมีราคาแพงกว่าหินปูน ถ้าเป็นหินที่ถูกย่อยขนาดโดยธรรมชาติจะมีรอยร้าวขนาดเล็ก (Microcrack) ในเนื้อหินน้อยกว่าหินที่ย่อยจากโรงโม่ แต่จะหายากกว่าการซื้อจากโรงโม่เพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการ หินปูนเป็นหินตะกอนที่มีกำเนิดจากการตะกอนทางเคมี มีเนื้อแน่นละเอียดที่ประกอบด้วยแร่แคลไซต์ ซึ่งมีความแข็งต่ำในระดับ 3 จึงสามารถระเบิดและย่อยหินง่าย มีกำลังวัสดุและความพรุนปานกลาง ในประเทศไทยพบอยู่ทั่วไป เช่น ที่จังหวัดสระบุรี, ราชบุรี, เพชรบุรี, กระบี่ และพังงา หินแกรนิตเป็นหินอัคนีที่กำเนิดภายใต้พื้นผิวโลก มีเนื้อหยาบ เหนียวและแข็ง ผลึกเกาะกันแน่นเห็นได้ชัด มีความพรุนต่ำและค่ากำลังวัสดุสูงเสียดค่าใช้จ่ายสูงในการย่อยหินให้ได้ขนาดส่วนใหญ่เป็นแร่เฟลด์สปาร์โดยเฉพาะพวกฮอร์โทเคลสประมาณ 60 % มีความแข็งระดับ 6 และแร่ควอร์ตซ์ประมาณ 30 % มีความแข็งระดับ 7 แหล่งที่พบในประเทศไทย เช่น ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบที่จังหวัดจันทบุรี, ระยอง และชลบุรี ทางภาคเหนือพบที่จังหวัดเชียงราย, เชียงใหม่ และตาก ทางภาคใต้พบที่จังหวัดสงขลา, ยะลา และนราธิวาส หินบะซอลต์เป็นหินอัคนีที่มีกำเนิดจากหินลาวที่ขึ้นมาเย็นตัวบนพื้นผิวโลก มีเนื้อละเอียด แร่สำคัญที่เป็นองค์ประกอบ คือ แร่แคลซิโอเคลส เฟลด์สปาร์ แหล่งที่พบในประเทศไทย เช่น ที่จังหวัดจันทบุรี, ตรวด, กาญจนบุรี, แพร่, บุรีรัมย์, ศรีสะเกษ และลำปาง อย่างไรก็ตามควรมีการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมหยาบเพื่อตรวจสอบคุณภาพและความสม่ำเสมอก่อนนำมารวมหยาบจากแหล่งนั้นมาใช้งานผสมคอนกรีต กำลังมวลรวมหยาบโดยทั่วไปมวลรวมหยาบที่ใช้ผสมคอนกรีต ควรมีกำลังอัดสูงประมาณ 700-3,000 กก./ตร.ซม. มวลรวมหยาบที่นำมาใช้กับงานคอนกรีตต้องมีความสามารถรับกำลังอัดสูงไม่น้อยกว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ต้องการ กำลังอัดของหินที่พบบ่อได้แสดงในตารางที่ 3.1 ขนาดของมวลรวมหยาบ ขนาดของมวลรวมหยาบต้องไม่ใหญ่เกินไป เพื่อหลีกเลี่ยงรอยแตกร้าวขนาดเล็ก (Microcrack) ที่อยู่ในเนื้อหินซึ่งพบทั่วไปในหินขนาดใหญ่ที่เกิดจากการระเบิดและการย่อยขนาดของโรงโม่หิน ดังนั้นขนาดของมวลรวมหยาบที่ใช้ ควรมีขนาดโตสุด 3/8 นิ้ว หรือ 1/2 นิ้ว (10-14 มม.) ซึ่งเป็นช่วงขนาดที่ไม่เล็กจนมีส่วนที่มีรูปร่างแบบมากเกินไป ขนาดของมวลรวมหยาบจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำหรือปานกลาง มากกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูง โดยที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากัน เมื่อใช้มวลรวมหยาบขนาดใหญ่ขึ้น กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลง เพราะมวลรวมหยาบขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดน้ำสะสมข้างใต้มากขึ้น ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับมวลรวมหยาบลดลง รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมหยาบ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับมวลรวมหยาบนั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมเป็นสำคัญ รูปร่างของมวลรวมหยาบ ควรมีรูปร่างค่อนข้างเป็นทรงกลมหรือทรงลูกบาศก์มากกว่ารูปร่างแบนหรือยาว เพราะจะทำให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำและปูนซีเมนต์น้อยกว่า เพื่อให้ได้ความสามารถเท่าได้และกำลังเท่า ๆ กัน จึงช่วยให้ทำงานง่ายและประหยัดกว่า ลักษณะผิวของมวลรวมหยาบ ควรมีลักษณะผิวหยาบ ขรุขระ เป็นเหลี่ยมมุม หรือมีเม็ดผลึกที่ละเอียด เพราะจะช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับมวลรวมหยาบและช่วย

ยับยั้งการแตกร้าวของคอนกรีตภายใต้แรงอัดได้ดีกว่ามวลรวมหยาบที่มีผิวเรียบมนหรือมีเม็ดผลึกหยาบ โดยธรรมชาติ หินบะซอลต์และหินปูนที่นิยมใช้ในงานคอนกรีตทั่วไป มีผลึกละเอียดหรือผิวขรุขระกว่า จึงช่วยให้มีแรงยึดเหนี่ยวดี แต่สำหรับหินแกรนิตที่มีผลึกละเอียดจะหายากกว่า หินบะซอลต์และหินปูน มวลรวมหยาบควรมีความพรุนน้อยนอกจากจะมีความแข็งแรงสูงแล้วยังดูดซึมน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตน้อยกว่าที่มีความพรุนมาก ทำให้ควบคุมปริมาณน้ำในระหว่างการผสมได้แน่นอนมากกว่า และทำให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงกว่าและมีความสม่ำเสมอมากกว่าอีกด้วย

ตารางที่ 3.1 แสดงกำลังอัดของหินที่พบบ่อยบางชนิด

ชนิดของหิน	กำลังอัด (กก./ตร.ซม.)
หินควอร์ตไซต์ (Quartzite)	1,500 - 3,000
หินแกรนิต (Granite)	1,000 - 2,500
หินบะซอลต์ (Basalt)	1,000 - 3,000
หินปูน (Limestone)	300 - 2,500

(Farmer, I.W. 2526)

### 3.2.4 สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มมาตรฐาน ASTM C 125 ได้ให้คำนิยามของสารผสมเพิ่มว่าเป็นสารใดๆ นอกเหนือจากน้ำ ปูนซีเมนต์ ทราย และหิน ที่ใช้เติมลงในส่วนผสมของคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ ไม่ว่าจะก่อนหรือขณะกำลังผสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ ไม่ว่าจะเป็นอย่างที่แข็งเหลวอยู่หรือแข็งตัวอยู่แล้ว สารผสมเพิ่มมีหลายชนิดที่ใช้แต่ที่นิยมใช้กันคือ สารเคมีผสมเพิ่ม Prior และ Adams (1959) รายงานว่าสารเคมีผสมเพิ่มที่ใช้อยู่ในปัจจุบันได้ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Tucker, Winkler และ Scripture ต่อมามีการวิจัยและทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารผสมเพิ่ม ที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตอย่างกว้างขวางเป็นผลให้การใส่สารเคมีผสมเพิ่มเป็นที่แพร่หลายสารผสมเพิ่มนั้นแบ่งได้ตามชนิดของสารที่เป็นองค์ประกอบของสารเคมีหรือแบ่งตามลักษณะประโยชน์ของการใช้งานมาตรฐาน ASTM ได้แบ่งประเภทของสารผสมเพิ่มออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

3.2.4.1 สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixtures) เป็นสารประกอบเคมีที่ละลายน้ำได้ ใช้สำหรับลดความต้องการน้ำ และปรับเวลาการก่อตัวและแข็งตัวของคอนกรีต มาตรฐาน ASTM C 494-86 ได้จำแนกสารเคมีผสมเพิ่มออกเป็น 7 ประเภทดังนี้ ประเภท A สารลดน้ำ (Water-Reducing Admixtures) ประเภท B สารหน่วงการก่อตัว (Retarding Admixtures) ประเภท C สารเร่งการก่อตัว (Accelerating Admixtures) ประเภท D สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (Water-Reducing and Retarding Admixtures) ประเภท E สารลดน้ำและเร่งการก่อตัว (Water-Reducing and Accelerating

Admixtures) ประเภท F สารลดน้ำพิเศษ (Water-Reducing, High Range Admixtures) ประเภท G สารลดน้ำพิเศษและหน่วงการก่อตัว (Water Reducing, High Range, and Retarding Admixtures)

3.2.4.2 สารประเภทแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral Admixtures) มีลักษณะเป็นผงละเอียด ใช้สำหรับทำให้ความสามารถทำงานได้และความคงทนดีขึ้น แบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้ วัสดุที่เฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา (Materials of Low Reactivity) วัสดุเชื่อมประสาน (Cementitious Material) วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan Materials)

3.2.4.3 สารกักกระจายฟองอากาศ (Air-Entaining Agents) ใช้การเพิ่มความคงทนของคอนกรีตต่อสภาพอากาศที่เย็นจัด

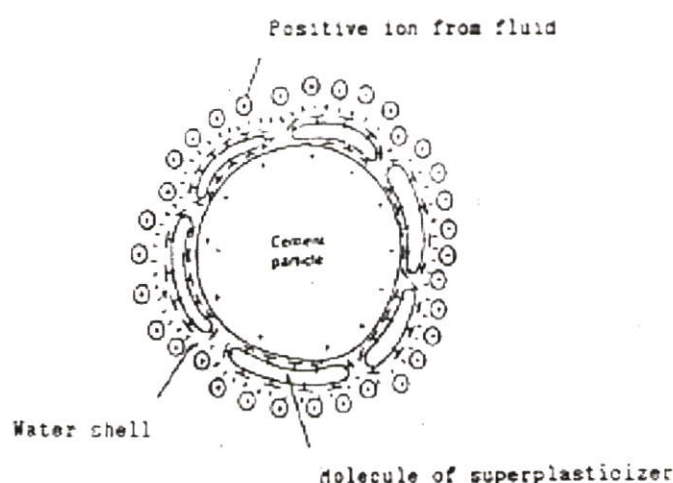
3.2.4.4 สารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ (Miscellaneous Admixtures) เป็นสารผสมเพิ่มอื่น ๆ ที่ไม่อยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง ที่กล่าวมาแล้ว เป็นสารผสมเพิ่มที่ใช้เพื่อจุดประสงค์โดยเฉพาะ เช่น สารผสมเพิ่มการยึดเกาะ สารผสมเพิ่มกันซึม และสารผสมเพิ่มอุดรูโพรงคอนกรีต

3.2.4.5 สารลดน้ำพิเศษ สารลดน้ำพิเศษหรือ Superplasticizer ได้มีการค้นพบครั้งแรกในปี 1938 โดย W.R Grace และได้มีการพัฒนามาเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงปี 1964 ได้มีการนำมาใช้ในเชิงธุรกิจ โดยเริ่มแรกในประเทศเยอรมนี และญี่ปุ่น ในปี 1972 เริ่มใช้ในประเทศอังกฤษ และเริ่มใช้ในอเมริกา ปี 1976 สารลดน้ำพิเศษมีพฤติกรรมคล้ายกับสารลดน้ำธรรมดา คือ ช่วยลดแรงระหว่างอนุภาคเม็ดซีเมนต์เฟสส์ ต่างจากสารลดน้ำทั่ว ๆ ไปคือจะไม่มีผลต่อแรงตึงผิว (Surface Tension) ของน้ำ ดังนั้นจึงทำให้ใช้สารลดน้ำพิเศษได้ในปริมาณสูงโดยไม่ทำให้เกิดฟองอากาศมาก (ACI Committee 1989) สารลดน้ำพิเศษที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่

3.2.4.5.1 Sulphonate Naphthalene Formaldehyde Condensates ผลิตจากกรรมวิธีทางเคมี โดยใช้ Naphthalene ( $C_{10}H_8$ ) ผ่านขบวนการซัลโฟเนชัน (Sulphonation) ด้วยกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) จะได้สารประกอบของแนพทาลีนกับกรดซัลโฟนิก ( $SO_3H$ ) และนำสารที่ได้ทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde,  $CH_2O$ ) ได้สารประกอบชนิดใหม่ แล้วนำไปทำการแปรสภาพโดยวิธีโพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) แต่เนื่องจากสารประกอบชนิดใหม่นี้มีสภาพเป็นกรด ดังนั้นกลุ่มกรดซัลโฟนิกจึงถูกทำลายให้เป็นกลาง (Neutralization) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ได้สารประกอบทางเคมีของเกลือ Sulphonate Naphthalene Formaldehyde Condensates

3.2.4.5.2 Sulphonated Melamine Formaldehyde Condensates เป็นสารเคมีที่ได้จากกรรมวิธีทางเคมีโดยใช้เมลามีน (Melamine,  $C_3H_6N_6$ ) ทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ ได้สารประกอบของไตรเมทิลเมลามีน (Trimethylol-Melamine) แล้วไปทำปฏิกิริยากับโซเดียมไบซัลไฟต์ (Sodium Bisulphite,  $NaHSO_3$ ) ได้สารประกอบชนิดใหม่แล้วจึงนำไปทำการแปรสภาพโดยวิธีโพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ได้เป็นสารประกอบของเกลือ Sulphonate Melamine Formaldehyde Condensates พฤติกรรมของสารลดน้ำพิเศษ เกิดจากการกระตุ้นที่ผิวทำให้ประจุไฟฟ้าไม่สมดุล (Unbalanced Charge) สารลดน้ำพิเศษที่เติมลงไปก็จะหนีขึ้นมาอยู่บนผิวน้ำ โดยประจุลบ

จะถูกดูดไปอยู่ที่ผิวของเม็ดซีเมนต์ทำให้เกิดประจุบชั้นรอบ ๆ เม็ดซีเมนต์ ซึ่งผลให้เม็ดซีเมนต์ไม่รวมตัวกันเนื่องจากมีประจุเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 (Heinz, 1983) สามารถลดแรงเสียดทานทำให้เพศมีความถี่ไหลสูง และเพิ่มพื้นที่ของซีเมนต์ทำให้ปฏิกิริยามีมากขึ้น และเกิดแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดซีเมนต์กับมวลรวมมากขึ้น เป็นผลให้คอนกรีตมีกำลังเพิ่มขึ้น ประโยชน์ของสารลดน้ำพิเศษ คือการผลิตคอนกรีตไหล (Flowing Concrete) ที่มีค่าการยุบตัวสูงถึง 200 มม. หรือมากกว่านี้ ใช้ในการผลิตคอนกรีตพลังสูง (High Strength Concrete) ซึ่งทำให้ลดปริมาณน้ำได้ถึง 30 % ในขณะที่ยังรักษาความสามารถทำงานได้เช่นเดิม และยังใช้เพื่อลดปริมาณซีเมนต์ ซึ่งลดได้อย่างน้อยที่สุด 10-20 % ในขณะที่ยังคงรักษาความสามารถในการทำงานได้และกำลังคอนกรีตเท่าเดิมได้



รูปที่ 3.1 แสดงประจุไฟฟ้าที่ล้อมรอบเม็ดซีเมนต์เมื่อผสมสารลดน้ำพิเศษ (Heinz, 1983)

### 3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองจะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนๆแรกจะทำการทดลองในส่วนของซีเมนต์เพศที่ส่วนที่สองจะทำการทดลองในส่วนของมอร์ต้า และสุดท้ายจะทำการทดลองในคอนกรีต ซึ่งทั้งสามส่วนนี้จะเป็นอย่างที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) และสารผสมเพิ่มที่ใช้เป็นสารผสมเพิ่มชนิดลดปริมาณน้ำจำนวนมาก (Superplasticizer Admixture) ตามมาตรฐาน ASTM C 494, Type A and Type F เป็นผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง GRACE Super 20+ มีคุณสมบัติคือทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการทำงานสูง มีการไหลตัวที่ดี และที่ค่าความยุบตัวปกติมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำมาก โดยสัดส่วนการผสมแสดงในตามตารางที่ 3.2, 3.3 และตารางที่ 3.4

### ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองซีเมนต์เพสต์

Cement paste				
W/C Ratio				0.4
ปูน (กรัม)				100
น้ำ (กรัม)				40
Superplasticizer (กรัม)	0.5		1.0	1.5

### ตารางที่ 3.3 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองมอร์ต้า

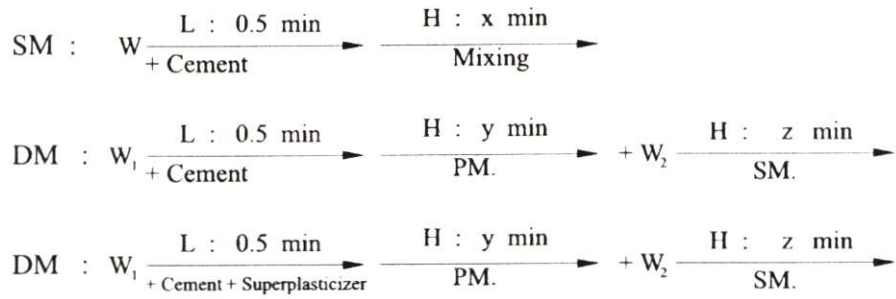
Cement mortar				
W/C Ratio				0.4
ปูน				100
ทราย				200
น้ำ				40
Superplasticizer (กรัม)	0.5		1.0	1.5

### ตารางที่ 3.4 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองคอนกรีต

Concrete				
W/C Ratio				0.4
ปูน				100
ทราย				200
หิน				400
น้ำ				40
Superplasticizer (กรัม)	0.5		1.0	1.5

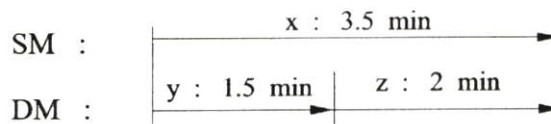
#### 3.3.1 การทดลองซีเมนต์เพสต์

ทำการเตรียมตัวอย่างตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ (ตามตารางที่ 3.2) จากนั้นทำการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน โดยมีขั้นตอนการผสมตามรูปที่ 3.2 น้ำส่วนแรก ( $W_1$ ) ที่ใช้ผสมจะทำการคลุกเคล้ากับปูนซีเมนต์ในเวลา 0.5 นาที พร้อมกับเติมสารผสมเพิ่มรวมไปกับน้ำโดยปรับลดปริมาณน้ำในส่วนที่สารผสมเพิ่มเข้าไปทดแทน



$x$  : mixing time for SM ,  $y, x$  : primal and secondary mixing time for DM ,  $x=y+z$   
 C : cement , W : water ,  $W_1$  : primal water ,  $W_2$  : secondary water , L : low speed  
 H : high speed , p.m.: primal mixing , s.m.: secondary mixing , SP: superplasticizer

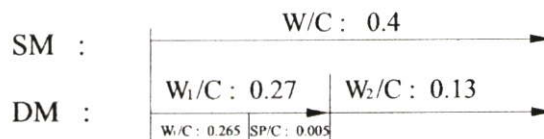
รูปที่ 3.2 แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์



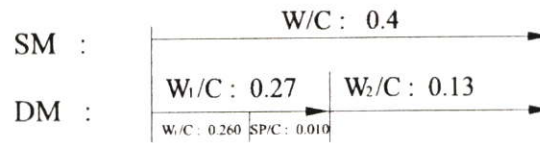
รูปที่ 3.3 แสดงเวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์ที่วิธีการผสมแบบ DM

ทำการคลุกเคล้ากับซีเมนต์ที่ความเร็วในการผสมซีเมนต์ต่ำหลังจากนั้น ทำการปรับความเร็วในการผสมที่เวลา  $y = 1.5$  นาที แล้วจึงทำการใส่น้ำในส่วนที่เหลือลงไป ทำการผสมที่เวลา  $z = 2$  นาที โดยทำการทดสอบเริ่มจากตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่  $W/C = 0.40, 0.50$  และ  $0.60$  ตามลำดับ

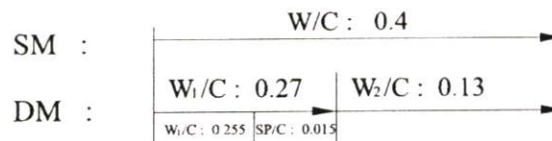
3.3.1.1 การทดลองซีเมนต์เพสต์ที่  $W/C = 0.40$  , Superplasticizer, SP = 0.5 , 1.0 และ 1.5 % โดยวิธีการผสมมีรายละเอียดตามที่แสดงในรูปที่ 3.4 , 3.5 และ 3.6



รูปที่ 3.4 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่  $W/C = 0.40$  , SP = 0.5 %

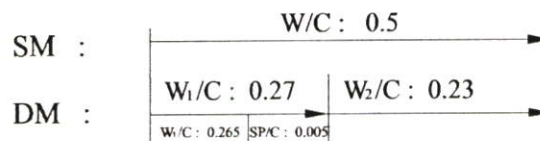


รูปที่ 3.5 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่  $W/C = 0.40$  ,  $SP = 1.0\%$

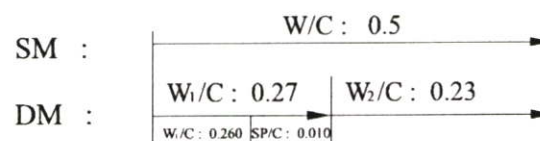


รูปที่ 3.6 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่  $W/C = 0.40$  ,  $SP = 1.5\%$

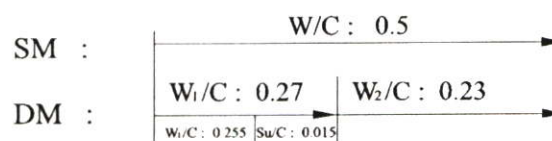
3.3.1.2 การทดลองซีเมนต์เฟสที่  $W/C = 0.50$  , Superplasticizer = 0.5 , 1.0 และ 1.5 %  
 โดยวิธีการผสมมีรายละเอียดตามที่แสดงในรูปที่ 3.7 , 3.8 และ 3.9



รูปที่ 3.7 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่  $W/C = 0.50$  ,  $SP = 0.5\%$

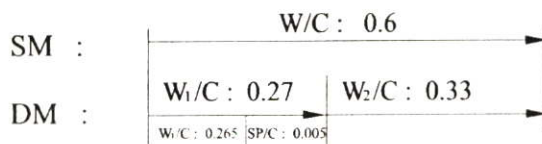


รูปที่ 3.8 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่  $W/C = 0.50$  ,  $SP = 1.0\%$

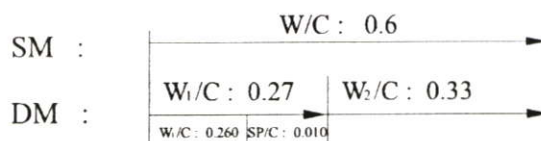


รูปที่ 3.9 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่  $W/C = 0.50$  ,  $SP = 1.5\%$

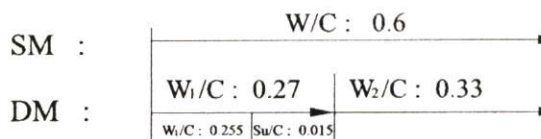
3.3.1.3 การทดลองซีเมนต์เฟสที่  $W/C = 0.60$  , Superplasticizer = 0.5 , 1.0 , 1.5 %  
 โดยวิธีการผสมมีรายละเอียดตามรูปที่ 3.10 , 3.11 และ 3.12



รูปที่ 3.10 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่  $\text{W/C} = 0.60$ ,  $\text{SP} = 0.5\%$



รูปที่ 3.11 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่  $\text{W/C} = 0.60$ ,  $\text{SP} = 1.0\%$



รูปที่ 3.12 แสดงวิธีการผสมแบบ DM ที่  $\text{W/C} = 0.60$ ,  $\text{SP} = 1.5\%$

จากนั้นนำซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ได้ ไปทำการทดสอบเพื่อหาค่าต่างๆ ดังนี้

(1) การทดลองวัดค่าการเข้มน้ำ (Bleeding) ที่ผิวด้านบนโดยการทดลองจะทำการผสมซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างตามที่กำหนดไว้ (ตามตารางที่ 3.2) จากนั้นทำการเทซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างลงในชุดทดสอบการเข้มน้ำ (Bleeding) ซึ่งปริมาตรซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ในการทดลองประมาณ 400 มิลลิลิตร จากนั้นนำแผ่น Scale ที่มีความละเอียดเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ติดที่ผิวภายนอกของชุดทดสอบ โดยกำหนดค่าศูนย์อยู่ที่ผิวบนของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง จากนั้นทำการแขวนชุดทดสอบไว้แล้วทำการจดบันทึกค่าทุก 30 นาที จนกว่าซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างจะหยุดการเข้มน้ำ หรือระยะเวลาผ่านไปอย่างน้อย 4-6 ชั่วโมง ทำการบันทึกค่า โดยค่าการเข้มน้ำที่อ่านได้จะนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การ Bleeding ดังสมการข้างล่าง

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

$V_c$  = ความสูงของซีเมนต์เพสต์ที่ปริมาตร 400 มล.

$V_1$  = ความสูงที่ระดับผิวน้ำของตัวอย่างทดสอบ

$V_2$  = ความสูงที่ระดับผิวของซีเมนต์เพสต์

ในการผสมแบบ DM จะมีการทดสอบหาค่าการเข้มน้ำ (Bleeding) โดยจะมีการผสมน้ำในส่วนแรกที่มีค่าที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจะมีผลต่อค่าการเข้มน้ำ (Bleeding) ของซีเมนต์เพสต์โดยจะมีการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำที่ละ 0.03 ของน้ำหนักของซีเมนต์ตั้งแต่  $W1/C = 0$  (เทียบเท่ากับ SM) จนถึง  $W1/C = 0.30$  โดยที่  $x = 3.5$ ,  $y = 1.5$  และ  $z = 2$

(2) การทดลองหาความสามารถในการไหล ในการทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993 โดยการทดสอบจะทำการผสมซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ ทำการเทซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ผสมเสร็จลงในอุปกรณ์ทดสอบจนเต็มพอดี โดยทำการปิดช่องเปิดบริเวณด้านล่างของอุปกรณ์ทดสอบให้สนิท ทำการจับเวลาอัตราการไหลผ่านของซีเมนต์เพสต์ทันทีที่เปิดช่องเปิดด้านล่างให้ซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบอย่างอิสระ ทำการจดบันทึกค่าอัตราการไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบมาตรฐานของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง โดยค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของเวลาของการไหลของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง (วินาที)

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

### 3.3.2 การทดลองมอร์ต้า

โดยทำการเตรียมตัวอย่างตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ (ตามตารางที่ 3.3) จากนั้นทำการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนโดยมีขั้นตอนการผสมตามรูปที่ 3.2 น้ำส่วนแรก ( $W1$ ) ที่ใช้ผสมจะทำการคลุกเคล้ากับปูนซีเมนต์ในเวลา 0.5 นาที ตามที่แสดงในรูปที่ 3.4 พร้อมกับเติมสารผสมเพิ่มรวมไปกับน้ำโดยปรับลดปริมาณน้ำในส่วนที่สารผสมเพิ่มเข้าไปทดแทน จากนั้นนำซีเมนต์มอร์ต้าตัวอย่างที่ได้ไปทำการทดสอบเพื่อหาค่าต่างๆ

### 3.3.3 การทดลองคอนกรีต

การเตรียมตัวอย่างการทดลองในส่วนของการคอนกรีตจะมีหลักการผสมในลักษณะเดียวกัน โดยหลังจากได้มีการเตรียมวัสดุตามที่ได้ออกแบบไว้ (ตามตารางที่ 3.4) การผสมคอนกรีตด้วยวิธีการแบบ DM ทำโดยเริ่มจากแบ่งน้ำส่วนแรกที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.27 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่พอให้ซีเมนต์เพสต์คลุกเคล้าในการผสมได้ในเครื่องผสมแบบโม และในขั้นตอนของการผสมจะเริ่มจากการใส่หินที่อิมตัวผิวแห้งลงไป 1 ใน 3 ส่วนของหินที่มีการออกแบบไว้เพื่อต้องการให้ซีเมนต์เพสต์นั้นไม่ติดกับบริเวณรอบๆ ของเครื่องผสม และเพื่อต้องการให้มีการคลุกเคล้าที่ดีด้วย หลังจากนั้น

จึงทำการใส่น้ำส่วนแรกที่มีส่วนผสมของสารผสมเพิ่ม โดยปรับลดปริมาณน้ำในส่วนที่สารผสมเพิ่มเข้าไปทดแทนทำการคลุกเคล้าตามเวลาและความเร็วเครื่องผสมที่กำหนด จากนั้นทำการใส่น้ำส่วนที่เหลือจนครบตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ทำการใส่หินและทรายที่เหลือตามลำดับ โดยการทดสอบคอนกรีต จะทำการทดสอบคอนกรีตตัวอย่างที่  $W/C = 0.40$

### 3.4 วิธีการศึกษา

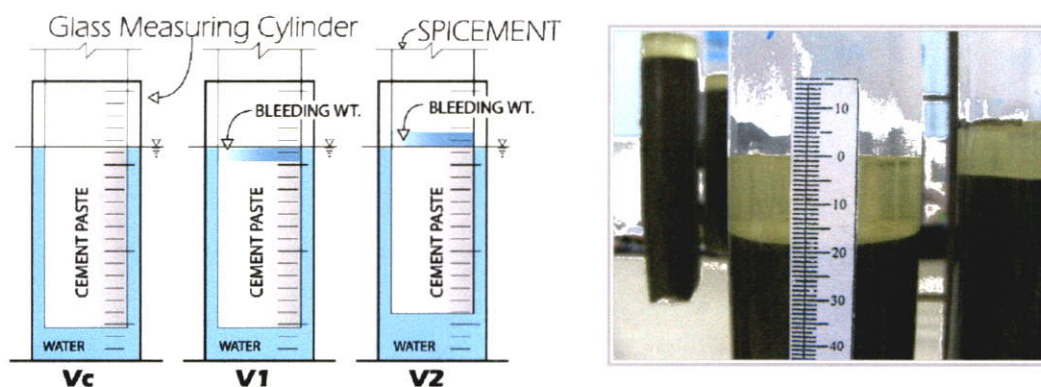
#### 3.4.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

3.4.1.1 ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลจากเนื้อหาทางทฤษฎี จากหนังสือต่างประเทศ วิทยานิพนธ์ มาตรฐานการก่อสร้าง (ASTM, JSCE) ข้อมูลจากเอกสาร ตำราเรียนที่เกี่ยวข้อง

3.4.1.2 ทำการจัดหาวัสดุดิบ และอุปกรณ์การทดสอบ

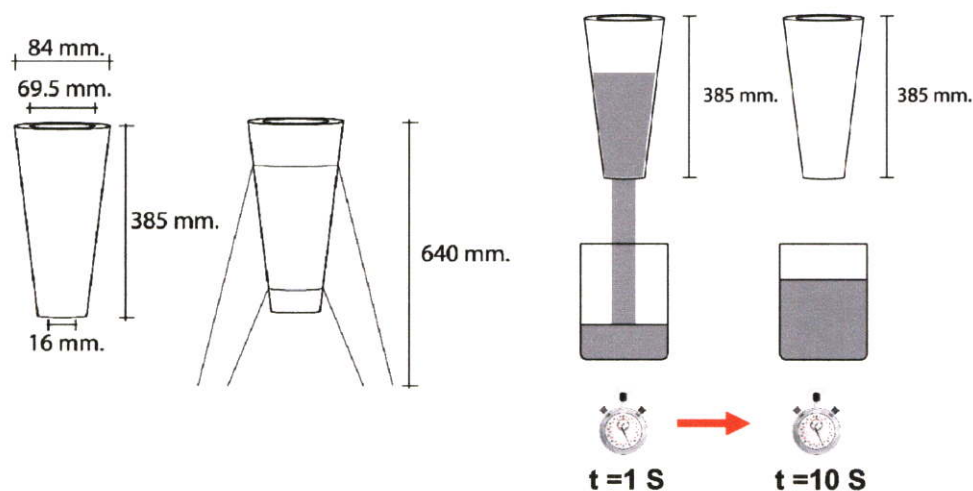
3.4.1.3 ทำการศึกษาทดลองในส่วนของซีเมนต์เพสต์ มอร์ต้า และคอนกรีตตามอัตราส่วนผสมที่ทำการออกแบบไว้ โดยการศึกษาทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆดังนี้

#### (1) การทดสอบหาอัตราการเข้มน้ำ (Bleeding)



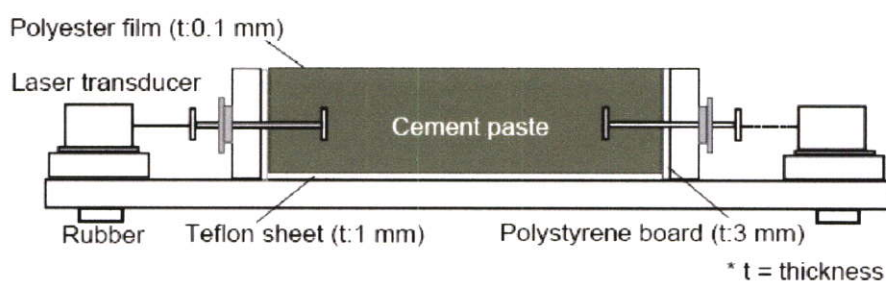
รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างการเก็บค่าการเข้มน้ำ (Bleeding)

(2) การทดลองหาความสามารถในการไหล โดยการทดลองการไหลของตัวอย่าง จะทำการทดสอบมาตรฐาน JSCE-F531-1993 ซึ่งใช้อุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงอุปกรณ์การทดลอง (JSCE-F531-1993)

(3) ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkage) เทตัวอย่างที่ทำการทดลองลงในแบบหล่อตัวอย่าง และทำการเก็บค่าเมื่อซีเมนต์ตามมาตรฐาน JIS A 1129 , “Test method for length change of mortar and concrete,” ตามที่แสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงการวัดค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์

(4) ความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมด้วย DM ในการทดสอบ จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109 , “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar,” Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01 โดยจะทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 ซม. ทำการทดสอบที่อายุคอนกรีต 1, 3, 7 และ 28 วัน ในการทดสอบจะเลือกทำการผสมที่ W/C 0.40 , 0.50 , 0.60

(5) การทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัดในคอนกรีตที่ผสมด้วย DM ในการทดสอบจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109, “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar,” Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01 โดยจะทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม. ทำการทดสอบที่อายุคอนกรีต 1, 3, 7 และ 28 วัน ในการทดสอบจะเลือกทำการผสมที่ W1/C 0.24 – 0.27

#### 3.4.1.4 ทำการตรวจสอบ และแก้ไขข้อมูล

### 3.4.2 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

- 1 ทำการรวบรวมข้อมูล
- 2 วิเคราะห์และศึกษาความสัมพันธ์
- 3 ประเมินและสรุปผลการทดลอง

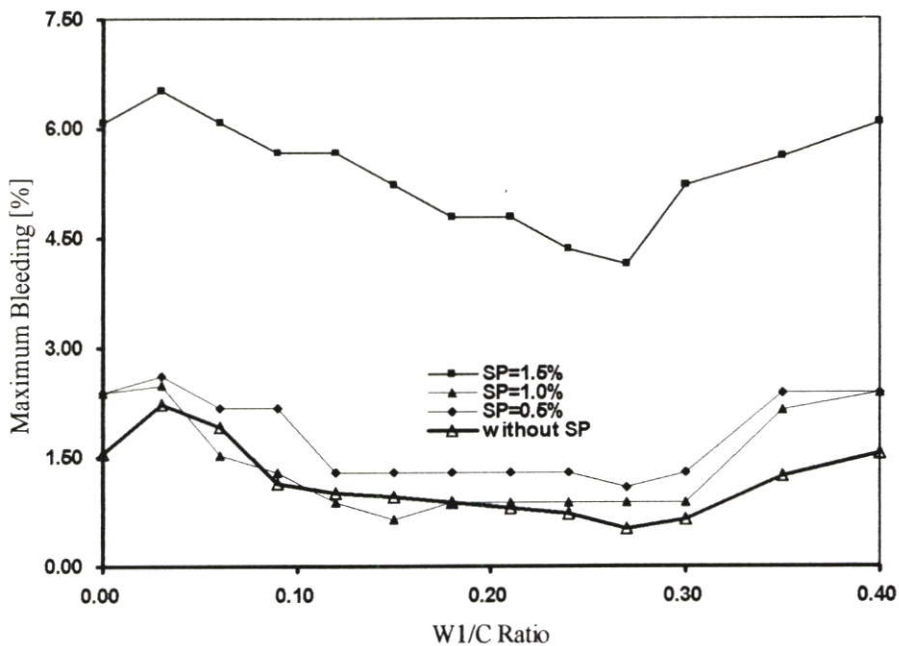
นำผลการทดสอบทำการวิเคราะห์ ประเมินผล และสรุปผล เพื่อเสนอผลการวิจัยที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งจะเป็แนวทางในการศึกษาวิจัยในรายละเอียดอื่นๆ ที่น่าสนใจ และเป็นประโยชน์ต่อไป

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ผลการทดลองในส่วนของซีเมนต์เพสต์

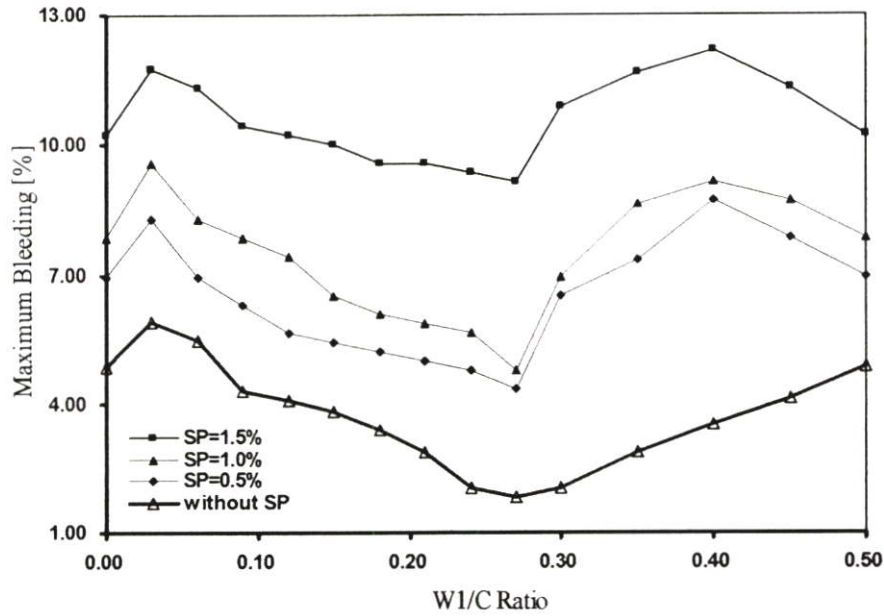
4.1.1 ลักษณะของการเข้มน้ำที่เกิดขึ้นในซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ได้จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำสองส่วน (DM) ที่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่างกัน และสัดส่วนของสารผสมเพิ่มในปริมาณที่ต่างกัน พบว่าสารผสมเพิ่มมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มปริมาณการเข้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ในทุกอัตราส่วน แต่ด้วยวิธีการผสมแบบ DM สามารถควบคุมการเข้มน้ำ (Bleeding) ให้มีค่าต่ำสุดอยู่ในช่วงที่  $W_1/C$  ประมาณ 0.26 – 0.28 ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางกันทุกๆอัตราส่วน



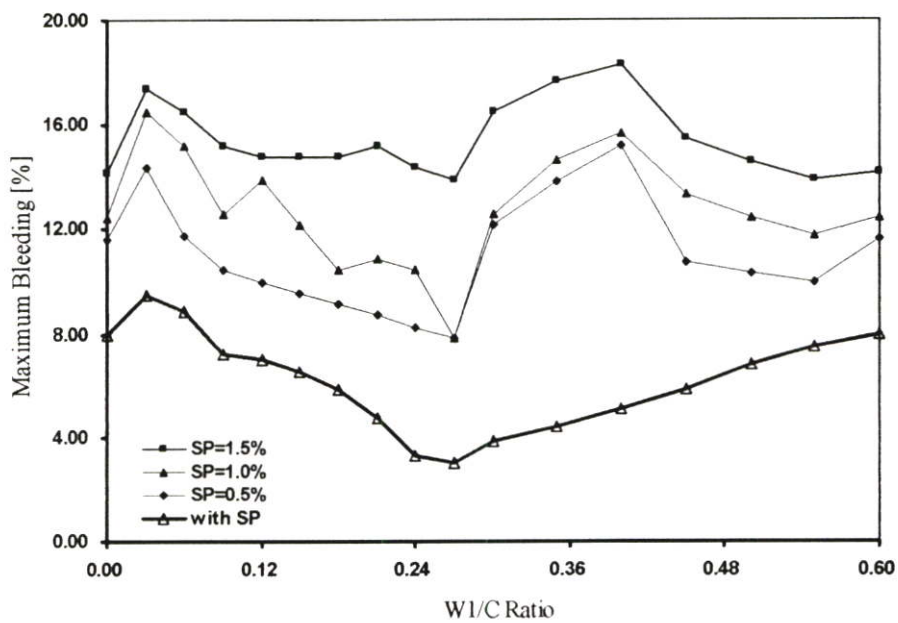
รูปที่ 4.1 แสดงค่าการเข้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่  $W/C = 0.40$

ปริมาณน้ำเริ่มแรกที่ใช้ในการผสม ( $W_1/C$ ) ต่อค่าการเข้มน้ำ (Bleeding) ของซีเมนต์เพสต์จากการทดสอบซีเมนต์เพสต์ที่  $W/C = 0.60$  โดยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำสองส่วน (DM) โดยมีสาร Superplasticizer เป็นส่วนผสม โดยการทดลองทำการปรับค่า  $W_1/C$  เพิ่มขึ้นทีละ 0.03 ตั้งแต่  $W_1/C = 0$  (เทียบเท่ากับ SM) จนถึง  $W_1/C = 0.30$  โดยที่  $x = 3.5$ ,  $y = 1.5$  และ  $z = 2$  พบว่าเมื่อใช้  $W_1/C$  ที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 0.13 การ Bleeding มีปริมาณมากกว่าการผสมแบบธรรมดา (SM with SP) แต่เมื่อ

ค่า  $W_1/C$  เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Bleeding ค่อย ๆ ลดลงอย่างมากและลดต่ำลงตามลำดับ โดยมีค่าต่ำสุดที่  $W_1/C$  ประมาณ 0.26 – 0.28 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 แสดงค่าการเข้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่  $W/C = 0.50$

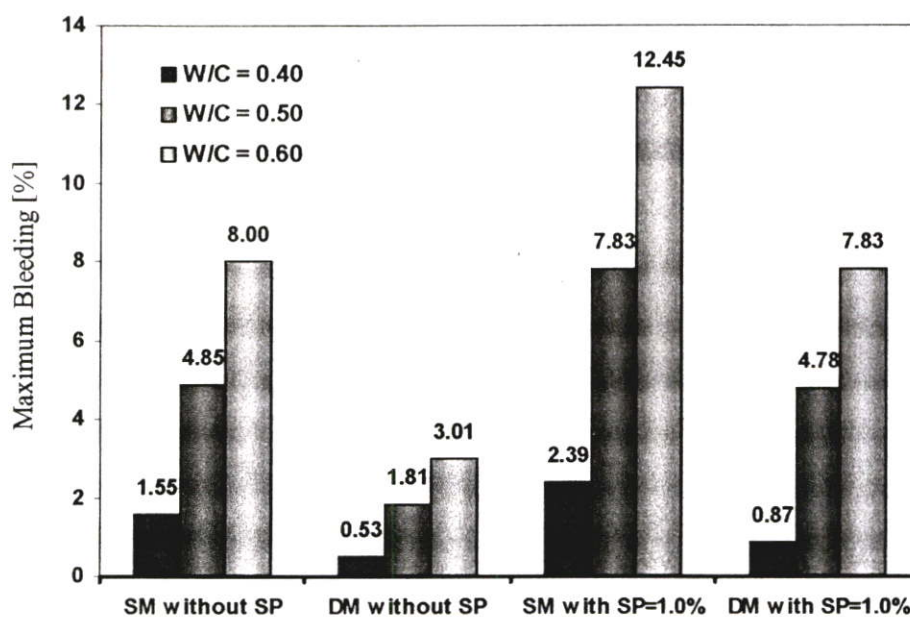


รูปที่ 4.3 แสดงค่าการเข้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่  $W/C = 0.60$

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการผสมแบบแบ่งน้ำสองส่วน(DM) ที่มีสาร Superplasticizer เป็นส่วนผสมที่ค่า  $W_1/C$  ในช่วงตั้งแต่ 0–0.06 ซีเมนต์เพสต์มีการจับตัวกันเป็นมวลขนาดใหญ่เหมือน

ลักษณะของการนำซีเมนต์ที่มีความชื้นนำมาใช้ในการทำงาน ในช่วงนี้จึงพบว่าค่าการเข้มน้ำ (Bleeding) จะมีในปริมาณที่มากเพราะเนื่องจากน้ำมีอนุภาคที่เบา และการจับตัวระหว่างอนุภาคซีเมนต์มีน้อย ดังนั้นมวลมีขนาดใหญ่จึงทำให้การจับตัวกันระหว่างน้ำกับซีเมนต์เพื่อที่จะทำปฏิกิริยาจับตัวกันได้น้อย น้ำในส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาหรือเราเรียกว่าน้ำส่วนเกิน (Excess Water) จะมีการจับตัวและยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้ำกับน้ำด้วยตัวเอง ทำให้น้ำส่วนเกินนั้นลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์

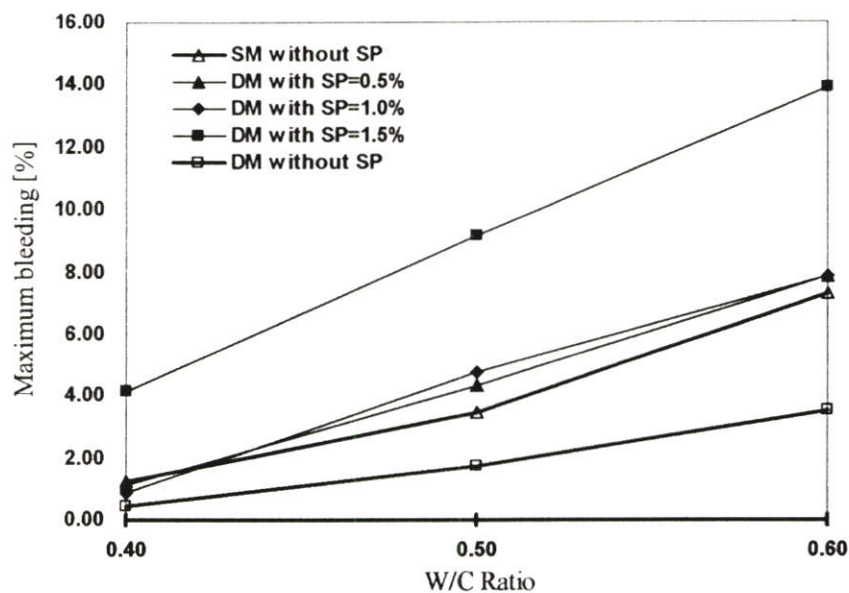
4.1.2 ค่าการเข้มน้ำ (Bleeding) ที่เกิดขึ้นในซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง พบว่าซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ค่า W/C ที่สูงซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับที่ใช้ค่า W/C ที่ต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ค่า W/C = 0.60 ค่าการเข้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง (DM with SP) จะมีค่าที่ลดต่ำกว่าซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ได้จากการผสมแบบธรรมดา (SM with SP) อยู่ประมาณร้อยละ 37 ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงค่าการเข้มน้ำสูงสุด (Maximum Bleeding) ที่ W/C ต่างกัน

ด้วยวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างแบบ DM เมื่อทำการเปรียบเทียบกับการผสมแบบธรรมดา (SM) ดังรูปที่ 4.5 พบว่าในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เท่ากันในการทดลองซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ไม่ใช้สารผสมเพิ่ม (Admixture) การผสมแบบ DM สามารถลดการเข้มน้ำในซีเมนต์ตัวอย่างลงได้ถึงร้อยละ 62 และด้วยวิธีการแบบ DM ก็ยังสามารถลดการเข้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมได้ด้วยเช่นกัน จากข้อมูลการทดลองซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ W/C = 0.60 พบว่าหากทดลองคำนวณดูถึงสัดส่วนของน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันนั้น จะอยู่ที่ประมาณ  $0.28 \pm 1$  แต่ในการผสมซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ W/C = 0.60 จะเกิดน้ำส่วนเกินถึง 0.32 ซึ่งมีค่ามากกว่าเกือบ

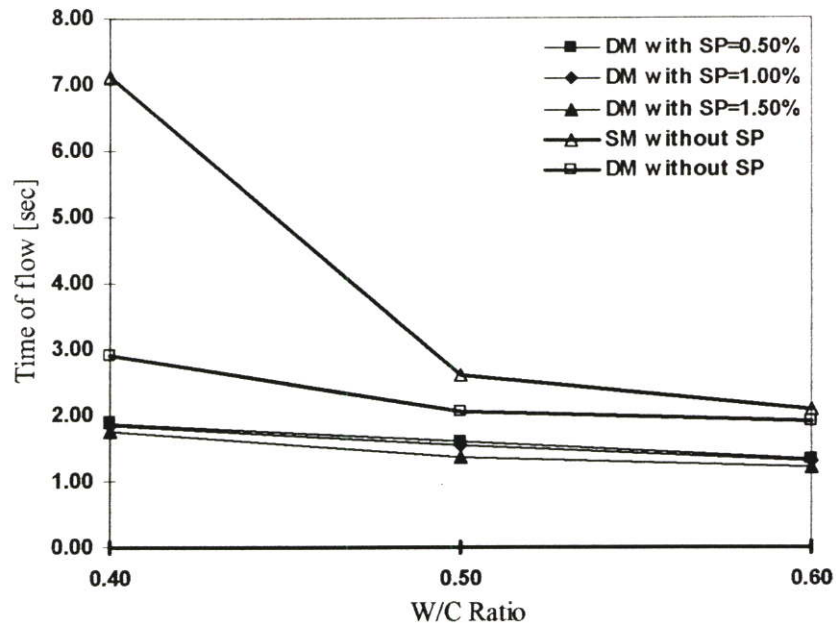
หนึ่งเท่าตัว แต่ด้วยวิธีการแบบ DM สามารถที่ลดการเข้มน้ำลงในซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมได้ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.5



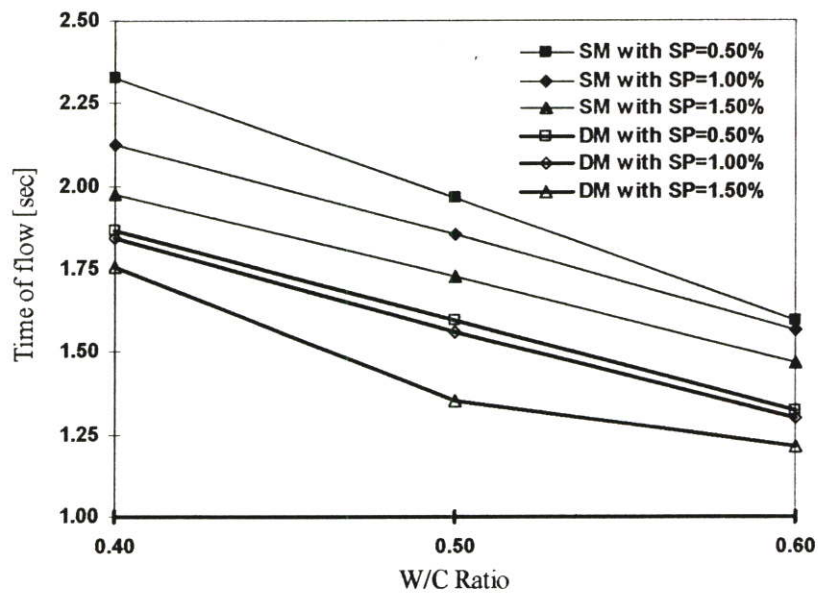
รูปที่ 4.5 แสดงค่าการเข้มน้ำสูงสุด (Maximum Bleeding) ที่ W/C ต่างกัน

#### 4.1.3 ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง

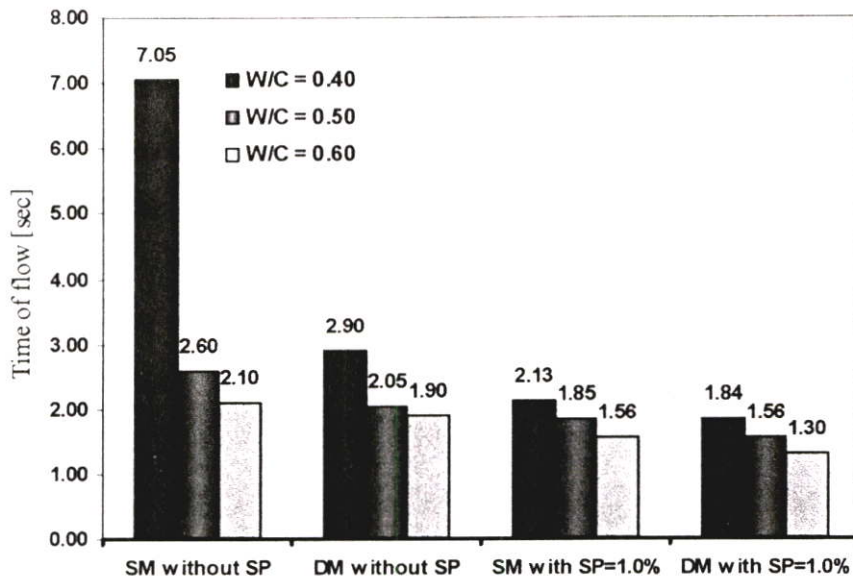
จากการทดลองพบว่าของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมมีความสามารถในการไหลที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ได้การผสมแบบธรรมดา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตัวอย่างที่ค่า W/C ต่ำมากเท่าไรก็จะเห็นถึงความแตกต่างได้อย่างชัดเจน การทดลองตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993 พบว่า ในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.40, 0.50 และ 0.60 วิธี DM สามารถพัฒนาให้ซีเมนต์เพสต์มีการไหลได้ดีขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.6 โดยซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.40, SP=1.00 % วิธี DM สามารถพัฒนาให้มีความสามารถในการไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบได้จาก 2.13 วินาที เหลือเพียง 1.84 วินาที และถ้าเปรียบเทียบกับการผสมแบบ SM แล้วพบว่าวิธี DM เมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับสารผสมเพิ่มในอัตราส่วนที่ 1% แล้วสามารถพัฒนาให้มีการไหลที่ดีกว่าแบบ SM จากเดิมที่มีอัตราการไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบที่ประมาณ 7.05 วินาที เหลือ 1.84 วินาที หรือสามารถพัฒนาให้การไหลดีขึ้นได้ประมาณ 73.90% ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการผสมแบบ DM สามารถที่จะพัฒนาให้ซีเมนต์เพสต์ที่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมมีความสามารถในการไหลที่ดีขึ้นโดยทำให้ซีเมนต์เพสต์ใช้เวลาในการไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบมาตรฐานลดลงมากกว่าครึ่งของการผสมแบบ SM ดังแสดงในภาพที่ 4.6 , 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio กับ Time of flow



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio กับ Time of flow



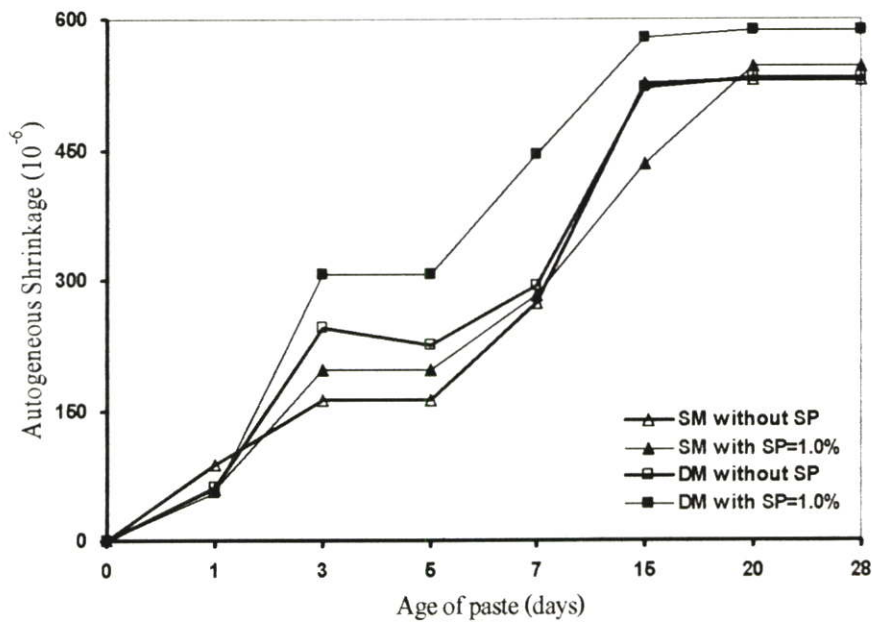
รูปที่ 4.8 แสดงค่าการไหลในซีเมนต์เพสต์ DM ที่ W/C ต่างกัน

#### 4.1.3.1 ค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkage)

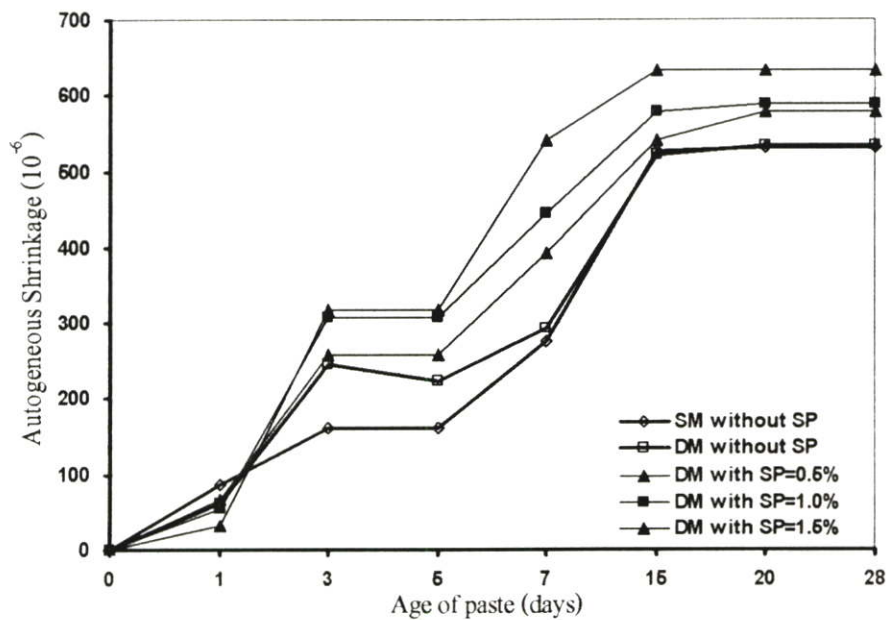
จากการทดลองแสดง ดังรูปที่ 4.9 การหดตัวของซีเมนต์เพสต์[SM]และ[DM] จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของซีเมนต์เพสต์ โดยมีค่าการหดตัวที่ใกล้เคียงกัน แต่จะมีผลเล็กน้อยที่ W/C มากขึ้น เมื่อพิจารณาไปถึงความสัมพัทธ์แล้ว การ Bleeding ในซีเมนต์เพสต์[SM] จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่า ซีเมนต์เพสต์[SM] จะมีค่า Bleeding มากกว่าสองเท่าเมื่อเทียบกับวิธีการ DM แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการ Bleeding ที่ผิวซีเมนต์เพสต์ และอัตราการระเหยมีค่าเท่ากับการ Bleeding ปริมาณที่น้ำระเหยออกไปทำให้ปริมาณของซีเมนต์เพสต์ลดลงหรือมีการหดตัว ถึงแม้ซีเมนต์เพสต์[DM] จะมีการ Bleeding และการหดตัวในช่วงแรกก็น้อยแต่จะไม่ส่งผลต่อการหดตัวเมื่ออายุของซีเมนต์เพสต์มากขึ้น

จากภาพแสดงที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงการหดตัวในซีเมนต์เพสต์[DM] ที่มีสารผสมเพิ่มตั้งแต่ 0.5 , 1.0 และ 1.5% ตามลำดับ พบว่าในตัวอย่างที่มีส่วนผสมของสารผสมเพิ่มจะเกิดการหดตัวที่มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันคือมีการหดตัวในช่วงแรกน้อย และเมื่ออายุมากขึ้นการหดตัวจึงเพิ่มตามลำดับ แต่ในตัวอย่างที่มีปริมาณสารผสมเพิ่มที่ 1.5% จะมีการหดตัวมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การหดตัวในซีเมนต์เพสต์[SM] โดยมี ค่าการหดตัวจากเดิมประมาณ  $536 \times 10^{-6}$  เป็น  $632 \times 10^{-6}$  หรือการหดตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 19.32% จากรูปแสดงที่ 11 พบว่าวิธี DM ซีเมนต์เพสต์ที่มีสารผสมเพิ่ม 1% การหดตัวจะมีลักษณะที่คล้ายกับตัวอย่างอื่นเช่นกัน โดยในระยะแรกจะเกิดการหดตัวไม่มากนักและการหดตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุมากขึ้นตามลำดับแต่การหดตัวจะมีค่า

น้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่สารผสมเพิ่ม 1.5% โดยการหดตัวที่เกิดขึ้นประมาณ  $587 \times 10^{-6}$  หรือมีการหดตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 10.75%



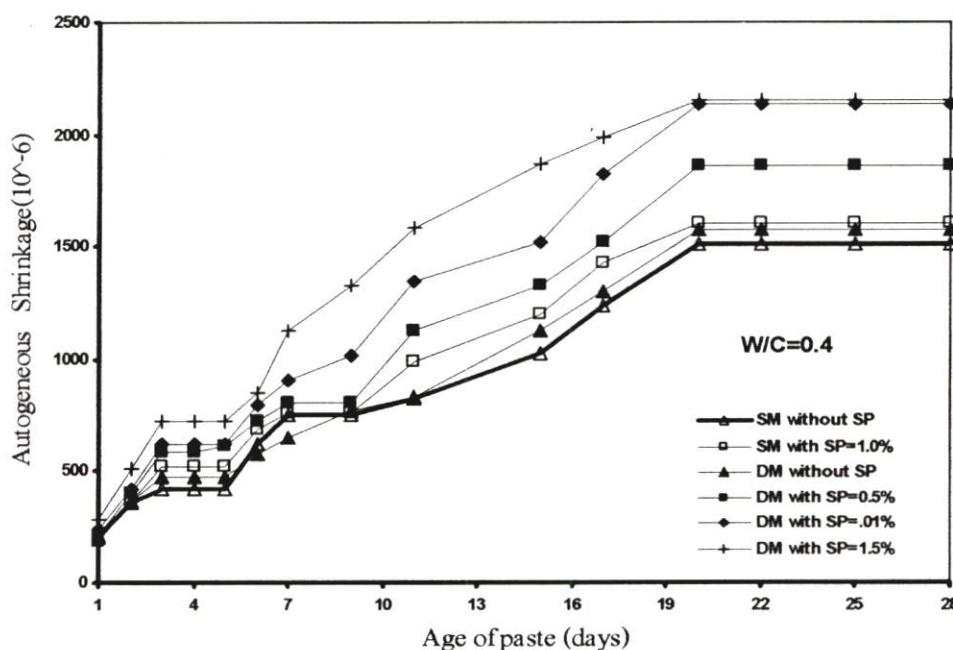
รูปที่ 4.9 แสดงค่า (Autogenous Shrinkage) ในซีเมนต์เพสต์ DM = 0.40



รูปที่ 4.10 แสดงค่า (Autogenous Shrinkage) ในซีเมนต์เพสต์ DM = 0.40

## 4.2 ผลการทดลองในส่วนของมอร์ต้า

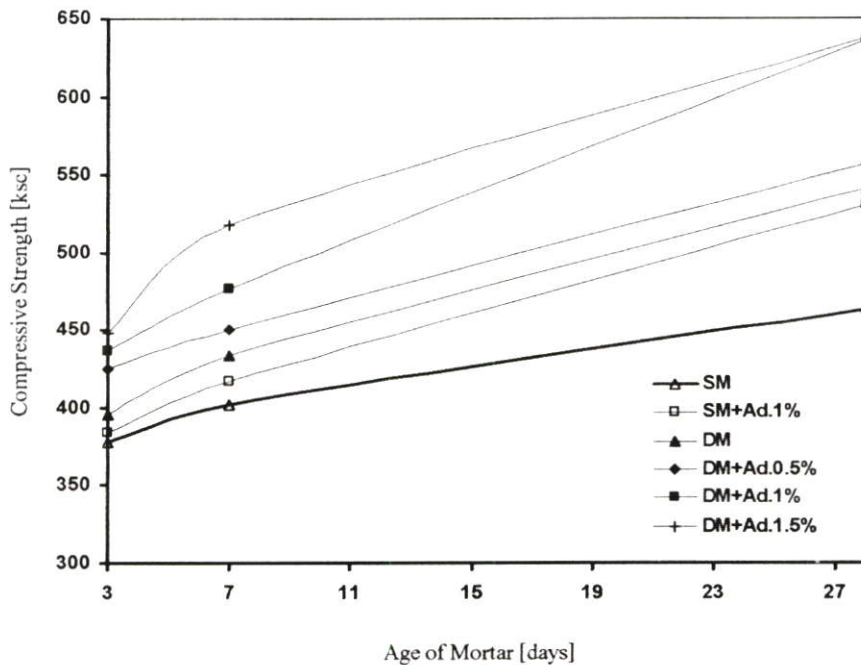
4.2.1 ค่าการหดตัวของมอร์ต้า (Autogenous Shrinkage) จากผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.11 พบว่าค่าการหดตัวจะมีแนวโน้มแบบเดียวกันกับการทดลองในส่วนของซีเมนต์เพสต์ด้วยวิธีการผสมแบบ DM และแบบ SM จะมีค่าการหดตัวเพิ่มขึ้นตามอายุของมอร์ต้า ซึ่งค่าที่ได้จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันจะมีผลเล็กน้อยที่ค่า W/C มากขึ้น สังเกตได้จากตัวอย่างที่ค่า W/C = 0.40 (DM with SP) ตัวอย่างจะมีค่าการหดตัวมากกว่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อทำการเชื่อมโยงความสัมพันธ์กับการทดสอบการเข้มน้ำ (Bleeding) จากข้อมูลข้างต้น ค่าการเข้มน้ำ (Bleeding) ในตัวอย่าง SM with SP จะมีค่ามากกว่าประมาณสองเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ได้จากการผสมแบบ DM with SP ในตัวอย่างที่ W/C = 0.40 แสดงให้เห็นว่าเมื่อการเข้มน้ำที่ผิวหน้าของซีเมนต์มีในปริมาณมากและอัตราการระเหยมีค่าเท่ากับการเข้มน้ำ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกไปทำให้ปริมาณของซีเมนต์ลดลงหรือมีการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง ถึงแม้การหดตัวที่เกิดขึ้นในตัวอย่างที่ได้จาก SM จะมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างจาก DM ในระยะแรกๆก็ตาม



รูปที่ 4.11 แสดงค่า (Autogenous Shrinkage) ในซีเมนต์มอร์ต้า DM , W/C = 0.40

4.2.2 การทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าที่ W/C = 0.40 จากการทดลองพบว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ทำการผสมด้วยวิธี DM with SP ที่อายุ 1, 3 และ 28 วัน กำลังอัดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเทียบกับวิธี SM ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ในตัวอย่างทดสอบที่มีค่ากำลังอัดที่ต่ำอาจเป็นผล

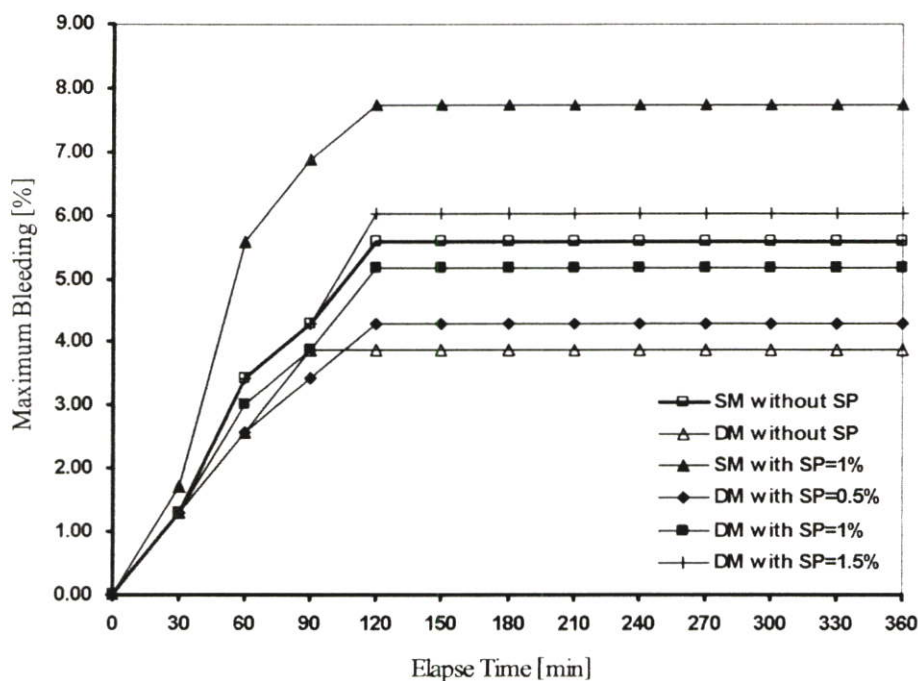
เนื่องจากการเข้มน้ำที่มีปริมาณมาก น้ำที่ลอยตัวสู่ผิวหน้าคอนกรีตในปริมาณที่มากนี้จึงมีผลต่อการรับกำลังในชั้นตัวอย่างทำให้มีกำลังอัดที่ลดต่ำลงได้



รูปที่ 4.12 แสดงค่า Compressive Strength ในซีเมนต์มอร์ต้า DM , W/C = 0.40

### 4.3 ผลการทดลองในส่วนของคอนกรีต

4.1.3.1 การทดสอบการเข้มน้ำ (Bleeding) ของคอนกรีตที่ W/C = 0.60 พบว่าการเข้มน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปตั้งแต่ 0 ถึง 120 นาที การผสมแบบ DM สามารถช่วยลดการเข้มน้ำได้ โดยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองในส่วนของซีเมนต์เพสต์ แต่การเข้มน้ำที่เกิดขึ้นในคอนกรีตจะมีอัตราการเข้มน้ำน้อยกว่าที่เกิดในซีเมนต์เพสต์ เนื่องจากว่าในคอนกรีตสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนหลักๆ คือ ส่วนที่เป็นซีเมนต์และส่วนที่เป็นมวลรวม เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตในปริมาณที่เท่ากันก็จะพบว่า ปริมาตรของซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในคอนกรีตจะมีปริมาณที่น้อยกว่าเพราะมีการแทนที่ของมวลรวมอยู่ในส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งพฤติกรรมของการเข้มน้ำจะเกิดขึ้นกับซีเมนต์เป็นหลัก ดังนั้นเกิดเข้มน้ำในคอนกรีตจึงมีในปริมาณที่ต่ำกว่าในซีเมนต์เพสต์ ด้วยวิธีการผสมแบบ DM สามารถลดการเกิด Bleeding ในคอนกรีตที่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.13



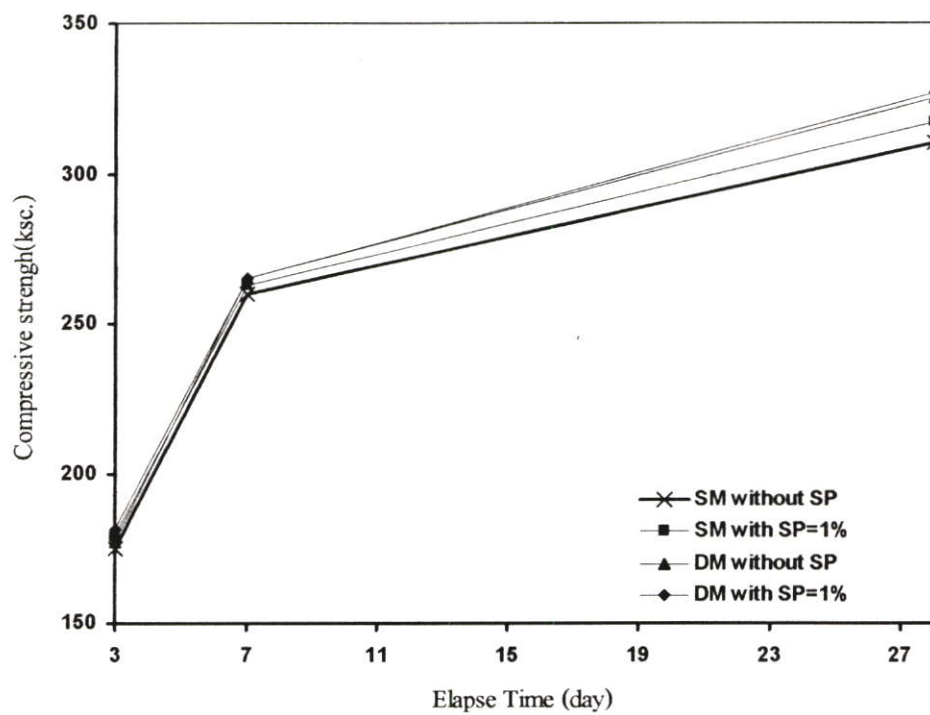
รูปที่ 4.13 แสดงค่าการ Maximum Bleeding ในคอนกรีตที่ W/C = 0.60

4.1.3.2 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต จากการทดลองพบว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน DM สามารถพัฒนากำลังอัดในคอนกรีตที่ 28 วัน ให้มีกำลังไม่ต่างกันมากนักตามลำดับ เมื่อทำการเติมสารผสมเพิ่มจำพวก Superplasticizer ลงในคอนกรีต SM จากภาพแสดงที่ 12 พบว่าการเติมสารผสมเพิ่มในปริมาณ 1% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ลงในส่วนผสมคอนกรีต [SM] ที่ W/C=0.60 สารผสมเพิ่มมีผลให้คอนกรีตพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นประมาณ 3.42 % ในระยะเวลา 3 วันแรก และพัฒนากำลังต่อไปที่ 28 วัน ให้คอนกรีต[DM] มีกำลังต้านทานแรงอัดที่เพิ่มขึ้นจาก 310 ksc ไปเป็นที่ 327 ksc หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 5.48 % เมื่อเทียบกับกำลังอัดของคอนกรีต SM ที่อายุ 28 วัน

ดังรูปที่ 4.14 ถ้าพิจารณาระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดในคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบ DM กับคอนกรีตที่ใช้สารผสมเพิ่มจำพวก Superplasticizer ในปริมาณ 1 % โดยน้ำหนักเป็นส่วนผสมแล้ว พบว่า DM สามารถพัฒนากำลังอัดในคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ได้ดีกว่าโดยไม่ต้องเติมสารผสมเพิ่มลงในส่วนผสมเลย ในการทดลองคอนกรีตที่ได้จากวิธี SM, W/C=0.60 ให้กำลังต้านทานแรงอัดที่ประมาณ 310 ksc. เมื่อทำการผสมด้วยวิธี DM เพียงอย่างเดียวสามารถพัฒนากำลังอัดที่ 28 วัน ให้สูงขึ้นถึง 325 ksc. หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 4.83 % โดยกำลังอัดในระยะแรกนั้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออายุของคอนกรีตมากขึ้นกำลังอัดก็จะพัฒนาต่อไปเป็นลำดับ ดังนั้นจากการทดลองกำลังต้านทานแรงอัดในคอนกรีตที่ W/C=0.60 โดยมีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมนั้นพบว่า DM เมื่อใช้ร่วมกับสารผสมเพิ่มสามารถพัฒนากำลังอัดในระยะแรกให้มีกำลังดีขึ้น เมื่อเทียบกับกำลังอัดที่ 28 วัน ของการผสมแบบ SM

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า Slump ของคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบ DM

Concrete	Slump
SM without Superplasticizer	8.02
SM with Superplasticizer = 1.00 %	8.56
DM without Superplasticizer	8.28
DM with Superplasticizer = 0.50 %	8.80
DM with Superplasticizer = 1.00 %	9.42
DM with Superplasticizer = 1.50 %	9.71



รูปที่ 4.14 แสดงค่า Compressive Strenth ในซีเมนต์คอนกรีต DM , W/C = 0.60

## บทที่ 5

### สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. ลักษณะของการเข้มน้ำที่เกิดขึ้นในซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ได้จากวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำสองส่วน (DM) ที่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่างกันและสัดส่วนของสารผสมเพิ่มในปริมาณที่ต่างกัน พบว่าสารผสมเพิ่มมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มปริมาณการเข้มน้ำในซีเมนต์เพสต์ในทุกอัตราส่วน แต่ด้วยวิธีการผสมแบบ DM สามารถควบคุมการเข้มน้ำ (Bleeding) ให้มีค่าต่ำสุดอยู่ในช่วงที่  $W_1/C$  ประมาณ 0.26 – 0.28 ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางกันทุกๆ อัตราส่วน

2. ปริมาณน้ำเริ่มแรกที่ใช้ในการผสม ( $W_1/C$ ) ต่อค่าการเข้มน้ำ (Bleeding) ของซีเมนต์เพสต์จากการทดสอบซีเมนต์เพสต์ที่  $W/C = 0.60$  โดยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำสองส่วน (DM) โดยมีสาร Superplasticizer เป็นส่วนผสม โดยการทดลองทำการปรับค่า  $W_1/C$  เพิ่มทีละ 0.03 ตั้งแต่  $W_1/C = 0$  (เทียบเท่ากับ SM) จนถึง  $W_1/C = 0.30$  โดยที่  $x = 3.5, y = 1.5$  และ  $z = 2$  พบว่าเมื่อใช้  $W_1/C$  ที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 0.13 การ Bleeding มีปริมาณมากกว่าการผสมแบบธรรมดา (SM with SP) แต่เมื่อค่า  $W_1/C$  เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Bleeding ค่อย ๆ ลดลงอย่างมากและลดต่ำลงตามลำดับ

3. เมื่อทำการผสมแบบแบ่งน้ำสองส่วน (DM) ที่มีสาร Superplasticizer เป็นส่วนผสมที่ค่า  $W_1/C$  ในช่วงตั้งแต่ 0 – 0.06 ซีเมนต์เพสต์มีการจับตัวกันเป็นมวลขนาดใหญ่เหมือนลักษณะของการนำซีเมนต์ที่มีความชื้นนำมาใช้ในการทำงาน ในช่วงนี้จึงพบว่าค่าการเข้มน้ำ (Bleeding) จะมีในปริมาณที่มากเพราะเนื่องจากน้ำมีอนุภาคที่เบา และการจับตัวระหว่างอนุภาคซีเมนต์มีน้อย ดังนั้นมวลมีขนาดใหญ่จึงทำให้การจับตัวกันระหว่างน้ำกับซีเมนต์เพื่อที่จะทำปฏิกิริยาจับตัวกันได้น้อย น้ำในส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาหรือเราเรียกว่าน้ำส่วนเกิน (Excess Water) จะมีการจับตัวและยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้ำกับน้ำด้วยกันเอง ทำให้น้ำส่วนเกินนั้นลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์

4. การทดสอบปริมาณสารผสมเพิ่มที่ผสมในซีเมนต์เพสต์ที่  $W/C = 0.60$  โดยวิธี DM ซึ่งมีการปรับค่า  $W_1/C$  โดยเพิ่มทีละ 0.03 ตั้งแต่  $W_1/C = 0$  (เทียบเท่ากับ SM) จนถึง  $W_1/C = 0.30$  โดยที่  $x = 3.5, y = 1.5$  และ  $z = 2$  พบว่าเมื่อใช้  $W_1/C$  ที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 0.09 การ Bleeding มีปริมาณมากกว่าการผสมแบบ SM แต่เมื่อค่า  $W_1/C$  เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Bleeding ค่อยๆลดลงอย่างมากและลดต่ำสุดที่  $W_1/C$  ประมาณ 0.26-0.28 จากภาพแสดงที่ 4.3 แสดงผลการทดลองการ Bleeding ในซีเมนต์เพสต์ [SM] ที่  $W/C=0.60$  ทดลองเติมสารผสมเพิ่มในปริมาณ 0.5, 1.0 และ 1.5 % ตามลำดับ พบว่าปริมาณสารผสมเพิ่มที่ 0.5 และ 1.0 % การเกิด Bleeding มีค่าใกล้เคียงกันแต่ในซีเมนต์เพสต์ที่สารผสมเพิ่ม 1.5% มีอัตราการ Bleeding สูงที่สุดมีค่าถึง 14.16% มากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่  $W/C=0.60$  และไม่ใช้สารผสมเพิ่มรวมในส่วนผสมถึง 6.86%

5. วิธี DM สามารถลดการ Bleeding ได้ในตัวอย่างที่มีสารผสมเพิ่มในทุกๆ อัตราส่วน โดยเห็นได้อย่างชัดเจนในซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่สารผสมเพิ่มตั้งแต่ 0.5-1.0% วิธี DM สามารถลดการ Bleeding ได้โดยมีอัตราการ Bleeding ที่มีค่าใกล้เคียงกัน ในซีเมนต์เพสต์ที่มีปริมาณสารผสมเพิ่มที่ 1 % มีค่าการ Bleeding อยู่ประมาณ 12.45% วิธี DM สามารถลดการ Bleeding ลงเหลือเพียง 7.83% ซึ่งเป็นค่าการ Bleeding ที่ใกล้เคียงกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ใช้สารผสมเพิ่มเลย และวิธีการ DM ยังสามารถลดการ Bleeding ได้ทั้งในซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ W/C=0.50, 0.40 ได้ตามลำดับ

6. วิธี DM สามารถพัฒนาให้อัตราการไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบได้จาก 2.13 วินาที เหลือเพียง 1.84 วินาที และถ้าเปรียบเทียบกับการผสมแบบ SM แล้วพบว่าวิธี DM เมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับสารผสมเพิ่มในอัตราส่วนที่ 1% แล้วสามารถพัฒนาให้อัตราการไหลที่คิดว่าเป็นแบบ SM จากเดิมที่มีอัตราการไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบที่ประมาณ 7.05 วินาที เหลือ 1.84 วินาที หรือสามารถพัฒนาให้อัตราการไหลให้ดีขึ้นได้ประมาณ 73.90% ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการผสมแบบ DM สามารถที่จะพัฒนาให้ซีเมนต์เพสต์ที่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมมีความสามารถในการไหลที่ดีขึ้นโดยทำให้ซีเมนต์เพสต์ใช้เวลาในการไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบมาตรฐานลดลงมากกว่าครึ่งของการผสมแบบ SM

7. การหาค่าของซีเมนต์เพสต์[SM]และ[DM] จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของซีเมนต์เพสต์ โดยมีค่าการหดตัวที่ใกล้เคียงกัน แต่จะมีผลเล็กน้อยที่ W/C มากขึ้น เมื่อพิจารณาไปถึงความสัมพัทธ์แล้ว การ Bleeding ในซีเมนต์เพสต์[SM] จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่า ซีเมนต์เพสต์[SM] จะมีค่า Bleeding มากกว่าสองเท่าเมื่อเทียบกับวิธีการ DM แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการ Bleeding ที่ผิวซีเมนต์เพสต์ และอัตราการระเหยมีค่าเท่ากับการ Bleeding ปริมาตรที่น้ำระเหยออกไปทำให้ปริมาตรของซีเมนต์เพสต์ลดลงหรือมีการหดตัว ถึงแม้ซีเมนต์เพสต์[DM] จะมีการ Bleeding และการหดตัวในช่วงแรกก็น้อยแต่จะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการหดตัวเมื่ออายุของซีเมนต์เพสต์มากขึ้น

8. การหดตัวในซีเมนต์เพสต์[DM] ที่มีสารผสมเพิ่มตั้งแต่ 0.5 , 1.0 และ 1.5% ตามลำดับ พบว่าในตัวอย่างที่มีส่วนผสมของสารผสมเพิ่มจะเกิดการหดตัวที่มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันคือ มีการหดตัวในช่วงแรกน้อย และเมื่ออายุมากขึ้นการหดตัวจึงเพิ่มตามลำดับ แต่ในตัวอย่างที่มีปริมาณสารผสมเพิ่มที่ 1.5% จะมีการหดตัวมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ [SM] โดยมี ค่าการหดตัวจากเดิมประมาณ  $536 \times 10^{-6}$  เป็น  $632 \times 10^{-6}$  หรือการหดตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 19.32% จากรูปแสดงที่ 11 พบว่าวิธี DM ซีเมนต์เพสต์ที่มีสารผสมเพิ่ม 1% การหดตัวจะมีลักษณะที่คล้ายกับตัวอย่างอื่นเช่นกันโดยในระยะแรกจะเกิดการหดตัวไม่มากนักและการหดตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุมากขึ้นตามลำดับแต่การหดตัวจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่สารผสมเพิ่ม 1.5% โดยการหดตัวที่เกิดขึ้นประมาณ  $587 \times 10^{-6}$  หรือมีการหดตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 10.75%

9. กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน DM สามารถพัฒนากำลังอัดในคอนกรีตที่ 28 วัน ให้มีกำลังไม่ต่างกันมากนักตามลำดับ เมื่อทำการเติมสารผสมเพิ่มจำพวก Superplasticizer ลงในคอนกรีต SM จากภาพแสดงที่ 12 พบว่าการเติมสารผสมเพิ่มในปริมาณ 1% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ลงในส่วนผสมคอนกรีต[SM]ที่ W/C=0.60 สารผสมเพิ่มมีผลให้คอนกรีตพัฒนากำลังอัด

เพิ่มขึ้นประมาณ 3.42 % ในระยะเวลา 3 วันแรก และพัฒนากำลังต่อไปที่ 28 วัน ให้คอนกรีต[DM] มีกำลังต้านทานแรงอัดที่เพิ่มขึ้นจาก 310 ksc ไปเป็นที่ 327 ksc หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 5.48 % เมื่อเทียบกับกำลังอัดของคอนกรีต SM ที่อายุ 28 วัน

10. ถ้าพิจารณาระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดในคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบ DM กับคอนกรีตที่ใช้สารผสมเพิ่มจำพวก Superplasticizer ในปริมาณ 1 % โดยน้ำหนักเป็นส่วนผสมแล้ว พบว่า DM สามารถพัฒนากำลังอัดในคอนกรีตที่อายุ 28 วันได้ดีกว่าโดยไม่ต้องเติมสารผสมเพิ่มลงในส่วนผสมเลย ในการทดลองคอนกรีตที่ได้จากวิธี SM, W/C=0.60 ให้กำลังต้านทานแรงอัดที่ประมาณ 310 ksc. เมื่อทำการผสมด้วยวิธี DM เพียงอย่างเดียวสามารถพัฒนากำลังอัดที่ 28 วันให้สูงขึ้นถึง 325 ksc. หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 4.83 % โดยกำลังอัดในระยะแรกนั้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออายุของคอนกรีตมากขึ้นกำลังอัดก็จะพัฒนาตามไปเป็นลำดับ ดังนั้น จากการทดลองกำลังต้านทานแรงอัดในคอนกรีตที่ W/C=0.60 โดยมีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมนั้น พบว่า DM เมื่อใช้ร่วมกับสารผสมเพิ่มสามารถพัฒนากำลังอัดในระยะแรกให้มีกำลังดีขึ้น เมื่อเทียบกับกำลังอัดที่ 28 วัน ของการผสมแบบ SM

## บรรณานุกรม

- [1] P.Pichet , C.Nantawat and M.Poomchai , **“Influence of Double Mixing on Properties of Cementitious Materials”**
- [2] Ei-ichi TAZAWA and Tetsorou KASAI, **“Double Mixing of Fresh Cementplase”** , JSCE , No.396/V-9 1988-8
- [3] H.F.W Taylor,1997.**Chemmistry Cement.2nd Edition**
- [4] Ei-ichi TAZAWA,1988.**Autogenous Shrinkage of Concrete.**
- [5] JSCE Standard, **“Testing Method of Bleeding Ratio and Expansion Ratio of Grouting Mortar for Prepacked Concrete,”**
- [6] ASTM C 191, **“Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle,”** Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01
- [7] ASTM C 939, **“Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced Aggregate Concrete (Flow of Grout),”** Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.02
- [8] JSCE-F531-1993, **“Test Method for Fluidity Test by Using J-14 Funnel,”**
- [9] ASTM C 940, **“Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Fresh Mixed Grouts for Preplaced – Aggregate Concrete in the Laboratory,”** Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.02
- [10] ASTM C 109, **“Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar,”** Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01
- [11] ASTM C 192, **“Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in Laboratory,”** Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.02

**ภาคผนวก**

**ภาคผนวก ก**  
**ภาคปฏิบัติส่วนผสมของคอนกรีต**

## 1.1 การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม

การทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำคอนกรีต จะมีการทดสอบในห้องทดลอง เพื่อทราบถึงความเหมาะสมของวัสดุผสมที่จะใช้ในการคำนวณหาสัดส่วนการผสมตลอดจนเพื่อการควบคุมคุณภาพของคอนกรีต

ตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบนั้นควรเป็นตัวแทนของวัสดุทั้งหมดที่จะนำไปใช้ผสมคอนกรีตจริง ๆ ซึ่งการเลือกตัวอย่างวัสดุควรจะใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างและปริมาณของตัวอย่างนั้นขึ้นอยู่กับชนิด และจำนวนครั้งของการทดสอบ

ความแข็งแรงของคอนกรีตส่วนใหญ่เกิดจากความแข็งแรงของวัสดุผสม (ซึ่งปกติหินจะมีความสามารถต้านทานแรงอัดได้ถึง 700 – 3,500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ฉะนั้นเมื่อต้องการทราบพฤติกรรมของคอนกรีต จะต้องทราบคุณสมบัติบางประการของวัสดุที่นำมาผสมกันเป็นคอนกรีตเสียก่อน สำหรับการศึกษานี้จะทำการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมดังต่อไปนี้

### การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของวัสดุผสมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแร่ธาตุที่เป็นส่วนผสมและความพรุนของก้อนวัสดุ ความชื้นอาจทำให้ความถ่วงจำเพาะของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งความถ่วงจำเพาะนี้ใช้ในการคำนวณหาสัดส่วนการผสมของหินและทรายในคอนกรีต โดยใช้ตัวเปลี่ยนน้ำหนักที่กำหนดให้ของวัสดุผสมเป็นปริมาตรเนื้อแท้หรือเปลี่ยนปริมาตรเนื้อแท้ไปเป็นน้ำหนักเพื่อหาปริมาณวัสดุสำหรับการผสมนั้น

ตามปกติในการคำนวณหาสัดส่วนการผสมคอนกรีตจะใช้ความถ่วงจำเพาะเนื้อแท้ของวัสดุผสมที่อุณหภูมิแห้ง ซึ่งความถ่วงจำเพาะของวัสดุผสมโดยมากมีค่าระหว่าง 2.4 – 2.9

### การหาหน่วยน้ำหนักและช่องว่าง

หน่วยน้ำหนักของวัสดุผสม หมายถึง น้ำหนักของวัสดุผสม (คิดเป็นกิโลกรัม) ที่เติมลงไปเต็มภาชนะจุ 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นน้ำหนักของวัสดุรวมกับช่องว่างระหว่างเม็ดทรายในการหาสัดส่วนการผสม หน่วยน้ำหนักเป็นตัวเลขสำหรับหาปริมาณช่องว่างในวัสดุผสมและสำหรับการเปลี่ยนปริมาตรเป็นน้ำหนัก หรือเปลี่ยนน้ำหนักเป็นปริมาตร หน่วยน้ำหนักของ

วัสดุชนิดหนึ่ง ๆ จะแปรเปลี่ยนไปตามอัตราการแน่นตัวและปริมาณความชื้น โดยปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1,440 – 1,940 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์

#### การทดสอบหาการคูดซึม

สำหรับวัสดุผสมหยาบอาจทำได้โดยนำตัวอย่างที่ขึ้นมากทำให้อยู่ในสภาวะอิมดัวและผิวแห้งโดยการเช็ดด้วยผ้าที่คูดซึมน้ำได้ดี หรือทำอย่างคร่าว ๆ โดยฝังลงในแห้งจนกระทั่งเปลี่ยนจากสีเข้าเป็นสีอ่อนแล้วชั่ง เสร็จแล้วทำให้แห้งสนิทโดยใช้ความร้อนจึงชั่งอีกครั้งหนึ่ง น้ำหนักที่หายไปหลังจากได้รับความร้อนจะแสดงถึงปริมาณความจูดซึม

#### การทดสอบหาความชื้น

สำหรับวัสดุผสมหยาบและละเอียด อาจหาความชื้นที่ผิวได้โดยการชั่งน้ำหนักของวัสดุตัวอย่างที่ขึ้น แล้วฝังลงในแห้งจนอยู่ในสภาวะการอิมดัวและผิวแห้ง การทดสอบนี้จะต้องทราบความถ่วงจำเพาะของวัสดุ

#### ส่วนขนาดคละของวัสดุผสม

การร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานใช้เป็นหลักในการควบคุมส่วนขนาดคละ และในการทดสอบความต้องการของส่วนคละตามเกณฑ์ อาจใช้การวิเคราะห์วัสดุผสมหยาบด้วยตะแกรงในการหาอัตราส่วนผสมของวัสดุแต่ละชนิด เพื่อที่จะผสมให้ได้ส่วนขนาดคละใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการมากที่สุด ส่วนขนาดคละที่เหมาะสมของวัสดุผสมในสัดส่วนการผสมคอนกรีตจะช่วยให้ได้คอนกรีตมีราคาถูก มีเนื้อสม่ำเสมอคุณภาพดีและทำงานง่าย นอกจากนี้มีผลต่อการแยกตัวของคอนกรีต ปริมาณน้ำที่ผสมความสะดวกในการทำงานความยากง่ายในการคบแต่งผิวหน้าคอนกรีต

### 1.2 องค์ประกอบในการพิจารณาหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตกำลัง (Strength)

เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีต ในการพิจารณาเลือกสัดส่วนการผสมคอนกรีต ซึ่งเป็นที่ต้องการและสำคัญที่สุดก็คือ “ กำลังรับแรงอัด ” ส่วนกำลังรับแรงอัดอย่างอื่น เช่น กำลังรับแรงดึง กำลังรับแรงคด กำลังรับแรงเฉือน และกำลังในการยึดเหนี่ยวเป็นสัดส่วนกำลังรับแรงอัด โดยปกติจะกำหนดค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาหนึ่ง เช่น เมื่อคอนกรีตมีอายุ 7, 14, 21 และ 28 วันเป็นต้น ซึ่งค่าเฉลี่ยนี้ควรให้มีความสูงกว่าที่ใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างประมาณ 15 – 25 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตนั้นก็คือ ปริมาณอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ หรือที่เรียกว่า water-cement ratio ในการผสมคอนกรีตถ้าสามารถรักษาอัตราส่วนนี้

ไว้คงที่แล้ว ถ้าส่วนประกอบอื่นๆ มีการเปลี่ยนแปลง กำลังของคอนกรีตก็จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นจึงอาจกำหนดกำลังของคอนกรีตได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์

#### ความสามารถ (Workability)

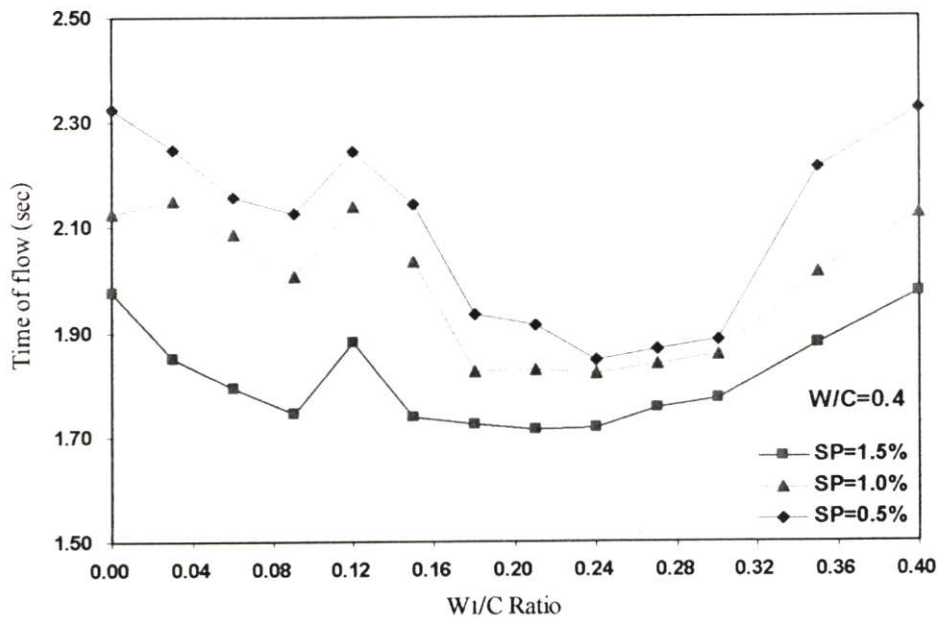
คอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ๆ ควรมีความชื้นเหลวพอเหมาะที่จะเทเข้าแบบหล่อได้สะดวก ความชื้นเหลวที่พอเหมาะนี้ใช้ค่าความยุบตัวของคอนกรีตเป็นเครื่องกำหนด แนวทางที่ใช้เป็นมาตรฐานในการหาความชื้นเหลว หรือเทียบว่ามีน้ำมากน้อยแค่ไหนก็ดูได้จากการยุบตัวของคอนกรีตในขณะที่ยังเหลวอยู่ ซึ่งการวิเคราะห์การยุบตัวควรทำเสมอสำหรับคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้าง เพื่อจะได้เนื้อคอนกรีตที่คุณภาพดีสม่ำเสมอกันตลอด

#### ความทนทาน (Durability)

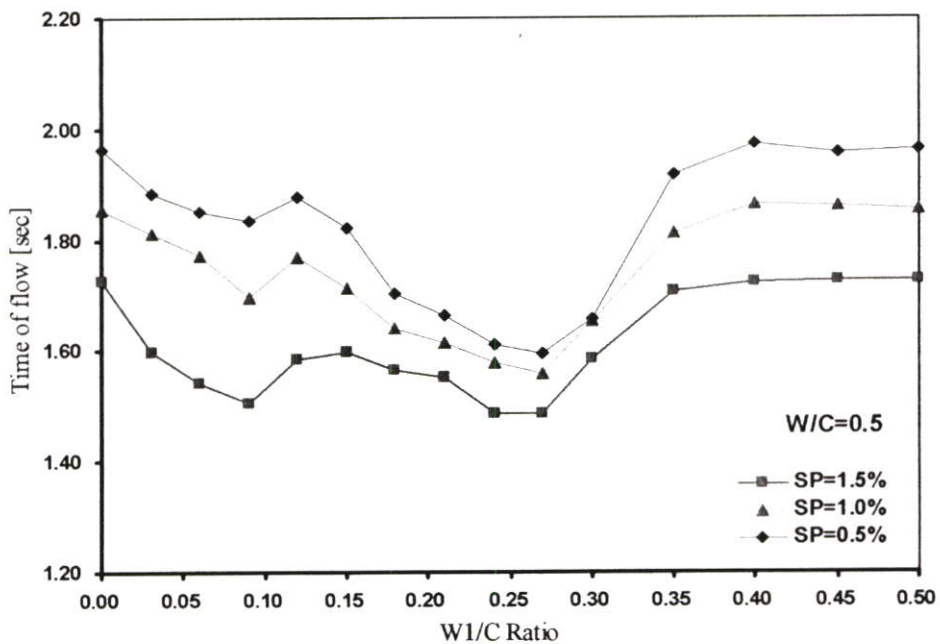
โดยปกติแล้ว คอนกรีตที่กำลังผสมควรก็จะมี ความทนทานเป็นที่น่าพอใจอยู่แล้ว แต่ถ้าคอนกรีตอยู่ในสภาวะเปิดเผชิญแรงต่าง ๆ เช่น โครงอาคารในน้ำทะเลความทนทานจะลดน้อยลงตามอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ ก็มีผลต่อความทนทานของคอนกรีต ดังนั้นสถาบันคอนกรีตของอเมริกาได้ให้ตารางอัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตในสภาวะต่าง ๆ

**ภาคผนวก ข**

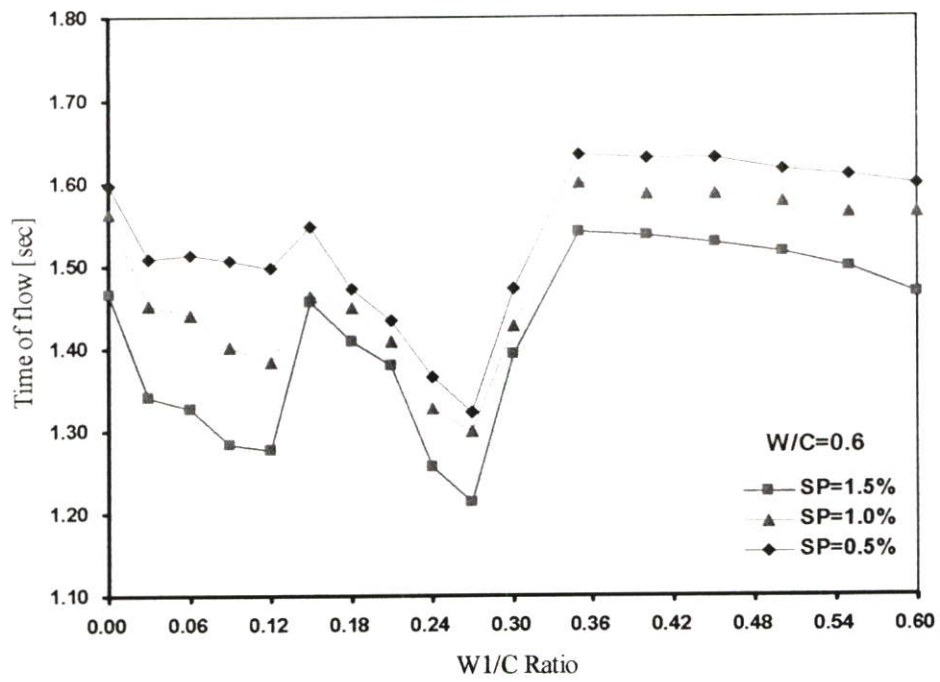
**กราฟแสดงผลการทดลองการไหลในซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง**



รูปที่ ข - 1 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Time of flow กับ W1/C  
 ในซีเมนต์เพสต์ ที่ W/C = 0.40 with SP



รูปที่ ข - 2 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Time of flow กับ W1/C  
 ในซีเมนต์เพสต์ ที่ W/C = 0.50 with SP



รูปที่ ข - 3 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Time of flow กับ W1/C  
ในซีเมนต์เพสต์ ที่ W/C = 0.60 with SP

### ภาคผนวก ก.

#### ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. ปิยะ ประสพแสง, รศ.อำนวยการ พานิชกุลพงศ์ และดร.คมสัน มาลีสี อิทธิพลของสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12, หน้า NCCE12-Volume 5 (MAT)-Page 99 - NCCE12-Volume 5 (MAT)-Page 105, จ.พิษณุโลก, ประเทศไทย, พฤษภาคม 2-4, 2550.



**การประชุมวิชาการ  
วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12**  
The 12<sup>th</sup> National Convention on Civil Engineering



## PROCEEDINGS

**"ประเทศไทยก้าวไกลไปกับวิศวกรรมโยธา"**  
Thailand Advances with Civil Engineering

2-4 พฤษภาคม 2550  
โรงแรมอมรินทร์ ลากูน  
อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

ร่วมจัดโดย

- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาเขตสารสนเทศพะเยา

โดยความร่วมมือจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านวิศวกรรมโยธาและสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ



ปูนซิเมนต์นครหลวง  
SIAM CITY CEMENT

การประชุมวิชาการระดับชาติ นวัตกรรมเพื่อการพัฒนาสังคม เศรษฐกิจ การศึกษา และสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 10 ประจำปี 2564

**อิทธิพลของสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน**

**INFLUENCE OF ADMIXTURES ON PROPERTIES OF DOUBLY MIXING CEMENTITIOUS MATERIAL**

ปิยะ ประสพแสง (Piya Prasopsaeng)<sup>1</sup>  
 รศ.อานวย หานิชกุลสหัง (Amnouv Panitkulpong)<sup>2</sup>  
 ดร.คนัน มาลีธี (Komsan Maleesee)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>นักศึกษาระดับปริญญาโท, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 E-mail : deaw\_pika@hotmail.com

<sup>2</sup>รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 E-mail : kpamnuvia.kmitl.ac.th

<sup>3</sup>อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 E-mail : kmkomsan-ukmitl.ac.th

**บทคัดย่อ:** การวิจัยเป็นการศึกษาที่เปรียบเทียบถึงคุณสมบัติต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างซีเมนต์พาสที่มีสารผสมเพิ่ม (Admixture)เป็นส่วนผสมและไม่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสม โดยซีเมนต์พาสและคอนกรีตใช้กรรมผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double mixing method: DM) และศึกษาถึงสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการที่จะใช้สารผสมเพิ่มร่วมกับซีเมนต์พาสและคอนกรีต คอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน(Double mixing method: DM)ซึ่งการทดลองจะทำการทดสอบอัตราการย่นน้ำ ความสามารถในการไหล ความสามารถในการเท การหดตัว ความสามารถในการรับกำลังอัด จากการศึกษาพบว่ากรรมผสมซีเมนต์พาสที่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมโดยทำการผสมด้วยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน ปริมาณ, สัดส่วน และชนิดของสารผสมเพิ่มนั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางด้านค่าต่างๆของซีเมนต์พาสและคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนให้ดีขึ้นด้วย เช่น สามารถลดการย่นน้ำในซีเมนต์พาสและคอนกรีตให้น้อยลง และยังสามารทเพิ่มความสามารถในการไหลของซีเมนต์พาสที่ดีขึ้นด้วย

**ABSTRACT** This research project was a comparative study of various properties, which are changed when cement paste is compared with admixture and cement without admixtures. Both cement and concrete with admixtures and cement and concrete without admixture were examined after applying the double mixing (DM) method. The study was conducted in order to determine the most appropriate mix ratios. The experiments tested the bleeding, workability and compressive strengths. Results of the study of the cement paste with admixture mixed using the double mixing method revealed that the quantity, portion, and type of admixture 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 admixture helped to alleviate the bleeding of cement paste and concrete. It also increased the fluidity of the cement paste.

**KEYWORDS** : Double mixing, Admixture, Bleeding, Workability, Autogenous shrinkage, Compressive strength

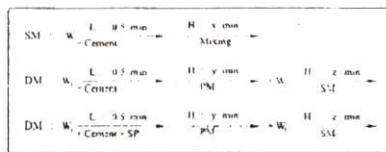
**1. บทนำ**

ได้มีงานวิจัยในอดีตของ Fuchi TAZAWA และ Teisuru KASAI [1], [2] รวมทั้งงานวิจัยอื่น [3] [4] ที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการผสมชั้นหินแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double mixing, DM) ซึ่งสามารถช่วยลดการเกิดคราบ (Bleeding) ในซีเมนต์เทสท์ ด้วยวิธีการนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้ในส่วนของการ Shotcrete ในประเทศญี่ปุ่น [1]

จากงานวิจัย [4] พบว่าการผสมแบบ DM สามารถลดปัญหาการแตกร้าว (Bleeding) ที่ผิวหน้าคอนกรีตได้ พร้อมทั้งเพิ่มความสามารถในการทำงาน (Workability) ได้ดีขึ้นด้วย โดยงานวิจัยที่ผ่านมามีได้ทำการศึกษาดังคุณสมบัติต่างๆของซีเมนต์เทสท์และคอนกรีตที่ทำการผสมด้วยวิธี DM เพื่อเปรียบเทียบกับการผสมแบบปกติ (Single mixing, SM) ผลการทดลองพบว่า การผสมแบบ DM สามารถลดการ Bleeding ได้ถึงสองเท่าในการทดสอบซีเมนต์เทสท์ที่ W/C=0.60 และสามารถพัฒนาซีเมนต์เทสท์ที่ W/C=0.40 ให้มีความสามารถในการไหลได้มากกว่าสองเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับการผสมแบบ SM

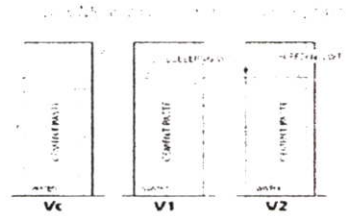
**2. ความสำคัญของงานวิจัย**

สารผสมเพิ่มซีเมนต์แบบใหม่ออกมาในปัจจุบัน โฉมมีการนำมาใช้เพื่อปรับปรุงหรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในคอนกรีตให้มีคุณสมบัติตามที่ผู้ใช้ต้องการ เช่น เพิ่มความสามารถในการทำงาน (Workability) หน้าหรือเร่งการก่อตัว หรือปรับปรุงคุณสมบัติด้านความคงทนต่อสภาวะต่างๆ ในกลุ่มของสารลดน้ำและสารลดน้ำแบบพิเศษที่รู้จักกันในชื่อว่า Superplasticizer จัดเป็นสารผสมเพิ่มที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน แต่สารลดน้ำจำพวกนี้ส่วนใหญ่จะทำให้เกิดคราบ (Bleeding) ในปริมาณที่มากถึงแม้จะสามารถทำให้คอนกรีตที่ W/C ค่ำๆ มี Workability ที่ดีขึ้นก็ตาม และด้วยคุณสมบัติเด่นชัดของ DM จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า DM สามารถช่วยลดการ Bleeding และสามารถพัฒนาให้ซีเมนต์เทสท์มีอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นได้มากกว่าถึงสองเท่า ดังนั้นความสำคัญของงานวิจัยนี้คือการศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากใช้วิธี DM ในการผสมคอนกรีตที่มีสารผสมเพิ่มชนิดสารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixure) จำพวก Naphthalene Sulphonate Formaldehyde Condensates เป็นส่วนผสม โดยศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ เช่น Bleeding, Fluidity, Autogenous shrinkage ใน



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 , SP : superplasticizer

ภาพที่ 1 แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เทสท์



รูปที่ 2 การวัดค่า Bleeding ของซีเมนต์เทสท์ในตัวอ่าง

ซีเมนต์เทสท์และอ่างที่ทนความร้อนถึงห้าองศาเซลเซียสในคอนกรีต (DM) ด้วย

**3. การทดลอง**

**3.1 การเตรียมตัวอย่าง**

การทดลองจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนแรกจะทำการทดลองในส่วนของซีเมนต์เทสท์ และส่วนที่สองจะทำการทดลองในส่วนของคอนกรีต ที่ค่า W/C = 0.4, 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ โดยตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน [DM] ที่มีสารผสมเพิ่มชนิดคปริมาณน้ำจำนวนมาก (Superplasticizer admixture, SP) ตามมาตรฐาน ASTM C494, Type A และ Type F ตามสัดส่วนร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยน้ำหนักซีเมนต์ โดยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างจะเป็นไปตามวิธีการดังภาพที่ 1 ซึ่งในส่วนของการผสมโดยแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน DM ในช่วงแรกของการผสม น้ำส่วนแรกจะทำการผสมกับสารผสมเพิ่ม (SP) โดยปรับลดปริมาณน้ำใน

ภาพที่ 2 วิธีการเตรียมคอนกรีตผสมเสร็จ

ส่วนที่สารผสมเพิ่มเข้าไปแทนที่และทำการคลุกเคล้ากับซีเมนต์ใน 30 วินาที ที่ความเร็วในการผสมซีเมนต์ดังจากนั้นจะทำการปรับความเร็วแล้วทำการผสมที่เวลา  $t_3 = 1.5$  นาที แล้วจึงทำการใส่ลงในส่วนที่เหลือลงไปทำการผสมที่เวลา  $t_2 = 2$  นาที

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การทดลองวัดค่า Bleeding [5] ของน้ำที่คว้านบนนำตัวอย่างที่เตรียมตามวิธีการตั้งข้างต้น ทำการเทลงในชุดทดสอบการ Bleeding ที่เตรียมไว้ ดังในภาพที่ 2 ในขั้นตอนการเตรียมจะทำการร่อนทรายไว้ที่ชุดทดสอบ ซึ่งระยะที่ทำเครื่องหมายในชุดทดสอบ Bleeding จะอยู่ที่ระดับปริมาตรของซีเมนต์ทดสอบประมาณ 400 มล. หลังจากที่ทำเสร็จจะให้น้ำแผ่น Scale ที่มีความละเอียดถึง 1 มม. คัดที่ผิวภายนอกของชุดทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2 โดยให้ค่า 0 อยู่ที่ผิวบนของซีเมนต์ หลังจากนั้นทำการเขย่าชุดทดสอบ Bleeding ที่งไว้ แล้วทำการจดบันทึกค่าทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งไม่มีการเอียงของน้ำที่เพิ่มขึ้นหรือเวลาผ่านไปอย่างน้อย 4-6 ชั่วโมง ซึ่งในการบันทึกค่าให้อ่านค่าระดับ 2 ตำแหน่ง คือที่ระดับบนของผิวหน้าที่ยื่นและที่ระดับผิวหน้าของซีเมนต์ทดสอบ แล้วจึงบันทึกค่าให้เป็น H1 และ H2 ตามลำดับซึ่งค่าที่จดบันทึกได้จะนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเกิด Bleeding ดังสมการข้างล่าง

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

$V_1$  = ความสูงของซีเมนต์ทดสอบที่ปริมาตร 400 มล.

$V_2$  = ความสูงที่ระดับผิวของตัวอย่างทดสอบ

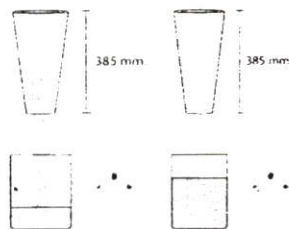
$V_3$  = ความสูงที่ระดับผิวของซีเมนต์ทดสอบ

3.2.2 การทดลองการไหลในซีเมนต์ทดสอบ

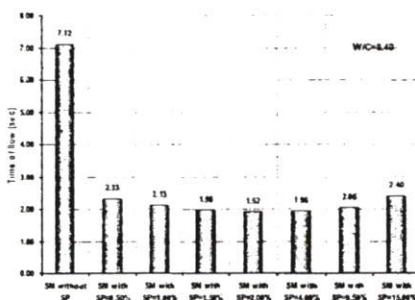
การทดลองการไหลของตัวอย่างทำการทดสอบตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993 [6] ทำการผสมซีเมนต์ทดสอบ เทซีเมนต์ตัวอย่างในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต้องการทดสอบ เทซีเมนต์ทดสอบตัวอย่างลงในอุปกรณ์ทดสอบจนเต็มพอดี โดยทำการปิดช่องเปิดบริเวณด้านล่างของอุปกรณ์ทดสอบให้สนิท ทำการจับเวลาอัตราการไหลผ่านของซีเมนต์ทดสอบทันทีที่เปิดช่องเปิดด้านล่าง ให้ซีเมนต์ทดสอบตัวอย่างไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบอย่างอิสระ ดังแสดงไว้ในภาพแสดงที่ 3

3.2.3 การทดลองการหดตัวในซีเมนต์ทดสอบ ตามมาตรฐาน JIS A 1129

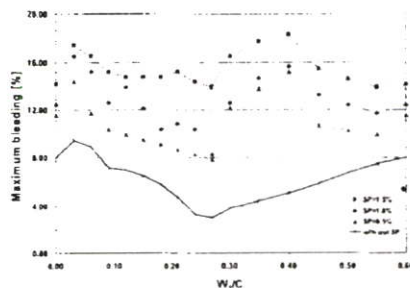
ภาพที่ 3 แสดงการทดสอบการไหล มาตรฐาน JSCE-F531-1993



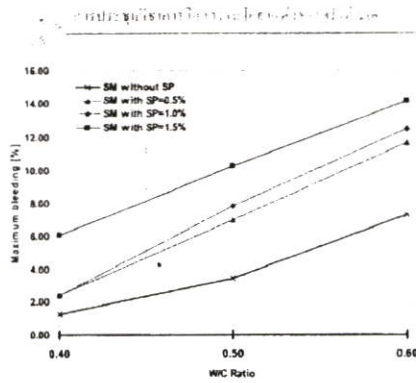
ภาพที่ 3 แสดงการทดสอบการไหล มาตรฐาน JSCE-F531-1993



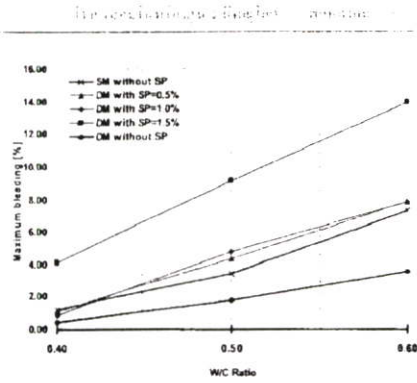
ภาพที่ 4 แสดงปริมาณสารผสมพื้นผิวอัตราการไหลในซีเมนต์ทดสอบ [SM] ที่ W/C=0.60



ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C กับ Bleeding



ภาพที่ 6 แสดงค่าการ Bleeding ที่ W/C ต่างกันในซีเมนต์เพสต์(SM)



ภาพที่ 7 แสดงค่า Bleeding ที่ W/C ต่างกันในซีเมนต์เพสต์ DM

การทดลองจะทำการทดสอบวัดการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkage) ซึ่งเป็นกรวัดการหดตัวภายนอกของซีเมนต์เพสต์ตัวอย่าง เป็นไปตามมาตรฐาน JIS A 1129 "Test method for length change of mortar and concrete"

3.2.4 การทดลองการรับกำลังอัดคอนกรีต

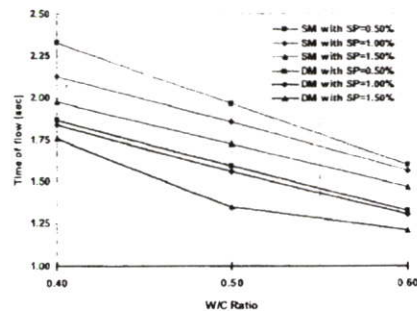
การทดลองการรับกำลังอัดคอนกรีตตัวอย่างทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109 "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar" Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01

4.ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

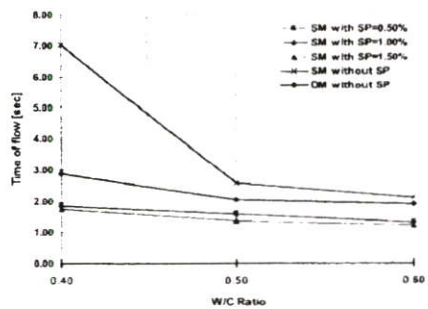
4.1 ปริมาณสารผสมเพิ่มเติมอัตราการไหลในซีเมนต์เพสต์ที่

W/C=0.40

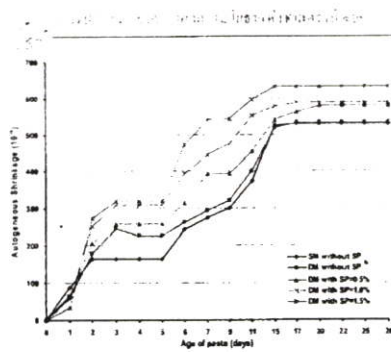
จากการทดลองอัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.40 ผ่านเครื่องมือทดสอบการไหลตามมาตรฐาน JSCF-F531-1993 โดยทำการเติมสารผสมเพิ่มเติมตั้งแต่ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2, 4, 9.5 และ 15% คือน้ำหนักซีเมนต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าสารผสมเพิ่มเติมที่ปริมาณ 1% สามารถพัฒนาให้ซีเมนต์เพสต์มีอัตราไหลที่ดีขึ้นประมาณ 70.08 % และทำการทดลองเติมปริมาณสารผสมเพิ่มเติมตามลำดับ พบว่ามีอัตราการไหลที่ดีขึ้นเป็น 73.03, 72.47, 71.06 และ 66.29% ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้สารผสมเพิ่มในปริมาณที่มากเกินไปสามารถปรับปรุงให้มีอัตราการไหลที่ดีขึ้นแต่ยังมีผลเสียต่อคุณสมบัติ



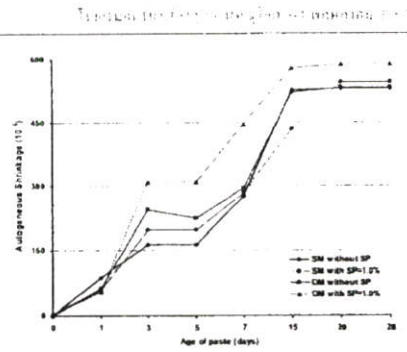
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/C Ratio กับ Time of flow



ภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ของ W/C Ratio กับ Time of flow



ภาพที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวในซีเมนต์เพสต์กับอายุซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.40



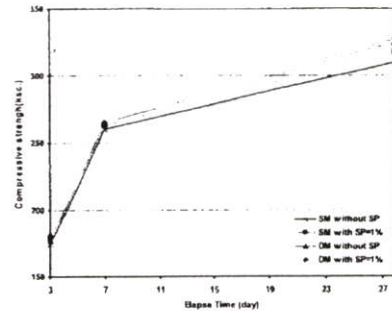
ภาพที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวในซีเมนต์เพสต์กับอายุของซีเมนต์เพสต์ [DM] W/C=0.40, SP=1%

ของซีเมนต์เพสต์คือทำให้เกิดการลอยตัวของสารผสมเพิ่มขึ้นที่ผิวหน้าในปริมาณที่มากกว่าการเพิ่มขึ้น (Bleeding) หากเกิดมากในคอนกรีตจะทำให้ส่วนของคอนกรีตมีค่าเชิงอัดต่ำกว่า ส่วนล่างเนื่องจากเมื่อคอนกรีตแห้งจะทำให้เกิดรูพรุนที่ผิวหน้าเป็นผลทำให้คอนกรีตสูญเสียกำลัง

4.2 ปริมาณน้ำเริ่มแรกที่ใช้ในการผสม (W<sub>1</sub>/C) คือค่าการ Bleeding ของซีเมนต์เพสต์

จากการทดสอบปริมาณสารผสมเพิ่มที่ผสมในซีเมนต์เพสต์ที่ W/C 0.60 โดยวิธี DM ซึ่งมีการปรับค่า W<sub>1</sub>/C โดยเพิ่มทีละ 0.03 ตั้งแต่ W<sub>1</sub>/C = 0 (เทียบเท่ากับ SM) จนถึง W<sub>1</sub>/C = 0.30 โดยที่  $x = 3.5$ ,  $y = 1.5$  และ  $z = 2$  พบว่าเมื่อใช้ W<sub>1</sub>/C ที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 0.09 การ Bleeding มีปริมาณมากกว่าการผสมแบบ SM แต่เมื่อค่า W<sub>1</sub>/C เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Bleeding ลดลงลงอย่างมากและลดค่าสุดท้าย W<sub>1</sub>/C ประมาณ 0.24-0.27 จากภาพแสดงที่ 5 แสดงผลการทดลองการ Bleeding ในซีเมนต์เพสต์ (SM) ที่ W/C=0.60 ผลลดปริมาณสารผสมเพิ่มในปริมาณ 0.5, 1.0 และ 1.5 % ตามลำดับ พบว่าปริมาณสารผสมเพิ่มที่ 0.5 และ 1.0 % การเกิด Bleeding มีค่าใกล้เคียงกันแต่ในซีเมนต์เพสต์ที่สารผสมเพิ่ม 1.5% มีอัตราการ Bleeding สูงที่สุดมีค่าถึง 14.16% มากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่ W/C=0.60 และไม่ใช้สารผสมเพิ่มรวมในส่วนผสมถึง 6.86%

จากภาพแสดงที่ 6 และ 7 พบว่าวิธี DM สามารถลดการ Bleeding ได้ในจำนวนที่มีสารผสมเพิ่มในรูปอัตราส่วน โดย



ภาพที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ Compressive strength ในคอนกรีตที่ W/C=0.60

เห็นได้อย่างชัดเจนในซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่สารผสมเพิ่มตั้งแต่ 0.5-1.0% วิธี DM สามารถลดการ Bleeding ได้โดยมีอัตราการ Bleeding ที่มีค่าใกล้เคียงกัน ในซีเมนต์เพสต์ที่มีปริมาณสารผสมเพิ่มที่ 1 % มีค่าการ Bleeding อยู่ประมาณ 12.45% วิธี DM สามารถลดการ Bleeding ลงเหลือเพียง 7.83% ซึ่งเป็นค่าการ Bleeding ที่ใกล้เคียงกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ใช้สารผสมเพิ่มเลย และวิธีการ DM ยังสามารถลดการ Bleeding ได้ทั้งในซีเมนต์เพสต์ตัวอย่างที่ W/C=0.50, 0.40 ได้ตามลำดับ

4.3 อัตราการไหลของซีเมนต์เพสต์ที่ขึ้น Flow cone

การทดสอบตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993 ทดสอบในซีเมนต์

เทสที่  $W/C=0.40, 0.50$  และ  $0.60$  วิธี DM สามารถพัฒนาให้ซีเมนต์เหลวที่มีอัตราการใช้ได้ดีขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 8 โดยซีเมนต์เหลวที่  $W/C=0.40, SP=1.00\%$  วิธี DM สามารถพัฒนาให้อัตราการใช้ซีเมนต์เหลวต่อปริมาตรคอนกรีตได้จาก 2.13 วินาที เหลือเพียง 1.84 วินาที และถ้าเปรียบเทียบกับการผสมแบบ SM แล้วพบว่าวิธี DM เมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับสารผสมเติมในอัตราส่วนที่ 1% แล้วสามารถพัฒนาให้อัตราการใช้ซีเมนต์เหลวแบบ SM จากเดิมที่มีอัตราการใช้ซีเมนต์เหลวต่อปริมาตรคอนกรีตที่ประมาณ 7.05 วินาที เหลือ 1.84 วินาที หรือสามารถพัฒนาให้อัตราการใช้ซีเมนต์ได้ประมาณ 73.90% ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการผสมแบบ DM สามารถที่จะพัฒนาให้ซีเมนต์เหลวที่มีสารผสมเติมเป็นส่วนผสมมีความสามารถในการไหลที่ดีขึ้นโดยทำให้ซีเมนต์เหลวที่ใช้เวลาในการไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบมาตรฐานลดลงมากกว่าครึ่งของการผสมแบบ SM ดังแสดงในภาพที่ 9

#### 4.4 ค่าการหดตัวของซีเมนต์เหลว (Autogenous Shrinkage)

จากการทดลองพบว่า การหดตัวของซีเมนต์เหลว (SM) และ (DM) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของซีเมนต์เหลว โดยมีค่าการหดตัวที่ใกล้เคียงกัน แต่จะมีผลเล็กน้อยที่  $W/C$  มากขึ้น เมื่อพิจารณาไปถึงความสัมพันธ์แล้ว การ Bleeding ในซีเมนต์เหลว (SM) จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่า ซีเมนต์เหลว (SM) จะมีค่า Bleeding มากกว่าสองเท่าเมื่อเทียบกับวิธีการ DM แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการ Bleeding ที่ผิวซีเมนต์เหลว และอัตราการระเหยมีค่าเท่ากับการ Bleeding ปริมาตรที่น้ำระเหยออกไปทำให้ปริมาตรของซีเมนต์เหลวลดลงหรือมีการหดตัว ถึงแม้ซีเมนต์เหลว (DM) จะมีการ Bleeding และการหดตัวในช่วงแรกก็น้อย แต่จะไม่ส่งผลกระทบต่ออายุของซีเมนต์เหลวมากขึ้น

จากภาพแสดงที่ 10 แสดงให้เห็นถึงการหดตัวในซีเมนต์เหลว (DM) ที่มีสารผสมเติมตั้งแต่ 0.5, 1.0 และ 1.5% ตามลำดับ พบว่าในตัวอย่างที่มีส่วนผสมของสารผสมเติมจะเกิดการหดตัวที่เร็วขึ้นในลักษณะเดียวกันคือมีการหดตัวในช่วงแรกน้อย และเมื่ออายุมากขึ้นการหดตัวจึงเพิ่มตามลำดับ แต่ในตัวอย่างที่มีปริมาณสารผสมเติมที่ 1.5% จะมีการหดตัวมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการหดตัวในซีเมนต์เหลว (SM) โดยมีค่าการหดตัวจากเดิมประมาณ  $536 \times 10^{-6}$  เป็น  $632 \times 10^{-6}$  หรือการหดตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 19.32% จากรูปแสดงที่ 11 พบว่าวิธี DM ซีเมนต์เหลวที่มีสารผสมเติม 1% การหดตัวจะมีลักษณะที่

คล้ายกับตัวอย่างอื่นเช่นกันโดยในระยะแรกจะเกิดการหดตัวไม่มากนักและการหดตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุมากขึ้นตามลำดับแต่การหดตัวจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่สารผสมเติม 1.5% โดยการหดตัวที่เกิดขึ้นประมาณ  $587 \times 10^{-6}$  หรือมีการหดตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 10.75%

#### 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับ $UC$ (compressive strength ในคอนกรีต) ที่ได้จาก DM, $W/C=0.60, SP=1\%$

จากการทดลองพบว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน DM สามารถพัฒนากำลังอัดในคอนกรีตที่ 28 วันให้มีกำลังไม่ต่างกันมากนักตามลำดับ เมื่อทำการผสมสารผสมเติมจำพวก Superplasticizer ลงในคอนกรีต SM จากภาพแสดงที่ 12 พบว่าการเติมสารผสมเติมในปริมาณ 1% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ลงในส่วนผสมคอนกรีต (SM) ที่  $W/C=0.60$  สารผสมเติมมีผลให้คอนกรีตพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นประมาณ 3.42% ในระยะเวลา 3 วันแรก และพัฒนากำลังอัดไปที่ 28 วัน ให้คอนกรีต (DM) มีกำลังต้านทานแรงอัดที่เพิ่มขึ้นจาก 310 ksc ไปเป็นที่ 327 ksc หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 5.48% เมื่อเทียบกับกำลังอัดของคอนกรีต SM ที่อายุ 28 วัน

ถ้าพิจารณาระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดในคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบ DM กับคอนกรีตที่ใช้สารผสมเติมจำพวก Superplasticizer ในปริมาณ 1% โดยน้ำหนักเป็นส่วนผสมแล้วพบว่า DM สามารถพัฒนากำลังอัดในคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ได้ดีกว่าโดยไม่ต้องเติมสารผสมเติมลงในส่วนผสมเลย ในการทดลองคอนกรีตที่ได้จากวิธี SM,  $W/C=0.60$  ให้กำลังต้านทานแรงอัดที่ประมาณ 310 ksc. เมื่อทำการผสมด้วยวิธี DM เพียงอย่างเดียวสามารถพัฒนาถึงกำลังที่ 28 วัน ให้สูงขึ้นถึง 325 ksc. หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 4.83% โดยกำลังอัดในระยะแรกนั้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออายุของคอนกรีตมากขึ้นกำลังอัดก็จะพัฒนาตามไปเป็นลำดับ ดังนั้น จากการทดลองกำลังต้านทานแรงอัดในคอนกรีตที่  $W/C=0.60$  โดยมีสารผสมเติมเป็นส่วนผสมนั้น พบว่า DM เมื่อใช้ร่วมกับสารผสมเติมสามารถพัฒนาถึงกำลังอัดในระยะแรกให้มีกำลังดีขึ้น เมื่อเทียบกับกำลังอัดที่ 28 วัน ของการผสมแบบ SM

#### 5. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. การใช้ SP ในปริมาณที่มากจะทำให้เกิดการ Bleeding ใน

ปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งวิธี DM สามารถช่วยลดการเกิด

Bleeding ในส่วนผสมลงได้

2.ซีเมนต์พิเศษที่ใส่ SP 1% ที่ W/C=0.60 วิธีการผสมแบบ DM สามารถลดการเกิด Bleeding ลงได้ประมาณ 37.10%

3.ซีเมนต์พิเศษที่ใส่ SP 1% ที่ W/C=0.40 สามารถทำให้ซีเมนต์พิเศษมีอัตราการไหลที่ล้น และเมื่อใช้วิธี DM พบว่าสามารถทำให้อัตราการไหลลดลงได้อีกประมาณ 13.16%

4. จากการทดลองพบว่าปริมาณ SP มีผลโดยตรงต่อการลดค่าในซีเมนต์พิเศษ โดยปริมาณ SP ที่เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้การหดตัวแห้งสูงขึ้นด้วย

5. DM พัฒนากำลังอัดในคอนกรีตผสม SP โดยให้ค่าความต้านทานแรงอัดที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ให้ความปรึกษาแนะนำและอำนวยความสะดวกต่างๆในเรื่องของเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ และขอขอบคุณนางสาวเกศินี แสงพันธ์ นางสาวศศิกันยา ศรีทองนา และนายศิวาวุธ กิจสวัสดิ์ นักศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ และทำการทดสอบในครั้งนี้

7. 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 1988-8
- [2] Tazawa, E. and Kasai, T., Mechanism and Effects of Double on Properties of Cement Paste (1990)
- [3] Maleesee, K., Influence of Curing Conditions on Properties of Cementitious materials, Doctor Thesis, Tokai University, Japan (2004)
- [4] P.Pichet, C.Nantawai, M.Poomcha, and Dr.Komsan Maleesee, "INFLUENCE OF DOUBLE MIXING ON PROPERTIES OF CEMENTITIOUS MATERIAL"
- [5] JSCE Standard, "Testing Method of Bleeding Ratio and Expansion Ratio of Grouting Mortar for Prepacked Concrete."
- [6] JSCE-F531-1993, "Test Method for Fluidity Test by Using J-14 Funnel"

ใบสมัครรับทุนวิจัย ส.อ.ค.ส.ค. ประจำปี ๒๕๖๓

เกี่ยวกับผู้เขียน



นายjitaporn ประเสริฐแสง  
เกิดเมื่อ วันที่ ๗ ตุลาคม พ.ศ. 2518  
จบการศึกษาระดับ อ.ส.บ. (โยธา) จาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง (อโยธยา)  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายปิยะ ประสพแสง
วัน เดือน ปีเกิด	9 ตุลาคม 2518 ที่กรุงเทพมหานครฯ
ที่อยู่	80/62 หมู่ที่ 4 ซอยเอกชัย 30 แขวงบางขุนเทียน เขตจอมทอง กรุงเทพมหานคร 10150
ประวัติการศึกษา	2545 อุดสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 2548 เข้าศึกษาค่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์
มหาบัณฑิต	สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประวัติการทำงาน	2545 ดำรงตำแหน่ง หัวหน้าส่วนโยธา (เจ้าหน้าที่บริหารงานช่าง 3) องค์การบริหารส่วนตำบลสวนเมี่ยง อำเภอชาติตระการ จังหวัดพิษณุโลก 2547 ดำรงตำแหน่ง หัวหน้าส่วนโยธา (เจ้าหน้าที่บริหารงานช่าง 4) องค์การบริหารส่วนตำบลจอมประทัด อำเภอดุสิต จังหวัดราชบุรี 2549 ดำรงตำแหน่ง หัวหน้าส่วนโยธา (เจ้าหน้าที่บริหารงานช่าง 5) องค์การบริหารส่วนตำบลคลองตัน อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร