

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อิทธิพลจากการบ่มคอนกรีตโดยใช้สารลดแรงตึงผิว
Influences of Low Surface Tension Curing on Properties of
Cementitious Materials

โดย
นายไชยเดช ไชยไพโรจน์
นายอานนท์ ปทุมานนท์



.....
.....
.....

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... **62735**
วัน,เดือน,ปี... **21 ส.ค. 2549**

.b. **11629241**
.i.

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Influences of Low Surface Tension Curing on Properties of
Cementitious Material**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2005**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ อิทธิพลจากการบ่มคอนกรีตโดยใช้สารลดแรงตึงผิว
นักศึกษา นายไชยเดช ไช้ไพโรจน์ รหัสประจำตัว 45010200
นาย อานนท์ ปทุมานนท์ รหัสประจำตัว 45010966
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กมลัน มาลีลี

คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ. อำนวย พาณิชกุลพงศ์ ผศ. แหลมทอง เหล่าคงถาวร ดร. กมลัน มาลีลี อ. เกษม อมัตกุล	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ. สุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ อิทธิพลของการบ่มโดยใช้สารลดแรงตึงผิว
INFLUENCE OF LOW SURFACE TENSION CURING ON
PROPERTIES OF CEMENTITIOUS MATERIAL

นักศึกษา นายไชยเดช ไช้ไพโรจน์
นายอานนท์ ปทุมานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.คมสัน มาลีสี

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

เนื่องจากคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์แข็งตัวแล้วขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ที่ซึมผ่านมาจากภายนอกเป็นสิ่งสำคัญเพื่อเพิ่มระดับปฏิกิริยาไฮเดรชัน ด้วยเหตุนี้ในคอนกรีตขนาดใหญ่ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ การบ่มของน้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในช่องว่างในโครงสร้างซีเมนต์เพสต์ได้อย่างสมบูรณ์ จึงเป็นสาเหตุความต่างของปฏิกิริยาไฮเดรชันในชั้นผิวในและผิวนอกของคอนกรีตด้วยเหตุนี้คุณสมบัติในการซึมผ่านของสารลดแรงตึงผิวจึงมีอิทธิพลมากต่อปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้น

ในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการศึกษาพฤติกรรมของการบ่มโดยใช้สารกักกระจายฟองอากาศ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว โดยพิจารณาถึงความสามารถในการซึมผ่าน การดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ ผลปรากฏว่า สารลดแรงตึงผิวมีคุณสมบัติในการซึมผ่านได้ดีกว่าน้ำ และในตอนต้นของการบ่มพบว่า ตัวอย่างจะเกิดปฏิกิริยาได้มากกว่าการบ่มน้ำ อีกทั้งมีคุณสมบัติในการซึมผ่านจากผิวนอกที่ทำกรบ่มได้ดีกว่าน้ำ โดยมีระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันเท่าๆกันตลอด จึงช่วยให้ระยะเวลาในการบ่มน้อยลง

Title : INFLUENCE OF LOW SURFACE TENSION CURING ON
CEMENTITIOUS PROPERTIES OF CEMENTITIOUS MATERIAL

Name : MR.CHAIYADECH YAIPAIRIJ
MR.ANON PATUMANON

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : Dr. KOMSAN MALEESEE

ABSTRACT

Due to the hard cement paste depend on reaction of penetration which penetrate in to the mass of cement from outside. So that the large mass concrete and low W/C ratio might be low penetrative rate and it can not pass in to the void in cement paste mass which is depth completely. That is the result of difference of hydration reaction between surface and concrete mass inside. So, properties of penetration of low surface tension agent have influence for hydration reaction.

In this thesis refer to behavior of air entraining curing studying. Consider penetrative ability, proceed and hydration each depth. Result perform that the low surface tension was better than water in penetrative properties and at first period it occur hydration better than curing by water, penetrative properties from surface have range from depth over than water by equal hydration reaction status and it help increasing time of curing.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จได้ด้วยดีต้องกราบขอพระคุณ อาจารย์ ดร.คมสัน มาลีสี ซึ่งเป็นที่ปรึกษาและได้ถ่ายทอดความรู้ในเรื่องของคอนกรีตอย่างสุดความสามารถและความจริงใจของท่าน ทำให้กลุ่มการทดลองได้มีความรู้ในเรื่องของอิทธิพลของการบ่มโดยใช้สารลดแรงดึงผิวซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาความรู้ในด้านคอนกรีต เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการประกอบอาชีพวิศวกรรมโยธาต่อไป นอกเหนือจากท่านจะให้ความรู้แล้ว ท่านยังให้กำลังใจในการทำงาน ดูแลและให้คำปรึกษาอย่างเป็นกันเองตั้งแต่เริ่มทำโครงการจนโครงการสำเร็จดูแล้ว กราบขอบพระคุณณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษาและได้ถ่ายทอดวิชาที่เป็นประโยชน์ในการวิจัย จนทำให้สามารถนำความรู้มาช่วยทำให้การวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี กลุ่มวิจัยหวังอย่างยิ่งว่าความรู้ที่กลุ่มวิจัยได้ทำการศึกษา ทดลอง วิจัยนี้จะมีประโยชน์ไม่มากนักน้อยต่อผู้ที่มาศึกษาต่อในด้านงานวิจัยนี้

อนึ่งทางกลุ่มการทดลองขอขอบคุณบริษัท แอ็คที (ประเทศไทย) จำกัด., บริษัท คับบลิว.อาร์.เกรซ จำกัด., บริษัท ไทยมาสเตอร์ บิลเคอร์ส จำกัด. ที่ได้ให้การสนับสนุนสารกักกระจายลดแรงดึงผิวให้กลุ่มการทดลองได้นำมาทำการวิจัย ขอขอบพระคุณห้องทดสอบภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ได้ให้อุปกรณ์สนับสนุนการทดลอง ขอขอบคุณเพื่อนภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ให้ความช่วยเหลือเกื้อกูลกันในระหว่างที่ทำการวิจัย

สุดท้ายนี้ใคร่ขอขอบพระคุณ บิดา – มารดา และญาติพี่น้องที่ให้ความช่วยเหลืออันดีในทุกสิ่งทุกอย่างด้วยดีเสมอมา

นายไชยเดช ไชไพโรจน์

นายอานนท์ ปทุมานนท์

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฉ
	สารบัญรูป	ด
1	บทนำ	
	1.1. กล่าวนำ	1
	1.2. ความเป็นมาของปัญหา	2
	1.3. วัตถุประสงค์	3
	1.4. ขอบเขตการศึกษา	3
	1.5. วิธีการศึกษา	4
	1.6. ผลคาดว่าจะได้รับ	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
2.1	นิยามและความหมายต่างๆ	6
2.1.1	สารผสมเพิ่ม	6
2.1.2	ประเภทของสารผสมเพิ่ม	7
2.1.3	สารกระจายกักฟองอากาศ(Air-entraining Admixtures)	8
2.1.4	การป้อนคอนกรีต	8
2.2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่กำลังจะศึกษา	9
2.2.1	ปฏิกิริยาไฮเดรชัน	9
2.2.2	การหดตัวทางเคมีของซีเมนต์เพสต์	11
2.3	ส่วนประกอบในซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัว	12
2.4	พลังงานของแรงดึงผิวของน้ำ	13
2.5	การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา	15
3	ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	
3.1	วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	16
3.1.1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	16
3.1.2	สารเคมีที่ใช้	16
3.1.3	น้ำ	17
3.1.4	เครื่องผสมซีเมนต์เพสต์	17
3.1.5	ชุดอุปกรณ์การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.1.6 ชุดอุปกรณ์ทดสอบแรงดึงผิว	18
	3.1.7 ชุดอุปกรณ์ทดสอบหาค่าการดูดซึม	19
	3.1.8 ชุดอุปกรณ์การหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage)	20
	3.1.9 ชุดอุปกรณ์การทดสอบปฏิกิริยาไฮเดรชัน	21
	3.1.10 เครื่องชั่งน้ำหนัก	22
	3.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ	23
	3.2.1 สำหรับการทดสอบหาค่าการดูดซึม	23
	3.2.2 สำหรับการทดสอบปฏิกิริยาไฮเดรชัน	23
	3.3 วิธีการทดสอบ	23
	3.3.1 การทดสอบหาแรงดึงผิว(Surface Tension)	23
	3.3.2 การทดสอบสำหรับการหาความสามารถการดูดซึม	24
	3.3.3 การทดสอบสำหรับการหาค่าการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยวัดจากค่าการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage)	26
	3.3.4 การทดสอบสำหรับการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชัน ในซีเมนต์เพสต์แข็งตัว ในแต่ละระดับชั้นความลึกต่างๆ	28
4	ผลการทดสอบ	
	4.1 กล่าวนำ	30
	4.2 ผลการทดสอบการดูดซึม	30
	4.3 ผลการทดสอบปฏิกิริยาค่าการหดตัวทางเคมี(Chemical shrinkage)	34
	4.4 ผลการทดสอบปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
5	วิเคราะห์ผลการทดลอง	
	5.1 กล่าวนำ	46
	5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	46
	5.2.1 ผลการทดสอบการหาค่าการดูดซึม (Absorption)	46
	5.2.2 ผลการทดสอบสำหรับการหาการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยวัดจากค่าการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage)	46
	5.2.3 ผลการทดสอบสำหรับการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชัน ในซีเมนต์เพสต์แข็งตัว ในแต่ละระดับชั้นความลึกต่างๆ	47
6	สรุปผลการทดลอง	
	6.1 สรุปผลการทดสอบ	48
	6.2 ข้อเสนอแนะ	49
	รายการอ้างอิง	50
	บรรณานุกรม	51
	ภาคผนวก ก.	ผก1
	ภาคผนวก ข.	ผข1
	ภาคผนวก ค.	ผค1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ก.1	แสดงผลข้อมูลของแรงดึงผิวของสารกักกระจายฟองอากาศ	ผก2
ผ.ก.2	แสดงผลข้อมูลของการดูดซึม w/c 0.30 ที่ไม่ผ่านการบ่มเลย ทดสอบกับน้ำ	ผก3
ผ.ก.3	แสดงผลข้อมูลของการดูดซึม w/c 0.30 ที่ผ่านการบ่ม 1 วัน ทดสอบกับน้ำ	ผก4
ผ.ก.4	แสดงผลข้อมูลของการดูดซึม w/c 0.30 ที่ผ่านการบ่ม 3 วัน ทดสอบกับน้ำ	ผก5
ผ.ก.5	แสดงผลข้อมูลของการดูดซึม w/c 0.30 ที่ผ่านการบ่ม 5 วัน ทดสอบกับน้ำ	ผก6
ผ.ก.6	แสดงผลข้อมูลของการดูดซึม w/c 0.30 ที่ผ่านการบ่ม 7 วัน ทดสอบกับน้ำ	ผก7
ผ.ก.7	แสดงผลข้อมูลของการดูดซึม w/c 0.30 ที่ไม่ผ่านการบ่มเลย ทดสอบกับสารลดแรงดึงผิว	ผก8
ผ.ก.8	แสดงผลข้อมูลของการดูดซึม w/c 0.30 ที่ผ่านการบ่ม 1 วัน ทดสอบกับสารลดแรงดึงผิว	ผก9
ผ.ก.9	แสดงผลข้อมูลของการดูดซึม w/c 0.30 ที่ผ่านการบ่ม 3 วัน ทดสอบกับสารลดแรงดึงผิว	ผก10
ผ.ก.10	แสดงผลข้อมูลของการดูดซึม w/c 0.30 ที่ผ่านการบ่ม 5 วัน ทดสอบกับสารลดแรงดึงผิว	ผก11
ผ.ก.11	แสดงผลข้อมูลของการดูดซึม w/c 0.30 ที่ผ่านการบ่ม 7 วัน ทดสอบกับสารลดแรงดึงผิว	ผก12
ผ.ก.12	แสดงผลข้อมูลของการดำเนินไปของปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี w/c 0.25 ทดสอบกับน้ำ	ผก13
ผ.ก.13	แสดงผลข้อมูลของการดำเนินไปของปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี w/c 0.25 ทดสอบกับสารลดแรงดึงผิว	ผก14
ผ.ก.14	แสดงผลข้อมูลของการดำเนินไปของปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี w/c 0.30 ทดสอบกับน้ำ	ผก15
ผ.ก.15	แสดงผลข้อมูลของการดำเนินไปของปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี w/c 0.30 ทดสอบกับสารลดแรงดึงผิว	ผก16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ก.16	แสดงผลข้อมูลของการดำเนินไปของปฏิกิริยาการหดตัวของคีม w/c 0.44 ทดสอบกับน้ำ	ผก17
ผ.ก.17	แสดงผลข้อมูลของการดำเนินไปของปฏิกิริยาการหดตัวของคีม w/c 0.44 ทดสอบกับสารลดแรงตึงผิว	ผก18
ผ.ก.18	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำ ระยะเวลาบ่ม 3 วัน	ผก19
ผ.ก.19	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำ ระยะเวลาบ่ม 5 วัน	ผก19
ผ.ก.20	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำ ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ผก19
ผ.ก.21	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำ ระยะเวลาบ่ม 14 วัน	ผก20
ผ.ก.22	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ผก20
ผ.ก.23	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ MA101 (1%) ระยะเวลาบ่ม 3 วัน	ผก20
ผ.ก.24	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ MA101 (1%) ระยะเวลาบ่ม 5 วัน	ผก21
ผ.ก.25	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ MA101 (1%) ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ผก21
ผ.ก.26	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ MA101 (1%) ระยะเวลาบ่ม 14 วัน	ผก21
ผ.ก.27	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ MA101 (1%) ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ผก22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ก.28	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air (1%) ระยะเวลาบ่ม 3 วัน	ผก22
ผ.ก.29	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air (1%) ระยะเวลาบ่ม 5 วัน	ผก22
ผ.ก.30	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air (1%) ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ผก23
ผ.ก.31	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air (1%) ระยะเวลาบ่ม 14 วัน	ผก23
ผ.ก.32	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air (1%) ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ผก23
ผ.ก.33	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Darex (1%) ระยะเวลาบ่ม 3 วัน	ผก24
ผ.ก.34	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Darex (1%) ระยะเวลาบ่ม 5 วัน	ผก24
ผ.ก.35	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Darex (1%) ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ผก24
ผ.ก.36	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Darex (1%) ระยะเวลาบ่ม 14 วัน	ผก25
ผ.ก.37	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Darex (1%) ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ผก25
ผ.ก.38	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยอากาศ ระยะเวลาบ่ม 3 วัน	ผก25
ผ.ก.39	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยอากาศ ระยะเวลาบ่ม 5 วัน	ผก26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ก.40	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยอากาศ ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ผก26
ผ.ก.41	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยอากาศ ระยะเวลาบ่ม 14 วัน	ผก26
ผ.ก.42	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.25 บ่มด้วยอากาศ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ผก27
ผ.ก.43	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำ ระยะเวลาบ่ม 3 วัน	ผก27
ผ.ก.44	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำ ระยะเวลาบ่ม 5 วัน	ผก27
ผ.ก.45	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำ ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ผก28
ผ.ก.46	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำ ระยะเวลาบ่ม 14 วัน	ผก28
ผ.ก.47	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ผก28
ผ.ก.48	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ MA101 (1%) ระยะเวลาบ่ม 3 วัน	ผก29
ผ.ก.49	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ MA101 (1%) ระยะเวลาบ่ม 5 วัน	ผก29
ผ.ก.50	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ MA101 (1%) ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ผก29
ผ.ก.51	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ MA101 (1%) ระยะเวลาบ่ม 14 วัน	ผก30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ก.52	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ MA101 (1%) ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ผก30
ผ.ก.53	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air (1%) ระยะเวลาบ่ม 3 วัน	ผก30
ผ.ก.54	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air (1%) ระยะเวลาบ่ม 5 วัน	ผก31
ผ.ก.55	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air (1%) ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ผก31
ผ.ก.56	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air (1%) ระยะเวลาบ่ม 14 วัน	ผก31
ผ.ก.57	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air (1%) ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ผก32
ผ.ก.58	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Darex (1%) ระยะเวลาบ่ม 3 วัน	ผก32
ผ.ก.59	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Darex (1%) ระยะเวลาบ่ม 5 วัน	ผก32
ผ.ก.60	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Darex (1%) ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ผก33
ผ.ก.61	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Darex (1%) ระยะเวลาบ่ม 14 วัน	ผก33
ผ.ก.62	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Darex (1%) ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ผก33
ผ.ก.63	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยอากาศ ระยะเวลาบ่ม 3 วัน	ผก34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ก.64	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยอากาศ ระยะเวลาบ่ม 5 วัน	ผก34
ผ.ก.65	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยอากาศ ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ผก34
ผ.ก.66	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยอากาศ ระยะเวลาบ่ม 14 วัน	ผก35
ผ.ก.67	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.30 บ่มด้วยอากาศ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ผก35
ผ.ก.68	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำ ระยะเวลาบ่ม 3 วัน	ผก35
ผ.ก.69	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำ ระยะเวลาบ่ม 5 วัน	ผก36
ผ.ก.70	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำ ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ผก36
ผ.ก.71	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำ ระยะเวลาบ่ม 14 วัน	ผก36
ผ.ก.72	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ผก37
ผ.ก.73	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ MA101 (1%) ระยะเวลาบ่ม 3 วัน	ผก37
ผ.ก.74	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ MA101 (1%) ระยะเวลาบ่ม 5 วัน	ผก37
ผ.ก.75	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ MA101 (1%) ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ผก38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ก.76	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ MA101 (1%) ระยะเวลาบ่ม 14 วัน	ผก38
ผ.ก.77	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ MA101 (1%) ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ผก38
ผ.ก.78	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air (1%) ระยะเวลาบ่ม 3 วัน	ผก39
ผ.ก.79	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air (1%) ระยะเวลาบ่ม 5 วัน	ผก39
ผ.ก.80	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air (1%) ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ผก39
ผ.ก.81	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air (1%) ระยะเวลาบ่ม 14 วัน	ผก40
ผ.ก.82	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air (1%) ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ผก40
ผ.ก.83	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Darex (1%) ระยะเวลาบ่ม 3 วัน	ผก40
ผ.ก.84	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Darex (1%) ระยะเวลาบ่ม 5 วัน	ผก41
ผ.ก.85	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Darex (1%) ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ผก41
ผ.ก.86	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Darex (1%) ระยะเวลาบ่ม 14 วัน	ผก41
ผ.ก.87	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยน้ำสารกักกระจายฟองอากาศ Darex (1%) ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ผก42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ก.88	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยอากาศ ระยะเวลาบ่ม 3 วัน	ผก42
ผ.ก.89	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยอากาศ ระยะเวลาบ่ม 5 วัน	ผก42
ผ.ก.90	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยอากาศ ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ผก43
ผ.ก.91	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยอากาศ ระยะเวลาบ่ม 14 วัน	ผก43
ผ.ก.92	แสดงผลข้อมูลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ w/c 0.44 บ่มด้วยอากาศ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ผก43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับระยะเวลาการป่ม	2
1.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึกของตัวอย่างที่ w/c 0.25	2
2.1	การเปลี่ยนแปลงหลังเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน	12
2.2	ผลิตภัณฑ์หลังเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน	12
2.3	พันธะทางเคมีในปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์	13
3.1	แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ	16
3.2	เครื่องผสมซีเมนต์เพสต์ (Hobart type)	17
3.3	Le Chatelier Flask	18
3.4.	Du Nouy surface-Tension mater	18
3.5.	แบบหล่อขึ้นตัวอย่างเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 10 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร	19
3.6.	ถาดพื้นเรียบ	19
3.7.	วัสดุรองรับ	19
3.8.	ขวดแก้วปากกว้าง 2.5 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร	20
3.9.	จุกยาง	20
3.10.	หลอดปิเปต	20
3.11.	แบบหล่อขึ้นตัวอย่างเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร	21
3.12.	ถ้วยเซรามิค	21
3.13.	เตาอบที่อุณหภูมิ 105° C	22
3.14.	เตาอบที่อุณหภูมิ 950° C	22
3.15	เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.001 g	22
3.16.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงผิวกับความเข้มข้นของสารกักกระจายฟองอากาศต่างๆ	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.17.	แสดงขึ้นตัวอย่างในการทดสอบหาความสามารถการดูดซึม	25
3.18.	แสดงขึ้นตัวอย่างในการทดสอบการดำเนิน ไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยวัดจากค่าการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage)	27
3.19.	แสดงขึ้นตัวอย่างในการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์เฟสที่แข็งตัว ในแต่ละระดับชั้นความลึกต่างๆ (Penetration)	29
4.1.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะดูดซึมกับระยะเวลา ของขึ้นตัวอย่างที่ทดสอบกับน้ำ	31
4.2.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะดูดซึมกับระยะเวลา ของขึ้นตัวอย่างที่ทดสอบกับน้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ	31
4.3.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะดูดซึมกับระยะเวลา ของขึ้นตัวอย่างที่ไม่ทำการบ่ม(หลังจากถอดแบบ)	32
4.4.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะดูดซึมกับระยะเวลา ของขึ้นตัวอย่างที่ผ่านการบ่มน้ำมาก่อน 1 วัน	32
4.5.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะดูดซึมกับระยะเวลา ของขึ้นตัวอย่างที่ผ่านการบ่มน้ำมาก่อน 3 วัน	33
4.6.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะดูดซึมกับระยะเวลา ของขึ้นตัวอย่างที่ผ่านการบ่มน้ำมาก่อน 5 วัน	33
4.7.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะดูดซึมกับระยะเวลา ของขึ้นตัวอย่างที่ผ่านการบ่มน้ำมาก่อน 7 วัน	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.8.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยา(Chemical Shinkage) กับระยะเวลาของชิ้นตัวอย่าง w/c 0.25	35
4.9.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชัน กับระยะเวลาของชิ้นตัวอย่าง w/c 0.25	35
4.10.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยา(Chemical Shinkage) กับระยะเวลาของชิ้นตัวอย่าง w/c 0.30	36
4.11.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชัน กับระยะเวลาของชิ้นตัวอย่าง w/c 0.30	36
4.12.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยา(Chemical Shinkage) กับระยะเวลาของชิ้นตัวอย่าง w/c 0.44	37
4.13.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชัน กับระยะเวลาของชิ้นตัวอย่าง w/c 0.44	37
4.14.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึกจากชิ้นตัวอย่าง w/c 0.25 ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน	38
4.15.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึกจากชิ้นตัวอย่าง w/c 0.25 ที่ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน	39
4.16.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึกจากชิ้นตัวอย่าง w/c 0.25 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.17.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.25 ที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน	40
4.18.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.25 ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน	40
4.19.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.30 ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน	41
4.20.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.30 ที่ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน	41
4.21.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.30 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน	42
4.22.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.30 ที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน	42
4.23.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.30 ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน	43
4.24.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.44 ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน	43
4.25.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.44 ที่ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.26.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.44 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน	44
4.27.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.44 ที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน	45
4.28.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.44 ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน	45
ผ.ค.1	เตรียมแบบหล่อการทดสอบหาค่าการดูดซึม	ผค2
ผ.ค.2	แบบหล่อการทดสอบหาค่าการดูดซึม	ผค2
ผ.ค.3	ชั้นตัวอย่างสำหรับทดสอบหาค่าการดูดซึม	ผค3
ผ.ค.4	การทดสอบหาค่าการดูดซึม	ผค3
ผ.ค.5	การหาค่าการหดตัวทางเคมี(Chemical shrinkage)	ผค4
ผ.ค.6	บันทึกระดับน้ำในหลอดปิเปต	ผค4
ผ.ค.7	การบ่มชั้นตัวอย่างหลายๆน้ำบ่มเพื่อทดสอบหาค่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน	ผค5
ผ.ค.8	ชั้นตัวอย่างที่ทำการตัดแล้ว	ผค5
ผ.ค.9	อบชั้นตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส	ผค6
ผ.ค.10	อบชั้นตัวอย่างที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส	ผค6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

เนื่องจากงานก่อสร้างในปัจจุบัน มีวิธีที่จะช่วยเพิ่มกำลังของคอนกรีตให้ถึงค่าที่ต้องการ และลดอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม คือวิธีการบ่ม ซึ่งจะช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีตและจะช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ เป็นผลให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้การบ่มจึงมีอิทธิพลมากต่องานก่อสร้างทั่วไปในปัจจุบันนี้

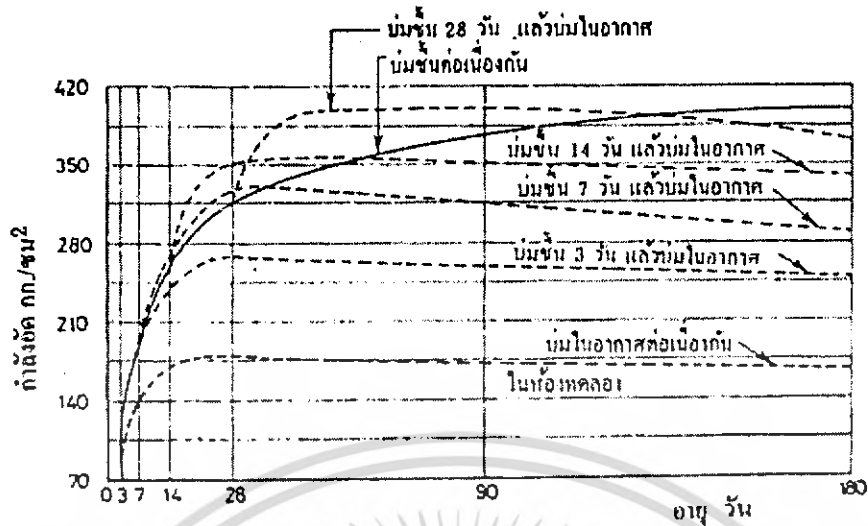
ในระหว่างที่คอนกรีตกำลังแข็งตัวอยู่นั้น คอนกรีตต้องการน้ำหล่อเลี้ยงปูนซีเมนต์อย่างเพียงพอ เพื่อเกิดปฏิกิริยาทางเคมี หากน้ำมีไม่เพียงพอในระยะใด การปฏิกิริยาเคมีก็จะหยุดในระยะนั้น และถ้าอยู่ในระยะที่มีความแข็งตัวไม่พอที่ด้านทานการหดตัวอันเนื่องจากการระเหยของน้ำหรือเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงแล้ว อาจทำให้เกิดการเสียดขาดร้าวขึ้น ในเนื้อคอนกรีตหรือตามผิวที่แห้งก่อนนั้น ได้ทุกเมื่อ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการเก็บน้ำให้ชุ่มตลอดเวลา เพื่อให้ดำเนินปฏิกิริยาไฮเดรชันจนสำเร็จให้มากที่สุด หรือทำให้เกือบร้อยเปอร์เซ็นต์เท่าที่จะทำได้

1.2 ความเป็นมาของปัญหา

เนื่องจากคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์แข็งตัวขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำที่ซึมผ่านมาจากภายนอกเป็นสิ่งสำคัญเพื่อเพิ่มระดับปฏิกิริยาไฮเดรชัน ด้วยเหตุนี้ในคอนกรีตขนาดใหญ่ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ การบ่มของน้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในช่องว่างในโครงสร้างซีเมนต์เพสต์ได้อย่างสมบูรณ์ จึงเป็นสาเหตุความแตกต่างของปฏิกิริยาไฮเดรชันในชั้นผิวในและผิวนอก ของคอนกรีต

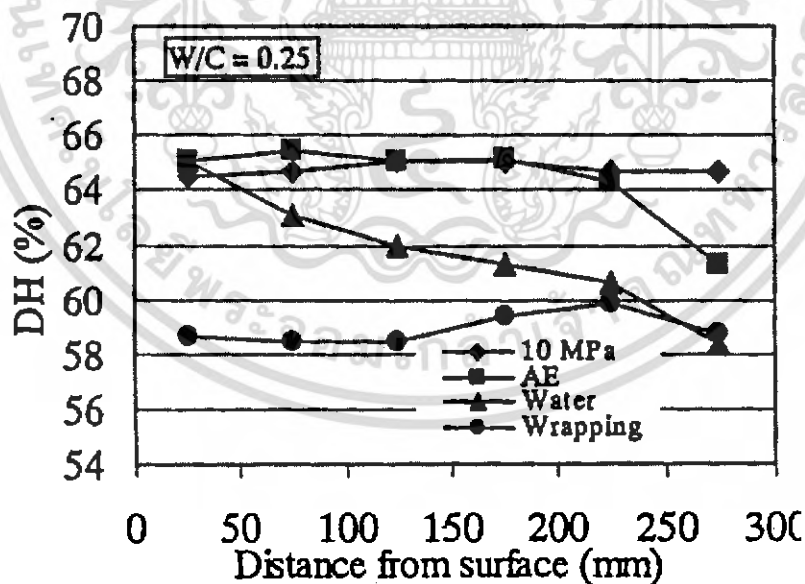
อีกทั้งผู้รับเหมาก่อสร้างส่วนใหญ่ ไม่ได้ให้ความสำคัญในงานบ่ม จึงมักละเลยงานบ่มหรือทำการบ่มขึ้นได้ไม่เพียงพอ เป็นผลให้ความสามารถรับกำลังอัดในคอนกรีตที่ได้จะต่ำ และเกิดปัญหาการแตกร้าวที่เนื้อคอนกรีตหรือตามผิวที่แห้งก่อนนั้น ได้ทุกเมื่อ ดังแสดงในรูปที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับระยะเวลาการบ่ม (วินิต ช่อวิเชียร, 2539)

ดร. คมสัน มาลีสี (2545) ได้ศึกษาพบว่าสารกักกระจายฟองอากาศ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงดึงผิว(AE-water) เมื่อนำมาบ่มกับคอนกรีตจะมีความสามารถในการแผ่เข้าไปในคอนกรีตได้ลึกมากกว่าน้ำปกรติ ที่ 28 วัน ดังรูปที่ 1.2 จึงเป็นข้อมูลที่น่าสนใจเพื่อศึกษาอิทธิพลของสารลดแรงดึงผิวในการบ่มคอนกรีต จึงได้นำมาพิจารณา



รูปที่ 1.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ปฏิกิริยาไฮดรชันกับความลึกของตัวอย่างที่ w/c 0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์

จุดมุ่งหมายของการศึกษารุ่นนี้เพื่อจะได้ทราบพฤติกรรมของสารลดแรงตึงผิวเมื่อใช้ในการบ่มคอนกรีตที่ได้รับการบ่มในสภาวะต่างๆกัน โดยการ

1. ศึกษาพฤติกรรมการบ่มของสารลดแรงตึง
2. ศึกษาผลที่เกิดขึ้นของสารลดแรงตึงผิวเมื่อใช้ในการบ่มที่สภาวะต่างๆกันและแต่ละช่วงเวลา

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ในการทดสอบการดูดซึม ซึ่งอ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM C 1585-04 โดยผสมซีเมนต์เพสต์ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 นำมาเทลงในแบบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และสูง 5 เซนติเมตร ทำด้านหนึ่งเป็นระบบปิดแล้วปิดผิวหน้าให้เรียบ เนื่องจากต้องการพิจารณาความสามารถในการดูดซึมน้ำก่อนและหลังจากทำการบ่มมาแล้ว จึงเตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบหลังจากถอดแบบแล้วและหลังจากบ่มน้ำมาแล้ว เป็นเวลา 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน นำตัวอย่างไปวางในภาชนะที่มีน้ำ และภาชนะที่มีน้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ ความเข้มข้น 1% โดยให้ผิวตัวอย่างด้านหนึ่ง จมในน้ำแค่ 2 ± 1 มิลลิเมตร จนครบ 7 วัน ซึ่งค่าการดูดซึมที่จะได้เป็นการคำนวณหาระยะที่น้ำบ่มถูกดูดซึมขึ้นไปในชิ้นตัวอย่าง

ในการทดสอบหาการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยวัดจากค่าการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) จะผสมซีเมนต์เพสต์ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25, 0.30, และ 0.44 นำมาเทลงในขวดแก้วปากกว้าง 2.5 เซนติเมตร และสูง 7 เซนติเมตร โดยให้ซีเมนต์เพสต์สูงจากก้นขวดแก้วแค่ 2 เซนติเมตร ทำการเทน้ำลงขวดแก้ว จนเต็มขวดแก้ว และทำการเทน้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศความเข้มข้น 1 % ลงในขวดแก้วอีกขวด นำจุกยางมาปิดให้สนิท ซึ่งจุกยางนี้จะเจาะรูตรงกลางจุกยางเพื่อใส่หลอดปิเปตเข้าไปในจุกยาง ในการทดสอบจะเป็นการนำค่าระดับน้ำในหลอดปิเปตที่ลดลง ซึ่งค่าของระดับน้ำที่ลดลงนั้น จะนำไปคำนวณการปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) ได้ หลังจากบันทึกข้อมูลจนครบ 28 วัน ก็จะหาค่าการเกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) สูงสุดได้ ซึ่งค่านี้จะนำไปเทียบกับการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ 100 % ได้และจะหาการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน

ในการทดสอบสำหรับการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์เพสต์แข็งตัว ในแต่ละระดับชั้นความลึกต่างๆ จะผสมซีเมนต์เพสต์ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง ด้วยอัตราส่วนน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อซีเมนต์ 0.25, 0.30, และ 0.44 นำมาทดลองในแบบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และสูง 40 เซนติเมตร ให้ด้านหนึ่งเป็นระบบปิด โดยใส่ซีเมนต์เพสต์สูงแค่ 30 เซนติเมตร ทำการบ่มด้วยน้ำบ่มดังนี้ น้ำบริสุทธิ์, น้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ MA 101 ความเข้มข้น 1%, น้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air ความเข้มข้น 1%, น้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ Darex ความเข้มข้น 1%, และบ่มในอากาศ ระยะเวลาการบ่มขึ้นตัวอย่างเป็นเวลา 3, 5, 7, 14, และ 28 วัน เมื่อครบกำหนดระยะเวลาการบ่ม นำชิ้นตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่ออกมาตัดเป็น 6 ส่วน ส่วนละ 5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ในการทดสอบจะเป็นการหาน้ำหนักที่หายไปของชิ้นตัวอย่างหลังจากผ่านการอบแล้ว ซึ่งค่าน้ำหนักที่หายไปจะนำไปคำนวณหาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในชิ้นตัวอย่างนั้น

1.5 วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษามีวิธีการศึกษาหลักๆ 4 ขั้นตอน ดังนี้

1.5.1. ทำการศึกษารวบรวมข้อมูล

ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลจากเนื้อหาทางทฤษฎีจากหนังสือต่างประเทศ วิทยานิพนธ์ มาตรฐานการก่อสร้าง (ASTM) หนังสือวารสารต่างๆ โยธาสาร เอกสาร คำราเรียนที่เกี่ยวข้อง

1.5.2. การจัดหาวัสดุดิบ และอุปกรณ์การทดสอบ

ทำการจัดหาสารกักกระจายฟองอากาศ จากบริษัทที่มีขายผลิตภัณฑ์เคมี และอุปกรณ์การทดสอบ และทดสอบอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบ ให้มีประสิทธิภาพพอนำไปใช้งานได้

1.5.3. วิธีการเก็บข้อมูล

1.5.3.1. ทำการทดสอบการดูดซึม

- ทดสอบวัสดุดิบที่นำมาทดสอบเบื้องต้น
- ทำการทดสอบอัตราส่วน w/c 0.30 ก่อนและหลังจากการบ่มแล้ว ที่ 1,3,5 และ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.3.2. ทดสอบปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage)

- ทดสอบวัสดุคิบบที่นำมาทดสอบเบื้องต้น
- ทำการทดสอบด้วยอัตราส่วน w/c 0.25
- ทำการทดสอบด้วยอัตราส่วน w/c 0.30
- ทำการทดสอบด้วยอัตราส่วน w/c 0.44

1.5.3.3. ทำการทดสอบปฏิกิริยาไฮเดรชันแต่ละระดับชั้นความลึกต่างๆ

- ทดสอบวัสดุคิบบที่นำมาทดสอบเบื้องต้น
- ทำการทดสอบอัตราส่วน w/c 0.25 ที่การบ่ม 1, 3, 5, 7, 14 และ 28 วัน
- ทำการทดสอบอัตราส่วน w/c 0.30 ที่การบ่ม 1, 3, 5, 7, 14 และ 28 วัน
- ทำการทดสอบอัตราส่วน w/c 0.44 ที่การบ่ม 1, 3, 5, 7, 14 และ 28 วัน

1.5.4. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการรวบรวมข้อมูลผลการทดสอบที่ได้ มาวิเคราะห์ ศึกษาความสัมพันธ์ ประเมิน และสรุปผลการทดลอง เพื่อจะได้เสนอแนะแนวความคิดที่ได้จากการศึกษา ซึ่งจะเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในงนก่อสร้างจริงต่อไป

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงทราบพฤติกรรมของสารละลายดแรงตึงผิวเมื่อใช้ในการบ่มซีเมนต์เพสต์ในสภาวะต่างๆกัน
2. ทำให้ทราบผลที่เกิดขึ้นของสารดแรงตึงผิวในแต่ละช่วงเวลาของการบ่มที่สภาวะต่างๆกัน
3. ทำให้สามารถชี้แนวทางในการเลือกวิธีการบ่มที่เหมาะสมของสนามก่อสร้างจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 นิยามและความหมายของคำต่างๆ

ในการวิจัย มีคำต่างๆที่จะต้องเกี่ยวข้องกับการศึกษาดังนี้

2.1.1 สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่ม (Admixtures) หมายถึงสารอื่นๆ นอกเหนือจากปูนซีเมนต์ วัสดุผสม และน้ำ ที่ใช้เติมลงในส่วนผสมของคอนกรีต ไม่ว่าจะก่อนหรือในขณะกำลังผสม เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตให้ดีขึ้น โดยให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์ข้อหนึ่งหรือหลายข้อตามต้องการ ดังต่อไปนี้

1. ทำให้คอนกรีตผสมใหม่ๆ มีความสามารถเท่าดีขึ้น
2. เพื่อลดปริมาณน้ำที่จะต้องผสมคอนกรีตให้น้อยลง
3. เกิดการกักกระจายฟองอากาศทำให้มีความทนทานเพิ่มขึ้น
4. เร่งการก่อตัวและการแข็งตัว ทำให้คอนกรีตรับแรงได้เร็วกว่าปกติ
5. หน่วงการก่อตัวให้ช้าลง
6. เกิดการกระจายซีเมนต์ ทำให้ซีเมนต์เปียกทั่วเมื่อผสมกับน้ำ
7. ช่วยจับน้ำและกั้นน้ำซึม
8. ทำให้มีความทึบน้ำหรือต้านทานมิให้น้ำซึมผ่านได้ดีขึ้น
9. ช่วยเร่งปฏิกิริยาของสารปอซโซลาน (เพื่อรวมกับปูนอิสระ)
10. ลดการแข็งหรือการคายน้ำ
11. ทำให้คอนกรีตไม่หดตัวและแตกร้าว เมื่อก่อตัวและแข็งตัวแล้ว
12. ทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตได้ดีขึ้น
13. ทำให้เกิดสีและ ฯลฯ

สารผสมเพิ่มที่ใช้ร่วมกับคอนกรีต จะให้ผลแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติและ ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ ขนาดรูปร่างและส่วนขนาดคละของวัสดุผสม น้ำ สัดส่วนการผสม ระยะเวลาการผสม และอุณหภูมิ ดังนั้นในการใช้สารผสมเพิ่ม จึงควรศึกษาถึงส่วนผสมและข้อแนะนำ ของผู้ผลิตโดยละเอียด จะต้องทดสอบและควบคุมปริมาณที่ใช้ให้ถูกต้อง เพราะสารเหล่านี้จะให้ผลดี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อเมื่อใช้ในอัตราที่พอเหมาะ ปริมาณที่ฉีดไปจะก่อให้เกิดผลเสีย หรือเกิดผลในทางตรงกันข้ามก่อนการตัดสินใจเลือกใช้สารผสมเพิ่ม ควรพิจารณาว่า

1. จะมีวิธีการอย่างใดบ้างหรือไม่ ที่จะเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการผสมหรือวิธีการผสม เพื่อให้คอนกรีตมีคุณสมบัติตามความต้องการ แทนที่จะเสี่ยงใช้สารผสมเพิ่มซึ่งอาจจะมีการผิดพลาดขึ้นได้
2. เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเมื่อใช้สารผสมเพิ่ม กับการที่ไม่ใช้สารผสมเพิ่มแต่ใช้วิธีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการผสมหรืออย่างอื่นที่จะทำให้คอนกรีตอย่างเดียวกัน
3. ผลที่จะเกิดจากการใช้สารผสมเพิ่ม นอกเหนือไปจากวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

2.1.2. ประเภทของสารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มมีมากมายหลายชนิด บางชนิดก็เป็นที่ยอมรับใช้กันในช่วงระยะหนึ่งเท่านั้น อาจจำแนกสารผสมเพิ่มหลักๆออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. สารเพิ่มฟองอากาศ (Air-Entraining Admixtures) ตามมาตรฐาน ASTM C 260 ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ละลายน้ำ ช่วยเพิ่มปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต ได้แก่ สารกระจายกักฟองอากาศ
2. สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixtures) ตามมาตรฐาน ASTM C 494 ซึ่งเป็นสารประกอบเคมีที่ละลายน้ำ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตสด ได้แก่ สารลดปริมาณน้ำ สารหน่วงการก่อตัว สารเร่งการก่อตัว สารลดปริมาณน้ำและเร่งหรือหน่วงการก่อตัว สารลดปริมาณน้ำในอัตราสูง และหน่วงการก่อตัว
3. สารผสมเพิ่มแบบแร่ธาตุ (Mineral Admixtures) ตามมาตรฐาน ASTM C 618 ซึ่งเป็นวัสดุผงละเอียด เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว อาจเรียกสารผสมนี้ว่า วัสดุผสมเพิ่ม เนื่องจากใช้ช่วยปรับขนาดผลของวัสดุผสมให้ดีขึ้น และยังช่วยลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงได้บางส่วน สารผสมนี้อาจทำหรือไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับซีเมนต์เฟสท์ ได้แก่ วัสดุแร่ธาตุเฉื่อย วัสดุปอซโซลาน ซิลิกาฟูม
4. สารผสมเพิ่มอื่นๆ (Miscellaneous Admixtures) เป็นสารผสมเพิ่มที่ยังไม่จัดอยู่ในมาตรฐานของ ASTM ได้แก่ สารเพิ่มการยึดเหนี่ยว (Bonding Agent) สารลดการกัดกร่อน (Corrosion Agent) สารเพิ่มการขยายตัว (Expanding Agent) ฯลฯ
5. สารผสมเพิ่มที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีต มีทั้งชนิดเป็นผงและเป็นของเหลว ถ้าเป็นชนิดของเหลวที่ละลายน้ำได้ควรผสมกับน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตเพราะผสมได้ทั่วถึงและควบคุมปริมาณให้สม่ำเสมอได้สะดวกกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 สารกระจายกักฟองอากาศ (Air-entraining Admixtures)

สารชนิดนี้ จะช่วยให้เกิดฟองอากาศเล็กๆ (มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า) แฝงปนอยู่ทั่วเนื้อคอนกรีต แต่ฟองอากาศนี้ไม่ทะลุถึงกันและกัน ในคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร อาจมีฟองอากาศเล็กๆนี้ประมาณ 3-6% ของเนื้อคอนกรีตทั้งหมด ฟองอากาศที่เกิดขึ้นทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้และหล่อง่ายขึ้น ทำให้ลดปริมาณน้ำผสมคอนกรีตลงได้ (ประมาณ 3 % ต่อฟองอากาศที่เพิ่มขึ้น 1 %) ช่วยต้านทานมิให้น้ำในคอนกรีตแข็งเป็นน้ำแข็งก่อนที่คอนกรีตจะก่อตัวด้วย ซึ่งเป็นประโยชน์ในการหล่อคอนกรีตในฤดูหนาว นอกจากนี้แล้ว สารกระจายกักฟองอากาศยังช่วยลดการเอื่อมและการแยกตัว และการสูญเสียน้ำของคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีเนื้อสม่ำเสมอ แลดูสวย แน่น ไม่ร่วนซิม รวมทั้งเพิ่มความต้านทานต่อซัลเฟตด้วย ข้อดีของการใช้สารนี้คือทำให้คอนกรีตมีกำลังลดต่ำลงประมาณ 3 - 4 % ต่อปริมาณฟองอากาศที่เพิ่มขึ้น 1 % และนอกจากนี้ต้องระวังเรื่องการใช้เครื่องเขย่าให้มาก เพราะถ้าเขย่ามากจะทำให้จำนวนฟองอากาศลดน้อยลงไปเกือบ 50 %

สารกระจายกักฟองอากาศเป็นสารอินทรีย์ละลายน้ำ มีอยู่หลายชนิด ซึ่งอาจจะทำมาจากยางไม้ ไขมันหรือน้ำมันสัตว์และพืช หรือจากกรดซึ่งได้มาจากยางไม้หรือไขมันของสัตว์และพืชเป็นต้น มีทั้งชนิดผงและชนิดเหลว อัตราการใช้ประมาณ 0.005 - 0.05 % โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

2.1.4 การบ่มคอนกรีต (Curing)

การบ่มหรือบำรุงคอนกรีต (Curing) เป็นการควบคุมและป้องกันมิให้น้ำที่เหลืจากการทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ ระเหยออกมาจากคอนกรีตที่เทลงแบบหล่อและแข็งตัวแล้วเร็วเกินไป เพื่อให้คอนกรีตมีคุณสมบัติในการรับแรงและความทนทานตามต้องการ

หลังจากเทคอนกรีต และทิ้งไว้จนผิวหน้าคอนกรีตหมาดแข็งปราศจากรอยแล้วจะต้องทำการบ่มทันทีด้วยวิธีที่ถูกต้อง โดยปกคลุมผิวมิให้ถูกแดดหรือลมร้อน และมีให้ถูกรบควนหรือสะท้อน โดยเฉพาะภายในระยะ 24 ชั่วโมงแรก ทั้งนี้เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีและมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ อีกทั้งการป้องกันการสูญเสียน้ำจากคอนกรีตที่เทใหม่ๆ มิฉะนั้นคอนกรีตจะเกิดการหดตัวเร็ว ทำให้เกิดแรงที่ผิวที่กำลังจะแข็ง เป็นผลให้เกิดรอยร้าวที่ผิวคอนกรีต ช่วงระยะเวลาที่ป้องกันและรักษาความชื้นนี้ไว้ภายหลังจากเทคอนกรีตลงแบบหล่อแล้ว เรียกว่าระยะเวลาของการบ่มคอนกรีต (Curing period)

กำลังของคอนกรีตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทรายเท่าที่ซึ่งมีความชื้นให้ซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำได้ต่อไปอีก กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วในระยะแรกและค่อยๆ ช้าลงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาต่อมา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชื้นและอุณหภูมิที่พอเหมาะ ดังแสดงในรูป จากเส้นสัมพันธ์จะเห็นว่า หลังจากบ่มในอากาศแห้งแล้วบ่มชื้นตลอดเวลา ซึ่งสภาพของงานก่อสร้างจริงไม่อาจจะบ่มชื้นตลอดเวลาได้อาจได้ เพราะมีข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลาก่อสร้างและค่าใช้จ่าย ฉะนั้นจึงควรทำการบ่มชื้นให้ต่อเนื่องกันตั้งแต่ต้นประมาณ 7 - 14 วัน เพื่อให้คอนกรีตมีกำลังประมาณ 70 % ของกำลังอัดที่ต้องการ

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับเรื่องที่กำลังจะศึกษา

2.2.1 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน

การก่อตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบของปูนซีเมนต์ โดยปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ

1. อาศัยสารละลาย ปูนซีเมนต์จะละลายในน้ำ ก่อให้เกิด Ions ในสารละลาย และ Ions นี้จะผสมกันทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น
2. การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลาย ปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า “Solid State Reaction”

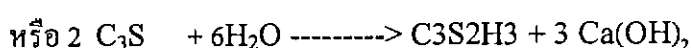
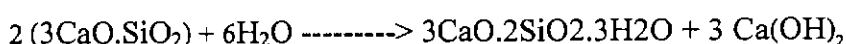
ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะ โดยในช่วงแรกจะอาศัยสารละลาย และในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง

ปูนซีเมนต์จะประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ครั้งแรก ดังนั้นในที่นี้เราจะแยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักแต่ละชนิดของปูนซีเมนต์

2.2.1.1. ปฏิกิริยาไฮเดรชันของอัลซีเมซิลิเกต (C_3S และ C_2S)

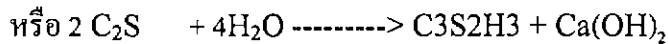
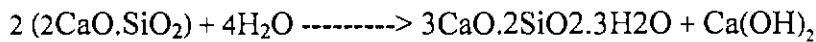
อัลซีเมซิลิเกต จำทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อให้เกิด “อัลซีเมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)” ประมาณ 15 – 25% และสารประกอบ “อัลซีเมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate หรือ $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ หรือ $C_3S_2H_3$ หรือ CSH)” ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสาน และให้ความแข็งแรง ดังสมการต่อไปนี้

สมการของ C_3S



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของ C₂S



จากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้ จะเกิด Gel ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ คือ โครงสร้างไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน โดยองค์ประกอบทางเคมีของ CSH จะขึ้นอยู่กับ อายุ, อุณหภูมิ และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

Ca(OH)₂ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นด่างมาก คือ มี pH ประมาณ 12.5 ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้อย่างดี

2.2.1.2. ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C₃A)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C₃A จะเกิดขึ้นที่ทันใดและก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสต์ดังสมการต่อไปนี้

สมการของ C₃A



ในกระบวนการบดปูนซีเมนต์ จะมีการใส่ยิปซัมเข้าไป เพื่อหน่วงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C₃A ไม่ให้เกิดเร็วเกินไป โดยยิปซัมที่ใส่จะทำปฏิกิริยากับ C₃A ทำให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาค C₃A ดังสมการต่อไปนี้



ชั้นของ Ettringite ก่อให้เกิดการหน่วงการก่อตัวของ C₃A และทำให้เกิดการก่อตัวในช่วงแรกนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C₃S และ C₃A เป็นส่วนใหญ่ แต่ชั้นของ Ettringite ไม่ได้หยุดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน กล่าวคือ เมื่อเกิด Ettringite จะเกิดแรงดันที่มาจาก การเพิ่มปริมาณของของแข็ง แรงดันนี้จะทำให้ชั้นของ Ettringite แตกออกและเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C₃A แต่เมื่อเกิดการแตกตัว จะเกิด Ettringite ใหม่เข้าไปแทนที่เป็นการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันอีกครั้งหนึ่ง ชั้นตอนจะเป็นอย่างนี้ไปจนกระทั่ง Sulphate Ions มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด Ettringite จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C₃A โดยเปลี่ยน Ettringite ไปเป็น Monosulphate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.3. ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C₄AF)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C₄AF นี้ จะเกิดในช่วงต้น โดย C₄AF จะทำปฏิกิริยากับยิปซัม และ Ca(OH)₂ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็มของ Sulphoaluminate และ Sulphoferrite

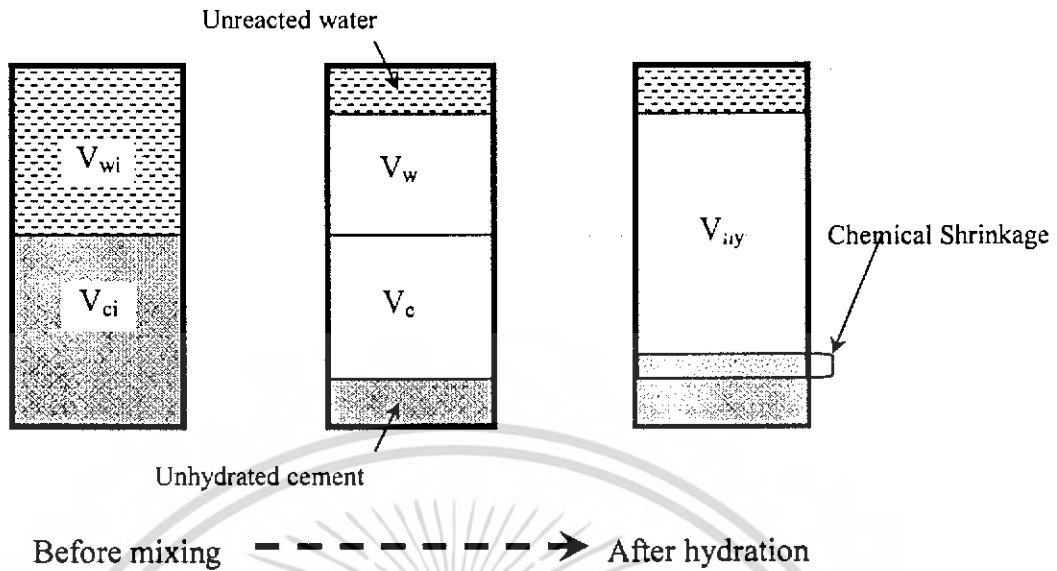
2.2.2. การหดตัวทางเคมีของซีเมนต์เพสต์ (Chemical shrinkage of cement paste)

การหดตัวทางเคมีของซีเมนต์เพสต์ (Chemical Shrinkage) คือ ปรากฏการณ์ซึ่ง ปริมาตรสุทธิในกระบวนการไฮเดรชันน้อยกว่าปริมาตรรวมของซีเมนต์และน้ำก่อนเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน Chemical Shrinkage จะอธิบายโดยสมการดังนี้

$$S_{sh} = \frac{(V_c + V_w) - V_{hy}}{V_{ci} + V_{wi}} \times 100 \text{ (\%)}$$

S _{hy}	=	chemical shrinkage ratio (%)
V _{ci}	=	volume of cement before mixing
V _c	=	volume of hydrate cement
V _{wi}	=	volume of water before mixing
V _w	=	volume of reacted water
V _{hy}	=	volume of hydration products

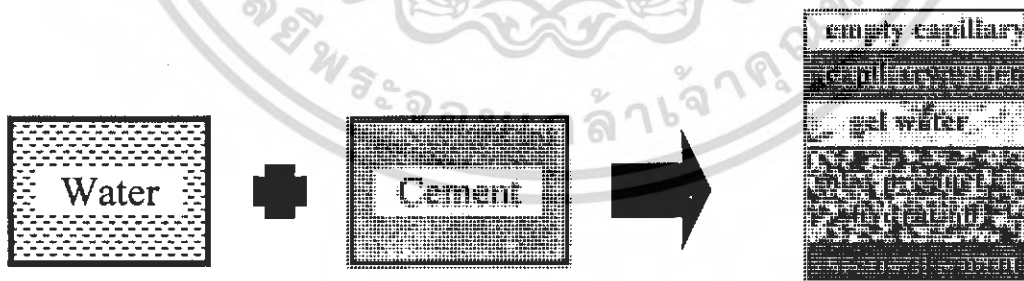
เมื่อซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วถูกพิจารณาเป็นส่วนประกอบของ สภาวะของแข็ง (ซีเมนต์ที่ปราศจากน้ำและผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชัน) ส่วนของเหลว(น้ำที่ยังไม่ได้ผสม) และสภาวะของก๊าซ(ฟองอากาศที่ยังคงอยู่หลังจากผสมและรูอากาศที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน) ปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) จะถูกพิจารณาเป็นการเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์ โดยสมบูรณ์ นั่นคือ สภาวะของแข็งบวกสภาวะของเหลว ในทางตรงกันข้าม autogenous shrinkage จะถูกพิจารณาเป็นการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรภายนอก ตั้งแต่โครงสร้างของมวลเริ่มก่อตัวขึ้น (ดังรูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงหลังเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

2.3 ส่วนประกอบในซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัว (The component in hardened cement paste)

ช่องว่างที่เห็นได้ชัดสำหรับผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชันประกอบด้วย ปริมาตรสุทธิของซีเมนต์ที่แห้งตัวรวมกับปริมาตรของน้ำที่ถูกผสมเข้ากัน น้ำที่สูญเสียไปเล็กน้อยเนื่องจากการ bleeding และ โครงสร้างของเพสต์ในขณะที่ยังคงเป็นสภาวะพลาสติกอยู่ จะไม่นำมาพิจารณาในสภาวะนี้ น้ำจะสร้างพันธะทางเคมี โดย C_3S และ C_2S จะถูกแสดงอย่างประมาณคือ 24 % และ 22 % ของน้ำหนักของซิลิกาสองชนิดตามลำดับ โดยลักษณะที่สอดคล้องกันสำหรับ C_3A และ C_4AF คือ 40 และ 37 % ตามลำดับ



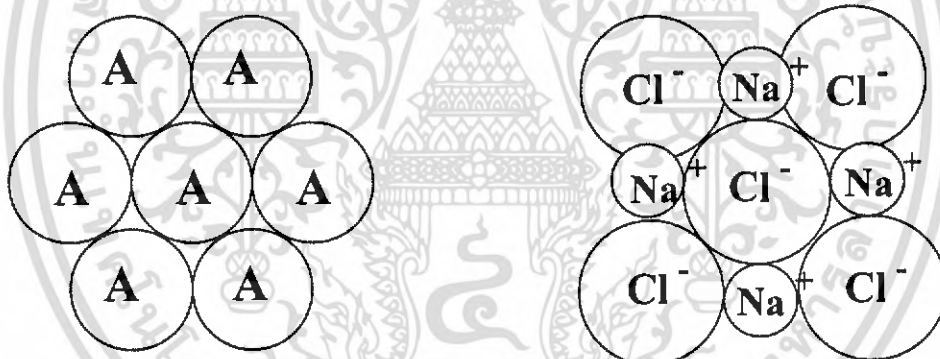
รูปที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์หลังเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

ส่วนประกอบของซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วประกอบด้วย ซีเมนต์ที่ปราศจากน้ำ, ผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นของแข็งของปฏิกิริยาไฮเดรชัน, gel water, capillary water, และอากาศดังแสดงในรูปด้านบน ปริมาตรของแต่ละส่วนประกอบมีการเปลี่ยนแปลง, ระหว่างกระบวนการของปฏิกิริยาไฮเดรชันและผลที่ตามมาจะทำให้ pore จะเพิ่มขึ้นด้วย การกลายเป็นไอของน้ำประกอบไปด้วย capillary เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

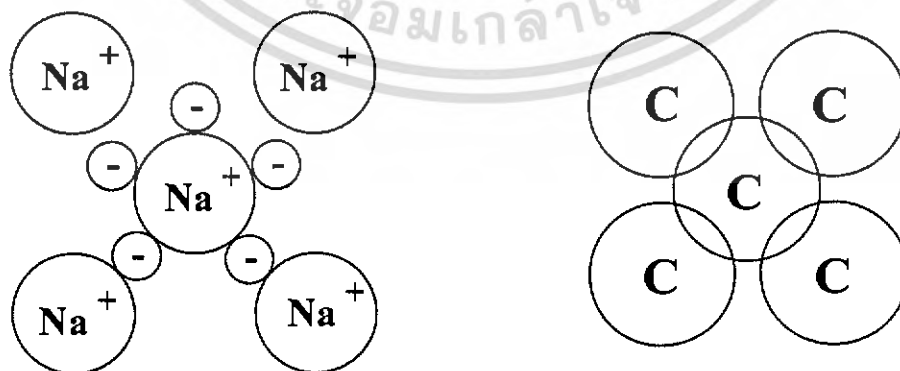
water และ gel water ซึ่งการกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 105°C น้ำที่ไม่มีการระเหย คือ น้ำจากพันธะเคมี ในผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งของปฏิกิริยาไฮเดรชันโดยปราศจากน้ำที่อุณหภูมิ 950°C จำนวนของ non-evaporable water จะเพิ่มขึ้น เมื่อปฏิกิริยาไฮเดรชันดำเนินไปแต่ ในพื้นที่ที่ชุ่มด้วยน้ำ non-evaporable water จะไม่สามารถมีมากกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำทั้งหมด ในซีเมนต์ที่ประกอบไปด้วยน้ำที่ดี ซีเมนต์ non-evaporable water จะประมาณ 18 % โดยน้ำหนักของวัสดุซึ่งไม่มีน้ำ ส่วนนี้เพิ่มถึงประมาณ 23 % ในซีเมนต์ที่ผสมน้ำอย่างสมบูรณ์ (ดังรูปที่ 2.2)

2.4 พลังงานของแรงตึงผิวของน้ำ (Surface tension energy of water)

บทนำทางเคมีที่ได้อธิบายถึงโครงสร้างอะตอมและวิธีของพันธะทางเคมีที่ทำให้แน่ใจว่าการรวมตัวของอะตอมเป็นรูปร่างต่างๆ โดยการเพิ่ม ลด หรือแชร์อิเล็กตรอน ลักษณะของชนิดต่างๆ ของพันธะจะบอกว่าเป็นวัสดุชนิดใด สิ่งนี้สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือพันธะที่แข็งแรงระหว่างอะตอม (ไอออนิก โคเวเลนต์ และพันธะโลหะ) และพันธะอย่างอ่อนคือพันธะวานเดอร์ วาลส์ ระหว่างโมเลกุล ลักษณะต่างๆ ไปของการประกอบเป็น คอลลอยด์ จะถูกแสดงในรูปที่ 2.3 (a)



(a) Vander Waals Bonding (solid argon) (b) Ionic bonding (sodium chloride)



(c) Metallic bonding (sodium metal) (d) Covalent bonding (diamond)

รูปที่ 2.3 พันธะทางเคมีในปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูป(a) โดยธรรมชาติของอะตอมจะสร้างพันธะอย่างหลวมๆด้วยแรง วานเดอร์ วาลส์ (Vander walls) ซึ่งอะตอมจะเรียงต่อกันด้วยความไม่แน่นอนในการกระจายตัวของประจุ ในรูป (b) อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากอะตอมต่าง (alkali) ไปยังอะตอมฮาโลเจน(halogen) ผลที่ได้คือไอออนจะยึดติดกันแรงไฟฟ้าระหว่างไอออนบวกและไอออนลบ ในรูป(c) วาเลนซ์อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากแต่ละอะตอมต่าง (alkali atom) ไปยังบริเวณแหล่งรวมของอิเล็กตรอนซึ่งในบริเวณนั้นประจุบวกจะสลายตัวไปหมด ในรูป(d) อะตอมจะสร้างพันธะกันโดยส่วนที่ซ้อนทับกันของอิเล็กตรอนที่กระจายตัวอยู่ ในกรณีพิเศษทั้งในพันธะ วานเดอร์วาลส์ เคลื่อนจากบริเวณที่มีแรงไฟฟ้ามากโดยเป็นแรงระหว่างไฮโดรเจนอะตอมและอะตอมของ O, F หรือ N ในโมเลกุลจะประกอบด้วยพันธะมีขั้ว C-O, H-F หรือ H-N เราจะพิจารณาในกรณีของน้ำเพราะว่าพันธะ O-H เป็นพันธะที่มีขั้วสูง อะตอม H มีประจุบวกจำนวนมากในขณะที่อะตอม O เป็นลบ อะตอมขนาดเล็กของ H จะเข้าหาอะตอมของ O ที่อยู่ใกล้มากที่สุด ดังนั้นจึงเกิดแรงไฟฟ้าที่แข็งแกร่งระหว่างอะตอมทั้งสอง

แรงภายในของอะตอมจะถูกพิจารณาโดยอะตอมทั้งหมดที่แสดงตัวเป็น อะตอมข้างเคียงที่อยู่ใกล้ที่สุด อะตอมที่อยู่ในช่วงกลาง(ของแข็งหรือของเหลว) ถือว่ามันอยู่ในช่วงของเหลว จะมีพลังงานของปฏิกิริยาเท่ากันในทุกทิศทาง แต่เมื่ออะตอมที่บริเวณผิวหน้าหรืออยู่ใกล้กับผิวหน้า แรงบริเวณนั้นจะไม่เหมาะสมในการสร้างพันธะเพราะว่าไม่มีอะตอมข้างเคียง จากผลดังกล่าวอะตอมจะมีพลังงานภายในสูง ตำแหน่งของมันบน Cordon-Morse diagram จะเพิ่มขึ้น 1-3 ลำดับ จะพบว่าสมดุลของอะตอมบริเวณผิวหน้าจะดีกว่าบริเวณที่เป็นช่วงกว้าง(bulk phase) ถ้าวัตถุสามารถหาสมดุลที่ผิวหน้าก็จะเกิดการแยกตัวของอะตอม ผสมที่ได้นี้เกิดจากการเกิดรูปร่างผิวขากกลม ซึ่งให้ค่าพื้นที่ผิวเล็กที่สุด(และบอกพลังงานที่ผิว) ใช้สำหรับบอกปริมาณของวัสดุ หอคเล็กๆของของเหลวหรือฟองของก๊าซจะเป็นวงกลมเนื่องจากอะตอมมีการเคลื่อนไปยังตำแหน่งที่สมดุลบริเวณพื้นผิว (surfactants) เป็นสารประกอบซึ่งดูดซับได้ดีที่บริเวณส่วนเชื่อมต่อดังนั้นความตึงผิวจึงน้อย โมเลกุลที่ผิวจะเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว แต่ละโมเลกุลจะมี hydrophilic end (ของน้ำ) และ hydrophobic(กลัวน้ำ) ดังนั้นโมเลกุลจะเรียงตัวที่ขอบระหว่าง 2 ส่วนไม่สามารถรวมกันได้ โดยที่ hydrophilic ในน้ำและ hydrophobic end ในของเหลวไม่มีขั้ว การเรียงตัวนี้จะต่ำกว่า interfacial energy มันเป็นไปได้ที่จะกระจายของเหลวภายในมวลของหยดน้ำเล็กๆ สารกักกระจายฟองอากาศมีลักษณะเป็น โมเลกุล โซ่ยาวๆ (long-chain molecule) กับกลุ่มขั้วที่ปลาย ดังนั้นจะมาเป็นความเข้มข้นที่ผิวหน้าอากาศและของเหลวกับกลุ่มขั้วในของเหลวและส่วนที่ไม่มีขั้ว ฟองอากาศจะถูกสร้างขึ้นจากอากาศที่ค้างอยู่ แต่เมื่อมีสารลดแรงตึงผิวแล้ว ฟองอากาศก็จะถูกทำลายเนื่องจากแรงตึงผิวของของเหลว สารลดแรงตึงผิวมีความตึงผิวน้อยกว่าและทำให้เกิดเสถียรภาพมากกว่า สารลดแรงตึงผิว(AE) มีส่วนประกอบโดยง่ายอย่างเช่น เกลือโซเดียมของไขมันหรือกรด alkyl aryl sulfonic แต่บางตัวนอกเหนือจากนี้อาจมีความซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา

การศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่จะทำการวิจัยมีดังต่อไปนี้

- Influence of Penetrative Curing on Properties of Cementitious Material, Dr. KOMSAN MALEESEE

เป็นการศึกษาอิทธิพลของสมบัติการบ่มในการซึมผ่านวัสดุซีเมนต์ ซึ่งสารที่ใช้ทดสอบมีสมบัติเป็นสารแรงดึงผิวต่ำหรือสารกักฟองอากาศ(Air-Entraining Agent) มีผลให้การซึมผ่านเข้าไปในเนื้อซีเมนต์ดีขึ้น ผลที่ตามมาก็คือทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันดำเนินต่อไป ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยามากขึ้น ท้ายที่สุด ซีเมนต์พาสที่ทดลองมีค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น ซึ่งสารลดแรงดึงผิวนี้เป็นสารกักฟองอากาศที่ใช้และผลิตในประเทศไทย โดยประเด็นที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่คุณจะวิจัยคือ การทดสอบสารลดแรงดึงผิวที่มีอยู่ในประเทศไทย เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันดำเนินต่อไปและทำให้คอนกรีตที่ใช้งานจริงมีค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

3.1.2 สารเคมี ที่ใช้ได้แก่

- สารกักกระจายฟองอากาศ MA 101 ดังรูปที่ 3.1(a)
- สารกักกระจายฟองอากาศ Micro air ดังรูปที่ 3.1(b)
- สารกักกระจายฟองอากาศ Darex ดังรูปที่ 3.1(c)



(a) สารกักกระจายฟองอากาศ MA 101



(b) สารกักกระจายฟองอากาศ Micro air



(c) สารกักกระจายฟองอากาศ Darex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

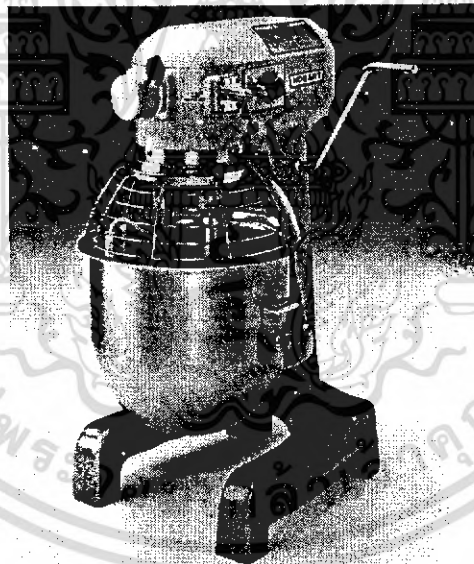
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.1.3. น้ำ ใช้น้ำที่มีคุณสมบัติดังนี้

- ต้องไม่มีวัตถุหรือสิ่งของที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งทำให้สี กลิ่น และรสของน้ำ เปลี่ยนไปจากธรรมชาติ
- ความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) ต้องมีค่าระหว่าง 5.0-9.0
- ออกซิเจนละลายในน้ำ (dissolved oxygen; DO) ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีหรือบีโอดี (Biochemical oxygen demand; BOD) ในน้ำ ต้องมีค่าไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 4 °C
- แรงตึงผิวของน้ำเท่ากับ 72 dynes/cm ที่อุณหภูมิ 25 °C

3.1.4. เครื่องผสมซีเมนต์เพสต์ (Hobart type)

สำหรับผสมซีเมนต์และน้ำ ให้คลุกเคล้ากันดี ดังรูปที่ 3.2.

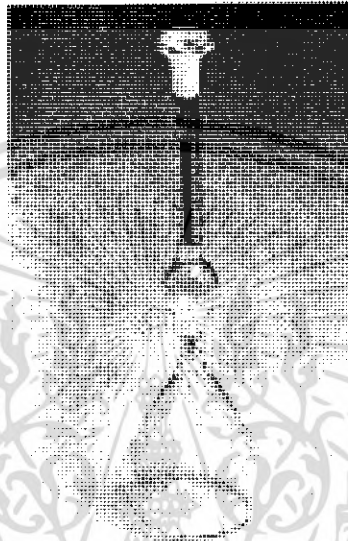


รูปที่ 3.2 เครื่องผสมซีเมนต์เพสต์ (Hobart type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ **62735** ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5. ชุดอุปกรณ์การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ ASTM C 150-84

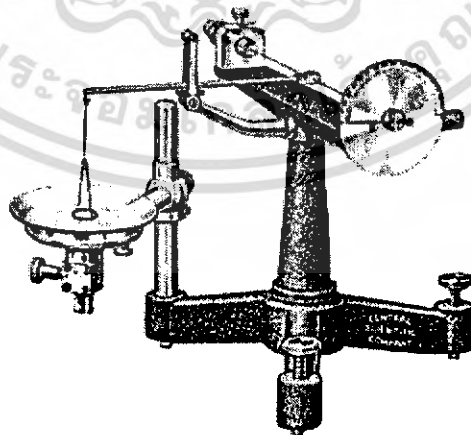
เพื่อนำค่าไปเทียบกับค่ามาตรฐานของซีเมนต์ เมื่อใดที่ซีเมนต์เสื่อมคุณภาพลง ความถ่วงจำเพาะจะต่ำกว่าปกติ ซึ่งปรกติความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 3.10 – 3.20 ดังรูปที่ 3.3.



รูปที่ 3.3. Le Chatelier Flask

3.1.6. ชุดอุปกรณ์ทดสอบแรงตึงผิว (Du Nouy surface-Tension mater)

สำหรับหาแรงตึงผิวของของเหลว ดังรูปที่ 3.4.



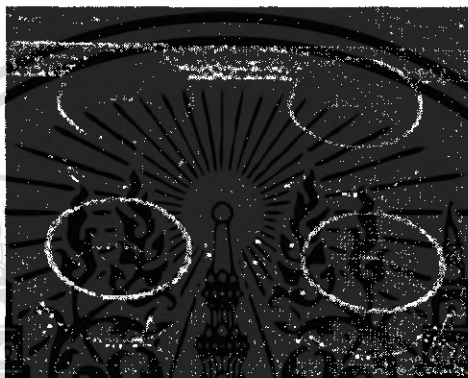
รูปที่ 3.4. Du Nouy surface-Tension mater

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.7 ชุดอุปกรณ์ทดสอบหาการดูดซึม ASTM C 1585-04

ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

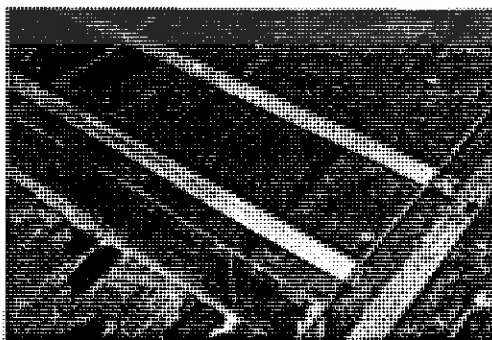
1. แบบหล่อขึ้นตัวอย่างเส้นผ่าศูนย์กลางกลางขนาด 10 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.5.
2. ถาดพื้นเรียบ (Pan) ดังรูปที่ 3.6.
3. วัสดุรองรับ (Support) สำหรับวางขึ้นตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.7.



รูปที่ 3.5. แบบหล่อขึ้นตัวอย่างเส้นผ่าศูนย์กลางกลางขนาด 10 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.6. ถาดพื้นเรียบ



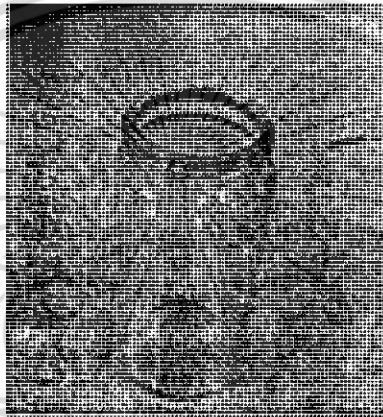
รูปที่ 3.7. วัสดุรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 ชุดอุปกรณ์ทดสอบการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage)

ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

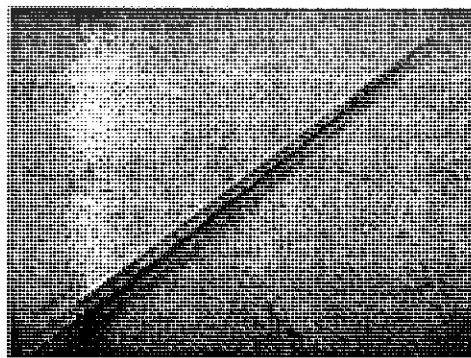
1. ขวดแก้วปากกว้าง 2.5 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.8.
2. จุกยาง ดังรูปที่ 3.9.
3. หลอดปิเปต ดังรูปที่ 3.10.
4. แผ่นฟิล์ม (Micro film)



รูปที่ 3.8. ขวดแก้วปากกว้าง 2.5 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร



รูปที่ 3.9. จุกยาง



รูปที่ 3.10. หลอดปิเปต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

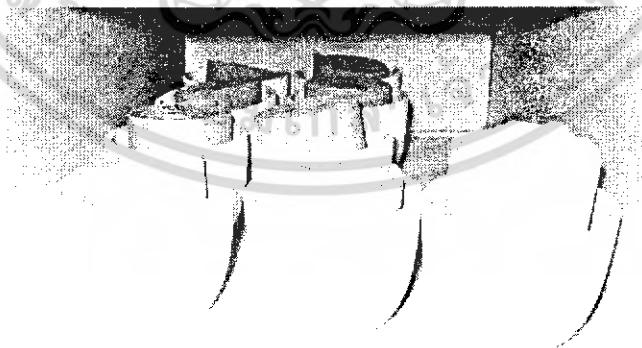
3.1.9 ชุดอุปกรณ์การทดสอบปฏิกิริยาไฮเดรชัน

ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

1. แบบหล่อขึ้นตัวอย่างเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.11.
2. ถ้วยเซรามิก ทนความร้อนสูง ดังรูปที่ 3.12.
3. เตาอบที่อุณหภูมิ 105°C ดังรูปที่ 3.13.
4. เตาอบที่อุณหภูมิ 950°C ดังรูปที่ 3.14.

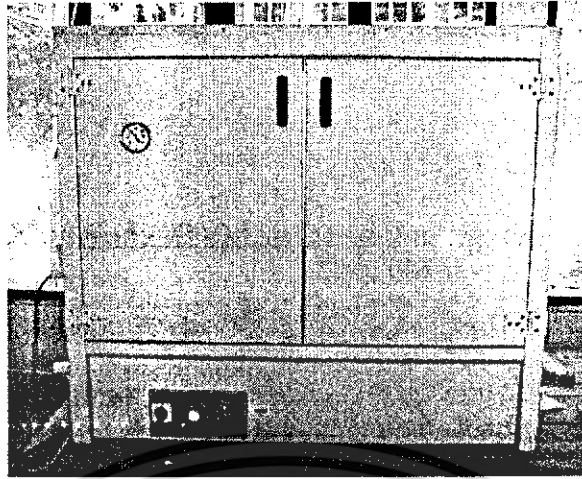


รูปที่ 3.11. แบบหล่อขึ้นตัวอย่างเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร

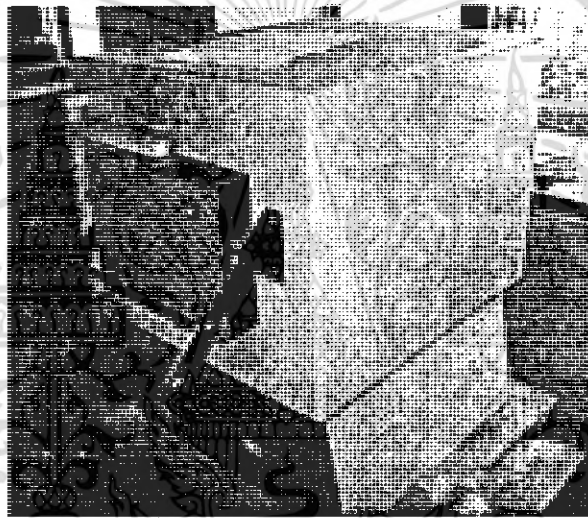


รูปที่ 3.12. ถ้วยเซรามิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



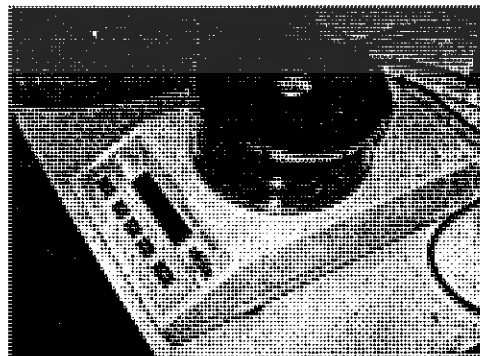
รูปที่ 3.13. เตาอบที่อุณหภูมิ 105° C



รูปที่ 3.14. เตาอบที่อุณหภูมิ 105° C

3.1.10 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.001 g

เพื่อหาน้ำหนักของชิ้นตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.15.



รูปที่ 3.15. เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.001 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 สำหรับการทดสอบหาการดูดซึม

ชั้นตัวอย่างทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และสูง 5 เซนติเมตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25 จำนวน 30 ตัวอย่าง

3.2.2 สำหรับการทดสอบปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration)

ชั้นตัวอย่างรูปทรงระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร

- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25 จำนวน 90 ตัวอย่าง
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 จำนวน 90 ตัวอย่าง
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.44 จำนวน 90 ตัวอย่าง

3.3 วิธีการทดสอบ

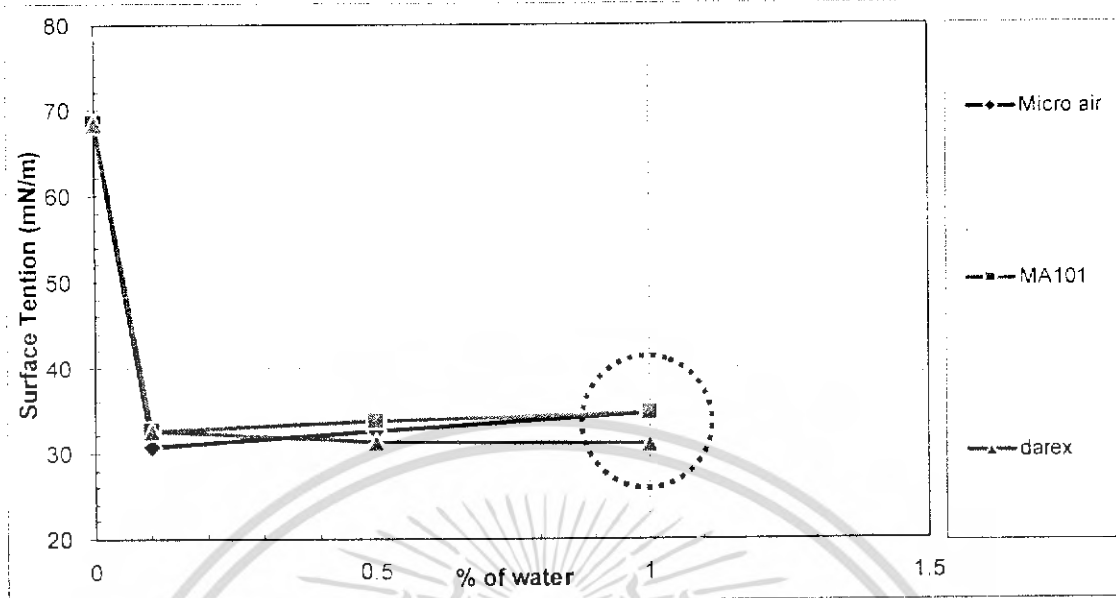
การดำเนินการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 4 การทดสอบ คือ

- 1) การทดสอบหาแรงตึงผิว(Surface Tension) ของสารกักกระจายฟองอากาศต่างๆ
- 2) การทดลองสำหรับการหาความสามารถการดูดซึมในซีเมนต์เพสต์แข็งตัว
- 3) การทดลองสำหรับการหาการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยวัดจากค่าการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage)
- 4) การทดลองสำหรับการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์เพสต์แข็งตัว ในแต่ละระดับชั้นความลึกต่างๆ

3.3.1 การทดสอบหาแรงตึงผิว(Surface Tension) ของสารกักกระจายฟองอากาศต่างๆ

การทดสอบหาแรงตึงผิวของสารกักกระจายฟองอากาศนั้นเป็นการหาเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับนำไปทดสอบการทดลองอื่นๆต่อไป โดยใช้ชุดอุปกรณ์ทดสอบแรงตึงผิว (Du Nouy surface-Tension mater) สำหรับการทดสอบกับสารกักกระจายฟองอากาศต่างๆ ที่ความเข้มข้นต่างๆและน้ำ ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารกระจายฟองอากาศต่างๆ

จากรูปที่ 3.16 พบว่าสารกระจายฟองเมื่อผสมกับน้ำจะมีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว เมื่อให้ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.1% ถึง 1% จะให้ค่าแรงตึงผิวที่ใกล้เคียงกันเท่ากับ 32 mN/m ทั้ง 3 สารกระจายฟองอากาศ ในที่นี้จึงเลือกความเข้มข้นที่ 1 % เพื่อใช้ในการทดลองอื่นๆ ต่อไป

3.3.2 การทดลองสำหรับการหาความสามารถการดูดซึมน้ำในซีเมนต์เพสต์แข็งตัว ASTM C 1585-04

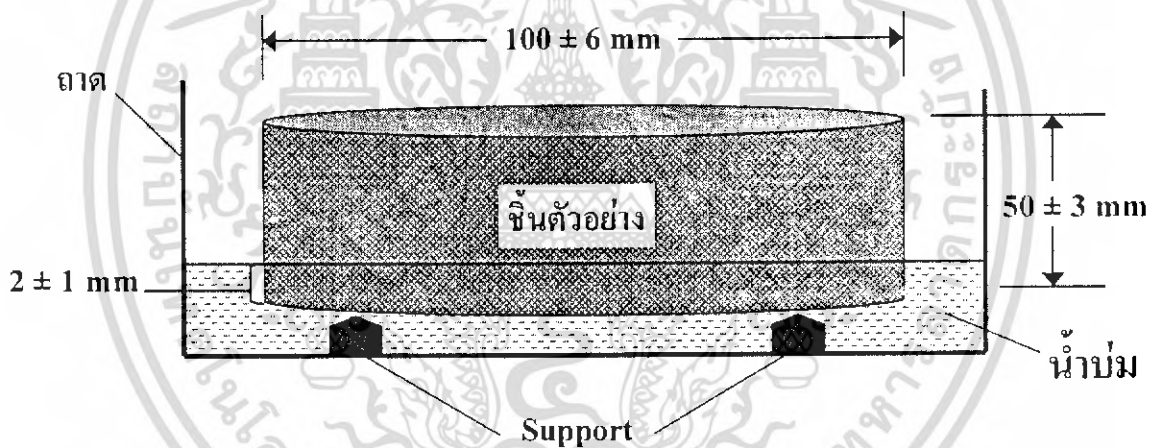
1. นำแบบหล่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และสูง 5 เซนติเมตร ทำด้านหนึ่งเป็นระบบปิด โดยการวางลงบนแผ่นไม้กระดานแล้วใช้กาวอีพอกซี ทาโดยรอบเส้นรอบวงของแบบหล่อ
2. ผสมซีเมนต์เพสต์ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 เมื่อผสมคลุกเคล้ากันดีแล้ว นำมาเทลงในแบบที่เตรียมไว้ ทำการกระทุ้ง เมื่อใส่ฟองอากาศให้หมด แล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ
3. ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงจึงถอดแบบ และเขียนหมายเลขรหัส
4. เนื่องจากต้องการพิจารณาความสามารถในการดูดซึมน้ำ ก่อนและหลังจากทำการบ่มมาแล้ว จึงเตรียมชิ้นตัวอย่างโดยทดสอบก่อนทำการบ่ม(หลังจากถอดแบบ)และทดสอบหลังจากบ่มน้ำมาแล้ว เป็นเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน
5. จากนั้นนำเข้าเตาอบ 50 ± 2 °c เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
6. หาค่าน้ำหนักตัวอย่าง โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักมีความละเอียด 0.01 g
7. ทำการวัด เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่าง 4 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย โดยมีความละเอียด 0.1 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. นำตัวอย่างไปวางในถาดพื้นเรียบ(Pan) ที่มีน้ำและถาดที่มีน้ำผสมสารกักกระจายของอากาศความเข้มข้น 1% โดยวางลงบนวัสดุรองรับให้ผิวตัวอย่างด้านหนึ่ง จมในน้ำแค่ 2 ± 1 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.17 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน
9. ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไป เป็นระยะๆ จนครบ 7 วัน
10. คำนวณหาความสามารถการดูดซึมน้ำ ได้สมการดังนี้

$$I = \frac{(\Delta mass / A)}{D} \quad (3.1)$$

- ซึ่ง
- I = ระยะทางที่ของเหลวถูกตัวอย่างดูดซึม หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
 - $\Delta mass$ = ความแตกต่างของน้ำหนักที่เปลี่ยนไปจากน้ำหนักเริ่มต้น หน่วยเป็นกรัม (g)
 - A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นตัวอย่าง หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (mm^2)
 - D = ความหนาแน่นของน้ำ หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร (g/mm^3)



รูปที่ 3.17. แสดงชิ้นตัวอย่างในการทดสอบหาความสามารถการดูดซึมน้ำ

3.3.3 การทดลองสำหรับการหาการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยวัดจากการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage)

1. นำขวดแก้วปากกว้าง 2.5 เซนติเมตร และสูง 7 เซนติเมตร ไปชั่งน้ำหนัก (M_1) ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 0.001 g
2. ผสมซีเมนต์เพสต์ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25, 0.30, และ 0.44 เมื่อผสมคลุกเคล้ากันดีแล้ว นำมาใส่ในขวดแก้ว โดยให้ซีเมนต์เพสต์สูงจากก้นขวดแก้วแค่ 2 เซนติเมตร ทำการชั่งน้ำหนัก (M_2)
3. ทำการเทน้ำลงขวดแก้วอย่างช้าๆ จนเต็มขวดแก้ว และทำการเทน้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ ความเข้มข้น 1% ลงขวดแก้วอีกขวด เพื่อทำการเปรียบเทียบกัน
4. นำจุกยางมาปิดให้สนิท ซึ่งจุกยางนี้จะเจาะรูตรงกลางจุกยางเพื่อใส่หลอดปิเปตเข้าไปในจุกยาง
5. หลังจากปิดจุกยางเรียบร้อยแล้ว น้ำจะดันขึ้นมาในหลอดปิเปต ทำการอุดรูอากาศรอบๆ จุกยางด้วยกาว เพื่อให้เป็นระบบปิด
6. ทำการปิดปากหลอดปิเปต ด้วยแผ่นฟิล์ม (Micro film) เพื่อไม่ให้น้ำในหลอดปิเปต ระบายออกไป ดังรูปที่ 3.18.
7. ทำการจดค่าระดับน้ำในหลอดปิเปตที่ลดลง เป็นระยะๆ ทุกๆ วันจนครบ 28 วัน
8. คำนวณหาค่าการหดตัวทางเคมี ได้สมการดังนี้

$$V_p = \frac{(M_2 - M_1) \times (w/c) / D_w + 1 / D_c}{(w/c) + 1} \quad (3.2)$$

ซึ่ง V_p = ปริมาตรของซีเมนต์เพสต์ในขวดแก้ว หน่วยเป็นมิลลิลิตร (mL)

M_1 = น้ำหนักของขวดแก้ว หน่วยเป็นกรัม (g)

M_2 = น้ำหนักซีเมนต์เพสต์และขวดแก้ว หน่วยเป็นกรัม (g)

w/c = อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

D_w = ความหนาแน่นของน้ำ หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร (g/mm^3)

D_c = ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3)

$$Shy = \frac{H_n - H_o}{V_p} \times 100 \quad (3.3)$$

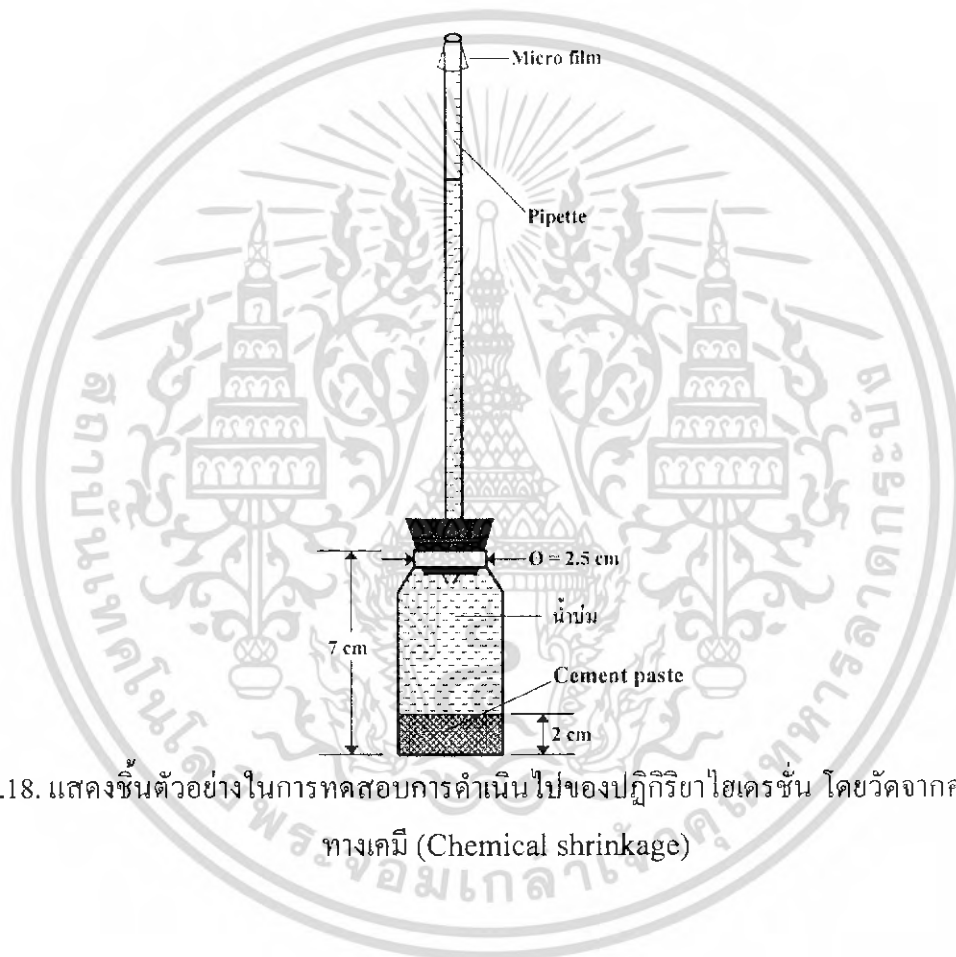
ซึ่ง Shy = ค่าการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) ที่ระยะเวลาต่างๆ

H_n = ระดับน้ำที่จุดเริ่มจับเวลา หน่วยเป็นมิลลิลิตร (mL)

H_o = ระดับน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ หน่วยเป็นมิลลิลิตร (mL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ทำการพล็อตกราฟระหว่างค่า Shy ในแนวแกน y และระยะเวลาในแนวแกน x หาสมการเส้นแนวโน้มของกราฟนี้
10. ทำการแทนค่าในสมการ โดยสมมุติให้ค่าในแกน x เป็นระยะเวลาที่เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ เพื่อหาค่าในแกน y เป็นการเกิดปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) ได้อย่างสมบูรณ์ซึ่งก็คือค่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน ที่ 100% เช่นกัน
11. นำค่าที่ได้ไปการเปรียบเทียบค่า Shy. ที่ระยะเวลาต่างๆ เป็นการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration)



รูปที่ 3.18. แสดงขั้นตอนตัวอย่างในการทดสอบการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยวัดจากค่าการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การทดลองสำหรับการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์เพสต์แข็งตัว ในแต่ละระดับชั้นความลึกต่างๆ (Penetration)

1. ทำหลอดพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และสูง 40 เซนติเมตร ให้ด้านหนึ่งของหลอดพลาสติกเป็นระบบปิด
2. ผสมซีเมนต์เพสต์ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25, 0.30 และ 0.44 บรรจุในหลอดพลาสติก โดยเทที่ละ 5 เซนติเมตรและทำการกระทุ้ง จนถึงความสูง 30 เซนติเมตร จากนั้นทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. ทำการบ่มด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้
 - น้ำบริสุทธิ์
 - น้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ MA 101 ความเข้มข้น 1%
 - น้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air ความเข้มข้น 1%
 - น้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ Darex ความเข้มข้น 1%
 - ผังอากาศโดยเทน้ำบ่มที่ผิวบนของชิ้นตัวอย่างในปริมาณที่เพียงพอตลอดระยะเวลาการบ่ม
4. ระยะเวลาการบ่มชิ้นตัวอย่าง เป็นเวลา 3, 5, 7, 14, และ 28 วัน
5. เมื่อครบกำหนดระยะเวลาการบ่ม นำชิ้นตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่ออกมาตัดเป็น 6 ส่วน ขนาดเท่าๆกัน ที่ความสูงประมาณ 5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.19.
6. นำชิ้นตัวอย่างทั้ง 6 ส่วน ไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งน้ำหนัก ($M_{105^{\circ}\text{C}}$)
7. จากนั้นนำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งน้ำหนัก ($M_{950^{\circ}\text{C}}$)
8. คำนวณหาค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชัน ได้สมการดังนี้

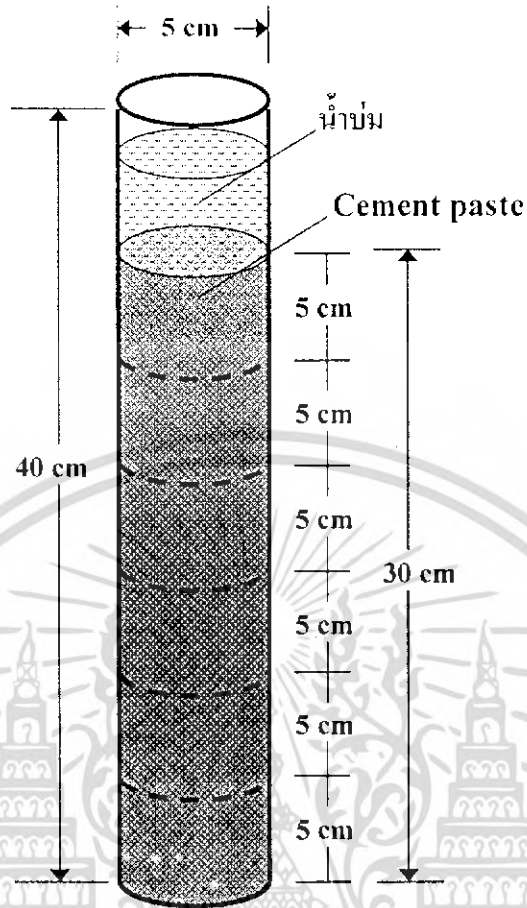
$$\text{Degree of Hydration} = \frac{M_{105^{\circ}\text{C}} - M_{950^{\circ}\text{C}}}{M_{950^{\circ}\text{C}}} \times \frac{100}{23} \quad (3.4)$$

ซึ่ง Degree of Hydration = ค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชัน หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

$M_{105^{\circ}\text{C}}$ = น้ำหนักชิ้นตัวอย่างหลังจากเข้าเตาอบที่ 105 องศาเซลเซียส หน่วยเป็นกรัม (g)

$M_{950^{\circ}\text{C}}$ = น้ำหนักชิ้นตัวอย่างหลังจากเข้าเตาอบที่ 950 องศาเซลเซียส หน่วยเป็นกรัม (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19. แสดงชั้นตัวอย่างในการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์เพื่อหาความลึกต่างๆ (Penetration)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1. กล่าวนำ

ในการศึกษาเพื่อจะได้ทราบพฤติกรรมของสารละลายลดแรงดึงผิวเมื่อใช้ในการบ่มคอนกรีตที่ได้รับการบ่มในสภาวะต่าง ๆ กัน โดยการแบ่งผลการทดสอบออกเป็น 3 การทดสอบ

1. การทดลองสำหรับการหาความสามารถการดูดซึมในซีเมนต์เพสต์แข็งตัว
2. การทดลองสำหรับการหาค่าเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยวัดจากค่าการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage)
3. การทดลองสำหรับการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์เพสต์แข็งตัว ในแต่ละระดับชั้นความลึกต่างๆ (Penetration)

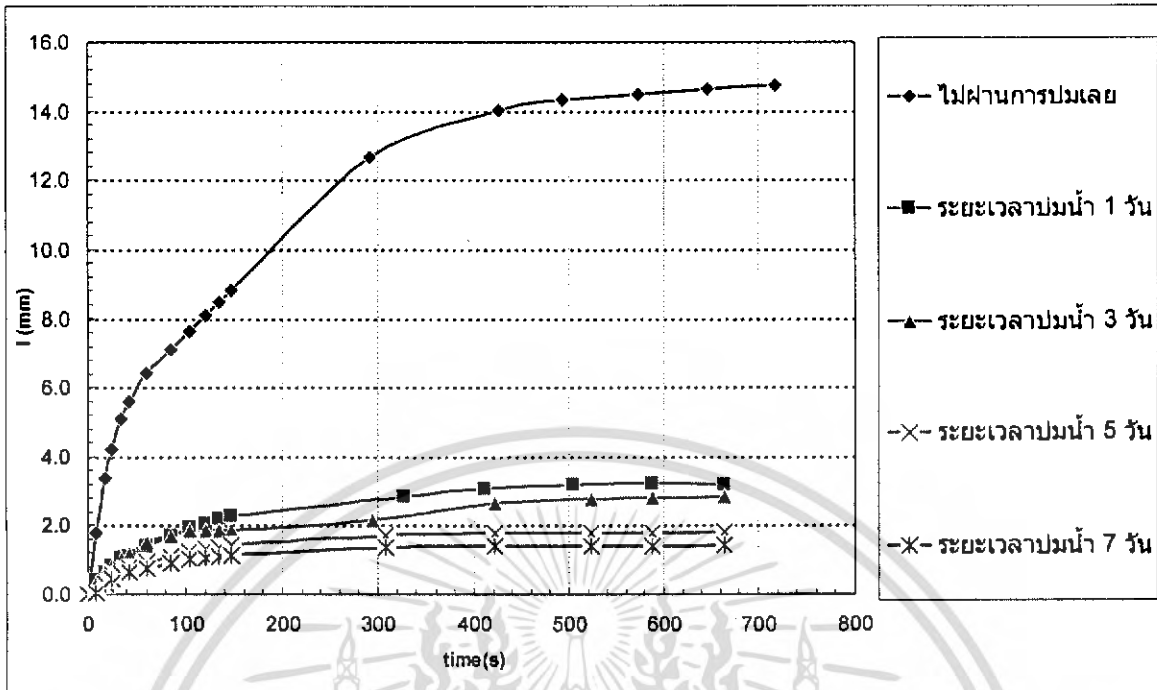
4.2 ผลการทดสอบสำหรับการหาความสามารถการดูดซึมในซีเมนต์เพสต์แข็งตัว

การวัดค่าการดูดซึมของซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว เป็นการวัดน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ที่เพิ่มขึ้นหลังจากขึ้นตัวอย่างได้สัมผัสน้ำแล้ว ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเกิดจากมีน้ำหนักของน้ำบ่มถูกดูดซึมเข้าไป เมื่อทำการบ่มไปเป็นเวลานานๆ น้ำบ่มที่ถูกดูดซึมจะมากขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่ไม่สามารถดูดซึมได้อีก น้ำหนักของขึ้นตัวอย่างก็จะคงที่

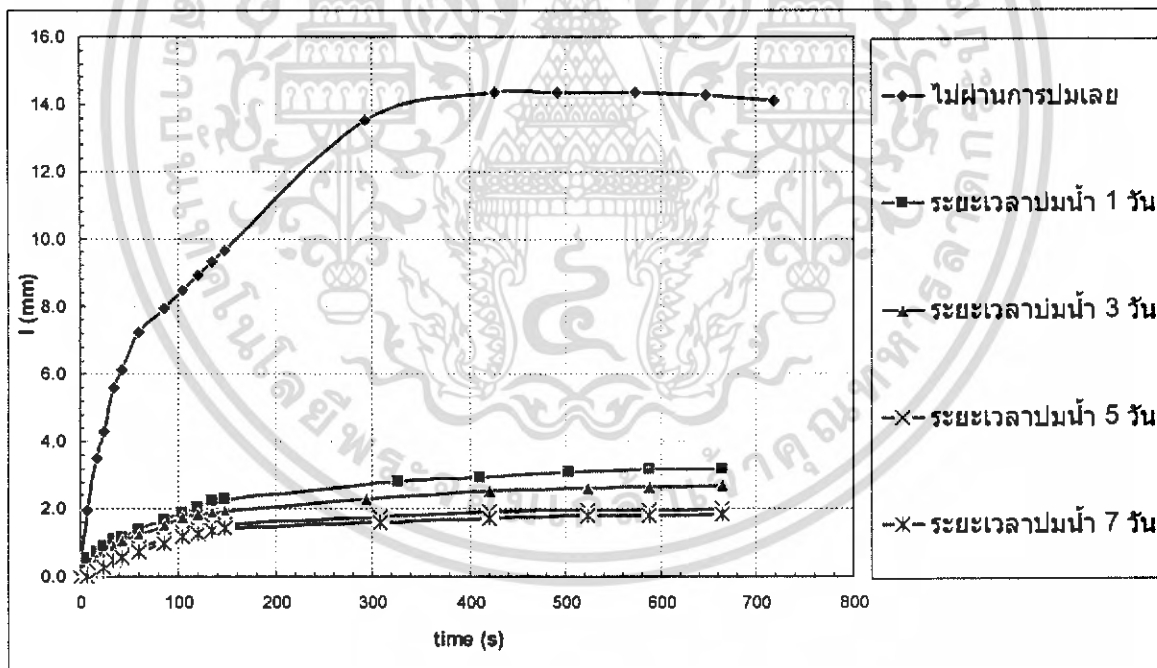
ในการทดสอบจะเป็นการทดสอบให้น้ำบ่มสัมผัสผิวของขึ้นตัวอย่างเพียงด้านเดียว เพื่อให้เหมือนกับสภาพการบ่มจริงที่หน้างาน ซึ่งค่าการดูดซึมที่จะได้เป็นการคำนวณหาระยะที่น้ำบ่มถูกดูดซึมขึ้นไปในขึ้นตัวอย่าง ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 1585-04 และน้ำบ่มที่ใช้ทดสอบคือ น้ำกับน้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

สภาพของขึ้นตัวอย่างจะเลือกใช้ขึ้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.3 ซึ่งมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอให้เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ เพื่อแสดงให้เห็นค่าการดูดซึมได้อย่างชัดเจน และก่อนที่ขึ้นตัวอย่างจะนำมาทดสอบ จะนำไปบ่มในน้ำปรกติ เพื่อหาค่าการดูดซึมเปรียบเทียบระหว่างน้ำและน้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ ว่าสารใดที่ยังสามารถดูดซึมเข้าไปในขึ้นตัวอย่างได้มากกว่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะดูดซึมกับระยะเวลา ของชั้นตัวอย่างที่ทดสอบกับน้ำ

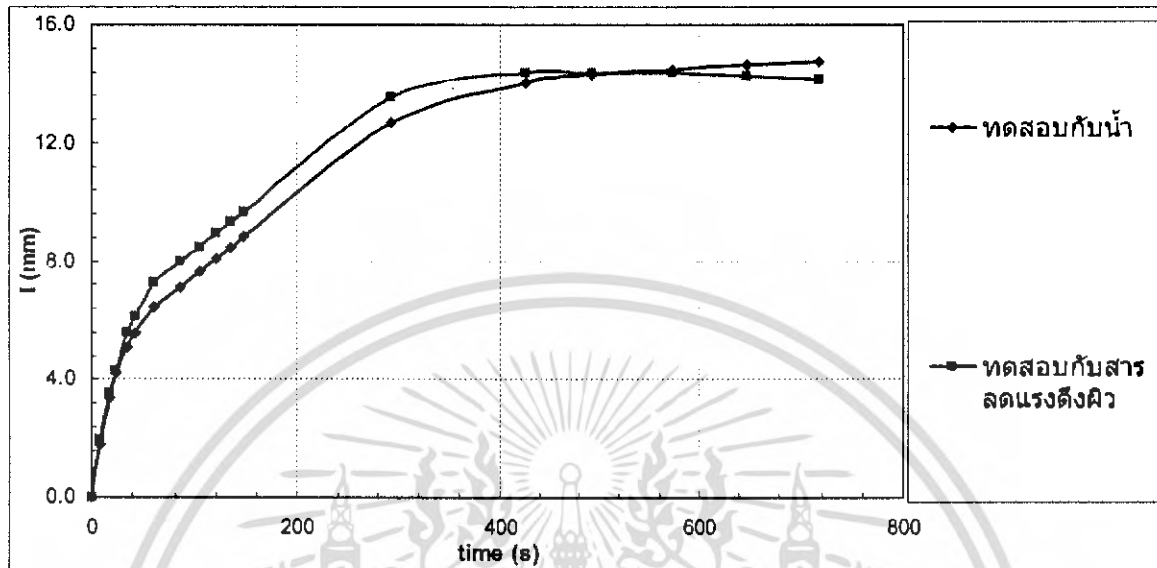


รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะดูดซึมกับระยะเวลา ของชั้นตัวอย่างที่ทดสอบกับน้ำผสมสาร กักกระจายฟองอากาศ

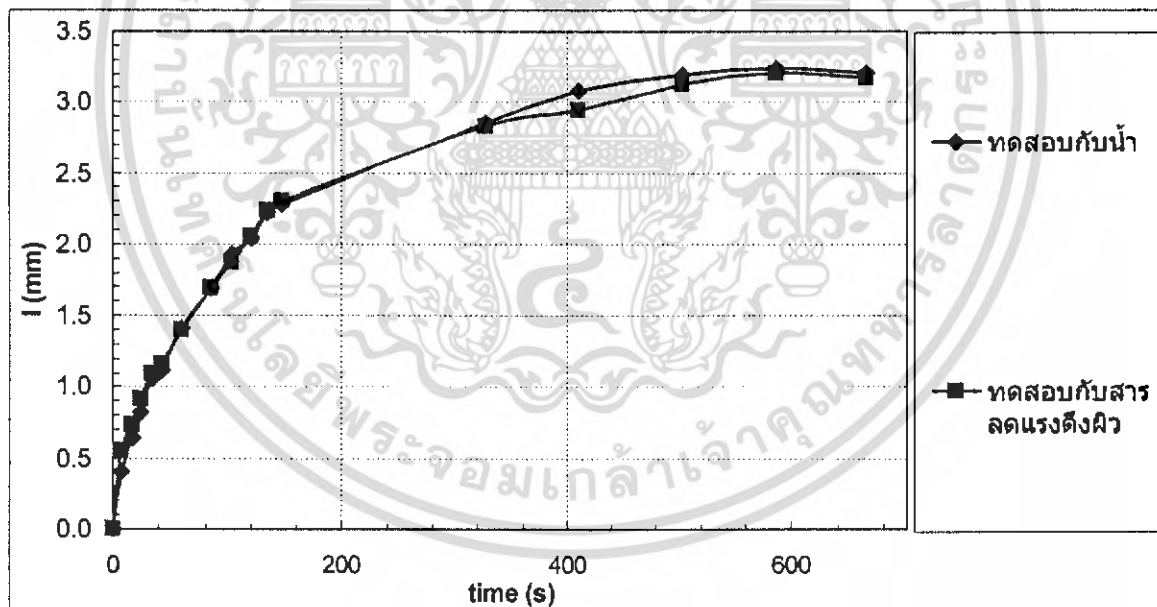
จากรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 จะพบว่าอัตราการดูดซึมจะมากในช่วงเวลาแรกๆ จากนั้นจะลดน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งชั้นตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการบ่มมาก่อน(หลังถอดแบบ) จะมีอัตราการดูดซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สูงมาก มากกว่าชั้นตัวอย่างที่ทำการบ่มมาก่อน และในชั้นตัวอย่างที่ทำการบ่มมาไม่นานจะมีอัตราการดูดซึ่มสูงกว่าชั้นตัวอย่างที่ทำการบ่มมานานกว่า

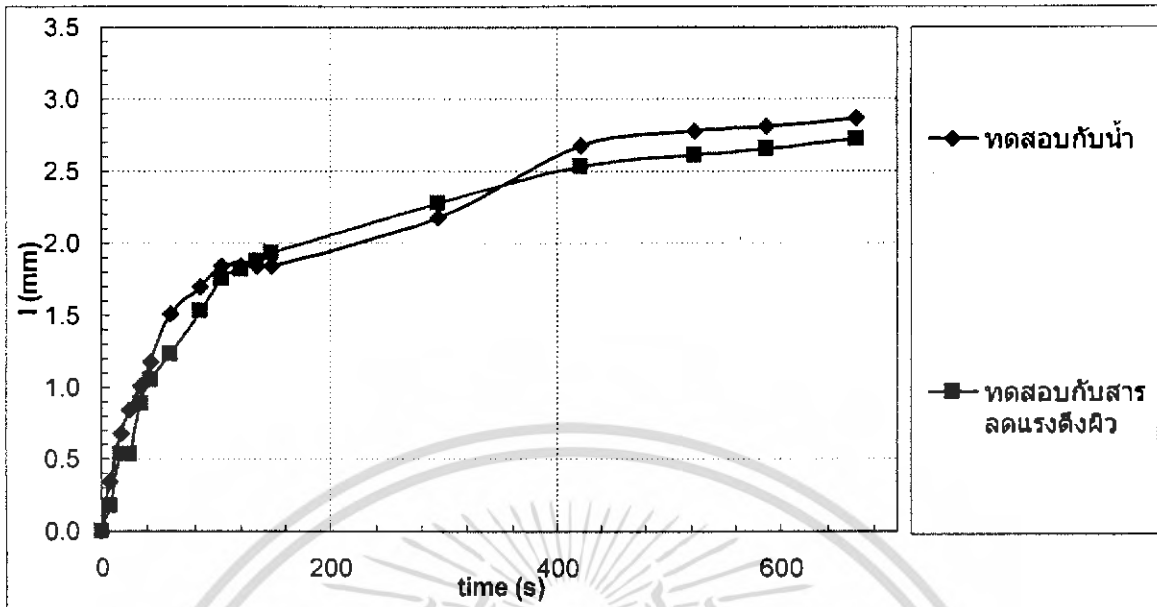


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะดูดซึ่มกับระยะเวลา ของชั้นตัวอย่างที่ไม่ทำการบ่ม(หลังจากถอดแบบ)

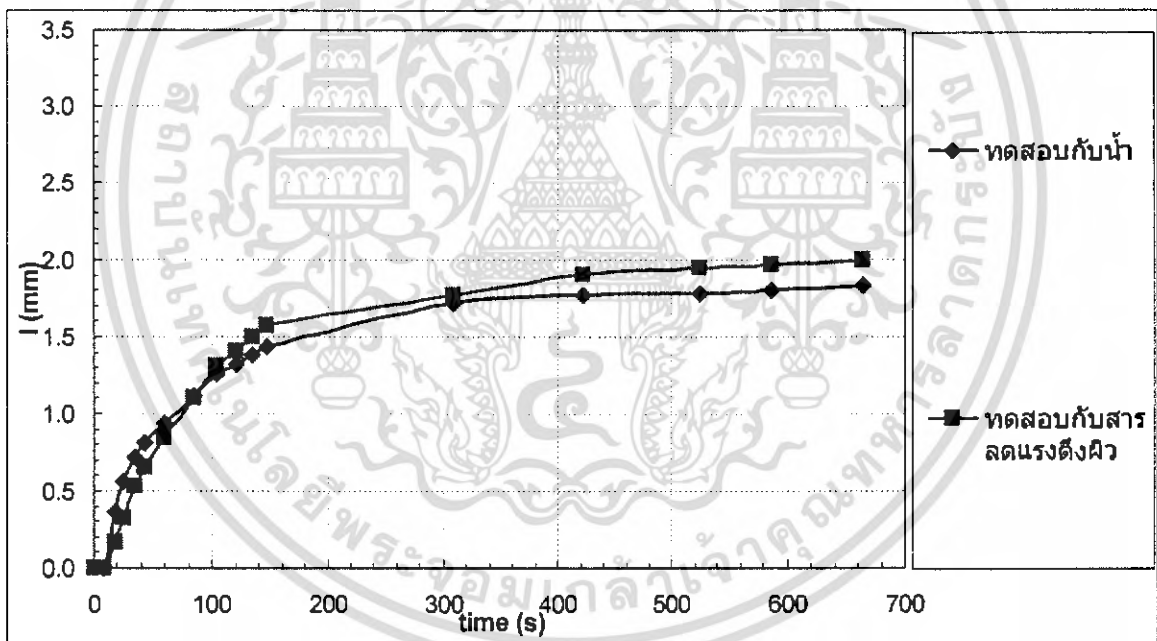


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะดูดซึ่มกับระยะเวลา ของชั้นตัวอย่างที่ผ่านการบ่มน้ำมาก่อน 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

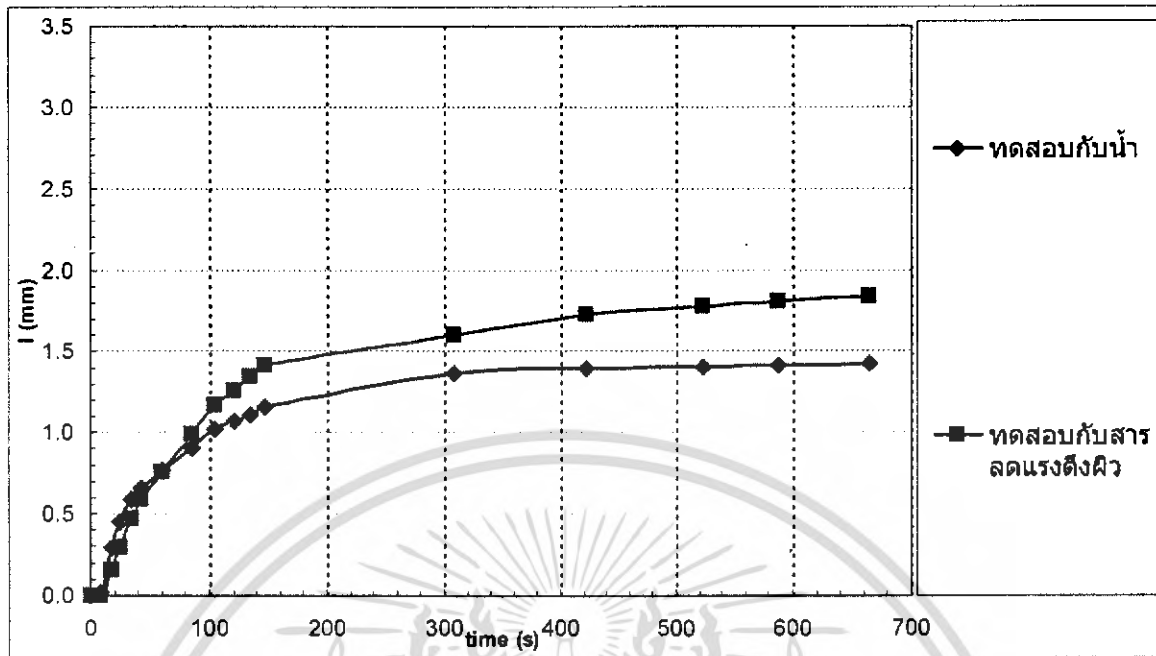


รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะดูดซึมกับระยะเวลา ของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการบ่มน้ำมาก่อน 3 วัน



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะดูดซึมกับระยะเวลา ของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการบ่มน้ำมาก่อน 5 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะดูดซึ่มกับระยะเวลา ของชั้นตัวอย่างที่ผ่านการบ่มน้ำมาก่อน 7 วัน

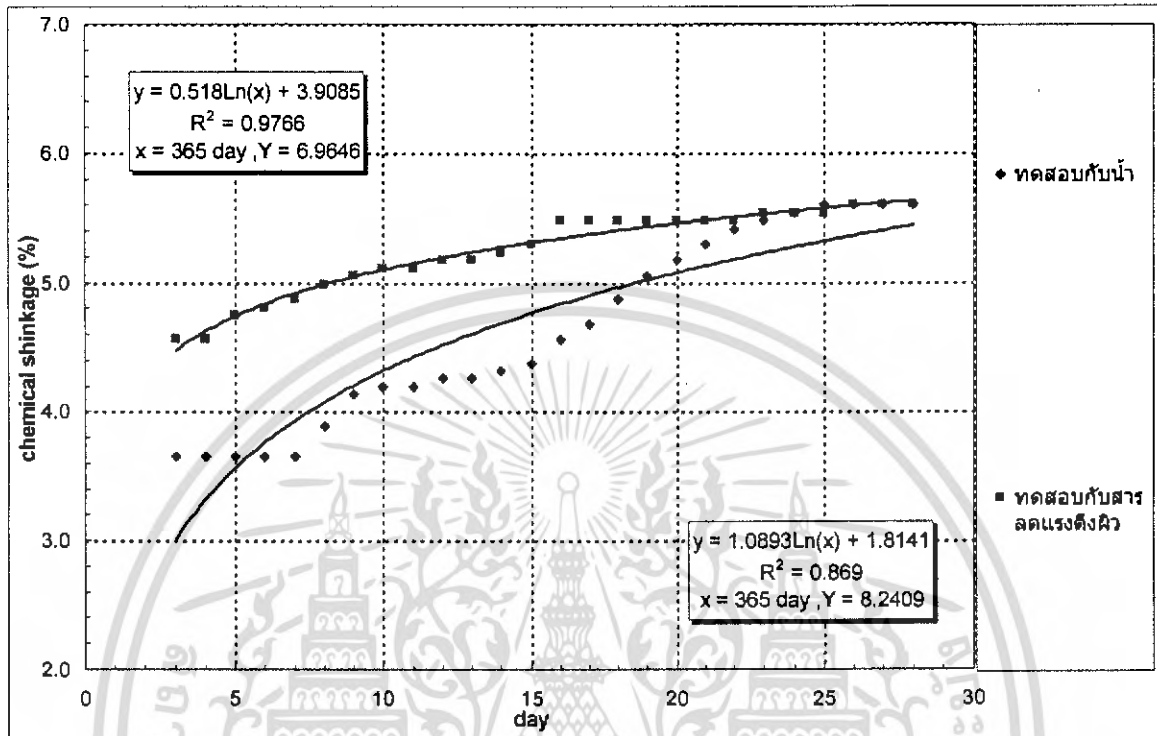
จากรูปที่ 4.3-4.7 จะพบว่าการทดสอบกับน้ำเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิว ในชั้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการบ่มมาก่อน(หลังถอดแบบ) จะให้อัตราการดูดซึ่มที่สูงใกล้เคียงกัน แต่เมื่อชั้นตัวอย่างผ่านการบ่มมาแล้ว 5-7 วัน ชั้นตัวอย่างที่ทดสอบกับสารลดแรงตึงผิวมีแนวโน้มที่อัตราการดูดซึ่มที่สูงขึ้นกว่า ซึ่งจะเห็นได้ชัดในรูปที่ 4.7

4.3 ผลการทดลองสำหรับการหาการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยวัดจากค่าการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage)

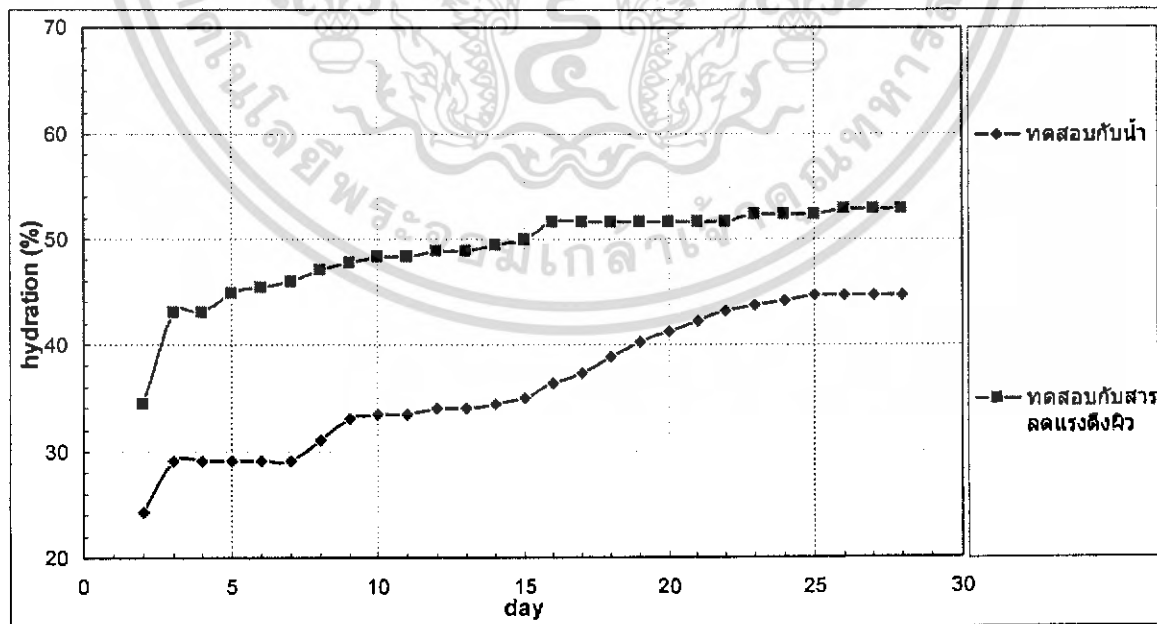
การวัดการเกิดปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) เป็นการวัดการหดตัวของชั้นตัวอย่าง อันเป็นเพราะปริมาณมวลรวมของของเหลวและของแข็งก่อนเกิดปฏิกิริยา มีปริมาณที่ลดลงหลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้ว ซึ่งปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) ที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับปฏิกิริยาไฮเดรชัน จึงสามารถนำไปคำนวณการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชันได้อีกด้วย

ในการทดสอบจะเป็นการนำค่าระดับน้ำในหลอดปิเปตที่ลดลง ซึ่งค่าของระดับน้ำที่ลดลงนั้น จะนำไปคำนวณการเกิดปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) ได้ หลังจากทำการบันทึกข้อมูลจนครบ 28 วัน ก็จะหาค่าการเกิดปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) สูงสุดได้ ซึ่งค่านี้จะนำไปเทียบกับการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ที่ 100 % ได้และจะหาการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน

สภาพของซึ้นตัวอย่างจะเลือกใช้ซึ้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25, 0.30 ซึ่งมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอให้เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ และ 0.44 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

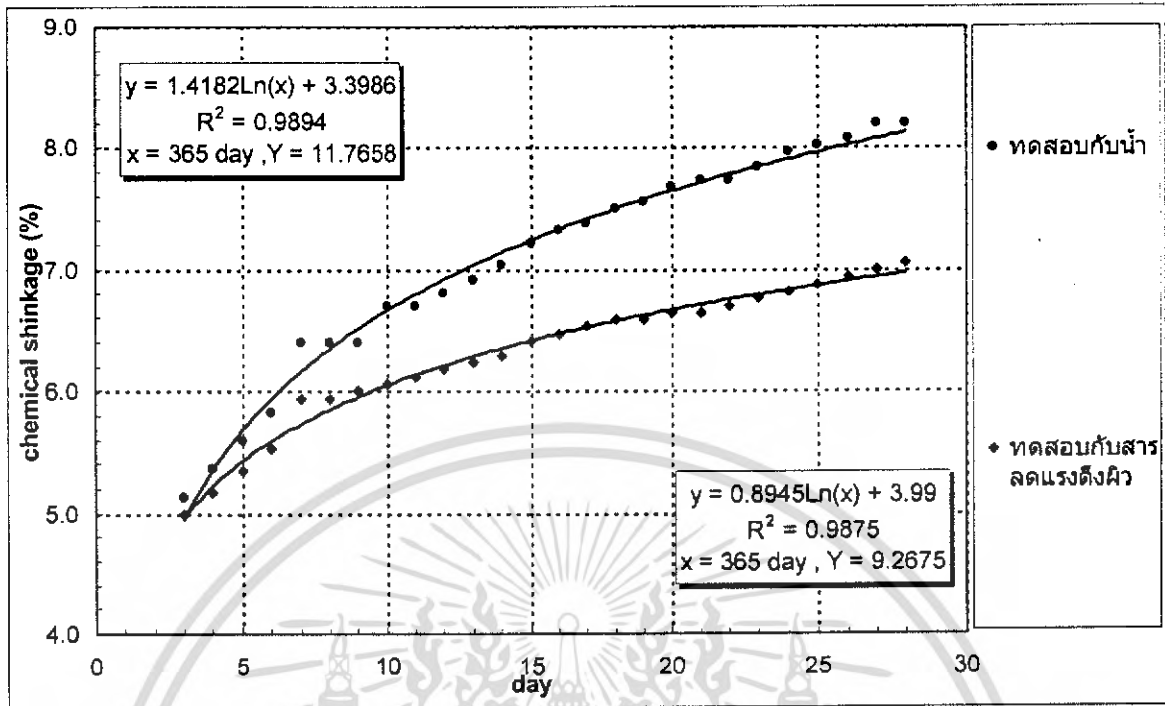


รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) กับระยะเวลาของซึ้นตัวอย่าง w/c 0.25

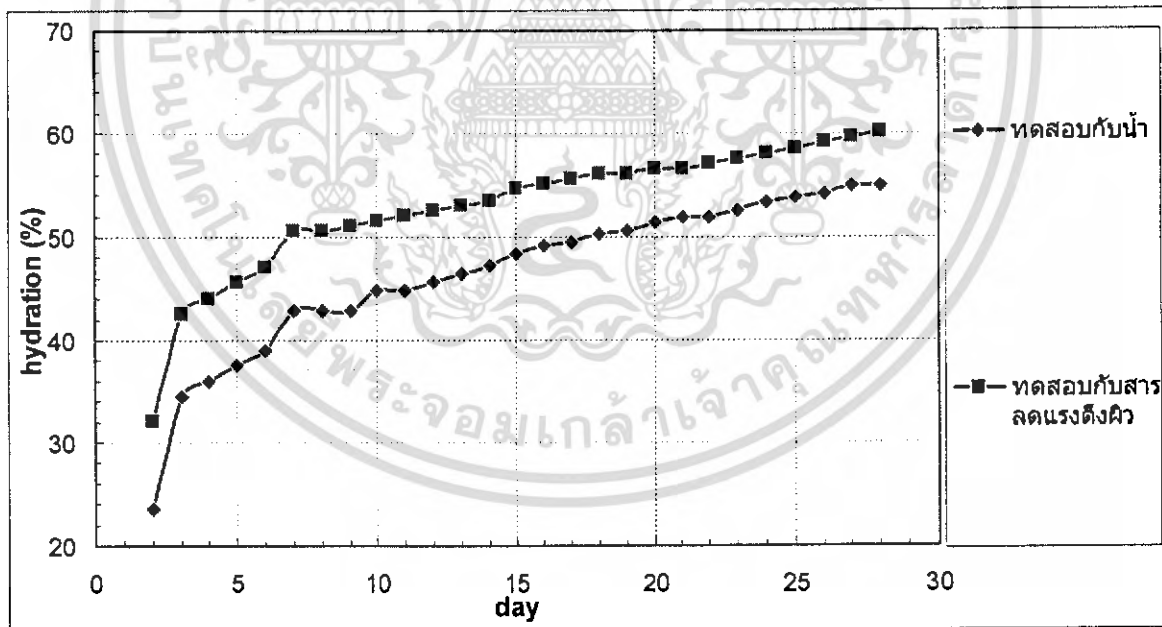


รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชัน กับระยะเวลาของซึ้นตัวอย่าง w/c 0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

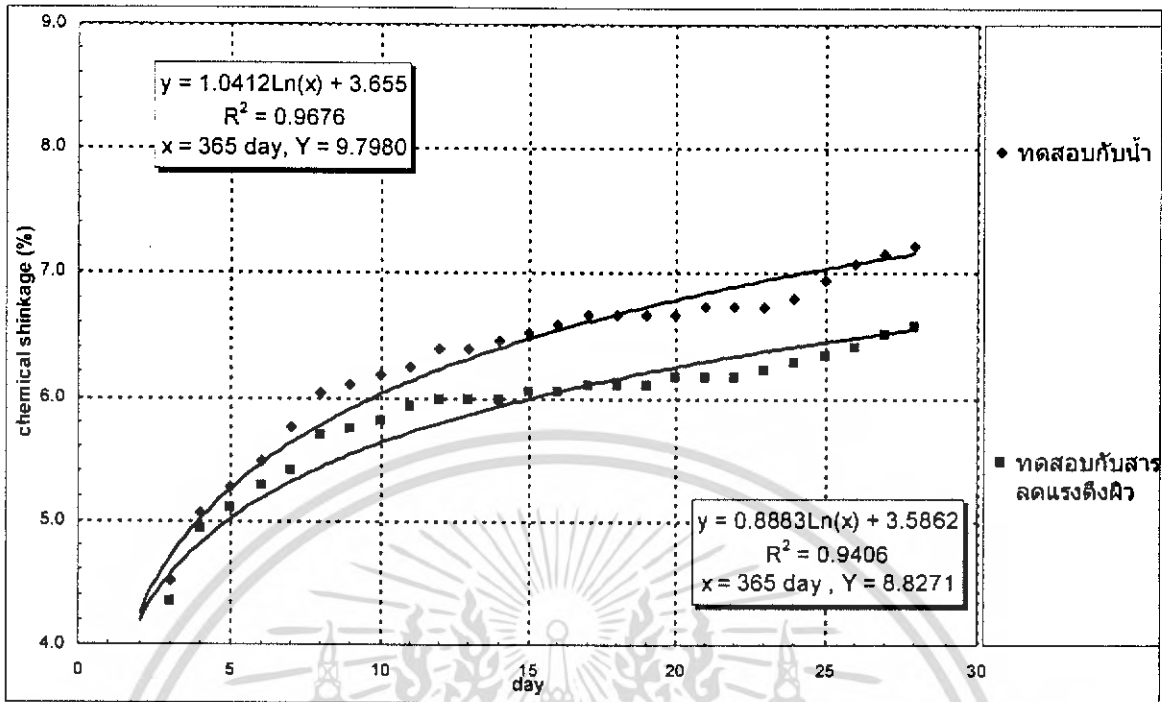


รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) กับระยะเวลา ของชั้นตัวอย่าง w/c 0.30

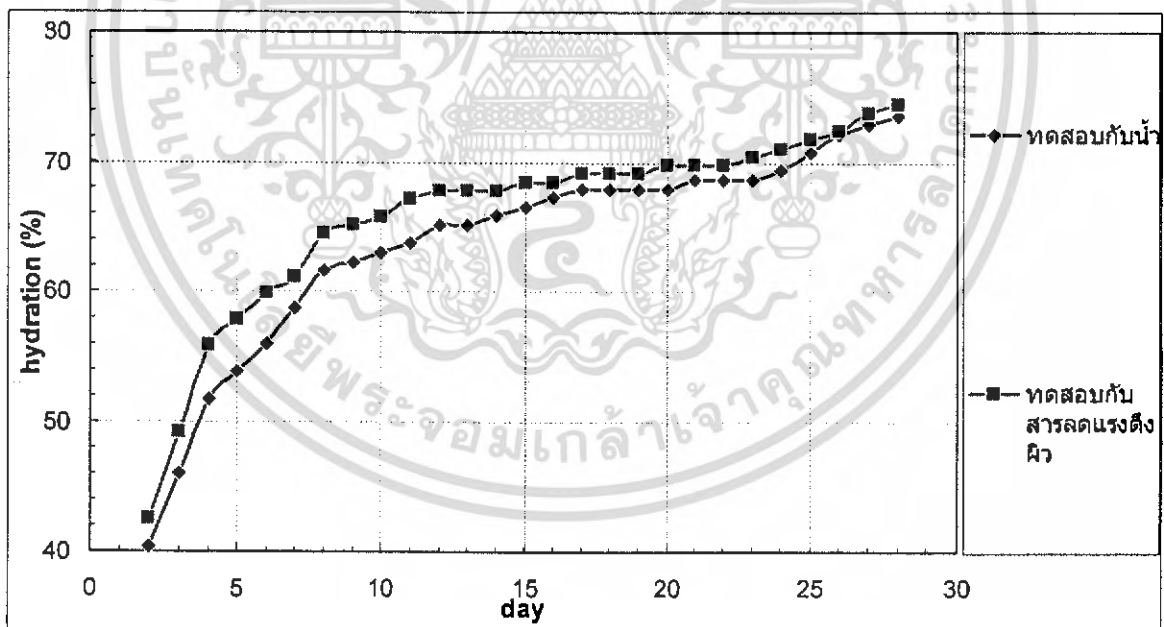


รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชัน กับระยะเวลา ของชั้นตัวอย่าง w/c 0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) กับระยะเวลา ของชิ้นตัวอย่าง w/c 0.44



รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชัน กับระยะเวลา ของชิ้นตัวอย่าง w/c 0.44

จากรูปที่ 4.8-4.13 จะพบว่า ในช่วงแรก ชิ้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25 จะเกิดปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) ขึ้นมากกว่า ชิ้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูงกว่า แต่เมื่อเวลาผ่านไปกลับให้กำเนิดปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

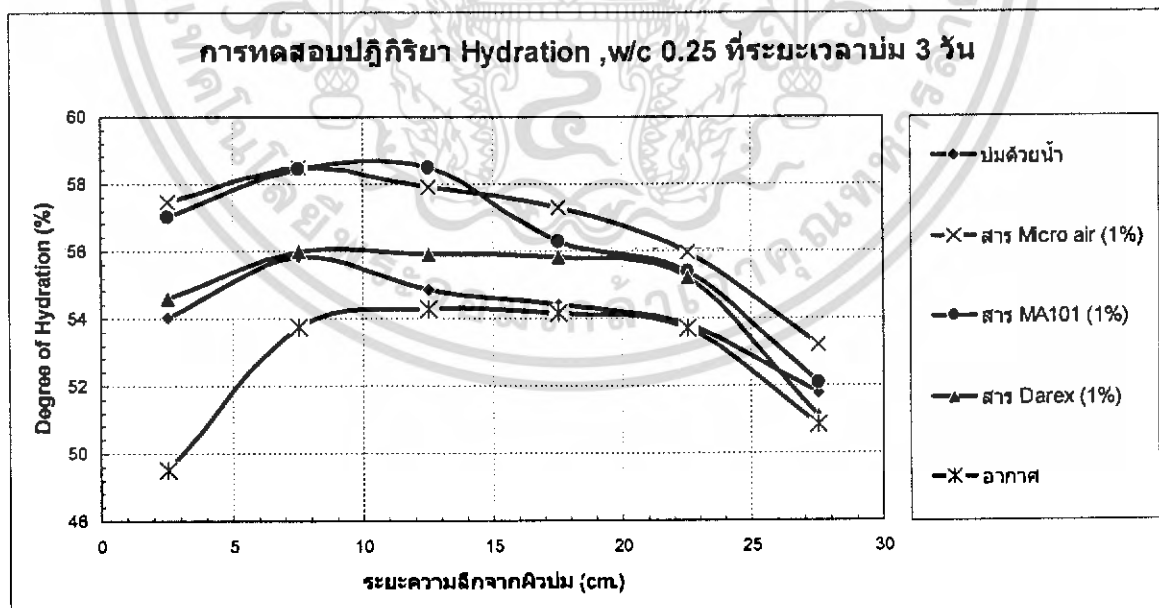
น้อยกว่า และจากการทดสอบกับน้ำเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิว พบว่า การเกิดปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) ของสารลดแรงตึงผิวจะมีแนวโน้มที่เกิดขึ้นมากกว่าและต่อเนื่องมากกว่า ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันกว่ามากในช่วงเวลาแรกๆ ซึ่งจะเห็นได้ชัดในชั้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ ดังรูปที่ 4.9

4.4 ผลการทดลองปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ

การวัดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ เป็นการวัดการแพร่ของน้ำบ่มลงไป ในชั้นความลึกต่างๆ ซึ่งการแพร่ของน้ำบ่มนั้นจะมีผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันดำเนินต่อไป หากน้ำบ่มมีคุณสมบัติที่สามารถแพร่ได้ดีแล้วก็จะทำให้ชั้นตัวอย่างนั้นเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันทั่วทั้งชิ้นตัวอย่าง

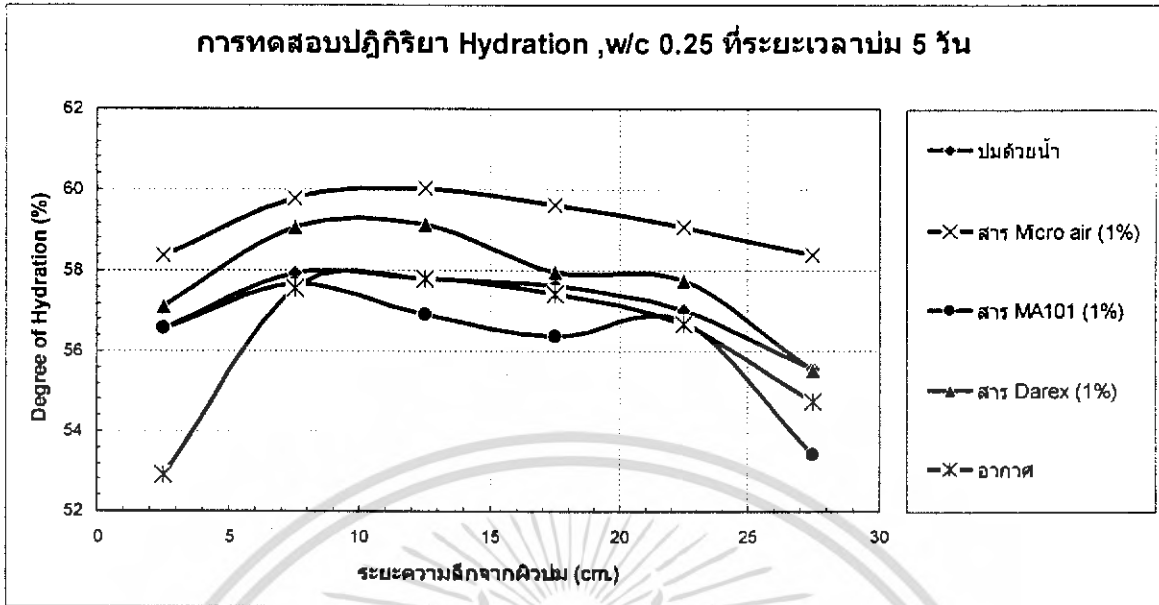
ในการทดสอบจะเป็นการหาน้ำหนักที่หายไปของชิ้นตัวอย่างหลังจากผ่านการอบแล้ว ซึ่งค่าน้ำหนักที่หายไปจะนำไปคำนวณหาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในชั้นตัวอย่างนั้น โดยมีระยะเวลาในการบ่มที่ 3, 5, 7, 14, และ 28 วัน และวิธีที่ใช้บ่มทดสอบคือ น้ำ, สารลดแรงตึงผิว(น้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ) และผงในอากาศ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

สภาพของชิ้นตัวอย่างจะเลือกใช้ชิ้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25, 0.30 ซึ่งมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอให้เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ และ 0.44 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

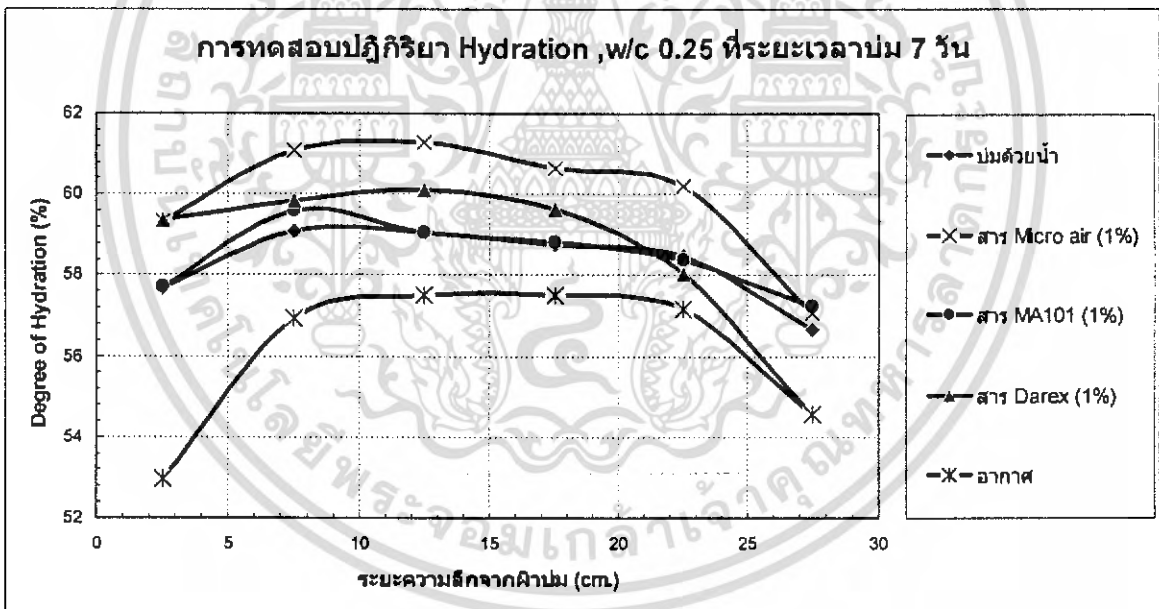


รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.25 ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

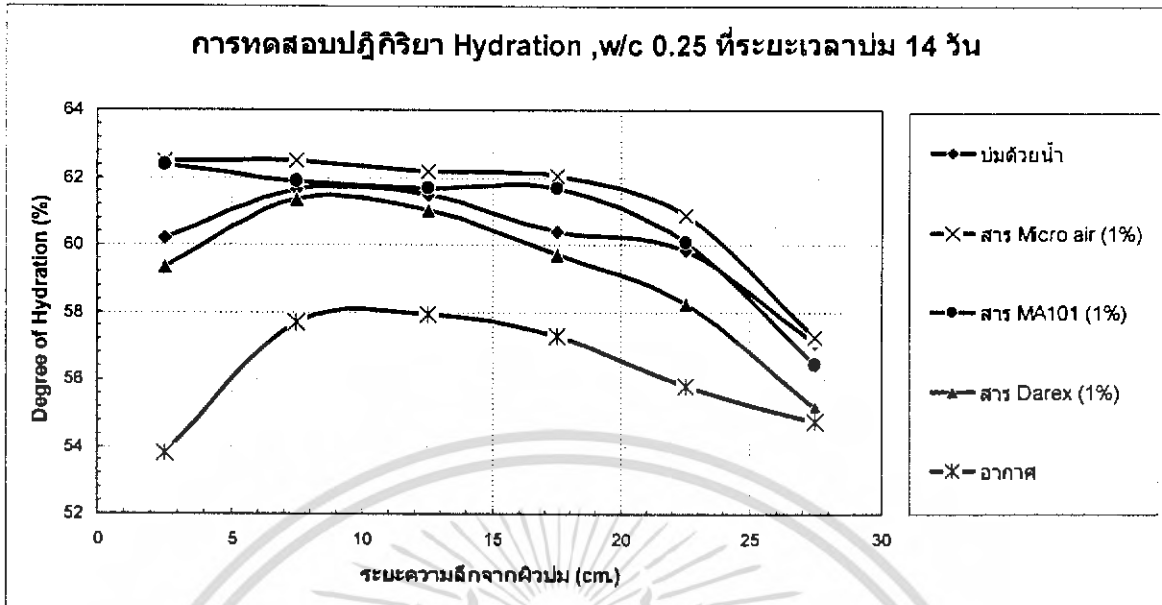


รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.25 ที่ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน

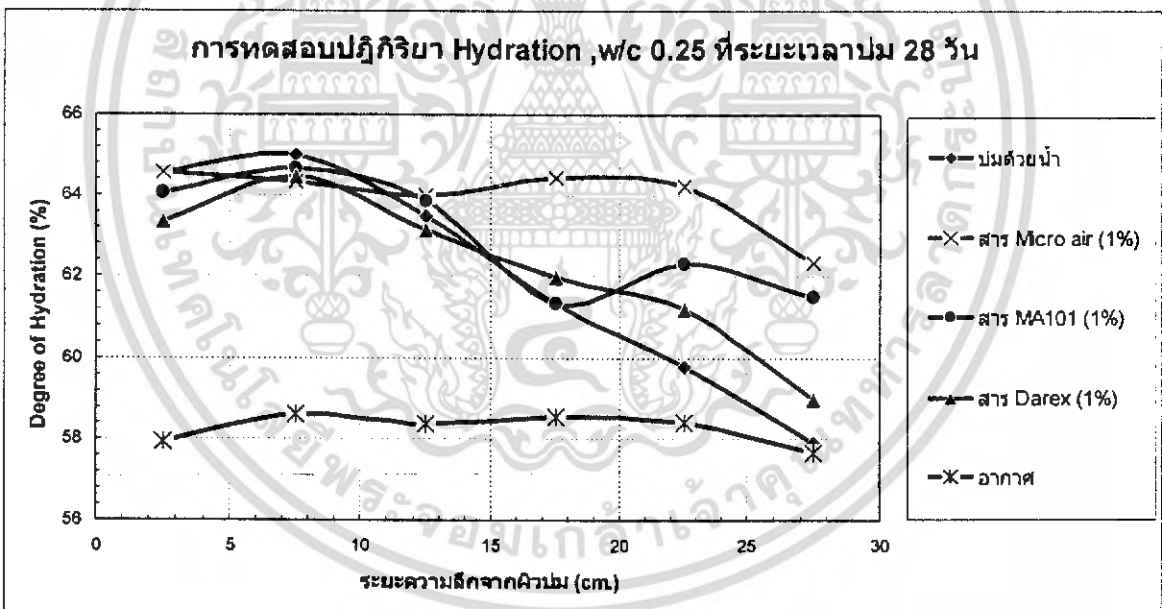


รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.25 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.25 ที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน

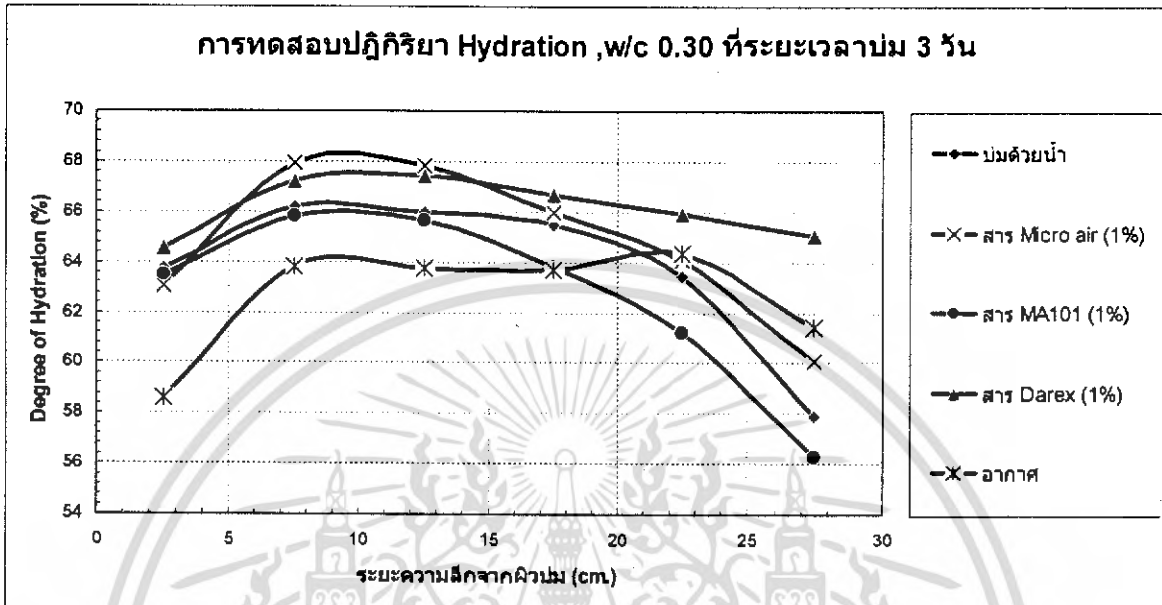


รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.25 ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

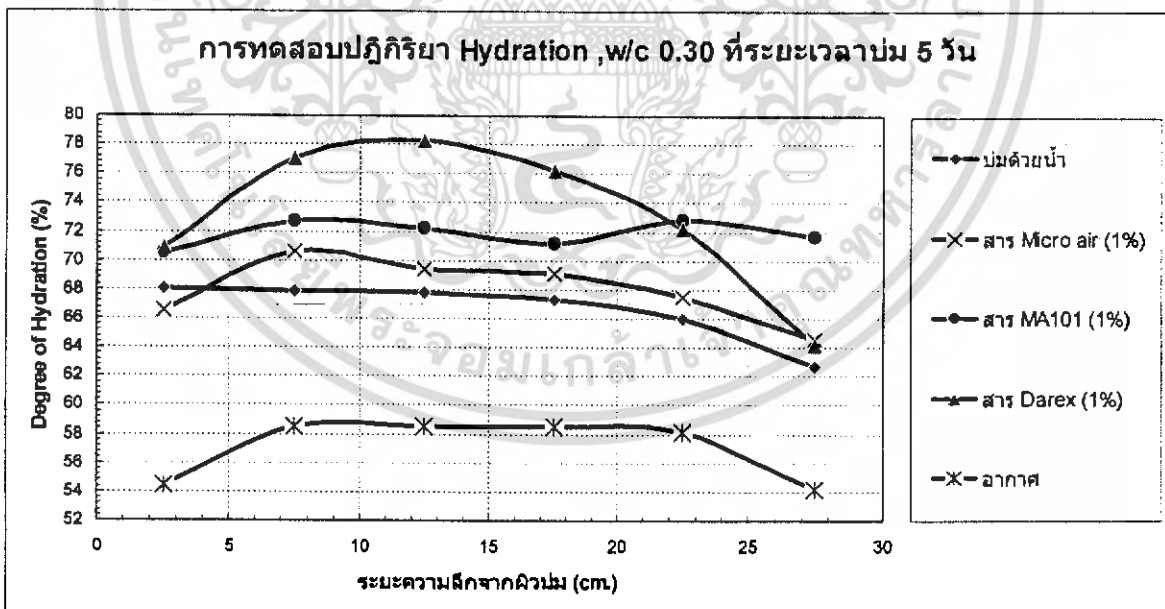
จากรูปที่ 4.14-4.18 จะพบว่าชั้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25 เมื่อทำการบ่ม จะช่วยเพิ่มปฏิกิริยาไฮเดรชันขึ้นมาก และการบ่มด้วยน้ำบ่มต่างๆ ในช่วง 3-5 วันปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ผิวบนจะมากกว่าที่ผิวล่างของชั้นตัวอย่าง ซึ่งสารลดแรงตึงผิวเกือบทั้งหมดจะให้ค่าปฏิกิริยาไฮเดรชันที่มากกว่าน้ำ และเมื่อชั้นตัวอย่างบ่มนานกว่านั้น การบ่มด้วยสารลดแรงตึงผิวจะมีแนวโน้มที่ให้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาไฮเดรชันที่มากตลอดทั้งความลึกชั้นตัวอย่าง ขณะที่การบ่มด้วยน้ำจะให้ค่าปฏิกิริยาไฮเดรชันที่
 ค่อยๆ น้อยลงจากผิวบนที่ทำการบ่ม ดังรูปที่ 4.18

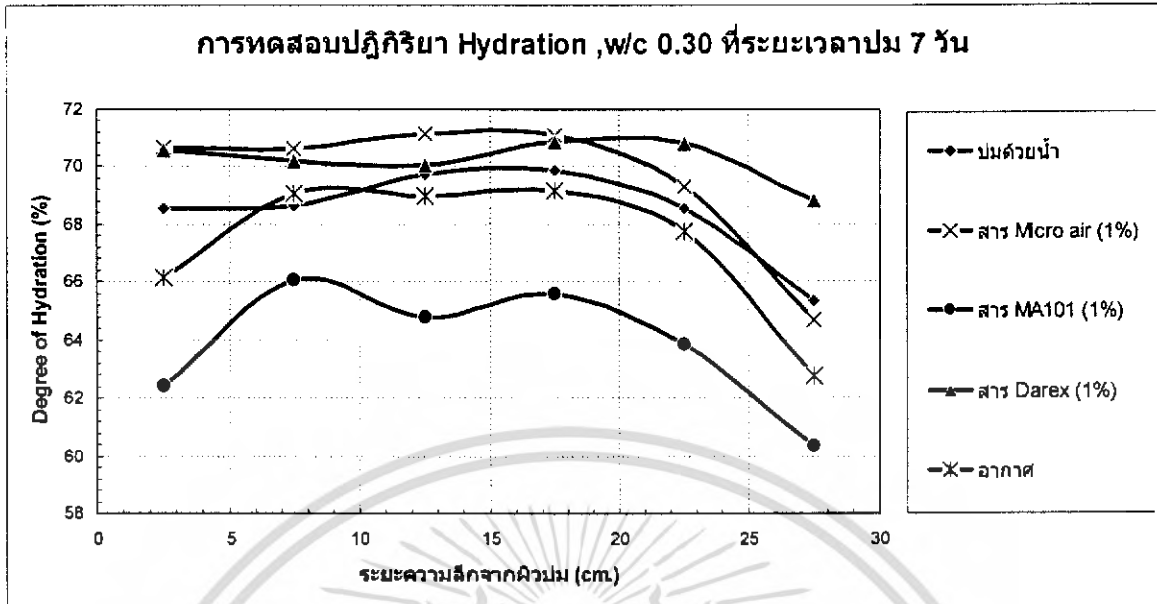


รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.30 ที่
 ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน

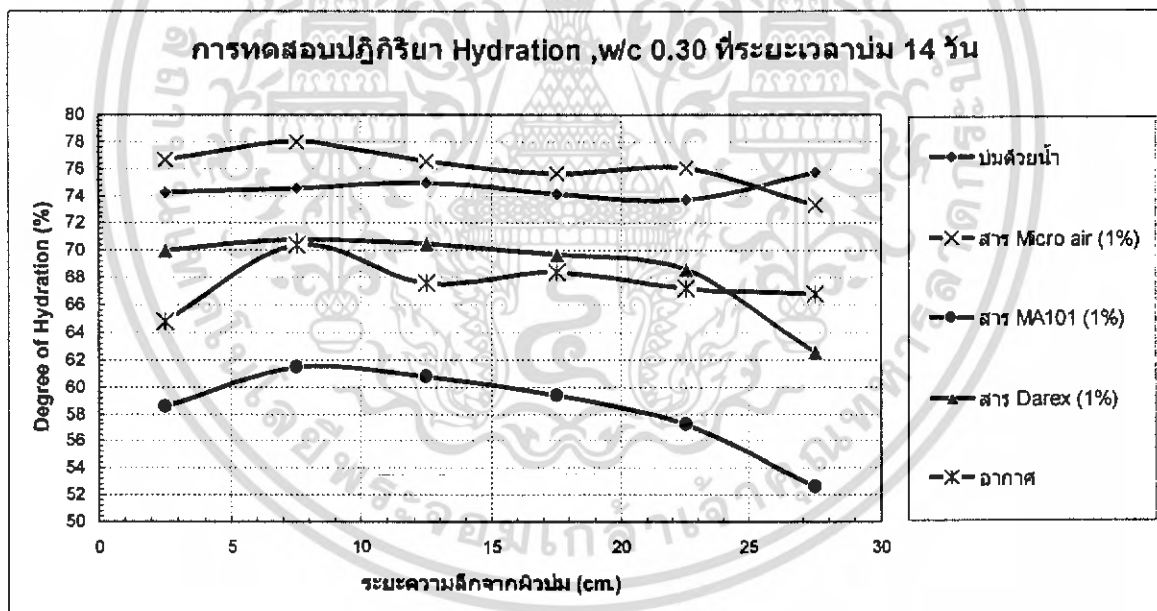


รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.30 ที่
 ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

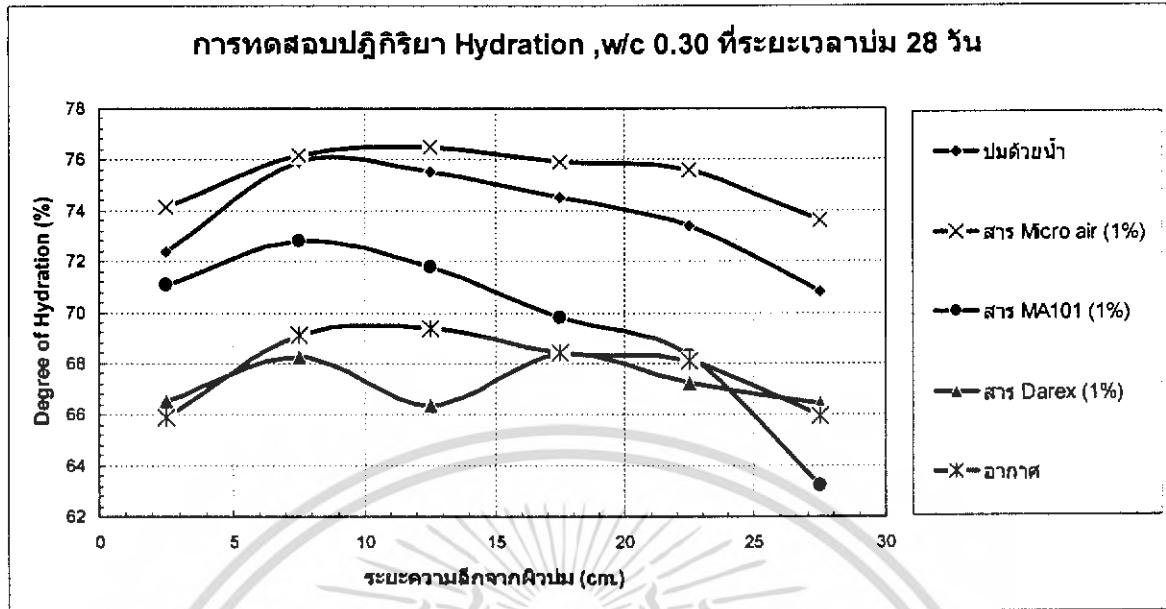


รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.30 ที่ระยะเวลาการปม 7 วัน



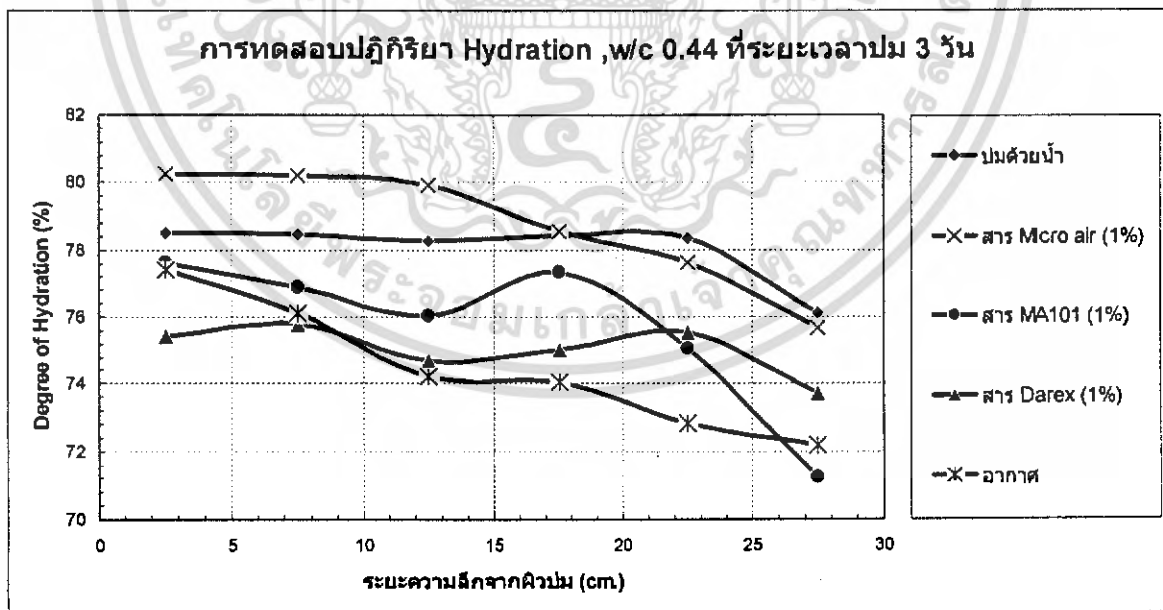
รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.30 ที่ระยะเวลาการปม 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



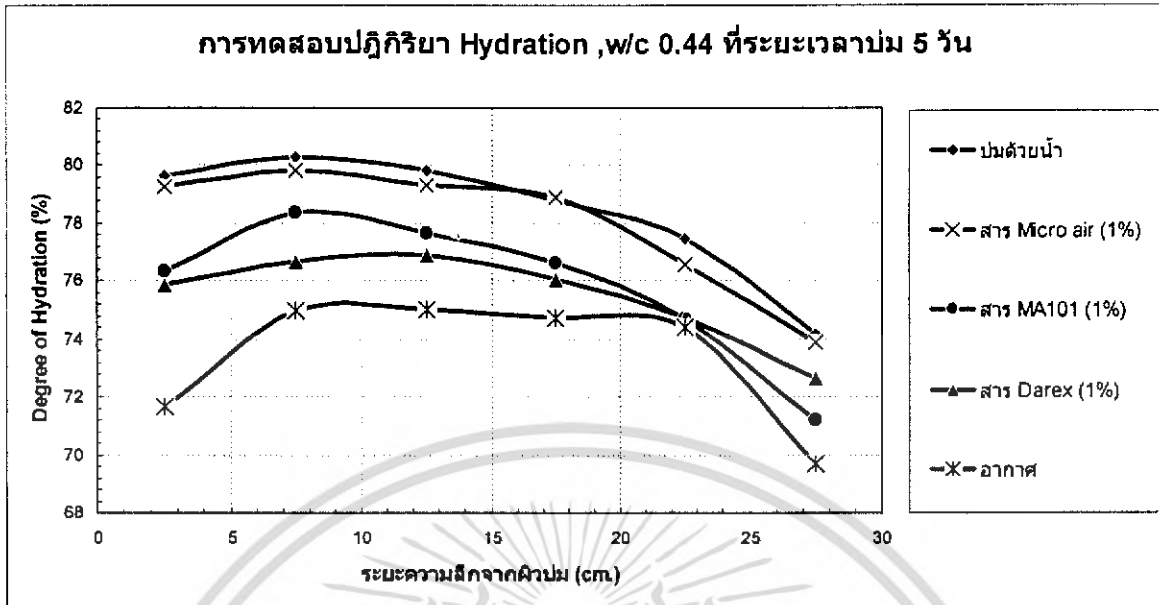
รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.30 ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 4.19-4.23 จะพบว่าชั้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 มีค่าปฏิกิริยาไฮเดรชันของการบ่มต่างๆ ที่ใกล้เคียงกัน โดยมีแนวโน้มของสารลดแรงตึงที่ให้ค่าปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สูงและสม่ำเสมอเป็นส่วนใหญ่ เช่น สารกักกระจายฟองอากาศ Micro air

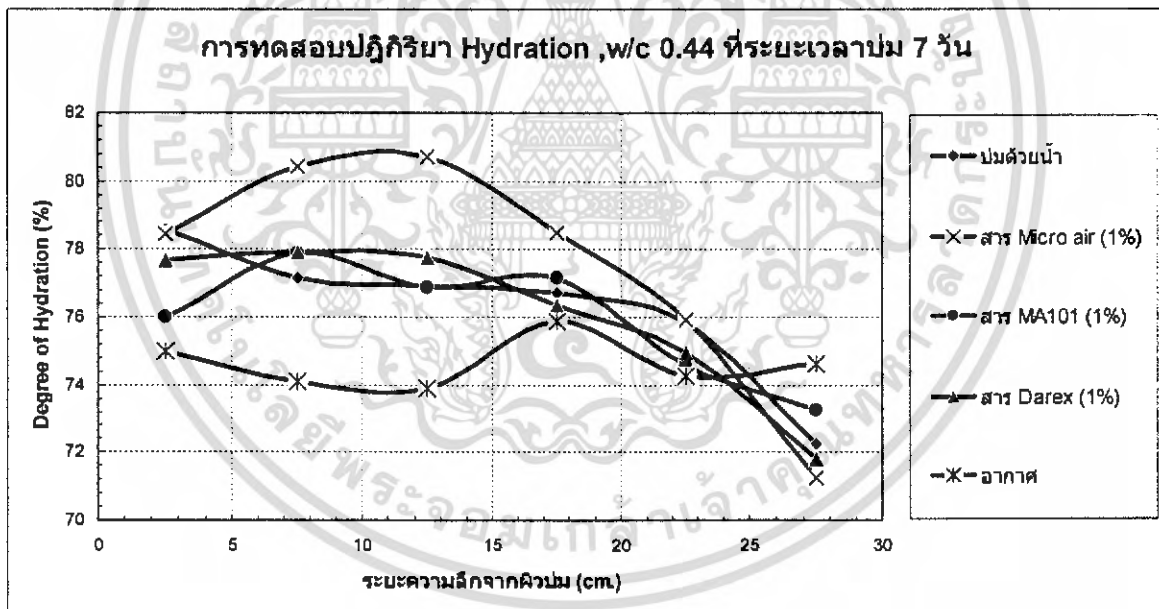


รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.44 ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

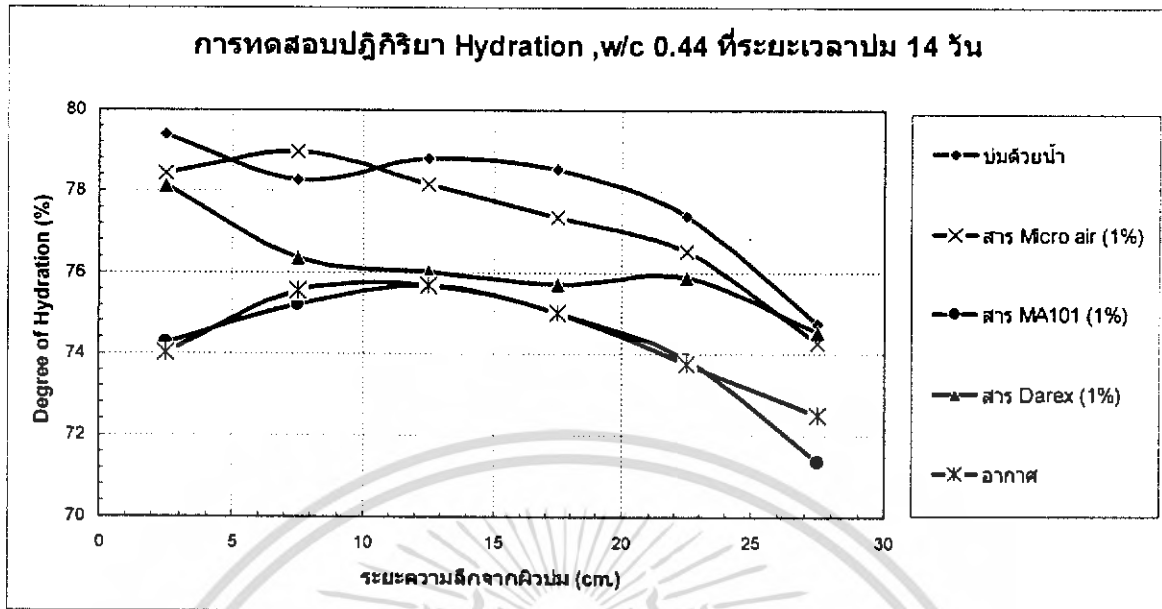


รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.44 ที่ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน

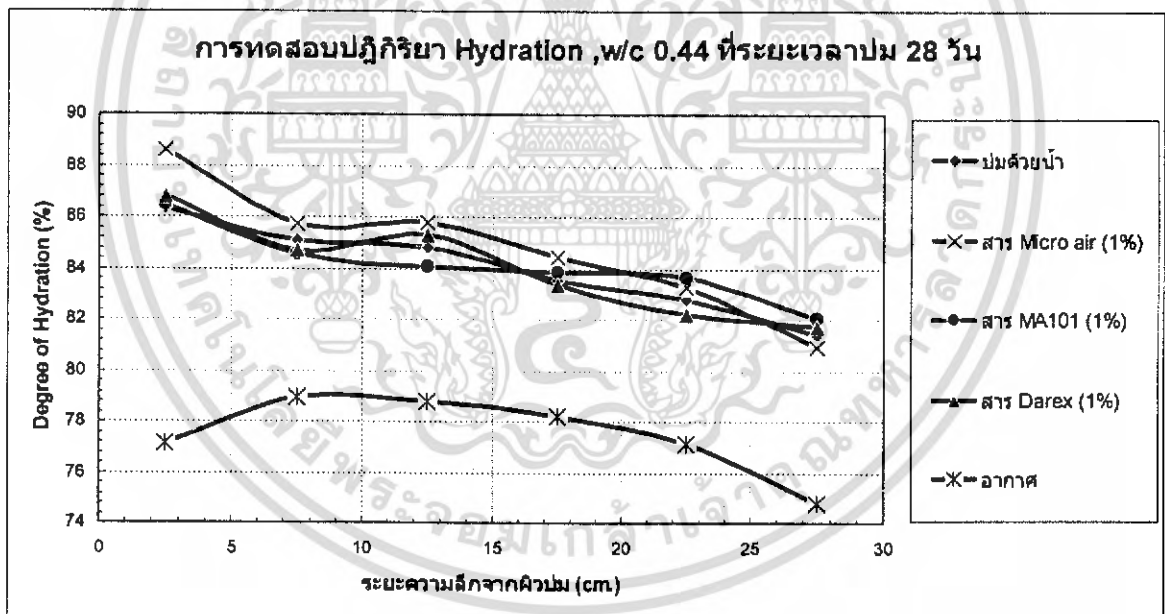


รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.44 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.44 ที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน



รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึก จากชั้นตัวอย่าง w/c 0.44 ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 4.24-4.28 จะพบว่าชั้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.44 ในช่วง 3-5 วัน มีค่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน ที่ใกล้เคียงกันในแต่ละความลึกของชั้นตัวอย่าง แต่เมื่อทำการบ่มต่อไปอีกสัก ระยะ ปฏิกิริยาไฮเดรชันของชั้นตัวอย่างที่บ่มด้วยน้ำบ่มต่างๆ จะค่อยๆมากขึ้นในแต่ละระยะความลึกของชั้นตัวอย่าง ซึ่งการบ่มด้วยน้ำและสารลดแรงดึงผิวจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ

เนื่องจากคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์แข็งตัวขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำที่ซึมผ่านมาจากภายนอกเป็นสิ่งสำคัญเพื่อเพิ่มระดับปฏิกิริยาไฮเดรชัน ถ้าไม่มีน้ำซึมเข้าซีเมนต์เพสต์ที่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ผลก็คือ การขาดแคลนน้ำที่จะนำไปใช้ในปฏิกิริยาไฮเดรชันต่อไป

5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.2.1 การทดสอบการหาค่าการดูดซึม (Absorption)

1. การที่อัตราการดูดซึมจะมีมากน้อยนั้น มีผลมาจากปริมาณซีเมนต์ที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา มีปริมาณมากน้อยเพียงใด ซึ่งจากการทดสอบชิ้นตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 ที่ไม่ได้ทำการบ่มเลย จะมีอัตราการดูดซึมที่มาก เป็น 5 เท่าของอัตราการดูดซึมของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการบ่มมาแล้ว 1 วัน
2. ชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบกับสารลดแรงตึงผิวนั้นมีค่าอัตราการดูดซึมที่สูงกว่าชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบกับน้ำ เมื่อทำการบ่มมาก่อนเป็นเวลา 5-7 วัน เป็นผลมาจาก ช่องว่างเล็กๆที่อยู่ในโครงสร้างซีเมนต์เพสต์ เมื่อทำการบ่มไปเรื่อยๆ ช่องว่างเล็กๆนั้น จะค่อยๆเล็กลงจนน้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในช่องว่างเล็กๆนั้นได้ง่าย แต่สารลดแรงตึงผิวซึ่งมีคุณสมบัติซึมผ่านได้ดี จะสามารถที่จะซึมผ่านเข้าไปในช่องว่างเล็กๆในซีเมนต์เพสต์ได้

5.2.2 การทดสอบสำหรับการหาการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน

1. การที่ปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) เกิดขึ้นมาก ในช่วงเวลาแรกนั้น เป็นเพราะมีปริมาณของซีเมนต์อยู่มาก แต่เมื่อเวลาผ่านไป ซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25 จะเกิดปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) น้อยลง เพราะเกิดการขาดแคลนน้ำที่จะนำไปทำปฏิกิริยาต่อ ขณะที่ซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 และ 0.44 ยังพอมีน้ำเพียงพอให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ จึงทำให้มีค่าปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical shrinkage) มากขึ้นที่เวลาผ่านไป
2. ชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบกับสารลดแรงตึงผิวนั้น จะมีค่าของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สูงกว่าชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบกับน้ำ ตลอดระยะเวลาการทดสอบ 28 วัน เป็นผลมาจากสารลดแรงตึงผิวสามารถซึมผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไปทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ได้ดีกว่าน้ำ โดยเฉพาะชั้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25 ซึ่งมีปริมาณของซีเมนต์อยู่มาก เมื่อทำการทดสอบกับสารลดแรงตึงผิว จะให้ค่าปฏิกิริยาไฮเดรชันมากกว่าการทดสอบกับน้ำ ถึง 15 % ของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้น ในช่วง 1-7 วันแรก

5.2.3 การทดสอบสำหรับปฏิกิริยาไฮเดรชันสำหรับความลึกต่างๆ

1. การบ่มด้วยสารลดแรงตึงผิว(น้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ)จะให้ค่าปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ดีกว่าการบ่มด้วยน้ำและการบ่มด้วยอากาศเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสารกักกระจายฟองอากาศที่ให้ผลดีที่สุดคือสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air เพราะช่วยให้ชั้นตัวอย่างเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้มากที่สุด
2. ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน ชั้นตัวอย่างที่บ่มด้วยสารลดแรงตึงผิว(น้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ) จะให้ค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เท่าๆกัน ที่ระยะความลึกจาก 0-12.5 เซนติเมตรวัดจากผิวบ่ม และเมื่อการบ่มด้วยสารลดแรงตึงผิวเป็นเวลานานขึ้น ค่าปฏิกิริยาไฮเดรชันก็จะใกล้เคียงกันตลอดทั้งชั้นตัวอย่าง โดยเฉพาะชั้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25 ที่บ่มด้วยน้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ Micro air ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน (รูปที่ 4.18) จะให้ค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันประมาณ 64 % ตลอดระยะจาก 0-22.5 เซนติเมตรวัดจากผิวบ่ม และจะค่อยๆลดลงที่ระยะ 22.5-27.5 เซนติเมตรจากผิวบ่ม ส่วนในชั้นตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 และ 0.40 ไม่ค่อยเห็นผลชัดเจน เนื่องจากการบ่มด้วยน้ำให้ค่าใกล้เคียงกัน
3. การบ่มด้วยน้ำนั้น ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมีลักษณะลดลงตามระยะความลึกจากผิวบ่ม ในทุกๆระยะเวลาการบ่ม เป็นเพราะน้ำจากการบ่มที่ผิวบนจะซึมเข้าไปในช่องว่างโครงสร้างซีเมนต์เพสต์ไม่มากนัก ซึ่งสันนิษฐานได้ว่า ที่น้ำจากผิวบนจะซึมผ่านซีเมนต์เพสต์ได้ยากเพราะน้ำมีแรงตึงผิวที่มากจึงซึมเข้าไปในช่องว่างโครงสร้างซีเมนต์เพสต์ได้น้อยและใช้เวลานาน
4. สำหรับการบ่มด้วยอากาศหรือไม่ได้บ่ม จะมีระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อยกว่าการบ่มด้วยวิธีอื่น แต่ถ้าไม่เปรียบเทียบกับวิธีอื่น พบว่าตรงกลางของชั้นตัวอย่างมีแนวโน้มปฏิกิริยาไฮเดรชันค่อนข้างมากเพราะที่ตรงส่วนนี้มีปริมาณน้ำมากกว่าส่วนอื่น เนื่องจากผิวบนเป็นระบบเปิด น้ำที่ใช้ผสมซีเมนต์ก็ต้องเสียบริมาณส่วนหนึ่งไปกับการระเหย ส่วนผิวล่าง ซีเมนต์ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะมาก จึงตกลงไปด้านล่าง จึงคั่นน้ำขึ้นมาตรงบริเวณตรงกลางของระยะชั้นตัวอย่าง

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพน้ำซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างมีผลอย่างมากต่อปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ ซึ่งผลการทดสอบสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

6.1 สรุปผลการทดสอบ

1. การที่สารลดแรงตึงผิวสามารถซึมเข้าไปทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ได้ดีกว่าน้ำ จะช่วยให้ระยะเวลาในการบ่มน้อยลง เพื่อให้ถึงค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ต้องการได้
2. การดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน ของชิ้นตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25 ที่ทดสอบด้วยสารลดแรงตึงผิว จะเพิ่มขึ้นเร็วในช่วง 1-7 วันแรก ซึ่งมากกว่าการทดสอบกับน้ำ ถึง 15 % ของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้น
3. การบ่มด้วยสารลดแรงตึงผิว(น้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ)จะให้ค่าปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ดีกว่าการบ่มด้วยน้ำและการบ่มด้วยอากาศเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสารกักกระจายฟองอากาศที่ให้ผลดีที่สุดคือ สารกักกระจายฟองอากาศ Micro air
4. การบ่มด้วยสารลดแรงตึงผิวจะสามารถซึมผ่านเข้าไปได้ลึกจากผิวนอกที่ทำการบ่ม โดยมีระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันเท่าๆกันตลอด ถึงระยะ 12.5 เซนติเมตร เมื่อทำการบ่มจนครบ 3 วัน และสามารถซึมผ่านเข้าไปได้ลึกถึง 22.5 เซนติเมตร เมื่อทำการบ่มจนครบ 28 วัน
5. การบ่มด้วยน้ำ น้ำจะไม่สามารถเข้าไปในชิ้นตัวอย่างที่ระยะไกลจากผิวนอกที่ทำการบ่ม พิจารณา ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมีค่ามากบริเวณผิวที่ได้รับการบ่มแล้วค่อยๆ ลดลงมาเรื่อยๆตามระยะห่างจากผิวบน

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดสอบการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ จะพบปัญหาเศษผงปูนที่เกาะตามผิวชั้นตัวอย่างจะหลุดออกจากขณะอยู่ในเตาอบ 105°C เพราะเมื่อชั้นตัวอย่างเมื่อสัมผัสความร้อนทำให้ชั้นตัวอย่างแห้งและเศษผงปูนก็จะหลุดออก ทำให้น้ำหนักไม่ได้ค่าที่ถูกต้อง ควรใช้ถาดหรือ ภาชนะสำหรับใส่ชั้นตัวอย่างขณะอยู่ในเตาอบ 105°C เพื่อไม่ให้เศษผงปูนก็จะหลุดออกไปไหน
2. ในการชั่งน้ำหนักไม่ควรชั่งน้ำหนักขณะที่ชั้นตัวอย่างมีความร้อนมากเพราะจะทำให้น้ำหนักที่ได้จะไม่ตรงกับน้ำหนักจริงของชั้นตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

- Maleese, K., and Kasai, T., 2001. Effect of Penetration of Curing Water on Self-desiccation and Strength of Cementitious Materials.
- Maleese, K., and Kasai, T., 2002. Effect of Penetrative Conditions of Water for Curing on Strength of Concrete.
- วนิต ช่อวิเชียร, 2539. คอนกรีตเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร : ป. สัมพันธ์พาณิชย์.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- Tazawa, E., 1998. Autogenous Shrinkage of Concrete.
- Neville, A.M., 1963. Properties of Concrete.
- วินิต ช่อวิเชียร, 2539. คอนกรีตเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร : ป. สัมพันธ์พาณิชย์.
- Taylor, H.F.W., 1997. Cement chemistry 2nd edition.
- Bentz, D.P., 2002. Influence of Curing Condition on Water Loss and Hydration in Cement Pastes with and without Fly Ash Substitution.
- Power, T.C., 1959. Capillary Continuity or Discontinuity in Cement Paste
- Power, T.C., 1974. A Discussion of Cement Hydration in Relation to the Curing of Concrete.
- Bentz, D.P., and Garboczi, E.J., 1991. Percolation of Phases in a Three-Dimensional Cement Paste Microstructure Model.
- Power, T.C., 1935. Absorption of water by Portland cement paste during the hardening process.
- Bentz, D.P., Snyder, K.A., and Stutzman, P.E., 1997. Hydration of Portland cement.
- Maleese, K., and Kasai, T., 2001. Effect of Penetration of Curing Water on Self-desiccation and Strength of Cementitious Materials.
- Maleese, K., and Kasai, T., 2002. Effect of Penetrative Conditions of Water for Curing on Strength of Concrete.
- Maleese, K., Panitkulpong, A., and Kasai, T., 2003. Effect of Penetrative Conditions of Water for Curing on Properties of Hardened Cement Paste.
- Maleese, K., and Kasai, T., 2004. Influences of Penetrative Curing on Properties of Cementitious Materials, Journal of Materials