สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์เพสต์โดยวิธีการบ่มที่ต่างกัน

THE STUDY ON THE DEGREE OF HYDRATION OF HARDENED CEMENT PASTE BY DIFFERENT CURING METHODS

T 058572

โดย

นายบัญชา จันทร์สุวรรณ

นายไพบูลย์ มานพจันทโรจน์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 58572
วัน,เดือน,ปี 25 ส.ค. 2549

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b.....
i.....

THE STUDY ON THE DEGREE OF HYDRATION OF HARDENED CEMENT PASTE BY DIFFERENT CURING METHODS

MR.BANCHA JANSUWAN

MR.PAIBOON MANOPCHANTAROJ

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์เพสต์โดยวิธีการบ่มที่ต่างกัน
นักศึกษา	นายบัญชา จันทร์สุวรรณ รหัสประจำตัว 43010676
	นายไพบูลย์ มานพจันทโรจน์ รหัสประจำตัว 43010723
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายเซ็นต์
1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์	
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์	
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวัฒน์ กิมเส็งบุ้ง	
4. อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงการ	
5. อาจารย์ทองกลด แซ่อึ้ง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ. สุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 24 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์เพสต์โดยวิธีการบ่มที่ต่างกัน THE STUDY ON THE DEGREE OF HYDRATION OF HARDENED CEMENT PASTE BY DIFFERENT CURING METHODS
นักศึกษา	นายบัญชา จันทร์สุวรรณ นายไพบูลย์ มานพจันทโรจน์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2546

บทคัดย่อ

ผลเกี่ยวกับกรณีซึมผ่านของน้ำสำหรับการบ่มมีผลต่อคุณสมบัติซีเมนต์เพสต์แข็งตัวได้รับการศึกษา ในตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ การบ่มปกติจะไม่พอต่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่นให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์โดยตลอดทั้งตัวอย่าง ด้วยเหตุนี้กรณีการบ่มตัวอย่างมีอิทธิผลมากต่อระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในแต่ละส่วนของตัวอย่างที่ระดับแตกต่างจากตำแหน่งการบ่ม เพราะฉะนั้นรูปแบบการบ่มที่แตกต่างกันถูกใช้ศึกษาคุณสมบัติที่ระดับต่างๆของชั้นตัวอย่าง ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษากรณีซึมผ่านน้ำจากการการบ่มว่ามีผลต่อคุณสมบัติซีเมนต์เพสต์แข็งตัวอย่างไรได้รับการทดลองในลักษณะของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และกำลัง ความแตกต่างทั้ง 5 ชนิดที่ใช้ในการบ่ม การบ่มด้วยน้ำปกติ, การบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟองอากาศทำให้แรงตึงผิวลดลง, การบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต, การห่อตัวอย่างด้วยพลาสติกและการบ่มด้วยอากาศ ตัวอย่างแตกต่างด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30, 0.45 และ 0.60 ได้ถูกเตรียมไว้ศึกษาประสิทธิภาพการซึมของน้ำจากการบ่มเข้าไปในตัวอย่างเป็นระดับ 25, 75, 125, 175, 225, 275 มิลลิเมตรจากผิวนอกสุดของการบ่ม สิ่งที่เพิ่มทำการหล่อตัวอย่างมอร์ต้าในลูกบาศก์ขนาด 300×300×300 มิลลิเมตร เตรียมไว้ด้วยเพื่อศึกษาการซึมผ่านของน้ำจากการบ่มมีผลต่อกำลังโดยเจาะแกนตัวอย่างของแต่ละระยะตัวอย่าง จากการทดลองพบว่าการบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟองอากาศถูกใช้เพิ่มระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และกำลังของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	THE STUDY ON THE DEGREE OF HYDRATION OF HARDENED CEMENT PASTE BY DIFFERENT CURING METHODS
Name	:	MR.BANCHA JANSUWAN
		MR.PAIBOON MANOPCHANTAROJ
Field	:	CIVIL ENGINEERING
Department	:	CIVIL ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Advisor	:	ASST.PROF. AMNUAY PANICHAKULPONG

ABSTRACT

Effects of penetrative conditions of water for curing on properties of hardened cement paste have been investigated. In a large specimen with low w/c, normal water curing is not sufficient to complete hydration throughout the entire specimen. Thus, curing conditions have a large influence on the degree of hydration and content of non-evaporable water of the parts of the specimen located at different distances from the curing position. Therefore, different types of curing were used to investigate the properties at any layers of the specimen. This special project is study, the effects of penetrative conditions of curing water on the properties of the hardened cement paste are experimentally investigate in aspects of the hydration reaction and the strength. The five different types of curing water were used : the normal curing water, the curing water containing AE-admixture of low surface tension energy, the curing using chemical agent, wrapping and non curing. The different specimens with w/c ratios 0.30, 0.45 and 0.60 were prepared to study the capability of penetration of curing water into the specimen at the distances of 25, 75, 125, 175, 225 and 275 mm from the surface exposed to curing. Additionally, the mortar specimen in the cube form with dimension 300×300×300 mm was also prepared to study the effects of penetration of curing water on the strength by coring samples at any layers of the specimen. The AE-water curing were used to increase the degree of the hydration, the non-evaporable water and strength of the low w/c specimen.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้หากขาดการสนับสนุนและอนุเคราะห์จากบุคคลและสถานที่ต่างๆดังต่อไปนี้

ผศ.อำนวย พานิชกุลพงศ์และอาจารย์คมสัน มาลีสี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษและคณะกรรมการทุกท่าน สำหรับทุกคำแนะนำที่มีค่าต่อโครงงานพิเศษ

อาจารย์ประจำภาควิชาโยธาและเจ้าหน้าที่ทุกๆ ท่านที่ได้แนะนำและให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่สนับสนุนการดำเนินงานโครงงานพิเศษเป็นอย่างดี

ภาควิชาศิลปอุตสาหกรรมที่อนุเคราะห์ในการใช้เตาเผา

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หอสมุดกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

และท้ายนี้ขอขอบคุณเงินภาษีอากรของประชาชนที่ทำให้ข้าพเจ้าได้รับการศึกษาจนถึงทุกวันนี้

นายบัญชา จันทร์สุวรรณ
นายไพบูลย์ มานพจันทโรจน์
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน(ภาษาไทย)	ก
	ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฎ
	สารบัญรูป	ฐ
1	บทนำ	
	1.1. กล่าวนำ	1
	1.2. ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	1.4. ขอบเขตและข้อจำกัดของการศึกษา	2
	1.5 วิธีการศึกษา	3
	1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1. กล่าวนำ	4
	2.2. พฤติกรรมของคอนกรีต	4
	2.3. องค์ประกอบของเพสต์	7
	2.3.1. องค์ประกอบทางเคมี	8
	2.3.2. สารประกอบหลัก	11
	2.3.3. สารประกอบรอง	14
	2.3.4. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น	15
	2.3.5. การพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์	19
	2.3.6. ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.3.7. กระบวนการแข็งตัว	21
	2.3.8. การหดตัวและการพองตัว	23
	2.3.9. ความร้อนอันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ	25
	2.4. การบ่มคอนกรีต	26
	2.4.1. การบ่มที่อุณหภูมิปกติ	28
	2.4.2. การบ่มที่อุณหภูมิสูง	30
	2.4.3. ระยะเวลาการบ่ม	34
	2.5. สมการที่ใช้หาค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น	34
	2.5.1. สมการปริมาณน้ำที่ไม่สามารถระเหย (Non-evaporable water, NE.W.)	34
	2.5.2. สมการระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Degree of hydration, D.H.)	34
3	**วิธีดำเนินการและการศึกษา**	
	3.1. กล่าวนำ	35
	3.2 วิธีการทดลอง	35
	3.2.1. วิธีทดสอบสำหรับการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในซีเมนต์เพสต์แข็งตัวในแต่ระดับชั้นความลึกต่างๆ	35
	3.2.2. วิธีทดสอบสำหรับการหากำลังอัดในมอร์ต้าในแต่ระยะของบริเวณที่ได้รับการบ่ม	36
4	**ผลการศึกษาและการวิเคราะห์**	
	4.1. กล่าวนำ	38
	4.2 ผลการทดลอง	38
	4.2.1 ผลการทดลองของซีเมนต์เพสต์	38
	4.2.1.1. Degree of Hydration	38
	4.2.1.2. NE.W.	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.2.2. ผลการทดลองกำลังอัดของมอร์ต้า	46
5	**วิเคราะห์ผลการทดลอง**	
	5.1. กล่าวนำ	51
	5.2. วิเคราะห์ผลการทดลอง	51
6	**สรุปผลการทดลอง**	
	6.1. สรุปผลการทดลอง	54
	6.2. ข้อเสนอแนะ	55
	รายการอ้างอิง	56
	บรรณานุกรม	57
	ภาคผนวก ก.	ผก1
	ภาคผนวก ข.	ผข1
	ภาคผนวก ค.	ผค1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ค่าออกไซด์ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์	9
2.2	สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	10
2.3	ตัวอย่างการคำนวณหาสารประกอบหลัก	11
2.4	คุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	13
2.5	เวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลักสำเร็จ 80 %	18
2.6	วิธีการบ่มโดยเพิ่มความชื้น	28
2.7	วิธีการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต	29
ผ.ก.1	คุณสมบัติของ Epoxy – 333	ผก.9
ผ.ข.1	แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำ w/c 0.6	ผข.2
ผ.ข.2	แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำ w/c 0.45	ผข.2
ผ.ข.3	แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำ w/c 0.3	ผข.3
ผ.ข.4	แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟองอากาศ w/c 0.6	ผข.3
ผ.ข.5	แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟองอากาศ w/c 0.45	ผข.4
ผ.ข.6	แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟองอากาศ w/c 0.30	ผข.4
ผ.ข.7	แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต w/c 0.60	ผข.5
ผ.ข.8	แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต w/c 0.45	ผข.5
ผ.ข.9	แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต w/c 0.30	ผข.6
ผ.ข.10	แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยพลาสติก w/c 0.60	ผข.6
ผ.ข.11	แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยพลาสติก w/c 0.45	ผข.7
ผ.ข.12	แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยพลาสติก w/c 0.30	ผข.7
ผ.ข.13	แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยอากาศ w/c 0.60	ผข.8
ผ.ข.14	แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยอากาศ w/c 0.45	ผข.8
ผ.ข.15	แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยอากาศ w/c 0.30	ผข.9
ผ.ข.16	ผลการทดสอบกำลังกดประลัยหลังจากการบ่มด้วยน้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ	ผข.9
ผ.ข.17	ผลการทดสอบกำลังกดประลัยหลังจากการบ่มด้วยน้ำ	ผข.10
ผ.ข.18	ผลการทดสอบกำลังกดประลัยหลังจากการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต	ผข.10
ผ.ข.19	ผลการทดสอบกำลังกดประลัยหลังจากการบ่มด้วยการหุ้ม	ผข.11
ผ.ข.20	ผลการทดสอบกำลังกดประลัยหลังจากการบ่มด้วยอากาศ	ผข.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	รูปจำลองการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์กับน้ำโดยสังเขป	5
2.2	คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำจะมีกำลังมากกว่าและจะกันน้ำซึมได้ดีกว่า	8
2.3	รูปร่างลักษณะของC_3S ซึ่งเป็นผลึกรูป 6 เหลี่ยมและ C_2S เป็นเม็ดกลมสีดำ	12
2.4	การพัฒนากำลังของสารประกอบหลัก	13
2.5	แผนภาพแสดงปฏิกิริยาของคัลเซียมซิลิเกต	16
2.6	ขบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3S	17
2.7	ภาพขยาย Monosulphate และ Ettringite	18
2.8	แผนภาพการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์	20
2.9	อัตรารการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น	21
2.10	ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และปริมาณน้ำ ในคอนกรีต ใช้สำหรับแสดงให้เห็นลักษณะของเส้นโค้งเท่านั้นค่าจริง ๆ แตกต่างไปตาม ชนิดของวัสดุและสภาวะการทำให้แห้ง	24
2.11	การเพิ่มอุณหภูมิของคอนกรีตสำหรับซีเมนต์ชนิดต่าง ๆเมื่อไม่มีการเสียความร้อน	25
2.12	ผลของการบ่มที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีต	27
2.13	ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มกับกำลังอัดของคอนกรีต	31
2.14	ผลของอุณหภูมิของการบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำต่อกำลังของคอนกรีตในระยะแรก	32
2.15	ขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิสำหรับการบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำ	32
2.16	อิทธิพลของผลคูณระหว่างเวลาและอุณหภูมิต่อผลการเพิ่มของกำลังอัด	33
4.1	กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของวิธีการบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟอง	38
4.2	กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของวิธีการบ่มด้วยน้ำ	39
4.3	กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของวิธีการบ่มด้วยพลาสติก	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.4	กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของวิธีการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต	40
4.5	กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของวิธีการบ่มด้วยอากาศ	40
4.6	กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของอัตราส่วน w/c 0.3	41
4.7	กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของอัตราส่วน w/c 0.3	41
4.8	กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของอัตราส่วน w/c 0.3	42
4.9	กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของวิธีการบ่มด้วยน้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ	42
4.10	กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของวิธีการบ่มด้วยน้ำ	43
4.11	กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของวิธีการบ่มด้วยการหุ้ม	43
4.12	กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต	44
4.13	กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของวิธีการบ่มด้วยอากาศ	44
4.14	กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของอัตราส่วน w/c 0.3	45
4.15	กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของอัตราส่วน w/c 0.45	45
4.16	กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของอัตราส่วน w/c 0.6	46
4. 17	กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของวิธีการบ่มด้วยน้ำผสมกับสารกักกระจายฟองอากาศ	46
4. 18	กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของวิธีการบ่มด้วยน้ำ	47
4. 19	กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของวิธีการบ่มด้วยการหุ้ม	47
4. 19	กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของวิธีการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต	48
4. 20	กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของวิธีการบ่มด้วยอากาศ	48
4. 21	กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของอัตราส่วน w/c 0.3	49
4. 22	กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของอัตราส่วน w/c 0.45	49
4. 23	กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของอัตราส่วน w/c 0.6	50
ผ.ค.1	การบ่มซีเมนต์เพสต์ในท่อพีวีซี	ผค2
ผ.ค.2	ซีเมนต์เพสต์ในท่อพีวีซีที่ตัดแบ่งแล้ว	ผค2
ผ.ค.3	ซีเมนต์เพสต์ที่ผ่าออกจากท่อแล้ว	ผค3
ผ.ค.4	การอบซีเมนต์เพสต์ที่ 105 °c	ผค3
ผ.ค.5	การอบซีเมนต์ที่ 950 °c	ผค4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ค.6	แบบหล่อ	ผค4
ผ.ค.7	การบ่มโดยการหุ้มด้วยพลาสติก	ผค5
ผ.ค.8	การบ่มด้วยอากาศ	ผค5
ผ.ค.9	การบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟองอากาศ	ผค6
ผ.ค.10	การบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต	ผค6
ผ.ค.11	การบ่มด้วยน้ำ	ผค7
ผ.ค.12	ขณะเจาะแท่งมอร์ต้า	ผค7
ผ.ค.13	ขณะตัดแท่งมอร์ต้า	ผค8
ผ.ค.14	ขณะกดแท่งมอร์ต้า	ผค8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. กล่าวนำ

เนื่องจากงานก่อสร้างในปัจจุบันวิธีหนึ่งที่จะเป็นการรักษากำลังของคอนกรีตให้ถึงค่าที่ต้องการ และป้องกันการสูญเสียน้ำภายในคอนกรีตคือ การบ่มคอนกรีต ซึ่งการบ่มคอนกรีตมีหลายวิธี แต่ในปัจจุบันการบ่มส่วนใหญ่นั้นเป็นการบ่มเพียงที่ผิวเท่านั้น โดยการบ่มคือ ชื่อเฉพาะของวิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ซึ่งจะส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง วิธีการทำโดยให้น้ำแก่คอนกรีตหลังจากที่คอนกรีตหลังจากที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว โดยเฉพาะในตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ การบ่มด้วยน้ำปกติจะไม่พอต่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่นให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์โดยตลอดทั้งตัวอย่าง ด้วยเหตุนี้กรณีการบ่มตัวอย่างมีอิทธิผลมากต่อระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและกำลังอัดในแต่ละส่วนของบริเวณตัวอย่างที่ระยะแตกต่างจากตำแหน่งการบ่ม

1.2. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องมาจากคอนกรีตมีซีเมนต์กับน้ำ เป็นตัวที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและความร้อนขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการควบคุมป้องกัน หรือมีการสนับสนุนให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นดำเนินไปอย่างครบถ้วนร้อยเปอร์เซ็นต์ การรักษาหรือบ่มนั่นเอง ด้วยเหตุที่ว่าการแข็งตัวของปูนซีเมนต์จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แม้ในระยะวันแรกจนถึง 1 เดือน และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยไป ดังนั้นในระหว่างที่กำลังแข็งตัวอยู่นี้คอนกรีตต้องการน้ำหล่อเลี้ยงปูนซีเมนต์ เพื่อปฏิกิริยาทางเคมี ถ้าน้ำแห้งไปก่อนกำหนดในระยะใดการแข็งตัวก็จะหยุดในระยะนั้น และถ้าอยู่ในระยะเวลาที่มีความแข็งไม่พอที่จะต้านทานการหดตัวอันเนื่องจากการระเหยของน้ำหรือเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงแล้ว อาจทำให้เกิดการเสียหายแตกร้าวขึ้นในเนื้อคอนกรีตหรือตามผิวที่แห้งก่อนนั้นได้ทุกเมื่อ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการเก็บน้ำให้ชุ่มจะโดยราดน้ำตลอดเวลา ขังน้ำหรือวิธีอื่นหมายถึงการกันไม่ให้น้ำที่มีอยู่เดิมระเหยออกไปเพื่อให้ดำเนินปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจนสำเร็จให้มากที่สุดหรือทำให้เกือบร้อยเปอร์เซ็นต์เท่าที่จะทำได้การกระทำนี้คือการบ่มคอนกรีตนั่นเอง คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์แข็งตัวขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำที่ผสม การซึมผ่านของน้ำเพิ่มมาจากข้างนอกเป็นสิ่งสำคัญเพื่อที่จะเพิ่มระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น อย่างไรก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตัวอย่างขนาดใหญ่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ การบ่มไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในช่องว่างในโครงสร้างซีเมนต์เพสต์ได้อย่างสมบูรณ์ในระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ดังนั้นสาเหตุความต่างของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในชั้นผิวนอกและในส่วนใหญ่ของตัวอย่าง สำหรับเหตุผลนี้กรณีการบ่มมีความสำคัญจึงได้นำมาพิจารณา

1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

จุดมุ่งหมายของการทำศึกษาครั้งนี้เพื่อจะได้ทราบว่าค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและปริมาณน้ำที่ไม่สามารถระเหยได้ในโครงสร้างซีเมนต์เพสต์ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่ได้รับการบ่มผิวบนว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร และถ้าเปลี่ยนวิธีการบ่มค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและปริมาณน้ำที่ไม่สามารถระเหยได้ในโครงสร้างซีเมนต์เพสต์แต่ละวิธีจะให้ค่าเป็นอย่างไรเมื่อเปรียบเทียบกัน และกำลังอัดของมอร์ต้าของแต่ละวิธีการบ่มที่ต่างกันมีกำลังเป็นอย่างไร และในระยะภายในตัวอย่างกำลังอัดมอร์ต้าเป็นอย่างไร

1.4. ขอบเขตและข้อจำกัดของการศึกษา

ในการผสมซีเมนต์เพสต์ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง หล่อลงในท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ความสูง 30 เซนติเมตร โดยด้านล่างเป็นระบบปิด ทำการบ่มด้วยวิธีการบ่ม 5 วิธี การบ่มด้วยน้ำปกติ การบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟองอากาศ การบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีตตามมาตราฐานน้ำยา ASTM C-309 การใช้พลาสติกห่อหุ้มตัวอย่าง และการบ่มด้วยอากาศโดยจะทำการบ่มที่ผิวบนเท่านั้น ตัวอย่างแตกต่างด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30, 0.45 และ 0.60 สำหรับระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ทำการตัดตัวอย่างออกเป็น 6 ชั้น ชั้นละ 5 เซนติเมตรโดยประมาณ และทำการวิเคราะห์แต่ละชั้นโดยเราจะศึกษาเรื่อง ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์เพสต์

ในการผสมมอร์ต้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งและทรายละเอียด ตัวอย่างแตกต่างด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30, 0.45 และ 0.60 หล่อลงในแบบหล่อขนาด 30×30×30 เซนติเมตร ด้านบนและด้านล่างทำเป็นระบบปิดเคลือบด้วยกาวอีพ็อกซี่ ทำการบ่มด้านข้างของตัวอย่างด้วยวิธีการบ่ม 5 วิธีเหมือนซีเมนต์เพสต์ เป็นเวลาการบ่ม 28 วัน หลังจากนั้นทำการเจาะตัวอย่างที่ระยะจากด้านข้างเข้าไปเป็นระยะ 33, 80 และ 120 มิลลิเมตรและทำการวิเคราะห์แต่ละระยะโดยเราจะศึกษาเรื่อง กำลังอัดของมอร์ต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5. วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษามีวิธีการศึกษาหลักๆ 2 วิธี ได้แก่

1) วิธีการเก็บข้อมูล

ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลจากเนื้อหาทางทฤษฎีจากหนังสือต่างประเทศ วิทยานิพนธ์ มาตรฐานการก่อสร้าง หนังสือวารสารต่างๆ โยธาสาร เอกสาร ตำราเรียน เป็นต้น

ทำการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับมาตรฐานและวิธีการบ่ม การเจาะคอนกรีต การตัด การเก็บแท่งตัวอย่าง การอัดและวิธีอื่นๆ โดยละเอียด

ทำการทดลองและเก็บตัวอย่างตามมาตรฐาน และบันทึกผล

2) วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

เป็นการนำผลการทดสอบที่ได้ในขั้นตอนที่ 1 มาวิเคราะห์ ประเมินผล และสรุปผล เพื่อจะได้เสนอแนะแนวความคิดที่ได้จากการศึกษา ซึ่งจะเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยในประเด็นรายละเอียดอื่นๆที่น่าสนใจและศึกษาตลอดจนเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในงานก่อสร้างจริงต่อไป

1.6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นของระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นซีเมนต์เพสต์ที่ระดับความลึกต่างๆ อันเนื่องมาจากวิธีการบ่มที่ต่างกัน

ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นของกำลังอัดมอร์ต้าที่ระดับชั้นต่างๆที่ได้รับการบ่มด้วยวิธีการต่างๆ

ทำให้ทราบถึงว่าควรใช้วิธีการบ่มแบบไหนกับโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3. สารประกอบรอง

2.3.3.1. ยิปซั่ม ($CaSO_4 . 2H_2O$)

ยิปซั่มถูกใส่เข้าไปในระหว่างปูนเม็ด เมื่อทำหน้าที่ควบคุมเวลาการแข็งตัวของซีเมนต์ ปริมาณยิปซั่มที่ใส่ต้องเหมาะสมเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์เกิดกำลังอัดสูงที่สุดและเกิดการหดตัวน้อยที่สุด ปริมาณยิปซั่มที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับ

- อัลคาไลท์ออกไซด์ อันได้แก่ Na_2O และ K_2O
- ปริมาณ C_3A
- ความละเอียดของปูนซีเมนต์

2.3.3.2. Free Lime (CaO)

Free Lime เกิดขึ้นได้สองกรณีคือ

1) เมื่อวัตถุดิบมี Lime มากเกินไปไม่สามารถทำปฏิกิริยา SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ได้หมด
2) ปริมาณ Lime มีไม่มากแต่ทำปฏิกิริยา Oxide ต่างๆไม่สมบูรณ์

Free Lime นี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆหลังจากที่ซีเมนต์แข็งตัวแล้วซึ่งอาจก่อให้เกิดคอนกรีตเกิดการแตกร้าวเสียหายได้ หรือที่เรียกว่า ซีเมนต์ไม่อยู่ตัวเนื่องจาก Lime

2.3.3.3. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)

วัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่จะมี $MgCO_3$ ซึ่งเมื่อเผาแล้วจะเกิดการแยกตัวให้ MgO และ CO_2 แมกนีเซียมออกไซด์ จะหลอมเป็นปูนเม็ดเหลืออยู่ในรูปของและเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเสมือนกับ CaO คือ ปริมาณจะเพิ่มขึ้นซึ่งก่อให้เกิดการมาอยู่ตัว

การขยายตัวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1) ปริมาณของ MgO ในปูนซีเมนต์
2) ขนาดของ MgO ถ้าขนาดเล็กมากๆ จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้เร็วโดยจะไม่ก่อให้เกิดการขยายตัวของซีเมนต์ที่แข็งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.4. อัลคาไลท์ออกไซด์ (Na_2O,K_2O)

อัลคาไลท์ออกไซด์ ที่อยู่ในปูนซีเมนต์นี้จะเกิดผลเสียในกรณีที่ใช้มวลบางประเภทที่ทำปฏิกิริยากับอัลคาไลท์เป็นคอนกรีต ผลจากปฏิกิริยาก่อให้เกิดการขยายตัวดันให้คอนกรีตแตกร้าวเสียหายยากต่อการแก้ไขในกรณีที่จำเป็น ใช้มวลรวมที่ทำปฏิกิริยากับอัลคาไลท์ ควรจะเลือกใช้ปูนซีเมนต์ที่มีอัลคาไลท์ต่ำ

2.3.4. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

การก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นขององค์ประกอบของซีเมนต์ โดยปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นใน 2 ลักษณะคือ

1) อาศัยสารละลาย ซีเมนต์จะละลายในน้ำ ก่อให้เกิด Ions ในสารละลายและ Ions นี้จะผสมกันทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น
2) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลาย ปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า "Solid State Reaction"

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะ โดยในช่วงแรกจะอาศัยสารละลาย และในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง

ซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้มันแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ครั้งแรก ดังนั้นในที่นี้เราจะแยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลักของซีเมนต์แต่ละประเภท

2.3.4.1. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของคัลเซียมซิลิเกต (C_3S,C_2S)

คัลเซียมซิลิเกต จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อให้เกิด $Ca(OH)_2$ และ Calcium Silicate Hydrate (CSH)

ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และสมการการเกิดปฏิกิริยามีดังนี้

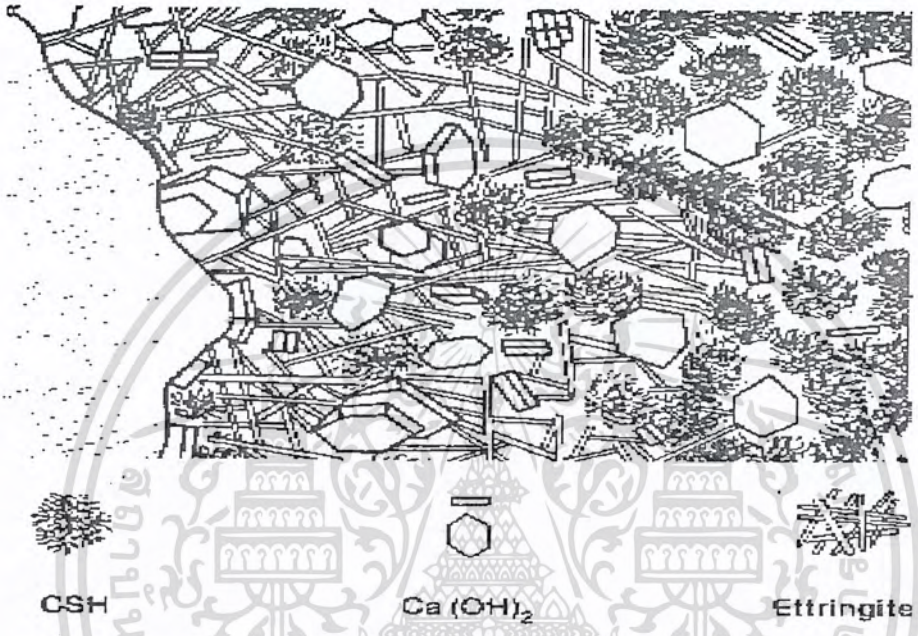
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2(3CaO\cdot SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3\,CaO\cdot 2SiO_2\cdot 3H_2O + 3\,Ca(OH)_2$$

หรือ $$2C_3S + 6H_2O \longrightarrow C_3S_2H_3 + 3Ca(OH)_2$$

$$2\,(2CaO\cdot SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO\cdot 2SiO_2\cdot 3H_2O + Ca(OH)_2$$

หรือ $$2C_2S + 4H_2O \longrightarrow C_3S_2H_3 + Ca(OH)_2$$



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงปฏิกิริยาของคัลเซียมซิลิเกต (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นนี้ จะเกิด Gel ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ คือ โครงสร้างไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน องค์ประกอบทางเคมีของ CSH นี้ ขึ้นอยู่กับ อายุ อุณหภูมิ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ในที่นี้จะใช้ตัวย่อ CSH แทน Calcium Silicate Hydrate ที่เกิดขึ้นไม่ว่าจะมีองค์ประกอบและโครงสร้างเป็นอย่างไร

$Ca(OH)_2$ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นด่างอย่างมาก คือมี P.H.ประมาณ 12.5 ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้อย่างดีมาก

2.3.4.2. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรคัลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A จะเกิดทันทีทันใด และก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสต์ ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

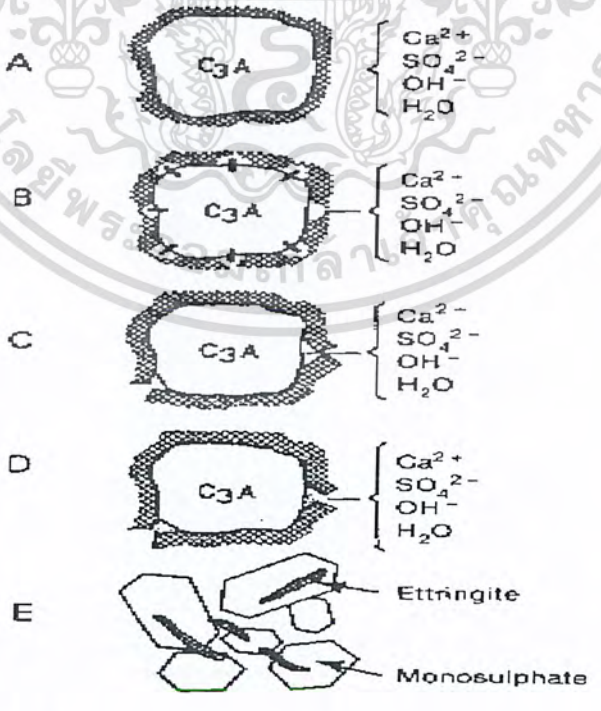
$$3CaO\cdot Al_2O_3 + 6H_2O \longrightarrow 3CaO\cdot Al_2O3\cdot 6H_2O$$

หรือ $$C_3A + 6H_2O \longrightarrow 3C_3AH_6$$

เพื่อหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้อย่างรวดเร็ว จึงใส่ยิปซั่ม ($CaSO_4\cdot 2H_2O$) เข้าไปในระหว่างขบวนการบดซีเมนต์ ยิปซั่มจะทำปฏิกิริยากับ C_3A ก่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาค C_3A ดังสมการ

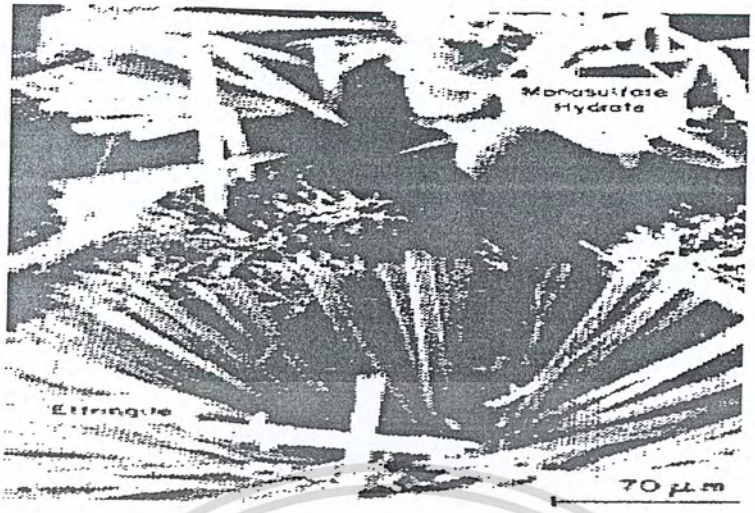
$$C_3A + CaSO_4\cdot 6H_2O \longrightarrow 3CaO\cdot Al_2O_3\cdot 3CaSO_4\cdot 31H_2O \text{ (Ettringite)}$$

ชั้นของ Ettringite ก่อให้เกิดการหน่วงการก่อตัวของ C_3A และทำให้เกิดการก่อตัวในช่วงแรกนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3S และ C_2S เป็นส่วนใหญ่ แต่ชั้นของ Ettringite ไม่ได้หยุดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A กล่าวคือ เมื่อเกิด Ettringite จะเกิดแรงดันที่มาจากการเพิ่มปริมาตรของของแข็ง แรงดันนี้จะทำให้ชั้นของ Ettringite แตกออก และเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A แต่เมื่อเกิดการแตกตัว จะเกิด Ettringite ใหม่เข้าไปแทนที่เป็นการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอีกครั้งหนึ่ง ขั้นตอนจะเป็นอย่างนี้ ไปจนกระทั่ง Sulphate Ions มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด Ettringite จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A โดยเปลี่ยน Ettringite ไปเป็น Monosulphate ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 ขบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
58572



รูปที่ 2.7 ภาพขยาย Monosulphate และ Ettringite

2.3.4.3. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของเตตราคัลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_4AF นี้จะเกิดในช่วงต้น โดย C_4AF จะทำปฏิกิริยากับยิบซั่ม และ $Ca(OH)_2$ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็มของ Sulphoaluminate และ Sulphoferrite ดังสมการ

$$4CaO\cdot Al_2O_3\cdot Fe_2O_3 + CaSO_4 + 2H_2O + Ca(OH)_2 \longrightarrow 3CaO(Al_2O_3, Fe_2O_3)\cdot 3CaSO_4$$

เวลาที่ใช้เพื่อให้บรรลุ 80% ของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลักทั้ง 4 แสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลักสำเร็จ 80 %

สารประกอบหลัก	เวลา (วัน)
C_3S	10
C_2S	100
C_3A	6
C_4AF	50

(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5. การพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์

ผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น โดยรวมของสารประกอบหลักทั้ง 4 นั้น จะเกิด CSH เจลและ Ettringite เคลือบอยู่บนเม็ดซีเมนต์ จะเป็นการหน่วงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งอธิบายการเกิด "Dormant Period" อันเป็นช่วงเวลาที่ค่อนข้างจะไม่มีอะไรเกิดขึ้นเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ในขณะนั้นซีเมนต์เพสต์ยังคงเหลวและมีความสามารถเทได้

เมื่อสิ้นสุดช่วง "Dormant Period" ก็จะเข้าสู่จุดแข็งตัวเริ่มต้น (Initial Set) ซึ่งเป็นช่วงที่ CSH ที่เคลือบอยู่บนเม็ดซีเมนต์แตกตัวออก และเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต่อไป ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น จะมีขนาดใหญ่กว่า 2 เท่าของซีเมนต์ก่อนปฏิกิริยา ผลก็คือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นนี้จะเข้าอุดช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์ และเกิดผิวสัมผัสก่อให้เกิดการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ เวลาผ่านไป ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะมาก ก่อให้เกิดความเข้มข้นของจุดสัมผัส จำกัดการเคลื่อนที่ของเม็ดซีเมนต์ ส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์กลายเป็นของแข็ง นั่นคือ การเข้าสู่จุดแข็งตัวสุดท้าย (Final Set)

แผนภาพแสดงขบวนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และโครงสร้างของเพสต์ แสดงในรูปที่ 2.8 โดยซีเมนต์จะแสดงด้วยเม็ดสีดำ ในขณะที่ $Ca(OH)_2$ จะแสดงด้วยรูปเหลี่ยม ผลึกของ Ettringite แสดงโดยเส้นบางๆ สั้นๆ และ CSH เส้นเข้มมีความยาวพอสมควร จากรูปที่ 2.8 จะพบว่าระหว่าง Dormant Period เม็ดซีเมนต์จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ก่อให้เกิด $Ca(OH)_2$ และ Ettringite เป็นส่วนใหญ่ หลังจาก 1 ชั่วโมง CSH เจลเริ่มเกิดขึ้นโดยมีรูปร่างเป็นเส้นใยยาว การเกิดและการขยายตัว CSH เจลนี้ก่อให้เกิดการก่อตัว ในขณะที่ปริมาณเพิ่มขึ้น ความพรุนของเพสต์จะลดลง และกำลังเริ่มพัฒนาขึ้น

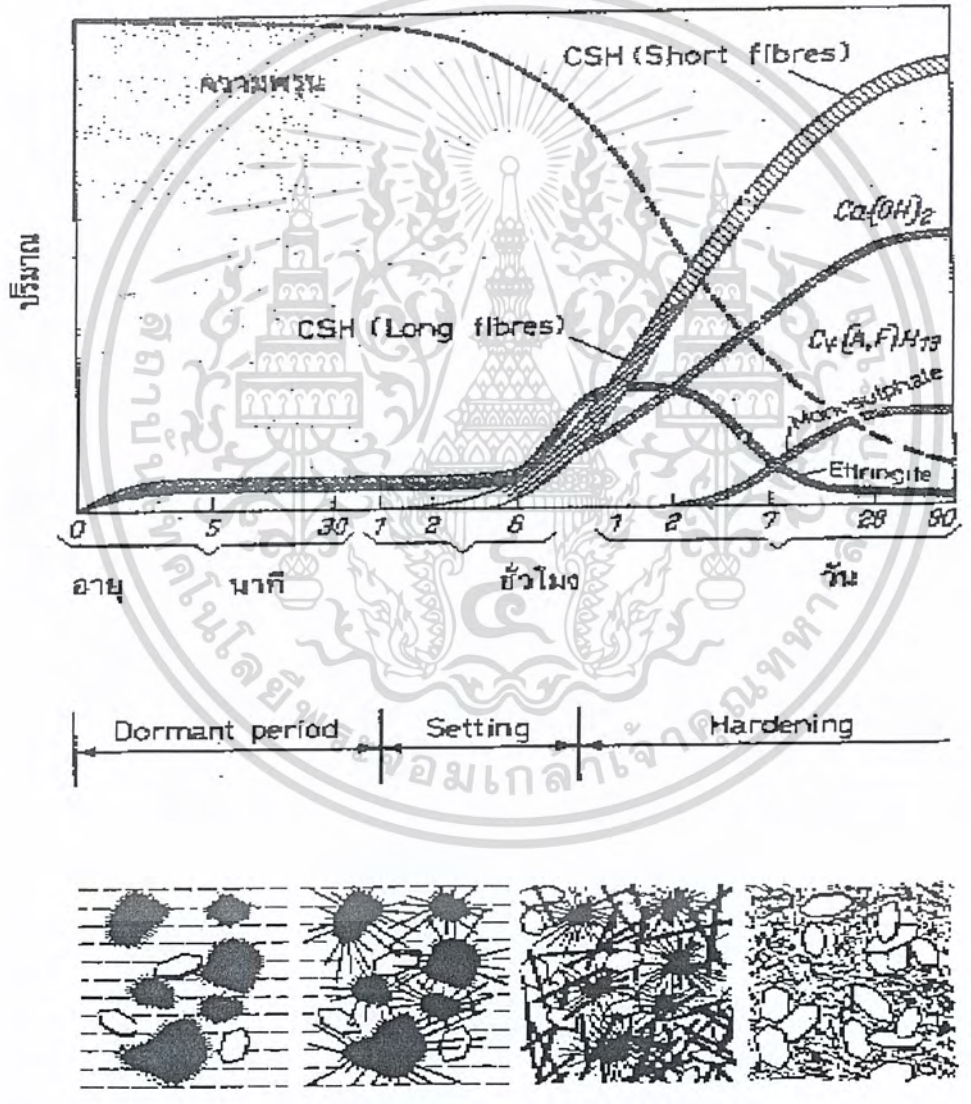
หลังจาก 24 ชั่วโมงไปแล้ว Sulphate Ions ถูกใช้หมดไป อลูมิเนียมและเหล็กออกไซด์เริ่มก่อตัว และ Ettringite ถูกเปลี่ยนไปเป็น Monosulphate ส่วน C_3S และ C_2S จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต่อไป ได้ CSH ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยนั้นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นทั้งหมดนี้ จะไปอุดช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์ ทำให้ความพรุนของเพสต์ลดลงในระยะยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6. ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

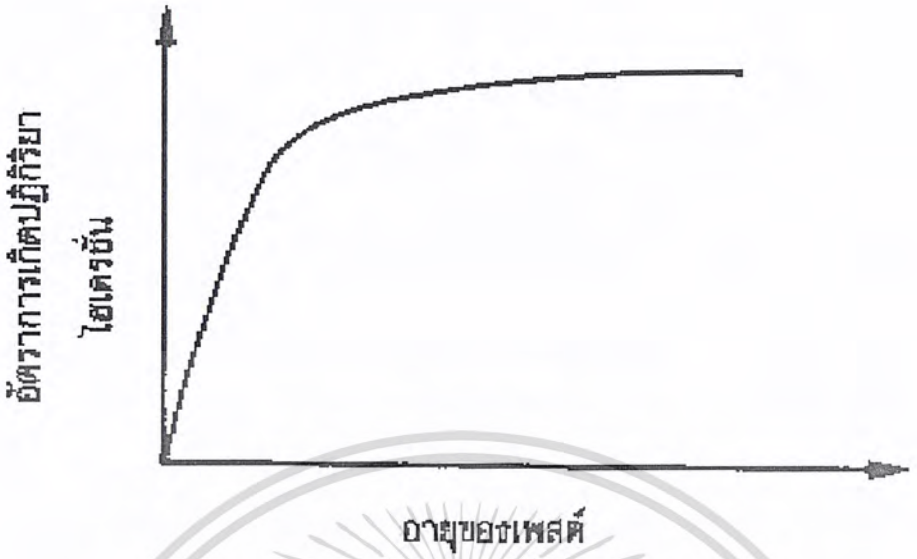
อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ และคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วจะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น จะมีผลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ได้แก่

1) อายุของเพสต์ ยกเว้นช่อง Dormant Period อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะมากที่สุดในช่วงแรก และอัตราการลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจนถึงช่วงสิ้นสุดของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 แผนภาพการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์
(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร ,2536)

2) องค์ประกอบของซีเมนต์ จากตารางที่ 2.6 พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลักแต่ละตัวในซีเมนต์จะแตกต่างกัน

3) ความละเอียดของซีเมนต์ ซีเมนต์ที่มีความละเอียดสูง จะมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับน้ำได้มาก ผลก็คือปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเกิดในอัตราที่เร็ว โดนเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของปฏิกิริยา

4) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ในช่วงต้น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ในช่วงหลังอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะลดลง ถ้าส่วนผสมมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ลดลงผลก็คือ ทั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นโดยเฉลี่ยและดีกรีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะลดลง

5) อุณหภูมิ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีข้อแม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมินี้ต้องไม่ก่อให้เกิดการแห้งตัวของเพสต์

6) น้ำยาผสมคอนกรีต น้ำยาหน่วงหรือน้ำยาเร่งการก่อตัวจะมีผลต่ออัตราปฏิกิริยาไฮเดรชั่น โดยจะลดและเพิ่มอัตราตามลำดับ

2.3.7. กระบวนการแข็งตัว

ตามที่รู้กันอยู่แล้วว่าผลที่ได้จากปฏิกิริยาที่สำคัญก็คือวัสดุที่ไม่มีรูปร่างแน่นอนอย่างอย่างหนึ่ง มีลักษณะคล้ายวุ้นที่เกิดจากน้ำและส่วนของเม็ดซีเมนต์ที่ละลาย ถ้ารักษาให้เพสต์ชื้นอยู่เสมอแล้ว กระบวนการนี้ซึ่งหมายถึงส่วนผสมของซีเมนต์ และส่วนของวุ้นที่ตกตะกอนจะดำเนินต่อไปจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทั่งไม่มีซีเมนต์เหลืออีก หรือจนกระทั่งช่องว่างทั้งหมดในเพสต์เต็มไปด้วยสารที่เกิดจากปฏิกิริยานั้นทั้งหมดแล้ว ในส่วนผสมคอนกรีตธรรมดา ซีเมนต์จะเป็นตัวจำกัดขอบเขตของกระบวนการ

ถ้าไม่รักษาให้เพสต์นั้นชื้นอยู่ตลอดเวลา ปฏิกิริยาของซีเมนต์น้ำจะหยุดเมื่อน้ำได้ระเหยออกจากเพสต์หมดแล้ว ฉะนั้นการบ่มให้เพียงพอนับว่าเป็นสิ่งสำคัญมาก

ยังไม่มีการกำหนดปริมาณของน้ำต่อหน่วยของซีเมนต์สำหรับการแข็งตัวที่พอเหมาะของซีเมนต์เพสต์ เพียงแต่ให้เพสต์นั้นอยู่ในสภาพอิ่มตัวอยู่เสมอก็พอแล้ว

เวลาที่ต้องการสำหรับการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์กับน้ำอย่างสมบูรณ์นั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสม ชนิดของซีเมนต์และอุณหภูมิโดยรอบบริเวณและสำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำกว่า 0.55 โดยน้ำหักจะเกิดขึ้นกับการให้น้ำจากภายนอกด้วย ถ้าบ่มคอนกรีตที่ใช้กันตามธรรมดาเป็นเวลาหนึ่งเดือนโดยให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานในห้องทดลอง จะพบว่าซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำกว่าร้อยละ 80 อย่างไรก็ดีตามสภาพในสนามคอนกรีตจะแห้งภายในไม่กี่วัน หลังจากนั้น ซีเมนต์ยังคงทำปฏิกิริยากับน้ำต่อไปได้โดยอาศัยน้ำที่ซึมผ่านมาจากใต้ดิน หรือจากความชื้นขณะฝนตกหรือในขณะที่ความชื้นในอากาศสูงดังนั้น ภายใต้สภาวะแวดล้อมธรรมดา การทำปฏิกิริยาของน้ำกับซีเมนต์จะยังคงมีต่อไปอีกหลายปีโดยทีเดียว

อัตราการเพิ่มกำลังแตกต่างกับอัตราการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิปกติปฏิกิริยา ขั้นแรกจะทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงขึ้นเล็กน้อย แต่ภายใต้สภาวะมาตรฐานในห้องทดลองพบว่าซีเมนต์ชนิดที่หนึ่งและที่สองประมาณหนึ่งของกำลังอัดสูงสุดจะเกิดขึ้นภายในสัปดาห์แรก และประมาณสามในสี่ภายในเดือนแรก เนื่องจากกำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์ ดังนั้นถ้าคอนกรีตแห้งลงปฏิกิริยาของซีเมนต์ตลอดจนการเพิ่มกำลังจะหยุดลงทันที ในฤดูหนาวความแห้งอาจกลับมีประโยชน์ เพราะว่าคอนกรีตที่อิ่มตัวมักจะได้รับการเสียหายจากการเยือกแข็ง

ถ้าอุณหภูมิภายนอกสูงขึ้นอัตราการทำปฏิกิริยาก็จะสูงขึ้นมากด้วย นอกจากนั้นยังมีผลต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของผลที่ได้จากปฏิกิริยานี้ด้วย อุณหภูมิภายนอกยิ่งสูงผลก็จะมากขึ้นด้วย แต่ที่อุณหภูมิธรรมดาผลที่ได้รับจากปฏิกิริยาของซีเมนต์จะเป็นไปในรูปของสารคล้ายวุ้นเป็นส่วนใหญ่ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะกลายเป็นผลึกขนาดเล็กจำนวนมาก อุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นเท่าไหร่ ปริมาณวุ้นต่อหน่วยซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยาแล้วจะน้อยลงเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงของวุ้นที่เกิดจากอุณหภูมิสูง จะทำให้แรงอัดสูงสุดของคอนกรีตต่ำลง นอกจากนั้นยังลดการหดตัวอันเนื่องมาจากการแห้งของคอนกรีตอีกด้วย

2.3.8. การหดตัวและการพองตัว

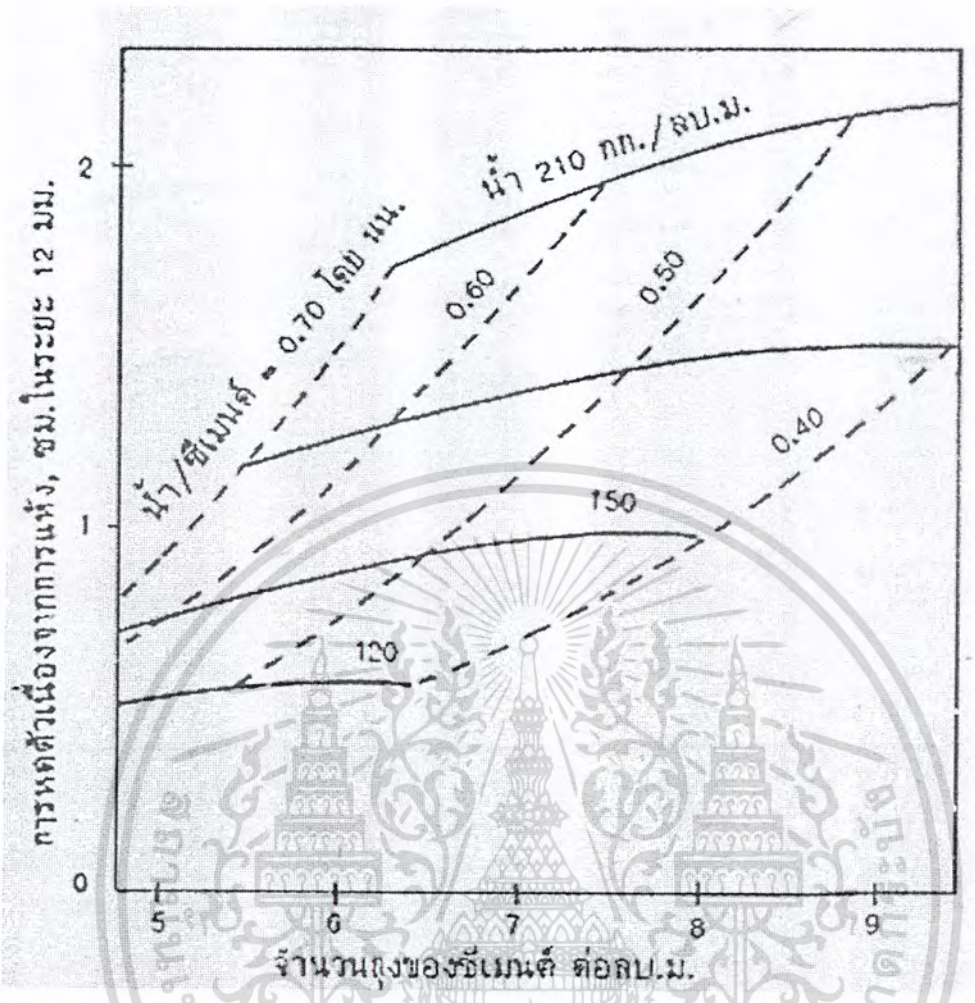
ถ้ารักษาคอนกรีตให้มีความชื้นอย่างสม่ำเสมอ คอนกรีตจะขยายตัวช้า ๆ เป็นเวลาหลายปี แต่ทั้งปริมาณและอัตราการขยายตัวนี้ปกติแล้วน้อยมาก จนถือได้ว่าปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง ตามธรรมดาเราไม่ได้รักษาคอนกรีตให้ชื้นอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นก็ต้องมีการเสียน้ำในตัวไปบ้าง และเพราะฉะนั้นคอนกรีตจึงมักจะหดตัวเมื่อปริมาณน้ำเปลี่ยนแปลง

หลังจากคอนกรีตได้แห้งลงจนกระทั่งความชื้นคงที่ ภายใต้สภาพบรรยากาศอย่างหนึ่ง แล้วถ้าความชื้นในอากาศลดลงคอนกรีตก็จะเสียน้ำไปบ้างหรือถ้าความชื้นสูงขึ้น คอนกรีตก็จะได้น้ำหรือพองตัวเมื่อปริมาณน้ำเปลี่ยนแปลง

ในการเปลี่ยนแปลงจากสถานอิ่มตัวไปเป็นสถานะแห้ง (ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์) คอนกรีตทั่ว ๆ ไปจะหดตัวลงประมาณ 0.6 มม. ต่อ 1 เมตร หรือประมาณร้อยละ 0.06 ซึ่งเทียบเท่ากับการหดตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง 37.8 องศาเซลเซียส

ปริมาณการหดตัวของคอนกรีต ภายใต้ภาวะการทำให้แห้งที่กำหนดให้อย่างหนึ่งขึ้นอยู่กับหลายสิ่งด้วยกัน เพสต์ที่แข็งตัวยิ่งพรุนมากเท่าไร ก็ยิ่งจะหดตัวมากเท่านั้น ถ้าใช้เพสต์ชนิดเดียวกัน คอนกรีตยิ่งมีปริมาณเพสต์มากก็จะหดตัวมาก การเติมส่วนผสมที่ละเอียดเป็นผงลงในคอนกรีตปกติจะทำให้เกิดการหดตัวมากขึ้น คอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ชนิดต่าง ๆกันย่อมจะหดตัวต่างกันด้วย เช่นเดียวกันกับกรณีที่ใช้มวลรวมชนิดต่างๆ กัน สำหรับผลเกี่ยวกับการบ่มยังไม่เป็นที่ทราบกันแน่ชัดแต่โดยทั่วไปการบ่มให้เลยกำหนดไปสองสามวัน จะทำให้เกิดผลดีเพียงเล็กน้อย หรืออาจไม่มีผลเลยก็ได้ ในรูปที่ 2.10 ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมดของคอนกรีตซึ่งแข็งตัวแล้ว สำหรับส่วนผสมต่างๆ กันแต่ใช้วัสดุชนิดเดียวกันจะเห็นว่าผลอันเกิดจากปริมาณน้ำมีมากพอควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



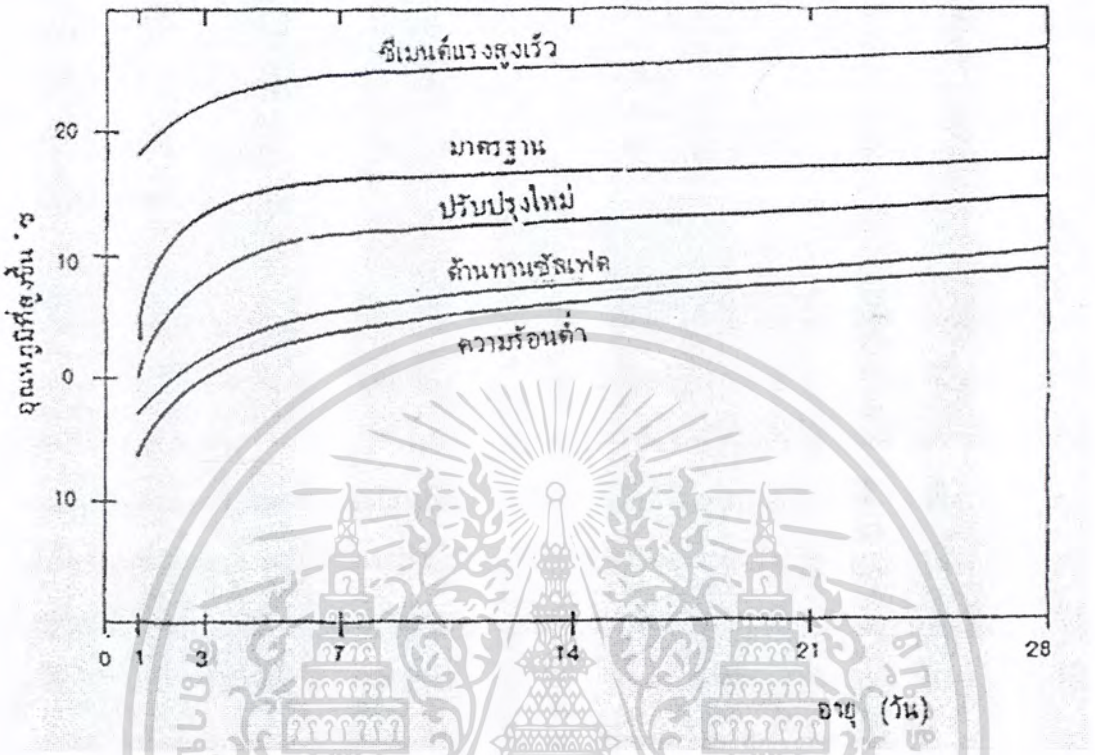
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และปริมาณน้ำในคอนกรีต ใช้สำหรับแสดงให้เห็นลักษณะของเส้นโค้งเท่านั้น ค่าจริง ๆ แตกต่างไปตามชนิดของวัสดุและภาวะการทำให้แห้ง (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2536)

ถ้าองค์อาคารคอนกรีตถูกยึดไว้ไม่ให้หดตัว จะโดยพื้นดินก็ดี เหล็กเสริมก็ดี หรือการยึดตัวโครงสร้างกับองค์อาคารอื่น ๆ ก็ดี องค์อาคารนั้นๆ มักจะเกิดร้าวอันเป็นผลจากการหดตัวหรือผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นร่วมกัน ยิ่งกว่านั้นเมื่อผิวขององค์อาคารแห้งเร็วกว่าภายใน ก็จะเกิดหน่วยแรงชั่วคราวขึ้นซึ่งอาจทำให้เกิดการแตกร้าวทั่วไป ตั้งแต่ภายนอกไปจนถึงภายใน การแห้งที่ไม่เท่ากันแบบนี้จะทำให้แผ่นพื้นต่าง ๆ เช่นพื้นถนนบิดงอได้

แม้ว่าการหดตัวเนื่องจากการแห้งจะเป็นเหตุเบื้องต้นที่ทำให้เกิดการแตกร้าวก็ตาม สิ่งสำคัญอื่นๆ เช่นกำลังดึง ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง- ความเครียด- เวลา ลักษณะการกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นก็ควรจะได้รับการพิจารณาควบคู่ไปกับการหดตัวด้วย เพื่อไว้พิจารณาข้อแตกต่างของการแตกร้าวในโครงสร้างคอนกรีตชนิดต่าง ๆ กัน



รูปที่ 2.11 การเพิ่มอุณหภูมิของคอนกรีตสำหรับซีเมนต์ชนิดต่าง ๆเมื่อไม่มีการเสียความร้อน (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

2.3.9. ความร้อนอันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ

ปฏิกิริยาระหว่างองค์ประกอบของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับน้ำจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นด้วย ส่วนหนึ่งของความร้อนนี้หนีผ่านเนื้อคอนกรีตออกมา แต่บางส่วนก็คงอยู่ภายในและทำให้คอนกรีตมีอุณหภูมิสูงขึ้น อุณหภูมิที่ขึ้นสูงเกินไปเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนา เพราะอาจจะทำให้คอนกรีตเสียความแข็งแรงไปได้และจะทำให้เกิดหน่วยแรงต่าง ๆ ซึ่งทำให้เกิดการแตกร้าวได้ สำหรับโครงสร้างคอนกรีตส่วนมากอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นนั้นน้อยมาก และไม่ค่อยสำคัญนัก แต่อย่างไรก็ดีอุณหภูมิภายในของพื้นบาง ๆ อาจขึ้นสูงหลายองศาภายในไม่กี่ชั่วโมงหลังจากเทคอนกรีต สำหรับคอนกรีตหลา ซึ่งความร้อนหนีได้ช้ามาก อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.11จะเห็นได้ว่าการเพิ่มของอุณหภูมิขึ้นอยู่กับชนิดของซีเมนต์ และเป็นปฏิภาคกับปริมาณของซีเมนต์ในคอนกรีตด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมอุณหภูมิในคอนกรีตหลามีหลายวิธี เช่น ส่วนผสมที่อ่อนซีเมนต์ ใช้ซีเมนต์ชนิดให้ความร้อนต่ำ ใช้วัสดุที่ถูกทำให้เย็นเสียก่อน ใช้น้ำแข็งแทนน้ำบางส่วน กำหนดการเทคอนกรีตโดยให้ชั้นที่เทแล้วเย็นตัวเสียก่อนที่จะเทชั้นต่อไป และการขจัดความร้อนด้วยการฝังท่อน้ำให้น้ำเย็นไหลผ่านตลอดเวลา เป็นต้น.

2.4. การบ่มคอนกรีต[2]

การบ่ม (Curing) คือ ชื่อเฉพาะของวิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ซึ่งจะส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง วิธีการทำโดยให้น้ำแก่คอนกรีตหลังจากที่คอนกรีตหลังจากที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว

หน้าที่สำคัญของการบ่มคอนกรีตมีด้วยกัน 2 ประการคือ 1) ป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีตและ 2) รักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม สำหรับวัตถุประสงค์ที่สำคัญของการบ่มคอนกรีต คือ

1) เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังและความทนทาน
2) เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต โดยรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสม และลดการระเหยของน้ำให้น้อยที่สุด

การบ่มอาจหมายถึงการควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตด้วย ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่นให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อันทำให้คุณภาพของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก อย่างไรก็ตามการเร่งนี้อาจทำให้เกิดผลเสียต่อคุณสมบัติของคอนกรีตในระยะยาว

กรรมวิธีการบ่ม

เราแบ่งกรรมวิธีการบ่มออกเป็น 2 ชนิดตามสภาพอุณหภูมิที่ใช้บ่มคือ

1) การบ่มที่อุณหภูมิปกติ
2) การบ่มที่อุณหภูมิ และความดันสูง

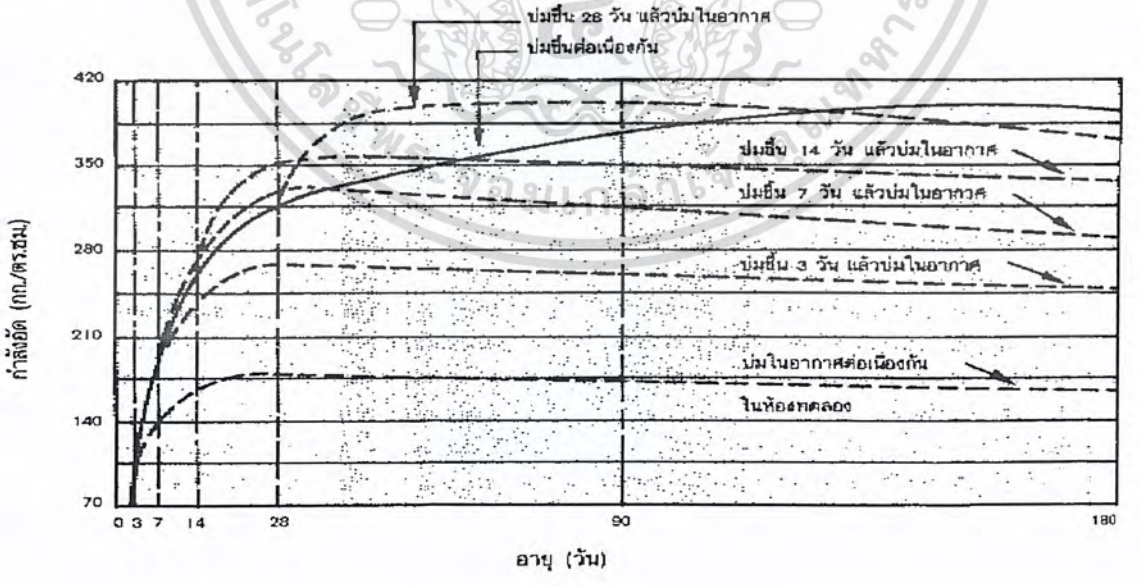
รูปที่ 2.12 แสดงอิทธิพลของการบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีตซึ่งสรุปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเริ่มแรกๆถ้าไดรับการบ่มซึ่งชี้ถึงความสำคัญของการบ่มในระยะแรก
- กำลังของคอนกรีตมีโอกาสเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หลังอายุ 28 วัน โดยอัตราการเพิ่มของกำลังจะช้าลง แต่ก็ยังจะเพิ่มขึ้นตลอดเวลา
- หากขาดความชื้น กำลังคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นสักระยะหนึ่ง เพราะความชื้นที่เหลืออยู่ แต่หลังจากนั้นกำลังจะไม่เพิ่มขึ้นอีก เช่นกำลังของคอนกรีตที่ได้รับการบ่ม 3 วันจะมีกำลังเพียง 75-80% ของกำลังคอนกรีตที่บ่มชื้นครบ 28 วัน

จะเห็นได้แล้วว่า เราควรบ่มคอนกรีตให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ นั่นคือ บ่มจนกว่าคอนกรีตมีกำลังสูงตามที่ต้องการ ในทางปฏิบัติมักไม่สามารถบ่มคอนกรีตได้นานนัก ทั้งนี้ก็เพราะข้อจำกัดในเรื่อง กำหนดการก่อสร้างและค่าใช้จ่าย จากรูป 2.12 แสดงให้เห็นว่า การบ่มชื้นถึง 7 วัน ทำให้เราสามารถได้กำลังของคอนกรีตสูงทัดเทียมกับกำลังคอนกรีตที่บ่มและทดสอบในสภาพชื้นถึง 28 วัน ตามมาตรฐานอเมริกาแนะนำให้ใช้เวลาบ่มชื้น 7 วัน สำหรับโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป หรือเวลาที่จำเป็นเพื่อให้ได้กำลัง 70% ของกำลังอัดหรือกำลังดัดที่กำหนดแล้วแต่ว่าเวลาในน้อยกว่ากัน แต่สำหรับคอนกรีตที่มีปริมาณมากๆ เช่น ฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ เราจำเป็นต้องบ่มนานถึงอย่างน้อย 2 สัปดาห์

ในกรณีที่การบ่มต้องหยุดชะงักไประยะเวลาหนึ่งด้วยเหตุผลใดๆ ก็ตาม เมื่อคอนกรีตได้รับความชื้น ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นก็สามารถเกิดขึ้นต่อไป ทำให้กำลังของคอนกรีตสูงเพิ่มขึ้นไปอีก



รูปที่ 2.12 ผลของการบ่มที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีต (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1. การบ่มที่อุณหภูมิปกติ

สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การเพิ่มความชื้นและวิธีป้องกันการเสียความชื้น

1) การเพิ่มความชื้น โดยให้ความชื้นต่อผิวหน้าของคอนกรีตโดยตรงในระยะแรกที่คอนกรีตแข็งตัว วิธีนี้นอกจากจะเป็นวิธีบ่มที่ดีแล้ว ยังสามารถช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวของคอนกรีตลงด้วยจึงเหมาะกับคอนกรีตที่เทในอากาศร้อน การบ่มแบบนี้ทำได้หลายวิธี รวมทั้งมีข้อดีข้อเสีย สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 วิธีการบ่มโดยเพิ่มความชื้น

วิธีการบ่ม	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
1. การขังน้ำ เหมาะสมกับงานคอนกรีตที่มีพื้นราบ เช่นแผ่นพื้นทั่วไป ดาดฟ้า พื้นสะพาน วิธีการ ทำโดยการใช้ดินเหนียวหรือก่ออิฐทำเป็นคันโดยรอบของงานคอนกรีตที่จะบ่ม	1. ทำได้สะดวก,ง่าย, ราคาถูก วัสดุหาง่ายเช่นดินเหนียวและน้ำ 2. ใช้คนงานระดับกรรมกรทำได้ 3. ซ่อมแซมได้สะดวก,รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย	1. ต้องหมั่นตรวจดูรอยแตกร้าวของดินเหนียวที่นำมาใช้อยู่เสมอ มิฉะนั้นน้ำจะซึมหนี 2. ต้องเก็บทำความสะอาดบริเวณคอนกรีตที่บ่มเรียบร้อยแล้ว
2. โดยการฉีดน้ำหรือพรมน้ำ วิธีการ ใช้ได้ทั้งแนวราบและแนวดิ่ง เช่นผนัง กำแพง พื้น	1. ทำได้สะดวก 2. ค่าใช้จ่ายถูก 3. ใช้คนงานระดับกรรมกรได้ 4. ไม่ต้องดูแลตลอดเวลา	1. ไม่เหมาะกับสถานที่ที่หาน้ำได้ยาก 2. ไม่สะดวกกับการฉีดกับกำแพงในแนวดิ่งเพราะน้ำจะแห้งเร็ว
3. โดยการใช้วัสดุเปียกชื้นคลุม วิธีการเช่นการนำกระสอบซึ่งอุ้มน้ำได้ ถ้าใช้ฟางหรือขี้เลื่อยควรหนาไม่น้อยกว่า 15 ซม. คลุมให้ทั่วและฉีดน้ำอยู่เสมอ	1. ได้ผลดีมาก ราคาไม่สูงเกินกว่าจะทำ 2. ทำได้ทั้งแนวราบและแนวดิ่ง ในกรณีที่ใช้ผ้าใบและกระสอบ 3. ใช้คนงานระดับกรรมกรทำได้ 4. สามารถหาวัสดุมาใช้ได้ง่าย	1. ถ้าอากาศร้อนจะแห้งเร็ว 2. ถ้าพื้นที่กว้างๆจะเสียค่าใช้จ่ายเยอะ 3. ต้องฉีดน้ำให้ชุ่มอยู่เสมอ 4. ต้องพิจารณาก่อนที่จะนำมาใช้ว่าวัสดุเป็นอันตรายต่อซีเมนต์หรือผิวคอนกรีตหรือไม่

(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วิธีป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต วิธีนี้เป็นการป้องกันความชื้นจากเนื้อคอนกรีตมิให้เล็ดลอดออกสู่ภายนอก การป้องกันความชื้นวิธีนี้ได้แก่การใช้กระดาษกันน้ำ ผ้าพลาสติก หรือสารเคมีเป็นต้น อย่างไรก็ตามไม้แบบที่ยังไม่ถอดก็สามารถป้องกันการเสียความชื้นได้เช่นกัน วิธีการบ่มแบบนี้สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 วิธีการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต

วิธีการบ่ม	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
1. การใช้กระดาษกันน้ำซึมได้คลุม กระดาษนี้ทำด้วยกระดาษเหนียวยึดติดกันด้วยกาวประเภทยางมะตอยและเสริมความเหนียวด้วยใยแก้วและมีคุณสมบัติยืดหดตัวไม่มาก วิธีการใช้ รอยต่อควรเหลื่อมกันให้มากพอสมควร และรอยต่อระหว่างแผ่นต้องผนึกแน่นด้วยกาวหรือเทปทรายก็ได้	1. ทำได้สะดวก รวดเร็ว 2 ป้องกันคอนกรีตไม่ให้แห้งได้เร็ว แต่ต้องคอยราดน้ำไว้ด้วย 3. ใช้คนงานระดับกรรมกรทำได้	1. ราคาแพง 2. ไม่สะดวกในการปฏิบัติงาน 3. ไม่สะดวกในการเก็บรักษาต่อไปเมื่อนำมาใช้งานต่อ
2. การใช้แผ่นพลาสติกคลุม เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา และสามารถใช้คลุมงานคอนกรีตที่จะบ่มได้ทันทีที่ต้องการ	1. มีน้ำหนักเบา ปฏิบัติงานง่าย 2. ได้ผลดีในการป้องกันการน้ำที่ระเหยออกจากคอนกรีต 3. ไม่ต้องราดน้ำให้ชุ่มอยู่ภายใน	1. บางมาก ชำรุดง่าย 2. ต้องหาของหนักทับเพื่อกันปลิว 3. ราคาแพง ถ้าใช้คลุมงานคอนกรีตที่ค่อนข้างกว้าง
3. การบ่มด้วยน้ำยาเคมีเคลือบผิวคอนกรีต โดยการใช้พ่นคลุมพื้นผิวคอนกรีตที่ต้องการใช้งานเร็วๆ เช่นลานบิน หลังคากว้างๆ งานพิเศษต่างๆ หรือตึกสูงที่น้ำส่งไปได้ลำบาก	1. สะดวก รวดเร็ว 2. ได้ผลดีพอสมควร ถ้าน้ำยานั้นเป็นของแท้ และมีความเข้มข้นตามมาตรฐานของผู้ผลิต 3. ไม่ต้องคอยรดน้ำ 4. ไว้ใช้ในกรณีที่การบ่มวิธีอื่นทำไม่ได้ผล	1. ค่าใช้จ่ายสูง 2. ต้องจัดเตรียมเครื่องมือสำหรับพ่นทุกครั้ง 3. ต้องใช้บุคลากรที่เคยใช้มาก่อนการพ่น 4. น้ำยาเคมีที่ใช้พ่นอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ที่อยู่ใกล้เคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 วิธีการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต(ต่อ)

วิธีการบ่ม	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
4. การบ่มโดยใช้ไม้แบบ ต้องพ่นไม้แบบให้มีความชื้นอยู่เสมอไม้แบบจะป้องกันการเสียความชื้นได้ดีมาก ฉะนั้นควรรักษาไม้แบบไว้ให้นานที่สุดหลังจากที่ถอดแบบแล้วจึงใช้วิธีอื่นต่อไป	1. ทำได้สะดวก 2. ใช้คนงานระดับกรรมกรทำได้	1. ต้องใช้ไม้แบบจำนวนมาก 2. ช้าเพราะต้องนำไม้แบบไปใช้งานอื่นต่อไป 3. ถ้าเป็นไม้แบบเก่าต้องเสียเวลาทำความสะอาดไม้แบบ

(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

2.4.2. การบ่มที่อุณหภูมิสูง

การบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิสูงสามารถเร่งอัตราการเกิดกำลังได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมในการบ่มคอนกรีตสำเร็จรูป เช่นท่อ คาน และพื้น ข้อดีในการปฏิบัติคือ

- สามารถผลิตได้รวดเร็วขึ้น
- ประหยัดแบบหล่อเพราะสามารถถอดแบบหล่อได้เร็ว
- คอนกรีตมีกำลังสูงเร็ว ทนต่อการเคลื่อนย้ายและทำงานได้ดี

2.4.2.1. การบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำ

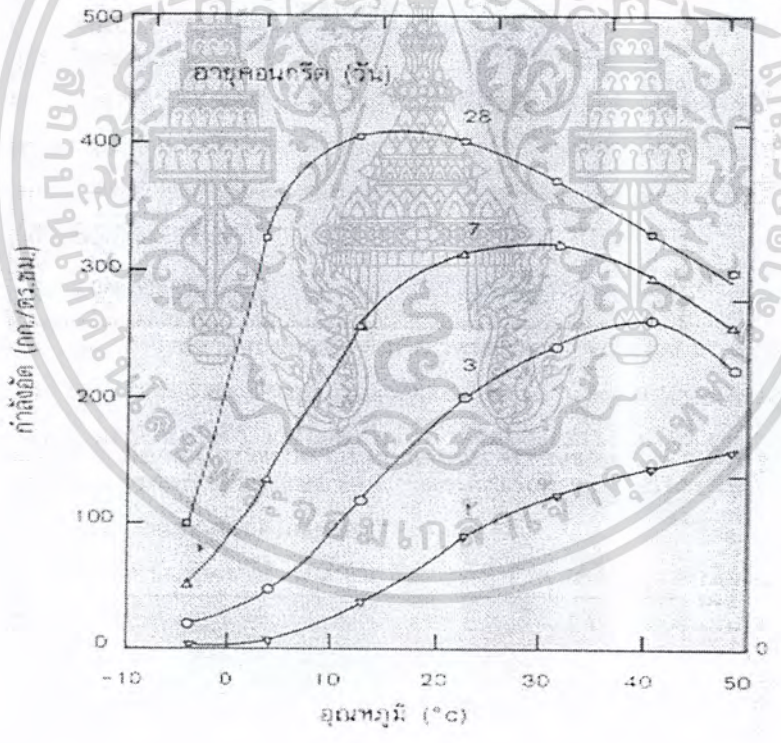
อุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง 40 – 100 องศาเซลเซียส ส่วนการเลือกอุณหภูมิที่ใช้ขึ้นอยู่กับอัตราการเพิ่มกำลังและกำลังสูงสุดที่ต้องการอุณหภูมิสูงจะทำให้กำลังสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และกำลังประลัยสูงสุดจะมีค่าต่ำ อุณหภูมิที่ต่ำให้กำลังประลัยสูงสุดที่สูงแต่ด้วยอัตราการเพิ่มกำลังที่ต่ำ ความสัมพันธ์เห็นได้ชัดเจนในรูปที่ 2.14

นอกจากใช้อุณหภูมิสูงสุดในการบ่มแล้ว สิ่งที่สำคัญก็คือ เวลาที่ใช้ในการบ่มซึ่งประกอบด้วยช่วงเวลา การค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้น เวลาที่อุณหภูมิสูงสุดจริง และการลดอุณหภูมิลงสู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

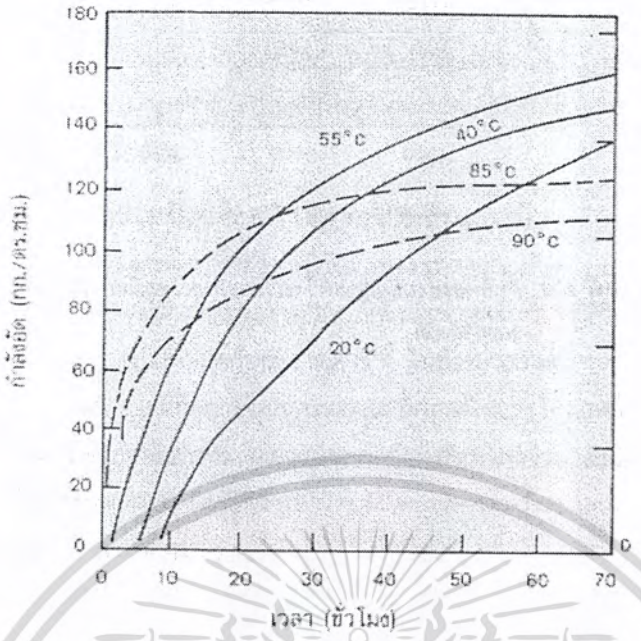
อุณหภูมิปกติ รูปที่ 2.15 แสดงขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิควรทิ้งคอนกรีตไว้ที่อุณหภูมิปกติประมาณ 2 – 6 ชั่วโมงหลังการหล่อ ก่อนที่จะสัมผัสกับไอน้ำทั้งนี้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ขั้นเบื้องต้นก่อนอัตราการเพิ่มอุณหภูมิไม่ควรเกิน 30 องศาเซลเซียส/ชั่วโมง เวลาที่คอนกรีตอยู่ภายใต้อุณหภูมิสูงสุดเป็นสิ่งกำหนดกำลังที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่เรียกว่า Maturity ดังแสดงในรูปที่ 2.16 อัตราในการลดอุณหภูมิหลังจากการบ่ม มีความสำคัญน้อยทั้งนี้เพราะคอนกรีตมีความแข็งแรงสูงแล้ว โดยใช้อัตราการลดอุณหภูมิระหว่าง 20 – 30 องศาเซลเซียส / ชั่วโมง

ในหลายโอกาส เราใช้การบ่มด้วยไอน้ำนี้เพื่อให้ได้กำลังสูงพอที่ให้กำลังสูงพอที่ให้กำลังปลอดภัยต่อการถอดแบบและขนย้ายเท่านั้น จากนั้นก็สามารถบ่มคอนกรีตด้วยความชื้นตามปกติได้ คอนกรีตที่บ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันจะมีคุณสมบัติไม่ต่างจากคอนกรีตที่บ่ม ณ อุณหภูมิต่ำ

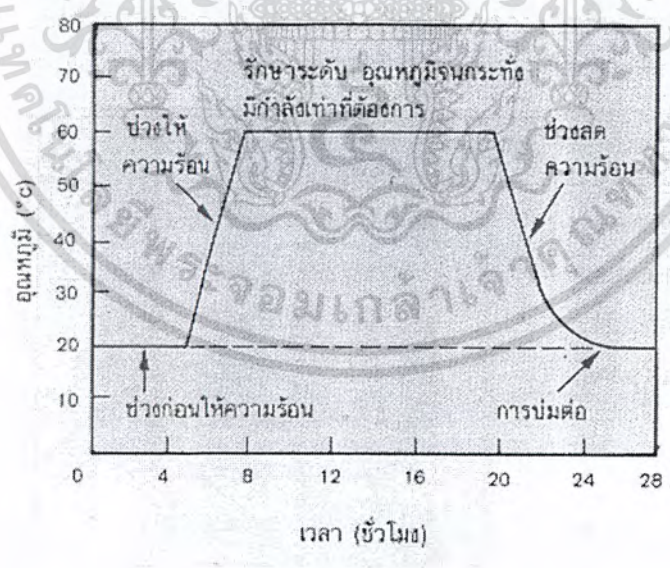


รูปที่ 2.13 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มกับกำลังอัดของคอนกรีต
(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

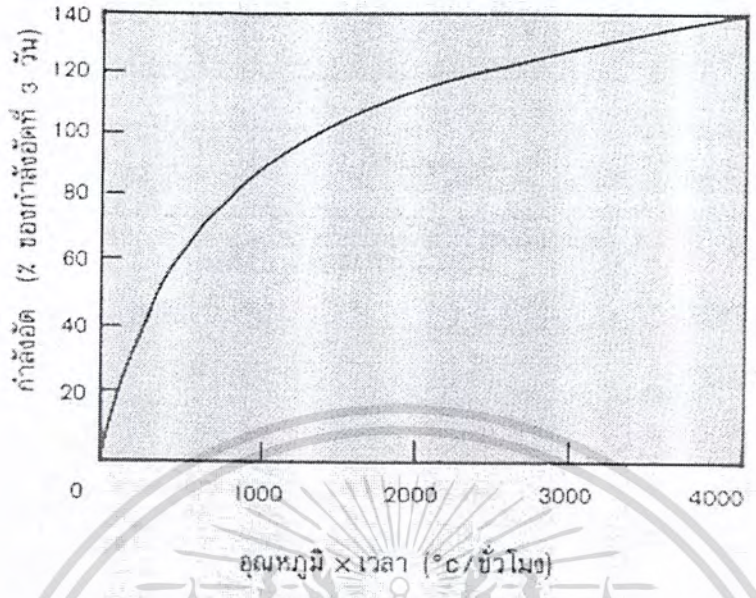


รูปที่ 2.14 ผลของอุณหภูมิของการบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำต่อกำลังของคอนกรีตในระยะแรก
(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)



รูปที่ 2.15 ขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิสำหรับการบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำ
(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 อิทธิพลของผลคูณระหว่างเวลาและอุณหภูมิต่อผลการเพิ่มของกำลังอัด
(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

2.4.2.2. การบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันสูง

หากต้องการบ่มคอนกรีตด้วยอุณหภูมิสูงเกิน 100 องศาเซลเซียส เราต้องให้ความกดดันสูงขึ้นและต้องบ่มคอนกรีตในภาชนะที่ปิดสนิท ซึ่งมีชื่อว่า Autoclave อุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ที่ประมาณ 160 – 210 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 6 – 20 atm สารประกอบที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีภายใต้สภาวะดังกล่าวมีคุณสมบัติต่างจากสารประกอบ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส และมีผลดีที่สำคัญคือ

- สามารถใช้คอนกรีตภายใน 24 ชั่วโมง เพราะคอนกรีตมีกำลังสูงทัดเทียมการบ่มปกติเป็นเวลา 28 วัน
- มีการหดตัวและการล้าลดลงมาก
- ทนเกลือซัลเฟตได้ดีขึ้น
- กำจัด Efflorescence
- มีความชื้นต่ำภายหลังการบ่ม

ในทางปฏิบัติ การบ่มแบบนี้สิ้นค่าใช้จ่ายสูงและใช้ได้กับคอนกรีตสำเร็จรูปเท่านั้น มีการใช้การบ่มนี้สำหรับผลิตภัณฑ์จำเพาะบางอย่าง เช่น แผ่นกระเบื้องซีเมนต์ใยหิน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3. ระยะเวลาการบ่ม

โดยทั่วไประยะเวลาของการบ่มคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการ เช่น ชนิดปูนซีเมนต์ อัตราส่วนผสมของคอนกรีต กำลังของคอนกรีตที่ต้องการ ขนาดและรูปร่างของแท่งคอนกรีต อุณหภูมิที่ใช้บ่ม และความชื้นในขณะบ่ม เป็นต้น องค์ประกอบเหล่านี้ถือได้ว่าจะมีผลต่อระยะเวลาของการบ่มคอนกรีตซึ่งอาจจะถึง 1 เดือน สำหรับคอนกรีตที่ใช้ทำเขื่อน หรือเพียง 3 วันสำหรับคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ผสมอยู่ในปริมาณสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเกิดกำลังสูงเร็ว

สำหรับงานโครงสร้างทั่วๆไป ส่วนใหญ่จะกำหนดระยะเวลาในการบ่มไว้ตั้งแต่ 3 วัน จนถึง 3 สัปดาห์ ซึ่งกำหนดเวลาดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยปกตินิยมกำหนดระยะเวลาการบ่มไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ สำหรับปูนปอร์ตแลนด์ธรรมดา

2.5. สมการที่ใช้หาค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น[3],[4]

2.5.1. สมการปริมาณน้ำที่ไม่สามารถระเหย (Non-evaporable water, NE.W.) ดังสมการที่ 1

$$\text{NE.W.} = \frac{M_{105^o} - M_{950^o}}{M_{950^o}} x100 \quad \% \tag{1}$$

โดยที่ M_{105^o} และ M_{950^o} คือมวลของตัวอย่างหลังผ่านการอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105°C และ 950°C ตามลำดับ

2.5.2. สมการระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Degree of hydration, D.H.) ดังสมการที่ 2

$$\text{D.H.}(\alpha) = \frac{M_{105^o} - M_{950^o}}{M_{950^o}} x100/23 \quad \% \tag{2}$$

โดยที่ 23 % คือปริมาณน้ำที่ไม่สามารถระเหย ณ ที่ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นสมบูรณ์ 100 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

3.1. กล่าวนำ

ในการทดลองนี้จะดำเนินการทดลองไปใน 2 กรณีได้แก่

1) วิธีทดสอบสำหรับการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในซีเมนต์เพสต์แข็งตัวในแต่ระดับชั้นความลึกต่างๆ
2) วิธีทดสอบสำหรับการหากำลังอัดในมอร์ต้าในแต่ระยะของบริเวณที่ได้รับการบ่ม

3.2. วิธีการทดลอง[5]

3.2.1. วิธีทดสอบสำหรับการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในซีเมนต์เพสต์แข็งตัวในแต่ระดับชั้นความลึกต่างๆ

1) นำท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร มาตัดเป็นท่อนยาวท่อนละ 40 เซนติเมตร จำนวน 45 ท่อน
2) ทำด้านหนึ่งของท่อ PVC เป็นระบบปิด ด้วยการวาง PVC ตั้งบนแผ่นเหล็กแล้วใช้กาวอี พ๊อกซี่ ทาโดยรอบเส้นรอบวง PVC
3) ผสมซีเมนต์เพสต์ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 (ต้องใช้น้ำยาเพื่อเพิ่มอากาศสำหรับคอนกรีต DAREX AEA ในอัตรา 75 มิลลิลิตรต่อ 100 กิโลกรัมของซีเมนต์ และน้ำยาลดน้ำปริมาณมาก SUPER 20 ในอัตรา 500 มิลลิลิตรต่อ 100 กิโลกรัมของซีเมนต์เพื่อที่ทำให้เกิดการผสมได้), 0.45 และ 0.60 บรรจุในท่อ PVC โดยที่เททีละ 5 เซนติเมตร ทำการกระทุ้งจนถึงความสูง 30 เซนติเมตร เก็บไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4) นำท่อ PVC ที่มีซีเมนต์เพสต์ 30 เซนติเมตร ทำการบ่มด้วยวิธีการต่างๆ 5 วิธี (ใช้น้ำ, ใช้สารกักกระจายฟองอากาศ 10% ผสมน้ำ, ใช้น้ำยาบ่มคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C-309, ใช้พลาสติกหุ้ม, ใช้อากาศ)
5) เก็บไว้เป็นเวลา 28 วัน หลังจากนั้นตัดตัวอย่างออกเป็น 6 ส่วน ขนาดเท่าๆ กันที่ 5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) นำตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ออกจากท่อ PVC แต่ละอัน นำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซสเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งน้ำหนัก ($M_{105°C}$)
7) จากนั้นนำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 950 องศาเซสเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งน้ำหนัก ($M_{950°C}$)

3.2.2 วิธีทดสอบสำหรับการหากำลังอัดในมอร์ต้าในแต่ระยะของบริเวณที่ได้รับการบ่ม

1) ทำแบบหล่อที่มีขนาด 30x30x30 เซนติเมตร จำนวน 45 ตัวอย่าง ทำการปูแผ่นพลาสติกในแบบ ก่อนที่จะเทมอร์ต้า เพื่อกันน้ำปูนไม่ให้ซึมออกมา จากนั้นทาน้ำมันให้ทั่วแผ่นพลาสติกก่อนเทคอนกรีต เพื่อความสะดวกในการถอดแบบ
2) ทำการผสมมอร์ต้าลงแบบหล่อด้วยอัตราส่วน 0.30 คือ ใช้ปูนซีเมนต์ 20 กิโลกรัม ทรายละเอียด 40 กิโลกรัม น้ำ 6 กิโลกรัม (ต้องใช้น้ำยาเพื่อเพิ่มอากาศสำหรับคอนกรีต DAREX AEA ในอัตรา 15 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง และน้ำยาลดน้ำปริมาณมาก SUPER 20 จำนวน 100 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง ในการผสมเพื่อที่ทำให้เกิดการผสมได้) เป็นจำนวน 15 ตัวอย่าง
ด้วยอัตราส่วน 0.45 คือใช้ปูนซีเมนต์ 20 กิโลกรัม ทรายละเอียด 40 กิโลกรัม น้ำ 9 กิโลกรัม ต่อตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง เป็นจำนวน 15 ตัวอย่าง
ด้วยอัตราส่วน 0.60 คือ ใช้ปูนซีเมนต์ 20 กิโลกรัม ทรายละเอียด 40 กิโลกรัม น้ำ 12 กิโลกรัม ต่อตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง เป็นจำนวน 15 ตัวอย่างทำการจี้เขย่าให้มอร์ต้าอัดแน่นก่อน จากนั้นทิ้งไว้ในแบบหล่อ 24 ชั่วโมง
3) เคลือบด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างด้วยกาวอีพ็อกซี่ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารเคลือบที่ได้รับการยอมรับ ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันการซึมเข้าหรือระเหยออกของน้ำในด้านบนและด้านล่าง เนื่องจากพิจารณาการบ่มในระยะที่ต่างกันบริเวณด้านข้าง
4) นำตัวอย่างไปบ่มด้วยวิธีการบ่มทั้ง 5 วิธีคือ

- การบ่มด้วยน้ำโดยการนำลงไปแช่ในน้ำ
- การบ่มด้วยการหุ้มโดยการนำแผ่นพลาสติกมาหุ้มตัวอย่างให้มิดชิดทั้ง 6 ด้านของตัวอย่าง
- การบ่มด้วยสารกักกระจายฟองอากาศผสมกับน้ำด้วยอัตราส่วน10%แล้วนำลงไปแช่ในอ่างเตรียมไว้
- การบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต โดยการใช้น้ำยาบ่มคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C-309 ทารอบๆ ตัวอย่างทุกทิศทางให้หนาพอสังเกตว่าจะเห็นเป็นสีชมพูระเรื่อ
- การบ่มด้วยอากาศ คือการนำตัวอย่างเก็บไว้ในห้องด้วยอุณหภูมิปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) หลังจากนั้นทิ้งตัวอย่างไว้ 28 วัน จึงนำตัวอย่างมาเจาะด้วยเครื่องเจาะ ด้วยหัวเจาะขนาด 2 นิ้ว (5 เซนติเมตรด้วยระยะที่ต่างกันสามระยะประมาณ 33 , 80 , 120 มิลลิเมตร จากผิวนอก)

6) นำแท่งตัวอย่างที่เจาะแล้วมาตัดให้เหลือความยาวเท่ากับ 10 เซนติเมตร

7) นำแท่งตัวอย่างที่ตัดแล้วไปกดที่เครื่องกดเพื่อหากำลังกด จากนั้นนำค่ามาเขียนกราฟเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

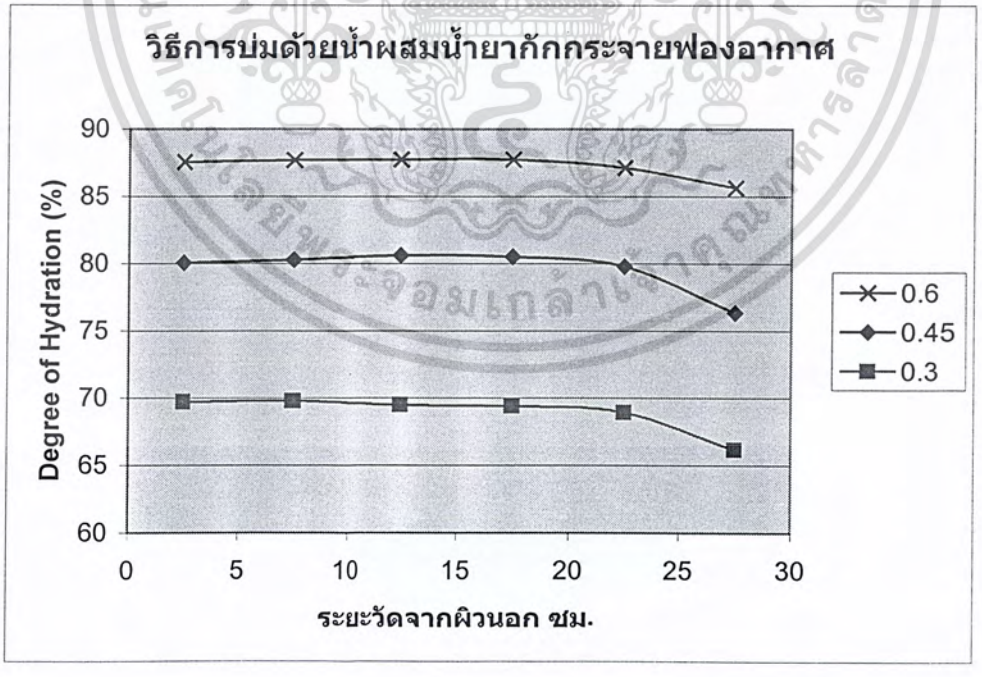
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองต่างๆที่ผู้ทดลองได้เก็บข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดลองในบทนี้ เช่น กราฟของค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น กราฟของค่าปริมาณของน้ำที่ไม่สามารถระเหยได้ กราฟกำลังกดของมอร์ต้า

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 ผลการทดลองของซีเมนต์เพสต์

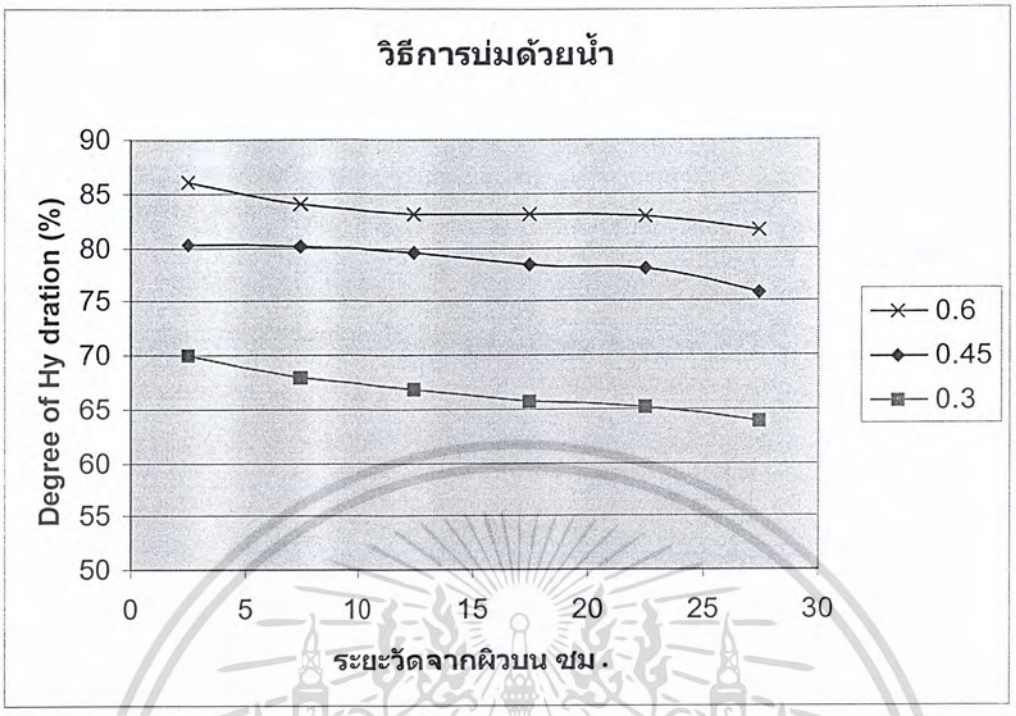
4.2.1.1 Degree of Hydration

- การเปรียบเทียบที่ชนิดของการบ่มเดียวกัน

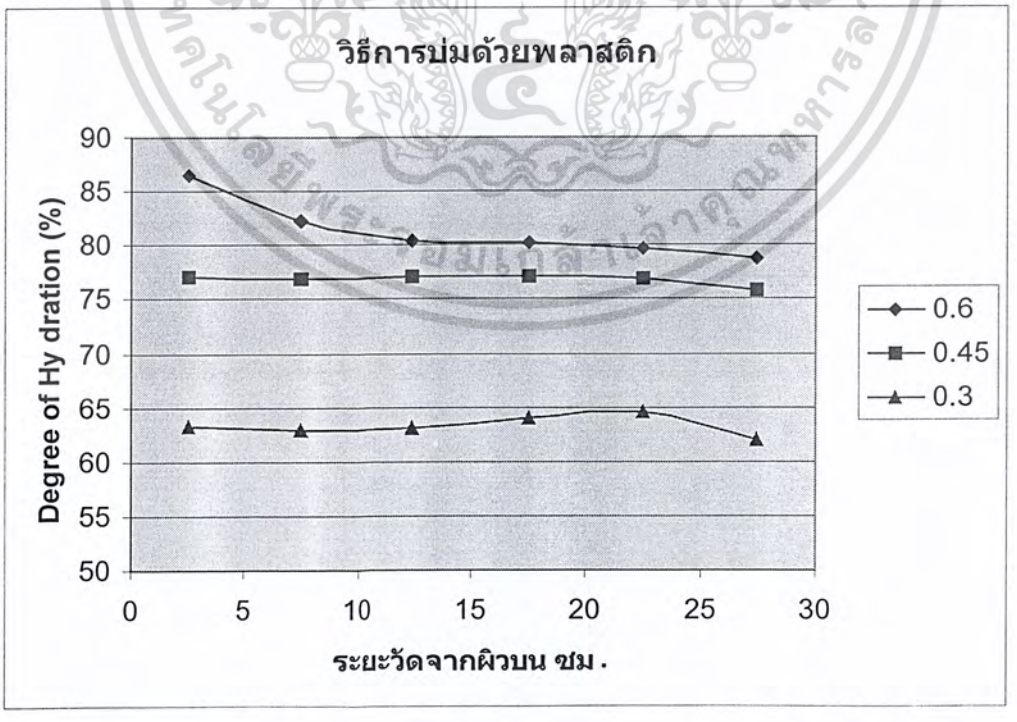


รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของวิธีการบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟองอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

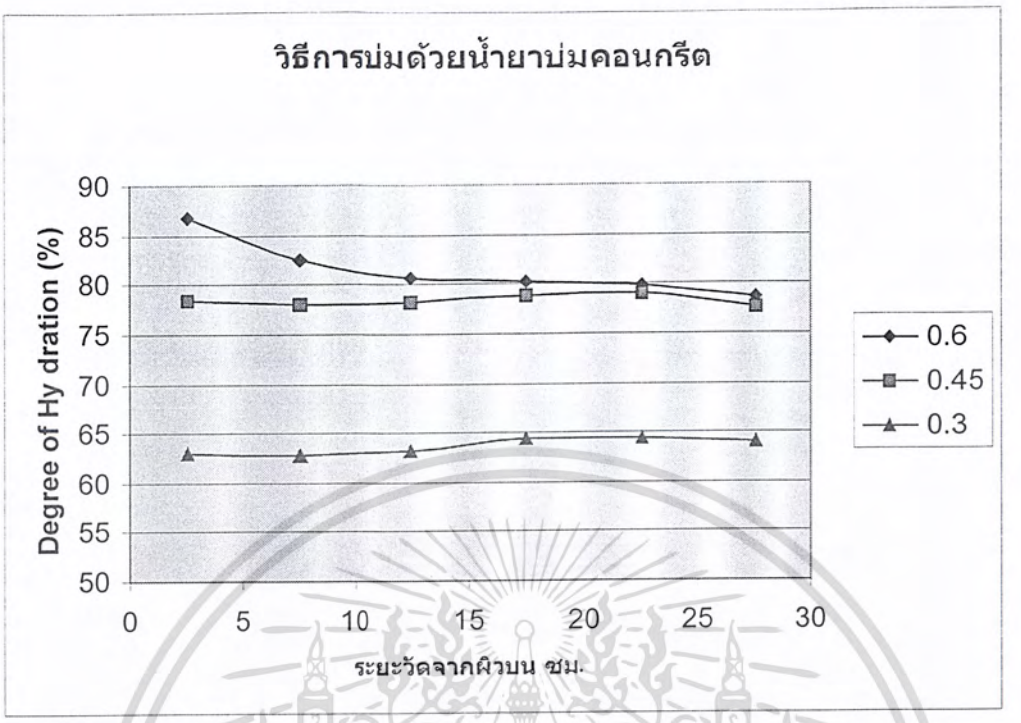


รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของวิธีการบ่มด้วยน้ำ

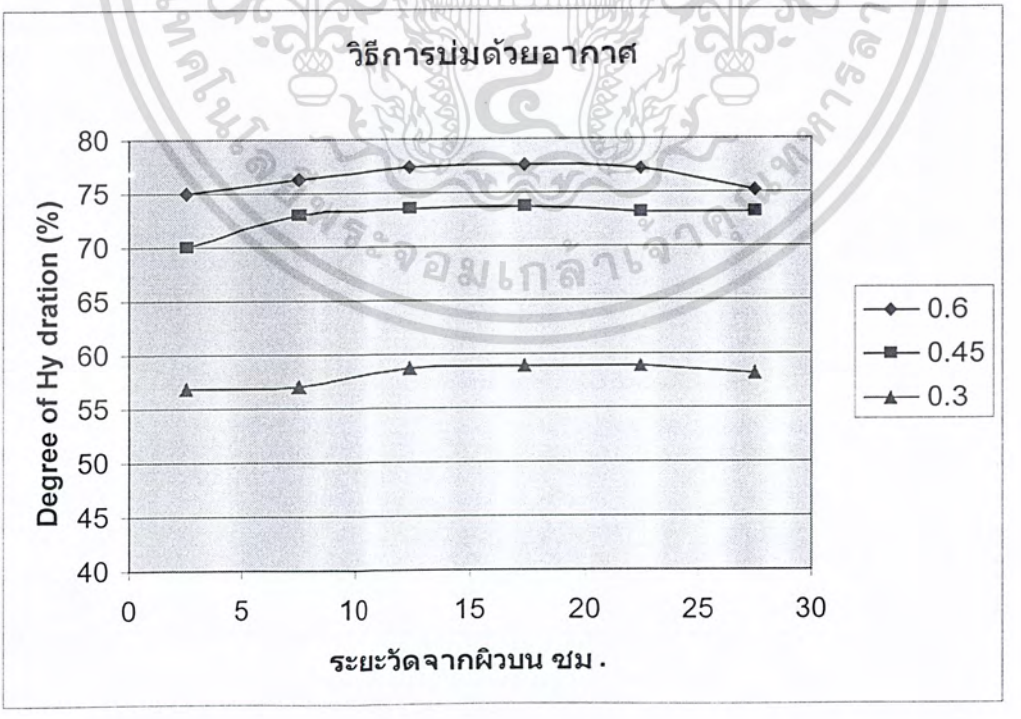


รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของวิธีการบ่มด้วยพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



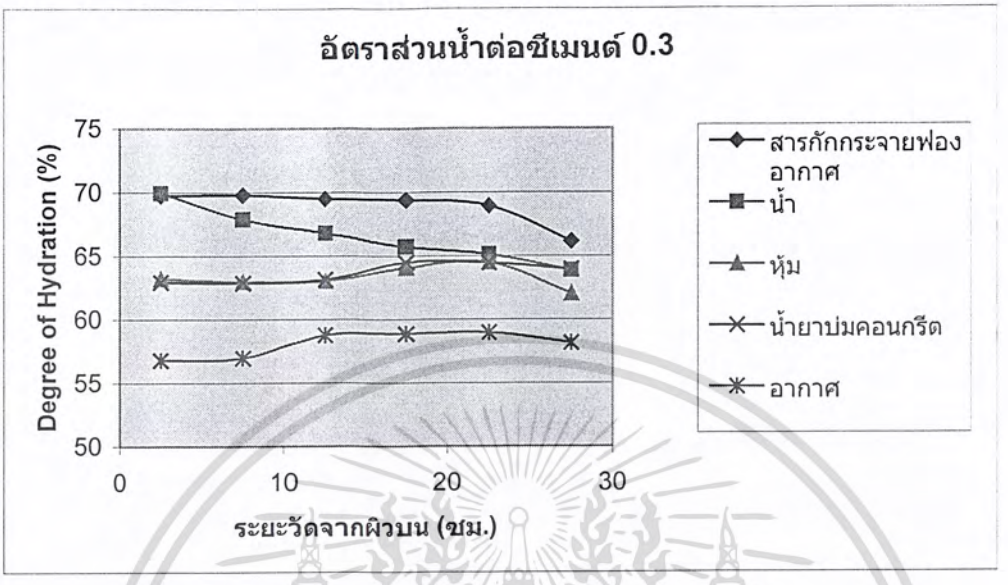
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของวิธีการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต



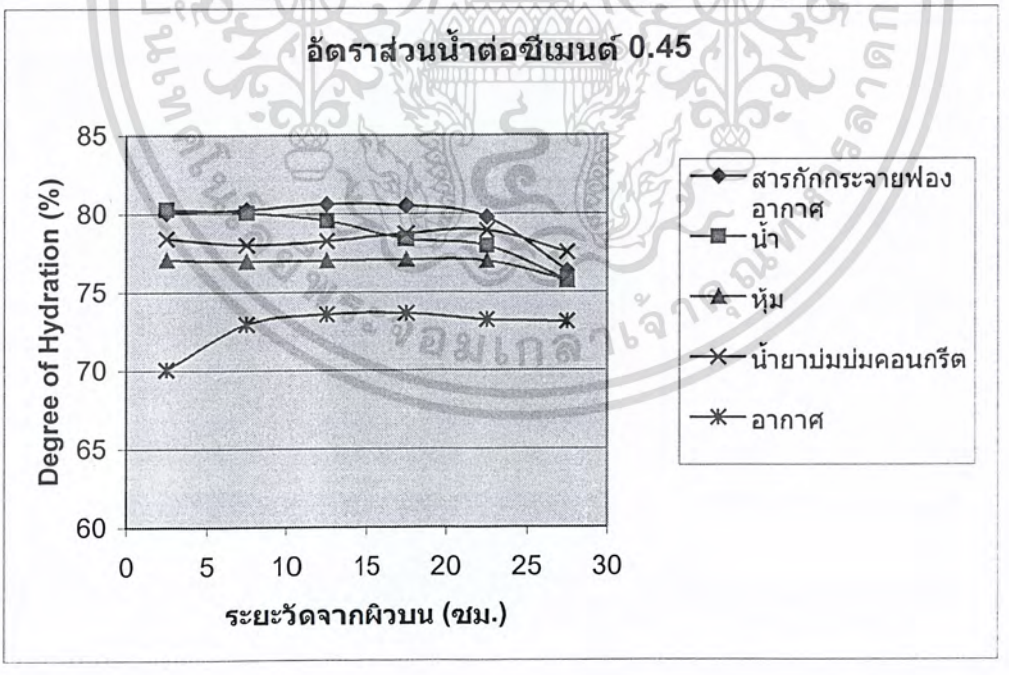
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของวิธีการบ่มด้วยอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเปรียบเทียบที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เดียวกัน (w/c)

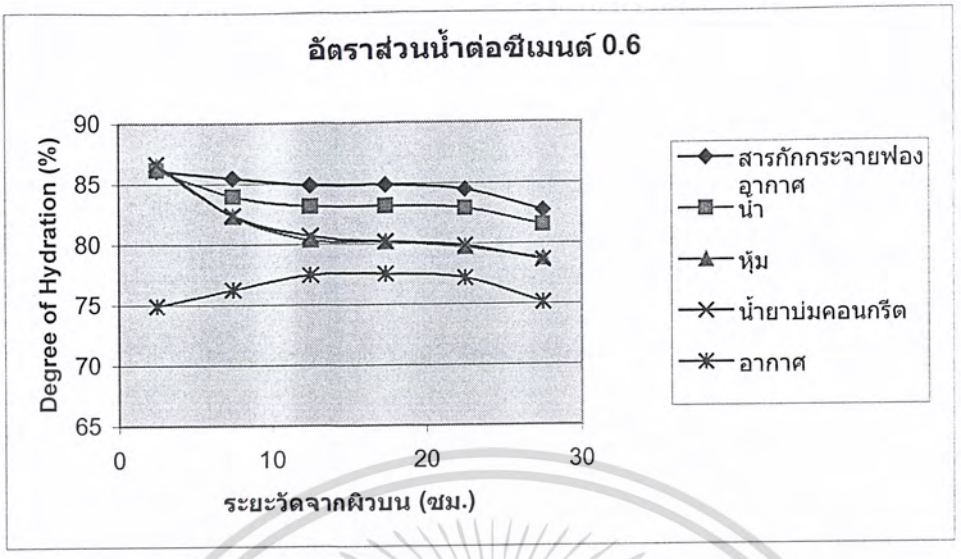


รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของอัตราส่วน W/C 0.30



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของอัตราส่วน W/C 0.45

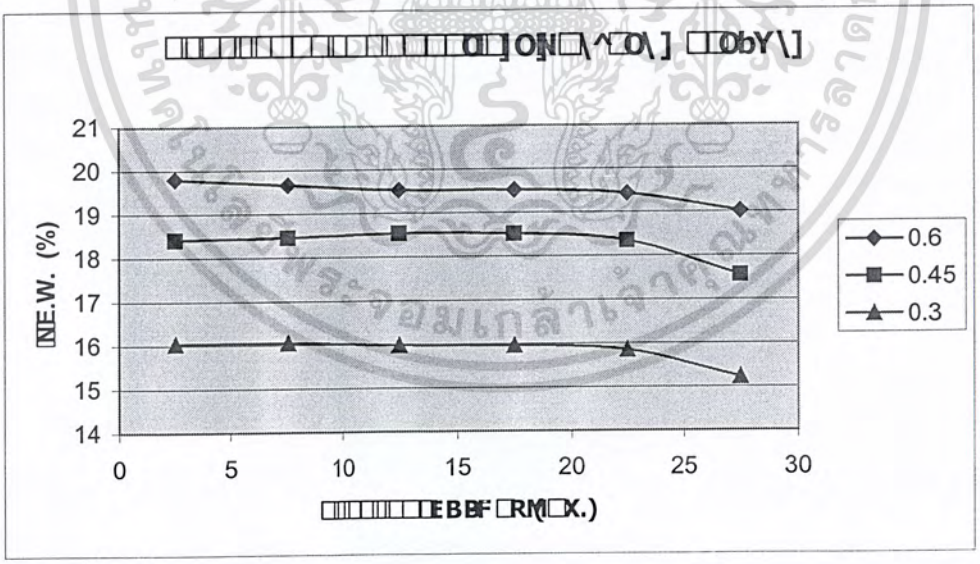
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบ Degree of Hydration ของอัตราส่วน W/C 0.60

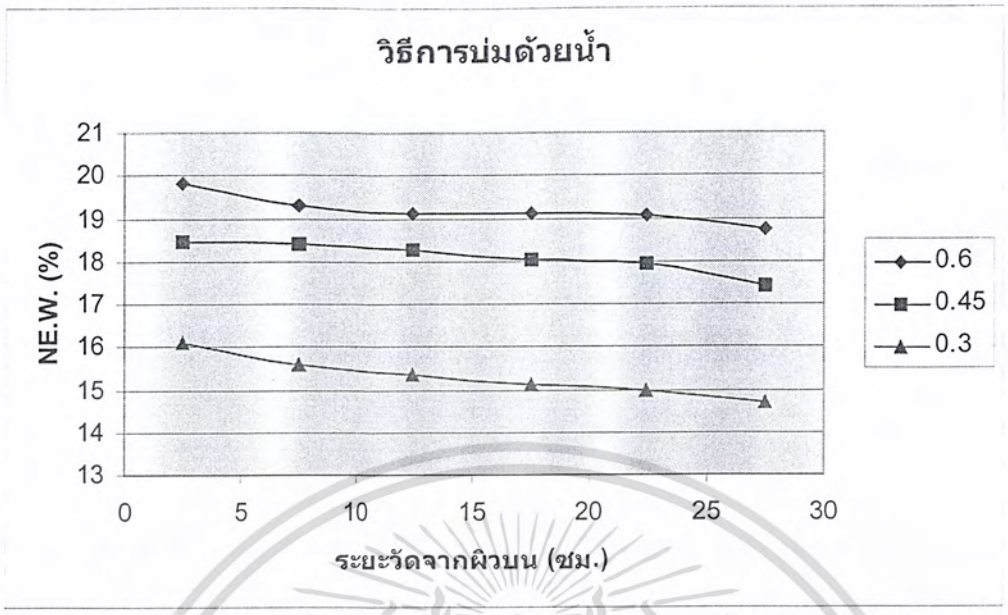
4.2.1.2 NE.W.

- การเปรียบเทียบที่ชนิดของการบ่มเดียวกัน

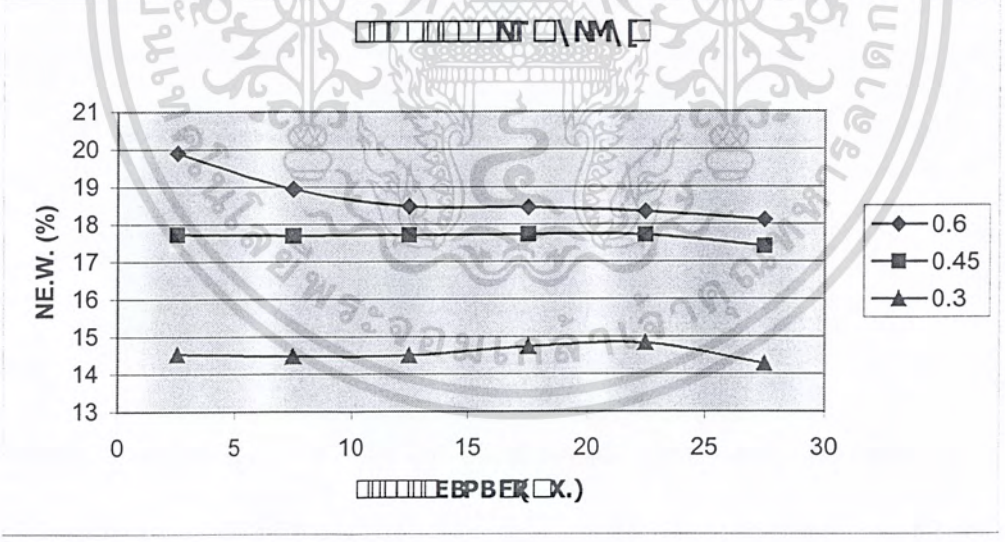


รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของวิธีการบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟองอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

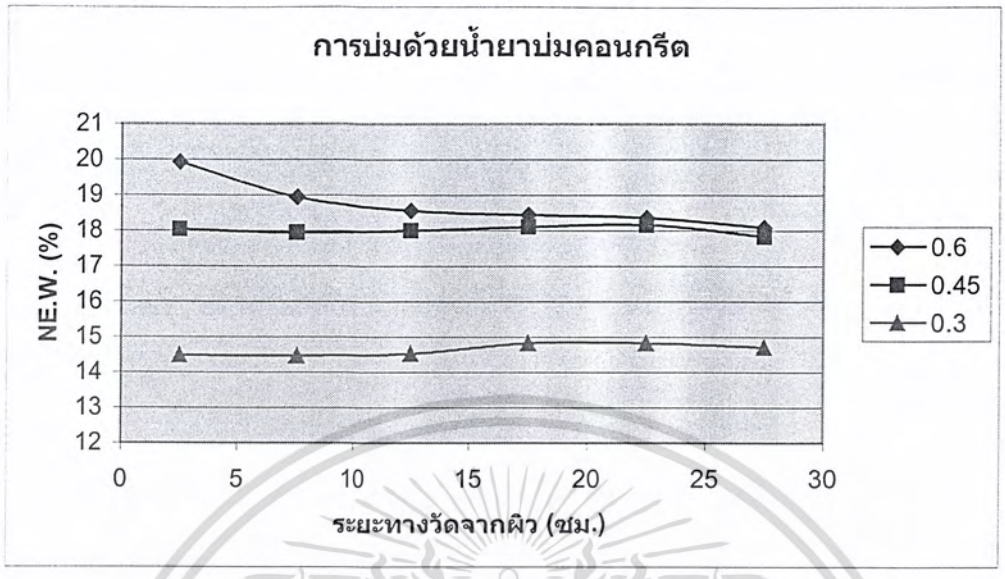


รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของวิธีการบ่มด้วยน้ำ

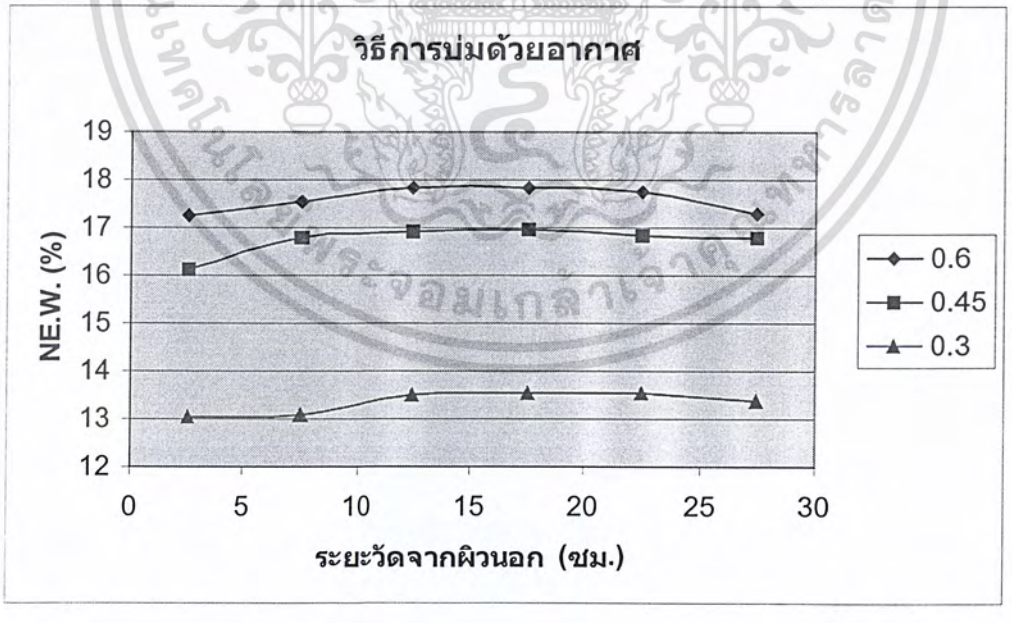


รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของวิธีการบ่มด้วยพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



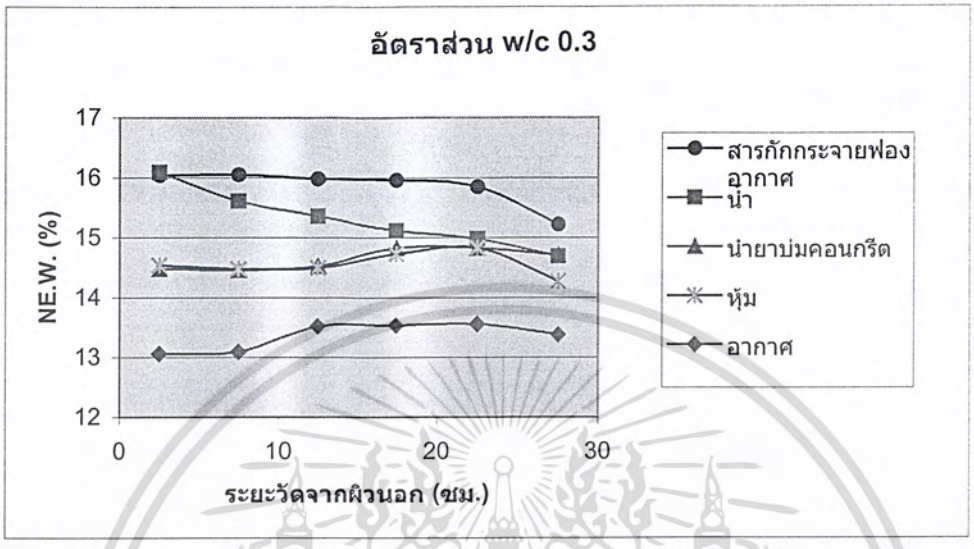
รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต



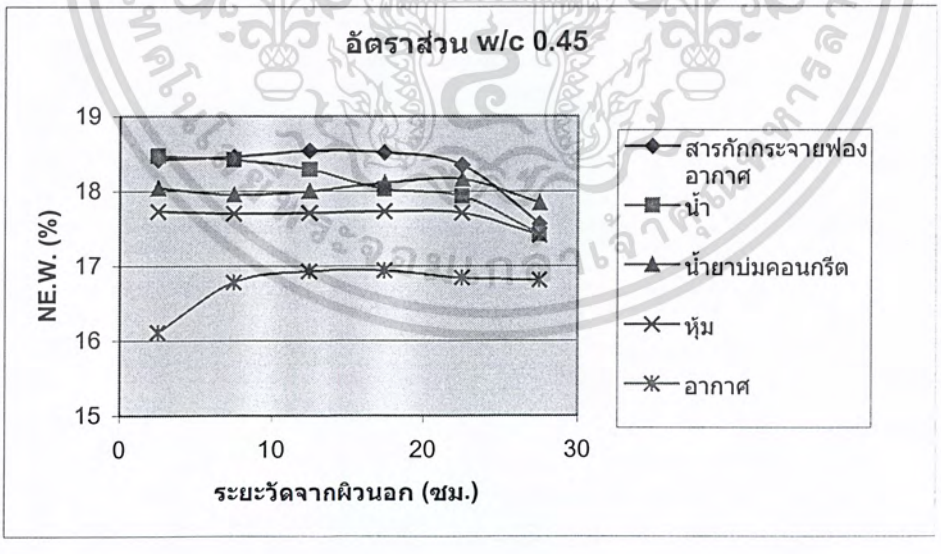
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของวิธีการบ่มด้วยอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเปรียบเทียบที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เดียวกัน (w/c)

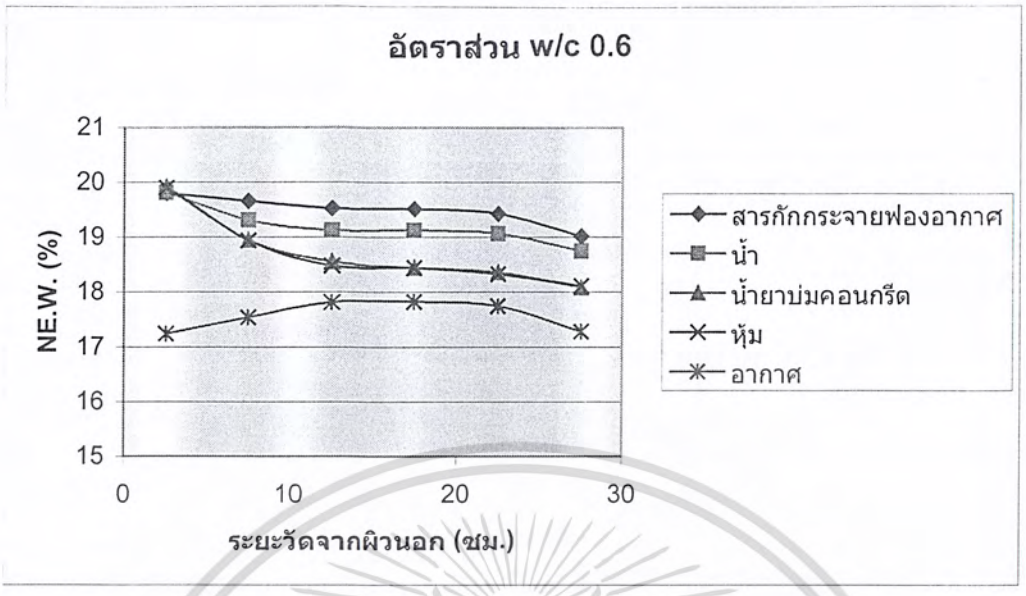


รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของอัตราส่วน w/c 0.30



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของอัตราส่วน w/c 0.45

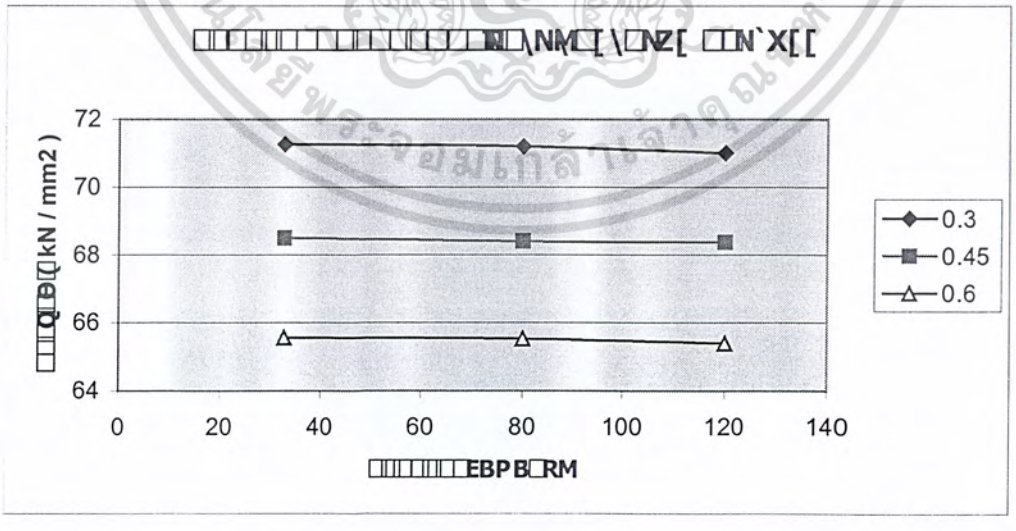
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบ NE.W. ของอัตราส่วน w/c 0.60

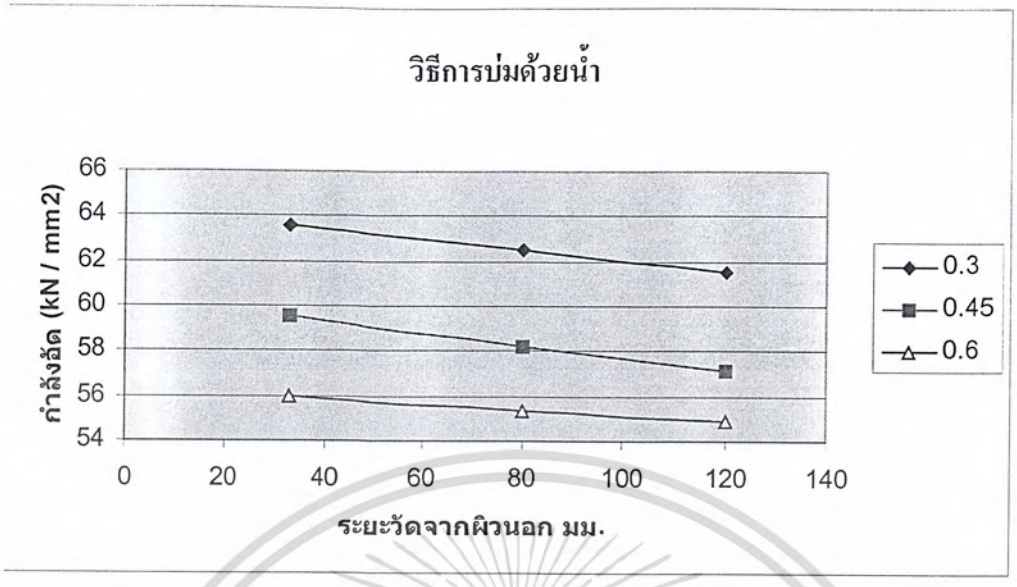
4.2.2 ผลการทดลองกำลังอัดของมอร์ต้า

- การเปรียบเทียบที่ชนิดของการบ่มเดียวกัน

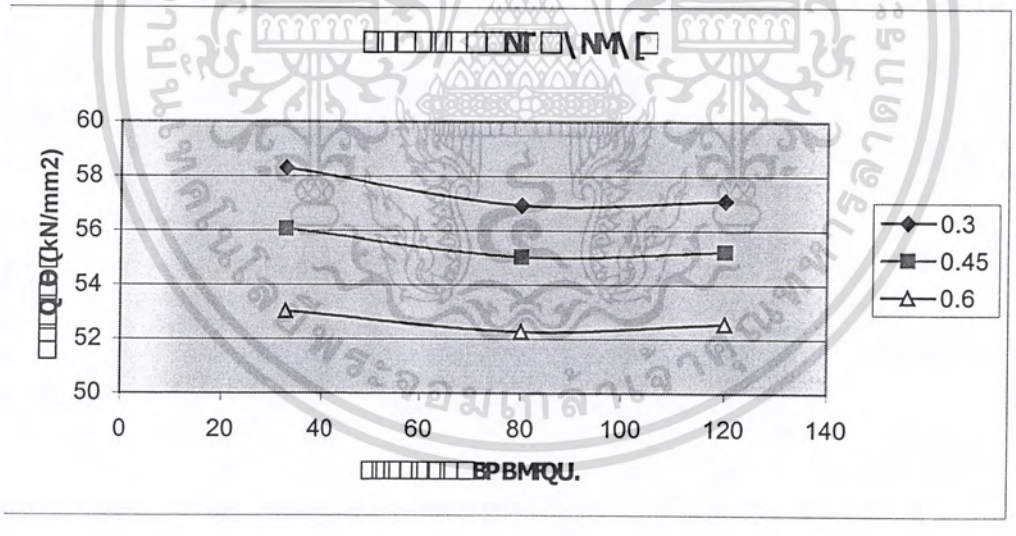


รูปที่ 4. 17 กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของวิธีการบ่มด้วยน้ำผสมกับน้ำยากักกระจายฟองอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

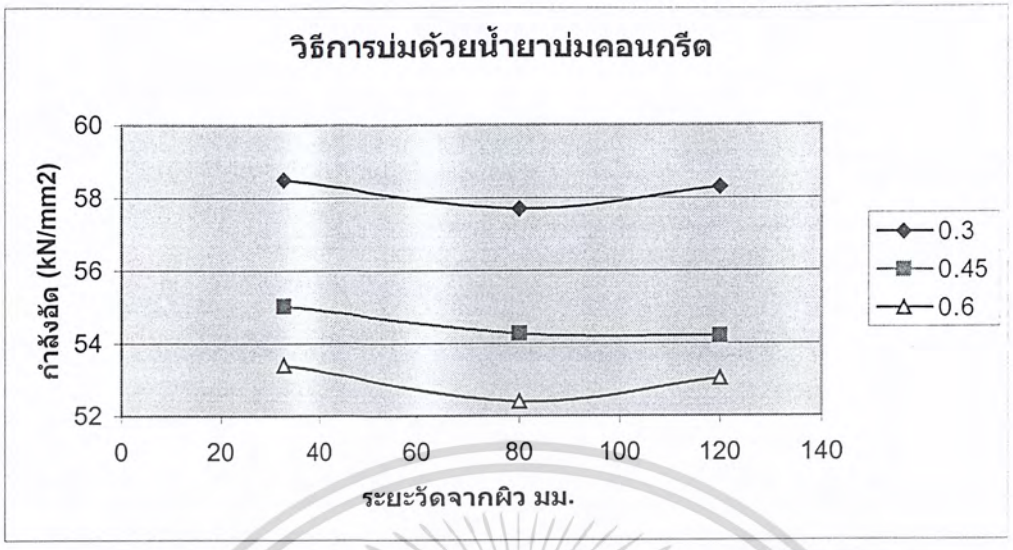


รูปที่ 4. 18 กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของวิธีการบ่มด้วยน้ำ

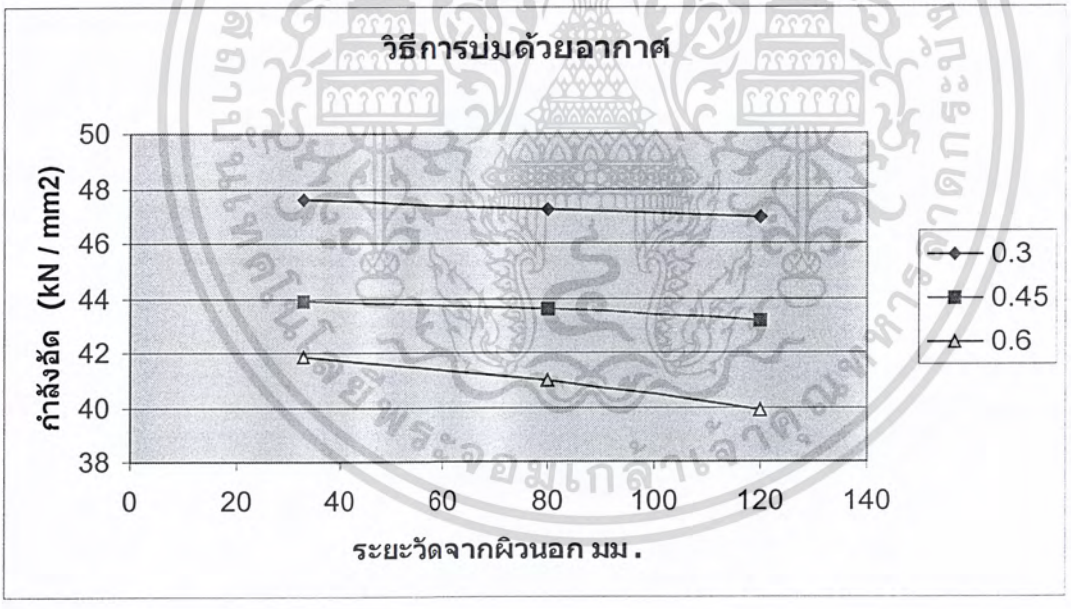


รูปที่ 4. 19 กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของวิธีการบ่มด้วยพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



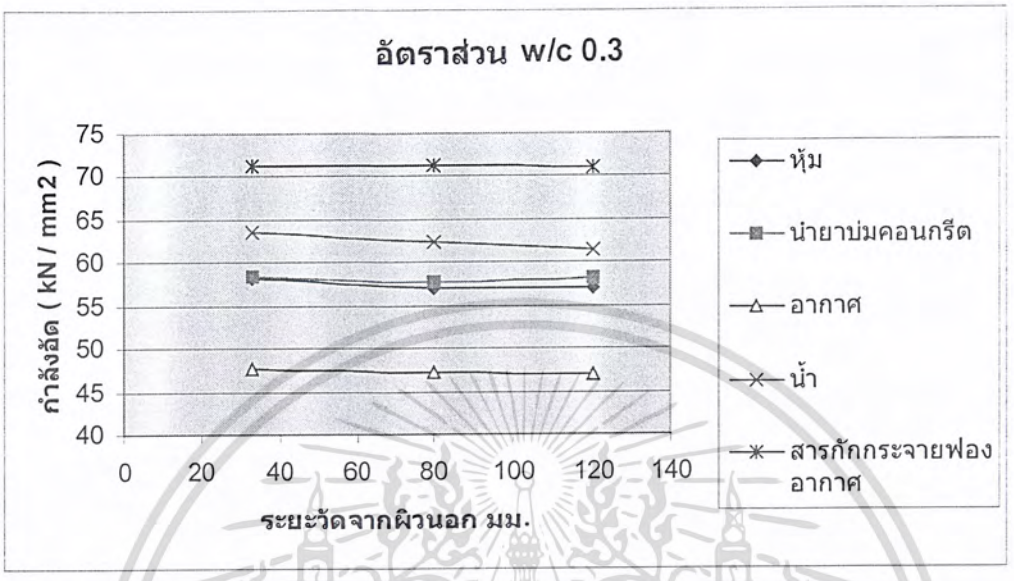
รูปที่ 4. 19 กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของวิธีการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต



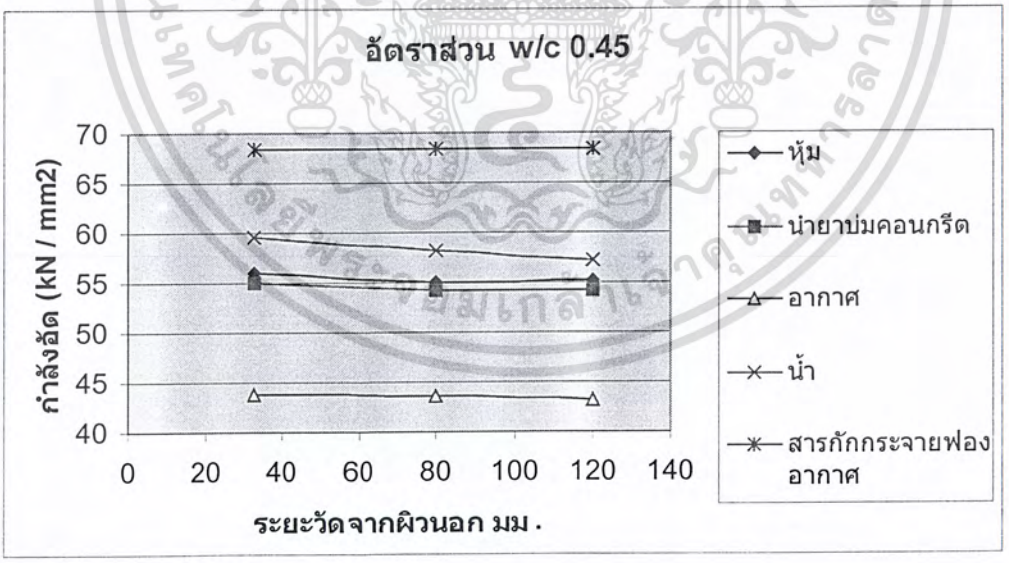
รูปที่ 4. 20 กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของวิธีการบ่มด้วยอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเปรียบเทียบที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เดียวกัน (w/c)

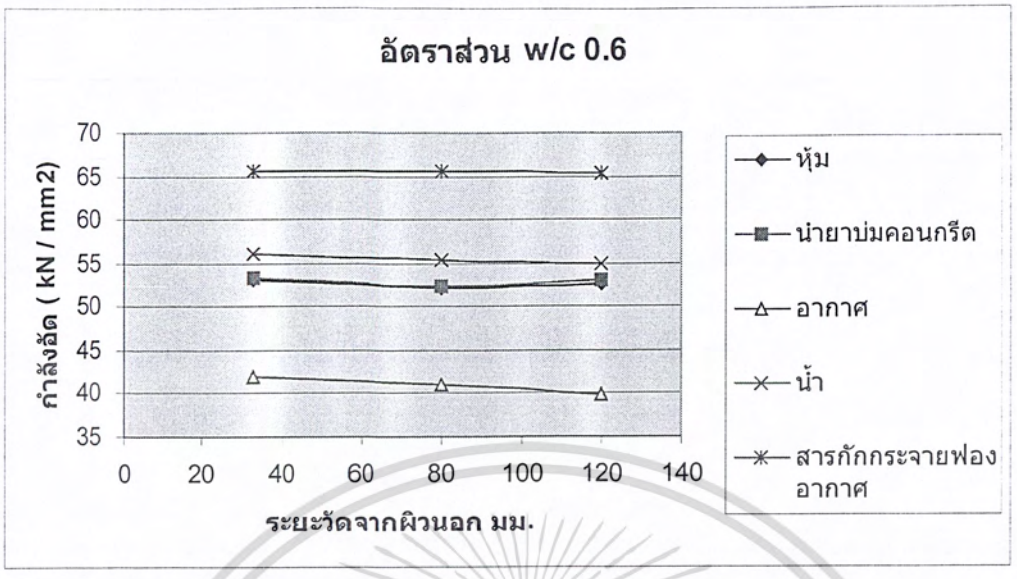


รูปที่ 4. 21 กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของอัตราส่วน w/c 0.30



รูปที่ 4. 22 กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของอัตราส่วน w/c 0.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4. 23 กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าของอัตราส่วน w/c 0.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1. กล่าวนำ

ในปฏิกิริยาเคมีซีเมนต์, คำว่าปฏิกิริยาไฮเดรชั่นคือปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ ส่วนระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเป็นการแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจนกระทั่งเมื่อซีเมนต์ปราศจากน้ำ หรือเป็นขั้นตอนส่วนประกอบหนึ่งที่ผสมกับน้ำ โดยทั่วไปแล้วปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปนั้นซับซ้อนมากกว่าการเปลี่ยนจากสภาพซีเมนต์ปราศจากน้ำ (anhydrous) เป็นสภาพซีเมนต์รวมตัวกับน้ำ การผสมของซีเมนต์กับน้ำในสัดส่วนที่เกิดการก่อตัวและการแข็งตัวเรียกว่าเพสต์ การก่อตัวไม่มีผลต่อการพัฒนากำลังอัด และโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นภายใน 2-3 ชั่วโมง การแข็งตัวจะมีผลต่อการพัฒนาของกำลังอัด และเป็นกระบวนการปกติที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ถ้าไม่มีน้ำเข้าหรือออกจากซีเมนต์เพสต์ที่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นผลก็คือเกิดการขาดแคลนน้ำ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในเพสต์ลดลงเป็นที่รู้จักในสภาพที่เรียกว่า การแห้งเอง (self-desiccation) เนื่องด้วยเจลสามารถก่อตัวได้เองในบริเวณช่องว่างที่มีน้ำอยู่ การแห้ง (self-desiccation) จะทำให้เกิดการลดระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเมื่อเปรียบเทียบกับการบ่มเพสต์ด้วยความชื้นปริมาณน้ำที่ไม่สามารถระเหย (non-evaporable) สัมพันธ์กับเพสต์ที่เกิดไฮเดรทเต็มที่เหมือนซีเมนต์ใช้ในการวัดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นถูกคำนวณในสมการที่ 2 ที่ระยะต่างๆ ของตัวอย่างด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30, 0.45 และ 0.60 หลัง 28 วันถูกแสดงในรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ ส่วนทางด้านกำลังมอร์ต้าที่ระบะการบ่มต่างๆ ของตัวอย่างด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30, 0.45 และ 0.60 หลัง 28 วันถูกแสดงในรูปที่ 4.6, 4.7, และ 4.8 ตามลำดับ

5.2. วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.2.1. ผลการทดลองสำหรับการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในซีเมนต์เพสต์แข็งตัวในแต่ระดับชั้นความลึกต่างๆ

1) การบ่มโดยใช้น้ำผสมกับน้ำยากักกระจายฟองอากาศในรูปที่ 4.1 ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะมีค่ามากที่สุดใน 5 วิธีการบ่ม ในกรณีตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 สำหรับการบ่มโดยน้ำผสมกับน้ำยากักกระจายฟองอากาศมีค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นประมาณ 70 % ตลอดระยะ 0-22.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซนติเมตรวัดจากผิวหน้า ในขณะที่ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะค่อยๆ ลดลงระหว่าง 22.5 ถึง 27.5 เซนติเมตรจากผิวหน้าที่ได้รับการบ่ม ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.45 และ 0.60 ไม่ค่อยมีผลเท่าไรนักเนื่องจากการบ่มด้วยน้ำจะให้ผลใกล้เคียงกัน

2) สำหรับการบ่มด้วยน้ำระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะมีลักษณะลดลงตามระยะผิวหน้าในรูปที่ 4.2 เนื่องจากน้ำจากการบ่มที่ผิวบนจะบ่มเข้าไปในช่องว่างโครงสร้างซีเมนต์เพสต์มากเท่าไร ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นยิ่งเยอะ จึงสันนิษฐานได้ว่าน้ำจะบ่มจากผิวบนลงมาผิวล่างแต่เนื่องจากน้ำซึมเข้าไปภายในซีเมนต์เพสต์ด้านล่างลำบากเพราะความหนาแน่นของน้ำมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1 แต่ซีเมนต์มีความถ่วงจำเพาะ 3.15-3.18

3) ตัวอย่างที่บ่มโดยการใช้พลาสติกหุ้ม น้ำจะเคลื่อนย้ายออกมาตรงบริเวณผิวนอกตัวอย่าง ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นหลังจากทำการบ่ม 28 วัน ประมาณ 63% , 76% และ 80% สำหรับตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30, 0.45 และ 0.60 ตามลำดับแสดงในรูปที่ 4.4 ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่แต่ละระยะค่อนข้างเหมือนกัน ยกเว้นที่บริเวณผิวของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.60 ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเยิ้มของน้ำ

4) สำหรับการบ่มโดยใช้น้ำยาบ่มคอนกรีต (ASTM C-309) ในรูปที่ 4.3 พบว่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นใกล้เคียงกับการบ่มด้วยการใช้พลาสติกหุ้ม เพราะสารเคมีบนซีเมนต์เพสต์จะกลายเป็นเยื่อบางๆ คลุมผิวไว้ ลักษณะคล้ายว่ามีพลาสติกป้องกันการระเหยของน้ำ

5) สำหรับการไม่บ่มเลยหรือบ่มด้วยอากาศจะมีระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ 5 วิธี แต่ถ้าไม่เปรียบเทียบกับวิธีอื่นพบว่าตรงกลางของตัวอย่างจะมีแนวโน้มค่อนข้างมากชัดเจนในรูปที่ 4.5 เพราะปริมาณน้ำตรงส่วนนี้มีปริมาณมากเป็นพิเศษ เนื่องจากผิวบนเป็นระบบเปิด น้ำที่ใช้ผสมซีเมนต์ก็ต้องเสียปริมาณส่วนหนึ่งไปกับการระเหย ส่วนผิวล่างซีเมนต์เพสต์ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะมากตกลงไปข้างล่างจึงดันพาน้ำขึ้นมาตรงบริเวณตอนกลางของระยะตัวอย่าง และจากการศึกษาทดลองพบว่า ถ้าปริมาณน้ำไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.) มากจะทำให้น้ำส่วนนี้ทำการบ่มตัวอย่างภายในตัวตามระยะเวลา ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H. , α) จึงมากตามด้วย

5.2.2. ผลการทดลองสำหรับการหากำลังอัดในมอร์ต้าในแต่ระยะของบริเวณที่ได้รับการบ่มวิธีต่างกัน

1) เป็นที่ทราบกันดีว่าความแห้ง (self-desiccation) เกิดในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ เพราะน้ำไม่สามารถเข้าไปในส่วนตรงกลางของตัวอย่าง ความแห้ง (self-desiccation) มีผลต่อกำลังของมอร์ต้าเพราะระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นลดลง ระยะยิ่งลึกจากบริเวณที่ได้รับการบ่มจากผิวหน้าพบว่ากำลังจะต่ำ ส่วนระยะใกล้ผิวตัวอย่างที่ได้รับการบ่มจะมีกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สำหรับกรณีการบ่มทั้ง 5 วิธี พบว่ากำลังของตัวอย่างที่บ่มโดยน้ำผสมกับน้ำยาผสมสารกักกระจายฟองอากาศจะมีกำลังมากสุดดังรูปที่ 4.6, 4.7 และ4.8 ตามลำดับ ดังนั้นปฏิกิริยาไฮเดรชั่นยิ่งสูงกำลังยิ่งสูงตาม รองลงมากำลังของตัวอย่างที่บ่มด้วยน้ำเพราะน้ำที่บ่มจะช่วยทั้งเพิ่มทั้งป้องกันไม่ให้น้ำระเหยออกไปจากตัวอย่าง ส่วนกำลังของตัวอย่างที่มีการบ่มด้วยพลาสติกค่อนข้างใกล้เคียงกัน เพราะพลาสติกและสารเคมีจากน้ำยาบ่มคอนกรีตมีหน้าที่เดียวกันคือ ป้องกันการระเหยของน้ำ คล้ายเป็นระบบปิดแต่กำลังก็เป็นรองการบ่มด้วยน้ำอยู่ดี ดังนั้นปฏิกิริยาไฮเดรชั่นยิ่งสูงกำลังยิ่งสูงตาม ส่วนการไม่บ่มเลยหรือบ่มด้วยอากาศ น้ำที่ผสมกับซีเมนต์บางส่วนหายไปจากการที่ตัวอย่างเป็นระบบเปิด และยังไม่มีน้ำที่จะมาชดเชยส่วนที่หายไปและส่วนที่จะทำการบ่ม กำลังจึงน้อยที่สุดในทุกวิธีที่ได้ทำการทดลอง

3) กำลังของตัวอย่างที่บ่มโดยน้ำผสมกับน้ำยาผสมสารกักกระจายฟองอากาศจะมีกำลังเท่ากันทั้งตลอดของตัวอย่าง ซึ่งต่างจากการบ่มด้วยน้ำซึ่งจะมีกำลังอัดภายนอกมากกว่ากำลังอัดภายในตามลำดับของค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นดังในรูปที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์เพสต์และกำลังของมอร์ต้า โดยใช้วัสดุภายในประเทศไทยโดยเฉพาะปูนซีเมนต์ที่ผลิตในไทย ได้ทำการบ่มซีเมนต์เพสต์และมอร์ต้าด้วยวิธีการบ่มต่างกัน 5 วิธี ประสิทธิภาพน้ำซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชั่นมีผลกระทบอย่างมากต่อระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และกำลังของตัวอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับพวกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ ภายใต้การบ่มปกตินำ้ไม่สามารถเข้าในตัวอย่างที่ไกลจากผิวนอกที่ทำการบ่ม ดังนั้นระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและปริมาณน้ำที่ไม่สามารถระเหยได้ในส่วนใหญ่ภายในตัวอย่างจะน้อยกว่าในส่วนพื้นที่ผิว ซึ่งผลการทดสอบค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นสัมพันธ์กับปริมาณของน้ำในตัวอย่างที่ไม่สามารถระเหยออกไปได้ของซีเมนต์เพสต์ และสัมพันธ์กับกำลังของมอร์ต้าด้วย สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

6.1. สรุปผลการทดลอง

1) วิธีการบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟองอากาศให้ค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับปริมาณของน้ำในตัวอย่างที่ไม่สามารถระเหยออกไปได้เท่ากันเป็นส่วนใหญ่ในตัวอย่าง และในส่วนพื้นที่ผิวมากที่สุดใน 5 วิธีการบ่มทดลอง ส่วนกำลังมอร์ต้าก็จะมากสุดใน 5 วิธีการทดลองตามของค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น
2) ภายใต้การบ่มปกติด้วยน้ำ น้ำไม่สามารถเข้าในตัวอย่างที่ไกลจากผิวนอกที่ทำการบ่มโดยเฉพาะอย่างยิ่งในตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ พิจารณาจากระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและปริมาณของน้ำในตัวอย่างที่ไม่สามารถระเหยออกไปจะมีค่ามากตรงบริเวณผิวที่ได้รับการบ่มแล้วค่อยๆ ลดลงมาเรื่อยๆ ตามระยะผิวบ่ม
3) การบ่มโดยใช้พลาสติกบ่มเพื่อไม่ให้น้ำที่ใช้ผสมกับซีเมนต์ระเหยออกไปในระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชั่นส่วนหนึ่งจะพบว่าเหมือนกับการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต กำลังของมอร์ต้าที่บ่มด้วย 2 วิธีนี้ให้ค่ากำลังอัดน้อยกว่าการการบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟองอากาศ และการบ่มด้วยน้ำปกติ
4) การไม่บ่มเลยจะทำให้น้ำส่วนหนึ่งระเหยออกไป ทำให้ค่าระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์เพสต์และกำลังของมอร์ต้าน้อยที่สุดในวิธีการบ่มที่ได้ทดลองมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2. ข้อเสนอแนะ

1) ในการทำการทดลองครั้งนี้ผู้ทำการทดลองเจอปัญหาเรื่องตาชั่ง แต่การวัดค่าน้ำหนักของตัวอย่างควรวัดที่ความละเอียดถึง 0.001 g หรือถ้าไม่สามารถหาเครื่องวัดที่ละเอียดแบบนี้ได้ก็ต้องหาเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดอย่างน้อย 0.01 g มิฉะนั้นแล้วการทดลองจะมีความคลาดเคลื่อนมาก ทำให้ได้ค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นผิดพลาด
2) เนื่องจากการบ่มผู้ทำการทดลองพยายามหาวิธีการบ่มให้มากวิธีที่สุดเท่าที่ทำได้ แต่เนื่องจากการบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันสูง (High Pressure Steam Curing) ค่าใช้จ่ายสูงมากในด้านเชื้อเพลิงกับการบ่มเป็นเวลา 28 วัน จึงมีข้อจำกัดในการบ่มวิธีนี้ แต่การบ่มด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างได้อย่างทั่งถึงด้วยความกดดันสูง ทำให้ค่าระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเท่ากันทั้งตัวอย่างและกำลังอัดจะมากที่สุดในบรรดาวิธีการบ่มที่ผู้ทำการทดลองมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

[1] - ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร "คอนกรีตเทคโนโลยี," กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์เดอะพริ้นท์อินเตอร์เนชั่นแนล พ.ศ. 2536.

[2] - วินิต ช่อวิเชียร "คอนกรีตเทคโนโลยี," กรุงเทพมหานคร : ป. สัมพันธ์พาณิชย์ พ.ศ.2539.

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

[4] - A.M. Neville: Properties of Concrete, pp. 5-53, 1963.

[5] - K. Maleesee, Amnouy Panitkulpong , Tetsurou Kasai: Effects of Penetration Conditions of Water for Curing on The Degree of Hydration and Content of Non-evaporable Water of Hardened Cement Paste, Vol. 28, 2003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2544, หนังสือคอนกรีตเทคโนโลยี. บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด
- วินิต ช่อวิเชียร, 2539, คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร : ป.สัมพันธ์พานิชย์.
- วีระชัย วิศิษฎ์วโรดม และสิริเลขา ผู้เลื่องลือ, 2536. คอนกรีตผสมซ้ำด้วยซีเมนต์เพสต์. ปริญญานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ทศพนธ์ เติมสุขนิรันดร, ธนัช รุ้งวงศรี และสิริชัย ประสิทธิ์แสงอารีย์, 2543. การศึกษากำลังอัดของพื้นคอนกรีตที่ระดับความลึกต่างๆ เนื่องจากการบ่มที่ผิวบนของแผ่นพื้น. ปริญญานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ปิยะ แสงไฟ, สุรพันธ์ พรสุวรรณ และอนันต์ วิริยะกิจชัย, 2544. การศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตที่ความลึกต่างๆ จากระดับพื้นผิว. ปริญญานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- A.M. Neville, 1999. Properties of Concrete.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

คุณสมบัติของสารเคมีที่ใช้ผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. DAREX AEA

น้ำยาเพื่อเพิ่มอากาศสำหรับคอนกรีต

คุณสมบัติ

DAREX AEA เป็นน้ำยาที่บริสุทธิ์และเปลี่ยนแปลงเกลือของ Sulfonated Hydrocarbon มีตัวเร่งที่ช่วยให้ซีเมนต์แห้งสนิทขึ้นและเร็วขึ้น DAREX AEA ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ในการเพิ่มอากาศ เป็นตัวน้ำยาผสมเพื่อเพิ่มอากาศ เป็นตัวน้ำยาผสมเพื่อเพิ่มอากาศสำหรับงานคอนกรีต และถูกผลิตด้วยการถูกควบคุมอย่างดีเพื่อให้มีการใช้งานที่คาดการณ์ได้และเสมอต้นเสมอปลาย

ลักษณะ

ลักษณะรูปร่าง	เป็นน้ำยาสีน้ำตาลเข็ม
Specific Gravity (20 Deg.C.)	1.015 ± 0.005
สัดส่วนจำนวนของแข็งทั้งหมด	7.0 – 7.5%
ผลการขับอากาศ	ดีขึ้น 2 – 8 % ขึ้นอยู่กับจำนวนน้ำยาที่ใช้

วิธีปฏิบัติ

การสร้างฟองอากาศเล็กๆแบบ Semi Microscopic จะทำให้การเพิ่มฟองอากาศสำเร็จ วิธีการดังกล่าวทำโดยผสม โดยปั่นและปล่อยทิ้งไว้ในช่วงการผสมของคอนกรีต ฟองอากาศที่ว่าจะทำหน้าที่เหมือนลูกปืน (ลูกหมาก) เล็กๆ เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและทำให้คอนกรีตง่ายต่อการทำงาน, ฉาบ ,โบก ฯลฯ การแยกตัวการหด หรือ bleedings ของคอนกรีตจะลดลง DAREX AEA มีตัวเร่งที่ทำให้แห้งเร็วและแห้งสนิทขึ้น ทำให้ซีเมนต์มีแรงดีขึ้นในการผสมที่ค่อนข้างน้อยและสูญเสียความแข็งแรงน้อยที่สุดในการผสมที่เยอะ

การใช้งานโดยทั่วไป

DAREX AEA ใช้ใน Ready – Mix , บล็อก , งานฉาบปูน และผลิตภัณฑ์คอนกรีตผสมทั่วไป ใช้หน้างานกับเครื่องผสมหน้างาน และที่ไหนๆที่มีการผสมคอนกรีตและต้องการการเพิ่มฟองอากาศ เนื่องจากฮ ทำให้คอนกรีตผสมนุ่มและ หนาขึ้น จะเป็นผลดีมากถ้าใช้กับส่วนผสมที่เบา, Slag และค่อนข้างจะทำให้เกิดคอนกรีตที่หยาบและทำให้การผสมคอนกรีตที่มีทรายละเอียดน้อยเกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์

การใช้งานมีประสิทธิภาพมากขึ้น คอนกรีตผสมจะเหนียวขึ้นนุ่มขึ้น เนื่องจากมีฟองอากาศเล็กๆเป็นล้านๆฟอง ช่วยทำหน้าที่หล่อลื่นและเป็นตัวกันชน ทำให้การลดน้ำที่จะใช้ในการผสมเกิดขึ้นได้ โดยไม่สูญเสีย Slump การแบ่งแยกของคอนกรีต, การแตกตัว , การหดตัว จะลดลงจนแทบไม่มี

ความทนทานเพิ่มขึ้น

DAREX AEA ถ้าใช้กับคอนกรีตผสมจะทำให้คงทนมาก โดยเฉพาะเวลาที่คอนกรีตต้องเจอกับสภาพหนาวจัดหรือละลายตัว และทำให้คอนกรีตต่อสู้กับเกลือ รวมถึงไอน้ำจากทะเลและน้ำที่เป็นด่างได้ดี

ส่วนผสมของคอนกรีต

เนื่องจากฟองอากาศทำให้คอนกรีตขยายตัว จะทำให้ลดซีเมนต์ที่ใช้ในสัดส่วนของคอนกรีต สภาพนี้จะต้องเปลี่ยนแปลงส่วนผสม โดยสัดส่วนของหินหรือทรายละเอียดและต้องลดสัดส่วนของน้ำเนื่องจาก DAREX AEA ทำให้คอนกรีตผสมนุ่มและเหนียวอยู่แล้ว

DAREX AEA ใช้ได้กับงานคอนกรีตทั่วไป , งานฉาบปูนใช้กับน้ำยาเร่งตัวอื่น , น้ำยาลดน้ำหรือน้ำยาทำให้นำระเหยช้า ความต้องการของน้ำในส่วนผสมจะลดลงและจะมีความแข็งแรงและคงทนที่เพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วน น้ำยาแต่ละประเภทควรจะผสมในคอนกรีตผสมแยกกัน

อัตราส่วนผสม

50 – 100 ml ต่อ 100 กิโลกรัมของซีเมนต์

วิธีการใช้

DAREX AEA เป็นน้ำยาผสมที่ใช้ได้ทันทีไม่ต้องผสมหรือเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด ใช้คอนกรีตผสมได้ทันทีที่หน้างานในขณะที่ผสมน้ำลงในคอนกรีต แต่ต้องระวังให้การคลุกเคล้าของน้ำยากับส่วนผสมอื่นเข้ากันได้ดี รถบรรทุกผสม Ready – mix จะต้องหมุนอย่างน้อย 75 รอบในการผสม DAREX AEA แลควรจะตวงน้ำยาใช้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อแนะนำทางวิศวกรม

คอนกรีตผสมควรจะมีวิธีการและสัดส่วนการผสมที่เป็นเกณฑ์มาตรฐาน อาจเป็นมาตรฐานของ Building Research Establisment " Design for Normal Concrete Mixes" of Standard โดย W.R. Grace หรือเทียบเท่า จะต้องใช้ส่วนสัดที่ตามเกณฑ์ของที่ผู้ผลิตเสนอหนังสือรับรองการผสมตาเกณฑ์นั้นท่านสามารถขอได้

การเก็บ

อย่าให้แข็งตัวแล้วจะต้องปล่อยให้ละลายอย่างช้าๆ เก็บได้อย่างน้อย 12 เดือน ถ้ายังไม่ได้เปิดใช้ แต่ถ้าใช้ตามเกณฑ์ของ BS 5075:Part 2: 1982 จะต้องใช้ตามวันหมดอายุข้างถัง

บริษัท ดับบริว อาร์ เกรซ (ประเทศไทย) จำกัด
889 ถนนศรีนครินทร์ – เทพารักษ์ อาคารว่องไววิทย์ ชั้น 2 อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10270 โทร. 399-3944, 393-3445, แฟกซ์. 399-3951

2. LOTCURE
One step curing and hardening

น้ำยาบ่มคอนกรีต

คอนกรีตจะต้องได้รับการบ่มที่ถูกต้อง จึงจะได้กำลังความแข็งแกร่งและความทนทานสูงสุด คอนกรีตที่ปล่อยให้แห้งตัวก่อนที่ขบวนการทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำจะสมบูรณ์ จะไม่สามารถสร้างคุณสมบัติที่ดีของคอนกรีตได้การบ่มคอนกรีตที่ดียังช่วยลดรอยร้าวที่เกิดจากการหดตัวของคอนกรีตด้วย

ลอทเคียว เป็นน้ำยาบ่มคอนกรีต ที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM C-309
การใช้ ลอทเคียว บ่มคอนกรีตจะไม่เป็นอุปสรรคในงานตกแต่งผิวคอนกรีต เช่น ทาสี ปูกระเบื้องยาง ติดกระเบื้องหรืองานอื่นๆ

สีของ ลอทเคียว จะจางหายไปได้เองเมื่อโดนความร้อนและแสงแดด

วิธีใช้

บ่มคอนกรีตในแนวพื้นราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวใช้ลอทเคียวฉีดพ่นหรือทาทับผิวคอนกรีตนั้นให้ทั่ว ระวังไม่ฉีดหรือทาลอทเคียวที่บริเวณหนึ่งบริเวณใดมากเกินไป

บ่มคอนกรีตในแนวตั้ง

ฉีดลอทเคียวให้ทั่วพื้นผิวได้ทันทีหลังจากถอดแบบ

ข้อควรระวัง

แนะนำให้ใช้ลอทเคียวกับคอนกรีตธรรมดาเท่านั้น ไม่ควรใช้กับคอนกรีตสี
ถ้าลอทเคียวเข้าตา ให้ล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วไปพบแพทย์

อัตราส่วนการใช้

งานบ่มคอนกรีต ลอทเคียว 1 ลิตร ทาได้พื้นที่ 7- 15 ม.^{2}

ผลิตภัณฑ์ของ อีเอสพี อินดัสตรีส์ คอร์ปอร์เรชั่น อิงค์ สหรัฐอเมริกา
บริษัท โลตัส คอนสตรัคชั่น เคมีคอล จำกัด
127/289-290 ถ.พระราม 3 ช่องนนทรี ยานนาวา กรุงเทพฯ 10120 โทร.2842834 , 2941755 , 2944826 , 2947608-11 fax 2942957

3. Super 20

ซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์

รายละเอียด

Super 20 เป็นน้ำยาผสมคอนกรีตที่พร้อมสำหรับการใช้งานผลิตจากแนพทาลีนซัลโฟเนต และสารอินทรีย์ที่มีความบริสุทธ์สูง

Super 20 เป็นน้ำยาลดน้ำปริมาณมาก ซึ่งโดยปกติจะเรียกว่าซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ เป็นน้ำยาที่มีความหนืดต่ำ และไม่มีคลอไรด์เป็นส่วนประกอบหลัก super20 ผลิตตามมาตรฐาน ASTM C 494, Type A and Type F และ BS 5075 : PART 3: 1985

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งลิตรของ super 20 มีน้ำหนักประมาณ 1.20 ± 0.02 กก.

ความสามารถในการกระจาย เป็นน้ำยาผสมคอนกรีตที่มีความสามารถในการกระจายอนุภาคซีเมนต์ที่ดีเยี่ยม จะกระจาย Cement Floc ที่เกิดขึ้นในคอนกรีตโดยความสามารถในการกระจายอนุภาคซีเมนต์ของ super 20 จะสูงกว่าน้ำยาลดน้ำปกติ

การใช้

Super 20 จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการทำงานที่สูง ซึ่งหมายถึงค่าการยุบตัวที่สูง นอกจากนี้ Super 20 ยังสามารถทำให้คอนกรีตที่ค่าการยุบตัวปกติมีอัตราน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำมากๆ เหมาะสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง, งานตอม่อ , และงานสะพาน หรืองานอื่นๆที่ต้องการใช้น้ำปริมาณน้อยแต่ต้องการความสามารถในการเทได้สูง เพื่อให้เทเข้าแบบหล่อได้ง่ายนอกจากนี้ Super 20 ยังเหมาะสำหรับ Tremie Concrete ที่ต้องการค่าการยุบตัวสูงๆ

ประโยชน์ที่ได้รับ

1 Super 20 สามารถทำคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวสูง โดยไม่สูญเสียกำลังอัด
2 Super 20 สามารถทำให้คอนกรีตมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำ ซึ่งเป็นผลให้กำลังอัดสูงขึ้น
3 ในงานคอนกรีตอัดแรง Super 20 สามารถช่วยลดพลังงานที่ต้องการในการบ่ม ที่เพิ่มกำลังอัดให้สูงขึ้น
4 เมื่อใช้ Super 20 ร่วมกับซีเมนต์ประเภทที่ 1 จะสามารถทดแทนการใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 3 ในการเพิ่มกำลังอัดในระยะแรกได้
5 ในกรณีที่ใช้ Super 20 กับงานคอนกรีตที่มีค่าการยุบอัดตัวสูงจะไม่เกิดการแยกตัวเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้ใช้ Superplasticizer
6 ในคอนกรีตที่ค่าความยุบตัวสูง Super 20 จะทำให้การคาวคอนกรีตออกจากรถโม่เร็วขึ้น ทำให้รถโม่มีการใช้งานที่สูงขึ้น

อัตราส่วนผสม

อัตราส่วนผสมปกติของ Super 20 จะขึ้นอยู่กับความต้องการของงานนั้นๆซึ่งโดยปกติจะมีอัตราส่วนตั้งแต่ 400-1,500 มล.ต่อ 100 กก.ของวัสดุ Cementitious โดยส่วนมากปริมาณในช่วง 400-1,100 มล. ต่อ 100 กก. ของวัสดุ Cementitious ก็เพียงพอที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการค่าการยุบตัวของคอนกรีตสามารถปรับได้โดยการปรับอัตราการผสม ถ้ากรณีที่มีความต้องการใช้ในอัตราที่สูงกว่าให้ปรึกษาตัวแทนของ Grace

การเข้ากันได้กับน้ำยาผสมคอนกรีตอื่นๆ

ในคอนกรีตที่เติม Super 20 สามารถใส่ร่วมกับน้ำยากระจายกักฟองอากาศ เช่น ดาเร็ก เอ อี เอ เพื่อใช้ในงานคอนกรีตที่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำๆ เช่น ห้องเย็น เพื่อลดการ Freeze – Thaw Attack

น้ำยาลดน้ำหรือลดน้ำปริมาณมาก ส่วนมากจะเติมแยกจากกันขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน ความเหมาะสมของอัตราส่วน เวลา และที่ควรระวังอย่างยิ่งคือ เมื่อผสมกับน้ำยาประเภทที่มีการหน่วงการก่อตัวจะทำให้การหน่วงการก่อตัวเพิ่มขึ้นอีกด้วย น้ำยาแต่ละประเภทจะต้องไม่ถูกผสมกันก่อนที่จะถูกผสมลงในคอนกรีต

GRACE Construction Products , www.graceconstruction.com โทร 02-7094470

4. UA COLMANOID ยูเอโคมานอยด์

น้ำยาผสมกันซึม

ผลิตภัณฑ์จากประเทศอังกฤษ โดย Lingin Private LTD.

คุณลักษณะและคุณสมบัติ

ยูเอโคมานอยด์ เป็นน้ำยาผสมคอนกรีตปูนทรายป้องกันน้ำซึม มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ มีความเข้มข้นสูง ละลายน้ำได้ดี เมื่อนำมาผสมกับส่วนผสมของคอนกรีต-ปูนทราย จะเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ทำให้เทได้ง่าย สะดวก มีเนื้อแน่นขึ้น ป้องกันการรั่วซึม หน่วงการก่อตัวเล็กน้อย เพิ่มกำลังต้านทานแรงอัด

ผลการทดสอบโดยภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทดสอบหาปริมาณการลดน้ำในส่วนผสมที่ค่ายุบตัว 10 ซม. เปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตผสมน้ำยา UA COLMANOID 70 c.c. จะลดน้ำได้ประมาณ 4-5 %
คอนกรีตผสมน้ำยา UA COLMANOID 100 c.c. จะลดน้ำได้ประมาณ 5 %

ทดสอบหาระยะเวลาหน่วงการก่อตัวเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา

	Initial set ประมาณ	หน่วงการก่อตัว ประมาณ	final set ประมาณ	หน่วงการก่อตัวประมาณ
คอนกรีตธรรมดา	201นาที		280 นาที	
ผสม UA COLMANOID 70 c.c.	213 นาที	12 นาที	312 นาที	32 นาที
ผสม UA COLMANOID 100 c.c.	215 นาที	14 นาที	314 นาที	34 นาที

ทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด compressive strength เปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา

คอนกรีต	ผสม UA COLMANOID 70 c.c.	ผสม UA COLMANOID 100 c.c.
ที่อายุ 7 วัน	ไม่เพิ่มกำลัง	เพิ่มประมาณ 18.9 %
ที่อายุ 14 วัน	เพิ่มกำลังประมาณ 3.5 %	เพิ่มกำลังประมาณ 22.3 %
ที่อายุ 28 วัน	เพิ่มกำลังประมาณ 16.5%	เพิ่มกำลังประมาณ 33.1%

วัตถุประสงค์ในการใช้งาน ใช้ผสมคอนกรีต-ปูนทราย เพื่อป้องกันรั่วซึม

อัตราส่วนใช้งาน

70 c.c. หรือ 100 c.c. ต่อส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ถุง (50 กก.)

5. EPOXY 333

อีพอ็กซี่ – 333

คุณสมบัติ

1. มีความสามารถในการยึดติดที่แข็งแรงกับวัสดุที่มีความแตกต่างกันหลายชนิด
2. ใช้งานได้สะดวกที่ความดัน และอุณหภูมิปกติ
3. เหมาะสมกับการใช้งานกับวัสดุทุกชนิด
4. มีความทนทานต่อความร้อน
5. ทนต่อความชื้นและตัวทำละลาย
6. มีความเป็นฉนวนที่ดี
7. เวลาที่ใช้ในการแข็งตัวสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อแนะนำเบื้องต้น

Epoxy – 333 เป็นกาวชนิดสองส่วน ประกอบด้วย อีพ็อกซี่ – 333R และสารเร่งการแข็งตัว (อีพ็อกซี่ – 333 H) การใช้งาน ผสมอีพ็อกซี่ – 333R 2 ส่วน และ อีพ็อกซี่ – 333 H 1 ส่วน โยน้ำหนัก คนให้เข้ากัน อีพ็อกซี่ – 333 มีความเหมาะสมสามารถใช้กับงานก่อสร้างต่างๆ ให้การยึดติดที่แข็งแรงระหว่าง คอนกรีต เรามิค แก้ว พลาสติก ไม้ และวัสดุสังเคราะห์ต่างๆ

คุณลักษณะ

ตารางที่ ผ.ก.1 คุณสมบัติของ Epoxy – 333

ชนิด	อีพ็อกซี่ – 333R	อีพ็อกซี่ – 333 H
ลักษณะ	ของเหลวข้นสีเหลืองอ่อน	ของเหลวข้น โปร่ง ใส
ความหนืด (30°c)	280	2.8
ความถ่วงจำเพาะ (30°c)	1.2	1.1
อัตราส่วนในการผสม (โดยน้ำหนัก)	2 ส่วน	1 ส่วน
ระยะเวลาที่ใช้งาน	อุณหภูมิ (°c)	30
	เวลา (นาที)	20
ระยะเวลาที่ใช้ในการแข็งตัว	อุณหภูมิ (°c)	30
	เวลา (นาที)	12

Lotus construnction chemicals co.,LTD

ข้อแนะนำการใช้งาน

1.. ใช้ยึดติดคอนกรีต เซรามิค แก้ว โลหะ พลาสติก ไม้ และวัสดุสังเคราะห์ต่างๆ

2. ใช้เป็นเรซินผสมในคอนกรีต เพื่อให้ได้คุณสมบัติพิเศษของคอนกรีต เช่น ความสามารถในการทนต่อสารเคมี ทนแรงกระแทก รับน้ำหนักได้ดีและเพื่อให้คอนกรีตสามารถชังานได้รวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.1 แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำ w/c 0.6

W/C =0.60 / ระยะ (ซม.)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่ 105°c ($M_{105°c}$ เฉลี่ย,กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่950°c ($M_{950°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	ปริมาณน้ำที่ไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.,%)	ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H.∝, %)
0-5 (ชั้นบน)	36.82	30.73	19.82	86.16
5-10	37.19	31.17	19.31	83.97
10-15	36.43	30.58	19.13	83.17
15-20	36.93	31.00	19.13	83.17
20-25	36.65	30.78	19.07	82.92
25-30 (ชั้นล่าง)	39.08	32.91	18.75	81.51

ตารางที่ ผ.ข.2 แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำ w/c 0.45

W/C =0.45 / ระยะ (ซม.)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่ 105°c ($M_{105°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่950°c ($M_{950°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	ปริมาณน้ำที่ไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.,%)	ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H.∝, %)
0-5 (ชั้นบน)	40.35	34.06	18.47	80.29
5-10	42.44	35.84	18.42	80.07
10-15	42.42	35.86	18.29	79.54
15-20	43.21	36.61	18.03	78.38
20-25	43.28	36.70	17.93	77.95
25-30 (ชั้นล่าง)	44.42	37.83	17.42	75.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.3 แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำ w/c 0.3

W/C =0.30 ระยะ (ซม.)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่ 105°c ($M_{105°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่950°c ($M_{950°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	ปริมาณน้ำที่ไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.,%)	ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H.∝, %)
0-5 (ชั้นบน)	49.93	43.01	16.09	69.95
5-10	51.03	44.14	15.61	67.87
10-15	49.87	43.23	15.36	66.78
15-20	51.48	44.72	15.12	65.72
20-25	51.13	44.47	14.98	65.11
25-30 (ชั้นล่าง)	52.23	45.54	14.69	63.87

ตารางที่ ผ.ข.4 แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟองอากาศ w/c 0.6

W/C =0.60 ระยะ (ซม.)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่ 105°c ($M_{105°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่950°c ($M_{950°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	ปริมาณน้ำไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.,%)	ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H.∝, %)
0-5 (ชั้นบน)	36.72	30.65	19.80	86.11
5-10	37.31	31.18	19.66	85.48
10-15	36.97	30.93	19.53	84.90
15-20	36.06	30.17	19.52	84.88
20-25	35.53	29.75	19.43	84.47
25-30 (ชั้นล่าง)	36.48	30.65	19.02	82.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.5 แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟองอากาศ w/c 0.45

W/C =0.45 ระยะ (ซม.)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่ 105°c ($M_{105°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่950°c ($M_{950°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	ปริมาณน้ำไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.,%)	ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H.∝, %)
0-5 (ชั้นบน)	40.51	34.21	18.42	80.07
5-10	41.77	35.26	18.46	80.27
10-15	41.49	35.00	18.54	80.62
15-20	40.83	34.45	18.52	80.52
20-25	40.89	34.55	18.35	79.78
25-30 (ชั้นล่าง)	41.11	34.97	17.56	76.34

ตารางที่ ผ.ข.6 แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟองอากาศ w/c 0.30

W/C =0.30 ระยะ (ซม.)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่ 105°c ($M_{105°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่950°c ($M_{950°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	ปริมาณน้ำไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.,%)	ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H.∝, %)
0-5 (ชั้นบน)	52.82	45.52	16.04	69.73
5-10	52.63	45.35	16.05	69.80
10-15	51.38	44.30	15.98	69.49
15-20	50.78	43.79	15.96	69.40
20-25	51.96	44.85	15.85	68.93
25-30 (ชั้นล่าง)	50.43	43.77	15.22	66.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.7 แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต w/c 0.60

W/C =0.60 / ระยะ (ซม.)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่ 105°c ($M_{105°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่950°c ($M_{950°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	ปริมาณน้ำไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.,%)	ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H.∝, %)
0-5 (ชั้นบน)	38.45	32.06	19.93	86.66
5-10	38.60	32.45	18.95	82.40
10-15	37.49	31.62	18.56	80.71
15-20	37.43	31.60	18.45	80.21
20-25	37.07	31.32	18.36	79.82
25-30 (ชั้นล่าง)	37.54	31.79	18.09	78.64

ตารางที่ ผ.ข.8 แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต w/c 0.45

W/C =0.45 / ระยะ (ซม.)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่ 105°c ($M_{105°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่950°c ($M_{950°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	ปริมาณน้ำไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.,%)	ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H.∝, %)
0-5 (ชั้นบน)	42.27	35.81	18.04	78.43
5-10	42.26	35.83	17.95	78.03
10-15	42.15	35.72	18.00	78.27
15-20	43.63	36.94	18.11	78.74
20-25	44.58	37.73	18.16	78.94
25-30 (ชั้นล่าง)	43.87	37.23	17.84	77.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.9 แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต w/c 0.30

W/C =0.30 / ระยะ (ซม.)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่ 105°c ($M_{105°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่950°c ($M_{950°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	ปริมาณน้ำไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.,%)	ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H.∝, %)
0-5 (ชั้นบน)	52.19	45.59	14.48	62.94
5-10	51.69	45.16	14.46	62.87
10-15	51.96	45.37	14.53	63.15
15-20	52.49	45.71	14.83	64.49
20-25	51.50	44.85	14.83	64.47
25-30 (ชั้นล่าง)	50.61	44.12	14.71	63.96

ตารางที่ ผ.ข.10 แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยพลาสติก w/c 0.60

W/C =0.60 / ระยะ (ซม.)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่ 105°c ($M_{105°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่950°c ($M_{950°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	ปริมาณน้ำไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.,%)	ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H.∝, %)
0-5 (ชั้นบน)	37.96	31.66	19.90	86.52
5-10	37.37	31.42	18.94	82.33
10-15	37.05	31.27	18.48	80.37
15-20	37.37	31.55	18.45	80.20
20-25	36.41	30.77	18.33	79.69
25-30 (ชั้นล่าง)	36.98	31.31	18.11	78.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.11 แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยพลาสติก w/c 0.45

W/C =0.45 / ระยะ (ซม.)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่ 105°c ($M_{105°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่950°c ($M_{950°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	ปริมาณน้ำไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.,%)	ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H.α, %)
0-5 (ชั้นบน)	44.10	37.46	17.73	77.07
5-10	43.02	36.55	17.70	76.96
10-15	43.99	37.37	17.71	77.02
15-20	44.43	37.74	17.73	77.07
20-25	43.41	36.88	17.71	76.98
25-30 (ชั้นล่าง)	45.51	38.76	17.41	75.72

ตารางที่ ผ.ข.12 แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยพลาสติก w/c 0.30

W/C =0.30 / ระยะ (ซม.)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่ 105°c ($M_{105°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่950°c ($M_{950°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	ปริมาณน้ำไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.,%)	ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H.α, %)
0-5 (ชั้นบน)	51.04	44.56	14.54	63.23
5-10	53.12	46.40	14.48	62.97
10-15	51.88	45.31	14.50	63.04
15-20	52.65	45.89	14.73	64.05
20-25	54.50	47.46	14.83	64.49
25-30 (ชั้นล่าง)	54.78	47.94	14.27	62.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.13 แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยอากาศ w/c 0.60

W/C =0.60 ระยะ (ซม.)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่ 105°c ($M_{105°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่950°c ($M_{950°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	ปริมาณน้ำไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.,%)	ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H.α, %)
0-5 (ชั้นบน)	38.36	32.84	16.81	73.08
5-10	36.79	31.37	17.28	75.12
10-15	36.49	31.03	17.60	76.50
15-20	36.08	30.77	17.26	75.03
20-25	36.15	30.86	17.14	74.53
25-30 (ชั้นล่าง)	36.25	31.02	16.86	73.30

ตารางที่ ผ.ข.14 แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยอากาศ w/c 0.45

W/C =0.45 ระยะ (ซม.)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่ 105°c ($M_{105°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่950°c ($M_{950°c}$ เฉลี่ย, กรัม)	ปริมาณน้ำไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.,%)	ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H.α, %)
0-5 (ชั้นบน)	43.81	38.28	14.45	62.81
5-10	44.68	38.67	15.54	67.57
10-15	43.59	37.72	15.56	67.66
15-20	43.42	37.57	15.57	67.70
20-25	43.71	37.84	15.51	67.45
25-30 (ชั้นล่าง)	43.84	38.00	15.37	66.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.15 แสดงผลข้อมูลของวิธีการบ่มด้วยอากาศ w/c 0.30

W/C =0.30 / ระยะ (ซม.)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่ 105°c ($M_{105°c}$เฉลี่ย กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่ผ่านการอบที่950°c ($M_{950°c}$เฉลี่ย กรัม)	ปริมาณน้ำไม่สามารถระเหยได้ (NE.W.,%)	ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (D.H.∝, %)
0-5 (ชั้นบน)	53.49	47.70	12.14	52.78
5-10	54.03	48.09	12.35	53.70
10-15	54.09	47.89	12.95	56.29
15-20	53.58	47.46	12.90	56.07
20-25	54.42	48.19	12.93	56.21
25-30 (ชั้นล่าง)	53.57	47.55	12.66	55.05

ตารางที่ ผ.ข.16 ผลการทดสอบกำลังกดประลัยหลังจากการบ่มด้วยน้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ

w/c	ชิ้นที่	กำลังอัดวัดที่ระยะ 33 มม. (kN/mm^2)	กำลังอัดวัดที่ระยะ 80 มม. (kN/mm^2	กำลังอัดวัดที่ระยะ 120 มม. (kN/mm^2
0.3	1	70.7	70.7	70.5
	2	70.5	70.4	70.4
	3.0	72.6	72.5	72.1
	เฉลี่ย	71.3	71.2	71.0
0.45	1	68.9	68.8	68.8
	2	68.1	68.0	67.9
	3	68.5	68.4	68.4
	เฉลี่ย	68.5	68.4	68.4
0.6	1	65.5	65.4	65.4
	2	65.0	65.2	64.8
	3	66.2	66.0	66.0
	เฉลี่ย	65.6	65.5	65.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.17 ผลการทดสอบกำลังกดประลัยหลังจากการบ่มด้วยน้ำ

w/c	ชิ้นที่	กำลังอัดวัดที่ระยะ 33 มม. (kN/mm^2)	กำลังอัดวัดที่ระยะ 80 มม. (kN/mm^2)	กำลังอัดวัดที่ระยะ 120 มม. (kN/mm^2)
0.3	1	62.8	61.5	60.4
	2	64.5	63.4	63.1
	3	63.4	62.5	61.2
	เฉลี่ย	63.6	62.5	61.6
0.45	1	59.8	58.7	58.1
	2	58.7	57.4	55.9
	3	60.1	58.5	57.4
	เฉลี่ย	59.5	58.2	57.1
0.6	1	56.7	56.5	55.9
	2	55.4	55.0	54.3
	3	55.9	54.6	54.4
	เฉลี่ย	56.0	55.4	54.9

ตารางที่ผ.ข.18 ผลการทดสอบกำลังกดประลัยหลังจากการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต

w/c	ชิ้นที่	กำลังอัดวัดที่ระยะ 33 มม. (kN/mm^2)	กำลังอัดวัดที่ระยะ 80 มม. (kN/mm^2)	กำลังอัดวัดที่ระยะ 120 มม. (kN/mm^2)
0.3	1	58.9	58.0	58.2
	2	58.0	57.2	58.3
	3	58.6	57.9	58.4
	เฉลี่ย	58.5	57.7	58.3
0.45	1	55.0	54.4	54.9
	2	55.3	54.2	52.8
	3	54.8	54.2	54.9
	เฉลี่ย	55.0	54.3	54.2
0.6	1	53.0	52.2	52.6
	2	53.7	52.9	54.0
	3	53.5	52.1	52.5
	เฉลี่ย	53.4	52.4	53.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.19 ผลการทดสอบกำลังกดประลัยหลังจากการบ่มด้วยการหุ้ม

w/c	ชิ้นที่	กำลังอัดวัดที่ระยะ 33 มม. (kN/mm^2)	กำลังอัดวัดที่ระยะ 80 มม. (kN/mm^2	กำลังอัดวัดที่ระยะ 120 มม. (kN/mm^2
0.3	1	57.5	56.2	57.3
	2	58.8	57.2	59.0
	3	58.6	57.4	57.6
	เฉลี่ย	58.3	56.9	58.0
0.45	1	56.1	55.3	55.7
	2	55.6	54.4	54.8
	3	56.5	55.4	55.9
	เฉลี่ย	56.1	55.0	55.5
0.6	1	52.8	52.0	52.7
	2	53.4	52.7	53.1
	3	52.9	52.1	53.0
	เฉลี่ย	53.0	52.3	52.9

ตารางที่ ผ.ข.20 ผลการทดสอบกำลังกดประลัยหลังจากการบ่มด้วยอากาศ

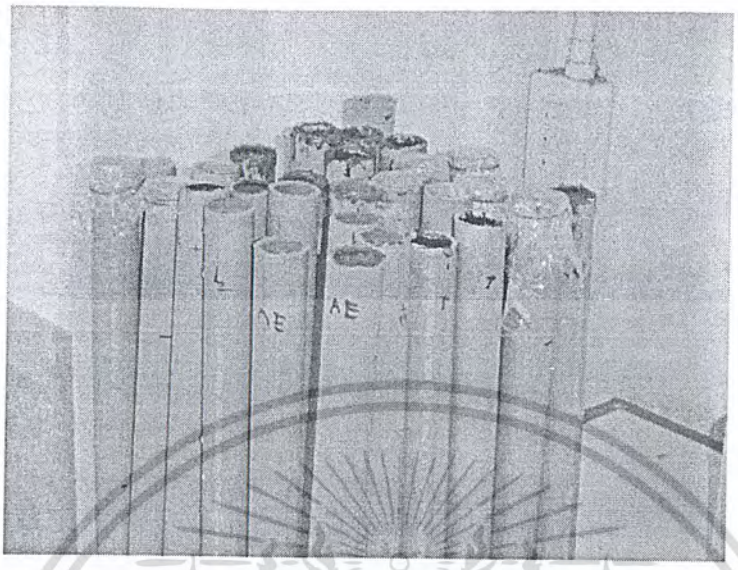
w/c	ชิ้นที่	กำลังอัดวัดที่ระยะ 33 มม. (kN/mm^2)	กำลังอัดวัดที่ระยะ 80 มม. (kN/mm^2	กำลังอัดวัดที่ระยะ 120 มม. (kN/mm^2
0.3	1	47.7	47.5	47.0
	2	47.0	46.8	46.5
	3	48.2	47.5	47.3
	เฉลี่ย	47.6	47.3	46.9
0.45	1	44.5	44.2	44.0
	2	43.2	42.7	42.5
	3	44.0	43.8	43.1
	เฉลี่ย	43.9	43.6	43.2
0.6	1	43.6	42.1	41.2
	2	42.0	41.1	39.5
	3	40.0	39.8	39.0
	เฉลี่ย	41.9	41.0	39.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

รูปการทดลอง

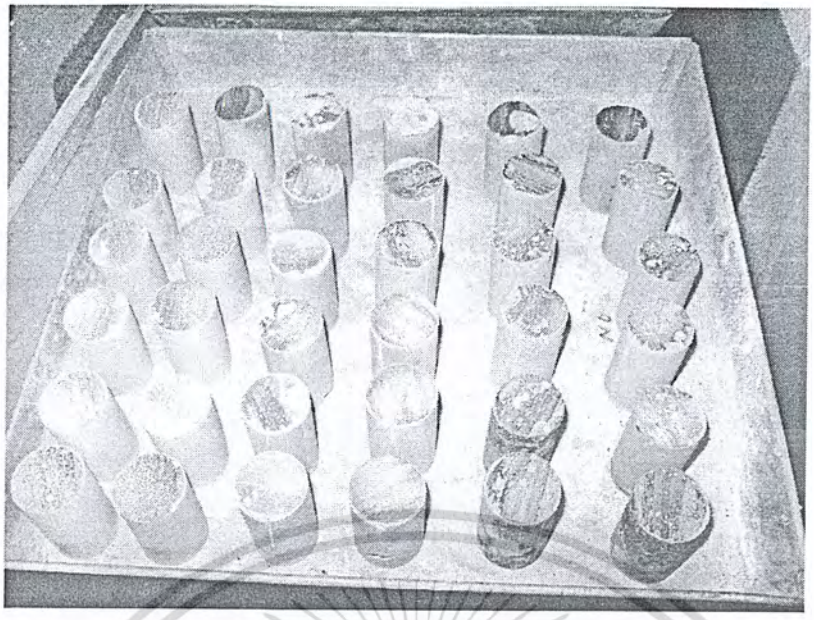
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



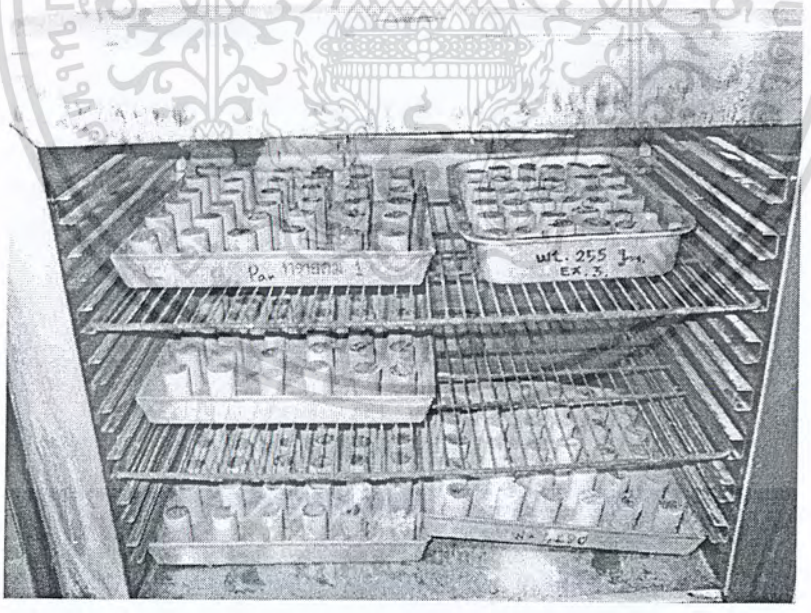
รูปที่ ผ.ค.1 การบ่มซีเมนต์เพสต์ในท่อพีวีซี

รูปที่ ผ.ค.2 ซีเมนต์เพสต์ในท่อพีวีซีที่ตัดแบ่งแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



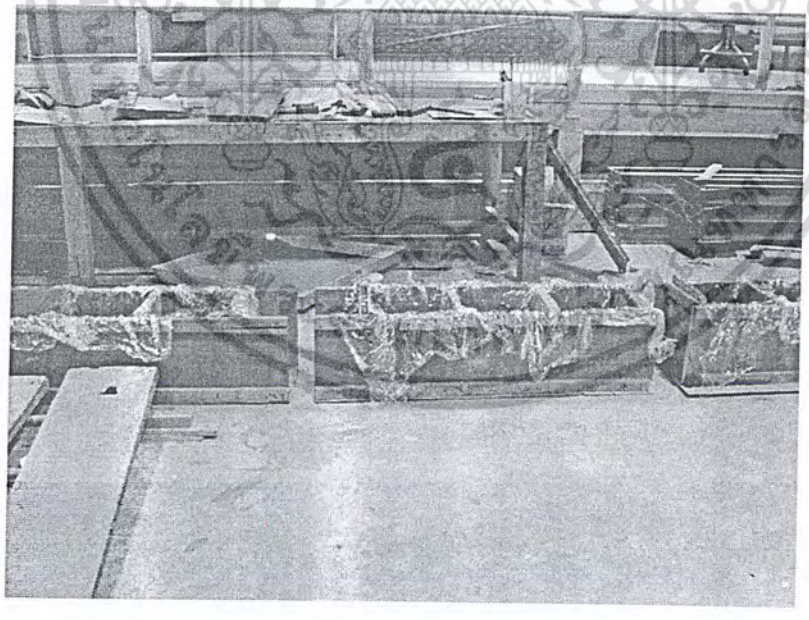
รูปที่ ผ.ค.3 ซีเมนต์เพสต์ที่ผ่าออกจากท่อแล้ว



รูปที่ ผ.ค.4 การอบซีเมนต์เพสต์ที่ 105 ^{o}c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

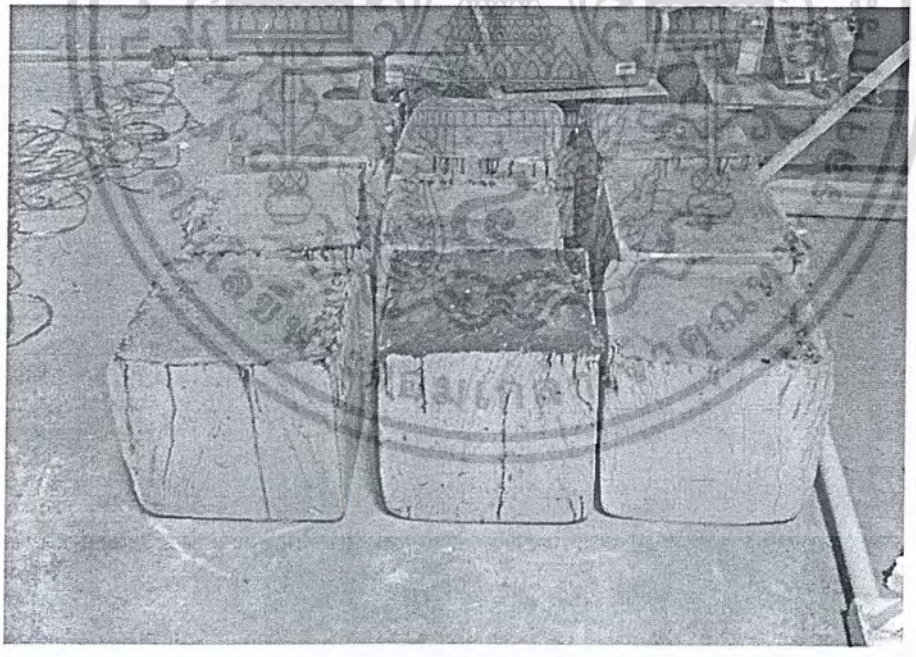
รูปที่ ผ.ค.5 การอบซีเมนต์ที่ 950 ^{o}c



รูปที่ ผ.ค.6 แบบหล่อ

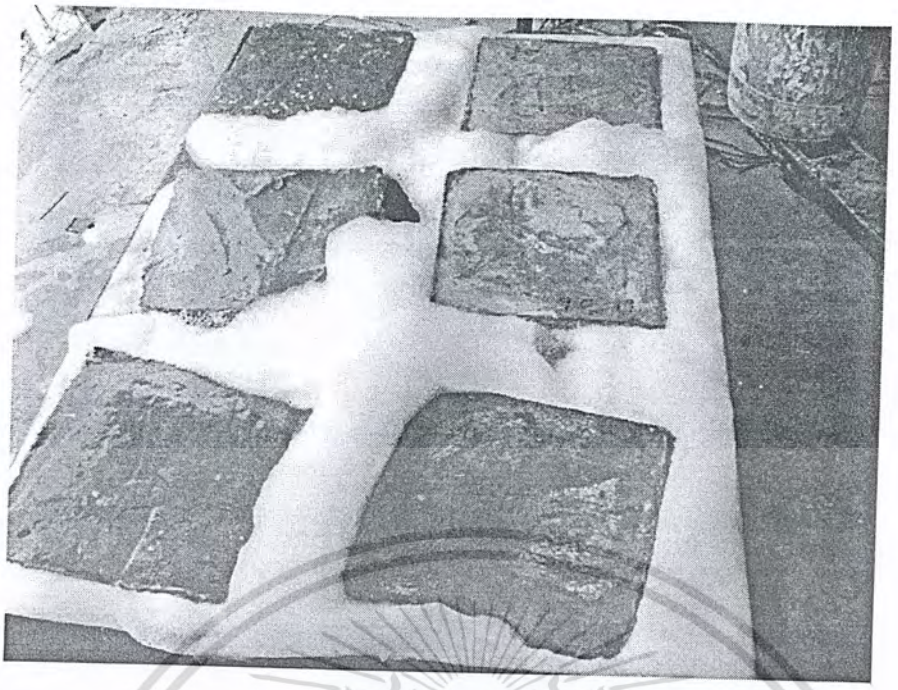
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.7 การบ่มโดยการหุ้มด้วยพลาสติก



รูปที่ ผ.ค.8 การบ่มด้วยอากาศ

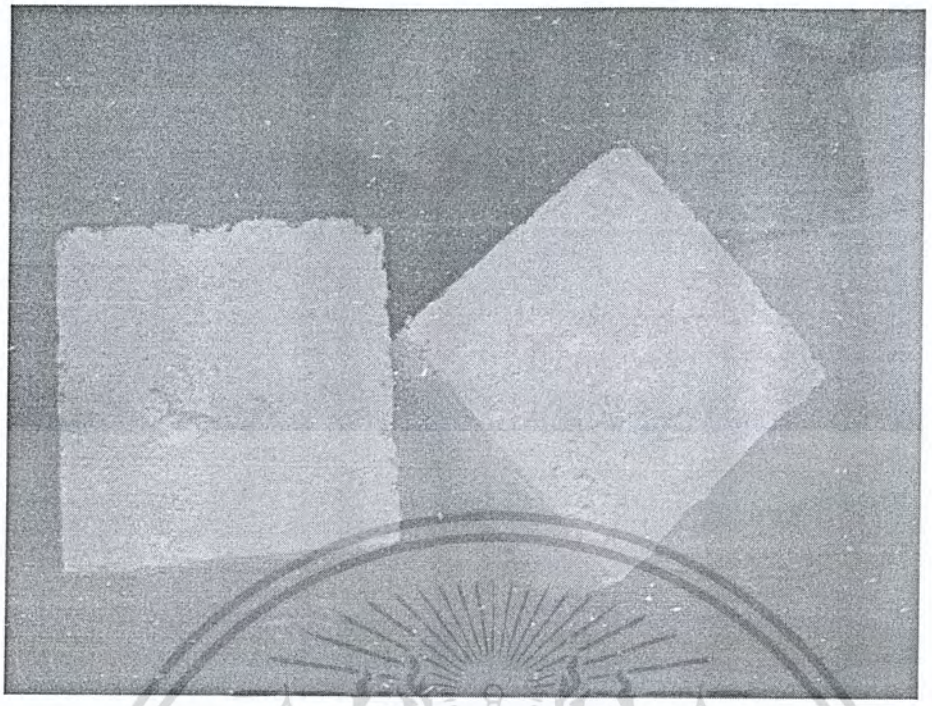
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



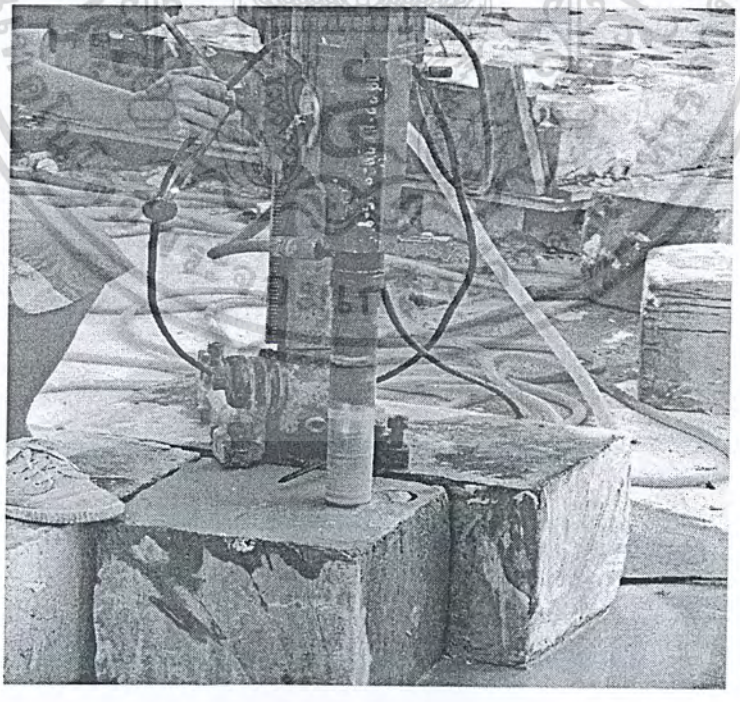
รูปที่ ผ.ค.9 การบ่มด้วยน้ำผสมน้ำยากักกระจายฟองอากาศ

รูปที่ ผ.ค.10 การบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

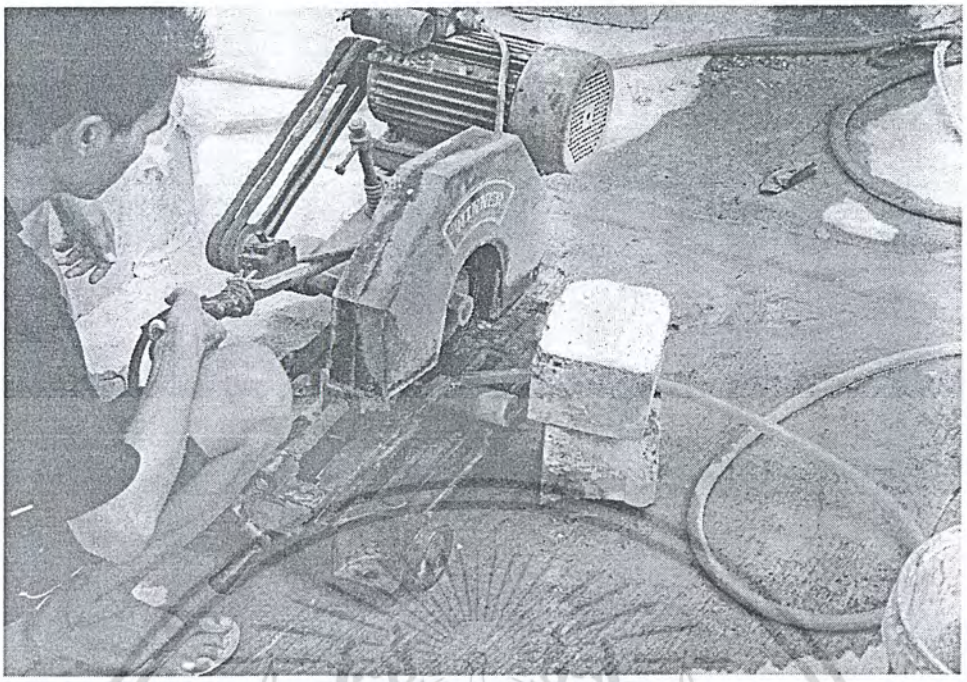


รูปที่ ผ.ค.11 การบ่มด้วยน้ำ



รูปที่ ผ.ค.12 ขณะเจาะแท่งมอร์ต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ค.13 ขณะตัดแท่งมอร์ต้า

รูปที่ ผ.ค.14 ขณะกดแท่งมอร์ต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้