สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทดสอบการเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากคาร์บอนที่เกิดจากเพลิงไหม้

INVESTIGATION ON DETERIORATION OF BURN CONCRETE BY CARBONATION TEST

โดย

นายพันธ์ประจักษ์ ทานสุทัศน์

นายภานุพันธ์ ล่าทิพย์

นายวุฒิชัย ประกอบมูล

T117588

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 117588
วัน,เดือน,ปี 9 ส.ค. 2554

b 12345465
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INVESTIGATION ON DETERIORATION OF BURN CONCRETE BY CARBONATION TEST

MR.PANPRAJAK THANSUTAD

MR.PHANUPHAN LATHIP

MR.WUTTICHAI PRAGOBMOOL

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHLOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การทดสอบการเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากคาร์บอนที่เกิดจากเพลิงไหม้

นักศึกษา นายพันธ์ประจักษ์ ทานสุทัศน์ รหัส 50011085

นายภานุพันธ์ ล่าทิพย์ รหัส 50011176

นายวุฒิชัย ประกอบมูล รหัส 50011515

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์ ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี อ.ศิลป์ชัย จานสุวรรณ	

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(.....)

(ผศ.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช)

ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 16 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การทดสอบการเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากคาร์บอนที่เกิดจากเพลิงไหม้	
นักศึกษา	นายพันธ์ประจักษ์ ทานสุทัศน์	รหัส 50011085
	นายภานุพันธ์ ล่าทิพย์	รหัส 50011176
	นายวุฒิชัย ประกอบมูล	รหัส 50011515
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี	

บทคัดย่อ

ปัจจุบันองค์อาคารต่างๆ ควรจะคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากคาร์บอเนชั่น โดยเฉพาะอาคารที่ตั้งอยู่ในพื้นที่เขตเมืองที่มีการจราจรที่หนาแน่น มีพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้ และได้รับผลกระทบโดยทางตรงและทางอ้อมจากควัน(คาร์บอน) โดยผลจากเหตุการณ์ดังกล่าวอาจทำให้โครงสร้างของอาคารเกิดการเสียหายได้ โดยคาร์บอนจะซึมผ่านเข้าทางผิวคอนกรีตและอาจมีอันตรายถ้าเกิดซึมถึงระยะหุ้มระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม

การทดลองนั้นจะใช้เชื้อเพลิงต่างๆ ที่ก่อให้เกิดควัน(คาร์บอน)มากจากการเผา โดยทดสอบกับลูกปูนทรงกระบอก ที่ระยะเวลาต่างๆ ตั้งแต่ 1 – 6 ชั่วโมง แล้วเปรียบเทียบความลึกที่คาร์บอนซึมผ่านเข้าไปได้เทียบกับระยะเวลา

จากโครงการวิจัยนี้ทำให้ทราบว่ายิ่งตัวอย่างได้รับคาร์บอนนานขึ้นเรื่อยๆ การซึมผ่านของคาร์บอนก็มีแนวโน้มที่จะซึมผ่านได้มากขึ้นเรื่อยๆ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	INVESTIGATION ON DETERIORATION OF BURN CONCRETE BY CARBONATION TEST
Name	:	MR.PANPRAJAK THANSUTAD
		MR.PHANUPHAN LATHIP
		MR.WUTICHAI PRAKOBMOOL
Field	:	CIVIL ENGINEERING
Department	:	CIVIL ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Advisor	:	ASST PROF. SUKCHAI SAKANUPONG
Advisor	:	ASST PROF DR. KOMSUN MALEESEE

ABSTRACT

Nowadays, most building must be considered about effecting from carbonation. Especially the buildings that located in crowded or traffic area, the place that is risk on fire accident and which is effected directly or indirectly by smoke (carbon). In my opinion, these events can cause of the structural damage by carbon's absorption through the concrete which may be cause some accident if carbon can absorb through the concrete covering.

The experiment uses the different fuels that can cause a lot of smoke (carbon) by testing with concrete spacer at the different time (from 1 – 6 hours). After that we will study the relationship between the depth of carbon's absorption and time.

The result of this project has shown that the more time that carbon through the sample, the more absorption of carbon.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์ของอาจารย์ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ ตลอดระยะเวลาของงานศึกษานี้ท่านได้ให้ความรู้คำแนะนำและการสั่งสอนที่มีค่ามากมายนอกเหนือจากขอบข่ายทางวิศวกรรม ซึ่งถือเป็นสิ่งที่มีค่าที่ผู้ประพันธ์ได้จากการศึกษา ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอกล่าวคำ ขอบคุณและความนับถือเป็นอย่างยิ่งแด่ อาจารย์ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์

และเป็นเกียรติอันสูงส่งแก่ผู้ประพันธ์ที่ได้รับจากอาจารย์คมสัน มาลีสีในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงงานพิเศษนี้ ด้วยคำแนะนำและข้อคิดเห็นที่ได้รับจากท่านถือเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับความสำเร็จของโครงงานนี้ ผู้ประพันธ์ได้เรียนรู้สิ่งต่างๆ มากมายจากท่านและพึงระลึกถึงท่านเสมอในฐานะอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ และขอกล่าวคำขอบคุณอย่างยิ่งแด่พี่ เอกชัย ไชยพลฤทธิ์ สำหรับคำแนะนำและข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการทดลองที่ได้มอบให้สำหรับโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณอย่างซาบซึ้ง แด่คณะกรรมการที่สอบโครงงานพิเศษนี้ ด้วยคำแนะนำและข้อคิดเห็นที่กระจ่างชัดของท่านทำให้ผู้ประพันธ์ทำโครงงานนี้สำเร็จไปได้ และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งที่ผู้ประพันธ์ได้รับจากผู้บริหารโครงการซึ่งเพียบพร้อมด้วยประสบการณ์ในงานด้านการก่อสร้าง ข้อมูลที่ได้รับจากท่านช่วยให้งานศึกษานี้ได้สำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์

ท้ายที่สุดนี้สำหรับคำขอบคุณอันพิเศษนี้ขอมอบแด่สมาชิกครอบครัวของผู้ประพันธ์ทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การช่วยเหลืออย่างต่อเนื่องตลอดการศึกษาของผู้ประพันธ์ ขอขอบคุณหนังสือทุกเล่มที่ได้ให้ความรู้ ทำให้เราทำโครงงานนี้ได้สำเร็จ

นายพันธ์ประจักษ์ ทานสุทัศน์

นายวุฒิชัย ประกอบมูล

นายภานุพันธ์ ล่าทิพย์

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน(ภาษาไทย)	ก
	ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	
1	**บทนำ**	
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
	1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
2	**วรรณกรรมปริทัศน์**	
	2.1 หลักการและทฤษฎี	3
	2.2 ผลของคาร์บอเนชั่น	4
	2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอเนชั่น	5
	2.4 การป้องกันการเกิดคาร์บอเนชั่น	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
3	**การดำเนินงานวิจัย**	
	3.1 คำนวณส่วนผสม (Mix Design)	6
	3.2 เตรียมแบบหล่อ	6
	3.3 ผสมคอนกรีต	6
	3.4 บ่มตัวอย่างลูกปูน	6
	3.5 คำนวณหาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างลูกปูน	7
	3.6 เตรียมอุปกรณ์ทำเตาเผาทดสอบ	7
	3.7 เตรียมเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ	8
	3.8 ประกอบเตาเผาดังภาพ	8
	3.9 ทำการทดสอบ	8
4	**ผลการทดสอบ,การวิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง**	
	4.1 ผลการทดลอง	11
	4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	14
	4.3 สรุปปัญหาที่	19
	4.4 การปรับปรุงและแก้ไขปัญหา	19
	4.5 ข้อเสนอแนะสำหรับโครงงานพิเศษ	20
	รายการอ้างอิง	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	บรรณานุกรม	22
	ภาคผนวก ก	
	รูปแสดงการทดลองการเกิดคาร์บอเนชั่น	ผก.1
	ภาคผนวก ข	
	รายการคำนวณ	
	คำนวณส่วนผสม (Mix Design)	
	ตัวอย่างการคำนวณส่วนผสมคอนกรีตที่กำลังอัดประลัย 180 ksc. โดยใช้โปรแกรมของ Tum Civil	ผข.1
	ตัวอย่างรายการคำนวณหาส่วนผสมคอนกรีตที่กำลังอัดประลัย 180 ksc. โดยใช้โปรแกรมของ Tum Civil	ผข.2
	คำนวณปริมาตรของตัวอย่างลูกปูนทรงกระบอก	ผข.3
	คำนวณหาความหนาแน่นของตัวอย่างลูกปูนทรงกระบอก	ผข.3
	ภาคผนวก ค	
	อุณหภูมิที่ได้จากวัสดุที่ใช้ทดลอง	ผค.1
	การตรวจวัดระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่นในแท่งคอนกรีต (CPC18 Measurement of hardened concrete carbonation depth)	ผค.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
รูปที่ 3.1	แสดงลักษณะเตาที่ใช้ในการทดสอบ	8
รูปที่ ผก.1.	ทำความสะอาดแบบหล่อ	ผก.1
รูปที่ ผก.2.	เทคอนกรีตใส่แบบหล่อ	ผก.1
รูปที่ ผก.3.	ทิ้งคอนกรีตให้เซทตัว	ผก.2
รูปที่ ผก.4.	ถอดแบบแล้วเตรียมบ่มตัวอย่าง	ผก.2
รูปที่ ผก.5.	บ่มตัวอย่างคอนกรีต 28 วัน	ผก.3
รูปที่ ผก.6.	นำตัวอย่างคอนกรีตขึ้นจากบ่อบ่มแล้วทิ้งไว้ 1 วัน	ผก.4
รูปที่ ผก.7.	ครอบผิวด้านบนตัวอย่างคอนกรีตด้านที่ไม่เรียบ	ผก.5
รูปที่ ผก.8.	หาปริมาตรและน้ำหนักของตัวอย่าง	ผก.5
รูปที่ ผก.9.	ทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัดของตัวอย่าง	ผก.6
รูปที่ ผก.10.	อ่านค่าจากเครื่องทดสอบกำลังอัดประลัย	ผก.7
รูปที่ ผก.11.	สภาพของตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบกำลังอัดประลัย	ผก.7
รูปที่ ผก.12.	ทำเตาเผาทดสอบตามที่ได้ออกแบบไว้	ผก.8
รูปที่ ผก.13.	ลักษณะของเตาเผาทดสอบเมื่อประกอบเสร็จแล้ว	ผก.8
รูปที่ ผก.14.	จัดวางตัวอย่างลงบนตะแกรง	ผก.9
รูปที่ ผก.15.	ปิดฝาเตาเผาทดสอบแล้วใส่เชื้อเพลิงด้านล่าง	ผก.9
รูปที่ ผก.16.	ขณะที่ทำการทดสอบการเผาให้เกิดคาร์บอน	ผก.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
รูปที่ ผก.17.	หลังจากทดสอบเสร็จ	ผก.10
รูปที่ ผก.18.	ลักษณะตัวอย่างหลังจากทดสอบ	ผก.11
รูปที่ ผก.19.	นำตัวอย่างออกจากเตาเผาทดสอบ	ผก.11
รูปที่ ผก.20.	วัดปริมาตรและน้ำหนักของตัวอย่างหลังทดสอบ	ผก.12
รูปที่ ผก.21.	ครอบผิวด้านบนตัวอย่างหลังการทดสอบในด้านที่ไม่เรียบ	ผก.12
รูปที่ ผก.22.	ทดสอบกำลังอัดประลัยของตัวอย่างหลังจากทดสอบ	ผก.13
รูปที่ ผก.23.	ลักษณะของตัวอย่างที่เกิดปฏิกิริยา รูปที่ 1	ผก.14
รูปที่ ผก.24.	ลักษณะของตัวอย่างที่เกิดปฏิกิริยา รูปที่ 2	ผก.14
รูปที่ ผก.25.	ลักษณะของตัวอย่างที่เกิดปฏิกิริยา รูปที่ 3	ผก.15
รูปที่ ผก.26.	ลักษณะของตัวอย่างที่ไม่เกิดปฏิกิริยา รูปที่ 1	ผก.16
รูปที่ ผก.27.	ลักษณะของตัวอย่างที่ไม่เกิดปฏิกิริยา รูปที่ 2	ผก.17
รูปที่ ผข. 1	โปรแกรมคำนวณออกแบบส่วนผสม (Mix Design) หน้ากรอกข้อมูล	ผข.1
รูปที่ ผข. 2	โปรแกรมคำนวณออกแบบส่วนผสม (Mix Design) หน้าข้อมูลการคำนวณ	ผข.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1.1	ค่ากำลังอัดประลัยก่อนการทดสอบ	11
ตารางที่ 4.1.2	ค่าความหนาแน่นก่อนการทดสอบ	11
ตารางที่ 4.1.3	ค่ากำลังอัดประลัยหลังจากการทดสอบ	12
ตารางที่ 4.1.4	ค่าความหนาแน่นหลังจากการทดสอบ	13
ตารางที่ 4.1.5	ค่าความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นหลังจากการทดสอบ	14
ตารางที่ 4.2.1	กำลังรับแรงอัดประลัย (ksc.)	15
ตารางที่ 4.2.2	แสดง % ของค่ากำลังอัดประลัยที่ลดลงหลังจากผ่านการทดสอบ	18
ตารางที่ 4.2.3	การเกิด Carbonation (mm.)	19
ตารางที่ 4.2.4	ค่าความหนาแน่น ($^{kg}/_{m^3}$)	21
ตารางที่ 4.2.5	แสดง % ของค่าความหนาแน่นที่ลดลงหลังจากผ่านการทดสอบ	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโครงสร้างของอาคารต่างๆ ที่มีอยู่ทั่วไปทั้งในตัวเมืองและนอกเมืองต่างได้รับผลกระทบจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไม่ว่าจะทางตรงหรือทางอ้อม ทางตรงก็คือการได้รับจากการเกิดเพลิงไหม้ ทั้งเพลิงไหม้ที่ตัวอาคารเองและเพลิงไหม้จากสิ่งของภายในตัวอาคาร และทางอ้อมคือได้รับจากควัน ไม่ว่าจะเป็นควันจากการเผาขยะของเหลือใช้หรือควันจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานยนต์ โดยส่วนมากโครงสร้างที่เป็นถนนและสะพานที่สร้างจากคอนกรีตเสริมเหล็กจะได้รับผลกระทบจากยานยนต์โดยตรง แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะโครงสร้างที่ได้รับผลกระทบจากควันที่เกิดเนื่องจากเพลิงไหม้ที่ตัวอาคารหรือสิ่งของภายในตัวอาคารโดยตรงเท่านั้น ซึ่งเมื่อคอนกรีตได้รับควันปัญหาที่เกิดขึ้นคือการแทรกตัวของคาร์บอนเข้าไปในเนื้อคอนกรีตตามรูพรุนต่างๆ ซึ่งคาร์บอนมีคุณสมบัติเป็นกรดและจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว โดยทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นหลัก ที่ให้ได้แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่า “คาร์บอเนชั่น (Carbonation)” ผลที่ตามมาคือปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นจะทำให้ความเป็นด่างในซีเมนต์เพสต์ซึ่งปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 12.6 – 13.5 อาจลดลงเหลือเพียง 8 – 9 ซึ่งส่งผลทำให้ฟิล์มที่เคลือบอยู่ระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต(Passivity Film)ถูกทำลายลงจึงทำให้เกิดสนิมในเหล็กเสริมในที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อทราบระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นที่ระดับความลึกต่างๆ ของคอนกรีตทรงกระบอกที่กำลังอัดประลัย 180 , 240 , 350 ksc.
2. เพื่อเป็นแนวทางในการหามาตรการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นเมื่อเกิดเพลิงไหม้
3. เพื่อทราบระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นที่ระดับความลึกต่างๆ ของคอนกรีตทรงกระบอกที่ความหนาแน่นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อทดสอบหาลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น
5. เพื่อศึกษาวิธีการตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นโดยใช้สารละลาย Phenolpthalein

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ใช้เวลาในการทดสอบที่ 1 , 2 , 3, 4, 5, 6 ชม. เนื่องจากปกติการเกิดเพลิงไหม้นั้นระยะเวลาจะเกิดอยู่ในช่วงประมาณนี้
2. ใช้คอนกรีตทรงกระบอกเพื่อง่ายต่อการทดสอบการเกิดปฏิกิริยา
3. ใช้คอนกรีตทรงกระบอก ที่กำลังอัดประลัย 180 , 240 , 350 ksc. เพื่อใช้ทดสอบการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นตามระยะเวลาที่กำหนด โดยทดสอบตัวอย่างละ 3 ก้อน
4. ทำการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่กำลังอัดประลัยต่างๆตามที่กำหนด กำลังอัดประลัยละ 3 ลูกแล้วเฉลี่ยค่าที่ได้
5. ในการทดสอบการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น ทดสอบโดยนำตัวอย่างคอนกรีตที่กำลังอัดประลัยต่างๆ มาเผาให้โดนควันและความร้อนโดยจะจำลองตามสถานการณ์จริง คือไม่ควบคุมปริมาณความร้อนและปริมาณควัน
6. ในการทดสอบการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น โดยการเผานั้นจะทำการแบ่งเผาที่ชั่วโมงละ 9 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นกำลังอัดประลัยละ 3 ตัวอย่าง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลที่คลาดเคลื่อน
7. ในการตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นนั้นจะทำการทดสอบ โดยกดตัวอย่างคอนกรีตในแนวนอนเพื่อให้แตกออกเป็นสองส่วนจากนั้น ทำการทดสอบโดยฉีดสารละลาย ฟีนอฟทาลีน (Phenolpthalein) ลงบนผิวที่แตกจากการกด เพื่อวัดค่าความลึกที่เกิดจากปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น
8. ใช้ระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตทั้งสิ้น 28 วัน ในบ่อบ่มที่ได้มาตรฐาน ณ พื้นที่ปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมโยธา สภาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 หลักการและทฤษฎี

ลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น

คาร์บอเนชั่น(carbonation)เป็นปฏิกิริยาของก๊าซที่มีคุณสมบัติเป็นกรด(CO_2)เข้าไปทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว(Alkaline cement paste)โดยทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นหลัก ทำให้ได้แคลเซียมคาร์บอเนต($CaCo_3$)เป็นหลัก

$$Ca(OH)_2+CO_2 \Longrightarrow CaCO_3+H_2O$$

นอกจากนี้ยังอาจเกิดสารประกอบอื่นๆ เช่น ไฮเดรตของซิลิกา ไฮเดรตของอลูมินา การเกิดคาร์บอนเนชั่นโดยตัวมันเอง ไม่ได้ทำให้คอนกรีตเสียหายแต่จะทำให้ความเป็นด่างของซีเมนต์เพสต์ลดลง โดยปกติมีความเป็นด่างสูงโดยมีค่า PH ระหว่าง 12.6 ถึง 13.5 และอาจลดลงถึง 8 ถึง 9 ถ้าแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในซีเมนต์ทำปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นจนหมด ซึ่งหากมีอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นมากจะทำให้ความเป็นด่างลดลงและทำให้ฟิล์มที่เคลือบระหว่างคอนกรีต(passivity film)กับเหล็กเสริมถูกทำลาย ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดสนิมในเหล็กเสริมในที่สุด

การตรวจสอบคาร์บอเนชั่นหรือที่เรียกว่า Carbonation Dept อาจนำมาประยุกต์การใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหลืออยู่ได้ ในกรณีที่ถือหลักการที่ว่าอายุการใช้งานขององค์อาคารจะหมดลงเมื่อเหล็กเสริมเริ่มผุกร่อนเป็นสนิม

เนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสภาพของสารละลาย จึงต้องอาศัยน้ำในการทำปฏิกิริยาด้วย คอนกรีตที่ถูกคาร์บอเนชั่นไปแล้วจะมีความพรุ่นมากขึ้น ลักษณะการทำปฏิกิริยาจะเกิดบริเวณใกล้ผิวหน้าของคอนกรีตที่มีโอกาสสัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2)ในอากาศ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตได้ดีโดยผ่านทางช่องว่างที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Pores) เข้าไปทำปฏิกิริยาในบริเวณใกล้ผิวหน้าของคอนกรีต ดังนั้นคาร์บอเนชั่นจะค่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คืบหน้าเข้าไปในเนื้อคอนกรีตด้วยอัตราที่ช้าลงเรื่อยๆ เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต้องแพร่ผ่านโครงสร้างช่องว่าง (Pore Structure) ของคอนกรีตและผ่านส่วนที่ถูกคาร์บอเนตไปแล้วซึ่งจะมีความพรุนมากขึ้นในบริเวณผิวและมีความพรุนน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อลึกเข้าไปทำให้ซึมผ่านเข้าไปได้ยาก

เนื่องจากการทำปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นต้องการทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังนั้นในคอนกรีตที่อิ่มตัวด้วยน้ำหรือคอนกรีตที่แห้งสนิทจะเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นได้น้อย เนื่องจากในคอนกรีตที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำนั้นจะไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านเข้าไปได้มากนัก ส่วนคอนกรีตที่แห้งสนิทนั้นก็จะไม่มีน้ำในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นจะรุนแรงในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์ของคอนกรีตอยู่ระหว่างกึ่งชื้นกึ่งแห้ง (Semi – Dry) นั่นคือ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่างร้อยละ 40 ถึงร้อยละ 60 และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาก

2.2 ผลของปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น

ปฏิกริยาคาร์บอเนชั่นทำให้เกิดผลที่สำคัญอยู่ 3 ประการ คือ

1. ทำให้เกิดความพรุนมากบริเวณผิวของคอนกรีตที่เกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น
2. ทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตในบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นลดต่ำลงหรือต่ำกว่าระดับวิกฤต เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH_2)$) ถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น ผลคือทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตเป็นสนิมได้ เพราะปฏิกริยาคาร์บอเนชั่นเข้าไปจนถึงตำแหน่งเหล็กเสริม
3. ทำให้เกิดการหดตัว (Carbonation Shrinkage) ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH_2)$) ภายใต้หน่วยแรงอัดที่เกิดจากการหดตัวแบบแห้งหรือจากการที่ทำให้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) เกิดเสียน้ำ (Dehydrate) ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการหดตัว

ผลของปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นทั้ง 3 กรณี ในกรณีประการที่ 1 และ 2 คือกรณีที่ทำให้คอนกรีตเกิดความพรุนและกรณีที่ทำให้ความเป็นด่างในคอนกรีตลดลง ซึ่งทั้ง 2 กรณีจะมีผลเสียต่อความคงทนของคอนกรีตมากที่สุด โดยจะส่งผลเสียต่อความคงทนของคอนกรีตและเหล็กเสริม กรณีถ้าคอนกรีตเสริมเหล็กเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นจะมีผลเสียต่อเหล็กเสริมที่อยู่ด้านในของคอนกรีตคือ เมื่อความพรุนของคอนกรีตเพิ่มขึ้นโอกาสที่เหล็กเสริมจะสัมผัสกับอากาศที่ซึมเข้าไปยิ่งมีค่ามากขึ้น ทำให้เกิดสนิมในเหล็กเสริม แล้วทำให้เกิดการแตกร้าวในเนื้อคอนกรีตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น

1. ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ดังที่ได้อธิบายไปแล้วข้างต้นว่า ความชื้นสัมพัทธ์ที่ไม่สูงและไม่ต่ำมากเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นรุนแรง
2. ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ยิ่งมากก็จะยิ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นรุนแรง
3. อุณหภูมิที่สูงจะทำให้ปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นดำเนินไปเร็ว
4. ความพรุนของคอนกรีต คอนกรีตที่มีความทึบน้ำต่ำจะเกิดคาร์บอเนชั่นได้เร็วและมาก
5. การใช้สารปอซโซลานบางชนิด จะทำให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นมากขึ้นถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไป

2.4 การป้องกันการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น

1. ออกแบบให้คอนกรีตมีความพรุนต่ำ เช่น ใช้ปริมาณน้ำน้อย อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ หรือใช้วัสดุเติมช่องว่าง (Filler) เช่น ซิลิกาฟูม จะช่วยให้คอนกรีตมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นลดลง
2. บ่มคอนกรีตให้ดี การบ่มคอนกรีตให้ยาวนานขึ้นจะทำให้คอนกรีตบริเวณผิวและใกล้ผิวคอนกรีตมีความทึบน้ำดีขึ้น

สำหรับการป้องกันการเกิดสนิมของเหล็ก ควรออกแบบระยะหุ้มเหล็กเสริมให้หนายิ่งขึ้นถ้าทราบว่าโครงสร้างดังกล่าวอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นรุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการ

3.1 ออกแบบส่วนผสม(Mix design)

โดยคำนวณจากโปรแกรมออกแบบส่วนผสม(Mix design) ของ Tum Civil โดยกำหนดเป็นทรงกระบอกคำนวณที่กำลังอัดประลัย 180 ksc. 240 ksc. 350 ksc. ค่าการยุบตัว(slump) 8-10 เซนติเมตร ไม่ใช้สารผสมเพิ่ม

3.2 เตรียมแบบหล่อ

ใช้แบบหล่อทรงกระบอกทั้งสิ้น 21 ตัวอย่างในแต่ละค่ากำลังอัดประลัย โดยจะทำการผสมทั้งหมด 3 ครั้ง จะได้ตัวอย่างทั้งหมด 63 ตัวอย่าง เตรียมแบบโดยการทำความสะอาดแล้วทาด้วยน้ำมันเพื่อให้ตัวแบบหล่อและผิวของคอนกรีตที่สัมผัสกันนั้นไม่เชื่อมต่อติดกัน ทำให้ง่ายต่อการถอดแบบเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

3.3 ผสมคอนกรีต

ใช้ส่วนผสมตามที่คำนวณได้ ที่ค่ากำลังอัดประลัยต่างๆ ทำการผสมโดยใช้โม่ผสม เมื่อผสมเสร็จทำการ Test Slump (ค่าการยุบตัวของคอนกรีต) ได้ที่ 8 – 10 เซนติเมตร ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ แล้วเทลงแบบหล่อทรงกระบอกที่ทาด้วยน้ำมันแล้ว จากนั้นทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้คอนกรีตเซตตัว แล้วถอดแบบ

3.4 บ่มตัวอย่างลูกปูน

นำตัวอย่างไปบ่มในบ่อบ่มตัวอย่างคอนกรีตหลังจากที่ถอดแบบแล้วทันที โดยการบ่มนั้นจะต้องให้น้ำท่วมตัวอย่างลูกปูนพอประมาณ ทำการบ่มโดยทิ้งไว้ในบ่อเป็นเวลาทั้งสิ้น 28 วัน รวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างทั้งหมด 63 ตัวอย่าง หลังจากครบ 28 วันแล้ว นำขึ้นจากบ่อบ่ม ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อที่จะให้ตัวอย่างอยู่ในสภาพที่พร้อมจะทำการทดสอบ

3.5 คำนวณหาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างลูกปูน

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล(เครื่องชั่งมาตรฐานสูงสุด 30 กิโลกรัมความละเอียด 0.01 กิโลกรัม) แล้วหาปริมาตรของตัวอย่าง โดยวัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทรงกระบอก โดยคำนวณปริมาตรได้จากสูตร

$$V=\pi r^2.H$$

โดยที่ V คือ ปริมาตรมีหน่วยเป็น m^3

r คือ รัศมีของหน้าตัดตัวอย่างทรงกระบอกมีหน่วยเป็น m.

H คือ ความสูงของตัวอย่างมีหน่วยเป็น m.

แล้วคำนวณหาความหนาแน่นได้จากสูตร

$$\rho = \frac{m}{V}$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นมีหน่วยเป็น (kg/m^3)

M คือ มวลของตัวอย่างมีหน่วยเป็น kg.

V คือ ปริมาตรของตัวอย่างมีหน่วยเป็น m^3

3.6 ทดสอบกำลังอัดประลัย

นำตัวอย่างที่พักไว้มาปิดผิวบนด้านที่ไม่เรียบด้วยกำมะถันเพื่อที่จะให้ได้ตามมาตรฐาน ASTM C39 แล้วทำการทดสอบกำลังอัดประลัยของตัวอย่างลูกปูนที่กำลังอัดประลัยละ 3 ตัวอย่าง คือ 180 ksc. 240 ksc. 350 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 เตรียมอุปกรณ์ทำเตาเผาทดสอบ

โดยใช้ท่อวงส้วม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1เมตร จำนวน 6 วง พร้อมฝาจำนวน 3 ฝา มาใช้ทำเป็นเตาทดสอบ แล้วสั่งเหล็ก DB12 มาใช้ทำตะแกรงวางตัวอย่างทดสอบ จำนวน 5 เส้น โดยมัดติดกันด้วยลวดเพื่อไม่ให้เกิดการเลื่อนของตะแกรงเมื่อวางตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ

3.8 เตรียมเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ

เชื่อเพลิงที่ใช้ทดลอง จะใช้เชื้อเพลิงที่หาได้ในท้องถิ่น เช่น เศษไม้จากการทำเฟอร์นิเจอร์ และไม้เหลือทิ้งจากห้องปฏิบัติการทดสอบ, ขวดน้ำพลาสติกขุ่นจากร้านขายของเก่า, ยางในรถจักรยานยนต์โดยขอจากร้านซ่อม,ถ่านหุงต้ม ซึ่งจะให้ค่าความร้อนที่แตกต่างกัน แต่จะให้ปริมาณควันที่มากและเป็นควันดำและเขม่ามาก

3.8 ประกอบเตาเผาดังภาพ

รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะเตาที่ใช้ในการทดสอบ

จากภาพจะสังเกตเห็นว่าในแต่ละเตาจะใช้ท่อวงส้วม 2 ท่อต่อ 1 เตาโดยระหว่างกลางจะมีตะแกรงเหล็กไว้เพื่อวางตัวอย่างทดสอบ ส่วนด้านบนนั้นจะปิดด้วยฝาเมื่อทำการทดลองเพื่อลดการสูญเสียควันในขณะทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การทดสอบ

3.9.1 ทดสอบเผาตัวอย่าง โดยวางตัวอย่างไว้บนตะแกรงเหล็ก จำนวน 9 ตัวอย่างโดยแบ่งเป็น ที่ค่ากำลังอัดประลัยละ 3 ตัวอย่าง และทดสอบเผาที่ 1 2 3 4 5 6 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยเฝ้าสังเกตไม่ให้ไฟดับและคอยเติมเชื้อเพลิงอยู่เรื่อยๆ

3.9.2 ทดสอบค่าความหนาแน่นหลังจากทดลอง หลังจากทดลองตัวอย่างจะอยู่ในสภาพที่ยังร้อนอยู่เนื่องจากความร้อนที่ยังคงอยู่ข้างในของตัวอย่าง ดังนั้นในขั้นตอนการดับไฟจึงใช้ทรายที่มีความชื้นพอประมาณเทกลบลงในเตาทดสอบและทิ้งให้ตัวอย่างเย็นตัวลงหลังจากนั้นเป็นเวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล หาปริมาตรของตัวอย่างโดยวัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทรงกระบอก โดยคำนวณปริมาตรได้จากสูตร

$$V=\pi r^2.H$$

โดยที่ V คือ ปริมาตรมีหน่วยเป็น m^3

r คือ รัศมีของหน้าตัดตัวอย่างทรงกระบอกมีหน่วยเป็น m.

H คือ ความสูงของตัวอย่างมีหน่วยเป็น m.

แล้วคำนวณหาความหนาแน่นได้จากสูตร

$$\rho = \frac{m}{V}$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นมีหน่วย (kg/m^3)

M คือ มวลของตัวอย่างมีหน่วยเป็น kg.

V คือ ปริมาตรของตัวอย่างมีหน่วยเป็น m^3

3.9.3 ทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตตัวอย่าง หลังจากการเผาจะนำตัวอย่างที่พักไว้เพื่อให้เย็นตัว มาปิดผิวบนด้วยกำมะถันในด้านที่ไม่เรียบเพื่อที่จะให้ได้ตามมาตรฐาน ASTM C39 แล้วทำการทดสอบกำลังอัดประลัยของตัวอย่างลูกปูนที่กำลังอัดประลัยละ 3 ตัวอย่าง คือ 180 ksc. 240 ksc. 350 ksc. เพื่อดูว่าหลังการทดลองค่ากำลังอัดประลัยมีค่าแตกต่างจากก่อนทดสอบหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.4 ทดสอบการเกิดปฏิกิริยา Carbonation โดยเมื่อทดสอบกำลังอัดประลัยแล้วก็นำตัวอย่างลูกปูนมากดแนวนอนให้แตกเป็นสองส่วน แล้วทำการฉีดฟีนอฟทาลีน (Phenolpthalein)ลงบนผิวด้านที่แตกเพื่อดูการเกิดปฏิกิริยา ว่าเข้าไปลึกแค่ไหนจากผิวนอกของตัวอย่างโดยส่วนที่เกิดปฏิกิริยาจะไม่แสดงสีม่วง แต่ส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาจะเกิดเป็นสีม่วงเนื่องจากสารละลายฟีนอฟทาลีน

3.9.5 บันทึกข้อมูล ทำการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ แล้วนำค่าที่ได้ทั้ง 3 ค่าจากการทดสอบในแต่ละค่ากำลังอัดประลัยมาเฉลี่ยกันแล้วดูแนวโน้มที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบ,การวิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.1.1 ค่ากำลังอัดประลัยก่อนการทดสอบ

ค่ากำลังอัดประลัยที่คำนวณ (ksc.)	ค่ากำลังอัดประลัยที่ได้จากการทดสอบ (ton)				ค่ากำลังอัดประลัย (ksc.)
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
180	36.5	40.2	35.8	37.5	206.7638
240	40.2	38.5	50.0	42.9	236.5377
350	61.5	60.2	63.2	61.6	339.8277

ตารางที่ 4.1.2 ค่าความหนาแน่นก่อนการทดสอบ

ค่ากำลังอัดประลัย (ksc.)	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (kg.)	ปริมาตร (m^3)	ความหนาแน่น (kg./m^3.)	เฉลี่ยค่าความหนาแน่น (kg./m^3.)
206.76	1	12.942	$5.35x\ 10^{-3}$	2419.065	2436.51
	2	13.094	$5.35x\ 10^{-3}$	2447.477	
	3	13.070	$5.35x\ 10^{-3}$	2442.990	
236.53	1	13.153	$5.35x\ 10^{-3}$	2458.505	2427.17
	2	12.910	$5.35x\ 10^{-3}$	2413.084	
	3	12.893	$5.35x\ 10^{-3}$	2409.906	
339.82	1	13.084	$5.35x\ 10^{-3}$	2445.607	2486.23
	2	13.546	$5.35x\ 10^{-3}$	2531.963	
	3	13.274	$5.35x\ 10^{-3}$	2481.121	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.3 ค่ากำลังอัดประลัยหลังจากการทดสอบ

เวลา (Hr.)	ค่ากำลังอัดประลัย (Ton)					ค่ากำลังอัดประลัย (ksc.)
	ก่อนการทดสอบ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย	
1	206.76	32.0	38.0	40.4	36.80	202.90
	236.53	41.2	39.8	45.3	42.10	232.12
	339.82	53.0	54.7	51.2	52.97	292.04
2	206.76	33.0	37.2	31.1	33.77	186.17
	236.53	44.6	37.2	32.0	37.93	209.15
	339.82	51.0	51.2	57.8	53.33	294.06
3	206.76	29.0	33.8	29.8	30.87	170.18
	236.53	33.0	34.0	36.0	34.33	189.30
	339.82	62.2	44.2	48.2	51.53	284.13
4	206.76	39.4	33.4	29.6	34.13	188.20
	236.53	36.0	35.0	41.6	37.53	206.94
	339.82	46.0	57.0	59.8	54.27	299.21
5	206.76	34.0	33.2	-*	32.6	185.26
	236.53	36.0	37.8	38.0	37.27	205.47
	339.82	56.0	50.2	54.2	53.47	294.79
6	206.76	31.2	34.8	32.4	32.80	180.84
	236.53	27.4	46.0	38.0	37.13	204.74
	339.82	42.6	39.8	52.0	44.80	247.01

หมายเหตุ * ตัวอย่างที่ทดสอบเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.4 ค่าความหนาแน่นหลังจากการทดสอบ

เวลา (Hr.)	กำลังอัดประลัย (ksc.)	น้ำหนัก (Kg.)				ปริมาตร (m^3)	ความหนาแน่น ($kg./m^3.$)
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย		
1	206.76	12.767	12.526	12.648	12.640	$5.35x\ 10^{-3}$	2365.62
	236.53	12.819	12.801	13.186	12.938	$5.35x\ 10^{-3}$	2418.32
	339.82	12.957	13.124	13.119	13.067	$5.35x\ 10^{-3}$	2442.43
2	206.76	12.425	12.605	12.350	12.485	$5.35x\ 10^{-3}$	2333.64
	236.53	12.995	12.421	12.350	12.589	$5.35x\ 10^{-3}$	2354.08
	339.82	12.797	13.026	12.631	12.818	$5.35x\ 10^{-3}$	2395.89
3	206.76	12.185	12.085	12.308	12.193	$5.35x\ 10^{-3}$	2279.07
	236.53	12.429	12.462	13.235	12.708	$5.35x\ 10^{-3}$	2375.45
	339.82	12.688	12.721	12.677	12.695	$5.35x\ 10^{-3}$	2372.90
4	206.76	12.194	12.229	12.438	12.287	$5.35x\ 10^{-3}$	2296.64
	236.53	12.371	12.576	12.475	12.514	$5.35x\ 10^{-3}$	2339.07
	339.82	12.861	12.804	12.884	12.850	$5.35x\ 10^{-3}$	2401.87
5	206.76	11.996	12.185	-*	12.091	$5.35x\ 10^{-3}$	2260.00
	236.53	12.396	12.217	12.785	12.466	$5.35x\ 10^{-3}$	2330.09
	339.82	12.840	12.121	12.455	12.459	$5.35x\ 10^{-3}$	2328.79
6	206.76	11.548	12.506	11.974	12.143	$5.35x\ 10^{-3}$	2269.72
	236.53	12.156	12.490	11.990	12.199	$5.35x\ 10^{-3}$	2280.17
	339.82	12.648	12.287	12.674	12.538	$5.35x\ 10^{-3}$	2343.55

หมายเหตุ * ตัวอย่างที่ทดสอบเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.5 ค่าความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นหลังจากการทดสอบ

เวลา (Hr.)	กำลังอัดประลัย(ksc.)	ความลึก (mm.)			
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
1	206.76	1.40	0.90	1.78	1.36
	236.53	2.46	1.34	0.94	1.58
	339.82	-*	-*	-*	-*
2	206.76	1.20	2.06	1.84	1.70
	236.53	1.82	1.14	2.16	1.71
	339.82	-*	-*	-*	-*
3	206.76	1.62	1.62	1.58	1.61
	236.53	1.90	2.44	0.56	1.63
	339.82	-*	-*	-*	-*
4	206.76	0.66	1.84	1.96	1.49
	236.53	-*	1.90	2.16	1.37
	339.82	-*	-*	-*	-*
5	206.76	2.16	2.36	-*	2.26
	236.53	-*	2.00	0.58	0.86
	339.82	-*	-*	-*	-*
6	206.76	3.90	1.78	2.26	2.66
	236.53	1.80	-*	0.92	0.91
	339.82	1.78	3.20	-*	1.66

หมายเหตุ * ไม่เกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

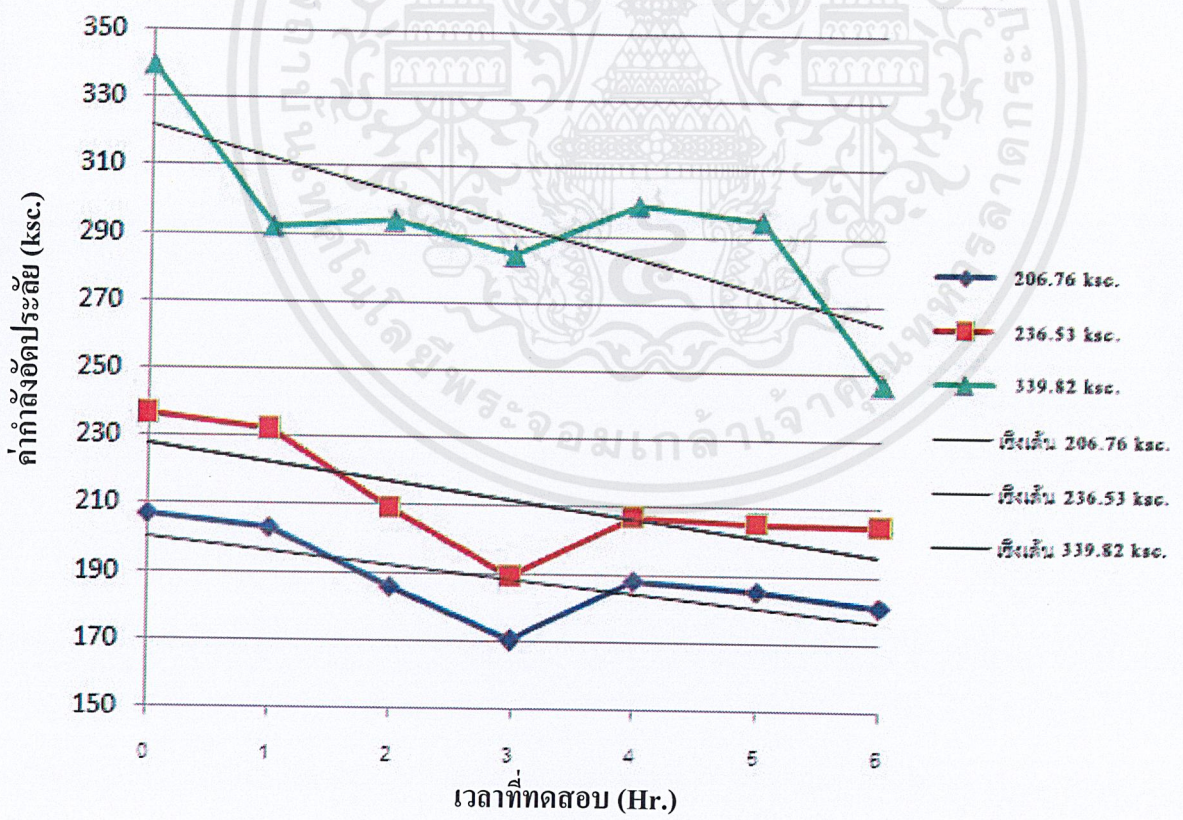
4.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัย (ksc.) กับเวลาที่ทดสอบ (Hr.)

ตารางที่ 4.2.1 กำลังรับแรงอัดประลัย (ksc.)

ค่ากำลังอัดประลัยที่คำนวณ (ksc.)	ค่ากำลังอัดประลัยที่ผสมได้ (ksc.)	เวลา (Hr.)					
		1	2	3	4	5	6
180	206.76	202.90	186.17	170.18	188.20	185.26	180.84
240	236.53	232.12	209.15	189.30	206.94	205.47	204.74
350	339.82	292.04	294.06	284.13	299.21	294.79	247.01

กราฟที่ 4.2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัย (ksc.) กับเวลาที่ทดสอบ (Hr.)



เนื่องจากระหว่างการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต ตัวอย่างคอนกรีตจะได้รับความร้อนจากการเผาไหม้ทำให้ค่ากำลังอัดประลัยมีค่าลดลงเรื่อยๆ นั้นเป็นเพราะสาเหตุที่สำคัญดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตเกิดการสูญเสียน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Dehydration) ของสารประกอบ Hydration Product พวกเจลและแคลเซียมไฮเดรต ปกติแล้วสารประกอบหลักของซีเมนต์ที่สำคัญและมีมากที่สุดคือ แคลเซียมซิลิเกต(C_3S,C_2S)เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะให้สารประกอบแคลเซียมไฮเดรตออกมาซึ่งมีอิทธิพลต่อการสร้างกำลัง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตนั้นมีมากกว่าความจำเป็นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นปริมาณน้ำในคอนกรีตจึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกไม่ได้ใช้ในการทำปฏิกิริยาแทรกอยู่ตามช่องโพรงในคอนกรีตเรียกปริมาณน้ำส่วนนี้ว่า Free Water ส่วนที่ 2 คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการปฏิกิริยาเคมี(ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น) เรียกว่า combined water เมื่อคอนกรีตถูกไฟไหม้ Free water จะระเหยไปก่อน ในช่วงอุณหภูมิเริ่มสูง ต่อจากนั้นจะเกิดการสูญเสียน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ที่อุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งสามารถอธิบายเป็นสมการเคมีได้ดังนี้

$$2(3CaO.SiO_2)+6H_2O \iff 3CaO.2SiO_2.3H_2O+3Ca(OH)_2+heat$$

ความร้อนจากไฟเข้าไปทำให้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตและแคลเซียมไฮดรอกไซค์ทางขวามือของสมการมีการสูญเสียน้ำไปจากการระเหย ทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับไปทางซ้ายของสมการนั่นคือเกิดปฏิกิริยา Dehydration ขึ้น การสูญเสียน้ำในที่นี้สามารถยืนยันได้จากการลดลงของน้ำหนักของคอนกรีต (weight Loss) เมื่อคอนกรีตถูกไฟเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 300 องศาเซลเซียสน้ำจะมีการเคลื่อนไหวในก้อนคอนกรีตดีขึ้นทำให้ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ได้ดีขึ้นกำลังและพิกัดยืดหยุ่นของคอนกรีตอาจเพิ่มขึ้นได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 300 องศาเซลเซียส น้ำในผลึกของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต จะเริ่มเปลี่ยนเป็นไอน้ำและพยายามดันออกมานอกแท่งคอนกรีต ประกอบกับเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หิน ทราย และผงซีเมนต์ที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยากับน้ำจะขยายตัว แต่ขยายตัวในอัตราที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการดึงและดันกัน ทำให้แตกออก ไอน้ำที่ผิวนอกจะออกไปสู่บรรยากาศได้ แต่น้ำขณะอยู่ในตัวแท่งคอนกรีตเดิมเป็นของเหลวมีตัวตน เมื่อกลายเป็นไอจะเคลื่อนที่ออกไปจากก้อนคอนกรีตหรือเมื่อผสมกับซีเมนต์จะกลายสภาพไป ทำให้เกิดช่องว่างน้ำ (water void) ขึ้นในแท่งคอนกรีต กำลังรับแรงก็จะลดลงตามไป เพราะ หน้าตัดแท่งคอนกรีตจะมีทั้งแท่งคอนกรีตและ ช่องว่าง ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นมากเท่าใด ก็จะเกิดไอน้ำที่มีแรงดันไอสูงขึ้นมากตามไปด้วย ดังนั้น ไอน้ำส่วนที่ยังออกไปจากก้อนคอนกรีตไม่ได้ จะเข้าไปอาศัยในโพรงช่องว่างน้ำ ทำให้เกิดมีแรงกระทำกับผนังของโพรงน้ำ ดังนั้น ขีดความสามารถในการรับแรงของคอนกรีตและพิกัดยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อุณหภูมิสูงๆ จะลดลงอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

J.M. Illson (1994) กล่าวถึงสาเหตุที่คอนกรีตสูญเสียกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้รับอุณหภูมิต่อเนื่อง มีสาเหตุมาจาก

1. ในกรณีที่คอนกรีตอิ่มตัวไปด้วยน้ำ และมีค่าอัตราการรั่วซึมต่ำ หากเผาและเพิ่มอุณหภูมิขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส น้ำในคอนกรีตดังกล่าวจะเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ทำให้เกิดแรงดันในคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตแตกร้าว และร่อน

2. เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส จะเกิดการขยายตัวที่แตกต่างกันของซีเมนต์เพสต์และมวลรวม ซึ่งเป็นผลมาจากความเค้นที่เกิดจากความร้อน (thermal stress) ทำให้เกิดการแตกร่อน และคอนกรีตจะสูญเสียกำลังอย่างรวดเร็ว

3. เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 1000 องศาเซลเซียส ความร้อนจะทำลายซีเมนต์เพสต์ คอนกรีตจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจากเดิมถึง 100%

จากการทดสอบโครงการพิเศษในครั้งนี้อุณหภูมิจะมีค่าอยู่ระหว่าง 350 -400 องศาเซลเซียส ซึ่งที่ช่วงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส น้ำหนักของคอนกรีตจะมีค่าลดลงไป 6% ซึ่งเป็นน้ำในส่วนของ Free water 4.80% ที่เหลือเป็นส่วนของ Combined Water นั้นแสดงว่าในช่วงอุณหภูมินี้แคลเซียมซิลิเกตและแคลเซียมไฮดรอกไซค์เกิดปฏิกิริยา Dehydration ในอัตราที่สูงทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงไปอย่างรวดเร็ว เมื่อปล่อยให้คอนกรีตที่เผาไฟใหม่ๆ นั้นเย็นตัวลงที่ความดันบรรยากาศ กำลังของคอนกรีตต่อจากนั้นจะมีค่าลดลงไปอีก

[Georgali and Tsakiridis 2005] สรุปว่าคอนกรีตจะยังสภาพที่ดีหากอยู่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส สำหรับที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ค่ากำลังอัดจะลดลง 15 – 40% ที่อุณหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส คอนกรีตจะสูญเสียค่ากำลังอัดอย่างรวดเร็ว และอัตราของค่ากำลังอัดจะลดลงด้วย และจะยิ่งลดมากขึ้นในคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดที่สูง ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส การลดลงของค่ากำลังอัดจะอยู่ในช่วง 55 – 70% ของค่าเริ่มต้น ผลกระทบของอุณหภูมิพบได้ทั่วไปจากพื้นผิวของคอนกรีตที่แตกหัก และสำหรับการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดการแตกหักของคอนกรีตเป็นชิ้นเล็กๆ ขึ้นได้

ด้วยอัตราการลดลงของค่ากำลังอัดประลัยเมื่อตัวอย่างโดนความร้อนสามารถสรุปออกมาในรูปของค่า % การลดลงได้ดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

117588

ตารางที่ 4.2.2 แสดง % ของค่ากำลังอัดประลัยที่ลดลงหลังจากผ่านการทดสอบ

ค่ากำลังอัดประลัยที่ผสมได้ (ksc.)	ค่ากำลังอัดประลัยที่ผสมได้	ระยะเวลาเวลา (Hr.)					
		1	2	3	4	5	6
206.76	100%	3.27%	5.69%	9.08%	10.52%	12.94%	13.91%
236.53	100%	6.14%	7.83%	10.57%	12.06%	14.60%	16.71%
339.82	100%	8.19%	11.72%	13.78%	16.13%	19.07%	21.43%

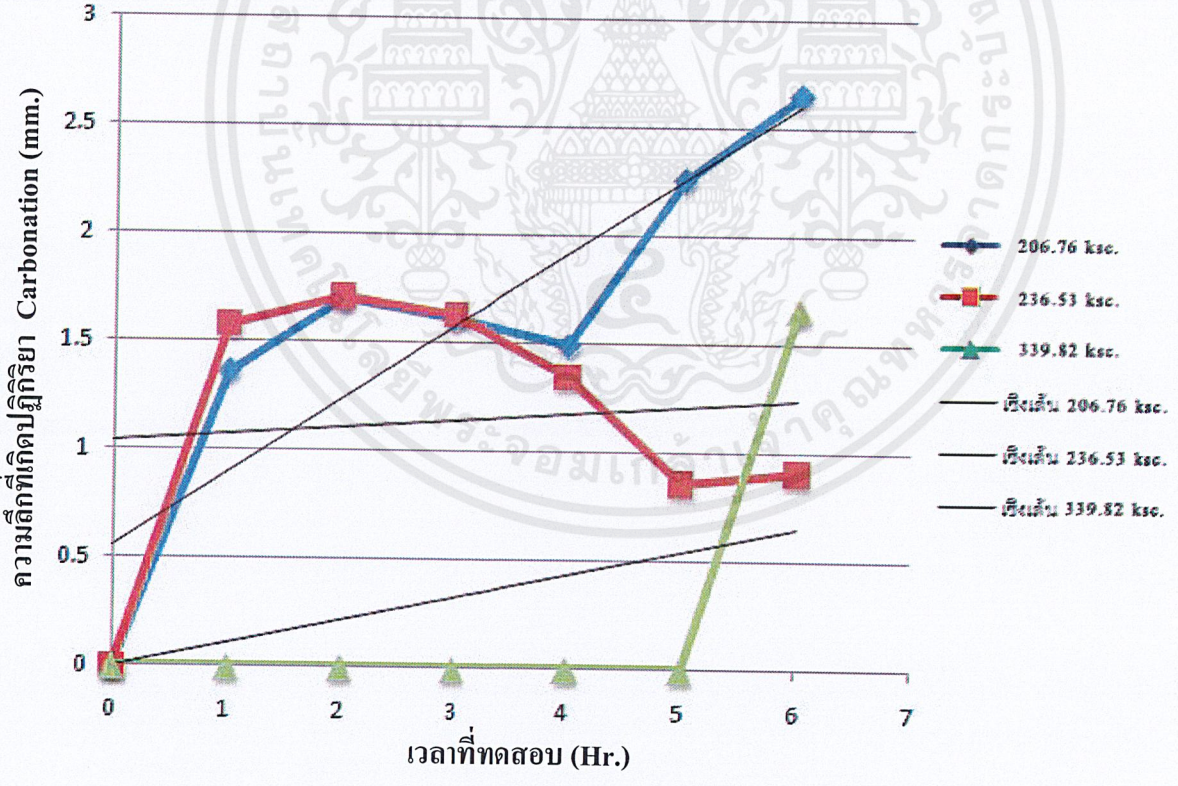
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกที่เกิดปฏิกิริยา Carbonation(mm.) กับเวลาที่ทดสอบ (Hr.)

ตารางที่ 4.2.3 การเกิด ปฏิกิริยา Carbonation (mm.)

ค่ากำลังอัดประลัย (ksc.)	เวลา (Hr.)					
	1	2	3	4	5	6
180	1.36	1.70	1.61	1.49	2.26	2.65
240	1.58	1.71	1.63	1.35	0.86	0.91
350	-	-	-	-	-	1.66

กราฟที่ 4.2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกที่เกิดปฏิกิริยา Carbonation (mm.) กับเวลาที่ทดสอบ (Hr.)



จากการทดสอบจะเห็นว่าที่ค่ากำลังอัดประลัยต่ำอัตราการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นจะมีค่ามากกว่าที่ค่ากำลังอัดประลัยที่สูง เพราะตัวอย่างทดสอบที่มีค่ากำลังอัดประลัยต่ำเนื้อคอนกรีตจะมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พรุนมากกว่า และที่ค่ากำลังอัดประลัยสูงความหนาแน่นของเนื้อคอนกรีตจะมีความหนาแน่นมากกว่าและความพรุนน้อย ทำให้การซึมผ่านของคาร์บอนจะซึมผ่านได้ยากกว่าคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดประลัยต่ำ

ระยะเวลาในการได้รับคาร์บอนที่ต่างกันทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างกันด้วย คือ ที่ระยะเวลาที่คอนกรีตได้รับคาร์บอนนานกว่าจะเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นได้ลึกกว่าคอนกรีตที่ได้รับคาร์บอนที่เวลาน้อย เพราะว่ายิ่งเผาใช้เวลานานขึ้นโอกาสที่คาร์บอนจะซึมผ่านเข้าไปในเนื้อคอนกรีตนั้นย่อมมีค่าที่มาก และเนื่องจากระยะเวลาในการเผามากขึ้นความร้อนจากการเผาจะทำให้น้ำในคอนกรีตยิ่งมีค่าน้อยลงเรื่อยๆ ทำให้เนื้อคอนกรีตเกิดความพรุนมากยิ่งขึ้น คาร์บอนจึงซึมผ่านเข้าไปได้เยอะและง่ายขึ้นอีกด้วย

ดังนั้นสามารถสรุปได้จากกราฟ ระยะเวลาที่ได้รับคาร์บอนและค่ากำลังอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตนั้นเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น โดยถ้าดูจากกราฟจะเห็นถึงแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาได้ว่า ที่ตัวอย่างค่ากำลังอัดประลัยต่ำยิ่งใช้ระยะเวลาในการทดสอบนานขึ้นแนวโน้มที่จะเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นก็มีมากกว่าตัวอย่างที่มีค่ากำลังอัดประลัยที่สูง โดยระยะเวลาที่ทำการทดสอบคือหลังจากที่ตัวอย่างผ่านการได้รับคาร์บอนเนื่องจากการเผาทดสอบแล้วทิ้งไว้อีกประมาณ 1-2 ชม. เนื่องจากในขั้นตอนการทดสอบตัวอย่างจะได้รับคาร์บอนโดยตรง ซึ่งมาจากการเผาจะถือว่าตัวอย่างมีการแทรกซึมของคาร์บอนเข้าไปแล้วและกรดจากคาร์บอนจะลดความเป็นด่างในเนื้อคอนกรีตลง ทันทีที่แทรกซึมเข้าไปจึงทำให้ส่วนที่ถูกแทรกซึมเข้าไปมีค่าความเป็นด่างลดลง ทำให้สารละลายฟีนอฟทาลีนไม่แสดงสีเมื่อฉีดลงที่พื้นผิวส่วนนี้

หมายเหตุ ปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ช้ามากตามธรรมชาติ โดยถ้าทิ้งตัวอย่างไว้ 1 ชั่วโมง 1 วัน หรือ 1 เดือนเพื่อให้ตัวอย่างได้รับคาร์บอนจากธรรมชาติ ค่าที่วัดได้แทบจะไม่แตกต่างกันเลยหลังจากทดสอบ ดังนั้นระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากการทดสอบจึงถือว่าไม่ส่งผลต่อผลที่ทดสอบได้

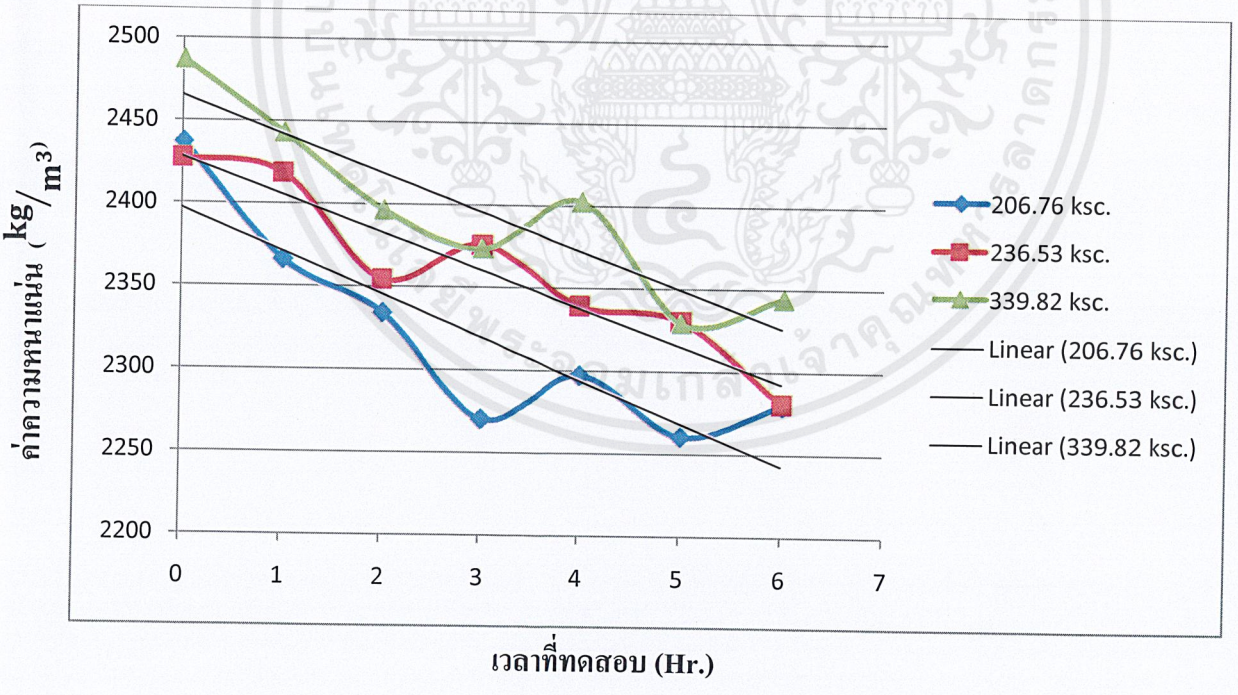
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น ($^{kg}/_{m^3}$) กับเวลาที่ทดสอบ (Hr.)

ตารางที่ 4.2.4 ค่าความหนาแน่น ($^{kg}/_{m^3}$)

ค่ากำลังอัดประลัย (ksc.)	ค่าความหนาแน่นก่อนการทดสอบ ($^{kg}/_{m^3}$)	เวลา (Hr.)					
		1	2	3	4	5	6
180	2436.51	2365.62	2333.64	2279.07	2296.64	2260.00	2269.72
240	2427.17	2418.32	2354.08	2375.45	2339.07	2330.09	2280.17
350	2486.23	2442.43	2395.89	2372.90	2401.87	2328.79	2343.55

กราฟที่ 4.2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น ($^{kg}/_{m^3}$) กับเวลาที่ทดสอบ (Hr.)



จากการทดสอบจะเห็นว่าระยะเวลาในการทดสอบนั้นส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตลดลงในทุกๆ ค่ากำลังอัดประลัย เพราะความร้อนจากการทดลองทำให้ตัวอย่างคอนกรีตสูญเสียความชื้นในเนื้อคอนกรีต และทำให้เนื้อคอนกรีตเกิดรูพรุนมากขึ้นด้วย จึงส่งผลทำให้น้ำหนักของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างคอนกรีตนั้นลดลง และเนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นนั้นทำให้ตัวอย่างคอนกรีตเกิดการหดตัว จึงทำให้ปริมาตรของตัวอย่างลดลง ดังนั้นค่าความหนาแน่นซึ่งขึ้นกับค่าน้ำหนักและปริมาตรของตัวอย่างคอนกรีตจึงลดลงตามไปด้วย โดยสามารถอธิบายในรูปของ % ได้ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2.5 แสดง % ของค่าความหนาแน่นที่ลดลงหลังจากผ่านการทดสอบ

ค่าความหนาแน่นก่อนการทดลอง ($^{kg}/_{m^3}$)	ค่าความหนาแน่นก่อนการทดลอง (%)	เวลา (Hr.)					
		1	2	3	4	5	6
2436.51	100%	2.73%	3.76%	4.58%	6.01%	6.83%	7.86%
2427.17	100%	0.71%	1.93%	2.77%	3.59%	4.42%	5.45%
2486.23	100%	1.66%	2.46%	3.47%	4.47%	5.48%	5.88%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สรุปปัญหา

1. เรื่องเตาที่ใช้ทดสอบ เนื่องจากที่ภาควิชาไม่มีเตาที่ใช้ทดสอบการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น โดยเตานั้นจะต้องสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆได้
2. เรื่องสถานที่ ซึ่งการทดลองนั้นสิ่งที่เกิดตามมาในระหว่างการทดลองคือ ความร้อน และ ควันที่เยอะมาก ดังนั้นสถานที่จึงเป็นเรื่องที่สำคัญ แต่ปัญหาคือการทำการทดลองในสถาบันซึ่งมีการเรียนการสอน และมีนักศึกษาเดินผ่านไปมาจำนวนมาก
3. เรื่องของการควบคุมปัจจัยต่างๆ เช่น ควันและอุณหภูมิ ในระหว่างการทดลอง
4. เรื่องอุณหภูมิระหว่างการทดลองที่ไม่สามารถวัดค่าได้
5. ความร้อนของตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบทำให้ไม่สามารถทดสอบได้ทันทีหลังจากเผา

4.4 การปรับปรุงและแก้ไขปัญหา

1. ในการสร้างเตาเผาทดลอง แก้ได้โดยการขอคำแนะนำและปรึกษากับอาจารย์ และออกสำรวจอุปกรณ์ในท้องตลาดว่าอุปกรณ์ไหนที่สามารถใช้ในการสร้างเตาทดสอบได้บ้าง
2. เรื่องสถานที่ แก้ปัญหาโดยขอคำแนะนำเรื่องสถานที่กับอาจารย์ และจัดหาอุปกรณ์ป้องกัน เช่น พื้นล่างรองด้วยสังกะสี เตรียมสายยางไว้ฉีดน้ำดับเพลิง เตรียมถังดับเพลิง
3. เรื่องการควบคุมปัจจัย แก้ไขได้โดยอ้างอิงการทดลองจากสถานการณ์จริง คือเมื่อเกิดเพลิงไหม้เราไม่สามารถทราบอุณหภูมิและปริมาณควันที่แน่นอนได้
4. อุณหภูมินั้นอ้างอิงมาจากค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาวัสดุ และค่าการสลายตัวของวัสดุเนื่องจากความร้อน โดยหาได้จากหนังสือวิศวกรรมวัสดุ
5. เนื่องจากความร้อนของตัวอย่างนั้นจะค่อยๆ เย็นตัวลงหลังจากเวลาผ่านไปประมาณ 1-2 ชั่วโมง ดังนั้นหลังจากเผาทดสอบจึงทิ้งตัวอย่างให้เย็นตัวในเวลาที่ใกล้เคียงกันในทุกๆ ครั้งที่ออกจากเตาทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ข้อเสนอแนะสำหรับโครงงานพิเศษ

คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษมีความเห็นว่า ถึงแม้ว่าคาร์บอนจะมีผลกระทบต่ออาคารหรือสิ่งปลูกสร้างที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งผลกระทบนั้นส่วนมากจะมาจากผลข้างเคียงจากการเกิดเพลิงไหม้ซึ่งทางผู้จัดทำได้เห็นว่าอาคารนั้นจะเสียหายเพราะความร้อนจากการเกิดเพลิงไหม้มากกว่าที่จะเสียหายเนื่องจากคาร์บอนที่ซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีต แต่อย่างไรก็ตามอาคารที่ได้รับผลกระทบจากคาร์บอเนชั่นทั้งในทางตรงและในทางอ้อมซึ่งถ้าปล่อยให้ได้รับผลกระทบไปเรื่อยๆเป็นเวลานานอาจจะทำให้เกิดความเสียหายจากปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นตามที่ได้ทำการทดสอบข้างต้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

-ร้านวงษ์พานิช, 2553, วัสดุที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ

-พิชิตค้าวัสดุก่อสร้าง, 2553, วัสดุที่ใช้ทำการทดสอบ

-อาคารปฏิบัติการภาควิศวกรรมโยธา,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, สถานที่และวัสดุอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- หนังสือ ความคงทนของคอนกรีต(Durability of concerte) คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุภายใต้คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

- RILEM Committee CPC-18. 1988. Measurement of hardened concrete carbonation depth. Materials and Structures, 21(126):453–455

- Qingtao Li, Zhuguo Li, Conventry University and The University of Wisconsin Milwaukee Center By-products Utilization

- การศึกษากำลังของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกเพลิงไหม้ the study on the strength of burned reinforced concrete ดนัย ธนามี, เทอดพงษ์ สมภักดี, สิริชัย มาลีพัตร.(2540)

- พฤติกรรมการรับกำลังตัดของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อนหลังถูกเพลิงไหม้ Bending behavior of pretensioned concrete slab after fire burning ประธาน ระวีวงศ์อโนมัย, สุริยนต์ เจริญเศรษฐกุล.(2536)

- วิเคราะห์กำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหลังถูกเพลิงไหม้ The analysis strength of burned reinforced concrete structure ทินกร แพทย์รักษ์, นันทวิทย์ พานิชพงษ์, อรรณพ อุชชิน.(2543)

- สำนักงานบริการส่งเสริมวิชาการสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

รูปแสดงการทดสอบการเกิดคาร์บอเนชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.1. ทำความสะอาดแบบหล่อ

รูปที่ ผก.2. เทคอนกรีตใส่แบบหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.3. ทิ้งคอนกรีตให้เซทตัว 1 วัน

รูปที่ ผก.4. ถอดแบบแล้วเตรียมบ่มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.5. บ่มตัวอย่างคอนกรีต 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.6. นำตัวอย่างคอนกรีตขึ้นจากบ่อบ่มแล้วทิ้งไว้ 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.7. ครอบหัวตัวอย่างคอนกรีตด้านที่ไม่เรียบ

รูปที่ ผก.8. หาปริมาตรและน้ำหนักของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.9. ทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.10. อ่านค่าจากเครื่องทดสอบกำลังอัดประลัย

รูปที่ ผก.11. สภาพของตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบกำลังอัดประลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.12. ทำเตาเผาทดสอบตามที่ได้ออกแบบไว้

รูปที่ ผก.13. ลักษณะของเตาเผาทดสอบเมื่อประกอบเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.14. จัดวางตัวอย่างลงบนตะแกรง

รูปที่ ผก.15. ปิดฝาเตาเผาทดสอบแล้วใส่เชื้อเพลิงด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.16. ขณะที่ทำการทดสอบการเผาให้เกิดคาร์บอน

รูปที่ ผก.17. หลังจากทดสอบเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.18. ลักษณะตัวอย่างหลังจากทดสอบ

รูปที่ ผก.19. นำตัวอย่างออกจากเตาเผาทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

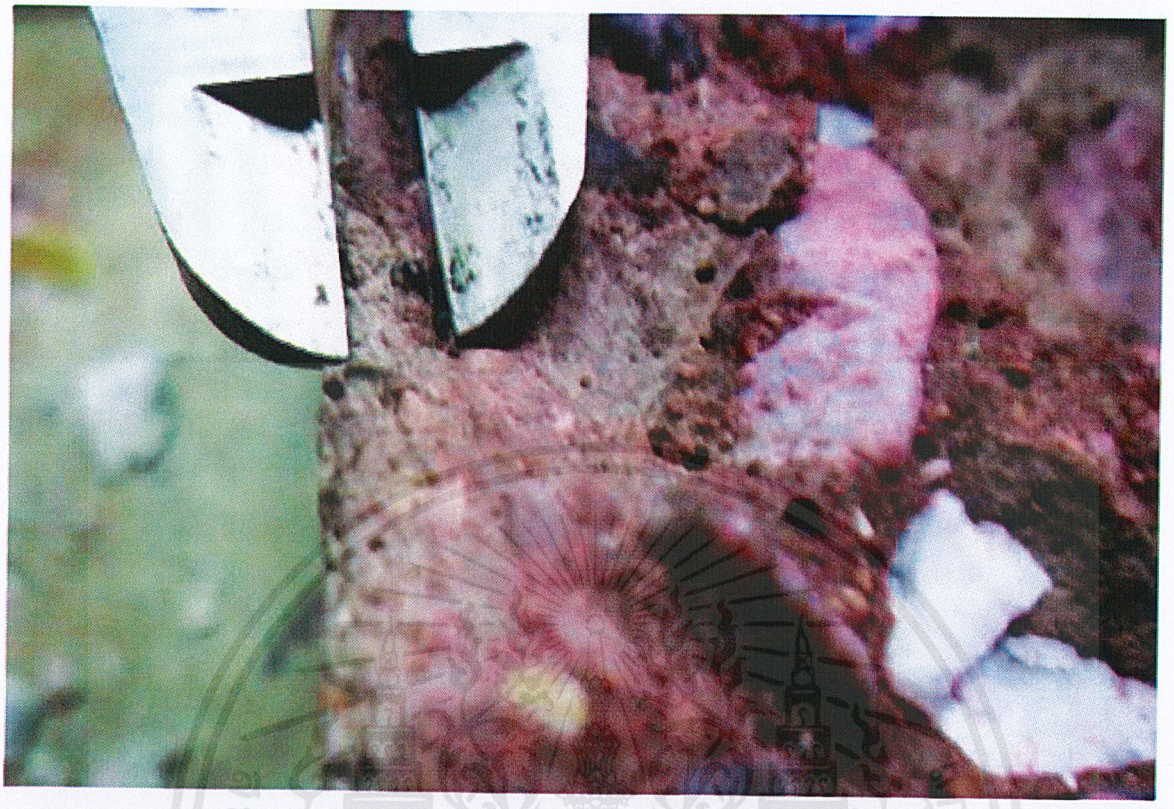
รูปที่ ผก.20. วัดปริมาตรและน้ำหนักของตัวอย่างหลังทดสอบ

รูปที่ ผก.21. ครอบหัวตัวอย่างหลังการทดสอบในด้านที่ไม่เรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.22. ทดสอบกำลังอัดประลัยของตัวอย่างหลังจากทดสอบ

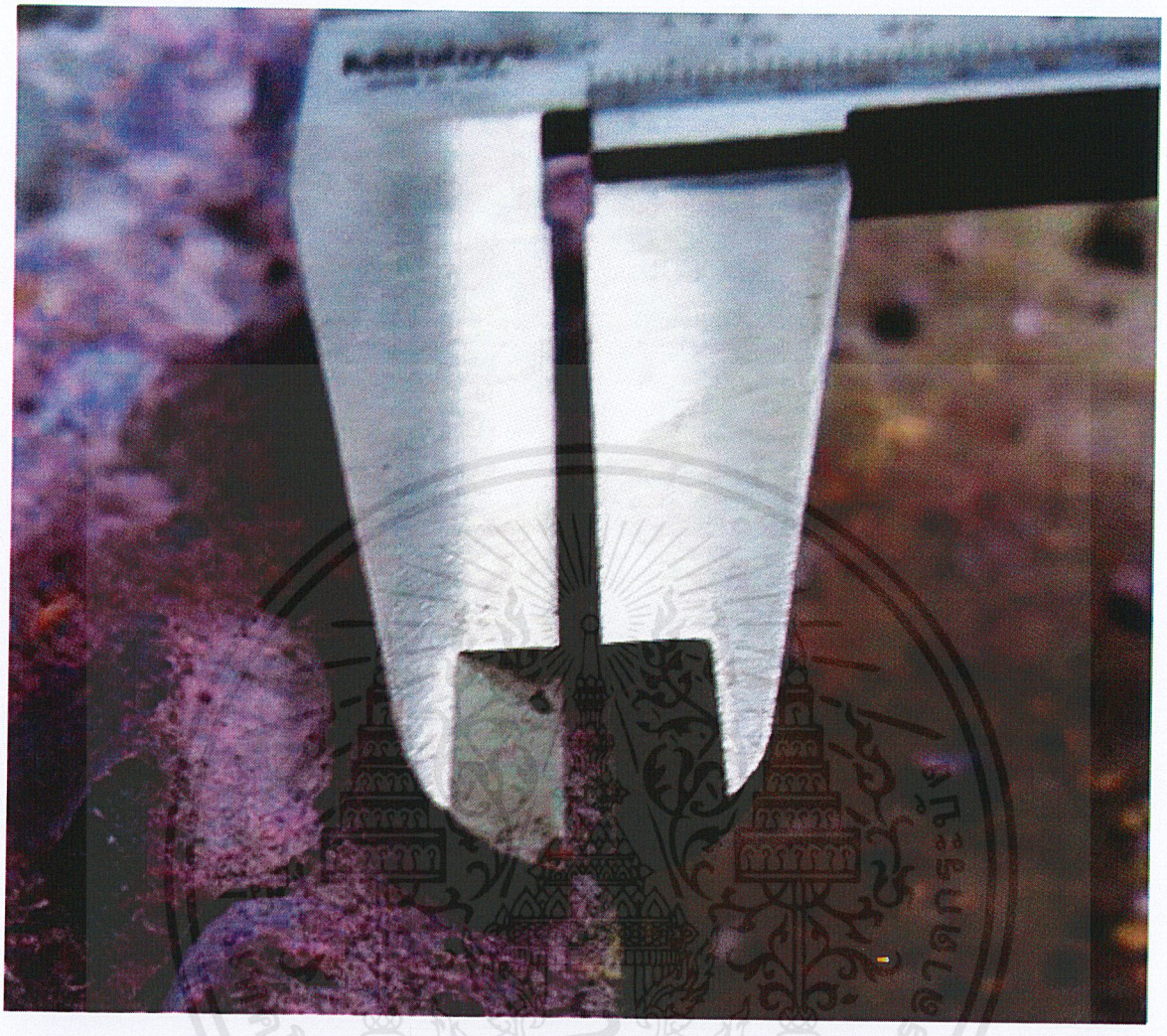
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผก.23. ลักษณะของตัวอย่างที่เกิดปฏิกิริยา รูปที่ 1

รูปที่ ผก.24. ลักษณะของตัวอย่างที่เกิดปฏิกิริยา รูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

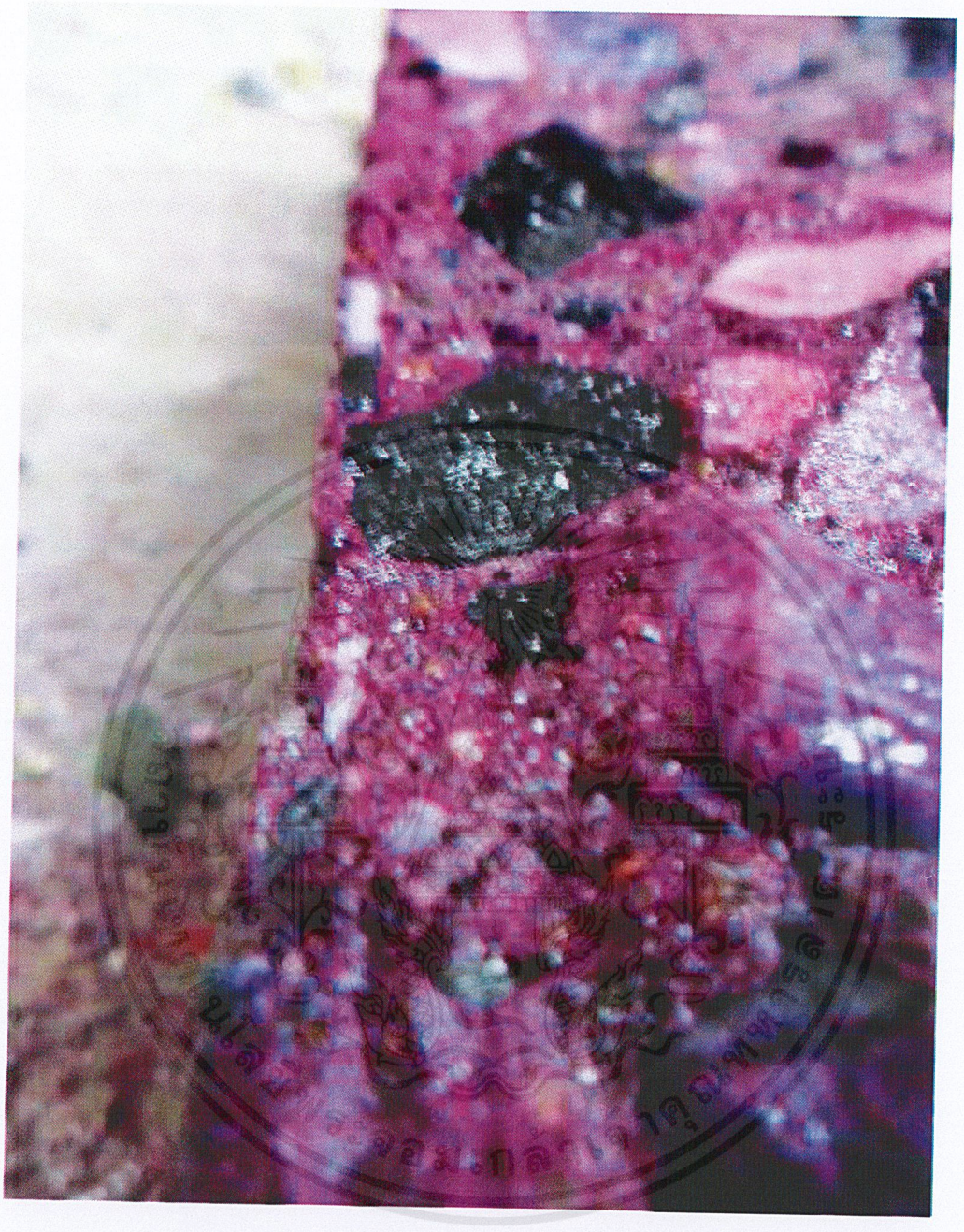


รูปที่ ผก.25. ลักษณะของตัวอย่างที่เกิดปฏิกิริยา รูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.26. ลักษณะของตัวอย่างที่ไม่เกิดปฏิกิริยา รูปที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผก.27. ลักษณะของตัวอย่างที่ไม่เกิดปฏิกิริยา รูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

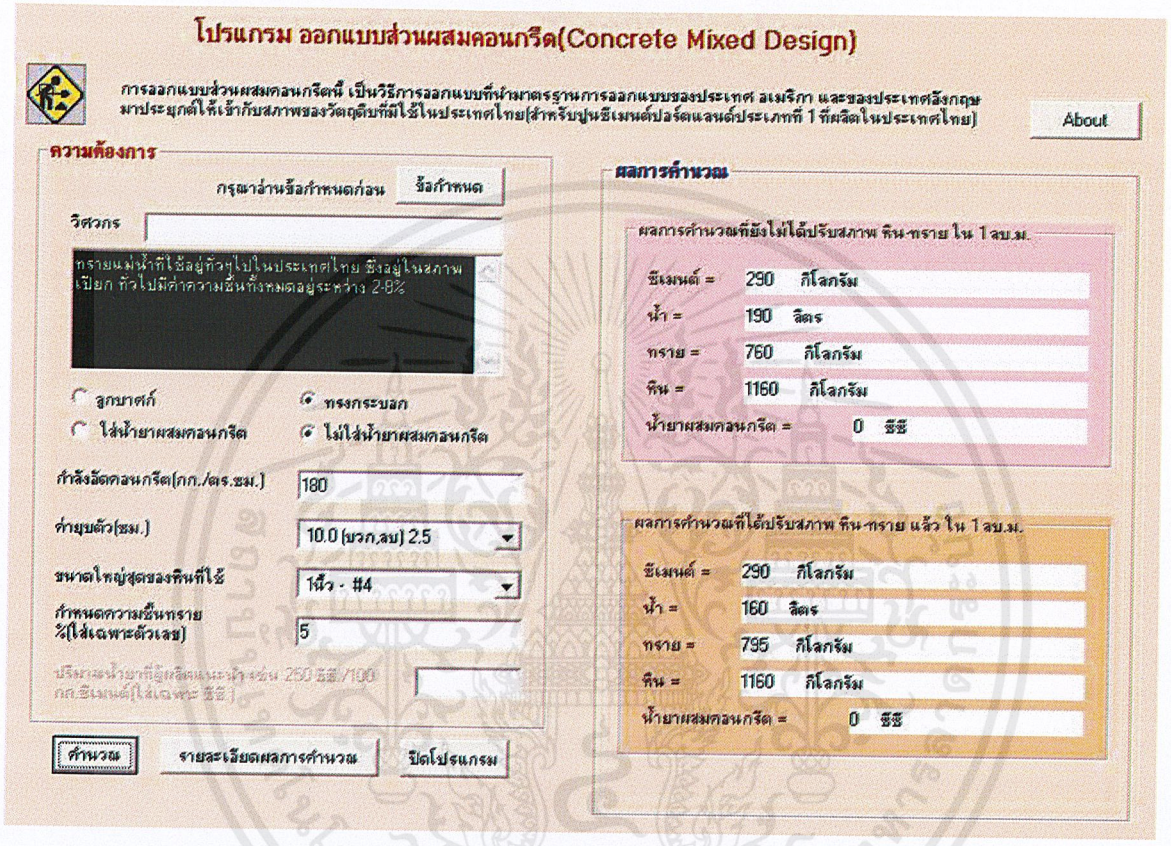
ภาคผนวก ข

รายการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบส่วนผสม (Mix Design)

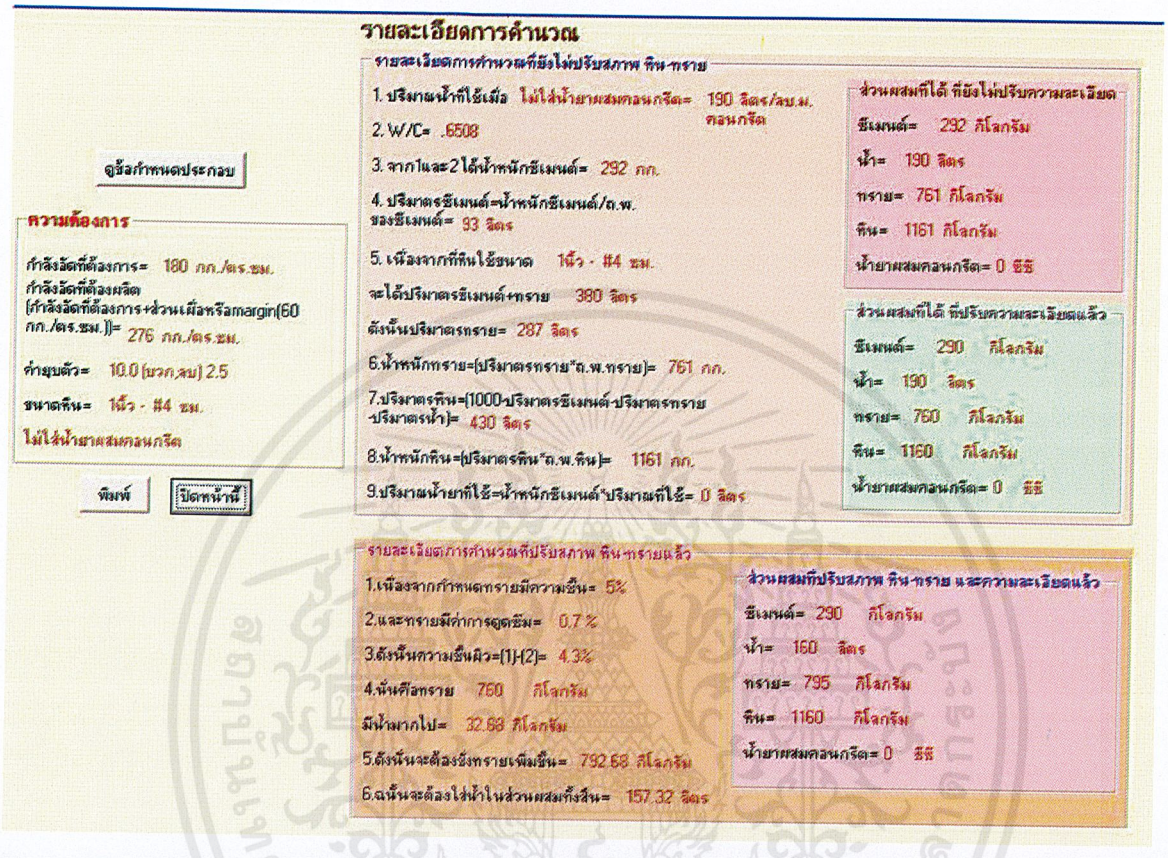
ตัวอย่างการคำนวณส่วนผสมคอนกรีตที่กำลังอัดประลัย 180 ksc. โดยใช้โปรแกรมของ Tum Civil



รูปที่ ผข. 1 โปรแกรมออกแบบส่วนผสม (Mix Design) หน้ากรอกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างรายการคำนวณหาส่วนผสมคอนกรีตที่กำลังอัดประลัย 180 ksc. โดยใช้โปรแกรมของ **Tum Civil**



รูปที่ ผข. 2 โปรแกรมออกแบบส่วนผสม (Mix Design) หน้าข้อมูลการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณปริมาตรได้จากสูตร

$$V=\pi r^2.H$$

โดยที่ V คือ ปริมาตรมีหน่วยเป็น m^3

r คือ รัศมีของหน้าตัดตัวอย่างทรงกระบอกมีหน่วยเป็น m.

H คือ ความสูงของตัวอย่างมีหน่วยเป็น m.

คำนวณหาความหนาแน่นได้จากสูตร

$$\rho = \frac{m}{V}$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นมีหน่วยเป็น $(^{kg}/_{m^3})$

M คือ มวลของตัวอย่างมีหน่วยเป็น kg.

V คือ ปริมาตรของตัวอย่างมีหน่วยเป็น m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ

และมาตรฐานการทดสอบของ Rilem TC14-CPC 1988

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิที่ได้จากวัสดุที่ใช้ทดสอบ*

วัสดุที่ใช้ทดสอบซึ่งมีค่าความร้อนดังต่อไปนี้

1. ขวดพลาสติกขุ่น ทำมาจาก PE ซึ่งมีค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองอยู่ประมาณ 250 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิจุดสลายตัวประมาณ 350 - 400 องศาเซลเซียส
2. ยางในรถจักรยานยนต์ จะมีค่าความร้อนที่ทำให้สลายตัวจะอยู่ประมาณ 170 - 200 องศาเซลเซียส
3. ไม้ที่ใช้ในการทดลองโดยทั่วไปเมื่อติดไฟจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ 300 องศาเซลเซียส
4. ถ่านหุงต้มเมื่อติดไฟเต็มที่จะให้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 300 – 400 องศาเซลเซียส

ซึ่งค่าความร้อนดังกล่าวเป็นค่าความร้อนที่ได้จากหนังสือวิชาวิศวกรรมวัสดุ จากภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่มีการทดสอบมาแล้ว โดยในขั้นตอนการทดลองไม่ได้วัดค่าความร้อนที่ได้จริงจากการทดลอง แต่สามารถอ้างอิงได้จากค่านี้ เนื่องจากขณะทดสอบวัสดุมีรูปแบบการติดไฟและการสลายตัวตามแบบที่หนังสือกล่าว จึงสามรถประมาณค่าความร้อนได้ตามหนังสือที่ยกมา

* ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CPC18 Measurement of hardened concrete carbonation depth

การตรวจวัดระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่นในแท่งคอนกรีต

เนื้อหา

1. จุดประสงค์และขอบเขตการศึกษา
2. คำนิยาม
3. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ
4. วิธีการทดสอบ
    4.1 ประเภทของตัวอย่าง, การผสม, การบ่ม และการเก็บ
    4.2 การทดสอบ
    4.3 ผลการทดสอบ และการรายงานผลการทดสอบ
5. การทดสอบในโครงสร้าง
    5.1 ตัวอย่างที่ใช้
    5.2 การทดสอบ
    5.3 ผลการทดสอบ และการรายงานผลการทดสอบ

1. จุดประสงค์และขอบเขตการศึกษา

วิธีการทดสอบประกอบด้วยการวัดความลึกของชั้นที่เกิดคาร์บอเนชั่น โดยวัดบนผิวของคอนกรีต วิธีการนี้เป็นวิธีที่นิยม การทดสอบทำได้โดยใช้ตัวอย่างคอนกรีตจากการทำในห้องปฏิบัติการ หรือตัวอย่างคอนกรีตที่นำมาจากตัวโครงสร้างองค์อาคาร หรือตัวอย่างที่เคยใช้ในการทดสอบโครงสร้างมาใช้ในการทดสอบนี้ การทดสอบในคอนกรีตที่ทำในห้องปฏิบัติการมักใช้เพื่อทดสอบหาอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นภายใต้สภาวะร่วม หรือสภาวะควบคุม ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว จะมีความหลากหลายของปัจจัยที่จะทำให้เกิดคาร์บอเนชั่นมาก อาจเนื่องจากปัจจัยควบคุมต่างๆ ดังนั้นการทดสอบที่สถานที่ก่อสร้างโดยตรงอาจไม่เหมาะมากนักที่จะใช้เปรียบเทียบกับคอนกรีตประเภทต่างๆ ในที่นี้จะขออ้างถึงในส่วนของวิธีการทดสอบเท่านั้น

การทดสอบด้วยคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างจริงๆ ผลที่ได้จากการทดสอบอาจมีความแม่นยำถูกต้องน้อยกว่าการทดสอบโดยใช้คอนกรีตที่ทำมาจากห้องปฏิบัติการ เว้นแต่ว่าการทดสอบนั้นมีสภาพที่ไม่ตรงกับที่ได้ระบุเอาไว้ จะแนะนำให้ทดสอบโดยใช้คอนกรีตที่ทำจากห้องปฏิบัติการ แล้วนำมาแปรผลให้สอดคล้องอีกครั้ง

ในคอนกรีตทั่วไปจะมี alkaline pore solution ซึ่งเป็นสารละลายความเข้มข้นสูงที่มีส่วนช่วยในการป้องกันการผุกร่อนของคอนกรีตเสริมเหล็ก หากมีการเกิดคาร์บอเนชั่น คุณสมบัติส่วนนี้ก็จะหายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดการกร่อนของโครงสร้างขึ้นได้ โดยภายใต้สภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะทำให้เกิดอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นสูงสุด แต่ไม่ได้หมายความว่าจะเร่งการกัดกร่อนของเหล็กไปด้วย การเกิดคาร์บอเนชั่นอาจส่งผลต่อคุณสมบัติอื่นๆ ของคอนกรีตอย่างเช่น ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต การยอมให้ผ่านของสาร และความต้านทานต่อสภาวะทางกายภาพและเคมี เช่น การหดตัว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจเกิดขึ้นได้จากการเกิดคาร์บอเนชั่น

2. คำนิยาม

คาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถแพร่กระจายเข้าไปในพื้นผิวของคอนกรีต จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่เป็นด่าง (alkaline component) ในซีเมนต์เพลส ซึ่งหลักๆ ก็คือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) กระบวนการคาร์บอเนชั่นจะทำให้เกิดการลดลงของค่า pH ในส่วนของสารละลายในรูพรุน ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่า 9 ความลึกของการเกิดปฏิกิริยานี้จะเรียกว่า ความลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่น (depth of carbonation, d_k)

การลดลงของค่า pH นี้เอง สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีใน indicator เมื่อ indicator ที่ใช้วัด มีความเหมาะสม

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

สารละลายที่ใช้เป็น indicator สำหรับวัดระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่น คือ สารละลาย 1% phenolphthalein ใน 70% ethanol โดยฟีนอฟทาลีน จะเปลี่ยนสีเป็นสีม่วงในส่วนของคอนกรีตที่ไม่เกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น และจะไม่เกิดสีหากเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น

4. วิธีการทดสอบ

4.1 ประเภทของตัวอย่าง, การผสม, การบ่ม และการเก็บตัวอย่าง

การทดสอบใช้แท่งคอนกรีตตัดขวางขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร แบ่งเป็นส่วนละ 50 มิลลิเมตร โดยประมาณแบ่งไปทดสอบในแต่ละวัน, สำหรับลูกปูน ใช้แท่งขนาด 40 มิลลิเมตร x 40 มิลลิเมตรx 160 มิลลิเมตรแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนละ 20 มิลลิเมตร แบ่งไว้ใช้เพื่อทดสอบในแต่ละวัน หากไม่มีคอนกรีตขนาดดังกล่าว สามารถใช้คอนกรีตที่มีด้านที่สั้นที่สุดที่ไม่น้อยกว่าสามเท่าของผลรวมความยาวในทุกด้าน

ในระหว่างการเตรียมตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบ มีความจำเป็นที่จะต้องหลีกเลี่ยงผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ที่อาจเกิดขึ้นได้บนผิวคอนกรีต ตัวอย่างเช่น การใช้ stripping agent ในการทำตัวอย่างจะยึดวิธีการทำและบ่มตัวอย่าง (ตามแนวทางของ RILEM Recommendation CPC-3) การเลือกชนิดของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บ่มคอนกรีต (ระยะเวลาของการบ่มด้วยน้ำ, ช่วงที่ทำให้แห้งโดยการปล่อยให้สัมผัสกับอากาศ, การเร่งให้คอนกรีตแข็งตัว เป็นต้น) ต้องนำมาคิดพิจารณาในระหว่างการทดสอบด้วย

สภาวะอื่นๆในการเก็บ (ความชื้นสัมพัทธ์, ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น) ควรนำมาคิดเพื่อหาความแม่นยำของข้อมูล ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบอาจจะเป็นภายในหรือภายนอกตัวอาคารก็ได้ หากเก็บที่ภายในตัวอาคารควรจะมีค่า ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จะมีค่าประมาณ 0.03% ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 65% หากเก็บที่ภายนอกตัวอาคาร ควรจะมีวัสดุที่คลุมตัวอย่างเอาไว้ เพื่อป้องกันฝน หรืออาจไม่ต้องมีก็ได้ อากาศภายนอกจะสัมผัสกับคอนกรีตได้โดยตรงตลอดเวลา และก็เป็นเหตุผลที่ควรเว้นระยะว่างของตัวอย่างรอบๆ แต่ละตัวอย่างอย่างน้อย 20 มิลลิเมตร

4.2 การทดสอบ

จำนวนวันที่ใช้ในการทดสอบที่แนะนำคือ 28 วัน, 90 วัน, 180 วัน: 1, 2, 4, (8, 16 ...) ปี ไปเรื่อยๆ หลังการสัมผัสกับคาร์บอนไดออกไซด์ครั้งแรก ยิ่งทดสอบในช่วงระยะเวลาที่นานขึ้น ควรจะมีการลดลงของอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่น (เช่น ในตัวอย่างที่เก็บภายนอกอาคาร โดยที่ไม่มีวัสดุมาคลุมปิดไว้) ในกรณีที่ต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษ จำเป็นที่จะต้องเพิ่มระยะเวลาการศึกษาที่นานเพิ่มขึ้น

ในส่วนของการวัดระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่นในตัวอย่างที่ทำมาจากห้องปฏิบัติการ ชิ้นส่วนที่มีการแตกหักจากการทดลองในแต่ละครั้ง ต้องมีความหนามากพอที่จะไม่ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์แพร่ผ่านเข้าไปได้อีก ซึ่งอาจทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้ การวัดระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่น ควรทำบนชิ้นส่วนที่เพิ่งมีการแตกหักใหม่หลังจากการทดสอบ ไม่แนะนำให้ใช้เลื่อยเพื่อแบ่งตัวอย่าง เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสม

เริ่มจากการทำความสะอาดในส่วนของพื้นผิว ปัดฝุ่นผงหรืออนุภาคอื่นๆภายหลังที่มีการแตกหัก แล้วก็สเปรย์สารละลายลงไป หากไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย สามารถสเปรย์สารละลายซ้ำลงไปได้อีกหลังจากสารละลายในครั้งแรกแห้งลงแล้ว พยายามหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดช่องการไหลของสารบนพื้นผิวของตัวอย่าง ถ้าหากต้องการให้ผลการทดลองยังคงอยู่ อาจใช้ resin สเปรย์เคลือบหลังจากสารละลายที่ใช้ทดสอบแห้งแล้วก็ได้

การวัดระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่นโดยศึกษาจากผลของเวลาต่อระยะการเกิด โดยการใช้สารละลายอินดิเคเตอร์เป็นตัวบ่งชี้ในการเกิด ควรทำในช่วงเวลาเดียวกัน แนะนำให้วัดที่เวลาหลังจาก 24 ชั่วโมงหลังจากการสเปรย์สารละลาย ซึ่งเป็นเวลาที่ขอบระหว่างส่วนที่เกิดคาร์บอเนชั่นและไม่เกิดคาร์บอเนชั่นจะเกิดขึ้นได้ชัดเจนกว่าช่วงก่อนหน้านี้ ความแม่นยำของข้อมูลควรจะใกล้เคียง 0.5 มิลลิเมตร และระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่นแตกต่างกันไม่ควรน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

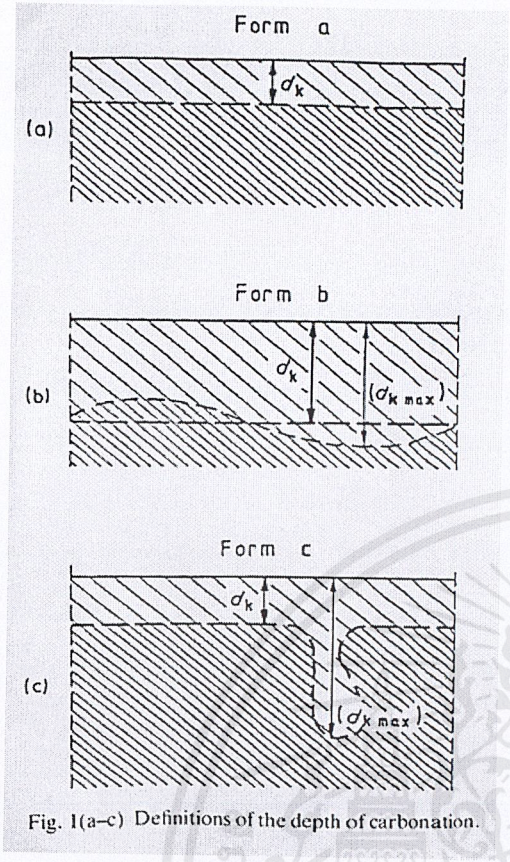


Fig. 1(a–c) Definitions of the depth of carbonation.

เมื่อเกิดคาร์บอเนชั่น ปฏิกิริยาจะเกิดเป็นเส้นตรงขนานกับผิวของคอนกรีต ระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่น, d_k จะเกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 1a

เมื่อคาร์บอเนชั่นเกิดขึ้นในลักษณะในรูปที่ 1b ค่าเฉลี่ยของ d_k และค่าสูงสุดของระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่น $d_{k\,max}$ ควรมีการบันทึกค่าเอาไว้ ถ้าการเกิดคาร์บอเนชั่นดำเนินไปขนานกับผิวของคอนกรีตที่แยกออกจากกันระหว่างบริเวณการเกิดคาร์บอเนชั่น ดังรูปที่ 1c จะทำให้ค่าสูงสุดของระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่นมีค่าเท่ากับค่าปกติ d_k ซึ่งในกรณีนี้ไม่ต้องคำนวณหาค่าเฉลี่ย

ไม่ต้องไปสนใจระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่นที่สูงขึ้นที่บริเวณมุมต่างๆของคอนกรีต ซึ่งจะเป็นที่ที่คาร์บอนไดออกไซด์สามารถแพร่ผ่านได้ทั้งสองทาง

ในกรณีที่คอนกรีตมีการเกาะกลุ่มอย่างหนาแน่น ควรวัดค่าการเกิดคาร์บอเนชั่นเฉพาะใน cement paste เท่านั้น

4.3 ผลการทดสอบ และการรายงานผลการทดสอบ

ค่าเฉลี่ยของระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่นจะถูกรายงานเป็นของแต่ละตัวอย่าง โดยจะบันทึกค่าที่เกิดในทุกด้านของตัวอย่าง

ถ้าระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่นอยู่ลอยจากพื้นผิวและมีค่าในช่วงที่กว้าง ควรจะพิจารณาเป็นด้านๆของตัวอย่างคอนกรีต บริเวณที่มีการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ สีจะจางลงใน 24 ชั่วโมง หลังจากที่สามารถบ่งบอกได้ว่ามีการเกิดคาร์บอเนชั่น

การรายงานผล ควรบันทึก

(a) ข้อมูลทั่วไป

(i) การผสมคอนกรีต

(ii) การบ่มคอนกรีต (ประเภทของการบ่ม, ระยะเวลาในการบ่ม)

(iii) สภาวะต่างๆ (ความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิ, ความเร็วลม, สภาวะทั่วไปของที่เก็บตัวอย่าง, ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(b) ข้อมูลการทดสอบ

(i) อายุของคอนกรีต

(ii) รูปแบบและขนาดของพื้นที่ผิวคอนกรีตที่ใช้ทดสอบ

(iii) เครื่องมือที่ใช้วัดผล

(iv) ช่วงของเวลาที่ใช้ระหว่างการสเปรย์สารละลายอินดิเคเตอร์และการอ่านค่าวัดผล

(v) ค่าเฉลี่ยของระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่น d_k ที่ใกล้เคียง 0.5 มิลลิเมตรที่สุดในรายละเอียดที่ดำเนินไปตามรูป 1a, 1b และ 1c

(vi) ความสัมพันธ์ระหว่างระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่นและพื้นผิวของคอนกรีต

(vii) ความแม่นยำของข้อมูล และ/หรือ ความทนทานของการทดลอง

5. การทดสอบในโครงสร้าง

5.1 ตัวอย่างที่ใช้

การคำนวณระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่นสามารถหาได้โดยการใช้การกดแท่งคอนกรีตให้แตกหักออกมา เส้นผ่านศูนย์ของคอนกรีตที่ใช้ทดสอบควรมีอย่างน้อย 50 มิลลิเมตร โดยสามารถประมาณเอาค่าหยาบๆได้ เช่น ในบางโครงสร้างที่มีการเสริมเหล็ก อาจใช้สิ่วสกัดออกมา แล้วนำไปวัดค่าได้โดยตรง

5.2 การทดสอบ

การคำนวณหาค่าระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่นจากตัวอย่างที่ได้มาจากการกดแท่งคอนกรีตใช้วิธีการในข้อ 4.2 ถ้ามีการเก็บตัวอย่างเอาไว้นานโดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงเงื่อนไขใดๆได้ ควรเก็บตัวอย่างในสภาวะที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ จนกระทั่งสามารถนำออกมาวิเคราะห์ได้

การวัดระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่นบนพื้นผิว ทำได้โดยแบ่งตัวอย่างที่มุมขวาจากพื้นผิวของชิ้นส่วนโครงสร้าง การวัดที่ส่วนนอกสุดของตัวอย่างจะทำให้ค่าที่ได้มีความเที่ยงตรงที่น้อยกว่าการวัดจากส่วนด้านใน

5.3 ผลการทดสอบ และการรายงานผลการทดสอบ

ระยะลึกของการเกิดคาร์บอเนชั่นควรจะรายงานในค่าหน่วยของมิลลิเมตร ค่าที่ได้จากการทดสอบ ที่ควรรายงานผลประกอบด้วยข้อมูลข้างต้นในส่วนที่ 4.3 และข้อมูลดังต่อไปนี้

(i) การหาเอกลักษณ์ของโครงสร้าง

(ii) บริเวณของโครงสร้าง หรือส่วนที่มีการสัมผัสกับคาร์บอนไดออกไซด์ของอาคาร (ทั้งในแนวระนาบและแนวตั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(iii) วันที่เก็บตัวอย่างและทำการทดสอบ

(iv) การประเมินทั่วไปของคอนกรีต (โครงสร้างของคอนกรีต, การเกาะกลุ่มของคอนกรีต, รูพรุน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้