

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



246618

การประเมินสมรรถนะของการประสานรบบรั้วด้วยวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์

นายไอลสาร เหลืองเทพรากรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ฉบับที่หนึ่งของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๖ 00251348

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



246618

การประเมินสมรรถนะของการประสานรอยร้าวด้วยวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์



นาย โอฟาร์ เหลืองเพชรภรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 1 7 0 5 4 7 0 2 1

EVALUATION OF CRACK SEALING PERFORMANCE
OF CEMENTITIOUS REPAIR MATERIALS

Mr. Oran Luangpetcharaporn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินสมรรถนะของการประสานรอยร้าวด้วยวัสดุซ่อม
ประสานซีเมนต์

โดย

นาย ไอฟาร เหลืองเพชรภรณ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร. รักติพงษ์ สหมิตรมงคล

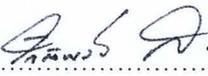
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

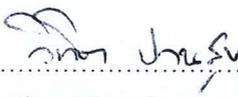

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศศิริวงษ์)

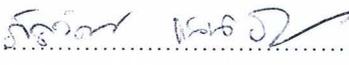
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พูลศักดิ์ เพียรสุขสม)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร. รักติพงษ์ สหมิตรมงคล)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. วิทิต ปานสุข)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ปักวัฒน์ แสนเจริญ)

ไอฟาร์ เหลืองเพชรภรณ์ : การประเมินสมรรถนะของการประสานรอยร้าวด้วยวัสดุซ่อม
 ประสานซีเมนต์. (EVALUATION OF CRACK SEALING PERFORMANCE OF
 CEMENTITIOUS REPAIR MATERIALS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร.
 บุญไชย สถิตมั่นในธรรม, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ดร. รักติพงษ์ สหมิตรมงคล, 83
 หน้า.

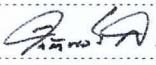
246618

ปัจจุบันการซ่อมแซมรอยร้าวเป็นส่วนสำคัญในงานบำรุงรักษาโครงสร้างคอนกรีต วัสดุ
 ซ่อมจำนวนมากที่วางจำหน่ายในท้องตลาดได้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการซ่อมแซมรอย
 ร้าว ท่ามกลางวัสดุซ่อมมานานาชนิด วัสดุซ่อมที่มีซีเมนต์เป็นส่วนประกอบหรือวัสดุซ่อมประสาน
 ซีเมนต์ (CRMs) เป็นวัสดุซ่อมที่มีความเข้ากันได้กับคอนกรีตเป็นอย่างดีและมีการใช้งานอย่าง
 แพร่หลาย งานวิจัยนี้ได้นำปูนทรายซ่อมประสานซีเมนต์สามชนิดที่ใช้งานด้วยการเคลือบผิว มา
 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการซ่อมแซมรอยร้าวโดยใช้การทดสอบกำลังยึดเกาะ การ
 ทดสอบการรั่วซึมของน้ำผ่านรอยร้าว การทดสอบระยะคาร์บอนเนชั่นในสภาวะเร่ง และการทดสอบ
 การแทรกซึมของคลอไรด์เป็นเกณฑ์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า กำลังยึดเกาะระหว่างวัสดุซ่อม
 ประสานซีเมนต์กับคอนกรีตเดิมมีความสัมพันธ์กับกำลังอัดของวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์
 นอกจากนี้การซ่อมแซมรอยร้าวด้วยวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์สามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำผ่าน
 รอยร้าวคอนกรีตได้ ในส่วนของความต้านทานคาร์บอนเนชั่นและความต้านทานคลอไรด์ พบว่า
 คอนกรีตที่มีรอยร้าวมีความต้านทานลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีรอยร้าว โดยความต้านทาน
 คาร์บอนเนชั่น ณ ตำแหน่งรอยร้าวมีความสัมพันธ์กับความกว้างรอยร้าวที่ผิวคอนกรีต อย่างไรก็ตาม
 การซ่อมแซมด้วยวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์สามารถลดการเกิดคาร์บอนเนชั่นและการแทรกซึม
 ของคลอไรด์ลงได้ ซึ่งเป็นผลมาจากพฤติกรรมร่วมระหว่างวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์และคอนกรีตที่
 มีรอยร้าว และวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์ต่างชนิดกันมีประสิทธิภาพในการซ่อมแซมรอยร้าวที่
 แตกต่างกัน

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา.....

สาขาวิชา..... วิศวกรรมโยธา.....

ปีการศึกษา..... 2553.....

ลายมือชื่อ..... ลายมือชื่อ..... ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ลายมือชื่อ..... ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม 

5170547021 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS : CEMENTITIOUS REPAIR MATERIAL / CONCRETE REPAIR / CRACK / DURABILITY / REPAIRING PERFORMANCE

ORAN LUANGPETCHARAPORN : EVALUATION OF CRACK SEALING PERFORMANCE OF CEMENTITIOUS REPAIR MATERIALS. ADVISOR : ASSOC. PROF. BOONCHAI STITMANNATHUM, Ph.D., CO-ADVISOR : RAKTIPONG SAHAMITRMONGKOL, Ph.D., 83 pp.

246618

Nowadays crack repairing has become an important activity in the maintenance of concrete structure. The significance of crack repairing is clearly indicated by a large number of repair materials in markets. Among various types of repair materials, cementitious repair materials (CRMs) are the one with compatibility to the concrete substrate and have been used widely. This study was conducted to evaluate the crack repairing performance of three cementitious repair mortars by surface coating method. The performance of crack repairing was evaluated through adhesive strength test, water leakage test, accelerated carbonation test, and chloride penetration test. Test results show that adhesive strength between CRMs and concrete substrate relates to compressive strength of CRMs. Crack repairing with CRMs also prevent water leakage through concrete crack. Carbonation resistance and chloride resistance of cracked concrete drastically decrease compared to non-crack concrete. The width of crack at concrete surface has a relationship with carbonation depth at position of crack in most cases. However crack repairing with CRMs can provide carbonation resistance and chloride penetration resistance because of combined behavior from both CRM and cracked section. And test data shows that each CRM has different performance on crack repairing

Department :Civil Engineering.....
Field of Study :Civil Engineering.....
Academic Year :2010.....

Student's Signature
Advisor's Signature
Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์.ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร. รักติพงษ์ สหมิตรมงคล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
ที่ได้อุทิศกำลังกาย กำลังใจ ตลอดจนสละเวลาอันมีค่ามาให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็น
ประโยชน์ ทั้งยังเสนอแนวทางแก้ไขเมื่อพบปัญหาข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย
กราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบด้วย รองศาสตราจารย์.ดร. พูลศักดิ์
เพียรสุขสม อาจารย์ ดร. วิฑิต ปานสุข และอาจารย์ ดร. ภัควัฒน์ แสนเจริญ ที่ให้คำแนะนำและ
ข้อเสนอแนะต่างๆ ด้วยดีเสมอมา และขอแสดงความขอบคุณบริษัท ซายน์เป็ค มาร์เก็ตติ้ง เซอร์วิส
(ประเทศไทย) จำกัด บริษัท บีเอสเอสเอฟ (ไทย) จำกัด บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด
และบริษัท ไออาร์ซี พรีเมียร์ จำกัด มา ณ โอกาสนี้ ที่ให้การสนับสนุนด้วยดีมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ ความดีและประโยชน์ทั้งหลายอันพึงได้จากการวิจัย ขอมอบให้บิดา
มารดา อาจารย์ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่คอยสนับสนุนและช่วยเหลือมาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 แนวทางดำเนินการวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 วัสดุซ่อมประสานซีเมนต์.....	6
2.2 การจำแนกรอยร้าว.....	15
2.3 การซ่อมแซมรอยร้าวด้วยการเคลือบผิว.....	17
2.4 การยึดเกาะระหว่างวัสดุซ่อมและคอนกรีตเดิม.....	20
2.5 การรั่วซึมของน้ำผ่านรอยร้าวคอนกรีต.....	21
2.6 คาร์บอนเนชั่น.....	27
2.7 การแทรกซึมของคลอไรด์.....	30
บทที่ 3 วัสดุในงานวิจัย.....	33
3.1 คอนกรีต.....	33
3.2 วัสดุซ่อมประสานซีเมนต์.....	39

	หน้า
บทที่ 4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	42
4.1 การยืดเกาะ.....	42
4.2 การรั่วซึม.....	45
4.3 ความต้านทานคาร์บอนเนชั่น.....	49
4.4 ความต้านทานคลอไรด์.....	53
บทที่ 5 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล.....	55
5.1 การยืดเกาะ.....	55
5.2 การรั่วซึม.....	60
5.3 ความต้านทานคาร์บอนเนชั่น.....	65
5.4 ความต้านทานคลอไรด์.....	75
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย.....	79
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	79
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	80
รายการอ้างอิง.....	81
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	83

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ค่าซื้อวัสดุก่อสร้างและอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างในปี 2551 จำแนกตามขนาดของสถานประกอบการ (จำนวนคนทำงาน) ทั่วราชอาณาจักร พ.ศ. 2552.....	2
2.1	ชนิดของวัสดุซ่อม.....	6
2.2	คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุซ่อมในปี ค.ศ. 1987.....	7
2.3	คุณสมบัติของคอนกรีตกับเหล็ก.....	7
2.4	คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุซ่อมในปี ค.ศ. 1993.....	8
2.5	กำลังยึดเหนี่ยวของวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์.....	14
2.6	วิธีการซ่อมแซมตามคุณสมบัติจำเพาะที่ต้องการ.....	17
2.7	การเตรียมผิวสำหรับงานเคลือบ.....	18
2.8	อัตราการไหลของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ ผ่านรอยร้าว เทียบกับอัตราการไหลของน้ำที่ 20 องศาเซลเซียส ผ่านรอยร้าวกว้าง 0.08 มม.....	25
3.1	สัดส่วนผสมคอนกรีตในการวิจัย (กก./ลบ.ม.ของคอนกรีต).....	33
3.2	กำลังอัดและความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตในการวิจัย.....	34
3.3	ส่วนประกอบของเถ้าลอยในการวิจัย.....	35
3.4	คุณสมบัติของเถ้าลอยในการวิจัย.....	36
4.1	ตัวอย่างสำหรับการทดสอบการยึดเกาะ.....	43
4.2	ตัวอย่างสำหรับการทดสอบการรั่วซึมของน้ำผ่านรอยร้าวคอนกรีต.....	47
4.3	ตัวอย่างสำหรับการทดสอบความต้านทานคาร์บอนชั้น.....	51
4.4	ตัวอย่างสำหรับการทดสอบความต้านทานคลอไรด์ในแต่ละสัดส่วนผสม.....	53
5.1	ผลการทดสอบการรั่วซึมของน้ำ.....	62
6.1	สรุปประสิทธิภาพในการซ่อมแซมรอยร้าวด้วยวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์.....	79

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	จำนวนและพื้นที่อาคารโรงเรียนที่ได้รับอนุญาตก่อสร้างใหม่ ปี 2542 – 2549...	1
2.1	การพัฒนากำลังอัดของวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์.....	10
2.2	ความพรุนของวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์ที่อายุต่างๆ.....	11
2.3	การซึมผ่านของออกซิเจนของวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์ที่อายุต่างๆ.....	12
2.4	การซึมผ่านของน้ำของวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์ที่อายุต่างๆ.....	13
2.5	ระยะช่องเปิดของรอยร้าวกับสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ.....	15
2.6	ระยะช่องเปิดของรอยร้าวกับประจุคลอไรด์ที่ผ่านขึ้นตัวอย่าง.....	16
2.7	การทดสอบกำลังยึดเกาะตามมาตรฐาน ASTM C1583.....	20
2.8	ลักษณะการวิบัติในการทดสอบกำลังยึดเกาะตามมาตรฐาน ASTM C1583.....	21
2.9	ลักษณะการทดสอบการไหลของน้ำผ่านรอยร้าวของ Edvardsen.....	22
2.10	ผลทดสอบการไหลของน้ำผ่านรอยร้าวคอนกรีตของ Edvardsen.....	23
2.11	อุปกรณ์ทดสอบการซึมผ่านของ H. W. Reinhardt และ M. Joose.....	23
2.12	การเสริมเหล็กลักษณะต่างๆ สำหรับการสร้างรอยร้าวบนตัวอย่างคอนกรีตของ H. W. Reinhardt และ M. Joose.....	24
2.13	ความกว้างรอยร้าวและสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ.....	24
2.14	ความกว้างรอยร้าวกับแรงดันสูงสุดที่ไม่เกิดการซึมผ่าน.....	26
2.15	ระยะคาร์บอนชั้นในเมืองแบบมีที่กำบัง (Sheltered) กับในสภาวะเร่ง.....	28
2.16	ระยะคาร์บอนชั้นในเมืองแบบไม่มีที่กำบัง (Non-sheltered) กับในสภาวะเร่ง...	28
2.17	ระยะคาร์บอนชั้นในบริเวณชนบท (Rural) กับในสภาวะเร่ง.....	29
2.18	ระยะคาร์บอนชั้นในบริเวณริมทะเล (Seaside) กับในสภาวะเร่ง.....	29
2.19	การเกิดสนิมเนื่องจากคลอไรด์.....	31
2.20	การวัดระยะแทรกซึมของคลอไรด์.....	31
3.1	การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตในการวิจัย.....	34
3.2	การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีตในการวิจัย.....	34
3.3	เก้าอี้ที่ใช้ในการวิจัย.....	37
3.4	การกระจายตัวของขนาดเก้าอี้ในการวิจัย.....	37
3.5	ขนาดคละของมวลรวมละเอียดในการวิจัย.....	38

ภาพที่	หน้า
3.6	ขนาดคละของมวลรวมหยาบในการวิจัย..... 38
3.7	วัสดุซ่อมประสานซีเมนต์ ก..... 39
3.8	วัสดุซ่อมประสานซีเมนต์ ข..... 40
3.9	วัสดุซ่อมประสานซีเมนต์ ค..... 40
3.10	การทดสอบกำลังอัดของวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์ในการวิจัย..... 41
3.11	การพัฒนากำลังอัดของวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์ในการวิจัย..... 41
4.1	เครื่องมือทดสอบกำลังยึดเกาะแบบพกพา..... 42
4.2	การทดสอบกำลังยึดเกาะตามมาตรฐาน ASTM C1583..... 44
4.3	การทดสอบกำลังยึดเกาะดัดแปลงจากมาตรฐาน ASTM C1583 ในการวิจัย.... 44
4.4	การตั้งค่าเริ่มต้นเครื่องทดสอบกำลังยึดเกาะ..... 44
4.5	ตัวอย่างทดสอบการรั่วซึม..... 45
4.6	การสร้างรอยร้าวบนตัวอย่างทดสอบการรั่วซึมด้วยวิธีผ่าแยก..... 46
4.7	กล่องไมโครสโคป..... 46
4.8	รอยร้าวบนตัวอย่างบริเวณที่ติดตั้งท่อน้ำ..... 46
4.9	ตัวอย่างทดสอบการรั่วซึมของน้ำที่ผ่านการซ่อมแซมด้วยวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์ ก..... 47
4.10	การติดตั้งท่อน้ำเข้ากับชิ้นตัวอย่างด้วยอีพอกซี..... 47
4.11	การทดสอบการรั่วซึมของน้ำผ่านรอยร้าวคอนกรีต..... 48
4.12	การสร้างรอยร้าวบนตัวอย่างด้วยวิธีผ่าแยก..... 49
4.13	ตัวอย่างที่มีรอยร้าวในการทดสอบความต้านทานคาร์บอนเนชั่น..... 49
4.14	การทำความสะอาดผิวที่ไม่ทดสอบ..... 50
4.15	การทาอะคริลิกป้องกันการรั่วซึมปิดผิวที่ไม่ต้องการทดสอบ..... 50
4.16	แบบจำลองการเกิดคาร์บอนเนชั่นในตัวอย่างที่ทาอะคริลิกปิดด้านที่ไม่ทดสอบ... 51
4.17	ตู้ทดสอบคาร์บอนเนชั่นที่สภาวะเร่ง..... 52
4.18	การเปลี่ยนสีของฟีนอล์ฟทาซีนบริเวณที่เกิดคาร์บอนเนชั่น..... 52
4.19	ถังเก็บตัวอย่างภายใต้สภาวะคลอไรด์ไอออนเข้มข้น 3%..... 54
4.20	กำลังยึดเกาะของวัสดุซ่อมประสานแต่ละชนิดกับกับคอนกรีตสัดส่วนผสมต่างๆ 54
4.21	ปริมาณน้ำที่รั่วซึมผ่านรอยร้าว ณ เวลาต่างๆ..... 54

ภาพที่	หน้า
5.1	การวิบัติของวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์ที่เคลือบผิวคอนกรีตเมื่อทดสอบกำลังยึดเกาะ..... 55
5.2	การวิบัติของคอนกรีตเมื่อทดสอบกำลังยึดเกาะตามมาตรฐาน ASTM C1583... 55
5.3	การพัฒนากำลังยึดเกาะของวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์..... 56
5.4	กำลังยึดเกาะของวัสดุซ่อมประสานแต่ละชนิดกับคอนกรีตสัดส่วนผสมต่างๆ.... 58
5.5	ปริมาณน้ำที่รั่วซึมผ่านรอยร้าว ณ เวลาต่างๆ..... 61
5.6	อัตราการรั่วซึมของน้ำในตัวอย่างที่มีรอยร้าวกับความกว้างรอยร้าวเฉลี่ย..... 61
5.7	การซึมผ่านของน้ำตามแนวร้าวหลังการซ่อมแซมด้วยวัสดุซ่อม ก..... 63
5.8	การซึมผ่านของน้ำตามแนวร้าวหลังการซ่อมแซมด้วยวัสดุซ่อม ข..... 64
5.9	การซึมผ่านของน้ำตามแนวร้าวหลังการซ่อมแซมด้วยวัสดุซ่อม ค..... 64
5.10	การเกิดคาร์บอนเนชั่นในคอนกรีตที่ไม่มีรอยร้าวและคอนกรีตที่มีรอยร้าว..... 65
5.11	การเกิดคาร์บอนเนชั่นในคอนกรีตสภาพต่างๆ ภายใต้สภาวะคาร์บอนเนชั่น 28 วัน
5.12	ระยะคาร์บอนเนชั่นของตัวอย่างลักษณะต่างๆ..... 66
5.13	ระยะคาร์บอนเนชั่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของตัวอย่างที่มีความกว้างรอยร้าว 1.0 ± 0.1 มม. ภายใต้สภาวะเร่ง 28 วัน..... 68
5.14	ระยะคาร์บอนเนชั่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของตัวอย่างที่มีความกว้างรอยร้าว 1.0 ± 0.1 มม. ภายใต้สภาวะเร่ง 84 วัน..... 69
5.15	ความลึกของชั้นตัวอย่างกับระยะคาร์บอนเนชั่นแนวตั้งฉากกับทิศทางที่เกิดคาร์บอนเนชั่นโดยปกติของตัวอย่างลักษณะต่างๆ ที่ความกว้างรอยร้าวที่ผิวคอนกรีต 1.0 ± 0.1 มม..... 69
5.16	การเกิดคาร์บอนเนชั่น ณ ตำแหน่งเหล็กเสริม..... 70
5.17	ระยะคาร์บอนเนชั่น ณ ตำแหน่งรอยร้าว ภายใต้สภาวะคาร์บอนเนชั่น 28 วัน กับความกว้างของรอยร้าวที่ผิวคอนกรีต..... 70
5.18	การแบ่งพื้นที่ที่เกิดคาร์บอนเนชั่นเพื่อวัดพื้นที่..... 71
5.19	ช่องสี่เหลี่ยมคางหมูแต่ละช่องของการแบ่งพื้นที่ที่เกิดคาร์บอนเนชั่น..... 72
5.20	พื้นที่ที่เกิดคาร์บอนเนชั่นตัวอย่างคอนกรีตปกติในสภาวะเร่งคาร์บอนเนชั่นที่ 28 วัน..... 73

ภาพที่		หน้า
5.21	พื้นที่ที่เกิดคาร์บอนเนชั่นตัวอย่างคอนกรีตปกติในสภาวะเร่งคาร์บอนเนชั่นที่ 84 วัน.....	73
5.22	การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ไม่มีรอยร้าวและคอนกรีตที่มีรอยร้าว.....	75
5.23	การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่แช่สารละลายคลอไรด์ 14 วัน.....	75
5.24	ระยะแทรกซึมของคลอไรด์ ณ ตำแหน่งรอยร้าวกับความกว้างของรอยร้าวที่ผิว คอนกรีตสัดส่วนผสมต่างๆ.....	76