



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประเมินความเสียหายและการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง
คอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากคาร์บอนเนชั่น : กรณีศึกษา

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในเขตชุมชน จังหวัดนครปฐม

EVALUATION OF DAMAGES AND DETERIORATIONS OF
RC STRUCTURES DUE TO CARBONATION: CASE STUDY
OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN
COMMUNITY AREA NAKHON PATHOM PROVINCE

คณะผู้วิจัย

อาจารย์บุญญติ วารินทร์ไพล

ผศ.ดร.ปิติศานต์ กร้ามาตร

หัวหน้าโครงการวิจัย

ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

ได้รับสนับสนุนงบประมาณแผ่นดิน

จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

งบประมาณ 2558 ปี พ.ศ.ที่วิจัยสำเร็จ 2558

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมที่ได้มอบทุนอุดหนุนการวิจัยสาขาวิศวกรรมศาสตร์จากงบประมาณแผ่นดินปี 2558 ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จตามวัตถุประสงค์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิตินันต์ กร้ามาตร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงการวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อันจะทำให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จนกระทั่งงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องสมุดมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการสืบค้นข้อมูล และขอขอบคุณ คุณนพพร พิสุทธิมาน ผู้อำนวยการทางการงานนครปฐม หน่วยงานทางการทางจังหวัดนครปฐมที่ได้อนุเคราะห์ตัวอย่างสะพานลอยเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ คุณประพนธ์ เฟื่องฟู ผู้อำนวยการกองช่างองค์การบริหารส่วนตำบลสระกะเทียม ตลอดจนผู้ร่วมงานในการทำวิจัยครั้งนี้ทุกท่าน

ปัญญาติ วารินทร์ไพล

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการตรวจสอบพฤติกรรมการเกิดคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างสะพานลอยคอนกรีตเสริมเหล็กในเขตชุมชนจังหวัดนครปฐม โดยทำการตรวจสอบพินิจ ทดสอบแบบไม่ทำลาย ประเมินค่ากำลังอัด วัดระยะหุ้มเหล็กเสริม เจาะเก็บชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบระยะคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างสะพานลอยทั้งหมด 15 สะพานลอย นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ตามหลักสถิติหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสี่ยงการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากความลึกคาร์บอนเนชั่นกับอายุของโครงสร้างซึ่งมีการแปรผันตามอายุของโครงสร้าง ตลอดจนการเปรียบเทียบมาตรฐานการออกแบบความคงทนสำหรับโครงสร้างที่เผชิญคาร์บอนเนชั่นกับการเกิดคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างที่ก่อสร้างจริงในสภาวะต่างๆกัน ผลการศึกษาสามารถอธิบายได้ดังนี้ การตรวจสอบพินิจของโครงสร้างสะพานลอย ปัญหาที่พบบ่อยที่สุด คือการแตกร้าวของโครงสร้าง และการเกิดสนิมบางส่วนซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจน ส่วนกำลังอัดและระยะหุ้มเหล็กเสริมของโครงสร้างสะพานลอยมีค่าเฉลี่ยเกินค่าที่ได้ออกแบบไว้ ในส่วนการเกิดระยะคาร์บอนเนชั่น พบว่าอัตราการพัฒนาระยะคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างสะพานลอยที่มีตำแหน่งที่ตั้งในเขตอำเภอเมืองนครปฐมสูงกว่าเขตปริมณฑลอื่น และโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีระยะเวลาการใช้งานนาน มีระยะคาร์บอนเนชั่นและสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชั่นสูงกว่าโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน การประเมินความเสี่ยงการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอนเนชั่นที่อายุต่างๆกันพบว่า ความเสี่ยงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างสะพานลอยที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมืองนครปฐมมีแนวโน้มสูงกว่าโครงสร้างสะพานลอยที่มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในเขตปริมณฑลอื่นที่อายุและวัสดุใกล้เคียงกัน สุดท้ายสามารถประเมินความเสี่ยงของการเกิดสนิมในเหล็กเสริมเนื่องจาก คาร์บอนเนชั่นที่อายุต่างกันได้จากความสัมพันธ์ของระยะคาร์บอนเนชั่น ระยะหุ้มเหล็กเสริมและอายุของโครงสร้าง

คำสำคัญ : ระยะคาร์บอนเนชั่น, สะพานลอย, ความเสี่ยง, เกิดสนิม, ระยะหุ้มเหล็กเสริม, ค้อนกระแทก

ABSTRACT

This study is an investigation on the carbonation of pedestrian bridge structures in community area Nakhonpathom province by visual inspection. Nondestructive testing methods, compressive strength, cover thickness and carbonation depth of pedestrian bridge structures in 15 projects were measured and analyzed according to statistical method to find the relationship between the risk of corrosion caused by carbonation and the age of each structure. This study also compared the design standards for structural durability and carbonated concrete structures which were constructed in various conditions. The results indicated the different damages. For pedestrian bridge structures, the most common problem is the cracking of the structure and corrosion in some parts of the structure. The compressive strength and cover thickness of pedestrian bridge structures were larger than the design specification. For carbonation depth, it was found that the rate of carbonation of pedestrian bridge structures in community area Nakhonpathom province was higher than that of the pedestrian bridge structures in the suburb area. Reinforced concrete structures with the longer service time had higher carbonation depth and carbonation coefficient than the RC structures in the same environment. For risk of carbonation induced corrosion, it was found that with equivalent age and materials, the risk of carbonation induced corrosion of pedestrian bridge structures in community area Nakhonpathom province was higher than that of the pedestrian bridge structures in the suburb area. Finally, the risk of carbonation induced corrosion of each pedestrian bridge structures at different ages was estimated.

KEYWORDS: Carbonation depth, Pedestrian Bridge, Risk, Corrosion, Cover thickness, Schmidt Hammer

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 แนวทางที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ปัญหาความคงทนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	4
2.2 การเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากคาร์บอนเนชั่น	5
2.3 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตสำหรับแต่ละปัญหาความคงทน	9
2.4 การทดสอบแบบไม่ทำลาย	11
2.5 การวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ	12
2.6 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	18
3.1 ศึกษาสถานที่ตั้ง	18
3.2 การตรวจพินิจความเสียหายของโครงสร้างสะพานลอย	21
3.3 การทดสอบแบบไม่ทำลาย	23
3.4 การวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม	23
3.5 การทดสอบคาร์บอนเนชั่น	23
3.6 วิเคราะห์ผลการศึกษา	24
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	25
4.1 การสำรวจเก็บข้อมูลความเสียหายและการเสื่อมสภาพของโครงสร้างสะพานลอย ที่อยู่ในพื้นที่ที่แตกต่างกัน	25
4.2 สรุปสภาพความเสียหายที่พบ	34
4.3 การประเมินกำลังอัดของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Schmidt Hammer)	35
4.4 การวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก	42
4.5 ปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม	57
4.6 ระยะคาร์บอนเนชั่น	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 การประเมินความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็ก	63
4.8 เปรียบเทียบระยะคาร์บอนชั้นจากโครงสร้างจริงและการออกแบบ	70
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	75
5.1 สรุปผลการวิจัย	75
5.2 ข้อเสนอแนะ	76
บรรณานุกรม	77
ภาคผนวก	80

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเกิดคาร์บอนชั้นของคอนกรีตที่อยู่ภายนอกอาคาร	7
2.2 สัมประสิทธิ์ระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนชั้น	9
3.1 รายชื่อตัวอย่างโครงสร้างอาคารที่ดำเนินการตรวจสอบ	19
4.1 สาเหตุและลักษณะความเสียหายที่พบในโครงสร้างสะพานลอยคอนกรีตเสริมเหล็ก	28
4.2 กำลังอัดเฉลี่ยที่ได้จากความสัมพันธ์ Japan Society of Civil Engineers (JSCE)	36
4.3 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเฉลี่ย	42
4.4 ปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ของ สิ่งแวดล้อม	59
4.5 ผลระยะคาร์บอนชั้นเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์คาร์บอนชั้น	61
4.6 ร้อยละความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น ณ เวลาที่ทำการทดสอบ (พ.ศ.2558) ที่อายุการใช้งาน 50 และ 100 ปี	70
4.7 สัมประสิทธิ์ระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนชั้น	71
4.8 ระยะคาร์บอนชั้นที่ได้จากการออกแบบและโครงสร้างจริง	72

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนขึ้นในคอนกรีต	6
2.2 ภาพจำลองแสดงสภาวะของความชื้นของโพรงในคอนกรีต	6
2.3 การแบ่งระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนขึ้น	10
2.4 ค่าสัมประสิทธิ์แสดงผลของการแทนที่เถ้าลอยในวัสดุประสาน	10
3.1 แผนภาพการตรวจสอบการเสื่อมสภาพสะพานลอยคอนกรีตเสริมเหล็ก	18
3.2 แผนที่แสดงตำแหน่งของสะพานลอยในเขตชุมชนจังหวัดนครปฐมที่ใช้ศึกษา	20
3.3 สภาพแวดล้อมที่เสี่ยงต่อการเกิดคาร์บอนขึ้น	20
3.4 แบบฟอร์มบันทึกการสำรวจความเสียหายของโครงสร้างสะพานลอย	22
3.5 การทดสอบแบบไม่ทำลาย	23
3.6 การทดสอบและวัดระยะคาร์บอนขึ้น	24
4.1 ส่วนประกอบสะพานลอย	27
4.2 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากสะพานลอยในพื้นที่อำเภอกำแพงแสน	38
4.3 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากสะพานลอยในพื้นที่อำเภอเมือง	40
4.4 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากสะพานลอยในพื้นที่อำเภอนครชัยศรี	41
4.5 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโครงการก.ม.24+166 (โลตัสกำแพงแสน)	43
4.6 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโครงการก.ม.23+325 (ร.ร.กำแพงแสนวิทยา)	44
4.7 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโครงการก.ม.19+235 (หนองปลาไหล)	45
4.8 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโครงการก.ม.17+835 (ทุ่งเศรษฐี)	46
4.9 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโครงการก.ม.15+760 (ลาดหญ้าไทร)	47
4.10 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโครงการก.ม.5+650 (กิโล 5)	48
4.11 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโครงการก.ม.66+780 (ร.ร.พัฒนบริหารธุรกิจ)	49
4.12 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโครงการก.ม.64+075 (หนองดินแดง)	50
4.13 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโครงการก.ม.63+230 (ศาลยาวชน)	51
4.14 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโครงการก.ม.61+585 (บ้านหนองหิน)	52
4.15 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโครงการก.ม.59+785 (วัดลาดปลาเค้า)	53
4.16 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโครงการก.ม.50+174 (วัดธรรมศาลา)	54
4.17 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโครงการก.ม.47+485 (วัดเสถียร)	55
4.18 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโครงการก.ม.45+648 (วัดศิระทอง)	56
4.19 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโครงการก.ม.42+960 (วัดท่าตำหนัก)	57
4.20 กราฟแสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี	58
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะคาร์บอนขึ้นและอายุของโครงสร้างสะพานลอยจังหวัดนครปฐม	62
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นกับกำลังอัดของโครงสร้างสะพานลอย	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.23 แผนภาพแสดงกลไกความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นตามหลัก ความน่าจะเป็นทางสถิติ	64
4.24 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของสะพานลอยที่มีตำแหน่งที่ตั้งในเขต อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม	68
4.25 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของสะพานลอยที่มีตำแหน่งที่ตั้งในเขต อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม	68
4.26 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของสะพานลอยที่มีตำแหน่งที่ตั้งในเขต อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม	69
4.27 การแบ่งระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนชั้น	71
4.28 ค่าสัมประสิทธิ์แสดงผลของการแทนที่เกลือในวัสดุประสาน	72
4.29 ระยะเวลาคาร์บอนชั้นที่ได้จากโครงสร้างจริง เทียบกับระยะเวลาคาร์บอนชั้นตามมาตรฐานการ ออกแบบความคงทนสำหรับโครงสร้างที่เผชิญคาร์บอนชั้น	74