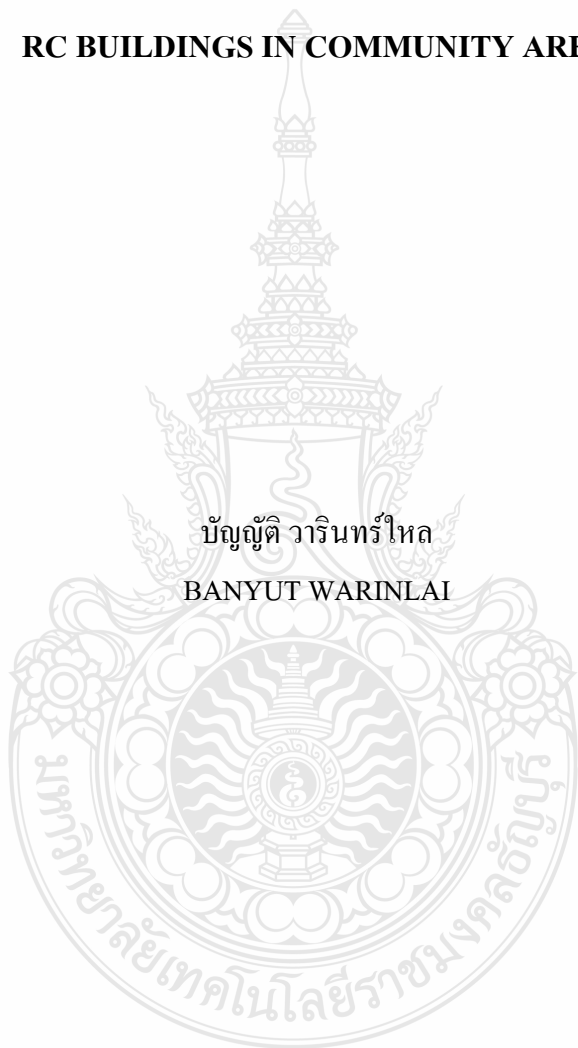


การประเมินความเสียหายและการเสื่อมสภาพของอาคารที่พักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็กใน
เขตชุมชน

**EVALUATION OF DAMAGES AND DETERIORATIONS OF RESIDENTIAL
RC BUILDINGS IN COMMUNITY AREA**

บัญญัติ วารินทร์ไศล
BANYUT WARINLAI



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พ.ศ.2554

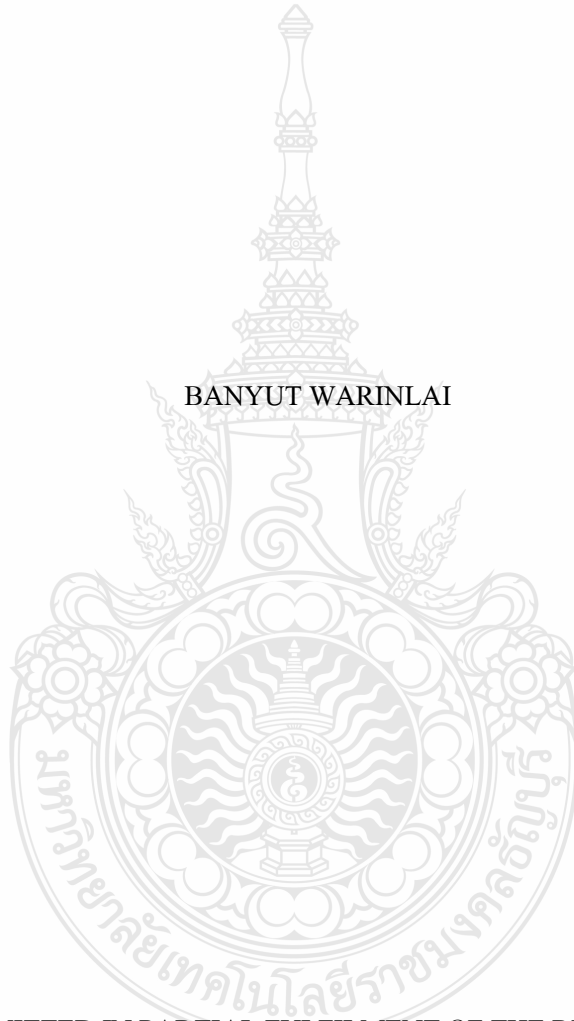
การประเมินความเสียหายและการเสื่อมสภาพของอาคารที่พักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็กใน
เขตชุมชน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พ.ศ.2554

**EVALUATION OF DAMAGES AND DETERIORATIONS OF RESIDENTIAL
RC BUILDINGS IN COMMUNITY AREA**

BANYUT WARINLAI



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2011



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินความเสียหายและการเสื่อมสภาพของอาคารที่พักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็กในเขตชุมชน
EVALUATION OF DAMAGES AND DETERIORATIONS OF RESIDENTIAL RC BUILDINGS IN COMMUNITY AREA

ชื่อนักศึกษา

นายบัญญัติ วารินทร์ไพล

รหัสประจำตัว

115270410114-4

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติสานต์ กร้ามาตร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร.รักติพงษ์ สหมิตรมงคล

วัน เดือน ปี ที่สอบ

3 มีนาคม 2554

สถานที่สอบ

ห้อง E404 ชั้น 4 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ดร.มาโนช รุจิภากร)

.....กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล)

.....กรรมการ

(ดร.จตุพล ตั้งปกาศิต)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติสานต์ กร้ามาตร)

.....กรรมการ

(ดร.รักติพงษ์ สหมิตรมงคล)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ผิวสอาด)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ใน
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัย
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆ
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อ
ของข้าพเจ้า

นายบัญญัติ วารินทร์ไหล



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความเสียหายและการเสื่อมสภาพของอาคารที่ พักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็กในเขตชุมชน
นักศึกษา	นายบัญญัติ วารินทร์ไพล
รหัสประจำตัว	115270410114-4
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา แขนงวิศวกรรมโครงสร้าง
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ปิติศานต์ กร้ามาตร ดร.รศดิพงษ์ สหมิตรมงคล

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการประเมินความเสียหายและการเสื่อมสภาพของอาคารที่พักอาศัยประเภทอาคาร โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในเขตชุมชน โดยทำการตรวจสอบพินิจ ทดสอบและประเมินค่ากำลังอัด วัฏระยะหุ้มเหล็ก วัฏระยะความหนาปูนฉาบในกรณีที่มีชั้นปูนฉาบ เจาะเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบระยะคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างอาคารตัวอย่างในโครงการที่พักอาศัยทั้งหมด 9 โครงการ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ตามหลักสถิติหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสี่ยงการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากความลึกคาร์บอนเนชั่นกับอายุของโครงสร้างซึ่งมีการแปรผันตามอายุของโครงสร้าง ตลอดจนการเปรียบเทียบมาตรฐานการออกแบบความคงทนสำหรับโครงสร้างที่เผชิญคาร์บอนเนชั่นกับการเกิดคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างที่ก่อสร้างจริงในสภาวะต่างๆกัน ผลการศึกษาสามารถอธิบายได้ดังนี้

การตรวจสอบพินิจของโครงสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบขึ้นชั้นสำเร็จ ปัญหาที่พบมากที่สุดคือปัญหาการรั่วซึมของน้ำที่บริเวณรอยต่อของโครงสร้าง นอกจากนี้ยังพบปัญหาเล็กน้อยเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาของไฟรต์ ในขณะที่โครงสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบหล่อในที่ ปัญหาที่พบมากที่สุดคือการแตกร้าวของโครงสร้าง การหลุดร่อนของชั้นปูนฉาบ และการเกิดสนิมในบางส่วนของโครงสร้างซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนคือในโครงการเคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 1 และ 2 ในขณะที่ปัญหาการรั่วซึมของน้ำในโครงสร้างนั้นจะมีอยู่บ้างแต่ระดับความรุนแรงจะน้อยกว่าปัญหาการรั่วซึมของน้ำที่พบในกรณีของอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบขึ้นชั้นสำเร็จ

การประเมินกำลังอัดของคอนกรีตด้วยก้อนกระแทกพบว่ากำลังอัดเฉลี่ยของโครงสร้างขึ้นชั้นสำเร็จมีค่ามากกว่าโครงสร้างหล่อในที่

การวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กพบว่าค่าระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเฉลี่ยของทุกโครงการ มีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่าระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กที่กำหนดไว้ในมาตรฐานงานคอนกรีตของการเคหะแห่งชาติ

จากผลการทดสอบข้างต้นทำให้ทราบถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างภายนอก ซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาวิเคราะห์ถึงสาเหตุภายในที่ลึกลงไป เพื่อให้ทราบถึงปัญหาความเสียหายที่ชัดเจนยิ่งขึ้น นั่นก็คือการวิเคราะห์ถึงสาเหตุภายในตัวคอนกรีตที่อาจเกิดผลกระทบเนื่องจากความคงทนได้ โดยเน้นไปที่ความคงทนเกี่ยวกับคาร์บอนชั้นเป็นหลัก เนื่องจากสภาพโครงสร้างอาคารที่ตรวจสอบมีความเสี่ยงต่อการเกิดคาร์บอนชั้นค่อนข้างสูง

ผลการตรวจสอบระยะคาร์บอนชั้นแสดงให้เห็นว่าอัตราการเกิดระยะคาร์บอนชั้น (สัมประสิทธิ์คาร์บอนชั้น, k) ของโครงสร้างอาคารที่มีตำแหน่งที่ตั้งติดกับทางด่วนสูงกว่าที่ไม่ติดกับทางด่วน ในขณะที่ตำแหน่งที่ตั้งของโครงสร้างอาคารในเขตกรุงเทพมหานครมีอัตราการเกิดคาร์บอนชั้นสูงกว่าในเขตปริมณฑล ส่วนในกรณีโครงสร้างอาคารชั้นสำเร็จนั้นมีแนวโน้มว่าอัตราการเกิดคาร์บอนชั้น (สัมประสิทธิ์คาร์บอนชั้น, k) ซ้ำกว่าโครงสร้างอาคารหล่อในที่เมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมที่คล้ายคลึงกัน

การประเมินความเสี่ยงการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอนชั้นที่อายุต่างกันพบว่าโครงสร้างที่มีตำแหน่งที่ตั้งในเขตกรุงเทพมหานคร มีค่าความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นสูงกว่าโครงการที่ตั้งอยู่ในเขตปริมณฑลที่อายุและวัสดุใกล้เคียงกัน

สุดท้ายสามารถเปรียบเทียบมาตรฐานการออกแบบความคงทนสำหรับโครงสร้างที่เผชิญคาร์บอนชั้นกับการเกิดคาร์บอนชั้นของโครงสร้างที่ก่อสร้างจริงในสภาวะต่าง ๆ กันพบว่า ระยะคาร์บอนชั้นที่ได้จากการวัดจากโครงสร้างจริงในสภาวะต่าง ๆ กันอยู่ภายใต้มาตรฐานการออกแบบความคงทนสำหรับโครงสร้างที่เผชิญคาร์บอนชั้น

คำสำคัญ : ระยะคาร์บอนชั้น, สัมประสิทธิ์คาร์บอนชั้น, ความเสี่ยง, เกิดสนิม, ระยะหุ้มเหล็กเสริม

Thesis Title : EVALUATION OF DAMAGES AND DETERIORATIONS OF
RESIDENTIAL RC BUILDINGS IN COMMUNITY AREA

Student Name : Mr.Banyut warinlai

Student ID : 115270410114-4

Degree Award : Master of Engineering

Study Program : Civil Engineering

Academic Year : 2010

Thesis Advisors : Asst. Professor Dr.Pitisan Krammart
Dr. Raktipong Sahamitmongkol

ABSTRACT

This study is an evaluation of damages and deteriorations of residential RC buildings in community area. Visual inspection, compressive strength, cover thickness, thickness of plastering mortar, carbonation depth of RC buildings in nine residential communities were measured and analyzed according to statistical methods to find the relationship between the risk of corrosion caused by carbonation and the age of each structure. This study will also make comparisons between design standards for structural durability and carbonated concrete structures which were constructed in various conditions.

The results indicated the different damages. For precast structural, it was found that water leakage at the joints of the structure was the most common problem. It was also found that there were some problem with the deterioration due to Pyrite reaction. As for structure which were cast in place, the most common problem is the cracking of the structure. Deteriorate of plastering mortar and corrosion in some parts of the structure is obvious in the first and second part of the Klongtoey housing project, These structure may have some problem with water leakage, but the level of damage is less than those of precast structures.

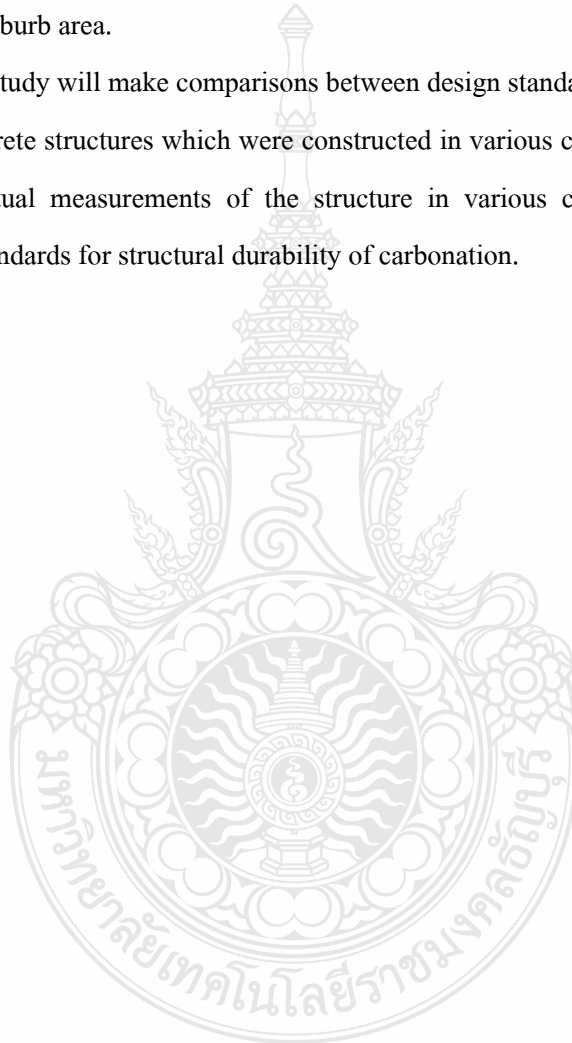
The compressive strength of precast structural were larger than cast in place structural and the cover thickness of most of the structures were larger than the design specification.

The results above made aware of the damage outside the structure. The need for a study of the causes that deeper inside to understand the problem more clearly the damage. That is the analysis of causes within the concrete may be affected due to the durability. Focusing on retention with carbonation is a major building the state structure that determines the risk to the carbonation is quite high.

For carbonation depth, it was found that the rate of carbonation (carbonation coefficient, k) was higher in the buildings located near expressways while the buildings in Bangkok showed, on average, higher rate of carbonation than those in the suburbs. It was also found that the rate of carbonation (carbonation coefficient, k) of precast concrete buildings had greater carbonation resistance than those constructed with the cast-in-place method in the similar environments.

For Risk of Carbonation induced corrosion, it was found that with equivalent age and materials, the risk of carbonation induced corrosion of buildings in Bangkok was higher than that of the buildings in the suburb area.

Finally, this study will make comparisons between design standards for structural durability and carbonation concrete structures which were constructed in various conditions. It was found that carbonation from actual measurements of the structure in various conditions were within the confines of design standards for structural durability of carbonation.



Keywords : Carbonation depth, Carbonation Coefficient, Risk, Corrosion, Cover thickness

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติสานต์ กร้ามาตร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.รักติพงษ์ สหมิตรมงคล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์นี้จนกระทั่งแล้วเสร็จ ตลอดจน ดร.มาโนช รุจิภากร ดร.จตุพล ตั้งปกาศิต และผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกคือ ศาสตราจารย์ ดร.สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล ซึ่งได้มาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อันจะทำให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้จัดทำขอขอบคุณศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC) สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ได้กรุณาเอื้อเพื่อเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการสืบค้นข้อมูล และขอขอบคุณหน่วยงานการเคหะแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนผู้ร่วมงานในการทำวิจัยครั้งนี้ทุกท่าน

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา-มารดา ที่เป็นแรงบันดาลใจในการศึกษาและให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านและท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนมา

บัญญัติ วารินทร์ไพล

3 มีนาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ปัญหาความคงทนของ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	3
2.2 การเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากคาร์บอนชั้น	4
2.3 ปัญหาการเสื่อมสภาพเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาของไฟรต์	6
2.4 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบเมื่อพิจารณาถึงความคงทน	8
2.5 การออกแบบ โครงสร้างคอนกรีตสำหรับแต่ละปัญหาความคงทน	13
2.6 การทดสอบแบบไม่ทำลาย	15
2.7 การวัดก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ	18
2.8 ความน่าจะเป็นทางสถิติ	19
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	25
3.1 ตรวจพินิจอาคารที่พักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็ก	26
3.2 การทดสอบแบบไม่ทำลาย	26
3.3 การวัดก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์	28
3.4 การทดสอบคาร์บอนชั้น	29
บทที่ 4 การสำรวจเก็บข้อมูลความเสียหายและการเสื่อมสภาพของ โครงสร้างอาคาร	33
4.1 การสำรวจเก็บข้อมูลความเสียหายและการเสื่อมสภาพของ โครงสร้างอาคารที่พักอาศัยที่อยู่ในพื้นที่ที่แตกต่างกัน	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการสำรวจความเสียหายอาคารตัวอย่างที่สร้างโดยระบบขึ้นส่วนสำเร็จ (บ้านเอื้ออาทร)	35
4.3 รายงานผลสำรวจความเสียหายอาคารตัวอย่างที่สร้างโดยระบบเทในที่ (เคหะชุมชน)	53
4.4 สรุปสภาพความเสียหายที่พบ	82
บทที่ 5 การทดสอบแบบไม่ทำลายและการเจาะเก็บตัวอย่างวัฏระยะคาร์บอนขึ้น	85
5.1 การประเมินกำลังอัดของคอนกรีตด้วยค้อนกระทบ (Schmidt Hammer)	85
5.2 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก	91
5.3 ปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม	102
5.4 ระยะคาร์บอนขึ้น	103
บทที่ 6 ค่าความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนขึ้น	114
ค่าความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนขึ้นของโครงสร้างคอนกรีต เสริมเหล็ก	114
บทที่ 7 เปรียบเทียบระยะคาร์บอนขึ้นจากโครงสร้างจริงและการออกแบบ	130
7.1 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตที่เผชิญคาร์บอนขึ้น	130
7.2 เปรียบเทียบระยะคาร์บอนขึ้นจากการออกแบบ (ไม่มีผลของสีและความหนา ปูนฉาบ)และ โครงสร้างจริง(รวมความหนาปูนฉาบและสี)	132
7.3 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องเผชิญคาร์บอนขึ้น (คำนึงผลของสี)	133
บทที่ 8 สรุปผลการทดลอง	136
เอกสารอ้างอิง	138
ภาคผนวก ก การทดสอบคลอไรด์ ข้อมูลการสะท้อน ระยะหุ้มเหล็ก ระยะคาร์บอนขึ้น	141
ข ตัวอย่างแผนที่ความเสียหาย	174
ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	200
ประวัติผู้เขียน	201

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ระยะหุ้มเหล็กเสริม (α)	9
2.2 ค่าแนะนำสำหรับระยะหุ้มเหล็กเสริมทั่วไป (c_0) สำหรับโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป	9
2.3 ค่าแนะนำสำหรับระยะหุ้มเหล็กเสริมทั่วไป (c_0) สำหรับคอนกรีตที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์	10
2.4 ความกว้างรอยร้าวที่มากที่สุด	12
2.5 ปริมาณคลอไรด์ที่ละลายน้ำได้ที่ยอมให้ในคอนกรีต	12
2.6 สัมประสิทธิ์ระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนเนชั่น	14
3.1 คุณสมบัติโครงการที่ตรวจสอบ	32
4.1 รายชื่อตัวอย่าง โครงสร้างอาคารที่ดำเนินการตรวจสอบ	34
4.2 สาเหตุและลักษณะความเสียหายที่พบใน โครงสร้างบ้านอื้ออาทรและเคหะชุมชน	77
4.3 สรุปสภาพความเสียหายที่พบใน โครงการที่สร้างด้วยระบบ Precast (บ้านอื้ออาทร)	83
4.4 สรุปสภาพความเสียหายที่พบใน โครงการที่สร้างด้วยระบบ Cast-in-place (เคหะชุมชน)	84
5.1 กำลังอัดเฉลี่ยที่ได้จากความสัมพันธ์ Japan Society of Civil Engineers (JSCE) และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	86
5.2 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กและปูนฉาบเฉลี่ย	92
5.3 ปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH)	103
5.4 ระยะคาร์บอนเนชั่นเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชั่นของ โครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จ	105
5.5 ระยะคาร์บอนเนชั่นเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชั่นของ โครงสร้างหล่อในที่	105
6.1 เปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเนชั่น ณ เวลาที่ทำการทดสอบ (พ.ศ.2553) และที่อายุการใช้งาน 100 ปี	124
7.1 สัมประสิทธิ์ระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนเนชั่น	130
7.2 ระยะคาร์บอนเนชั่นที่ได้จากการออกแบบ (ไม่มีผลของสีและความหนาปูนฉาบ) และ โครงสร้างจริง (รวมความหนาปูนฉาบและสี)	132
7.3 ระยะคาร์บอนเนชั่นที่ได้จากการออกแบบ (คำนึงผลของสี) และ โครงสร้างจริง (เฉพาะคอนกรีต)	134

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนชั้นในคอนกรีต	4
2.2 ภาพจำลองแสดงสภาวะของความชื้นของโพรงในคอนกรีต	5
2.3 การแบ่งระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนชั้น	14
2.4 ค่าสัมประสิทธิ์แสดงผลของการแทนที่เถ้าลอยในวัสดุประสาน	14
2.5 ค้อนกระทบแบบชมิคท์ (Schmidt Hammer)	16
2.6 เครื่องวัดระยะหุ้มเหล็ก	17
2.7 เครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิห้อง Extech รุ่น CO250	18
2.8 โคลิ่งปกติ	19
3.1 แผนภาพการตรวจสอบการเสื่อมสภาพอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก	25
3.2 การวัดระยะหุ้มเหล็ก	27
3.3 การวัดค่าการสะท้อน	28
3.4 การวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์	29
3.5 ส่วน BOSCH หัวเจาะ HOLESAW	30
3.6 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM)	30
3.7 การทดสอบวัดระยะคาร์บอนชั้น	31
3.8 การวัดระยะคาร์บอนชั้นและปูนฉาบ	31
3.9 สภาพแวดล้อมที่เสี่ยงต่อการเกิดคาร์บอนชั้น	32
4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งของโครงการก่อสร้างในบริเวณกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้	35
4.2 ปัญหาการโค้งตัวของพื้นกระเบื้อง (อาคาร 38 ห้อง 38/41)	36
4.3 ปัญหาการโค้งตัวและร่อนของแผ่นพื้นกระเบื้อง (อาคาร 38 ห้อง 38/36)	37
4.4 ปัญหาประตูภายในห้องนอนเปิดไม่ได้ (อาคาร 38 ห้อง 38/36)	37
4.5 ปัญหาการรั่วซึมรอยต่อบริเวณผนังบริเวณ โถงบันไดชั้น 5 ลงชั้น 4 (อาคาร 38)	38
4.6 ปัญหาช่วงรอยต่อบริเวณบนเพดานเกิดรอยร้าว (อาคาร 17)	38
4.7 ปัญหารอยต่อบริเวณเพดาน โถงบันไดชั้นดาดฟ้าลงชั้น 5 มีการทรุดตัว เกิดรอยร้าว (อาคาร 17)	39
4.8 ปัญหาเกิดรอยสนิมที่ผนังด้านนอกอาคาร (อาคาร 44)	40
4.9 มีการกะเทาะของผิวคอนกรีตที่คานคอดิน (อาคาร 17)	40
4.10 ปัญหารอยต่อของผนังและเสา ด้านหน้าภายนอกอาคาร 17 มีการกะเทาะ	41
4.11 ปัญหาการรั่วซึมตามรอยต่อบริเวณใต้บันไดหนีไฟ (อาคาร 117)	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 ปัญหาหลังคาห้องปั้มน้ำเกิดรอยร้าวและมีน้ำรั่วซึมเข้าภายในห้องและมีการซ่อมแซมแล้ว	43
4.13 ปัญหาเกิดรอยร้าวตามรอยต่อผนังรับบันไดหนีไฟ (อาคาร 117)	43
4.14 ปัญหาการเกิดปฏิกิริยาไฟไรต์ (อาคาร 73)	44
4.15 ปัญหาหลังคาห้องปั้มน้ำเกิดรอยร้าวและมีน้ำรั่วซึม (อาคาร 73)	44
4.16 ปัญหาการหลุดร่อนของสีปูนฉาบ ภายนอกอาคาร(อาคาร 73)	45
4.17 ปัญหาการร้าวของรอยต่อเพดานชั้น 5 (อาคาร 22)	46
4.18 ปัญหาการรั่วซึมรอยต่อผนังบริเวณ โถงบันไดชั้น 5ลงชั้น 4 (อาคาร 22)	46
4.19 ปัญหาการโก่งตัวของพื้นกระเบื้อง (อาคาร 22 ห้อง112/60)	47
4.20 ปัญหาการรั่วซึมตามรอยต่อบริเวณผนังด้านหลังตัวอาคาร (อาคาร 22)	48
4.21 ปัญหาการเกิดปฏิกิริยาไฟไรต์ (อาคาร 22)	48
4.22 ปัญหาหลังคาห้องปั้มน้ำเกิดรอยร้าวและมีน้ำรั่วซึม (อาคาร 22)	49
4.23 ปัญหา น้ำรั่วซึมจากห้องน้ำชั้นบนภายในห้อง 75/11 (อาคาร 19)	50
4.24 ปัญหาช่องว่างที่เกิดจากการอุด joint ด้วยโฟม (อาคาร 20 ห้อง 76/13)	51
4.25 ปัญหาการรั่วซึมตาม joint บริเวณชานพักบันไดชั้นชั้น 2 (อาคาร 20)	51
4.26 ปัญหาการร้าวระหว่างรอยต่อผนังด้านนอก (มีการซ่อมแซมแล้ว) (อาคาร19)	52
4.27 ปัญหาการแตกร้าวและการหลุดร่อนของชั้นปูนฉาบบริเวณส่วนต่อคาน (อาคาร 4 หน้าห้อง 51/148)	53
4.28 ปัญหาการแตกร้าวของคานที่ช่องปล่องขยะ (อาคาร 4)	54
4.29 ปัญหา น้ำรั่วซึมทางเดินท่อใต้อาคาร (อาคาร 4)	54
4.30 ปัญหาการร้าวการทรุดตัวของทางเดินบันได (อาคาร 4)	55
4.31 ปัญหาการเกิดรอยแตกร้าว (อาคาร 3 ชั้น 2)	55
4.32 ปัญหาพื้นชั้นจอดรถเกิดการกะเทาะเห็นเหล็กเสริม (อาคาร 2)	56
4.33 ปัญหาการบดขยี้ที่รั่วซึมบริเวณผนัง โถงบันได (อาคาร 5)	57
4.34 ปัญหาการแตกร้าวระหว่างคานและผนัง (อาคาร 5)	58
4.35 ปัญหาการร้าวชั้นปูนฉาบบริเวณเพดานชานพักบันไดชั้นชั้น 4 (อาคาร 9)	58
4.36 ปัญหาการร้าวมุมผนังบริเวณปล่องขยะ (อาคาร 14)	59
4.37 ปัญหาการแตกร้าวผนังด้านนอกรับบันไดหนีไฟฝั่งตะวันออก (อาคาร 5)	59
4.38 ปัญหาสีผนังด้านนอกหลุดร่อน (อาคาร 9)	60
4.39 ปัญหาผนังด้านนอกเกิดรอยแตกหลายงของชั้นปูนฉาบ (อาคาร 14)	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.40 ปัญหาผนังบริเวณ โถงบันไดร้าว (อาคาร 1 ชั้น 4)	61
4.41 ปัญหาผนังเกิดรอยร้าว (อาคาร 1 หน้าห้อง 100/60)	62
4.42 ปัญหาชั้นปูนฉาบหลุดร่อนบริเวณกันสาด (อาคาร 1 หน้าห้อง 100/65)	62
4.43 ปัญหาสีปูนฉาบหลุดร่อน (อาคาร 4 หน้าห้อง 103/64)	63
4.44 ปัญหาผนังปูนฉาบเกิดรอยร้าว (อาคาร 8 ชั้น 4 หน้าห้อง 107/62)	63
4.45 ปัญหาสีปูนฉาบหลุดร่อน (อาคาร 8 ชั้น 4 หน้าห้อง 107/62)	64
4.46 ปัญหาสีปูนฉาบเพดานหลุดร่อน (อาคาร 1 ชั้น 5)	65
4.47 ปัญหาท้องพื้นชั้น 5 กะเทาะเห็นเหล็กเสริมเกิดสนิม (อาคาร 1 หน้าห้อง 135/203)	66
4.48 ปัญหาคานกะเทาะเห็นเหล็กเสริมขึ้นสนิม (อาคาร 1 ชั้น 4 ปล่อยขยะทิศตะวันตก)	66
4.49 ปัญหาคานร้าว (อาคาร 1 ชั้น 3 ฝั่งปล่อยขยะทิศตะวันออก)	67
4.50 ปัญหาทับหลังกำแพงทางเดินกะเทาะเห็นเหล็กเสริมขึ้นสนิม (อาคาร 9 ชั้น 2ฝั่งบันไดตะวันตก)	67
4.51 ปัญหากันสาดที่หน้าต่างเกิดการกะเทาะเห็นเหล็กเสริมเกิดสนิม (อาคาร 1)	68
4.52 ปัญหาคานเกิดรอยร้าว (อาคาร 11 หน้าห้อง 11/108)	69
4.53 ปัญหาพื้นระเบียงกะเทาะเห็นเหล็กเสริมขึ้นสนิม (อาคาร 11 ชั้นที่ 1)	70
4.54 ปัญหาเสาเอ็นกะเทาะเห็นเหล็กเสริม(อาคาร 14 หน้าห้อง 14/141)	70
4.55 ปัญหาคานบริเวณ โถงบันไดเกิดรอยร้าว (อาคาร 14 บันไดทิศตะวันออก)	71
4.56 ปัญหาปล่อยขยะกะเทาะเห็นเหล็กเสริมขึ้นสนิม (อาคาร 14 บันไดทิศตะวันตก)	71
4.57 ปัญหาท้องพื้นชั้น 3 เกิดการกะเทาะเห็นเหล็กเสริมเกิดสนิม	72
4.58 ปัญหารอยร้าวผนังด้านนอกอาคารบริเวณบันไดทิศตะวันตก (อาคาร 11 ชั้น 5)	73
4.59 ปัญหาผนังปูนฉาบเกิดรอยร้าวแตกหลายา (อาคาร 18)	73
4.60 ปัญหารอยร้าวช่องงานระบบหน้าห้อง 450/574 (อาคาร A ชั้น 19)	74
4.61 ปัญหารอยร้าวช่องงานระบบหน้าห้อง 450/558 (อาคาร A ชั้น 19)	75
4.62 ปัญหารอยร้าวช่องงานระบบหน้าห้อง 450/553 (อาคาร A ชั้น 19)	75
4.63 ปัญหาท้องคานสีปูนฉาบหลุดร่อน (อาคาร A ชั้น 14)	76
4.64 ปัญหาผนังราวบันไดกะเทาะ (อาคาร A ชั้น 6)	76
5.1 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการรังสีทดลอง 1	87
5.2 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการประชานิเวศน์	88
5.3 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการนวนคร	88
5.4 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการดินแดงใหม่ระยะที่ 1	89

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.5 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการดินแดง 3	89
5.6 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการดินแดง (12 ชั้น)	90
5.7 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการคลองเตยส่วนที่ 2	90
5.8 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการห้วยขวาง	91
5.9 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการพญา 21	91
5.10 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นโครงการรังสิตคลอง 1	93
5.11 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปดล็อกโครงการรังสิตคลอง 1	93
5.12 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นโครงการประชานิเวศน์	94
5.13 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปดล็อกโครงการประชานิเวศน์	94
5.14 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นโครงการนวนคร	95
5.15 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปดล็อกโครงการนวนคร	95
5.16 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นโครงการดินแดงใหม่ระยะที่ 1	96
5.17 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปดล็อกโครงการดินแดงใหม่ระยะที่ 1	96
5.18 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นโครงการดินแดง 3	97
5.19: ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปดล็อกโครงการดินแดง 3	97
5.20 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นโครงการดินแดง (12 ชั้น)	98
5.21 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปดล็อกโครงการดินแดง (12 ชั้น)	98
5.22 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นโครงการคลองเตยส่วนที่ 2	99
5.23 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปดล็อกโครงการคลองเตยส่วนที่ 2	99
5.24 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นโครงการห้วยขวาง	100
5.25 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปดล็อกโครงการห้วยขวาง	100
5.26 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นโครงการพญา 2	101
5.27 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปดล็อกโครงการพญา 2	101
5.28 กราฟแสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี	102
5.29 ระยะคาร์บอนชั้นเฉลี่ยของโครงการที่ตรวจสอบ	106
5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะคาร์บอนชั้นและอายุของโครงสร้างอาคารที่ ก่อสร้างกรณีหล่อในที่	106
5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะคาร์บอนชั้นและอายุของโครงสร้างอาคารที่ ก่อสร้างกรณีขึ้นส่วนสำเร็จ	107

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.32 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะคาร์บอนชั้นและอายุของโครงสร้างอาคารที่ตั้งอยู่ในสภาวะแวดล้อมใกล้เคียงกัน	107
5.33 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนชั้น โครงการรังสิตคลอง 1	108
5.34 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนชั้น โครงการประชานิเวศน์	108
5.35 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนชั้น โครงการนวนคร	109
5.36 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนชั้น โครงการดินแดงใหม่ระยะที่ 1	109
5.37 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนชั้น โครงการดินแดง 3	110
5.38 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนชั้น โครงการดินแดง (12ชั้น)	110
5.39 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนชั้น โครงการคลองเตยส่วนที่ 2	111
5.40 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนชั้น โครงการห้วยขวาง	111
5.41 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนชั้น โครงการพญา 2	112
6.1 แผนภาพแสดงกลไกความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นตามหลักความน่าจะเป็นทางสถิติ	114
6.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการรังสิตคลอง 1	117
6.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการประชานิเวศน์	117
6.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการนวนคร	118
6.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการดินแดงใหม่ระยะที่ 1	118
6.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการดินแดง 3	119
6.7 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการดินแดง (12ชั้น)	119
6.8 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการคลองเตยส่วนที่ 2	120
6.9 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการห้วยขวาง	120

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.10 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของ โครงการพญา 2	121
6.11 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการที่มีตำแหน่ง ที่ตั้งในเขตกรุงเทพมหานคร	123
6.12 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการที่มีตำแหน่ง ที่ตั้งในเขตปริมณฑล	123
6.13 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น โดยใช้ การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการรังสิตคลอง 1	125
6.14 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น โดยใช้ การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการประชานิเวศน์	125
6.15 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น โดยใช้ การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการนวนคร	126
6.16 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น โดยใช้ การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการดินแดงใหม่ระยะที่ 1	126
6.17 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น โดยใช้ การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการดินแดง 3	127
6.18 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น โดยใช้ การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการดินแดง (12 ชั้น)	127
6.19 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น โดยใช้ การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการคลองเตยส่วนที่ 2	128
6.20 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น โดยใช้ การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการห้วยขวาง	128
6.21 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น โดยใช้ การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการพญา 2	129
7.1 การแบ่งระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนชั้น	131
7.2 ค่าสัมประสิทธิ์แสดงผลของการแทนที่ถ้ำลอยในวัสดุประสาน	131
7.3 ระยะคาร์บอนชั้นที่ได้จากโครงสร้างจริง (รวมความหนาปูนฉาบและสี) เทียบกับระยะ คาร์บอนชั้นตามมาตรฐานการออกแบบความคงทนสำหรับ โครงสร้างที่เผชิญคาร์บอนชั้น (ไม่มีผลของสีและปูนฉาบ)	133

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.4 ความสัมพันธ์ของ β_{pc} (ผลของสัมประสิทธิ์คอนกรีตที่ทาสี) กับอัตราส่วนน้ำ ต่อปูนซีเมนต์	134
7.5 ระยะเวลาบ่มที่ได้จากโครงสร้างจริงเทียบกับระยะเวลาบ่มตามมาตรฐานการ ออกแบบความคงทนสำหรับโครงสร้างที่เผชิญคาร์บอนชั้น (ค่านึงผลของสีในห้องปฏิบัติการ)	135



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในประเทศไทยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มีการใช้คอนกรีตมาเป็นวัสดุในการก่อสร้างโครงสร้างหลายประเภท อาทิ อาคารที่พักอาศัย ถนนการคมนาคมขนส่ง เป็นต้น ทั้งนี้คอนกรีตอาจจะมีปัญหาการเสื่อมสภาพเนื่องจากความคงทนของคอนกรีตได้ เช่น การแตกร้าวขององค์อาคาร คอนกรีตเสริมเหล็ก การเกิดสนิมของเหล็กเสริม การหลุดร่อนของปูนฉาบ เป็นต้น การเสื่อมสภาพเนื่องจากสภาวะแวดล้อมดังกล่าวเป็นปัญหาที่สำคัญและพบเห็นได้ทั่วไปในปัจจุบัน เช่น โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่ในเขตที่มีการจราจรหนาแน่น จะมีโอกาสสัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 600 ถึง 650 ppm หรือ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ใกล้กับสิ่งแวดล้อมชายทะเลก็มีโอกาสสัมผัสกับไอเกลือจากทะเลได้เช่นกัน ซึ่งสภาวะดังกล่าวส่งผลกระทบต่อตัวโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้ตัวโครงสร้างคอนกรีตเกิดการเสื่อมสภาพ

ผู้ก่อสร้างและผู้ใช้งาน โครงสร้างส่วนใหญ่ มักจะไม่ตระหนักต่อปัญหาการเสื่อมสภาพของโครงสร้างอาคารที่เกิดขึ้น รวมทั้งไม่ค่อยมีการตรวจสอบประเมินสภาพโครงสร้างอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาความคงทนที่พอจะมีการตรวจสอบอยู่บ้าง ก็เป็นการตรวจสอบโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น เขื่อน สะพาน เป็นต้น ในขณะที่ยังไม่ค่อยมีการดูแลบำรุงรักษาอาคารคอนกรีตที่ใช้งานมาเป็นเวลานานแล้ว รวมถึงอาคารที่สภาพทรุดโทรมยังถูกใช้งานตามปกติ ซึ่งปัจจัยทั้งหลายเหล่านี้ล้วนส่งผลให้ความแข็งแรงขององค์อาคารและอายุการใช้งานของโครงสร้างลดลงตามลำดับ จนอาจเกิดการพังทลายของโครงสร้างได้

เพื่อเป็นการรับมือกับปัญหาการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นของอาคารที่พักอาศัยในเขตพื้นที่ต่าง ๆ งานวิจัยนี้จึงศึกษาปัญหาดังกล่าวข้างต้น เพื่อรวบรวมองค์ความรู้ที่จะเป็นตัวแปรสำคัญในการป้องกันปัญหาการเสื่อมสภาพเนื่องจากคาร์บอนเนชั่นขององค์อาคารที่พักอาศัยแต่ละพื้นที่ จากนั้นนำผลที่ได้มาประเมินความเสี่ยงการเกิดสนิมของเหล็กเสริมที่อายุต่าง ๆ กัน ตลอดจนศึกษาเปรียบเทียบมาตรฐานการออกแบบความคงทนของคอนกรีตสำหรับโครงสร้างที่เผชิญกับคาร์บอนเนชั่นกับการเกิดคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างที่ก่อสร้างจริง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อสำรวจเก็บข้อมูลของความเสียหายและการเสื่อมสภาพของ โครงสร้างอาคารที่พักอาศัยที่อยู่ในพื้นที่ที่แตกต่างกัน

1.2.2 เพื่อศึกษารวบรวมองค์ความรู้เกี่ยวกับสถานะและปัจจัยต่างๆที่มีผลต่ออัตราการเกิดคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.2.3 เพื่อประเมินโอกาสที่เหล็กเสริมจะเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเนชั่นที่โครงสร้างอายุต่างๆกันของโครงสร้างที่มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ต่างๆกัน

1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบมาตรฐานการออกแบบความคงทนสำหรับโครงสร้างที่เผชิญคาร์บอนเนชั่นกับการเกิดคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างที่ก่อสร้างจริงในสถานะต่างๆกัน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษารูปแบบของความเสียหายของโครงสร้างอาคารที่พักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร ปริมณฑล และจังหวัดชลบุรี ทั้งหมด 10 โครงการ คือ บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์ บ้านเอื้ออาทรบึงกุ่ม บ้านเอื้ออาทรปทุมธานี เคหะชุมชนนวนคร เคหะชุมชนหลักสี่ เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1 เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 1 เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2 และเคหะชุมชนพญา 2

1.3.2 ศึกษารูปแบบความเสียหายของอาคารที่พักอาศัยทั้งโครงสร้างแบบชิ้นส่วนสำเร็จและแบบหล่อในที่

1.3.3 ทำการตรวจสอบพินิจ ตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างอาคารที่พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร ปริมณฑล และจังหวัดชลบุรี

1.3.4 ทำการวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ในโครงสร้างอาคารตัวอย่างที่ทำการทดสอบคาร์บอนเนชั่น

1.3.5 วิเคราะห์ตามหลักสถิติหาความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากระยะคาร์บอนเนชั่นกับอายุของโครงสร้าง

1.4 ประโยชน์ของการศึกษา

1.4.1 ทำให้ทราบระดับความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในแต่ละพื้นที่ ซึ่งสามารถนำข้อมูลไปวางแผนตลอดจนการทำนุบำรุงซ่อมแซมโครงสร้างได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

1.4.2 ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนเนชั่นที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในแต่ละพื้นที่ต่างๆ

1.4.3 ได้มาซึ่งค่าความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อายุต่างๆกัน

1.4.4 ทำให้ทราบถึงมาตรฐานการออกแบบความคงทนของโครงสร้างเกี่ยวกับคาร์บอนเนชั่นว่ามีความสอดคล้องกับโครงสร้างในสถานะจริงเพียงไร

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คอนกรีตที่ดีต้องมีกำลังตามต้องการและสามารถทนทานต่อสภาวะแวดล้อมตลอดอายุการใช้งานออกแบบ (Design Service Life) โดยยังสามารถคงรูปร่าง คุณภาพ คุณสมบัติ และการใช้งานได้ดี เช่นเดิม

2.1 ปัญหาความคงทนของโครงสร้างคอนกรีต [1]

การเสื่อมสภาพของคอนกรีตนั้นสามารถเกิดได้ในทุกช่วงอายุของคอนกรีต ตั้งแต่ในสภาวะพลาสติก ไปจนถึง คอนกรีตในสภาวะแข็งตัวแล้ว ซึ่งลักษณะความเสี่ยงของการเสื่อมสภาพนั้นจะแตกต่างกันไปตามช่วงอายุ อย่างไรก็ตาม การเสื่อมสภาพของคอนกรีตสามารถจำแนกได้เป็น 5 ประเภท ตามสาเหตุของการเสื่อมสภาพดังนี้

2.1.1 การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางกายภาพ (Physical Deterioration)

2.1.2 การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางเคมี (Chemical Deterioration) เช่น คาร์บอนเนชั่น (Carbonation) การกัดกร่อนโดยกรด (Acid Attack) การกัดกร่อนโดยซัลเฟต (Sulfate Attack) ปฏิกริยาระหว่างด่างกับมวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction)

2.1.3 การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางกล (Mechanical Deterioration) เช่น การขัดสี (Abrasion) การชะด้วยกระแสและกรวดทราย (Erosion) และการแตกตัวของฟองอากาศในน้ำ (Cavitation)

2.1.4 การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางชีวภาพ (Biological Deterioration) เช่น การเสื่อมสภาพโดยตะไคร่ รา รากพืช หรือ แบคทีเรียบางชนิด

2.1.5 การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุรวม (Mixed Process) เช่น การเกิดสนิมในเหล็ก เป็นต้น

ลักษณะของการเสื่อมสภาพของโครงสร้างจะแตกต่างกันไปตามสภาวะแวดล้อมและปัจจัยอื่นๆที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพ เนื่องจากการเสื่อมสภาพในรูปแบบต่างๆกันนั้นจะมีลักษณะเฉพาะตัว ดังนั้นการวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของการเสื่อมสภาพนั้นจึงทำได้จากการวิเคราะห์ลักษณะการเสื่อมสภาพ อย่างไรก็ตาม โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กบางโครงสร้างอาจจะเสื่อมสภาพเนื่องจากสาเหตุหลักมากกว่าหนึ่งสาเหตุ หรือ อาจจะได้รับความเสี่ยงจากการรับแรงที่มากเกินไป หรือ งานก่อสร้างที่ไม่ได้คุณภาพ ซึ่งจะทำให้ความต้านทานการเสื่อมสภาพของโครงสร้างลดลงอย่างมาก

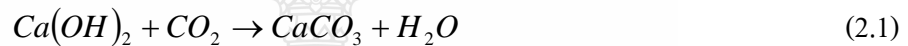
เนื่องจากลักษณะการเสื่อมสภาพของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ค่อนข้างหลากหลาย ดังที่แสดงไว้ข้างต้น การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและการเลือกวัสดุที่เหมาะสมกับ

2.2 ปัญหาการเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากคาร์บอนชั้น

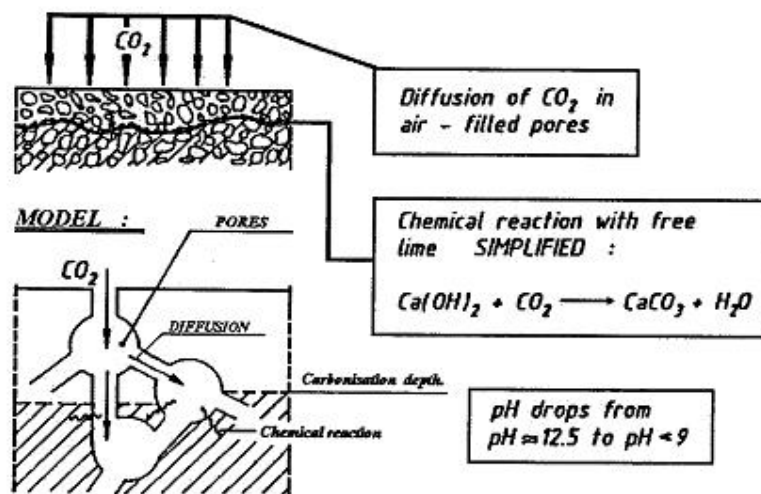
คาร์บอนชั้นเป็นขบวนการที่เปลี่ยนผลผลิตบางชนิดของปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งโดยปกติมักจะ เป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) และ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ให้เป็นผลิตภัณฑ์ คาร์บอเนต โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อต้องมีความชื้นและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.2.1 กลไกของการเกิดคาร์บอนชั้น

คาร์บอนชั้นเกิดจากการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) หรือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) บริเวณผิวหน้าหรือใกล้ผิวหน้าของคอนกรีต ตามสมการ 2.1 ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

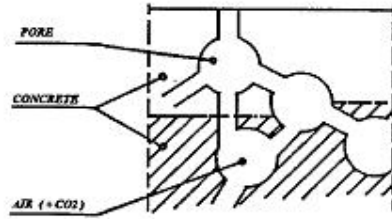


ปฏิกิริยาคาร์บอนชั้นเป็นปฏิกิริยาที่เกิดในสภาพของสารละลายและคอนกรีตที่ถูกคาร์บอนเนตไปแล้วจะมีความพรุนน้อยลง เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาคาร์บอนชั้น จะช่วยอุดช่องว่างส่วนหนึ่งในคอนกรีต ลักษณะของการทำปฏิกิริยาจะเกิดในบริเวณใกล้ผิวหน้าของคอนกรีตที่มีโอกาสสัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในอากาศ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตได้ดีโดยผ่านทางช่องว่างที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Pores) เข้าไปทำปฏิกิริยาในบริเวณใกล้ผิวหน้าของคอนกรีตได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ดังนั้น คาร์บอนชั้นจะค่อยๆ คืบหน้าเข้าไปในเนื้อคอนกรีตด้วยอัตราที่ช้าลงเรื่อยๆ เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะต้องแพร่ผ่านโครงสร้างช่องว่าง (Pore Structure) ของคอนกรีตและผ่านส่วนที่ถูกคาร์บอนเนตไปแล้วซึ่งจะมีความพรุนน้อยลง ทำให้ซึมผ่านเข้าไปได้ยากขึ้น

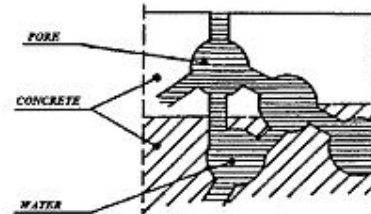


รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนชั้นในคอนกรีต (Schiesl, 1988)

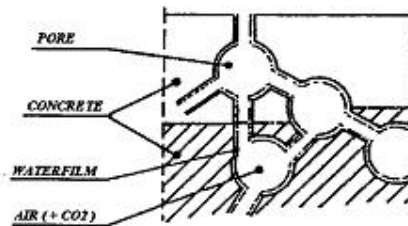
ปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันต้องการทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังนั้นในคอนกรีตที่อิมตัวด้วยน้ำหรือคอนกรีตที่แห้งสนิทจะไม่เกิดคาร์บอนเนชัน เนื่องจากในคอนกรีตที่อิมตัวด้วยน้ำจะไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านเข้าไปได้มาก ส่วนในคอนกรีตที่แห้งสนิทก็จะมีน้ำในการทำปฏิกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ดังนั้น คาร์บอนเนชันจะรุนแรงในกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอยู่ระหว่างกึ่งชื้นกึ่งแห้ง (Semi-Dry) นั่นคือ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่างร้อยละ 40 ถึงร้อยละ 60 และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมาก



(ก) คอนกรีตซึ่งแห้งสนิทไม่มีน้ำในโพรง



(ข) คอนกรีตซึ่งมีปริมาณน้ำในโพรงอิมตัว



(ค) คอนกรีตซึ่งมีปริมาณน้ำในโพรงพอเหมาะ

รูปที่ 2.2 ภาพจำลองแสดงสถานะของความชื้นของโพรงในคอนกรีต (Schuessl, 1988)

2.2.2 ผลของคาร์บอนเนชัน

คาร์บอนเนชันทำให้เกิดผลที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1) ทำให้ความพรุนของคอนกรีตบริเวณที่เกิดคาร์บอนเนชันต่ำลง

2) ทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตในบริเวณที่เกิดคาร์บอนเนชันต่ำลง เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ถูกใช้ไปในปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน ผลในประการแรกอาจจะเป็นผลดีต่อคอนกรีตในเรื่องของความคงทน แต่ผลประการหลังจะทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมได้ ถ้าคาร์บอนเนชันเกิดเข้าไปจนถึงตำแหน่งเหล็กเสริมจะทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตรอบเหล็กเสริมลดต่ำลงจนใกล้หรือต่ำกว่าระดับวิกฤติ

3) ทำให้เกิดการหดตัว ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ภายใต้อิทธิพลของแรงอัด ที่เกิดจากการหดตัวแบบแห้ง หรือจากการที่ทำให้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) เกิดเสียน้ำ (Dehydrate) ซึ่งส่งผลให้เกิดการหดตัว

ในผลของคาร์บอนชั้นทั้ง 3 ประการนี้ ประการที่ 2 คือกรณีที่ทำให้ความเป็นด่างในคอนกรีตลดลงจะเป็นกรณีที่มีผลเสียต่อความคงทนของคอนกรีตมากที่สุด ส่วนในกรณีที่ 1 คือกรณีที่ทำให้ความพรุนของคอนกรีตลดลง จะเป็นกรณีที่เป็นผลดีต่อความคงทนของคอนกรีต อย่างไรก็ตาม ในกรณีของคอนกรีตเสริมเหล็ก คาร์บอนชั้นจะมีผลเสียมากกว่าผลดีที่ได้จากการลดความพรุน

2.2.3 การทดสอบคาร์บอนชั้น

การทดสอบคาร์บอนชั้นสามารถทำได้หลายวิธี แต่สำหรับการทดสอบครั้งนี้ใช้วิธีที่แนะนำโดย RILEM คือการใช้น้ำยาฟิโนฟทาไลน์ในอัลกอซอลล์ลดลงบนผิวคอนกรีตที่แตกออกใหม่ๆ ที่ต้องการวัดระยะคาร์บอนชั้น คอนกรีตที่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์อยู่จะปรากฏเป็นสีชมพู ส่วนคอนกรีตที่เกิดคาร์บอนชั้นจะไม่มีสี

2.3 ปัญหาการเสื่อมสภาพเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาของไฟไรต์

ปัญหาการเสื่อมสภาพเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาของไฟไรต์ เกิดจากการใช้มวลรวมที่มีส่วนผสมของเหล็กและกำมะถันในรูปของไฟไรต์ (FeS_2) ในการผสมคอนกรีต หากปริมาณไฟไรต์ที่ปะปนอยู่ในมวลรวมนั้นจะทำปฏิกิริยากับความชื้นและอากาศ ได้กรดซัลฟูริกและสารประกอบคล้ายสนิมที่มีปริมาตรมากขึ้นกว่าสารตั้งต้นซึ่งส่งผลให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวและหลุดร่อนออกไปในที่สุด

ความเสียหายของผิวคอนกรีตเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาของไฟไรต์นี้มักพบในบริเวณผิวคอนกรีตซึ่งเผชิญความชื้นอยู่เสมอ เช่น บริเวณผิวภายนอกของอาคาร บนพื้นถนน หรือคอนกรีตกันขอบทางด่วน โดยจะปรากฏเป็นคราบสีคล้ายสนิมเหล็กบริเวณรอบๆรอยแตกที่มีขนาดเท่ากับขนาดของมวลรวมหยาบ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 ซม.) วิธีการป้องกันความเสียหายเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาของไฟไรต์ที่ดีที่สุดคือการคัดเลือกและตรวจสอบหินที่จะนำมาใช้ผสมคอนกรีต ซึ่งโดยปกติหินที่มีแร่ไฟไรต์ปนอยู่ มักจะมีสีน้ำตาลปนอยู่กับ หินปูน ซึ่งโดยปกติจะเป็นสีเทา

2.3.1 ปฏิกิริยาของไฟไรต์

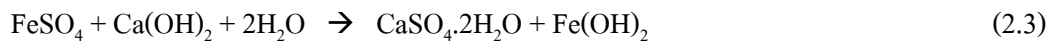
ปฏิกิริยาของไฟไรต์ (FeS_2) นั้นสามารถแยกได้เป็น 2 ขั้นตอน ดังแสดงในสมการ (2.2) และสมการ (2.3) โดยปฏิกิริยาปฐมภูมิ (สมการ 2.2) เป็นปฏิกิริยาระหว่างไฟไรต์กับก๊าซออกซิเจนและน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดสารประกอบ เฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) และ กรดไฮโดรซัลฟูริก (H_2SO_4)

สารประกอบที่ได้จากปฏิกิริยาปฐมภูมิจะทำปฏิกิริยาทุติยภูมิ (Secondary Reactions) ซึ่งแยกได้เป็นสองปฏิกิริยา เริ่มจาก เฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในคอนกรีต เกิดเป็น ยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และสนิม ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) (ดังแสดงในสมการที่ 2.3) และอีกปฏิกิริยาคือการยิปซัมจากปฏิกิริยาระหว่างกรดไฮโดรซัลฟูริกและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ดังแสดงในสมการที่ 2.5)

ปฏิกิริยาปฐมภูมิ (Primary Reaction)



ปฏิกิริยาทุติยภูมิ (Secondary Reactions)



2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของไฟไรต์

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดความเสียหายโดยปฏิกิริยาของไฟไรต์ มีดังต่อไปนี้

1) ปริมาณไฟไรต์ที่อยู่ในมวลรวมหยาบ หากมวลรวมที่ใช้มีปริมาณไฟไรต์ปนเปื้อนอยู่มากก็
จะเกิดความเสียหายที่รุนแรงมากขึ้น

2) ความชื้นและก๊าซออกซิเจน เนื่องจากไฟไรต์นั้นทำปฏิกิริยากับน้ำและก๊าซออกซิเจน ด้วย
เหตุนี้จึงพบความเสียหายเนื่องจากไฟไรต์ในบริเวณผิวโครงสร้างภายนอกที่เผชิญกับฝนอยู่เป็นประจำ
ได้ง่ายกว่าองค์อาคารภายในที่ไม่ได้เผชิญกับน้ำฝน

3) ปริมาณ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ในคอนกรีตหากปริมาณ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ น้อยลงก็จะช่วยลดความเสียหายที่เกิด
จากปฏิกิริยาทุติยภูมิลงได้

2.4 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบเมื่อพิจารณาจากความคงทน [2]

2.4.1 วัสดุผสมคอนกรีตและคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ น้ำ ทราย หินหรือกรวด และสารผสมเพิ่มชนิด
ต่างๆ และได้รับการบ่มด้วยความชื้นจนมีกำลังและคุณสมบัติอื่นๆ ตามที่ต้องการ

2.4.1.1 วัสดุที่จะนำมาใช้ในการผสมคอนกรีตจะต้องมีคุณภาพดังต่อไปนี้

ปูนซีเมนต์ที่จะใช้ในการผสมคอนกรีตจะต้องเป็นปูนซีเมนต์ประเภท Portland Cement Type
1 เป็นหลัก หรืออาจจะใช้ปูนซีเมนต์ประเภทอื่นๆในกรณีที่ต้องการแก้ปัญหาเฉพาะ โดยปูนซีเมนต์
ต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 [3]

หากมีการใช้สารปอซโซลานให้อ่างอิงมาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับสารประเภทนั้นๆ หรือ
อ้างอิงมาตรฐานอื่นๆที่เทียบเท่า เช่น อ้างอิงมาตรฐาน มอก.2135 [4] สำหรับเถ้าลอยลิกไนต์

ทราย ให้ใช้ทรายน้ำจืดที่มีคุณภาพดี สะอาด มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 566 [5] หรือ
มาตรฐาน ASTM C33 [6]

หิน ที่สามารถใช้ในการผสมคอนกรีตต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 566 หรือตาม
มาตรฐาน ASTM C33 น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องเป็นน้ำจืดใสสะอาดที่มีปริมาณสารปนเปื้อน เช่น
คลอไรด์ ซัลเฟต ความเป็นกรดต่าง หรือสารแขวนลอย อยู่ในปริมาณที่ไม่มาก และจะไม่ส่งผลเสียต่อ

นำยาคอนกรีตให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ASTM C494 [7]

2.4.1.2 กำลังของคอนกรีต (Strength of Concrete) ให้ใช้กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วันเป็นเกณฑ์ ยกเว้นในกรณีที่ระบุเป็นอย่างอื่น ทั้งนี้การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตให้ใช้วิธีการทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐานของ ASTM C39 [8] สำหรับแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก หรือ BS 1881-116 สำหรับแท่งตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ทั้งนี้กำลังอัดของคอนกรีตทดสอบตามมาตรฐาน BS 1881-116 จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 250 ksc และกำลังอัดของคอนกรีตทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39 จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 200 ksc ยกเว้นในกรณีที่ระบุเป็นอย่างอื่น

2.4.2 ระยะเวลาหุ้มเหล็กเสริมน้อยสุด

ในการออกแบบคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตมีความคงทนต่อการเสื่อมสภาพและสามารถป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะต้องมีระยะเวลาหุ้มเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าระยะเวลาหุ้มเหล็กเสริมน้อย ดังสมการต่อไปนี้

$$c \geq c_{\min}$$

$$c_{\min} = \alpha \cdot c_0$$

โดยที่

c คือระยะเวลาหุ้มเหล็กเสริม (มม.)

c_{\min} คือระยะเวลาหุ้มเหล็กเสริมน้อยสุด (มม.)

α คือค่าสัมประสิทธิ์ระยะเวลาหุ้มเหล็กเสริม (ดูตารางที่ 2.1)

c_0 คือค่าแนะนำสำหรับระยะเวลาหุ้มเหล็กเสริมทั่วไป (มม.) (ดูตารางที่ 2.2 และ ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ระยะเวลาหุ้มเหล็กเสริม (α)

ค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) หรือ กำลังอัดประลัย (f'_c) ทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน	ค่าสัมประสิทธิ์ระยะเวลาหุ้มเหล็กเสริม
$w/b > 0.65$ หรือ $f'_c < 20$ MPa	1.2
$0.45 \leq w/b \leq 0.65$ หรือ $20 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 40 \text{ MPa}$	1.0
$w/b < 0.45$ หรือ $f'_c > 40 \text{ MPa}$	0.9*

หมายเหตุ (*) กรณีที่ระยะเวลาหุ้มเหล็กเสริมทั่วไปไม่เกิน 20 มม. และกรณีที่ต้องเผชิญกับกรดหรือเผชิญกับสถานะซัลเฟตตั้งแต่ระดับปานกลางขึ้นไป ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ระยะเวลาหุ้มเหล็กเสริมเท่ากับ 1.0

ตารางที่ 2.2 ค่าแนะนำสำหรับระยะหุ้มเหล็กเสริมทั่วไป (c_0) สำหรับโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป

ลักษณะงานก่อสร้าง	ระยะหุ้มต่ำสุด
(ก) คอนกรีตหล่อในที่	
1) คอนกรีตที่หล่อติดกับดิน โดยใช้ดินเป็นแบบ และผิวคอนกรีตสัมผัสกับดินตลอดเวลาที่ใช้งาน	75 มม.
2) คอนกรีตที่สัมผัสดิน หรือถูกแดดฝน	
สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 16 มม.	50 มม.
สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. และเล็กกว่า	40 มม.
3) คอนกรีตที่ไม่สัมผัสดิน หรือไม่ถูกแดดฝน	
ในแผ่นพื้น ผนัง และตง	
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 40 มม. ขึ้นไป	40 มม.
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 มม. และเล็กกว่า	20 มม.
ในคาน	
- เหล็กเสริมหลัก เหล็กลูกตั้ง	40 มม.
ในเสา	
- เหล็กปลอกเดี่ยวหรือปลอกเกลียว	40 มม.
(ข) คอนกรีตหล่อสำเร็จ (ควบคุมคุณภาพจากโรงงาน)	
1) คอนกรีตที่สัมผัสดิน หรือถูกแดดฝน	
ในแผ่นผนัง	
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 40 มม. ขึ้นไป	40 มม.
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 มม. และเล็กกว่า	20 มม.
ในองค์อาคารอื่น	
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 40 มม. ขึ้นไป	50 มม.
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มม. ถึง 36 มม.	40 มม.
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. และเล็กกว่า	30 มม.
2) คอนกรีตที่ไม่สัมผัสดิน หรือไม่ถูกแดดฝน	
ในแผ่นพื้นผนัง และตง	
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 40 มม. ขึ้นไป	30 มม.
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 มม. และเล็กกว่า	15 มม.
ในคาน	
- เหล็กเสริมหลัก เหล็กลูกตั้งในเสา	25 มม.

ตารางที่ 2.2 ค่าแนะนำสำหรับระยะหุ้มเหล็กเสริมทั่วไป (c_0) สำหรับโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป (ต่อ)

ลักษณะงานก่อสร้าง	ระยะหุ้มต่ำสุด
-เหล็กดัดตั้ง เหล็กปลอกเดี่ยวหรือปลอกเกลียว	30 มม.
(ค) คอนกรีตที่หล่อในน้ำ	100 มม.

ตารางที่ 2.3 ค่าแนะนำสำหรับระยะหุ้มเหล็กเสริมทั่วไป (c_0) สำหรับคอนกรีตที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์

(ก) คอนกรีตหล่อในที่ ทั้งอัดแรงและไม่อัดแรง	
แผ่นพื้น และผนัง	50 มม.
องค์อาคารอื่น	65 มม.
(ข) คอนกรีตหล่อสำเร็จ (ควบคุมคุณภาพจากโรงงาน) ทั้งอัดแรงและไม่อัดแรง	
แผ่นพื้น และผนัง	40 มม.
องค์อาคารอื่น	50 มม.

ข้อแนะนำ

วิศวกรผู้ออกแบบไม่สามารถกำหนดระยะหุ้มเหล็กเสริมให้น้อยกว่า c_{min} แต่สามารถกำหนดระยะหุ้มเหล็กเสริมให้มากกว่าค่า c_{min} นี้ได้ ขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานที่ต้องการ

2.4.3 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงสุด

โดยปกติจะกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเพื่อให้ได้กำลังอัดของคอนกรีตตามต้องการ แต่สำหรับลักษณะงานก่อสร้างและสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อความคงทนของคอนกรีต เพื่อให้คอนกรีตมีความคงทนต่อการเสื่อมสภาพและสามารถป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้ จำเป็นต้องกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานให้ต่ำ ถึงแม้ว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้อาจจะสูงกว่ากำลังอัดที่ต้องการในการรับน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบก็ตาม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงสุดให้เป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงสุด

1) คอนกรีตที่ต้องการความทึบน้ำ	0.50
2) คอนกรีตในสถานะที่เสี่ยงต่อการเกิดสนิมหรือการเสื่อมสภาพของคอนกรีต	
ระดับปานกลาง	0.50
3) คอนกรีตในสถานะที่เสี่ยงต่อการเกิดสนิมหรือการเสื่อมสภาพของคอนกรีต	
ระดับรุนแรง	0.45

ข้อเสนอแนะ

วิศวกรผู้ออกแบบสามารถกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานให้ต่ำกว่าค่าที่กำหนดในหัวข้อนี้ได้ ขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานที่ต้องการ โดยสามารถคำนวณได้จากหัวข้อที่ 2.5 สำหรับสภาพแวดล้อมคาร์บอนเนชั่น

2.4.4 ความกว้างรอยร้าวที่มากที่สุด

ในบางโอกาส องค์อาคารบางประเภท เช่น คาน อาจไม่สามารถหลีกเลี่ยงรอยร้าวได้ เช่น รอยร้าวที่เกิดจากโมเมนต์คดได้ ซึ่งรอยร้าวเหล่านี้หากได้รับการออกแบบโดยคำนึงถึงการควบคุมรอยร้าวไว้แล้วก็มักไม่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงขององค์อาคารถ้าองค์อาคารนั้นไม่ได้มีการเสื่อมสภาพอย่างไรก็ดี รอยร้าวที่มีความกว้างมากก็จะเป็นผลให้สารที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตและเหล็กเสริมซึมผ่านเข้าไปได้ง่าย ทำให้ห้องค้ำอาคารนั้นเสื่อมสภาพเร็วขึ้น และมีอายุการใช้งานสั้นลง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องควบคุมขนาดความกว้างของรอยร้าวไม่ให้มากเกินไป ความกว้างรอยร้าวที่มากที่สุด สำหรับโครงสร้างในสภาพแวดล้อมทั่วไป หรือในสภาพแวดล้อมที่เผชิญต่อการเป็นสนิมของเหล็กเสริมสามารถกำหนดได้จากข้อมูลด้านล่าง

ตารางที่ 2.4 ความกว้างรอยร้าวที่มากที่สุด

ความรุนแรงของสภาพแวดล้อม	เหล็กเสริมทั่วไป (มิลลิเมตร)	เหล็กเสริมอัดแรง (มิลลิเมตร)
สถานะทั่วไป	$0.005 \times c$	$0.004 \times c$
สถานะเสี่ยงต่อการเกิดสนิม	$0.004 \times c$	ห้ามมีรอยร้าว
สถานะเสี่ยงต่อการเกิดสนิมรุนแรง	$0.0035 \times c$	ห้ามมีรอยร้าว

หมายเหตุ หากระยะหุ้มเหล็กเสริม (c) เกิน 100 มม. ให้ใช้ค่า 100 มม. ในการคำนวณหาความกว้างรอยร้าวที่มากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

วิศวกรผู้ออกแบบสามารถเลือกกำหนดขนาดความกว้างรอยร้าวที่มากที่สุดให้ต่ำกว่าค่าในตารางก็ได้ ถ้าต้องการให้โครงสร้างมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

2.4.5 ปริมาณคลอไรด์ที่ละลายน้ำได้ที่ยอมให้ในคอนกรีต

คลอไรด์เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้ โดยไอออนของคลอไรด์ (Chloride Ions) เป็นตัวการที่ทำให้ความต้านทานการเกิดสนิมของเหล็กเสริมลดลง และเมื่อถึงจุดวิกฤตแล้ว ถ้ามีน้ำและออกซิเจนเพียงพอ ก็จะทำให้เหล็กเกิดสนิมได้ คลอไรด์อาจมีอยู่ในคอนกรีตเอง เช่น มีอยู่ในน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต หิน ทราย (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในทรายจากแหล่งใกล้ทะเล) หรือน้ำยาผสมคอนกรีตบางชนิด เช่น แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ที่มีอยู่ในสารเร่งการก่อตัว ดังนั้นเพื่อเป็นการควบคุมปริมาณคลอไรด์ตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตคอนกรีต จึงควรกำหนดมาตรฐานไว้สำหรับ

ตารางที่ 2.5 ปริมาณคลอไรด์ที่ละลายน้ำได้ที่ยอมให้ในคอนกรีต

ลักษณะงานก่อสร้าง	ปริมาณคลอไรด์ที่ละลายในกรดที่ยอมให้ในคอนกรีต (ร้อยละของน้ำหนักวัสดุประสาน)
(ก) คอนกรีตอัดแรง	0.08
(ข) คอนกรีตเสริมเหล็กที่ขณะใช้งานมีการสัมผัสกับคลอไรด์ เช่น กำแพงกันคลื่น (Sea-Retaining Walls)	0.20
(ค) คอนกรีตเสริมเหล็กที่มีสภาพแห้ง หรือขณะใช้งานมีการป้องกันความชื้น	1.00
(ง) การก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอื่น	0.30

หมายเหตุ โดยการทดสอบเพื่อหาปริมาณคลอไรด์รวมทั้งที่ละลายน้ำได้ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C1218/C 1218M : Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete

2.5 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตสำหรับแต่ละปัญหาความคงทน

2.5.1 การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น

เมื่อคอนกรีตอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ต้องเผชิญกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะแพร่เข้าไปในคอนกรีต และทำปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นซึ่งจะทำให้ความสามารถของคอนกรีตในการปกป้องเหล็กเสริมจากการเป็นสนิมลดลงจนทำให้เหล็กเสริมเกิดสนิมได้ ตัวอย่างของสภาพแวดล้อมที่มีคาร์บอนเนชั่น เช่น โครงสร้างในที่จอดรถ โครงสร้างริมถนนหรือได้สะพาน บริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น โครงสร้างใต้สะพานที่เผชิญกับเขม่าควันต่างๆ ตลอดจนในอาคารที่มีผู้คนอยู่มาก เป็นต้น เพื่อให้โครงสร้างคอนกรีตมีความคงทนต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นและมีอายุการใช้งานที่ปลอดการซ่อมแซม (Repair-free service life) ตามที่กำหนด ต้องควบคุมให้ความลึกคาร์บอนเนชั่นในช่วงอายุการใช้งานที่ปลอดการซ่อมแซมมีค่าไม่มากกว่าระยะหุ้มเหล็กเสริม โดยสามารถใช้สมการต่อไปนี้ในการออกแบบ

$$X_c \leq c \quad (2.6)$$

โดยที่

c ระยะหุ้มเหล็กเสริม (มม.)

X_c ความลึกคาร์บอนชั้น (มม.) วัดจากผิวคอนกรีตที่เผชิญกับสภาพแวดล้อม ณ อายุคอนกรีตที่ออกแบบ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$X_c = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot k \cdot \sqrt{t} \quad (2.7)$$

โดยที่

α_1 สัมประสิทธิ์การสัมผัสความเปียกชื้น ในที่นี้กำหนดให้

มีค่าเท่ากับ 1.00 สำหรับผิวคอนกรีตที่ไม่สัมผัสความเปียกชื้นในขณะที่ใช้งาน เช่น ผิวคอนกรีตที่อยู่ในร่มภายในอาคาร เป็นต้น

และมีค่าเท่ากับ 0.95 สำหรับผิวคอนกรีตที่สัมผัสความเปียกชื้นในขณะที่ใช้งาน เช่น ผิวคอนกรีตที่อยู่กลางแจ้งสามารถสัมผัสกับฝนได้ เป็นต้น

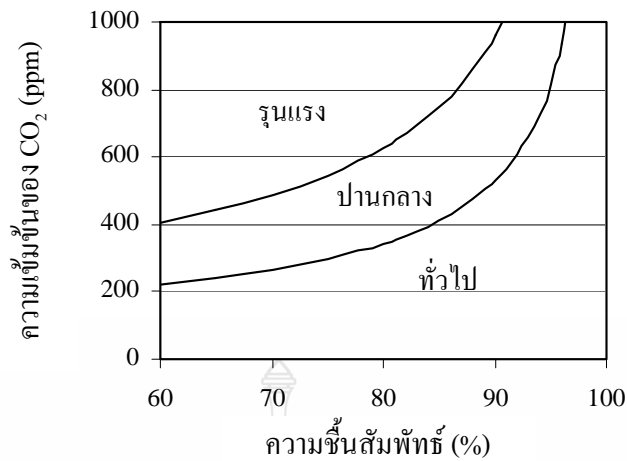
α_2 สัมประสิทธิ์ระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนชั้น

สามารถกำหนดได้จากตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 สัมประสิทธิ์ระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนชั้น

ความรุนแรงของสภาพแวดล้อม	α_2
สถานะทั่วไป	0.65
เสี่ยงต่อคาร์บอนชั้นปานกลาง	0.85
เสี่ยงต่อคาร์บอนชั้นรุนแรง	1.00

ระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนชั้น สามารถกำหนดได้โดยใช้รูปที่ 2.3 โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของบริเวณสถานที่ที่จะทำการก่อสร้างในช่วงอายุการใช้งาน ซึ่งอาจต้องคาดการณ์ล่วงหน้าไปในอนาคต

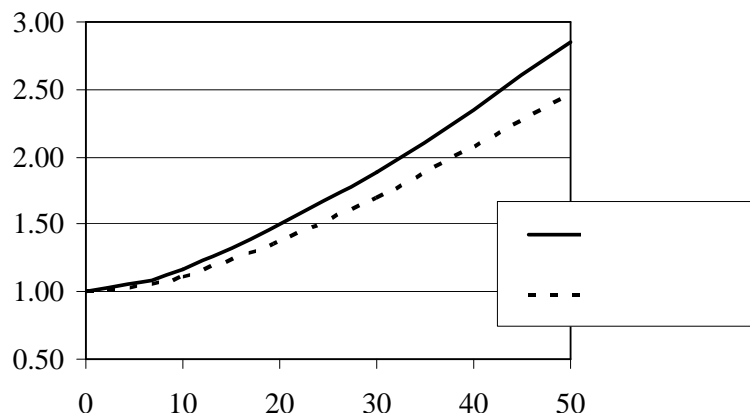


รูปที่ 2.3 การแบ่งระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนเนชั่น

สัมประสิทธิ์ความลึกคาร์บอนเนชั่น (k) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$k = 17.5 \cdot k_r \cdot (w/b)^3 \quad (2.8)$$

ค่าสัมประสิทธิ์แสดงผลของการแทนที่แก๊สในวัสดุประสาน (k_r) สามารถกำหนดได้โดยใช้รูปที่ 2.4 (ชนิดของแก๊ส 2ก และ 2ข กำหนดตามมาตรฐาน มอก. 2135-2545 หรือ ว.ส.ท. 1014-46)



รูปที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์แสดงผลของการแทนที่แก๊สในวัสดุประสาน

ข้อแนะนำ

- (1) สมการการออกแบบความคงทนต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากปฏิกิริยาการคาร์บอนเนชั่นชุดนี้ สามารถใช้ในกรณีของคอนกรีตที่ไม่มีรอยร้าวและคอนกรีตควรมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานไม่เกิน 0.65 และมีการแทนที่แก๊สในวัสดุประสานไม่เกินร้อยละ 50

- (2) ในกรณีของคอนกรีตที่มีรอยร้าว ผลของการมีรอยร้าวจะทำให้อายุการใช้งานที่ปลอดภัยของคอนกรีตลดลง ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ความสึกกร่อน (k) ในสมการที่ (2.8) ไม่ได้คำนึงถึงผลของรอยแตกร้าว หากต้องการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตที่มีรอยร้าว หรือใช้คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเกิน 0.65 หรือมีการแทนที่เถ้าลอยในวัสดุประสานเกินกว่าร้อยละ 50 ควรปรึกษาผู้เชี่ยวชาญพิเศษ

2.6 การทดสอบแบบไม่ทำลาย [9]

การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Tests) เป็นการทดสอบเพื่อตรวจวัดคุณสมบัติของคอนกรีตหรือเพื่อตรวจสอบสภาพของโครงสร้างคอนกรีต โดยที่ไม่ทำให้คอนกรีตได้รับความเสียหายหรือเกิดความเสียหายน้อยที่สุด การทดสอบแบบไม่ทำลายที่ดีจะใช้เครื่องมือทางเทคนิคและการควบคุมรายละเอียดของการทดสอบให้เป็นไปตามกำหนด โดยแบ่งการทดสอบดังต่อไปนี้

- 1) การทดสอบกำลังของคอนกรีตในสนามด้วยค้อนกระทบ (Schmidt Hammer)
- 2) การตรวจหาตำแหน่งของเหล็กเสริมและวัดระยะหุ้มเหล็กด้วยเครื่องวัดระยะหุ้มเหล็ก

(Covermeter)

2.6.1 การทดสอบกำลังของคอนกรีตในสนามด้วยค้อนกระทบ (Rebound Hammer)

ค้อนกระทบ (Rebound Hammer) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เป็นเครื่องมือรูปทรงกระบอกภายในประกอบด้วยสปริงแรงในแนวแกน คຸ້มน้ำหนัก และแท่งเหล็ก ประกอบอยู่ในโครงรูปแบบ ดันค้อนเข้าหาพื้นผิวของคอนกรีตซึ่งแท่งเหล็กจะถูกดันร่นเข้ามาอัดสปริง เมื่อแท่งเหล็กถูกดันเข้ามาเต็มที่สปริงจะคืนตัวโดยอัตโนมัติ และแท่งเหล็กจะถูกดันขับเข้ากับค้อนส่งแรงกระทบเข้ากับคอนกรีต และสะท้อนกลับออกมา ระยะของการสะท้อนกลับแสดงโดยตัวชี้บนสเกลซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 100 ซึ่งเรียกว่าค่าการสะท้อน (R) ซึ่งมีค่าขึ้นกับความแข็งแรงของคอนกรีต ถ้าคอนกรีตแกร่งมาก ระยะสะท้อนกลับจะมีค่ามาก การตีความของค่า R จะแสดงไว้ในคู่มือการใช้งานที่ผู้ผลิตแต่ละรายจะเป็นผู้ให้มา ซึ่งค่า R จะเพิ่มขึ้นตามกำลังของคอนกรีต ตัวเลขที่วัดได้อาจใช้เพื่อประมาณความเป็นเนื้อเดียวกันของคอนกรีต และคุณภาพของคอนกรีต



รูปที่ 2.5 ค้อนกระแทกแบบชมิคท์ (Schmidt Hammer)

ขั้นตอนการทดสอบ

ในการทดสอบให้ใช้ค้อนกระแทกที่ผลิตโดยบริษัทที่มีความเป็นมาตรฐาน ทำการกำหนดตำแหน่งที่จะทำการวัดค่าการสะท้อน โดยควรเป็นบริเวณผิวคอนกรีตที่เรียบไม่มีรอยแตกร้าวหรือการกะเทาะออกของผิวคอนกรีต หากผิวไม่เรียบให้ทำการขัดผิวคอนกรีตให้เรียบด้วยก้อนหินขัดการทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีตที่ตำแหน่งหนึ่งๆ ให้ทำการวัดค่าการทดสอบบริเวณตำแหน่งที่ต้องการทราบค่ากำลังอัดอย่างน้อย 10 ครั้ง โดยจุดที่วัดค่าการสะท้อนแต่ละครั้งต้องห่างกันประมาณ 25 มม. ในการทดสอบ 1 ตำแหน่งสามารถทดสอบได้ทั้งทิศแนวนอน แนวตั้ง (ทิศทางลงหรือทิศทางขึ้น) หรือ แนวเฉียง ซึ่งทิศทางของการทดสอบก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วย

ในส่วนของค่าการสะท้อนของ Schmidt Hammer สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่ากำลังอัดของคอนกรีตโดยอ้างอิงการประมาณค่าตามความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 2.9 (Japan Society of Civil Engineers (JSCE), 2005) หรือ สมการที่ 2.10 [10]

$$f'_c = -18 + (1.27 \times RN) \quad (2.9)$$

โดยที่ f'_c คือค่าประมาณการกำลังอัดของคอนกรีต (N/mm^2)

RN คือค่าการสะท้อนของ Schmidt Hammer

$$f'_c = -176.4 + (12.446 \times RN) \quad (2.10)$$

โดยที่ f'_c คือค่าประมาณการกำลังอัดของคอนกรีต (กก.ต่อซม.^2)

RN คือค่าการสะท้อนของ Schmidt Hammer

2.6.2 การตรวจหาค่าแห่งของเหล็กเสริมและวักระยะหุ้มเหล็กด้วยเครื่องวักระยะหุ้มเหล็ก เครื่องวักระยะหุ้มเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เป็นอุปกรณ์สำรวจที่ใช้ในการตรวจสอบ ตำแหน่งของเหล็กเสริมในคอนกรีต ใช้หลักการของการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กจากอุปกรณ์สำรวจนั้น ๆ เมื่อเคลื่อนอุปกรณ์เข้าใกล้เหล็กเสริมในคอนกรีต เครื่องวัดจะบ่งบอกตำแหน่งของเหล็กเส้น เมื่ออุปกรณ์สำรวจอยู่เหนือเหล็กเส้นพอดี เมื่อมีการปรับเทียบที่เหมาะสม อุปกรณ์นี้ก็จะใช้คาดคะเนระยะหุ้มเหล็กได้หากรู้ขนาดของเหล็กเส้น หรืออาจใช้คาดคะเนขนาดเหล็กเส้นได้หากรู้ระยะหุ้มเหล็ก



รูปที่ 2.6 เครื่องวักระยะหุ้มเหล็ก

ขั้นตอนการทดสอบ

ให้ใช้เครื่องวักระยะหุ้มเหล็กที่ผลิตโดยบริษัทที่มีมาตรฐาน และก่อนนำเครื่องวักระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กไปใช้ ให้สอบเทียบเครื่องมือในห้องทดสอบเพื่อยืนยันความแม่นยำของเครื่องวักระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโดยความถี่ของการตรวจสอบขึ้นอยู่กับคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องมือและควรบันทึกประวัติการตรวจสอบไว้ด้วย โดยดำเนินการตรวจวักระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กได้ต่อเมื่อการแสดงผลของเครื่องนิ่งเท่านั้นเมื่ออุปกรณ์อยู่ในสภาพพร้อมทำงาน ให้นำหัววัดแนบกับผิวคอนกรีต และเคลื่อนที่บนผิวคอนกรีตในทิศทางที่ต้องการวัด ทิศทางการเคลื่อนหัววัดควรตั้งฉากกับแนวการวางตัวของเหล็กเสริม เนื่องจากเหล็กเสริมมีผลต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุดเมื่อวางตัวผ่านแกนของขดลวดในหัววัด โดยเครื่องวักระยะหุ้มเหล็กจะส่งสัญญาณให้ผู้ดำเนินการวัดทราบเมื่อผ่านตำแหน่งที่มีเหล็กเสริมอยู่

2.7 การวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ

เครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่ใช้ในการตรวจสอบครั้งนี้ เป็นยี่ห้อ Extech รุ่น CO250 ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยการใช้สัญญาณตัวเซ็นเซอร์บริเวณส่วนหัวของเครื่องในการตรวจรับค่าที่เกิดขึ้น เมื่อต้องการทำการวัดค่าที่บริเวณใดให้ทำการเปิดเครื่องที่บริเวณนั้น เครื่องจะทำการบูตเป็นเวลา 30 วินาทีหลังจากนั้นก็แสดงค่าที่หน้าปัดของตัวเครื่อง ซึ่งมีทั้งหมด 3 ค่าคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ โดยคุณสมบัติของตัวเครื่องเป็นดังต่อไปนี้

- 1) วัดค่า CO₂ ในช่วง Range : 0 ถึง 5,000 ppm
- 2) วัดค่าอุณหภูมิในช่วง -10 ถึง 60 องศาเซลเซียส
- 3) วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 0.0 ถึง 99.9%RH
- 4) สามารถคำนวณค่า Dew Point และ Wet Bulb ได้
- 5) สามารถตั้งเตือนได้
- 6) สามารถต่อกับ Computer โดยผ่านช่อง RS-232
- 7) หน้าจอเป็น LCD สามารถแสดงค่าได้ 3 ค่า
- 8) เซ็นเซอร์เป็นแบบ NDIR (non-dispersive infrared)

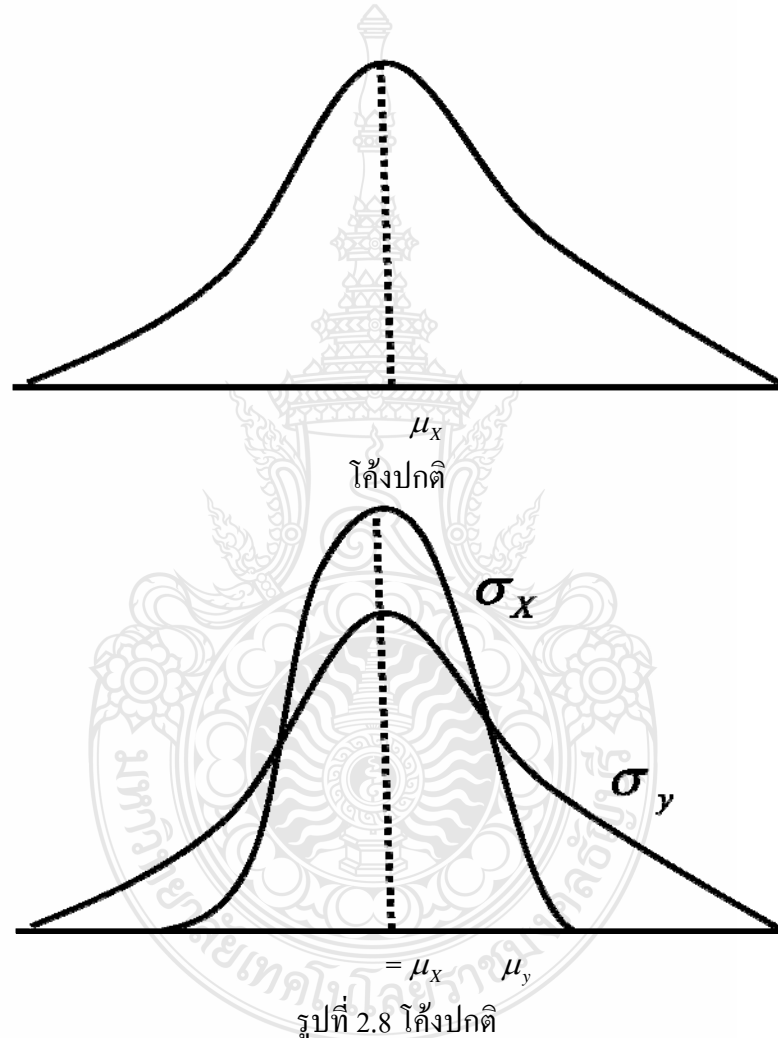


รูปที่ 2.7 เครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมียี่ห้อ Extech รุ่น CO250

2.8 ความน่าจะเป็นทางสถิติ [11]

2.8.1 การแจกแจงความน่าจะเป็นต่อเนื่อง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีการเก็บข้อมูลในหลายๆรูปแบบ เช่น วัดระยะหุ้มเหล็ก วัดกำลังอัด จากก้อนกระแทก วัดระยะคาร์บอนชั้น เป็นต้น ซึ่งแต่ละรูปแบบก็มีการเก็บค่าหลายๆค่า จึงทำให้ต้องมีวิเคราะห์ค่าดังกล่าว เพื่อให้ได้ตัวแปรของค่าที่ต้องการใกล้เคียงความจริงมากที่สุด จึงต้องอาศัยหลักทางสถิติเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยทำการวิเคราะห์ในรูปแบบของการแจกแจงปกติ ซึ่งเป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่ส่วนมากจะมีค่าใกล้เคียงค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ต้องการศึกษา



รูปที่ 2.8 โคนึ่งปกติ

โคนึ่งปกติที่มี $\mu_x = \mu_y$ และ $\mu_x < \mu_y$ ดังแสดงในรูปที่ 2.8

จากรูปโคนึ่งปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากันแต่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มากกว่าจะต่ำและกระจายออกมากกว่าโคนึ่งปกติที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า

2.8.2 คุณสมบัติของโคนึ่งปกติมีดังนี้

- 1) ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $x = \mu$ (โคนึ่งสูงที่สุด)
- 2) โคนึ่งมีสมมาตรกับแกนตั้งที่ลากผ่าน μ

- 3) โคลงมีจุดเปลี่ยนเว้าที่ $x = \mu \pm \sigma$
- 4) ปลายโคลงเข้าใกล้แกน x เมื่อ x มีค่าห่างจาก μ ออกไปทุกที
- 5) พื้นที่ทั้งหมดที่อยู่ใต้เส้นโคลงและอยู่เหนือแกน x มีค่าเป็น 1

นอกจากนั้นยังมีการนำหลักสถิติเข้ามาประยุกต์ในการประเมินความเสี่ยงการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอนชั้น โดยต้องอาศัยความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ชนิดคือ ระยะหุ้มเหล็กและระยะคาร์บอนชั้น จึงทำให้ต้องมีการนำหลักการแจกแจงของผลต่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างเข้ามาประยุกต์ใช้งาน

แต่จากหลักทางสถิติแล้ว ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสามารถพิจารณารูปแบบของข้อมูลได้ 2 รูปแบบ คือ ประชากรและตัวอย่าง ซึ่งในการวิเคราะห์ก็จะต้องคำนึงถึงรูปแบบของข้อมูลดังกล่าวด้วย เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาจริง

2.8.3 การสุ่มตัวอย่างและการแจกแจงของค่าเฉลี่ย

ประชากร (Population) หมายถึง กลุ่มที่ประกอบด้วยหน่วยทั้งหมดของบุคคล สัตว์ หรือ สิ่งของ ที่อยู่ในขอบเขตที่สนใจศึกษา

ตัวอย่าง (Sample) หมายถึง ส่วนหนึ่งของประชากรที่ได้รับเลือกขึ้นมาเพื่อเป็นหน่วยศึกษา หรือทดลอง

สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้อง

ประชากร	μ	แทนค่าเฉลี่ยประชากร
	σ	แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	N	แทนขนาดประชากร
ตัวอย่าง	\bar{X}	แทนค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง
	s	แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	n	แทนขนาดของตัวอย่าง

2.8.4 การแจกแจงของผลต่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

กำหนดประชากร 2 ชุด มีค่าเฉลี่ย μ_1, μ_2 และความแปรปรวน σ_1^2, σ_2^2 ตามลำดับ ให้ \bar{X}_1 คือค่าเฉลี่ยของตัวอย่างชนิดสุ่มขนาด n_1 จากประชากรชุดแรก และ \bar{X}_2 คือค่าเฉลี่ยของตัวอย่างชนิดสุ่มขนาด n_2 จากประชากรชุดที่สอง ตัวอย่างทั้งสองชุดเป็นอิสระต่อกัน

ค่าเฉลี่ย
$$\mu_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \mu_1 - \mu_2$$

ความแปรปรวน
$$\sigma_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}^2 = \frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}$$

พื้นที่ตัวแปรสุ่ม
$$Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- 1) P.Castro, E.I.Moreno and J.Genesca [12] ได้ทำการศึกษาเรื่อง *Influence of marine micro-climates on carbonation of reinforced concrete buildings* มีการศึกษาถึงปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนเนชันของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยการเก็บเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ระดับความสูง 50, 125 และ 190 เซนติเมตร ของตัวอาคาร จากนั้นนำไปทดสอบระยะคาร์บอนเนชัน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาดำเนินการที่ตำแหน่งของอาคารที่อยู่ใกล้สถานะแวดล้อมทะเลต่อการเกิดคาร์บอนเนชันด้วย พบว่าตำแหน่งที่ตั้งอาคารห่างจากทะเลประมาณ 100-200 ม.มีแนวโน้มอัตราการเกิดคาร์บอนเนชันสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ และระดับความสูงเพิ่มขึ้นของอาคารตัวอย่าง ทำให้อัตราการเกิดคาร์บอนเนชันสูงขึ้นด้วย
- 2) M.G.Alexander, J.R.Mackechnie and W.Yam [13] ได้ทำการศึกษาเรื่อง *Carbonation of concrete bridge structures in three South African localities* มีการทดสอบอัตราการเกิดคาร์บอนเนชันของโครงสร้างสะพาน 3 แห่งในแอฟริกาใต้ที่มีอายุระหว่าง 11-76 ปี คือสะพานที่อยู่ในพื้นที่ Cape Peninsula, Durban และ Johannesburg ซึ่งการเกิดคาร์บอนเนชันขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง สภาพแวดล้อมที่ตั้งของโครงสร้างสะพาน โดยสภาพแวดล้อมที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 51-68 เปอร์เซ็นต์ จะมีโอกาสที่การเกิดคาร์บอนเนชันมากกว่าสภาพแวดล้อมที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ประมาณมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์
- 3) M.N.Haque and H.Al-Khaiat [14] ได้ทำการศึกษาเรื่อง *Carbonation of Concrete Structures in Hot Dry Coastal Regions* ซึ่งมีการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชันของอาคารที่มีตำแหน่งที่ตั้งใกล้กับทะเล มีการเก็บตัวอย่างคอนกรีตของโครงสร้างผนังและเสาทดสอบอัตราการเกิดคาร์บอนเนชัน รวมถึงการวัดค่ากำลังอัดของโครงสร้าง พบว่าอาคารที่มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ห่างจากทะเลเป็นระยะทางที่ไม่มาก (ระหว่าง 0.5-2 กม.) มีอัตราการเกิดคาร์บอนเนชันสูงกว่าอาคารที่มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ห่างจากทะเลเป็นระยะทางที่มากกว่า (ระหว่าง 3-20 กม.) ในส่วนของกำลังอัดพบว่าระยะคาร์บอนเนชันมีค่าผกผันกับค่ากำลังอัด
- 4) M.N.Haque, H.Al-Khaiat and B.John [15] ได้ทำการศึกษาเรื่อง *Climatic zone-A prelude to designing durable concrete structures in the Arabian Gulf* มีการศึกษาถึงความคงทนของโครงสร้างที่มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในบริเวณอะระเบีย โดยการศึกษาถึงการเสื่อมสภาพเนื่องจากคลอไรด์ ซัลเฟต และคาร์บอนเนชัน สำหรับในส่วนคาร์บอนเนชันพบว่าอาคารที่ใกล้กับทะเลมีแนวโน้มการเกิดคาร์บอนเนชันสูงกว่าตำแหน่งที่ตั้งของอาคารที่ไกลจากทะเล
- 5) S.K.Roy, D.O.Northwood and K.B.Poh [16] ทำการศึกษาเรื่อง *Effect of plastering on the carbonation of a 19-year-old reinforced concrete building* มีการศึกษาถึงผลกระทบของความหนาปูนฉาบที่มีต่อการเกิดคาร์บอนเนชัน ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีอายุ 19 ปี โดยการเจาะ

- 6) H.A1-Khayat, M. N. Haque and N. I. Fattuhi [17] ได้ทำการศึกษาเรื่อง *Concrete carbonation in arid climate* มีการหล่อตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ดังนี้ 0.45-0.80 ทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชันในสภาพแวดล้อมจริง พบว่าอัตราการเกิดระยะคาร์บอนเนชันจะมีมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูงขึ้น และในส่วนของกำลังอัดพบว่าระยะคาร์บอนเนชันมีค่าผกผันกับค่ากำลังอัด
- 7) วัจนวังศ์ กริพละ, รัฐภูมิ ปรีชาดิปรีชา, สรรค์ สยามภักดิ์, ธนากร พิระพันธ์ [18] ทำการศึกษาเรื่อง *การสำรวจ ทดสอบและประเมินสภาพโครงสร้างเสา โครงการทางรถไฟยกระดับ* มีการเจาะเก็บตัวอย่างชิ้นส่วนเสาและคานของโครงสร้างทางด่วนสายเหนือจากสถานีรถไฟหัวลำโพงถึงท่าอากาศยานนานาชาติดอนเมือง สายตะวันออก และสายตะวันตกด้วยวิธีการ coring ที่ระดับความสูงประมาณ 1 ม.จากระดับพื้นดิน เพื่อทดสอบหาค่าระยะคาร์บอนเนชัน พบว่ามีระยะคาร์บอนเนชันอยู่ระหว่าง 2.00-19.40 มม. มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 10.90 มม. มีอายุการใช้งานเฉลี่ยที่เหลืออยู่ 65 ปี
- จากงานวิจัยในอดีตที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าเป็นการศึกษาการเกิดคาร์บอนเนชันของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ก่อสร้างจริงในสภาวะแวดล้อมต่างกัน ซึ่งอาจจะเห็นผลการทดลองที่ชัดเจนในระดับหนึ่ง โดยโครงสร้างดังกล่าวที่ตรวจสอบจะเน้นไปที่โครงสร้างมูลฐานขนาดใหญ่ เช่น สะพาน ทางด่วน เป็นต้น แต่สำหรับการทดลองครั้งนี้ถึงเห็นว่าการศึกษาการเกิดคาร์บอนเนชันของโครงสร้างพื้นฐานคือ ที่อยู่อาศัย ซึ่งประเทศไทยยังให้ความสำคัญในเรื่องดังกล่าวค่อนข้างน้อย โดยปัญหาดังกล่าวมีความสำคัญต่อปัญหาความคงทนเกี่ยวกับคาร์บอนเนชันที่จะเกิดขึ้นกับโครงสร้างได้
- 8) N.I. Fattuhi [19] ได้ทำการศึกษาเรื่อง *Carbonation of concrete as affected by mix constituents and initial water curing period* มีการหล่อคอนกรีตตัวอย่างทดสอบแบบเร่งในห้องปฏิบัติการ โดยอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้ 0.7, 0.6 และ 0.4 ทำการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชันที่ 1, 3, 7, 21 และ 28 วัน พบว่าอัตราการเกิดคาร์บอนเนชันจะมีมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูงขึ้น
- 9) J.Khunthongkeaw, S.Tangtermsirikul and T.Leelawat [20] ได้ทำการศึกษาเรื่อง *A study on carbonation depth prediction for fly ash concrete* มีการใช้เถ้าลอยที่มีส่วนประกอบของปริมาณ CaO ที่ต่างกันสำหรับการหล่อคอนกรีตทดสอบ โดยนำตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยไปทดสอบในสภาวะเร่งและสภาวะแวดล้อมจริงต่างๆกันคือในเขตเมือง ชนบท และชายทะเล พบว่าคอนกรีตที่มีการแทนที่ด้วยเถ้าลอยที่มีส่วนประกอบของ CaO สูงจะมีการเกิดคาร์บอนเนชันต่ำกว่าคอนกรีตที่มีการแทนที่ด้วยเถ้าลอยที่มีส่วนประกอบของ CaO ต่ำ ส่วนการเกิดคาร์บอนเนชันของสภาวะ

- 10) S.K. Roy, K.B. Poh and D.O. Northwood [21] ได้ทำการศึกษาเรื่อง *Durability of concrete - accelerated carbonation and weathering studies* มีการนำตัวอย่างคอนกรีตทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน โดยศึกษาปัจจัยด้านระดับความชื้นสัมพัทธ์ คุณภาพคอนกรีตที่มีตั้งแต่เกรด 20, 25, 30, 35 และ 40 ที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนเนชัน ซึ่งพบว่าคุณภาพคอนกรีตทุกเกรดจะมีแนวโน้มการเกิดคาร์บอนเนชันที่สูงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 52-75 %
- 11) Jin-Keun Kim, Chin-Yong Kim, Seong-Tae Yi and Yun Lee [22] ได้ทำการศึกษาเรื่อง *Effect of carbonation on the rebound number and compressive strength of concrete* มีการหล่อตัวอย่างคอนกรีตที่ความแข็งแรงสูง, กลาง และต่ำ โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.68, 0.46 และ 0.28 ตามลำดับ ทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชันในสภาวะเร่งในห้องปฏิบัติการ ที่อายุ 1, 2, 3 และ 4 เดือน และวัดค่ากำลังอัด พบว่าที่อายุมากขึ้นการเกิดคาร์บอนเนชันก็ยิ่งมากขึ้นด้วย และคอนกรีตที่มีกำลังต่ำจะมีอัตราการพัฒนาระยะคาร์บอนเนชันได้สูงกว่าคอนกรีตที่มีกำลังสูง
- 12) Cengiz Duran Atis [23] ได้ทำการศึกษาเรื่อง *Accelerated carbonation and testing of concrete made with fly ash* มีการหล่อตัวอย่างคอนกรีตผสมเถ้าลอย ทดสอบในสภาวะเร่งในห้องปฏิบัติการที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 65 และ 100 % ทำการทดสอบหาระยะคาร์บอนเนชันและค่ากำลังอัดที่ 3, 7, 28 และ 90 วัน พบว่าการแทนที่เถ้าลอยในคอนกรีตที่ปริมาณมากทำให้การเกิดคาร์บอนเนชันสูงกว่าการแทนที่เถ้าลอยในคอนกรีตที่ปริมาณน้อยและในส่วนของกำลังอัดพบว่าระยะคาร์บอนเนชันมีค่าผกผันกับค่ากำลังอัด
- 13) นุรฉัตร ฉัตรวีระ และทวิวัฒน์ คงทรัพย์ [24] ทำการศึกษาเรื่อง *ความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าว* มีการศึกษาการเกิดคาร์บอนเนชันของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบดำร้อยละ 20 และ 40 โดยอัตราส่วนปริมาตรของซีเมนต์เปสต์ต่อปริมาตรช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่นเท่ากับ 1.2, 1.4 และ 1.6 ในขณะที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.6, 0.7 และ 0.8 ตามลำดับ พบว่าระยะคาร์บอนเนชันมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการแทนที่เถ้าแกลบดำในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ในส่วนของการใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่มีค่าต่างกันพบว่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานยิ่งมากขึ้นจะทำให้ระยะคาร์บอนเนชันมากขึ้นตามไปด้วย
- 14) J.Banjongrat, K.Wongpiyachetchai, R.Sahamitmongkol and S.Tangtermsirikul [25] ทำการศึกษาเรื่อง *Effect of Plastering Mortar and Paint On Carbonation Resistance of Concrete* มีการหล่อตัวอย่างคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 โดยตัวอย่างคอนกรีตมีทั้งการทาสี ไม่ทาสี ฉาบปูนและไม่ฉาบปูน ทำการทดสอบอัตราการเกิดคาร์บอนเนชันโดยการผ่าซีกตัวอย่างคอนกรีตแล้วฉีดด้วยสารละลายฟีนอล์ฟธาลิน พบว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่ม

15) P.F.Marques and A.Costa [26] ทำการศึกษาเรื่อง *Service life of RC structures: Carbonation induced corrosion Prescriptive vs performance-based methodologies* ได้ทำการศึกษาประเมินอายุของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้การเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากคาร์บอนชั้น โดยนำผลที่ได้มาคำนวณอายุการใช้งานของโครงสร้างในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ร่วมกับหลักของความเป็นไปได้ ซึ่งจะช่วยให้ทราบอายุการใช้งานที่ปลอดภัยของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้

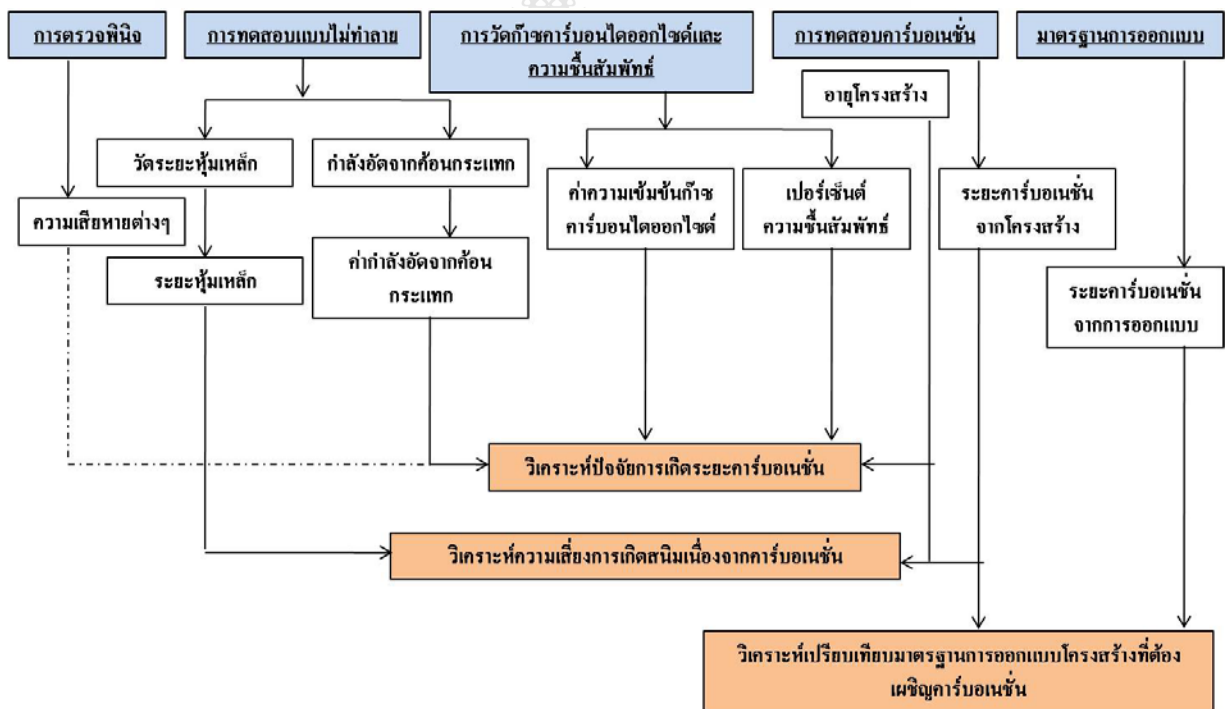
ในขณะที่ปัจจัยที่ทำให้เกิดคาร์บอนชั้นนั้นก็มีความแตกต่างกันดังงานวิจัยในอดีตข้างต้นเช่นกัน จึงต้องมีการศึกษาเพื่อให้รู้ถึงปัจจัยที่เป็นสาเหตุการเกิดคาร์บอนชั้นที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ตลอดจนวิเคราะห์ความเสี่ยงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเกี่ยวกับคาร์บอนชั้น นั่นก็คือ การเกิดสนิมของเหล็กเสริมนั่นเอง เพื่อที่จะได้รับมือกับปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคตต่อไป



บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

ในการศึกษาประเมินความเสียหายและการเสื่อมสภาพของอาคารที่พักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็กครั้งนี้ ประกอบด้วย การตรวจสอบด้วยตาเปล่า ร่วมกับการใช้อุปกรณ์ตรวจสอบพื้นฐาน เช่น ไม้บรรทัด มาตรฐานความกว้างของรอยร้าว พร้อมกับการทดสอบแบบไม่ทำลายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก การวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีต ทดสอบทางเคมีในห้องปฏิบัติการ โดยระเบียบวิธีการของการตรวจสอบแต่ละประเภทสามารถจำแนกได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการตรวจสอบการเสื่อมสภาพอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.1 ตรวจสอบอาคารที่พักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็ก

การตรวจพินิจ (Visual Inspection) หมายถึง การตรวจสอบด้วยตาเปล่า ร่วมกับการใช้อุปกรณ์ตรวจสอบพื้นฐาน เช่น ไม้บรรทัด มาตราวัดความกว้างของรอยร้าว แวนขยาย หรือ กล้องถ่ายรูปโดยไม่มีการใช้อุปกรณ์วัดอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาเกี่ยวข้องกับการวัดความเสียหาย

ในการตรวจพินิจแต่ละครั้งผู้ตรวจต้องทำการบันทึกความเสียหาย รวมทั้งตำแหน่งและขนาดของความเสียหายที่พบในโครงสร้าง โดยผู้ตรวจสอบจะต้องจำแนกความเสียหายประเภทต่างๆ อย่างชัดเจนเพื่อความสะดวกสำหรับการอ้างอิงข้อมูลในภายหลัง (ต้องให้ข้อมูลที่จัดเก็บสามารถเข้าใจได้ง่ายต่อผู้เกี่ยวข้องอื่นๆที่ไม่ได้ดำเนินการตรวจสอบด้วยตาเปล่าด้วยตนเอง) ดังนั้นรูปแบบการจัดเก็บข้อมูล และการตีความจากผลการตรวจสอบด้วยตาเปล่าจะต้องมีความยืดหยุ่น และผู้ดำเนินการตรวจสอบควรเน้นการรวบรวมข้อมูลที่สำคัญของโครงสร้างให้ครบถ้วน เนื่องจากการตรวจพินิจนั้นมีค่าดำเนินการที่ต่ำมากและดำเนินการได้สะดวกเมื่อเทียบกับวิธีการตรวจสอบแบบอื่นๆ ดังนั้นการตรวจพินิจจึงสามารถดำเนินการได้บ่อยกว่าวิธีการตรวจสอบแบบอื่น การตรวจสอบด้วยตาเปล่าโดยผู้ตรวจสอบที่มีประสบการณ์นั้นจะช่วยให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของความเสียหาย หรือ การเสื่อมสภาพของโครงสร้าง ในการตรวจสอบโครงสร้างด้วยการตรวจพินิจนั้น ผู้ตรวจสอบต้องอาศัยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวิศวกรรมโครงสร้าง พฤติกรรมของวัสดุ และเทคนิคการก่อสร้าง เพื่อการรวบรวมข้อมูลที่สมบูรณ์มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ด้วยเหตุนี้ประสิทธิภาพของการตรวจสอบด้วยตาเปล่านั้นจึงขึ้นอยู่กับความรู้และประสบการณ์ของผู้ตรวจสอบด้วย

ขั้นตอนระเบียบวิจัยในการตรวจพินิจของโครงสร้างอาคารที่พักอาศัยสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) ทำการคัดเลือกโครงการตัวอย่างและเข้าตรวจสอบพินิจทั้งหมด 10 โครงการดังแผนภาพการทดสอบข้างต้น
- 2) เมื่อกำหนดโครงการที่ต้องการตรวจสอบแล้ว ส่วนต่อมาคือการวางแผนการตรวจสอบ มีดังต่อไปนี้
 1. รวบรวมข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการตรวจสอบหน้างาน เช่น แบบโครงสร้างอาคาร แบบสถาปัตยกรรมตัวอาคารข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง และข้อมูลการซ่อมแซมบำรุงรักษาของตัวอาคาร เป็นต้น
 2. การเดินสำรวจสภาพโครงสร้างอาคาร โดยใช้การจดบันทึกตำแหน่งและลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวอาคาร พร้อมกับถ่ายรูปประกอบเพื่อจัดทำแผนที่ความเสียหาย
 3. นำข้อมูลที่บันทึกได้ จำแนกและวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้น

3.2 การทดสอบแบบไม่ทำลาย

3.2.1 การหาตำแหน่งเหล็กและวัดระยะหุ้มเหล็ก

ในการวิจัยนี้มีการทดสอบวัดระยะหุ้มเหล็กด้วยเครื่องวัดระยะหุ้มเหล็ก ในตำแหน่งที่ใกล้กับตำแหน่งที่เจาะเก็บตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดย 1 ตำแหน่งจะวัดค่าระยะหุ้มเหล็ก 4 ค่า โดยอาคารที่มีความสูง 5 ชั้น เก็บข้อมูล 18 ตำแหน่งต่อ 1 อาคาร รวมวัดค่าระยะหุ้มเหล็กทั้งหมด 3 อาคาร ต่อ 1 โครงการ ได้ค่า 216 ค่า สำหรับโครงการที่มีความสูงเกิน 5 ชั้น คือเคหะชุมชนดินแดง 3 วัดค่าทั้งหมด 288 ค่าต่อ 1 โครงการ เคหะชุมชนดินแดง(12 ชั้น) วัดค่าทั้งหมด 192 ค่าต่อ 1 โครงการ และเคหะชุมชนพญา 2 วัดค่าทั้งหมด 312 ค่าต่อ 1 โครงการ



รูปที่ 3.2 การวัดระยะหุ้มเหล็ก

3.2.2 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยค้อนกระทบ

ในการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตครั้งนี้ใช้ค้อนกระทบแบบชมิทท์ (Schmidt Hammer) ทำการทดสอบวัดค่าการสะท้อนกลับของคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 3.3 เก็บค่าการสะท้อนกลับของคอนกรีต 36 ค่าต่อ 1 ตำแหน่งการทดสอบ โดยจุดที่มีการวัดค่าการสะท้อนแต่ละครั้งต้องห่างกันประมาณ 25 มิลลิเมตร โดยอาคารที่มีความสูง 5 ชั้นเก็บข้อมูลทั้งหมด 54 ตำแหน่งต่อ 1 โครงการ สำหรับโครงการที่มีความสูงเกิน 5 ชั้น คือเคหะชุมชนดินแดง 3 เก็บข้อมูลทั้งหมด 72 ตำแหน่งต่อ 1 โครงการ เคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น) เก็บข้อมูลทั้งหมด 48 ตำแหน่งต่อ 1 โครงการ และเคหะชุมชนพญา 2 เก็บข้อมูลทั้งหมด 78 ตำแหน่งต่อ 1 โครงการ



รูปที่ 3.3 การวัดค่าการสะท้อน

3.3 การวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความชื้นสัมพัทธ์

ในการตรวจวัดครั้งนี้ใช้เครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยี่ห้อ EXTECH รุ่น CO250 เก็บวัดค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์บริเวณอาคารที่ทำการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตทดสอบระยะคาร์บอนเนชั่นดังแสดงในรูปที่ 3.4 ทำการวัดค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ทั้งหมด 3 วัน (ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2554) โดยในแต่ละวันจะวัดค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ 3 ช่วงเวลาคือ ช่วงเช้า(เวลาประมาณ 9-10 น.) ช่วงเที่ยง(เวลาประมาณ 12-13 น.) และช่วงบ่าย(เวลาประมาณ 14-15 น.) ในแต่ละอาคารที่มีการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตทดสอบระยะคาร์บอนเนชั่น จะเก็บค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์อย่างละ 54 ค่า ทำให้ได้ค่าทั้งหมดอย่างละ 162 ค่าสำหรับโครงการที่มี 3 อาคาร ยกเว้นโครงการเคหะชุมชนพญา 2 ที่เก็บค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ทั้งหมดอย่างละ 156 ค่าและโครงการเคหะชุมชนดินแดง (12ชั้น) ที่เก็บค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ทั้งหมดอย่างละ 108 ค่า



รูปที่ 3.4 การวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์

3.4 การทดสอบคาร์บอนชั้น

3.4.1 การวัดระยะคาร์บอนชั้น

ตัวอย่างที่นำไปทดสอบระยะคาร์บอนชั้น ได้จากการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตด้วยสว่านหัวเจาะแบบ HOLESAW ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ลึกประมาณ 4-5 เซนติเมตร โดยเก็บจากบริเวณบันไดขึ้นลง ซานพักบันไดที่อยู่ขอบตัวอาคารโดยในแต่ละโครงการมีความสูง 5 ชั้น ทดสอบทั้งหมดโครงการละ 3 อาคาร (ยกเว้นโครงการเคหะชุมชนดินแดง (12ชั้น) ทดสอบ 2 อาคาร) และในแต่ละอาคารเจาะเก็บตัวอย่างจากระดับความสูงที่ 1 (ที่ระดับความสูงประมาณ 1-2 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระดับความสูงที่ 2 (ที่ระดับความสูงประมาณ 5-7 เมตรจากระดับพื้นดิน) และระดับความสูงที่ 3 (ที่ระดับความสูงประมาณ 11-13 เมตรจากระดับพื้นดิน) จำนวนชั้นละ 6 ตำแหน่ง รวมทั้งหมด 54 ตัวอย่างต่อโครงการ สำหรับโครงการที่มีความสูงเกิน 5 ชั้น คือเคหะชุมชนดินแดง 3 เจาะเก็บตัวอย่างระดับความสูงที่ 4 เพิ่มเติม (ที่ระดับความสูงประมาณ 17-19 เมตรจากระดับพื้นดิน) รวมทั้งหมด 72 ตัวอย่าง เคหะชุมชนดินแดง(12 ชั้น) เจาะเก็บตัวอย่างระดับความสูงที่ 4 เพิ่มเติม (ที่ระดับความสูงประมาณ 30-32 เมตรจากระดับพื้นดิน) รวมทั้งหมด 48 ตัวอย่าง และเคหะชุมชนพญา 2 เจาะเก็บตัวอย่างระดับความสูงที่ 4 (ที่ระดับความสูงประมาณ 25-27 เมตรจากระดับพื้นดิน) และระดับความสูงที่ 5 (ที่ระดับความสูงประมาณ 55-57 เมตรจากระดับพื้นดิน) เพิ่มเติม รวมทั้งหมด 78 ตัวอย่าง



รูปที่ 3.5 ส่วน BOSCH หัวเจาะ HOLES AW

ตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการเจาะจากตำแหน่งที่กล่าวมา นำมาผ่าซีกดังแสดงในรูปที่ 3.7(ก) ด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เพื่อทดสอบระยะคาร์บอนเนชั่น เนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตลดลง (โดยทั่วไปค่า pH ของคอนกรีตมีค่าประมาณ 13) ในการทดสอบนี้ได้ทำการแยกส่วนที่เกิดคาร์บอนเนชั่นออกจากส่วนที่ยังไม่เกิดคาร์บอนเนชั่น โดยการฉีดพ่นสารละลายฟีนอล์ฟธาลินไปยังคอนกรีตที่ผ่าซีกแล้วดังแสดงในรูปที่ 3.7(ข) ซึ่งผิวของคอนกรีตที่ถูกพ่นจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูเข้มหาก pH ของคอนกรีตมีค่ามากกว่า 9 จากนั้นวัดค่าระยะคาร์บอนเนชั่น จากระยะหนาของคอนกรีตที่ยังคงสีเดิมอยู่ไปจรดรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 3.8(ก) สำหรับโครงการที่เป็นโครงสร้างแบบหล่อในที่ สามารถวัดค่าระยะปูนฉาบได้จากตัวอย่างเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 3.8(ข)



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM)

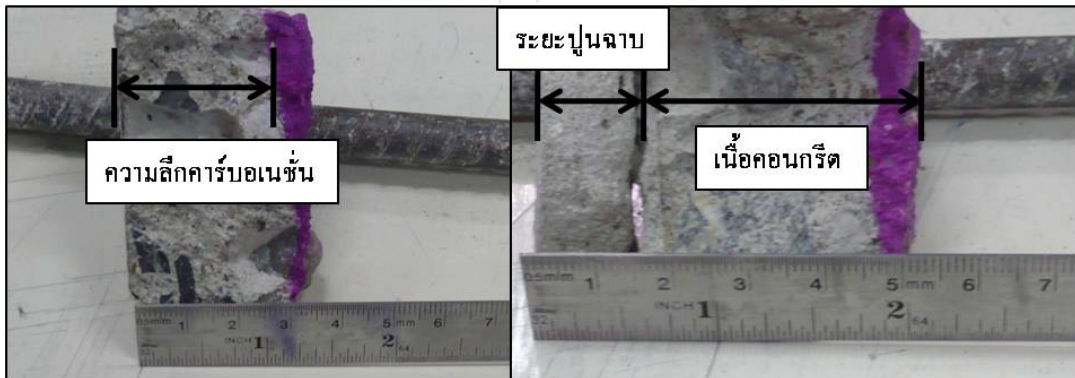


(ก) การผ่าซีกก้อนตัวอย่างคอนกรีต



(ข) นำก้อนตัวอย่างที่ผ่าซีกกัดด้วยสารละลายฟีนอล์ฟธาไลน์

รูปที่ 3.7 การทดสอบวัเคราะห์คาร์บอนชั้น



(ก) กรณีชั้นส่วนสำเร็จ

(ข) กรณีหล่อในที่มีระยะปูนฉาบ

รูปที่ 3.8 การวัเคราะห์คาร์บอนชั้นและปูนฉาบ

3.4.2 โครงการตัวอย่างสำหรับศึกษาอัตราการเกิดคาร์บอนชั้น

ในงานวิจัยครั้งนี้มีการเก็บตัวอย่างจากโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่สัมผัสกับสภาวะแวดล้อมที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับสูง โดยอายุของโครงสร้างมีตั้งแต่อายุน้อยไปจนถึงอายุมาก (4-33ปี) มีโครงสร้าง 2 แบบ คือ แบบชั้นส่วนสำเร็จ และแบบหล่อในที่ รวมทั้งหมด 9 โครงการ รายละเอียดคุณสมบัติโครงการที่เข้าตรวจสอบดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติโครงการที่ตรวจสอบ

โครงการที่เข้าตรวจสอบ	ระบบก่อสร้าง	อายุ (ปี)
1. บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1	ชั้นสำเร็จ	4
2. บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์	ชั้นสำเร็จ	5
3.เคหะชุมชนนวนคร	หล่อในที่	27
4.เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะ 1	หล่อในที่	33
5.เคหะชุมชนดินแดง 3	หล่อในที่	31
6.เคหะชุมชนดินแดง (12ชั้น)	หล่อในที่	33
7.เคหะชุมชนห้วยขวาง	หล่อในที่	33
8.เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2	หล่อในที่	16
9.เคหะชุมชนพญา 2	หล่อในที่	17

จากรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นสภาพแวดล้อมที่มีการจราจรหนาแน่น ซึ่งโครงการทั้ง 9 โครงการที่แสดงดังตารางที่ 1 มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาคาร์บอนเข้มข้นในอัตราที่สูง



รูปที่ 3.9 สภาพแวดล้อมที่เสี่ยงต่อการเกิดคาร์บอนเข้มข้น

บทที่ 4

การสำรวจเก็บข้อมูลความเสียหายและการเสื่อมสภาพของ โครงสร้างอาคาร

4.1 การสำรวจเก็บข้อมูลความเสียหายและการเสื่อมสภาพของโครงสร้างอาคารที่พักอาศัย ที่อยู่ในพื้นที่ที่แตกต่างกัน

4.1.1 รายละเอียดโครงการที่สำรวจความเสียหาย

เนื่องจากความเสียหายและการเสื่อมสภาพของโครงสร้างนั้นขึ้นอยู่กับระบบโครงสร้าง, วัสดุที่ใช้, คุณภาพการก่อสร้าง, การบำรุงรักษา, สภาพแวดล้อมและอายุของโครงสร้าง

จากสภาพการอยู่อาศัยของประชากรพบว่าโครงสร้างอาคารชุดและแฟลตมีจำนวนผู้อยู่อาศัยหนาแน่นกว่าตึกแถว อาคารพาณิชย์ และบ้านเดี่ยว ดังนั้นความเสียหายของอาคารชุดและแฟลตจึงส่งผลกระทบต่อทางสังคมและเศรษฐกิจมากกว่า ดังนั้นการสำรวจสภาพความเสียหายของโครงสร้างจึงเน้นไปที่การตรวจสอบโครงสร้างอาคารชุดและแฟลต

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าอาคารที่ถูกคัดเลือกมานั้น มีคุณสมบัติที่มีผลต่อความคงทนของคอนกรีตค่อนข้างหลากหลาย ดังนี้

1) ระบบโครงสร้างอาคารซึ่งมี 2 ระบบคือ ระบบ Precast และระบบ Cast-in-place โดยโครงการบ้านเอื้ออาทรเป็นโครงสร้างระบบชิ้นส่วนสำเร็จ และ โครงการเคหะชุมชนเป็นโครงสร้างระบบแบบหล่อในที่

2) ตำแหน่งที่ตั้งของโครงการ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่ต่างกันคือ พื้นที่เขตกรุงเทพมหานคร, พื้นที่ปริมณฑลและพื้นที่ชลบุรี-พัทยา

3) อายุของโครงสร้าง ที่มีตั้งแต่อายุ 3 ปี จนถึง 33 ปี (นับจากวันที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ)

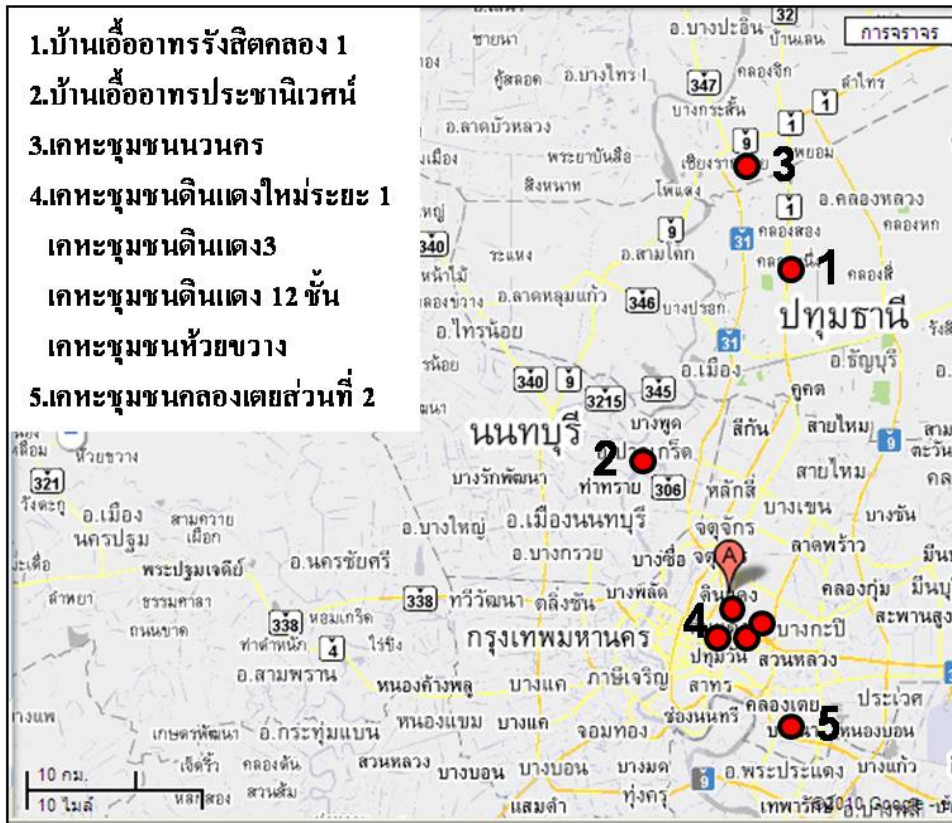
ตารางที่ 4.1 รายชื่อตัวอย่างโครงสร้างอาคารที่ดำเนินการตรวจสอบ

	ลักษณะ โครงสร้าง	แล้วเสร็จ (พ.ศ.)	อายุโครงสร้าง* (ปี)	ตำแหน่งที่ตั้ง	
				N	E
พื้นที่กรุงเทพมหานคร					
เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1	หล่อในที่	2520	33	13°45'47.2"	100°32'55.7"
เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2	หล่อในที่	2536	16	13°42'47.4"	100°34'16.3"
เคหะชุมชนดินแดง 3	หล่อในที่	2522	31	13°45'31.7"	100°33'13.7"
เคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น)	หล่อในที่	2520	33	13°45'59.5"	100°33'22.6"
เคหะชุมชนห้วยขวาง	หล่อในที่	2520	33	13°46'34.4"	100°34'15.7"
พื้นที่ปริมณฑล					
บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์	ขึ้นส่วนสำเร็จ	2548	5	13°52'36.4"	100°32'8.8"
บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1	ขึ้นส่วนสำเร็จ	2549	4	13°58'54.0"	100°37'43.3"
เคหะชุมชนนวนคร	หล่อในที่	2526	27	14°07'10.1"	100°36'20.6"
พื้นที่ชลบุรีและพัทยา					
เคหะชุมชนพัทยา 2	หล่อในที่	2536	17	12°54'22.9"	100°53'27.3"

*อายุโครงสร้างนับจากวันที่ก่อสร้างเสร็จไปจนถึงวันที่ตรวจสอบ (พ.ศ.2553)

จากรูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งของโครงการก่อสร้างในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งสอดคล้องกับผลในตารางที่ 4.1 ซึ่งมีผลต่อความคงทนของคอนกรีตเนื่องจากคาร์บอนชั้นในระดับที่ค่อนข้างสูง





รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งของโครงการก่อสร้างในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้

4.2 ผลการสำรวจความเสียหายอาคารตัวอย่างที่สร้างโดยระบบชั้นส่วนสำเร็จ

(บ้านเอื้ออาทร)

จากการสำรวจความเสียหายของโครงสร้างอาคารด้วยตาเปล่า ในโครงการบ้านเอื้ออาทรในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล คือโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์ บ้านเอื้ออาทรบึงกุ่มและบ้านเอื้ออาทรปทุมธานี พบว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายคลึงและแตกต่างกันในระดับหนึ่ง โดยจะทำการแยกประเภทเป็น ความเสียหายภายในอาคาร (ความเสียหายที่สังเกตเห็นได้เมื่ออยู่ภายในอาคาร) ความเสียหายภายนอกอาคาร (ความเสียหายที่สังเกตเห็นได้เมื่ออยู่ภายนอกอาคาร)

4.2.1 โครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1

4.2.1.1 ความเสียหายภายในอาคาร

จากความเสียหายที่พบในเบื้องต้นและการสอบถามข้อมูลความเสียหายจากผู้ควบคุมดูแลอาคาร จึงทำการตรวจสอบความเสียหาย อาคารที่ 17, 38 และ 44 ในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 พบความเสียหายดังต่อไปนี้

1) อาคารที่ 38 พบว่าภายในห้องเลขที่ 38/41 กระจกเบื้องพื้นล่อนเป็นแนวยาวตลอดจนเกิดการโก่งตัวของแนวขารองแผ่นกระจกเบื้อง ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นภายในห้องนอนเท่านั้น ห้องน้ำและชายระเบียงยังไม่เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2

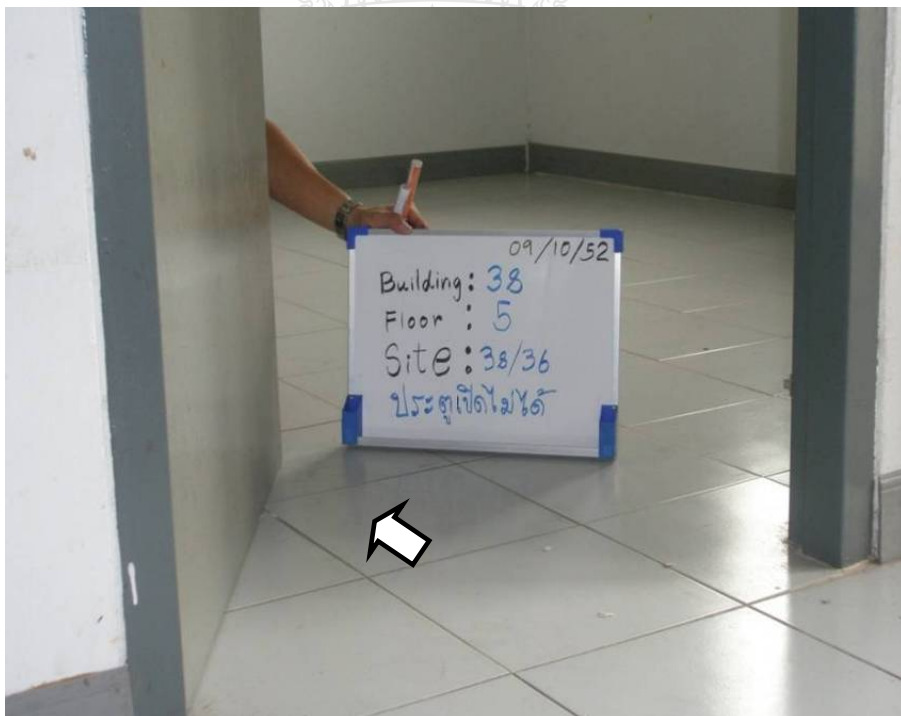


รูปที่ 4.2 ปัญหาคาร โก่งตัวของพื้นกระจกเบื้อง (อาคาร 38 ห้อง 38/41)

2) อาคารที่ 38 ความเสียหายที่เกิดขึ้นภายในห้อง 38/36 พบว่ากระจกเบื้องพื้น โก่งตัวและล่อนหลุด ดังแสดงในรูปที่ 4.3 สภาพปัญหาค้ายกับห้อง 38/41 ปัญหาที่พบเกิดขึ้นภายในห้องนอนเท่านั้น ห้องน้ำและชายระเบียงยังไม่เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น ในส่วนของประตูห้องนอนพบว่าเปิดไม่ได้เนื่องจากขอบประตูด้านล่างเสียดสีกับพื้นกระจกเบื้อง ดังแสดงในรูปที่ 4.4

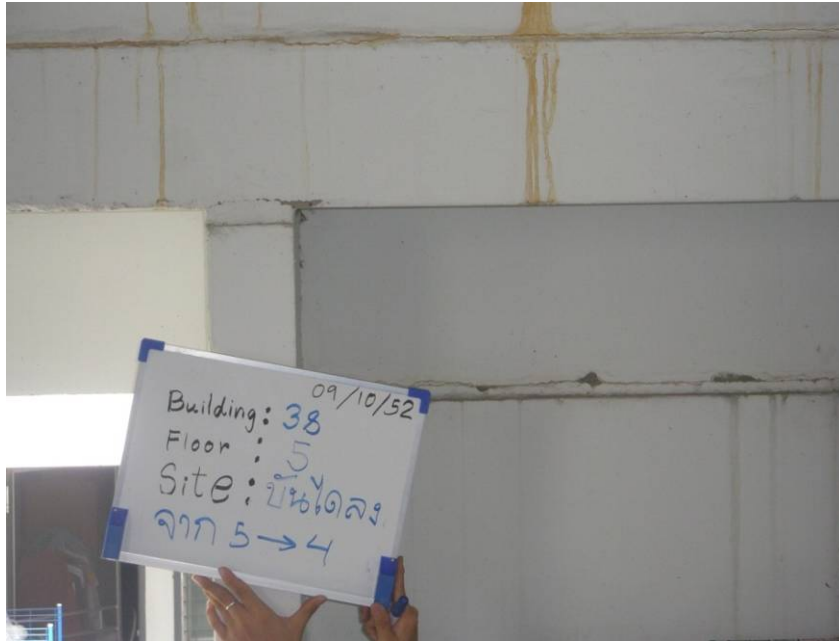


รูปที่ 4.3 ปัญหาการ โกงตัวและล่อนของแผ่นพื้นกระเบื้อง (อาคาร 38 ห้อง 38/36)



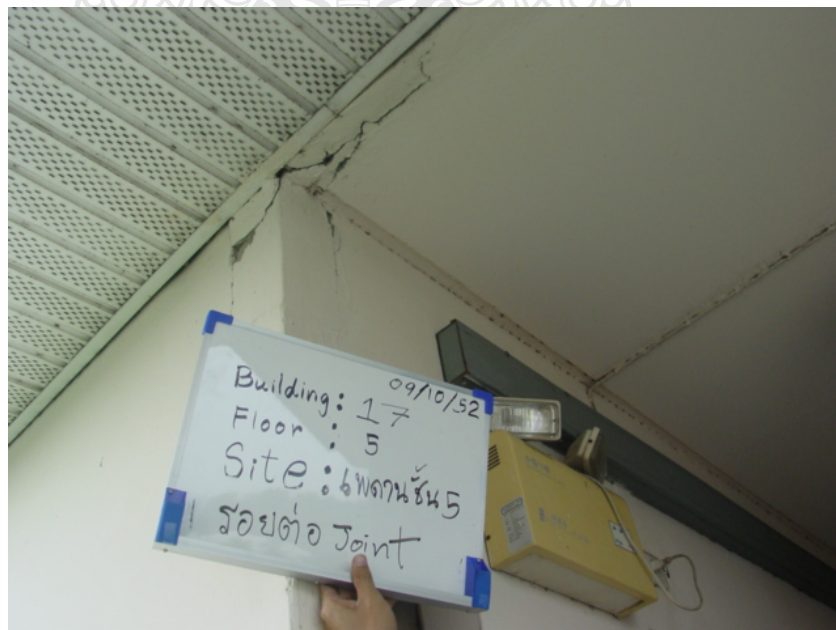
รูปที่ 4.4 ปัญหาประตูภายในห้องนอนเปิดไม่ได้ (อาคาร 38 ห้อง 38/36)

3) อาคารที่ 38 มีปัญหารอยต่อ (Joint) ในผนังบริเวณ โถงบันไดชั้น 5 ลงชั้น 4 ส่งผลให้มีรอยร้าวเห็นคราบน้ำ (ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นตั้งแต่ชั้น 1 ถึง ชั้น 5) ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ปัญหาการรั่วซึมรอยต่อบริเวณผนังบริเวณ โถงบันไดชั้น 5 ลงชั้น 4 (อาคาร 38)

4) อาคารที่ 17 เพดานชั้น 5 ช่วงรอยต่อเกิดรอยร้าวเห็นได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ในขณะที่เพดาน โถงบันไดชั้นคาตฟ้าลงชั้น 5 มีการทรุดตัว ทำให้รอยต่อเกิดรอยร้าว มีการรั่วซึมของน้ำเกิดเป็นคราบสกปรก ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 ปัญหาช่วงรอยต่อบริเวณบนเพดานเกิดรอยร้าว (อาคาร 17)



รูปที่ 4.7 ปัญหารอยต่อบริเวณเพดาน โถงบันไดชั้นดาดฟ้าลงชั้น 5
มีการทรุดตัว เกิดรอยร้าว(อาคาร 17)

4.2.1.2 ความเสียหายภายนอกอาคาร

- 1) ความเสียหายที่พบเห็นได้อย่างชัดเจนคือ อาคาร 44 ด้านหน้าอาคารมีรอยความเสียหายเป็นจุด และมีสีคล้ายคราบสนิมเกิดขึ้นบริเวณรอยความเสียหายดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งทางเจ้าหน้าที่บ้านเอื้ออาทรฯ อ้างว่าพบความเสียหายลักษณะเดียวกันที่อาคาร 22 และ 33 ด้วย จากการตรวจสอบพบว่าจุดที่เกิดความเสียหายไม่มีเหล็กเสริมและไม่ต่อเนื่องเป็นเส้น ซึ่งจากการตรวจสอบละเอียดพบว่าสาเหตุของความเสียหายน่าจะมาจากการเกิดปฏิกิริยาไฟไรต์ (FeS_2)
- 2) อาคาร 17 คานคอดินภายนอกอาคาร มีรอยกะเทาะของคอนกรีต จนทำให้เห็นเหล็กเสริม ดังแสดงในรูปที่ 4.9
- 3) ผนังด้านหน้าภายนอกอาคาร 17 มีการกะเทาะของรอยต่อบริเวณส่วนของผนังและเสา ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.8 ปัญหาเกิดรอยสนิมที่ผนังด้านนอกอาคาร (อาคาร 44)



รูปที่ 4.9 มีการกะเทาะของผิวคอนกรีตที่คานคอดิน (อาคาร 17)



รูปที่ 4.10 ปัญหารอยต่อของผนังและเสา ด้านหน้าภายนอกอาคาร 17 มีการกะเทาะ



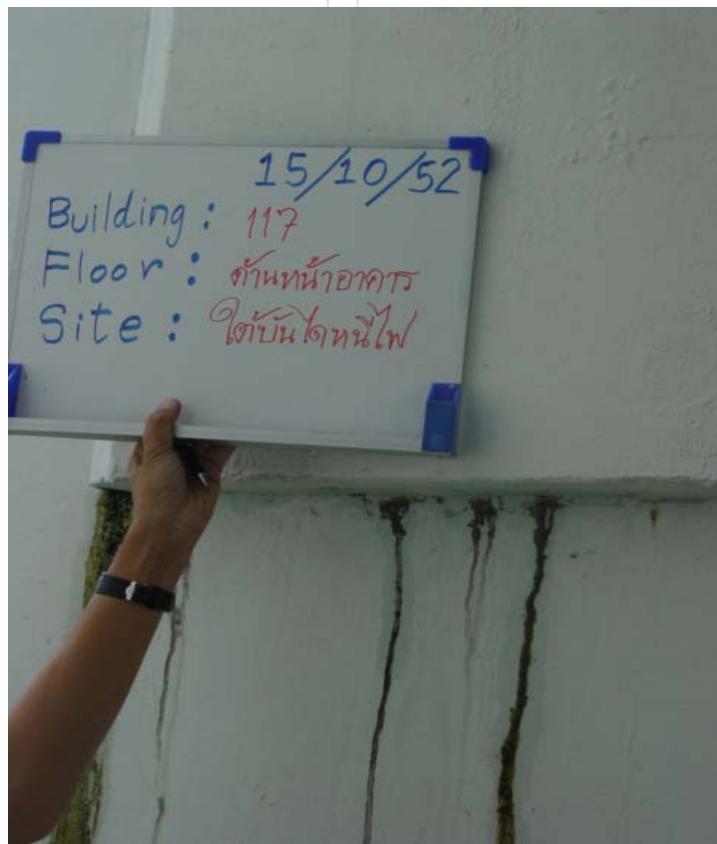
4.2.2 โครงการบ้านเอื้ออาทรบึงกุ่ม

4.2.2.1 ความเสียหายภายในอาคาร

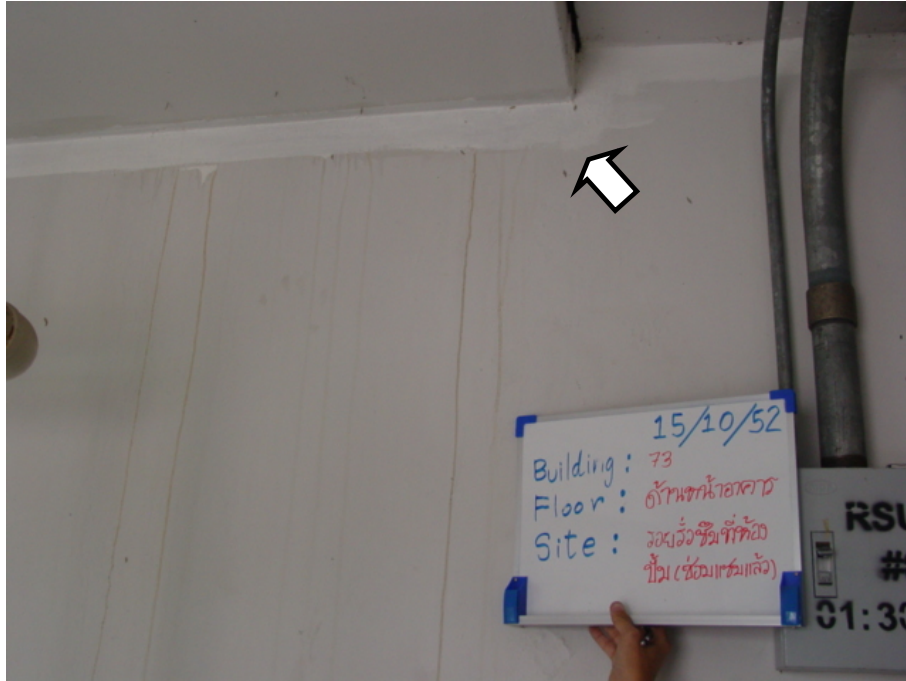
จากการเดินสำรวจด้วยตาเปล่าโครงการบ้านเอื้ออาทรบึงกุ่ม (อาคารที่ 117, 73, 36 และ 19) ผู้สำรวจพบว่า

1) ด้านหน้าอาคาร 117 บริเวณบันไดหนีไฟมีคราบรอยรั่วซึมตามรอยต่อเห็นเป็นคราบตะไคร่น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.11

2) อาคาร 73 หลังคาห้องปั้มน้ำเกิดรอยรั่วและมีน้ำรั่วซึมเข้าด้านในห้อง ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นกับทุกตึกและมีการแก้ไขแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 ปัญหาการรั่วซึมตามรอยต่อบริเวณใต้บันไดหนีไฟ (อาคาร 117)



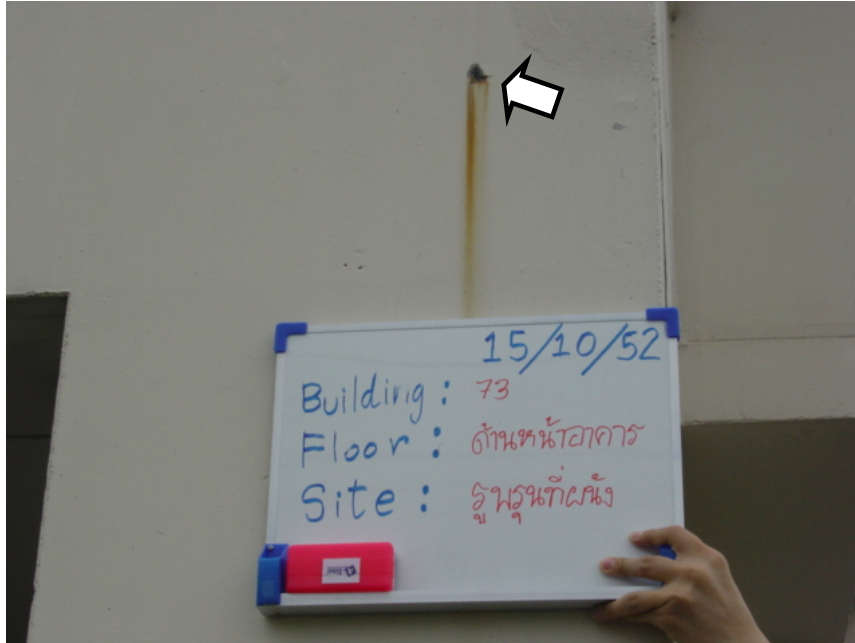
รูปที่ 4.12 ปัญหาหลังคาห้องปั้มน้ำเกิดรอยร้าวและมีน้ำรั่วซึมเข้าภายในห้องและมีการซ่อมแซม แล้ว

4.2.2.2 ความเสียหายภายนอกอาคาร

1) ด้านหน้าอาคาร 117 บริเวณบันไดหนีไฟมีคราบรอยร้าวซึมตาม joint เห็นเป็นคราบตะไคร่น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ในขณะที่อาคารที่ 73 ด้านหน้าของอาคาร เกิดปฏิกิริยาไฟโรต์ เกิดเป็นจุดสนิมเห็นได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.14

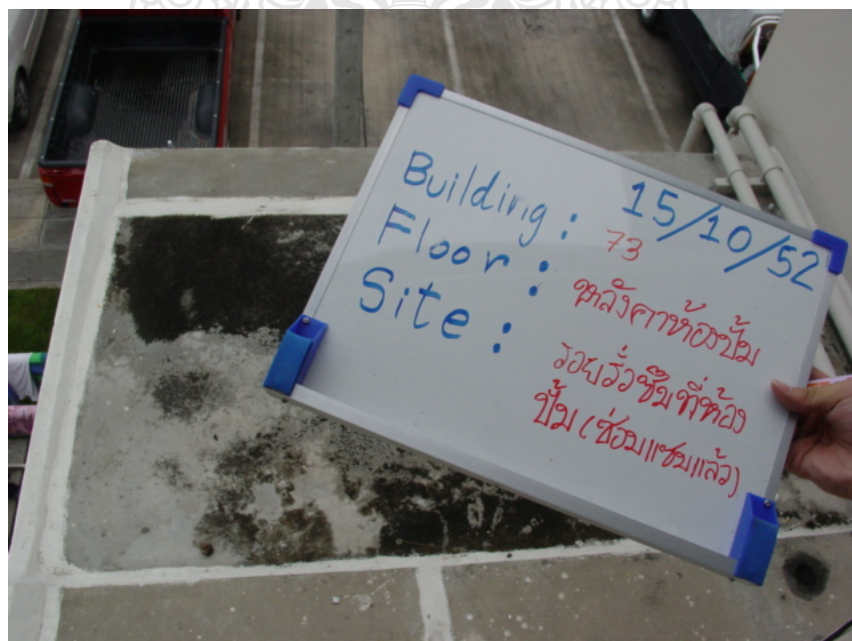


รูปที่ 4.13 ปัญหาเกิดรอยร้าวตามรอยต่อผนังรับบันไดหนีไฟ (อาคาร 117)

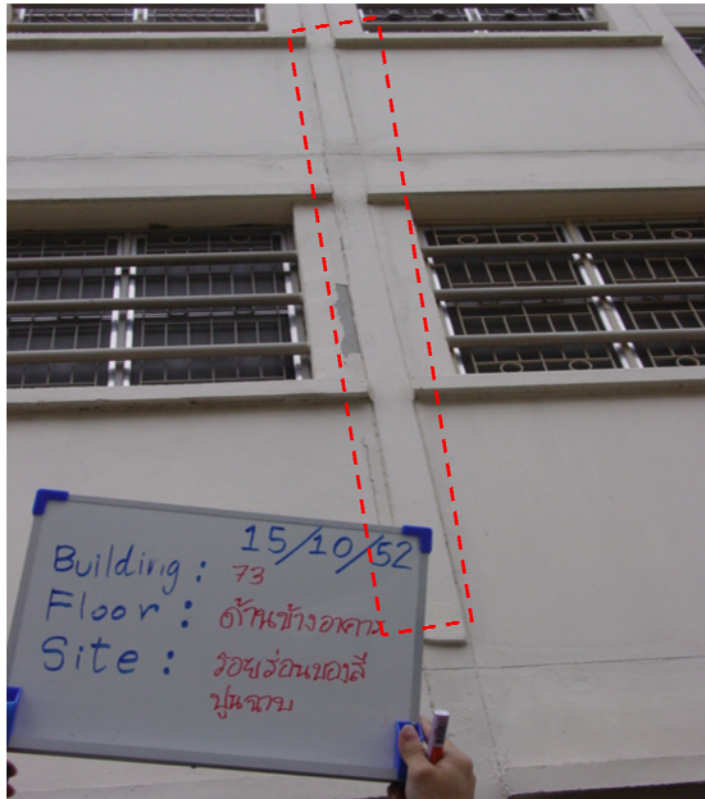


รูปที่ 4.14 ปัญหาการเกิดปฏิกิริยาไฟไรต์ (อาคาร 73)

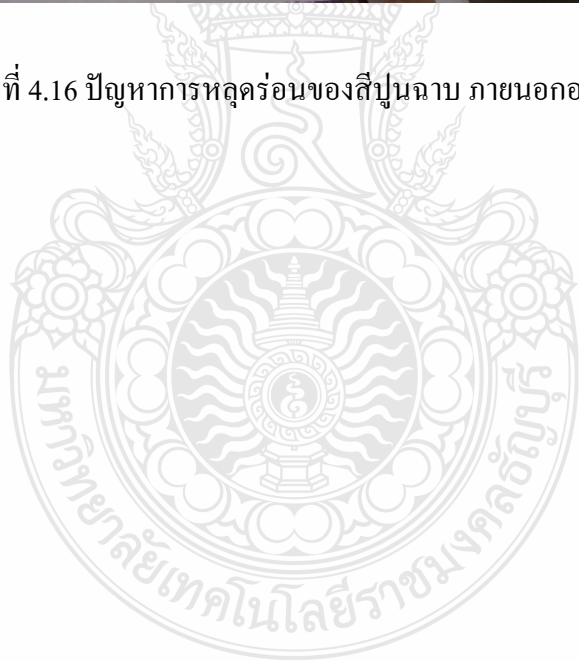
- 2) อาคาร 73 หลังคาห้องปั้มน้ำเกิดรอยร้าวและมีน้ำรั่วซึมเข้าด้านในห้อง ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นกับทุกตึกและมีการแก้ไขแล้ว ดังแสดงรูปที่ 4.15
- 3) ผนังด้านข้างภายนอกอาคาร 73 มีการหลุดร่อนของสีปูนฉาบ ปัญหาดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อของผนัง ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 ปัญหาหลังคาห้องปั้มน้ำเกิดรอยร้าวและมีน้ำรั่วซึม (อาคาร 73)



รูปที่ 4.16 ปัญหาการหลุดร่อนของสีปูนฉาบ ภายนอกอาคาร 73

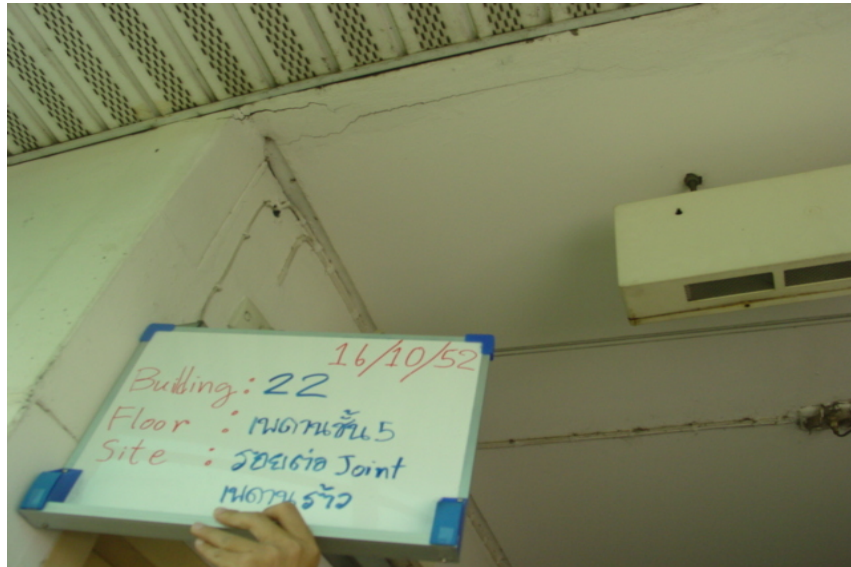


4.2.3 โครงการบ้านเอื้ออาทรประชาชนิเวณ

4.2.3.1 ความเสียหายภายในอาคาร

จากการเดินสำรวจด้วยตาเปล่าโครงการบ้านเอื้ออาทรประชาชนิเวณ (อาคารที่ 22) ผู้สำรวจพบว่า

1) รอยต่อเพดานชั้น 5 อาคาร 22 พบเห็นรอยร้าวบริเวณรอยต่อ ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ปัญหาการร้าวของรอยต่อเพดานชั้น 5 (อาคาร 22)

2) ปัญหาการร้าวผนังบริเวณ โถงบันไดชั้น 5 ลงชั้น 4 มีรอยร้าวเห็นคราบน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ปัญหาการร้าวซึมรอยต่อผนังบริเวณ โถงบันไดชั้น 5 ลงชั้น 4 (อาคาร 22)

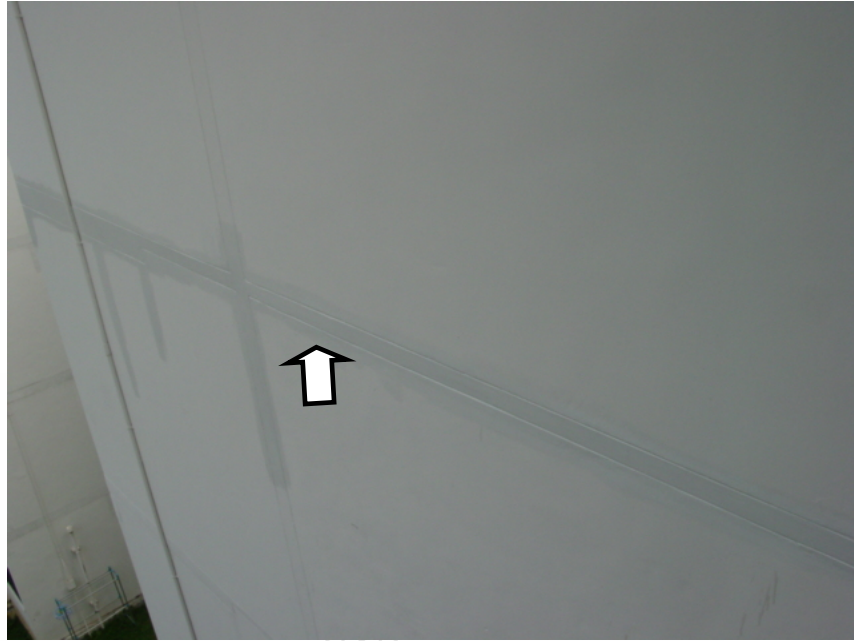
3) ภายในห้องเลขที่ 112/60 อาคาร 22 กระเบื้องพื้นเกิดการโก่งตัวของแนวยาร่องแผ่นกระเบื้อง ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นภายในห้องนอนเท่านั้น ห้องน้ำและชายระเบียงยังไม่เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ปัญหาการ โก่งตัวของพื้นกระเบื้อง (อาคาร 22 ห้อง112/60)

4.2.3.2 ความเสียหายภายนอกอาคาร

1) อาคาร 22 ผนังด้านหลังตัวอาคารมีรอยร้าวซึมตามรอยต่อ (มีการซ่อมแซมแล้ว) ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ในขณะที่ด้านหน้าของอาคาร เกิดปฏิกิริยาไฟไรต์ เกิดเป็นจุดสนิมเห็นได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามความเสียหายที่พบมีจำนวนค่อนข้างน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.20 ปัญหาการรื้อซึมตามรอยต่อบริเวณผนังด้านหลังตัวอาคาร (อาคาร 22)



รูปที่ 4.21 ปัญหาการเกิดปฏิกิริยาไฟไรต์ (อาคาร 22)

2) อาคาร 22 หลังคาห้องปั๊มน้ำเกิดรอยร้าวและมีน้ำรั่วซึมเข้าด้านในห้อง ซึ่งปัญหาดังกล่าวได้รับการแก้ไขแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ปัญหาหลังคาห้องปั้มน้ำเกิดรอยร้าวและมีน้ำรั่วซึม (อาคาร 22)

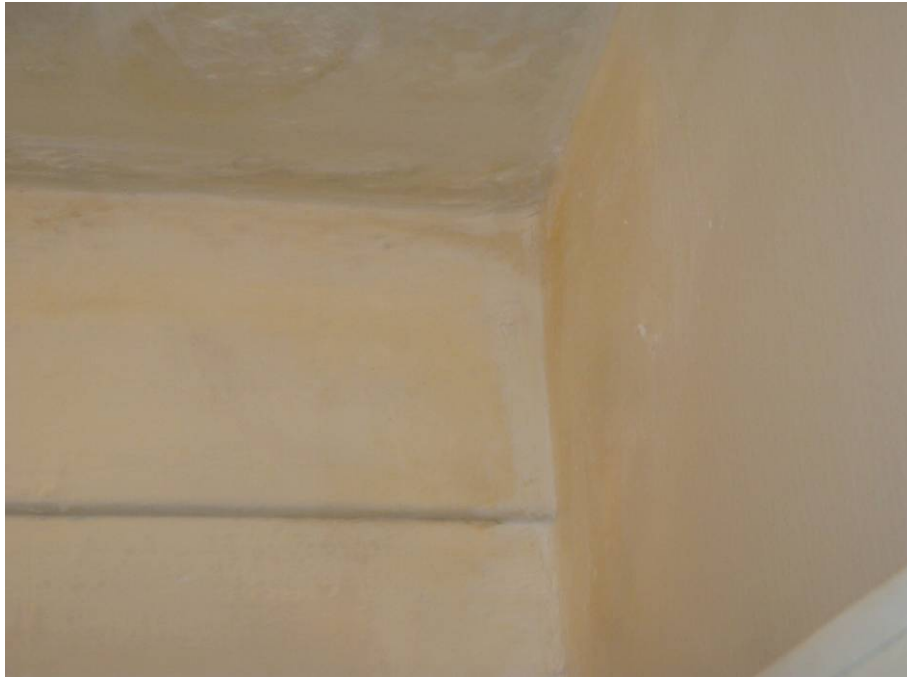


4.2.4 โครงการบ้านเอื้ออาทรปทุมธานี (บ้านฉาง)

4.2.4.1 ความเสียหายภายในอาคาร

จากการอ้างอิงข้อมูลที่ได้จากเจ้าหน้าที่ดูแลโครงการและตัดสินใจดำเนินการสำรวจอาคารทั้งหมดคือ อาคารที่ 19, 20 และ 24 พบความเสียหายดังต่อไปนี้

- 1) อาคารที่ 19 ห้อง 75/11 เกิดปัญหาน้ำรั่วซึมจากห้องน้ำชั้นบน ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ปัญหาน้ำรั่วซึมจากห้องน้ำชั้นบนภายในห้อง 75/11 (อาคาร 19)

- 2) อาคาร 20 ห้อง 76/13 เกิดปัญหาการอุด joint ด้วยโฟม ดังแสดงในรูป 4.24



รูปที่ 4.24 ปัญหาช่องว่างที่เกิดจากการอุด joint ด้วยโฟม (อาคาร 20 ห้อง 76/13)

3) อาคาร 20 เกิดปัญหารอยน้ำรั่วซึมตาม joint บริเวณชานพักบันไดขึ้นชั้น 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 ปัญหาการรั่วซึมตาม joint บริเวณชานพักบันไดขึ้นชั้น 2 (อาคาร 20)

4.2.4.2 ความเสียหายภายนอกอาคาร

1) อาคาร 19 เกิดปัญหารอยร้าวระหว่างรอยต่อผนังด้านนอก (มีการซ่อมแซมแล้ว) ดังแสดง
ในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ปัญหารอยร้าวระหว่างรอยต่อผนังด้านนอก (มีการซ่อมแซมแล้ว) (อาคาร19)



4.3 รายงานผลสำรวจความเสียหายอาคารตัวอย่างที่สร้างโดยระบบเทในที่ (เคหะชุมชน)

สำหรับโครงสร้างตัวอย่างที่ก่อสร้างด้วยระบบเทในที่ (Cast-in-place) ได้ดำเนินการตรวจสอบสำรวจความเสียหาย โครงการเคหะชุมชนนวนคร โครงการเคหะชุมชนหลักสี่ โครงการเคหะชุมชนดินแดงใหม่ ระยะ 1 เคหะชุมชนคลองเตย ระยะ 1 และ 2 รวมทั้งโครงการเคหะชุมชนพญา 2 ระยะ 1 ซึ่งมีรายละเอียดความเสียหายที่พบดังต่อไปนี้

4.3.1 โครงการเคหะชุมชนนวนคร

4.3.1.1 ความเสียหายภายในอาคาร

จากการอ้างอิงข้อมูลที่ได้จากเจ้าหน้าที่ดูแลโครงการและตัดสินใจดำเนินการสำรวจอาคารทั้งหมดคือ อาคารที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่ามีปัญหาความเสียหายที่คล้ายคลึงกันดังต่อไปนี้

1) อาคาร 4 หน้าห้อง 51/148 และห้อง 51/187 พบปัญหาการแตกร้าวและการหลุดร่อนของชั้นปูนฉาบบริเวณส่วนต่อคาน ดังแสดงในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ปัญหาการแตกร้าวและการหลุดร่อนของชั้นปูนฉาบบริเวณส่วนต่อคาน (อาคาร 4 หน้าห้อง 51/148)

2) อาคาร 4 เกิดปัญหาการร่อนแตกร้าวของคานที่ช่องปล่องขยะ ดังแสดงในรูปที่ 4.28

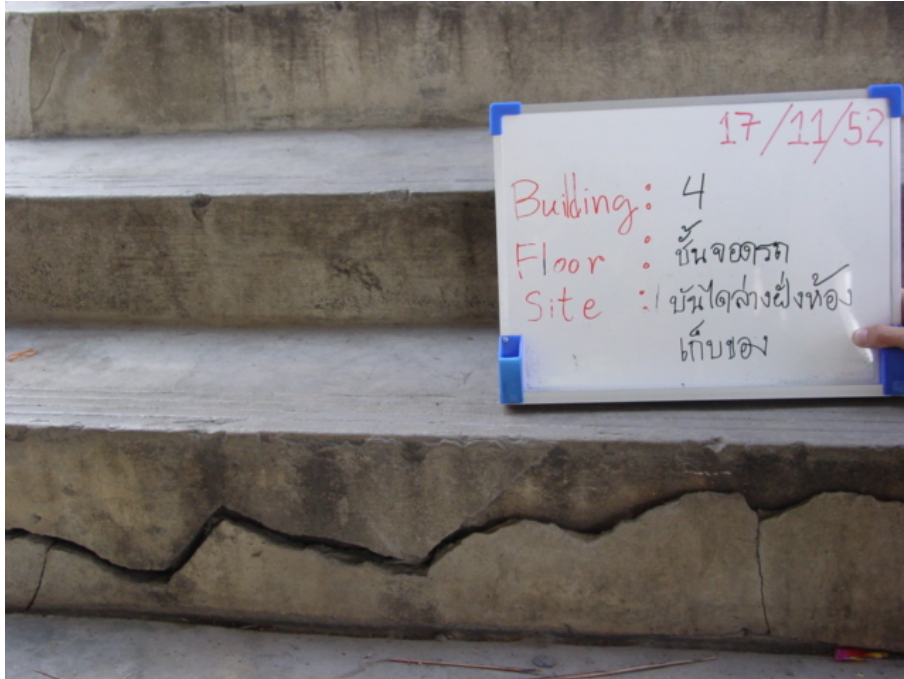


รูปที่ 4.28 ปัญหารอยแตกร้าวของคานที่ช่องปล่องขยะ (อาคาร 4)

- 3) อาคาร 4 เกิดปัญหาน้ำรั่วซึมทางเดินท่อใต้อาคาร ดังแสดงในรูปที่ 4.29
- 4) ปัญหารอยร้าวการทรุดตัวของทางเดินบันได (อาคาร 4) ดังแสดงในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.29 ปัญหาน้ำรั่วซึมทางเดินท่อใต้อาคาร (อาคาร 4)



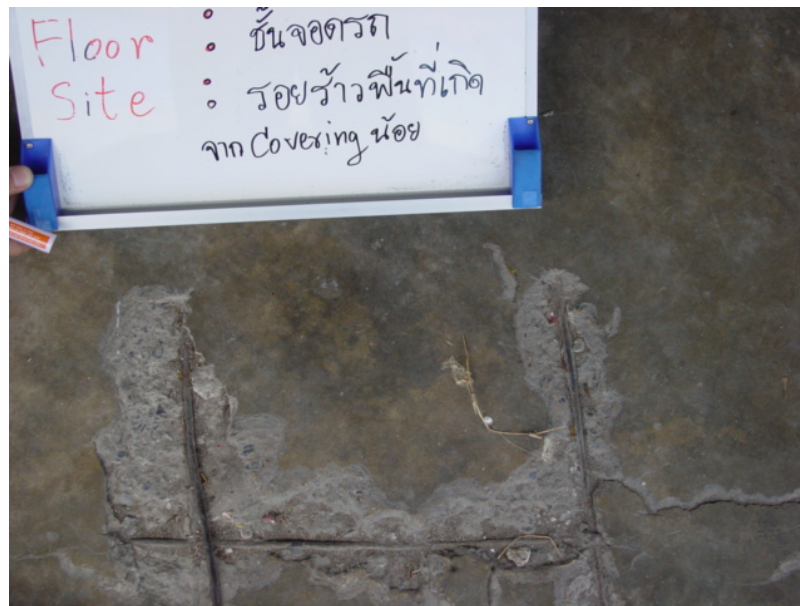
รูปที่ 4.30 ปัญหาการร้าวการทรุดตัวของทางเดินบันได (อาคาร 4)

5) อาคาร 3 เกิดปัญหาการแตกร้าวและการหลุดร่อนของชั้นปูนฉาบบริเวณส่วนต่อคานดิ่ง
แสดงในรูป 4.31



รูปที่ 4.31 ปัญหาคานเกิดรอยแตกร้าว (อาคาร 3 ชั้น 2)

6) อาคาร 2 เกิดปัญหาพื้นชั้นจอดรถเกิดการกะเทาะเห็นเหล็กเสริม ดังแสดงในรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 ปัญหาพื้นชั้นจอดรถเกิดการกะเทาะเห็นเหล็กเสริม (อาคาร 2)



4.3.2 โครงการเคหะชุมชนหลักสี่

4.3.2.1 ความเสียหายภายในอาคาร

จากการอ้างอิงข้อมูลที่ได้จากเจ้าหน้าที่ดูแลโครงการและตัดสินใจดำเนินการสำรวจ อาคารที่ 5, 9, 13, และ 14 ในโครงการเคหะชุมชนหลักสี่ และพบความเสียหายดังต่อไปนี้

1) อาคารที่ 5 เกิดปัญหาคราบไล่น้ำที่รั่วซึมเข้าสู่กำแพงด้านในตัวอาคารบริเวณผนังโถงบันไดดังแสดงในรูป 4.33



รูปที่ 4.33 ปัญหาคราบไล่น้ำที่รั่วซึมบริเวณผนังโถงบันได (อาคาร 5)

2) อาคาร 5 เกิดปัญหารอยแตกร้าวระหว่างคานและผนัง บริเวณโถงบันไดฝั่งตะวันตกชั้น 3 ดังแสดงในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 ปัญหารอยแตกร้าวระหว่างคานและผนัง (อาคาร 5)

3) อาคาร 9 เกิดปัญหารอยร้าวชั้นปูนฉาบบริเวณเพดานชานพักบันไดขึ้นชั้น 4 ดังแสดงในรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 ปัญหารอยร้าวชั้นปูนฉาบบริเวณเพดานชานพักบันไดขึ้นชั้น 4 (อาคาร 9)

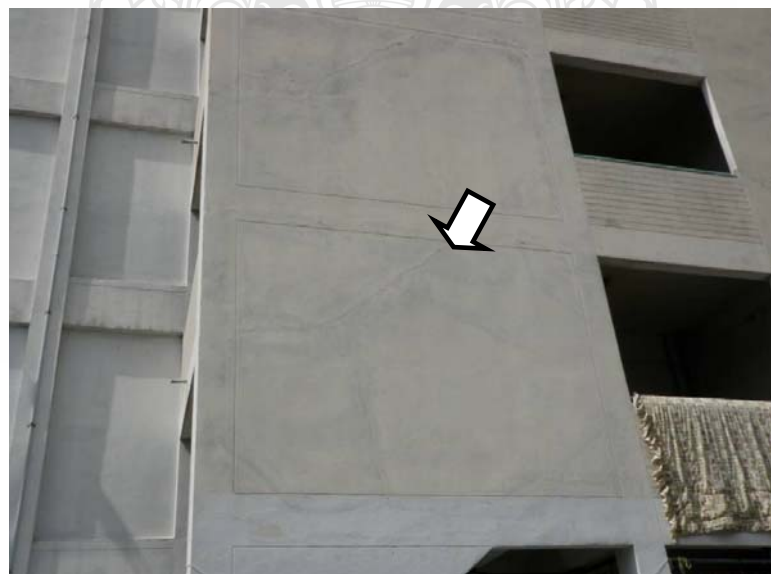
4) อาคารที่ 14 เกิดปัญหา รอยร้าวมุมผนังบริเวณปล่องขยะ ดังแสดงในรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 ปัญหา รอยร้าวมุมผนังบริเวณปล่องขยะ (อาคาร 14)

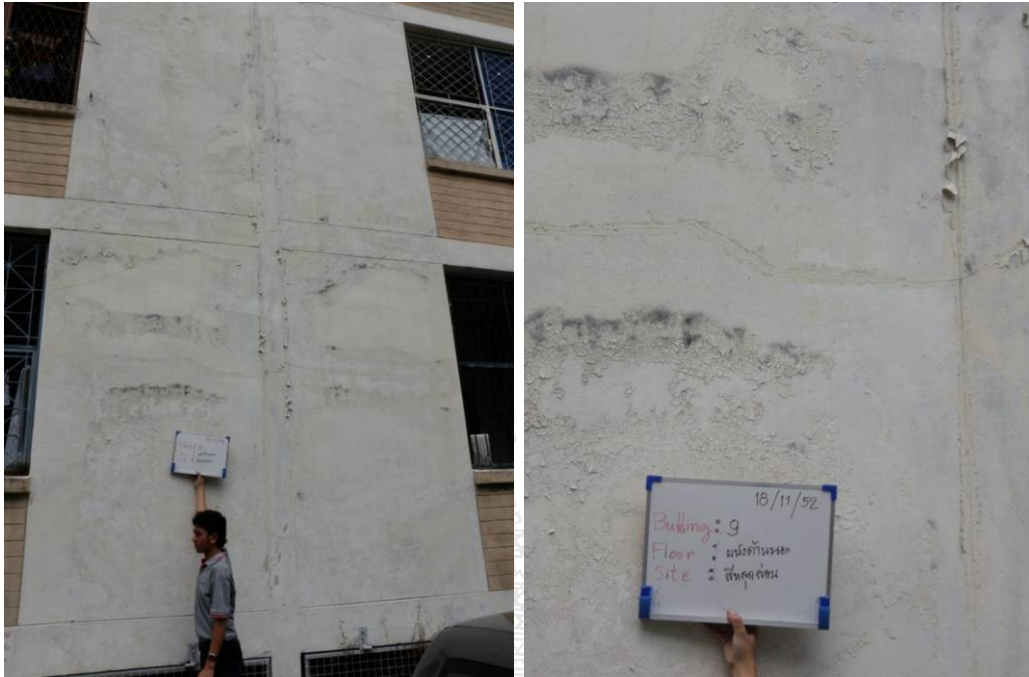
4.3.2.2 ความเสียหายภายนอกอาคาร

1) อาคารที่ 5 เกิดปัญหา รอยแตกร้าวผนังด้านนอกบริเวณบันไดหนีไฟฝั่งตะวันออก ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นกับผนังทั้งแผ่น ดังแสดงในรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 ปัญหา รอยแตกร้าวผนังด้านนอกบริเวณบันไดหนีไฟฝั่งตะวันออก (อาคาร 5)

2) อาคารที่ 9 เกิดปัญหาสีผนังด้านนอกหลุดร่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 ปัญหาสีผนังด้านนอกหลุดร่อน (อาคาร 9)

3) อาคารที่ 14 เกิดปัญหาผนังด้านนอกเกิดรอยแตกถายางของชั้นปูนฉาบ ดังแสดงในรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 ปัญหาผนังด้านนอกเกิดรอยแตกถายางของชั้นปูนฉาบ (อาคาร 14)

4.3.3 โครงการเคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1

4.3.3.1 ความเสียหายภายในอาคาร

จากการอ้างอิงข้อมูลที่ได้จากเจ้าหน้าที่ดูแลโครงการและตัดสินใจดำเนินการสำรวจอาคารทั้งหมดคือ อาคารที่ 1, อาคารที่ 4 และ อาคารที่ 8 พบความเสียหายดังต่อไปนี้

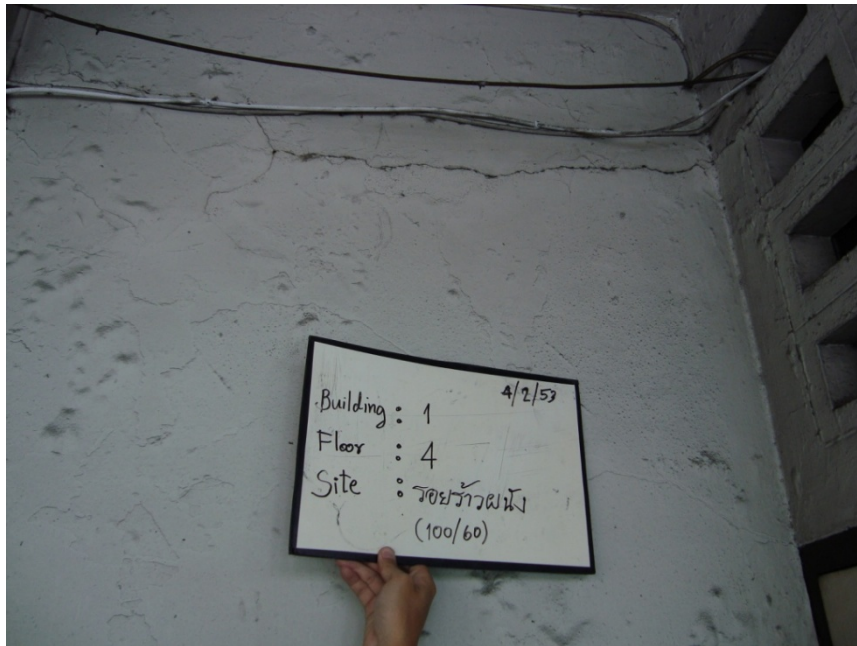
- 1) อาคาร 1 ชั้นที่ 4 เกิดปัญหาผนังบริเวณโถงบันไดเคาะรอยร้าว ดังแสดงในรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 ปัญหาผนังบริเวณ โถงบันไดร้าว (อาคาร 1 ชั้น 4)



2) อาคาร 1 ชั้น 4 หน้าห้อง 100/60 เกิดปัญหาผนังเกิดรอยร้าว ดังแสดงในรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.41 ปัญหาผนังเกิดรอยร้าว (อาคาร 1 หน้าห้อง 100/60)

3) อาคาร 1 ชั้น 4 หน้าห้อง 100/65 เกิดปัญหาชั้นปูนฉาบหลุดร่อนบริเวณกันสาด ดังแสดงในรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 ปัญหาชั้นปูนฉาบหลุดร่อนบริเวณกันสาด (อาคาร 1 หน้าห้อง 100/65)

4) อาคาร 4 ชั้น 4 หน้าห้อง 103/64 เกิดปัญหาสีปูนฉาบหลุดร่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.43

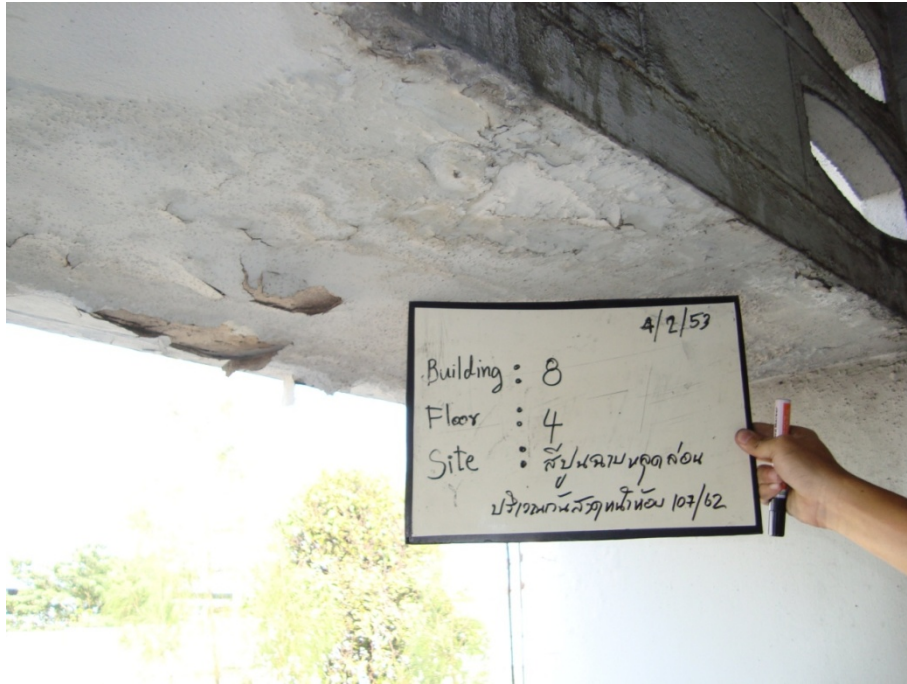


รูปที่ 4.43 ปัญหาสีปูนฉาบหลุดร่อน (อาคาร 4 หน้าห้อง 103/64)

5) อาคาร 8 ชั้น 4 หน้าห้อง 107/ 62 เกิดปัญหาผนังปูนฉาบเกิดรอยร้าวและปัญหาสีปูนฉาบหลุดร่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.44 และ 4.45 ตามลำดับ



รูปที่ 4.44 ปัญหาผนังปูนฉาบเกิดรอยร้าว (อาคาร 8 ชั้น 4 หน้าห้อง 107/62)



รูปที่ 4.45 ปัญหาสีปูนฉาบหลุดร่อน (อาคาร 8 ชั้น 4 หน้าห้อง 107/62)

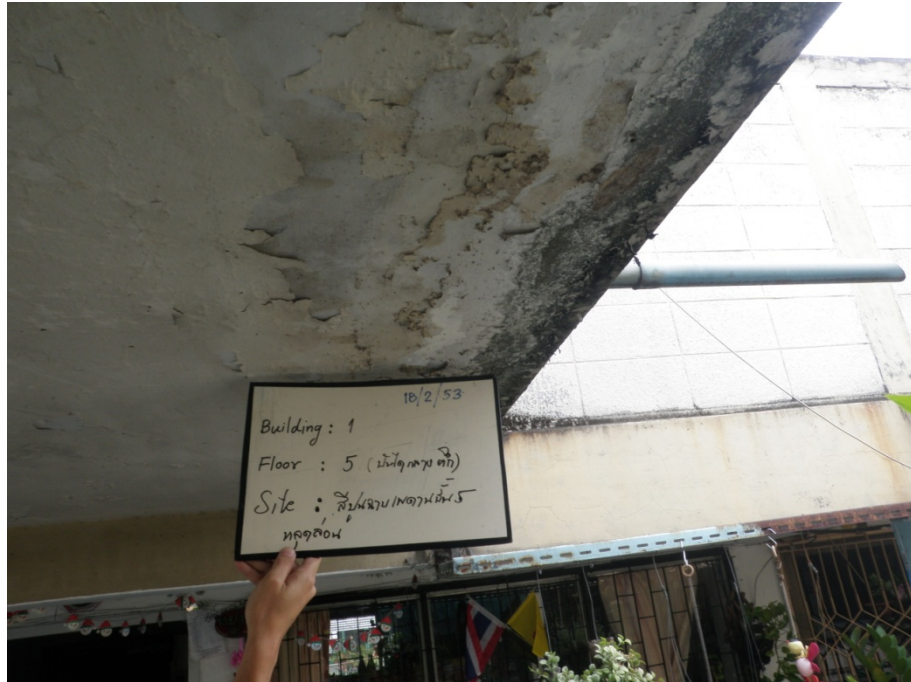


4.3.4 โครงการเคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 1

4.3.4.1 ความเสียหายภายในอาคาร

จากการอ้างอิงข้อมูลที่ได้จากเจ้าหน้าที่ดูแลโครงการและตัดสินใจดำเนินการสำรวจอาคารที่ 1 และอาคารที่ 9 พบความเสียหายดังต่อไปนี้

1) อาคาร 1 ชั้น 5 เกิดปัญหาสีปูนฉาบเพดานหลุดร่อนบริเวณบันไดกลางตึก ดังแสดงในรูปที่ 4.46



รูปที่ 4.46 ปัญหาสีปูนฉาบเพดานหลุดร่อน (อาคาร 1 ชั้น 5)

2) อาคาร 1 ชั้น 5 หน้าห้อง 135/203 เกิดปัญหาที่ท้องพื้นชั้น 5 กะเทาะเห็นเหล็กเสริมเกิดสนิม ดังแสดงในรูปที่ 4.47

3) อาคาร 1 ชั้น 4 ปล่องขยะทิศตะวันตก เกิดปัญหาคานกะเทาะเห็นเหล็กเสริมขึ้นสนิม ดังแสดงในรูปที่ 4.48

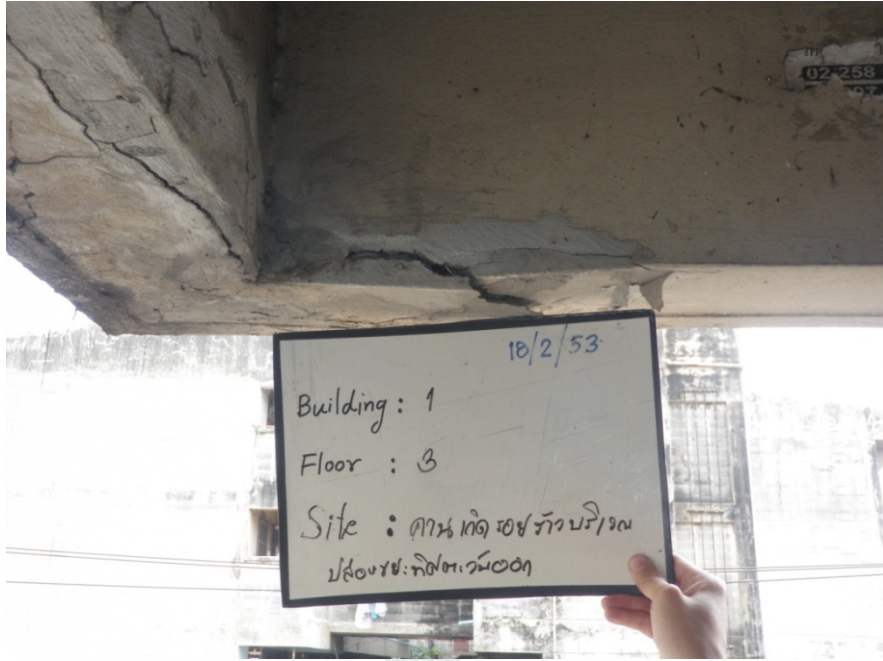


รูปที่ 4.47 ปัญหาท้องพื้นชั้น 5 กะเทาะเห็นเหล็กเสริมเกิดสนิม (อาคาร 1 หน้าห้อง 135/203)



รูปที่ 4.48 ปัญหาคานกะเทาะเห็นเหล็กเสริมขึ้นสนิม (อาคาร 1 ชั้น 4 ปล่องขยะทิศตะวันตก)

4) อาคาร 1 ชั้น 3 เกิดปัญหาคานร้าวบริเวณปล่องขยะทิศตะวันออก ดังแสดงในรูปที่ 4.49



รูปที่ 4.49 ปัญหาคาน้ำร้อน (อาคาร 1 ชั้น 3 ฝั่งปล่องขยะที่สะอาดวันออก)

5) อาคาร 9 ชั้น 2 ฝั่งบันไดทิศตะวันตก รูปที่ 4.50 เกิดปัญหาทับหลังกำแพงทางเดินกะเทาะ เห็นเหล็กเสริมขึ้นสนิม



รูปที่ 4.50 ปัญหาทับหลังกำแพงทางเดินกะเทาะเห็นเหล็กเสริมขึ้นสนิม (อาคาร 9 ชั้น 2 ฝั่งบันไดตะวันตก)

4.3.4.2 ความเสียหายภายนอกอาคาร

1) อาคาร 1 เกิดปัญหากันสาดที่หน้าต่างเกิดการกะเทาะเห็นเหล็กเสริมเกิดสนิม ดังแสดงในรูปที่ 4.51



รูปที่ 4.51 ปัญหากันสาดที่หน้าต่างเกิดการกะเทาะเห็นเหล็กเสริมเกิดสนิม (อาคาร 1)



4.3.5 โครงการเคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2

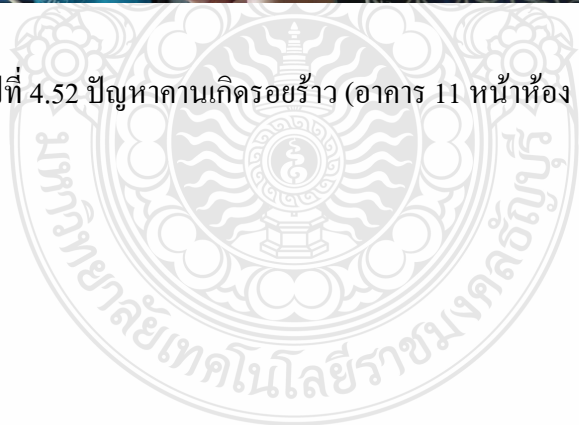
4.3.5.1 ความเสียหายภายในอาคาร

จากการอ้างอิงข้อมูลที่ได้จากเจ้าหน้าที่ดูแลโครงการและตัดสินใจดำเนินการสำรวจอาคารทั้งหมดคือ อาคารที่ 11, 14 และ 18 พบความเสียหายดังต่อไปนี้

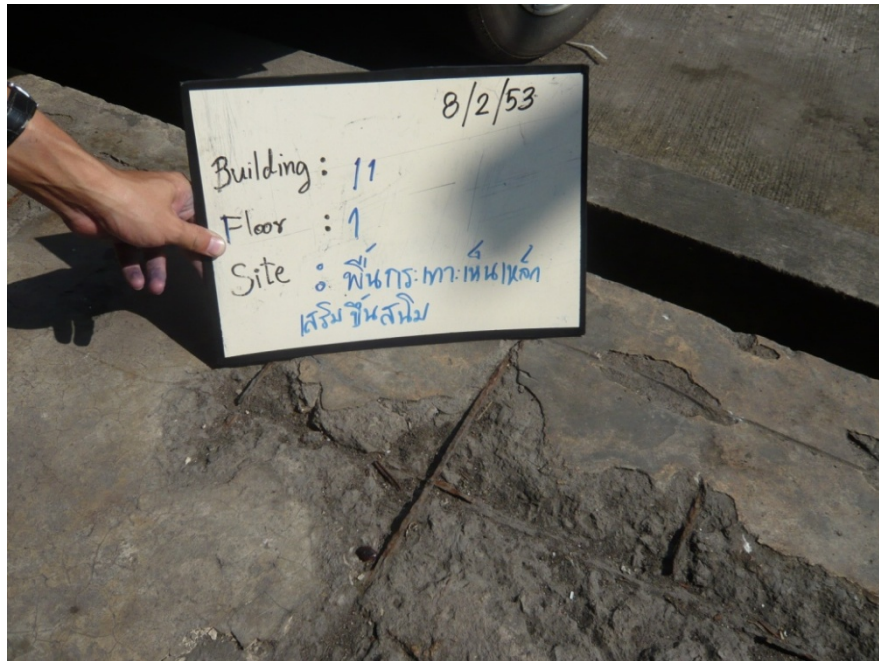
- 1) อาคาร 11 ชั้น 4 เกิดปัญหาคานเกิดรอยร้าวหน้าห้อง 11/108 ดังแสดงในรูปที่ 4.52



รูปที่ 4.52 ปัญหาคานเกิดรอยร้าว (อาคาร 11 หน้าห้อง 11/108)



2) อาคาร 11 ชั้น 1 เกิดปัญหาพื้นระเบียงกะเทาะเห็นเหล็กเสริมชั้นสนิม ดังแสดงในรูปที่ 4.53



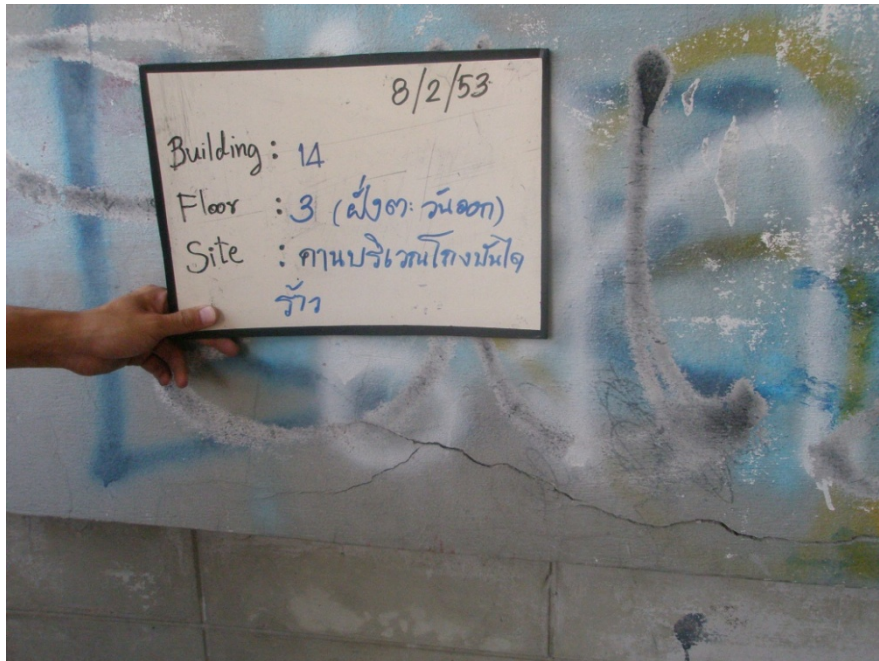
รูปที่ 4.53 ปัญหาพื้นระเบียงกะเทาะเห็นเหล็กเสริมชั้นสนิม (อาคาร 11 ชั้นที่ 1)

3) อาคาร 14 ชั้น 5 หน้าห้อง 14/141 เกิดปัญหาเสาเอ็นกะเทาะเห็นเหล็กเสริม ดังแสดงในรูปที่ 4.54



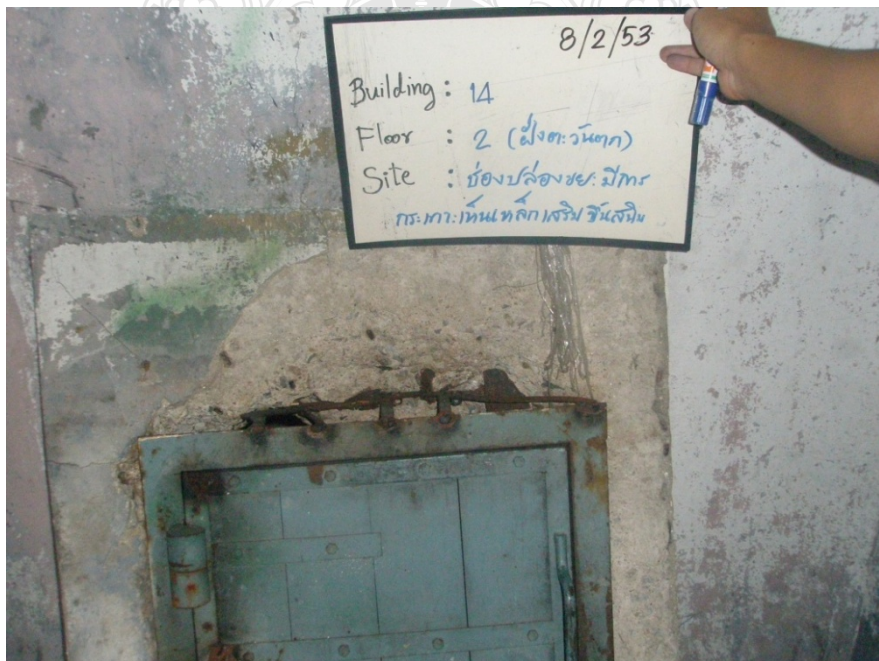
รูปที่ 4.54 ปัญหาเสาเอ็นกะเทาะเห็นเหล็กเสริม(อาคาร 14 หน้าห้อง 14/141)

4) อาคาร 14 ชั้น 3 เกิดปัญหาคานบริเวณ โถงบันไดทิศตะวันออกเกิดรอยร้าว ดังแสดงในรูปที่ 4.55



รูปที่ 4.55 ปัญหาคานบริเวณ โถงบันไดเกิดรอยร้าว (อาคาร 14 ชั้น 3 ฝั่งต: วนออก)

5) อาคาร 14 ชั้น 2 เกิดปัญหาปล่องขยะทิศตะวันตกกะเทาะเห็นเหล็กเสริมขึ้นสนิม ดังแสดงในรูปที่ 4.56



รูปที่ 4.56 ปัญหาปล่องขยะกะเทาะเห็นเหล็กเสริมขึ้นสนิม (อาคาร 14 ชั้น 2 ฝั่งต: วนตก)

6) อาคาร 14 ชั้น 2 เกิดปัญหาท้องพื้นชั้น 3 เกิดการกะเทาะเห็นเหล็กเสริมเกิดสนิม ดังแสดง
ในรูปที่ 4.57



รูปที่ 4.57 ปัญหาท้องพื้นชั้น 3 เกิดการกะเทาะเห็นเหล็กเสริมเกิดสนิม

4.3.5.2 ความเสียหายภายนอกอาคาร

1) อาคาร 11 ชั้น 5 เกิดปัญหารั่วผนังด้านนอกอาคารบริเวณบันไดทิศตะวันตก ดังแสดงใน
รูปที่ 4.58



รูปที่ 4.58 ปัญหารอยร้าวผนังด้านนอกอาคารบริเวณบันไดทิศตะวันตก (อาคาร 11 ชั้น 5)

2) อาคาร 18 เกิดปัญหาผนังปูนฉาบเกิดรอยร้าวแตกถายงา ดังแสดงในรูปที่ 4.59



รูปที่ 4.59 ปัญหาผนังปูนฉาบเกิดรอยร้าวแตกถายงา (อาคาร 18)

4.3.6 โครงการเคหะชุมชนพญา 2

4.3.6.1 ความเสียหายภายในอาคาร

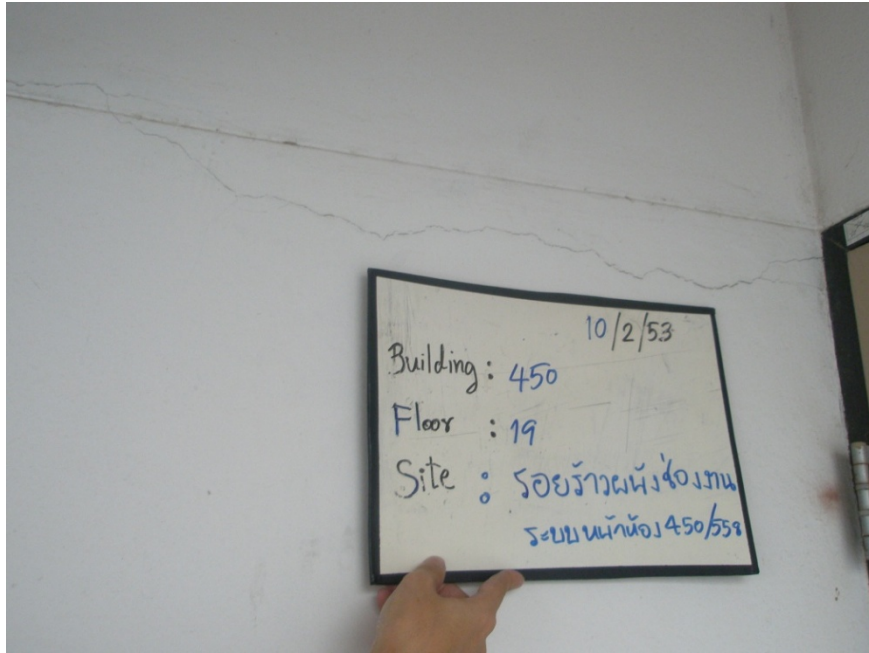
จากการอ้างอิงข้อมูลที่ได้จากเจ้าหน้าที่ดูแลโครงการและตัดสินใจดำเนินการสำรวจ อาคาร A (อาคาร 450), 1 และ 2 พบความเสียหายดังต่อไปนี้

1) อาคาร A ชั้น 19 เกิดปัญหารอยร้าวช่องงานระบบหน้าห้อง 450/574 ดังแสดงในรูปที่ 4.60



รูปที่ 4.60 ปัญหารอยร้าวช่องงานระบบหน้าห้อง 450/574 (อาคาร A ชั้น 19)

2) อาคาร A ชั้น 19 เกิดปัญหารอยร้าวช่องงานระบบหน้าห้อง 450/558 ดังแสดงในรูปที่ 4.61



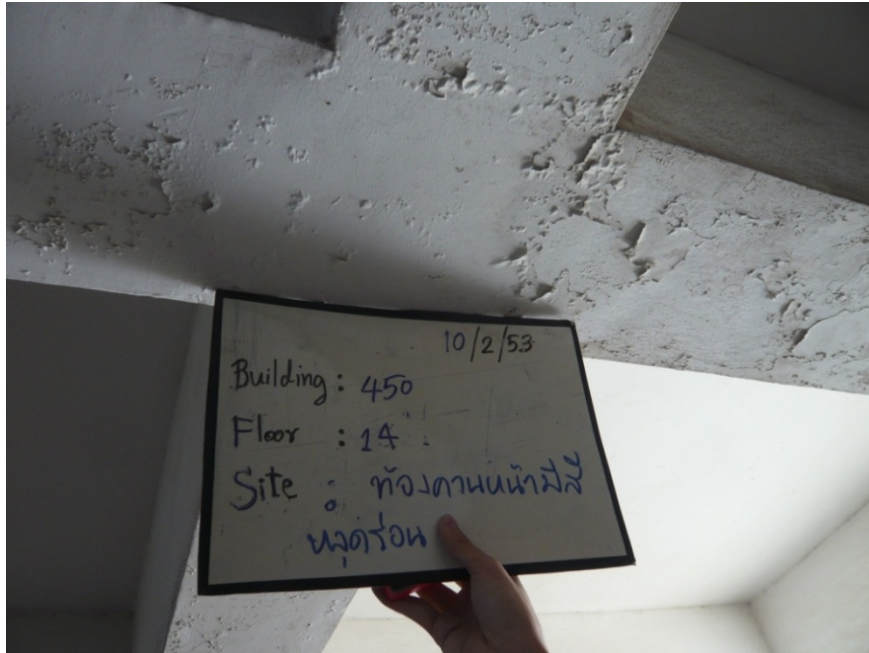
รูปที่ 4.61 ปัญหารอยร้าวช่องงานระบบหน้าห้อง 450/558 (อาคาร A ชั้น 19)

3) อาคาร A ชั้น 19 เกิดปัญหารอยร้าวช่องงานระบบหน้าห้อง 450/553 ดังแสดงในรูปที่ 4.62



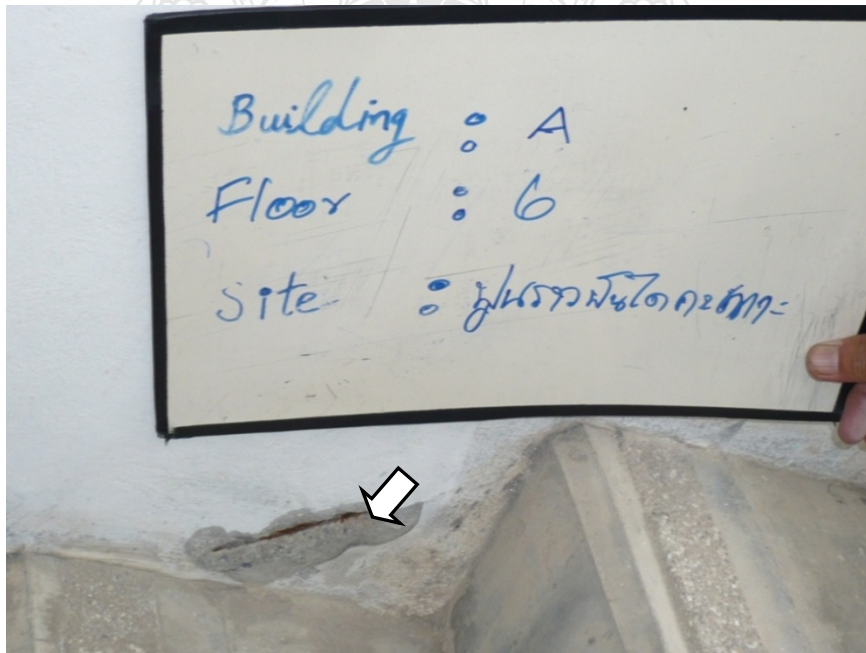
รูปที่ 4.62 ปัญหารอยร้าวช่องงานระบบหน้าห้อง 450/553 (อาคาร A ชั้น 19)

4) อาคาร A ชั้น 14 เกิดปัญหาท้องคานสีปูนฉาบหลุดร่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.63



รูปที่ 4.63 ปัญหาท้องคานสีปูนฉาบหลุดร่อน (อาคาร A ชั้น 14)

5) อาคาร A ชั้น 6 เกิดปัญหาผนังปูนราวจับไคกะเทาะเห็นเหล็กเสริมเกิดสนิม ดังแสดงในรูปที่ 4.64



รูปที่ 4.64 ปัญหาผนังราวบันไดกะเทาะ (อาคาร A ชั้น 6)

จากรูปที่ 4.2 ถึง 4.64 แสดงให้เห็นความเสียหายหลักๆที่ได้จากการตรวจสอบด้วยตาเปล่าของโครงสร้างบ้านเอื้ออาทรและเคหะชุมชนทั้ง 10 โครงการ สามารถแยกประเภทได้ดังตารางที่ 4.2 พบว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมากพอสมควร แต่ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้นำตัวแปรที่เป็นสาเหตุหลักๆมาทำการวิเคราะห์ อาทิเช่น สภาพสิ่งแวดล้อม กระบวนการก่อสร้าง ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก ปฏิบัติทางเคมีที่มีผลต่อความคงทนของคอนกรีต เป็นต้น ซึ่งสาเหตุเหล่านี้แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สาเหตุและลักษณะความเสียหายที่พบใน โครงสร้างบ้านเอื้ออาทรและเคหะชุมชน

โครงสร้างบ้านเอื้ออาทร (ชั้นส่วนสำเร็จ)	
ลักษณะความเสียหาย	สาเหตุ
 <p>การกะเทาะของผิวคอนกรีตเห็นเหล็กเสริมเกิดสนิม</p>	<p>ปัญหาเกิดสนิมของเหล็กเสริม เนื่องจากจากระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กที่จุดนั้นไม่เพียงพอ</p>
 <p>ผิวคอนกรีตเกิดสนิมเป็นจุดๆ</p>	<p>ปัญหานี้เป็นปฏิกิริยาไฟไรต์ ซึ่งมีส่วนผสมของหินที่นำมาผสมคอนกรีตมีแร่ธาตุเหล็กผสมอยู่ เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำและความชื้นที่พอเหมาะก็จะแสดง ความเสียหายเป็นจุดสนิมขึ้น</p>

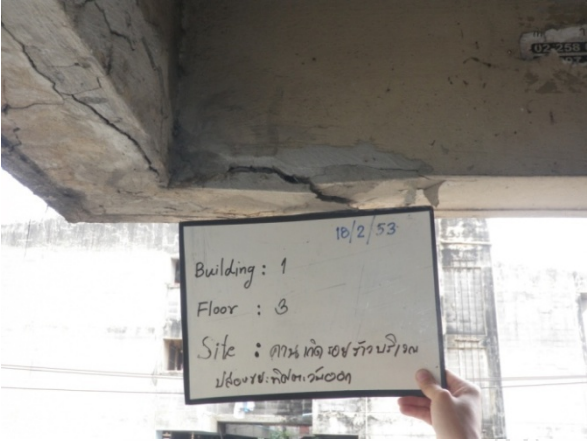

ตารางที่ 4.2 สาเหตุและลักษณะความเสียหายที่พบในโครงสร้างบ้านอ้ออาหารและเคหะชุมชน (ต่อ)

ลักษณะความเสียหาย	สาเหตุ
 <p data-bbox="475 853 699 891">การหลุดร่อนของดี</p>	<p data-bbox="922 367 1318 584">ปัญหานี้เกิดเนื่องจากสීමคสภาพอายุการใช้งาน โดยเฉพาะโครงสร้างภายนอกที่ต้องสัมผัสกับสภาพแวดล้อมโดยตรง</p>
 <p data-bbox="316 1384 858 1435">กระเบื้องปูพื้นล่อน/การโก่งตัวของพื้นกระเบื้อง</p>	<p data-bbox="922 965 1318 1182">ปัญหานี้เกิดเนื่องจากการโก่งตัวของโครงสร้าง ตลอดจนสภาพอากาศที่มีผลต่อการหดตัวของคอนกรีต</p>
 <p data-bbox="411 1944 762 1995">นำรั้วซึมตามรอยต่อโครงสร้าง</p>	<p data-bbox="922 1503 1318 1608">ปัญหานี้เกิดเนื่องจากรอยต่อโครงสร้างอาคารเกิดรอยร้าว</p>

ตารางที่ 4.2 สาเหตุและลักษณะความเสียหายที่พบในโครงสร้างบ้านอ้ออาหารและเคหะชุมชน (ต่อ)

ลักษณะความเสียหาย	สาเหตุ
 <p>ปัญหาสิ่งแปลกปลอมในโครงสร้าง (เช่น แผ่นโฝมหรือไม้)</p>	<p>ปัญหานี้เกิดเนื่องจากความผิดพลาดของผู้ก่อสร้างและผู้ควบคุมงาน</p>
<p>โครงสร้างเคหะชุมชน (หล่อในที่)</p>	
ลักษณะความเสียหาย	สาเหตุ
 <p>การแตกร้าวและแตกลายงาของผิวอาคารด้านนอก</p>	<p>ปัญหานี้เกิดเนื่องจากการหัดตัวของคอนกรีตภายใต้การยึดรั้ง</p>
 <p>การหลุดร่อนของชั้นปูนฉาบ</p>	<p>ปัญหานี้เกิดเนื่องจากปูนฉาบเสื่อมสภาพอายุการใช้งาน</p>

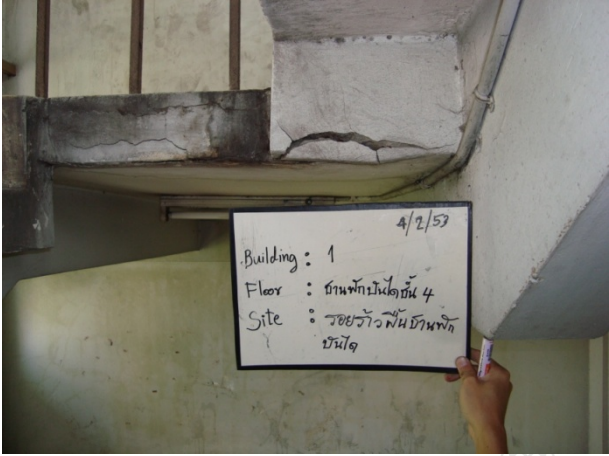
ตารางที่ 4.2 สาเหตุและลักษณะความเสียหายที่พบในโครงสร้างบ้านอ้ออาหารและเคหะชุมชน (ต่อ)

ลักษณะความเสียหาย	สาเหตุ
 <p>การกะเทาะของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม</p>	<p>ปัญหานี้เกิดเนื่องจากเหล็กเสริมเกิดสนิม</p>
 <p>การหลุดร่อนของสี</p>	<p>ปัญหานี้เกิดเนื่องจากสීමมดสภาพอายุการใช้งาน</p>
 <p>น้ำฝนรั่วซึมเข้าในอาคาร</p>	<p>ปัญหานี้เกิดเนื่องจากรอยต่อโครงสร้างอาคารเกิดรอยร้าว และโครงสร้างมีช่องเปิดที่เสี่ยงต่อการโดนฝนสาด</p>

ตารางที่ 4.2 สาเหตุและลักษณะความเสียหายที่พบใน โครงสร้างบ้านอ้ออาทรและเคหะชุมชน (ต่อ)

ลักษณะความเสียหาย	สาเหตุ
 <p data-bbox="435 813 738 848">การแตกร้าวของโครงสร้าง</p>	<p data-bbox="922 376 1315 757">ปัญหานี้แสดงตัวอย่างการแตกร้าวของผนังอันเนื่องมาจากการทรุดตัวของไม้เท้ากันของผนังด้านซ้ายและผนังด้านขวา โดยรอยร้าวมักจะเป็นแนวทแยง โดยในกรณีนี้เป็นผนังด้านซ้ายที่ทรุดตัวมากกว่า</p>
 <p data-bbox="435 1384 738 1420">การแตกร้าวของโครงสร้าง</p>	<p data-bbox="922 920 1315 1375">ปัญหานี้เกิดขึ้นเนื่องมาจากคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกใน โครงสร้างเกิดการแอ่นตัวแต่ยังมีผนังคอนกรีตรองรับอยู่ข้างล่าง ด้วยเหตุนี้จึงถ่ายแรงไปยังผนัง แต่ผนังนั้นไม่ได้รับการออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวจึงเกิดการแตกร้าว</p>
 <p data-bbox="435 1977 738 2013">การแตกร้าวของโครงสร้าง</p>	<p data-bbox="922 1480 1315 1984">ปัญหานี้เป็นการแตกร้าวเนื่องจากมีแรงเสียดใน โครงสร้างมากเกินไป ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุเช่น การที่น้ำหนักบรรทุกมากเกินไป การที่ไม่ได้ใส่เหล็กปลอกตามแบบ หรือการทรุดตัวของ โครงสร้าง โดยจะต้องมีการตรวจสอบละเอียดเพิ่มเติมก่อนทำการสรุปสาเหตุที่แท้จริง</p>

ตารางที่ 4.2 สาเหตุและลักษณะความเสียหายที่พบใน โครงสร้างบ้านอื้ออาทรและเคหะชุมชน (ต่อ)

ลักษณะความเสียหาย	สาเหตุ
 <p data-bbox="435 831 738 869">การแตกร้าวของโครงสร้าง</p>	<p data-bbox="922 315 1313 813">ปัญหานี้เป็นอีกจุดหนึ่งในโครงสร้างที่สามารถพบรอยร้าวอันเนื่องมาจากเหล็กเสริมเป็นสนิมคือบันได โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารที่ฝนสามารถสาตเข้ามายังทางเดินได้ น้ำฝนที่สาตเข้ามาจะไหลลงมาตามขอบบันได และสามารถทำให้เหล็กเสริมในบริเวณดังกล่าวเกิดสนิมได้</p>

4.4 สรุปสภาพความเสียหายที่พบ

4.4.1 ความเสียหายที่พบในอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จ (Precast)

ตารางที่ 4.3 สรุปสภาพความเสียหายที่พบจากการสำรวจโครงสร้างอาคารตัวอย่างของโครงการบ้านอื้ออาทรจำนวน 4 โครงการ ได้แก่ โครงการบ้านอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 โครงการบ้านอื้ออาทรบึงกุ่ม โครงการบ้านอื้ออาทรประชานิเวศน์ และโครงการบ้านอื้ออาทรปทุมธานี (บ้านฉาง) จะสังเกตเห็นได้ว่าปัญหาส่วนใหญ่ที่พบของโครงสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จนั้นเป็นปัญหาเกี่ยวกับการรั่วซึมของน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการใช้งานโครงสร้างและอาจจะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างส่วนที่สัมผัสกับน้ำ

นอกจากนี้ยังไม่พบปัญหาเกี่ยวกับการแตกร้าวหรือการเกิดสนิมที่รุนแรงในตัวอย่างโครงสร้างระบบที่ได้ทำการตรวจสอบไปแล้ว ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจจะเป็นเพราะตัวอย่างโครงสร้างระบบชิ้นส่วนสำเร็จ ในความดูแลของการเคหะแห่งชาติทั้งหมดนั้นยังมีอายุค่อนข้างน้อย (<10 ปี) ปัญหาเกี่ยวกับความคงทนที่พบเห็นบ่อยสุดระหว่างการตรวจสอบคือการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาของไฟรต์ (พบใน 3 โครงการจาก 4 โครงการ) อย่างไรก็ตามการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาของไฟรต์นั้นส่งผลกระทบต่อบริเวณผิวของคอนกรีตซึ่งมีผลต่อกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างน้อยมาก

ตารางที่ 4.3 สรุปสภาพความเสียหายที่พบในโครงการที่สร้างด้วยระบบ Precast (บ้านเอื้ออาทร)

ความเสียหายที่พบ/โครงการ	รังสีตลวง 1	บึงกลุ่ม	ประขานิเวศน์	ปทุมธานี (บ้านฉาง)
รอยต่อของโครงสร้างอาคารเกิดรอยร้าว	ปานกลาง	น้อย	น้อย	น้อย
น้ำรั่วซึมตามรอยต่อ	น้อย	น้อย	น้อย	น้อย
ปฏิกิริยาไฟไรต์	ปานกลาง	ปานกลาง	น้อย	-
เหล็กเสริมเกิดสนิม	น้อย	-	-	-
กระเบื้องปูพื้นล่อน/การโก่งตัวของพื้น กระเบื้อง	น้อย	-	น้อย	-
การหลุดร่อนของสี	-	น้อย	-	น้อย
ปัญหาสิ่งแปลกปลอมในโครงสร้าง (เช่นมี แผ่นโฟมหรือแผ่นไม้อยู่ในรอยต่อ)	-	-	-	น้อย

หมายเหตุ : น้อย หมายถึง จำนวนความเสียหายน้อยกว่า 15 จุด ในหนึ่งอาคาร

ปานกลาง หมายถึง จำนวนความเสียหายมากกว่า 15 จุดแต่น้อยกว่า 30 จุดในหนึ่งอาคาร

มาก หมายถึง จำนวนความเสียหายมากกว่า 30 จุดในหนึ่งอาคาร

4.4.2 ความเสียหายที่พบในอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบเทในที่ (Cast-in-place)

ตารางที่ 4.4 สรุปสภาพความเสียหายที่พบในการตรวจสอบ โครงสร้างที่สร้างด้วยระบบเทในที่ ซึ่งดำเนินการในโครงการเคหะชุมชนนวนนคร โครงการเคหะชุมชนหลักสี่ โครงการเคหะชุมชนดินแดง เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 1 เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2 และเคหะชุมชนพญา 2 ซึ่งในกรณีของอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบเทในที่ นี้จะพบปัญหาการแตกร้าวของโครงสร้าง การหลุดร่อนของชั้นปูนฉาบได้โดยทั่วไป และพบปัญหาการเกิดสนิมในบางส่วนของโครงสร้างได้อย่างชัดเจนคือในโครงการเคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 1 และ 2 ในขณะที่ปัญหาการรั่วซึมของน้ำในโครงสร้างนั้นจะมีอยู่บ้างแต่ระดับความรุนแรงจะน้อยกว่าปัญหาการรั่วซึมของน้ำที่พบในกรณีของอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จ

ตารางที่ 4.4 สรุปสภาพความเสียหายที่พบในโครงการที่สร้างด้วยระบบ Cast-in-place (เคหะชุมชน)

ความเสียหายที่พบ/โครงการ	นวนคร	หลักสี่	คลองเตย		ดินแดง		พญา	
			1	2	1	2		
การแตกร้าวในองค์อาคารรับแรง	น้อย	น้อย	ปาน กลาง	น้อย	ปาน กลาง	มาก		
การแตกร้าวของผิวอาคารด้านนอก	-	น้อย	น้อย	น้อย	-	น้อย		
การหลุดร่อนของชั้นปูนฉาบ	น้อย	-	-	น้อย	น้อย	-		
ปัญหาการเกิดสนิมและการกะเทาะ ของคอนกรีตหุ้มเหล็ก	น้อย	น้อย	มาก	มาก	น้อย	น้อย		
น้ำฝนรั่วซึมเข้าในอาคาร	น้อย	น้อย	-	น้อย	น้อย	น้อย		
การหลุดร่อนของสี	-	น้อย	น้อย	น้อย	น้อย	น้อย		

หมายเหตุ : น้อย หมายถึง จำนวนความเสียหายน้อยกว่า 15 จุด ในหนึ่งอาคาร

ปานกลาง หมายถึง จำนวนความเสียหายมากกว่า 15 จุดแต่น้อยกว่า 30 จุดในหนึ่งอาคาร

มาก หมายถึง จำนวนความเสียหายมากกว่า 30 จุดในหนึ่งอาคาร

การจำแนกระดับความเสียหายของแต่ละโครงการในตารางที่ 4.3 และ 4.4 นั้นเป็นการจำแนก
ระดับเฉลี่ยโดยให้ความสำคัญความเสียหายแต่ละจุดเท่ากัน และให้ความสำคัญกับจำนวนจุดที่เกิด
ความเสียหายเป็นตัวแปรหลักในการจำแนกระดับ อย่างไรก็ตามจากผลการตรวจสอบพบว่าความ
เสียหายที่รุนแรงมักจะอยู่ในอาคารที่มีจำนวนความเสียหายประเภทดังกล่าวมากด้วยเหตุนี้ การจำแนก
ระดับด้วยจำนวนจึงมีความสัมพันธ์ทางอ้อมกับความรุนแรงของความเสียหายแต่ละประเภทในแต่ละ
โครงสร้างด้วย

บทที่ 5

การทดสอบแบบไม่ทำลายและการเจาะเก็บตัวอย่าง วัฏระยะคาร์บอนเนชั่น

5.1 การประเมินกำลังอัดของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Schmidt Hammer)

จากการวัดค่าการสะท้อนเพื่อประเมินกำลังอัดของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก พบว่าค่าการสะท้อนที่วัดได้ของโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์ เคหะชุมชนนวนคร เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1 เคหะชุมชนดินแดง 3 เคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น) เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2 เคหะชุมชนห้วยขวางและเคหะชุมชนพญา 2 ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ถึง 5.9 ตามลำดับ มีการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

ในส่วนของโครงสร้างแบบชั้นสำเร็จคือ บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 และ ประชานิเวศน์ ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 50-55 ดังแสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ โดยมีค่ามากกว่าโครงสร้างแบบหล่อในที่คือ เคหะชุมชนนวนคร เคหะชุมชนดินแดง 3 เคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น) เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2 เคหะชุมชนห้วยขวางและเคหะชุมชนพญา 2 ซึ่งส่วนใหญ่แล้วค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 45-50 ยกเว้นเคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1 ที่มีค่าการกระจายตัวอยู่ในช่วง 25-30 ซึ่งต่ำกว่าทุกโครงการดังแสดงในรูปที่ 5.3 ถึง 5.9 ตามลำดับ

จากการกระจายตัวของค่า Rebound Number (ผลดังแสดงในภาคผนวก ก) สามารถคำนวณค่ากำลังอัดเฉลี่ยตามความสัมพันธ์ของสมการ (JSCE) [10] ได้ค่าดังตารางที่ 5.1 พบว่าค่ากำลังอัดเฉลี่ยของโครงสร้างชั้นสำเร็จมีค่ามากกว่าโครงสร้างหล่อในที่ซึ่งสอดคล้องกับค่าการกระจายตัว Rebound Number ทั้งนี้เนื่องจาก

1) อายุการใช้งานของ โครงสร้างที่แตกต่างกันคือ โครงสร้างอาคารในเขตกรุงเทพมหานคร เช่นเคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1 เคหะชุมชนดินแดง 3 เป็นต้น มีการก่อสร้างก่อน โครงสร้างอาคารในเขตปริมณฑลเช่นบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์ เป็นต้น ซึ่งมีผลทำให้คอนกรีตเกิดการเสื่อมสภาพมากกว่า โครงสร้างที่ก่อสร้างภายหลัง

2) สภาพแวดล้อมที่ต่างกันคือในเขตกรุงเทพมหานครมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้มข้นกว่าในเขตปริมณฑล ซึ่งมีผลทำให้คอนกรีตเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากสภาพแวดล้อมได้เร็วขึ้น

3) คุณภาพของคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างของระบบชั้นสำเร็จมีการควบคุมคุณภาพได้มาตรฐานกว่าระบบหล่อในที่ ซึ่งมีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตอยู่ในระดับที่สูงกว่า

แต่อย่างไรก็ตามกำลังอัดที่ได้จากความสัมพันธ์ของ (JSCE) ของโครงสร้างที่ทำการตรวจสอบทั้งหมด มีการใช้ค่าการกระจายตัวของ Rebound Number ที่ทดสอบโครงสร้าง 2 ลักษณะ คือ การกระจายตัวของ Rebound Number ที่ได้จากตัวโครงสร้างของปูนฉาบ และการกระจายตัวของ Rebound Number ที่ได้จากตัวโครงสร้างของคอนกรีตโดยตรง ซึ่งบางครั้งก็อาจจะทำให้การบ่งบอกผลด้านกำลังอัดและคุณภาพของคอนกรีตไม่ชัดเจนยิ่งขึ้น

ตารางที่ 5.1 กำลังอัดเฉลี่ยที่ได้จากความสัมพันธ์ Japan Society of Civil Engineers (JSCE) และ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

โครงการที่เข้าตรวจสอบ	Schmidt Hammer		w/b
	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม. ²)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	
บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1	431.32	46.97	0.43
บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์	433.67	54.59	0.43
เคหะชุมชนนวนคร	349.48	80.11	0.52
เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะ 1	218.13	88.05	0.69
เคหะชุมชนดินแดง 3	283.33	86.48	0.60
เคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น)	378.95	45.20	0.48
เคหะชุมชนห้วยขวาง	363.15	60.11	0.50
เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2	304.12	50.09	0.57
เคหะชุมชนพญา 2	355.11	71.68	0.52

จากตารางที่ 5.1 พบว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลกำลังอัดมีค่ามาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

- 1) ความผิดพลาดของเครื่องมือวัดกำลังอัด
- 2) ความผิดพลาดเนื่องจากการอ่านค่ากำลังอัด

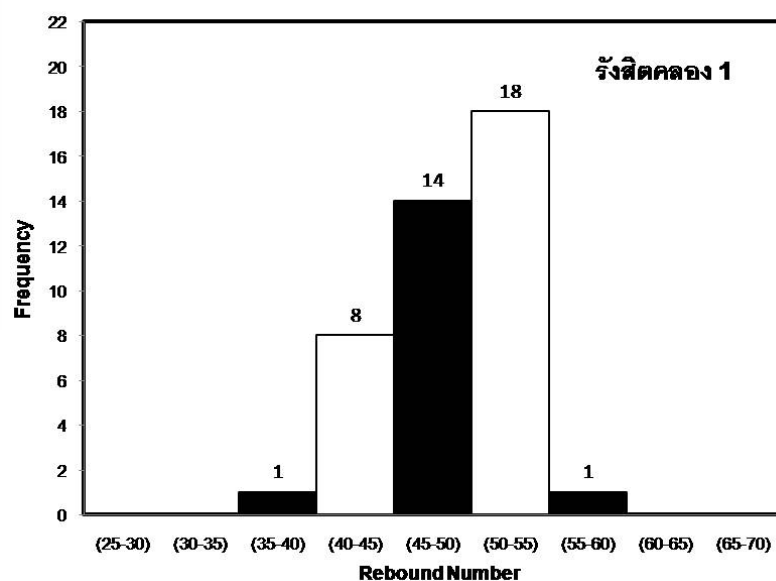
ซึ่งจากสองสาเหตุดังกล่าวนี้ทำให้ความผิดพลาดของข้อมูลกำลังอัดดังกล่าวเกิดการสะสม จึงเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลกำลังอัดมีค่ามาก

นอกจากนี้ยังพบอีกว่าคอนกรีตที่เกิดคาร์บอนเนชันจะมีความพรุนน้อยลง เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันจะช่วยอุดช่องว่างส่วนหนึ่งในคอนกรีต ทำให้แนวโน้มของค่ากำลังอัดจาก Schmidt Hammer มีค่าเพิ่มมากขึ้น ตลอดจนคอนกรีตมีกำลังสูงขึ้นตามอายุการใช้งาน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในอดีตของ Jin-Keun Kim [22] ในขณะเดียวกันจากตารางที่ 5.1 พบว่าค่ากำลังอัดจาก Schmidt Hammer ของโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 และบ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์ มีค่าสูงประมาณ 430 กก./ซม.²

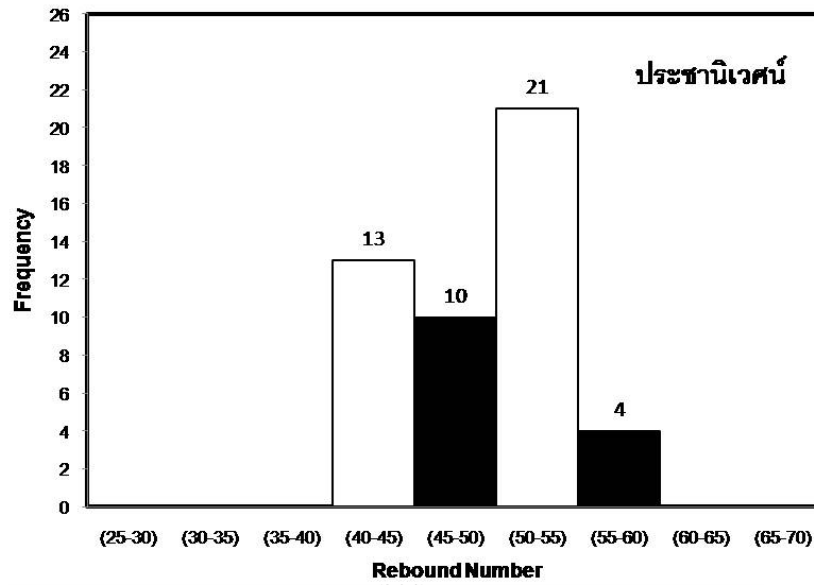
แต่อย่างไรก็ตามในอนาคตข้างหน้าระยะคาร์บอนจะเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานจนถึงเหล็กเสริมภายในคอนกรีต มีผลทำให้เหล็กเสริมเกิดสนิมจนทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ ซึ่งอาจจะมีผลทำให้กำลังอัดลดน้อยลงแตกต่างกันไป

ในขณะเดียวกันสามารถนำค่าที่ได้จากกำลังอัด (JSCE) ไปหาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานได้ โดยอาศัยกราฟในภาคผนวก ก (รูปที่ ก8) คือ กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์แคลเซียมออกไซด์และกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ซึ่งแกน x ของกราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์แคลเซียมออกไซด์ในปริมาณต่างๆกัน แกน y ด้านซ้ายของกราฟแสดงค่ากำลังอัดที่ต่างๆกัน และแกน y ด้านขวาของกราฟแสดงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

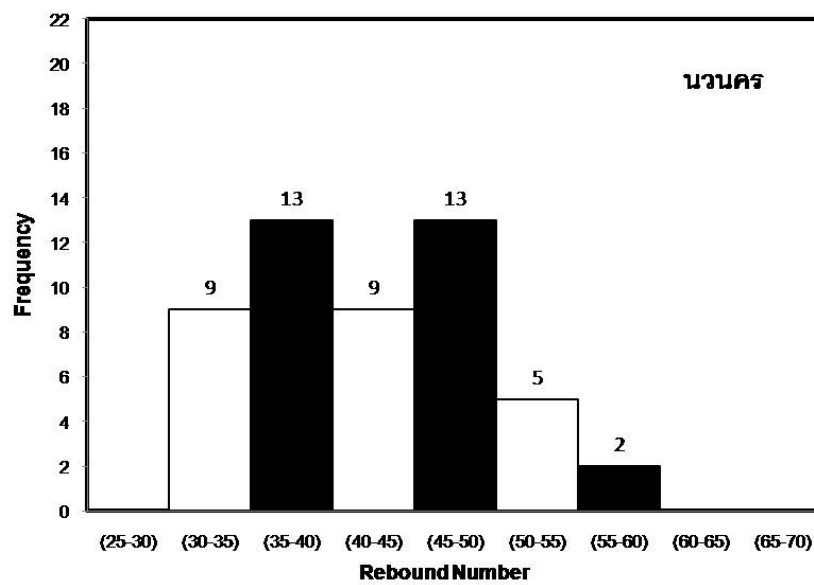
สำหรับโครงการก่อสร้างที่อยู่ในการควบคุมของการเคหะแห่งชาติ มีการใช้ปูนซีเมนต์ Portland ประเภทที่ 1 [27] ในการก่อสร้าง จึงทำให้เราสามารถทราบปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 63-68 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกำลังอัดก็หาได้จากความสัมพันธ์ของ (JSCE) จากนั้นก็หาจุดตัดของค่าปริมาณแคลเซียมออกไซด์และกำลังอัด ก็จะสามารถทราบค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานได้ ดังตารางที่ 5.1



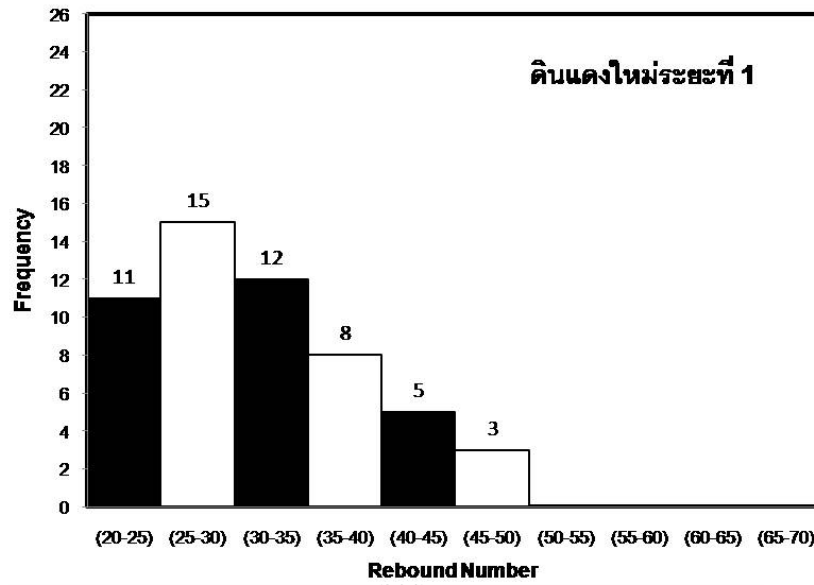
รูปที่ 5.1 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการรังสิตคลอง 1



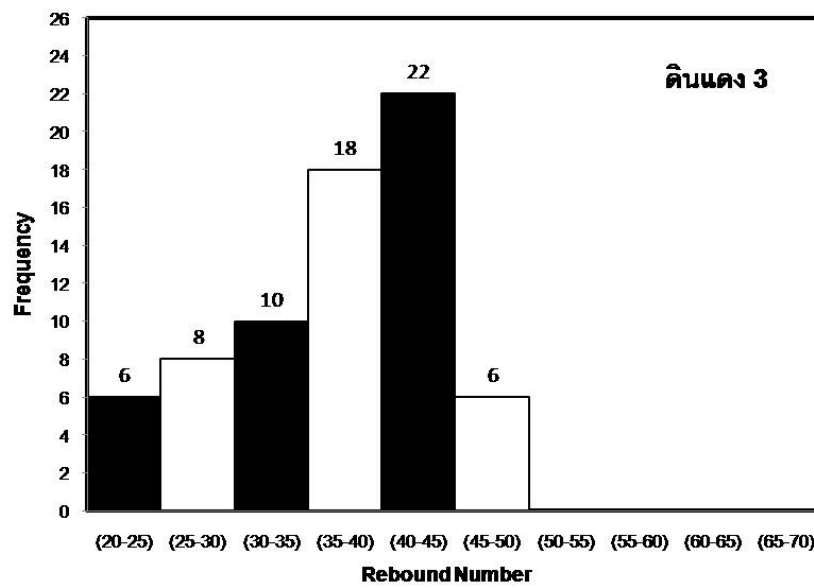
รูปที่ 5.2 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการประชาชนเฝ้า



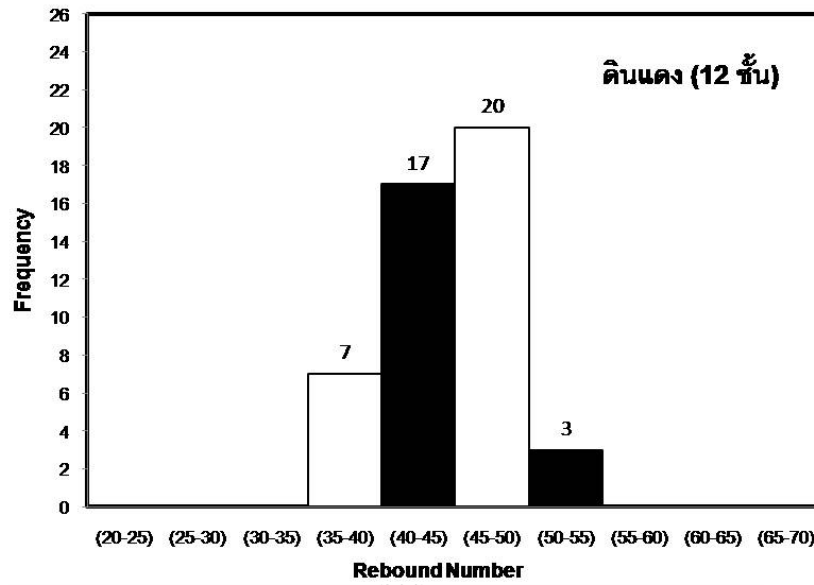
รูปที่ 5.3 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการนวนคร



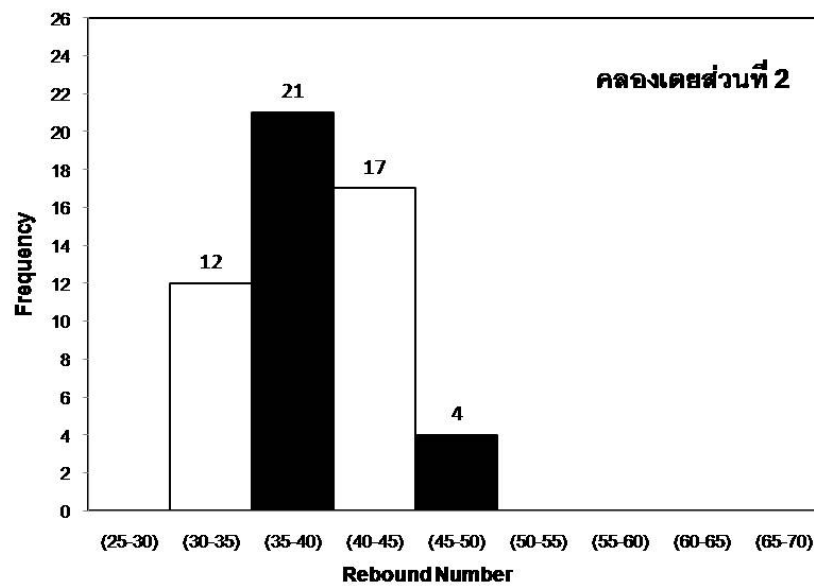
รูปที่ 5.4 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการดินแดงใหม่ระยะที่ 1



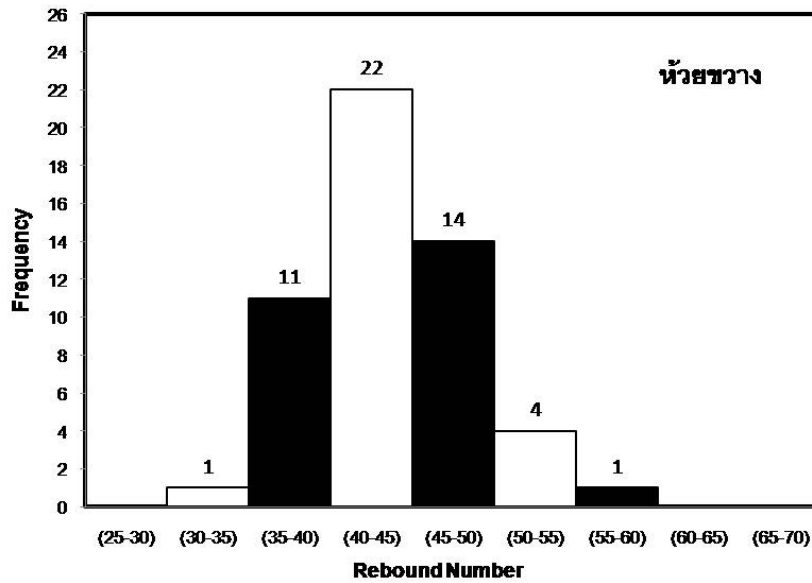
รูปที่ 5.5 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการดินแดง 3



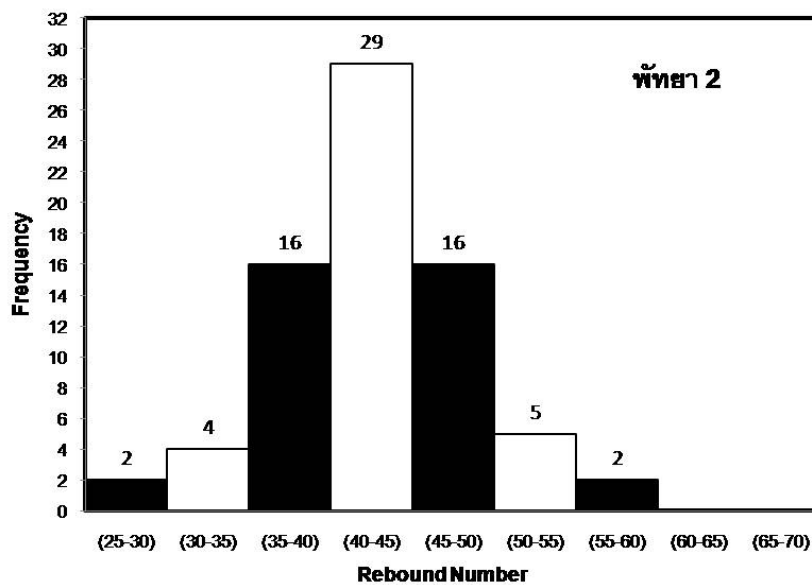
รูปที่ 5.6 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการดินแดง (12ชั้น)



รูปที่ 5.7 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการคลองเตยส่วนที่ 2



รูปที่ 5.8 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการห้วยขวาง



รูปที่ 5.9 ค่าการกระจายตัวของการสะท้อนที่วัดได้จากโครงการพัทธา 2

5.2 การวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก

ในส่วนของผลการวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก ดังตารางที่ 5.2 พบว่าระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเฉลี่ยที่ได้มีค่ามากกว่า 35 มิลลิเมตรทุกโครงการ (ข้อมูลรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่าระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กที่กำหนดไว้ในมาตรฐานงานคอนกรีตของการเคหะแห่งชาติ คือ โครงสร้างที่ไม่สัมผัสกับดินต้องมีระยะหุ้มเหล็กที่ 25 มม. [27] แสดงให้เห็นว่าระบบการ

นอกจากนี้ยังพบอีกว่าระยะหุ้มเหล็กเสริมที่วัดได้จากตำแหน่งต่างๆของโครงสร้าง บางตำแหน่งมีระยะหุ้มเหล็กเสริมต่ำกว่ามาตรฐานงานคอนกรีตของการเคหะแห่งชาติคือระยะหุ้มเหล็กเสริมต่ำกว่า 25 มม. เมื่อคิดรวมรวมทั้งโครงการพบว่าโครงการที่มีระยะหุ้มเหล็กเสริมมากกว่า 5 % ที่ต่ำกว่า 25 มม. ได้แก่ โครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (ต่ำกว่า 25 มม.12.3 %) และบ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์ (ต่ำกว่า 25 มม.7.2 %)

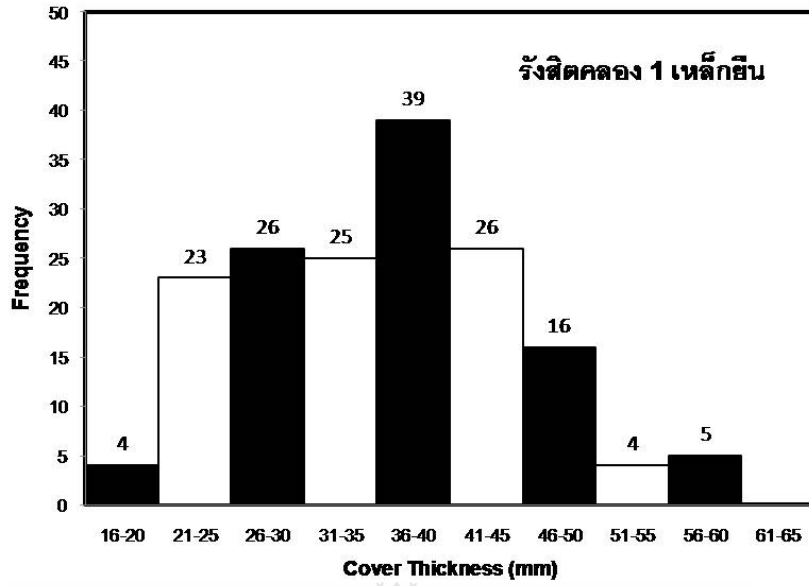
สำหรับระยะความหนาปูนฉาบที่ได้ทดสอบดังตารางที่ 5.2 พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8-15 มม. โดยที่โครงการเคหะชุมชนดินแดง 3 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์ออกแบบมาตรฐานงานคอนกรีตที่การเคหะแห่งชาติกำหนดไว้คือ 10 มม. [27] สำหรับโครงการอื่นๆ มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์ออกแบบที่การเคหะแห่งชาติกำหนดไว้

ตารางที่ 5.2 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กและปูนฉาบเฉลี่ย

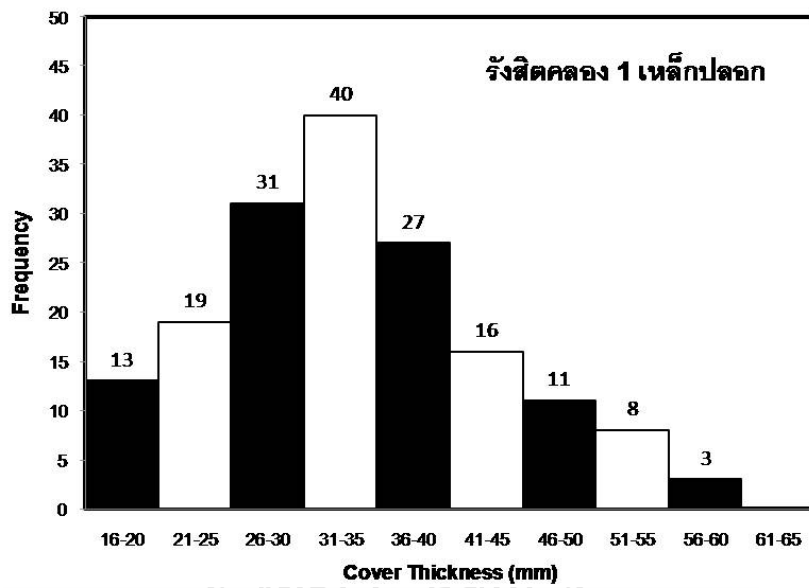
โครงการ	ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเฉลี่ย (มม.)				ระยะปูนฉาบเฉลี่ย (มม.)	
	เหล็กยื่น	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เหล็กปลอก	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1	35.85	9.35	33.89	7.96	ไม่มี	-
บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์	41.86	11.51	38.47	10.54	ไม่มี	-
เคหะชุมชนนวนคร	51.48	8.12	43.42	6.63	14.72	5.58
เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1	46.79	12.57	42.23	10.19	12.94	4.78
เคหะชุมชนดินแดง 3	49.08	11.77	45.18	12.95	8.18	6.25
เคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น)	45.95	8.31	39.41	8.93	0*	0
เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2	56.36	12.55	49.98	11.24	13.43	4.88
เคหะชุมชนห้วยขวาง	47.30	13.25	43.34	12.24	0*	0
เคหะชุมชนพญา 2	55.57	11.94	48.23	12.03	10.84	6.15

*จุดที่ทำการทดสอบอาคารเคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น) และเคหะชุมชนห้วยขวางเป็นผิวคอนกรีตเปลือย ระยะปูนฉาบจึงมีค่าเท่ากับศูนย์

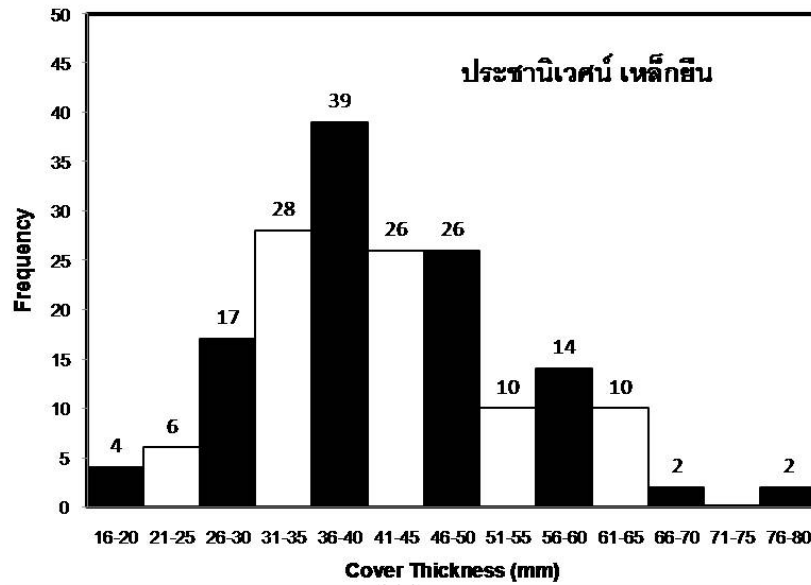
สำหรับในรูปที่ 5.10 ถึง 5.27 แสดงค่าการกระจายตัวคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นและเหล็กปลอกของโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์ เคหะชุมชนนวนคร เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1 เคหะชุมชนดินแดง 3 เคหะชุมชนดินแดง 12 ชั้น เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2 เคหะชุมชนห้วยขวางและเคหะชุมชนพญา 2 ตามลำดับ ซึ่งมีการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) เช่นกัน



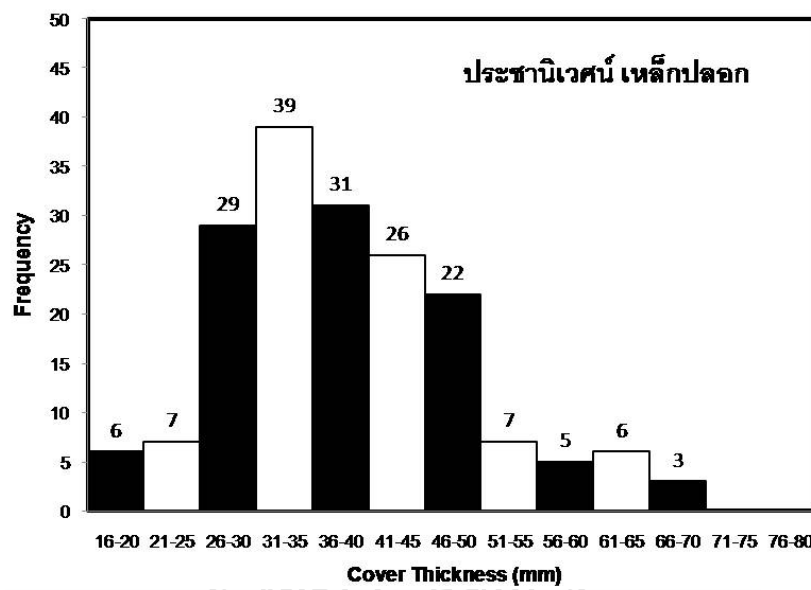
รูปที่ 5.10 ค่าการกระจายตัวของระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นโครงการรังสิตคลอง 1



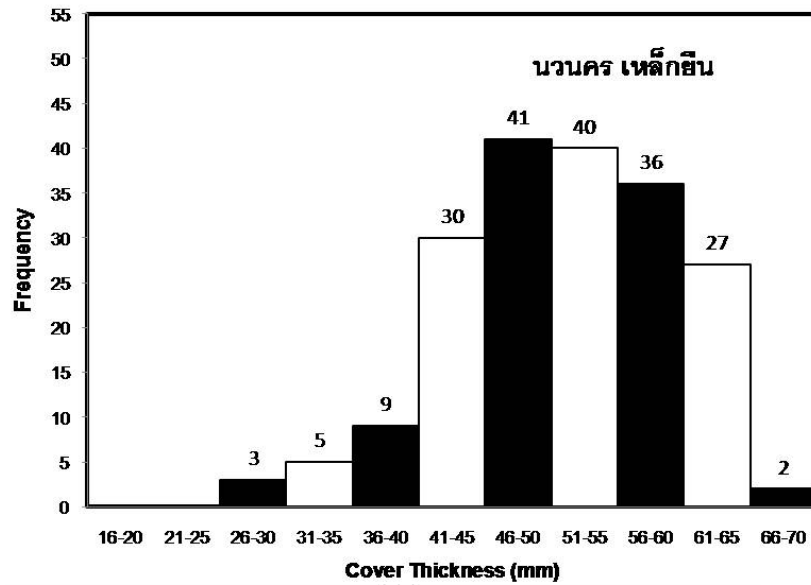
รูปที่ 5.11 ค่าการกระจายตัวของระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอกโครงการรังสิตคลอง 1



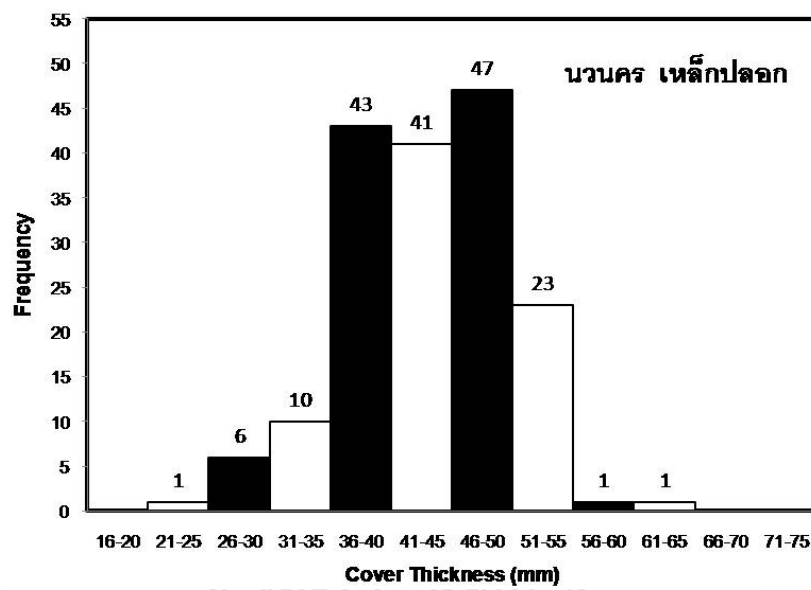
รูปที่ 5.12 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่น โครงการประชาชนเวศน์



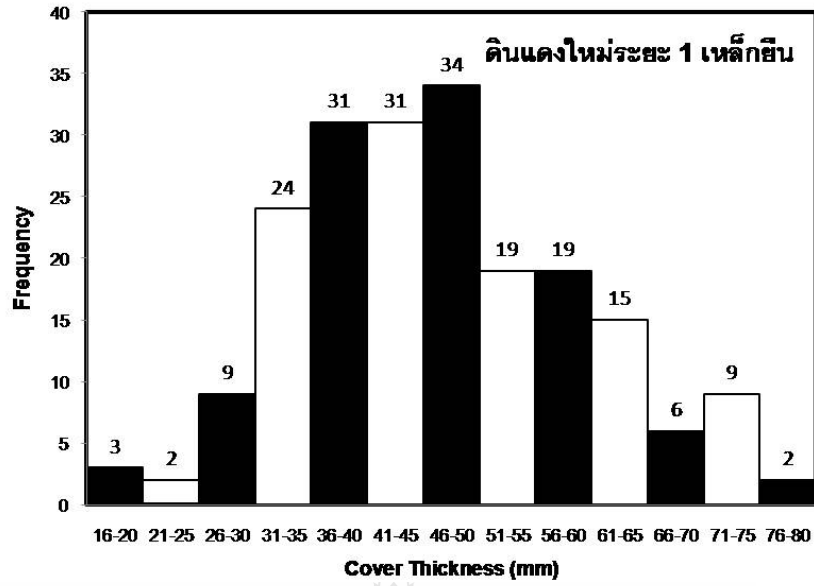
รูปที่ 5.13 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอก โครงการประชาชนเวศน์



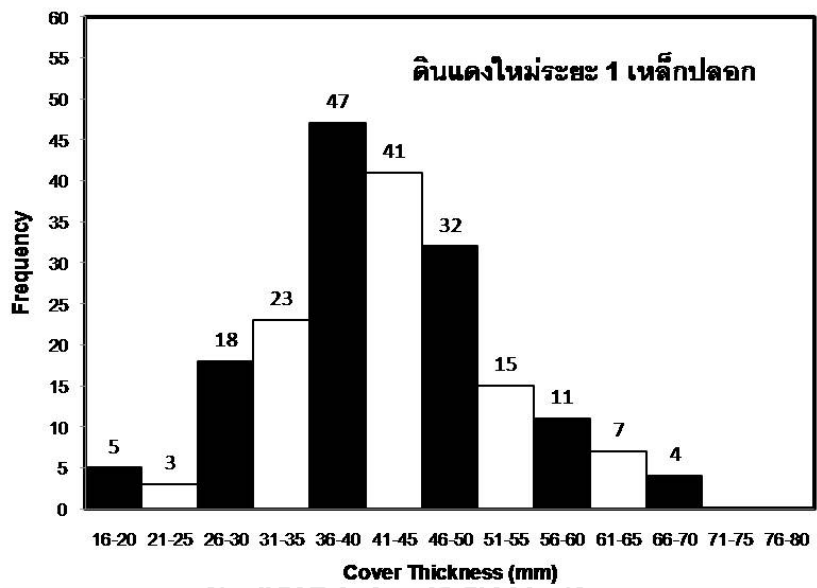
รูปที่ 5.14 ค่าการกระจายตัวของระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นโครงการนวนคร



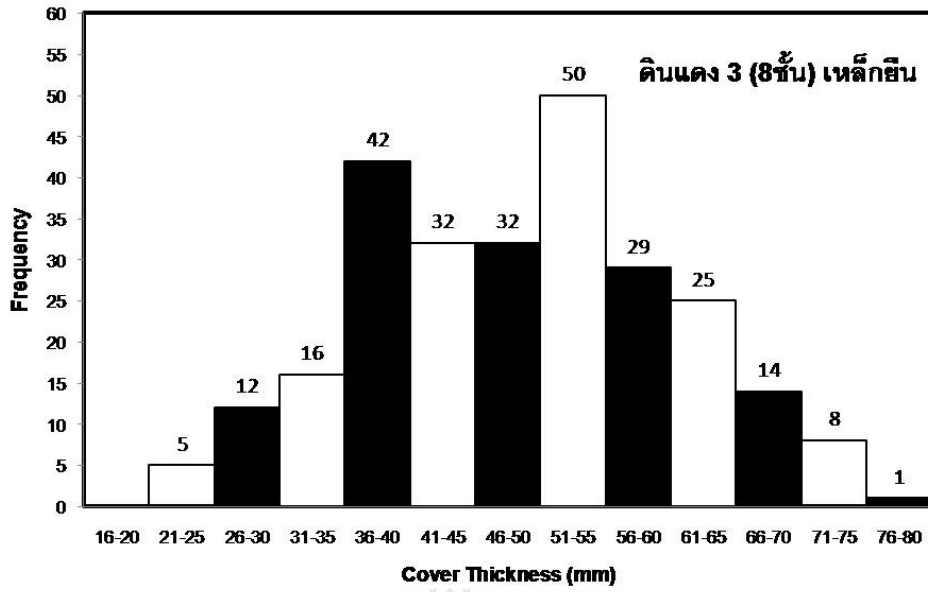
รูปที่ 5.15 ค่าการกระจายตัวของระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอกโครงการนวนคร



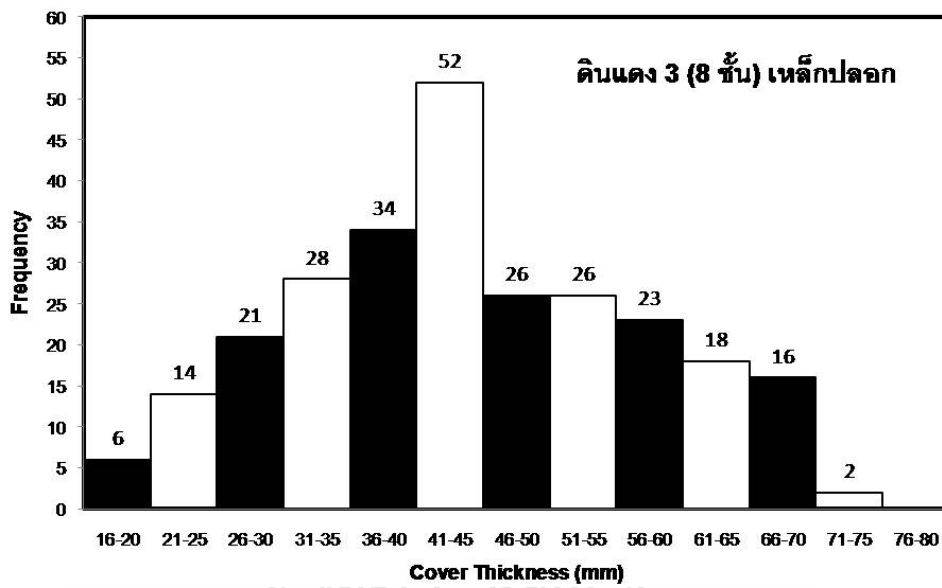
รูปที่ 5.16 ค่าการกระจายตัวของระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นโครงการดินแดงใหม่ระยะที่ 1



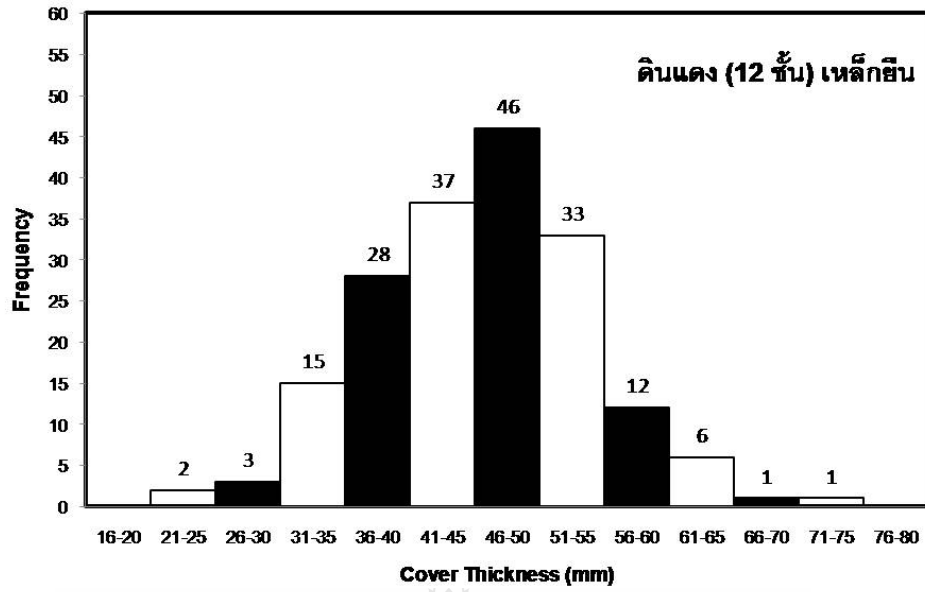
รูปที่ 5.17 ค่าการกระจายตัวของระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลูกโครงการดินแดงใหม่ระยะที่ 1



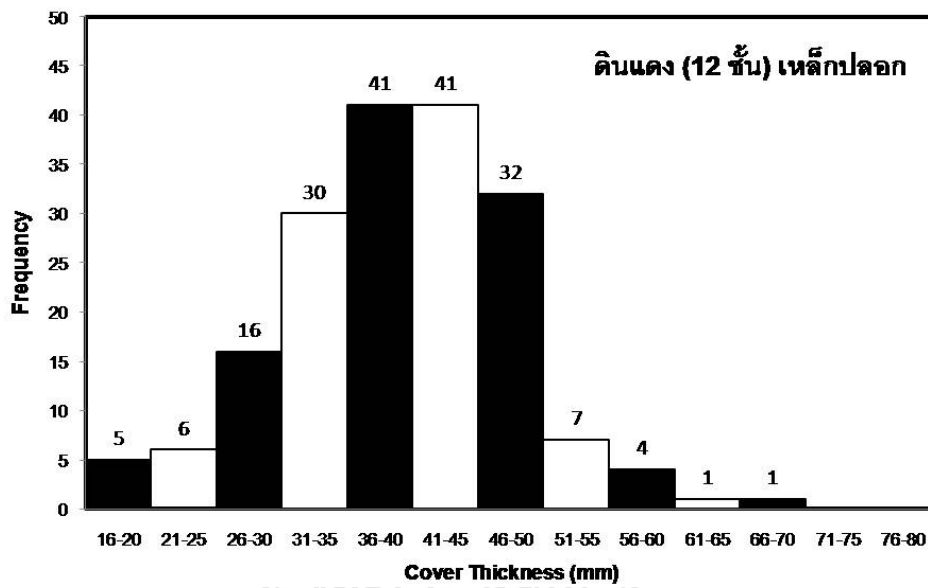
รูปที่ 5.18 ค่าการกระจายตัวของระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่น โครงการดินแดง 3



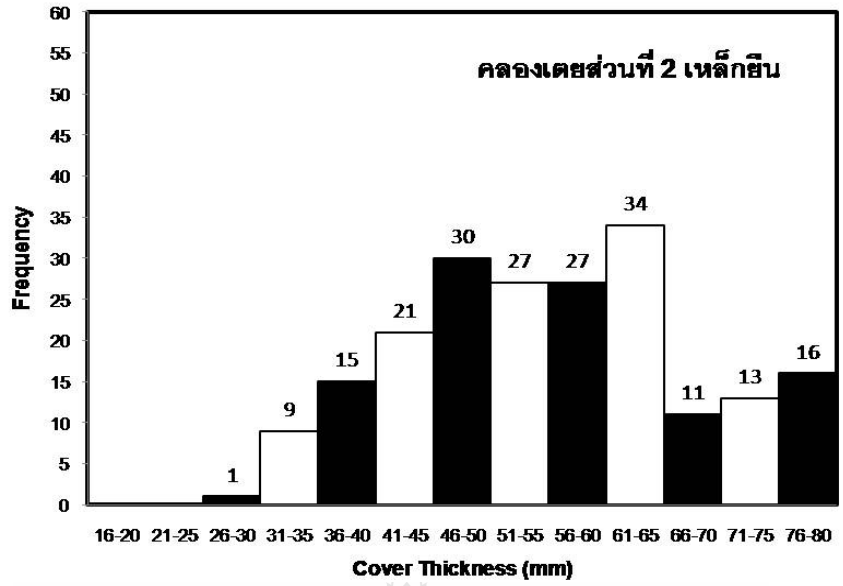
รูปที่ 5.19 ค่าการกระจายตัวของระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลูก โครงการดินแดง 3



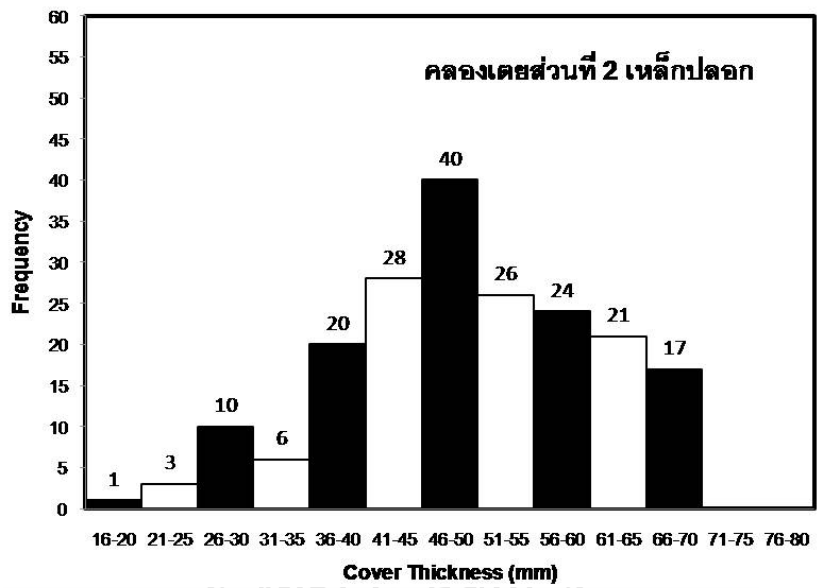
รูปที่ 5.20 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยี่น โครงการดินแดง (12 ชั้น)



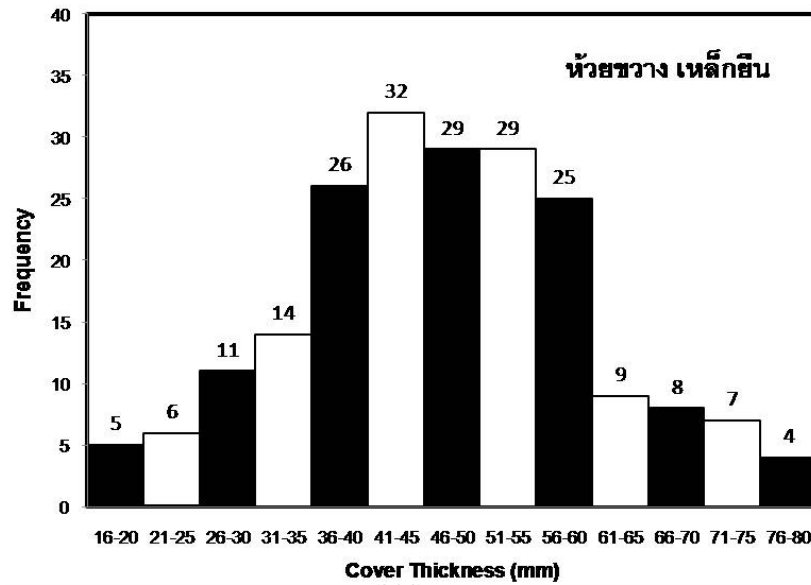
รูปที่ 5.21 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอก โครงการดินแดง (12 ชั้น)



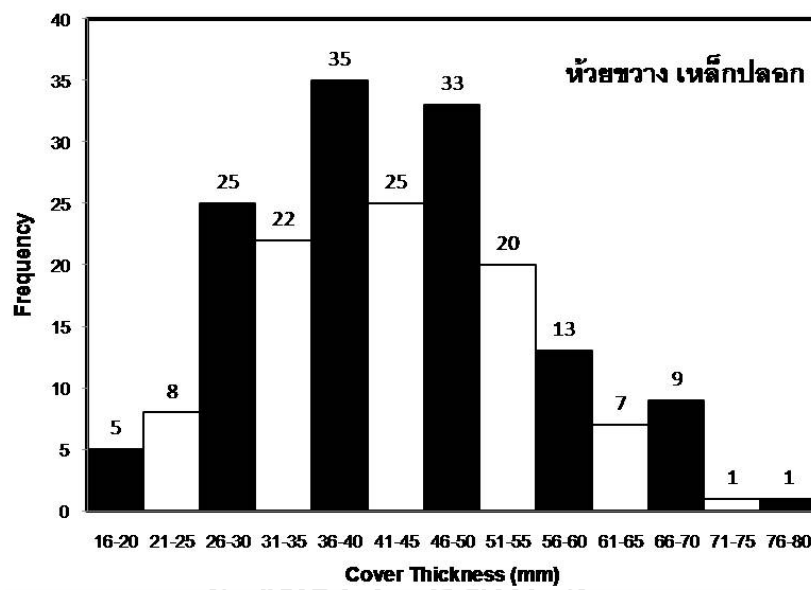
รูปที่ 5.22 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่น โครงการคลองเตยส่วนที่ 2



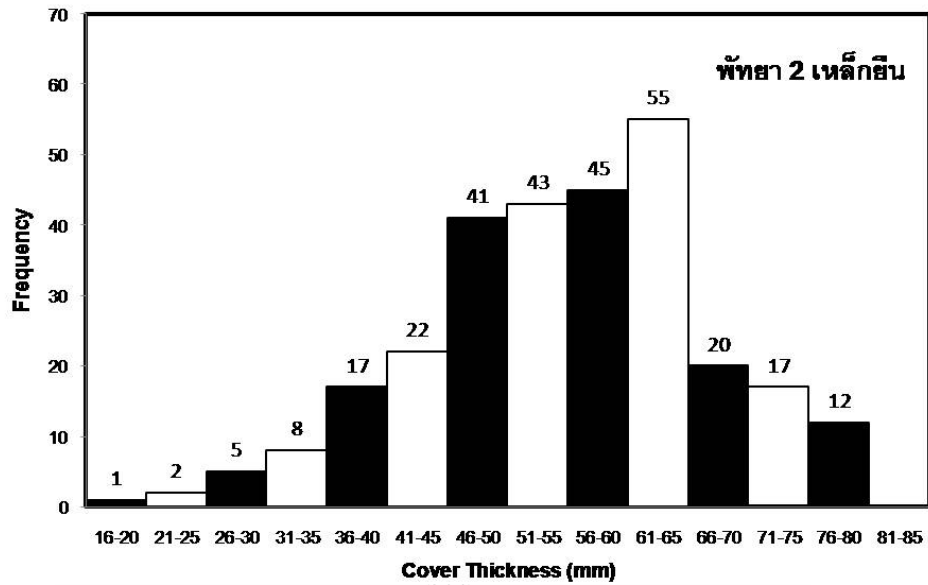
รูปที่ 5.23 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอก โครงการคลองเตยส่วนที่ 2



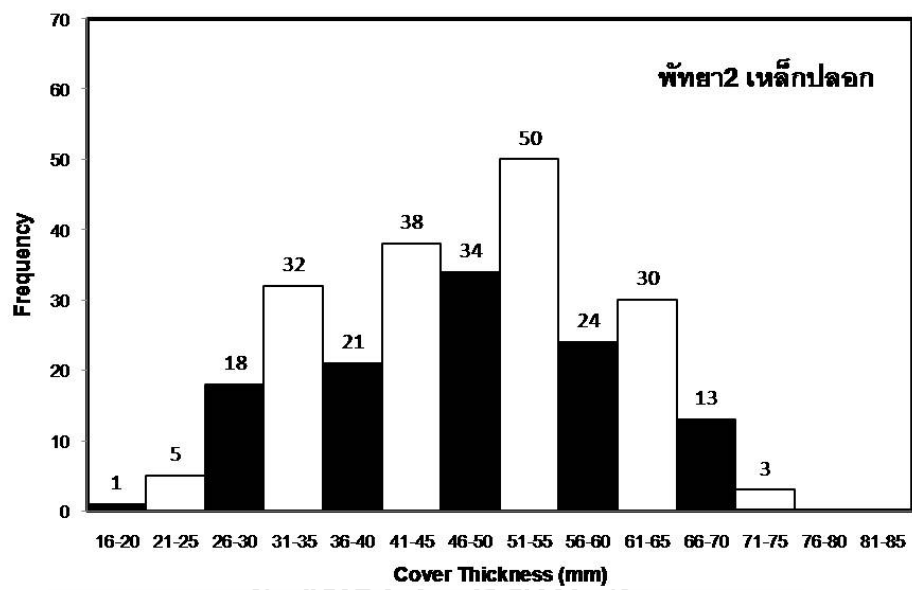
รูปที่ 5.24 ค่าการกระจายตัวของระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นโครงการห้วยขวาง



รูปที่ 5.25 ค่าการกระจายตัวของระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลูกโครงการห้วยขวาง



รูปที่ 5.26 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่น โครงการพื้ยา 2



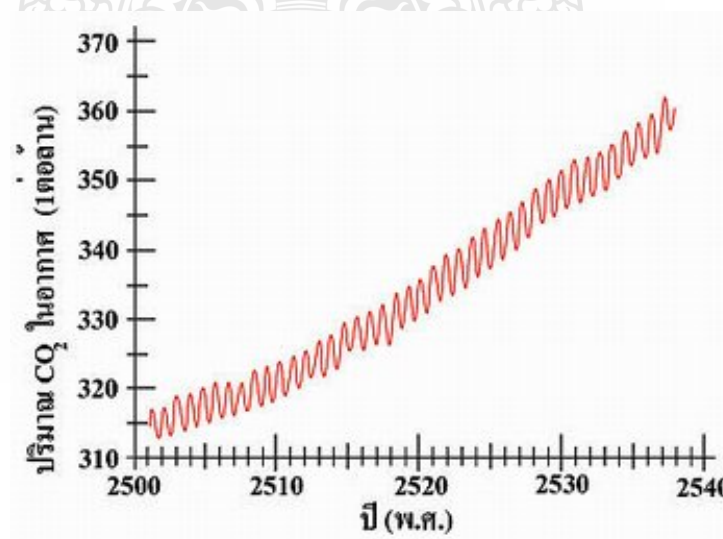
รูปที่ 5.27 ค่าการกระจายตัวระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอก โครงการพื้ยา 2

5.3 ปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม

ในส่วนของปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ ดังแสดงในตารางที่ 5.3 เป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้การพัฒนาระยะคาร์บอนขึ้นเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว แต่ในโดยภาพรวมแล้วความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในทุกๆโครงการมีความเข้มข้นที่สูงพอๆกัน เพราะโครงการที่เลือกในการศึกษาครั้งนี้มีภาวะความเสี่ยงต่อการเกิดระยะคาร์บอนขึ้นที่ชัดเจนอยู่แล้ว

ในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าแตกต่างกัน โดยความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่มีค่าอยู่ระหว่างกึ่งชื้นกึ่งแห้ง (Semi-Dry) คือ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่างร้อยละ 40 ถึงร้อยละ 60 จะเป็นปัจจัยที่ทำให้คอนกรีตเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากความคงทนเกี่ยวกับคาร์บอนขึ้นได้เร็วขึ้น

เมื่อพิจารณาโครงการเคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1, เคหะชุมชนดินแดง 3 และเคหะชุมชนนวนคร ซึ่งเป็นโครงการที่มีคุณสมบัติของคอนกรีตและอายุโครงสร้างที่ใกล้เคียงกัน พบว่าโครงการเคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1 และเคหะชุมชนดินแดง 3 มีอัตราการเกิดระยะคาร์บอนขึ้นมากกว่าโครงการเคหะชุมชนนวนคร ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในบริเวณโครงการเคหะชุมชนดินแดง 1 และดินแดง 3 มีปริมาณที่สูงกว่า ซึ่งเป็นข้อมูลที่บ่งชี้ว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปัจจัยส่วนหนึ่งที่ทำให้การเกิดระยะคาร์บอนขึ้นเร็วกว่าโครงการเคหะชุมชนนวนคร



รูปที่ 5.28 กราฟแสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี [28]

แต่อย่างไรก็ตามปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอดีตจนถึงปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปีดังแสดงในรูปที่ 5.28 แต่ในตารางที่ 5.3 แสดงปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมของข้อมูลในช่วงเวลาหนึ่งที่ทำให้การทดลองเท่านั้น (พ.ศ.2554) ซึ่งในอนาคตข้อมูลความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ สมควรที่จะศึกษาในอนาคตต่อไป

ตารางที่ 5.3 ปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ของสิ่งแวดล้อม

โครงการที่เข้าตรวจสอบ	ระบบก่อสร้าง	อายุ (เดือน)	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์		ความชื้นสัมพัทธ์	
			ความ เข้มข้น เฉลี่ย(ppm)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย (ร้อยละ)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
บ้านเดี่ยวอาทรังสิตคลอง 1	ขึ้นส่วนสำเร็จรูป	45	595.80	11.82	53.84	1.11
บ้านเดี่ยวอาทรประชานิเวศน์	ขึ้นส่วนสำเร็จรูป	62	598.30	8.40	62.91	1.63
เคหะชุมชนนวนนคร	หล่อในที่	317	589.45	9.31	82.86	12.13
เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะ 1	หล่อในที่	396	601.38	9.67	47.97	1.68
เคหะชุมชนดินแดง 3	หล่อในที่	372	600.38	6.64	51.55	3.21
เคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น)	หล่อในที่	396	601.54	5.02	69.36	18.20
เคหะชุมชนห้วยขวาง	หล่อในที่	396	596.19	6.42	59.23	3.87
เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2	หล่อในที่	183	600.01	5.55	48.68	3.25
เคหะชุมชนพญา 2	หล่อในที่	200	601.31	8.33	69.05	6.05

5.4 ระยะเวลาบ่อเนชัน

จากตารางที่ 5.4, 5.5 และรูปที่ 5.29 แสดงผลระยะเวลาบ่อเนชันเฉลี่ยของโครงการที่ตรวจสอบพบว่าระยะเวลาบ่อเนชันเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 6-38 มม.

จากอายุของโครงสร้างและระยะเวลาบ่อเนชัน สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชันได้จากสมการที่ (5.1)

$$d = k\sqrt{t} \quad (5.1)$$

โดยที่ d คือค่าระยะเวลาบ่อเนชัน (มม.)

t คืออายุของโครงสร้าง(เดือน)

k คือค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชัน (มม/เดือน^{1/2})

เมื่อพิจารณาโครงการเคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1 และเคหะชุมชนนวนคร ซึ่งมีอายุโครงสร้างและคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใกล้เคียงกัน แต่มีตำแหน่งที่ตั้งโครงการแตกต่างกัน โดยเคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1 ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร มีสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นเท่ากับ 1.90 มม./เดือน^{1/2} ในขณะที่เคหะชุมชนนวนคร ตั้งอยู่ในเขตปริมณฑล มีสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นเท่ากับ 1.22 มม./เดือน^{1/2} แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่ตั้งในเขตกรุงเทพมหานครมีแนวโน้มสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นสูงกว่าในเขตปริมณฑล ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยด้านปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีมากกว่า เป็นต้น ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในคอนกรีตเป็นผลทำให้ระยะคาร์บอนขึ้นพัฒนาได้เร็วมากขึ้น

สำหรับโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 และบ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์ซึ่งมีอายุโครงสร้างและคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใกล้เคียงกัน แต่มีตำแหน่งที่ตั้งโครงการแตกต่างกัน โดยบ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์ ตั้งอยู่ในเขตปริมณฑลที่ติดกับทางด่วน มีสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นเท่ากับ 1.10 มม./เดือน^{1/2} ในขณะที่บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 ตั้งอยู่ในเขตปริมณฑลที่ไม่ติดกับทางด่วน มีสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นเท่ากับ 0.92 มม./เดือน^{1/2} แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่ตั้งที่ติดกับทางด่วนมีแนวโน้มสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นสูงกว่าที่ตั้งที่ไม่ติดกับทางด่วน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยด้านปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีมากกว่า เป็นต้น ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในคอนกรีตเป็นผลทำให้ระยะคาร์บอนขึ้นพัฒนาได้เร็วมากขึ้นเช่นกัน

ในขณะที่เมื่อพิจารณาโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 และเคหะชุมชนนวนคร ซึ่งมีตำแหน่งที่ตั้งโครงการอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน แต่มีคุณสมบัติของคอนกรีตที่แตกต่างกัน โดยบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 ลักษณะโครงสร้างอาคารเป็นแบบชั้นสำเร็จ มีสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นเท่ากับ 0.92 มม./เดือน^{1/2} ในขณะที่เคหะชุมชนนวนคร ลักษณะโครงสร้างอาคารเป็นแบบหล่อในที่ มีสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นเท่ากับ 1.22 มม./เดือน^{1/2} แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างแบบชั้นสำเร็จมีแนวโน้มสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นต่ำกว่าโครงสร้างแบบหล่อในที่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคุณภาพของคอนกรีตต่างกัน เช่น อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน พบว่า อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่มีค่ามากจะทำให้ส่วนผสมคอนกรีตมีปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้น จึงมีผลทำให้คอนกรีตมีปริมาณโพรงเพิ่มขึ้น ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะซึมผ่านโพรงคอนกรีตเข้าไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในคอนกรีตซึ่งเป็นผลทำให้ระยะคาร์บอนขึ้นพัฒนาได้เร็วมากขึ้น

สำหรับโครงสร้างที่มีอายุน้อยจะมีแนวโน้มที่ระยะคาร์บอนขึ้นน้อยกว่าโครงสร้างที่มีอายุมาก เนื่องจากสภาวะความคงทนของคอนกรีตมีการถูกทำลายสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจากปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น จึงเป็นผลทำให้ระยะคาร์บอนขึ้นมีระยะที่เพิ่มมากขึ้นไปด้วย

ซึ่งจากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น สามารถรวบรวมปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดคาร์บอนขึ้นได้ดังต่อไปนี้

1) สภาพอายุการใช้งานที่แตกต่างกัน คือ โครงสร้างอาคารในเขตกรุงเทพมหานครมีการก่อสร้างก่อน โครงสร้างอาคารในเขตปริมณฑล

2) สภาพแวดล้อมที่ต่างกันคือในเขตกรุงเทพมหานครมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าในเขตปริมณฑล

3) คุณภาพของคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างของแต่ละพื้นที่ก็มีส่วนที่ต่างกัน

จากปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนขึ้น แต่อาจจะมีปัจจัยด้านอื่นๆที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนขึ้นอยู่กับบางในระดับที่น้อย เช่น ทิศทางลม เป็นต้น ซึ่งถือว่าปัจจัยส่วนนี้ถูกรอบคลุมจากปัจจัยหลักของการเกิดคาร์บอนขึ้นอยู่แล้ว

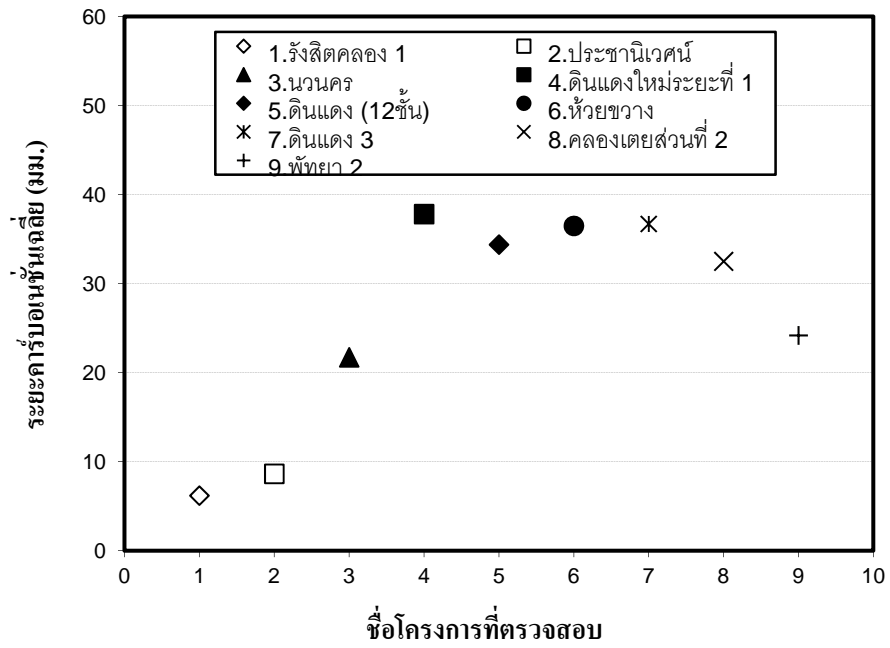
แต่อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นในอดีตที่ไม่มีการศึกษาอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากปัจจุบันในระดับที่มากขึ้นแตกต่างกันไป รวมถึงในอนาคตข้างหน้าต่อไปค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้น (k) ก็อาจมีการเปลี่ยนแปลงค่าที่มากขึ้นแตกต่างกันไปเช่นกัน โดยปัจจัยส่วนหนึ่งที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นเปลี่ยนแปลงเช่น สภาพแวดล้อม เป็นต้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในอนาคต เพราะฉะนั้นการศึกษาถึงค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นเกิดความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 5.4 ระยะเวลาคาร์บอนขึ้นเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นของ โครงสร้างขึ้นส่วนสำเร็จ

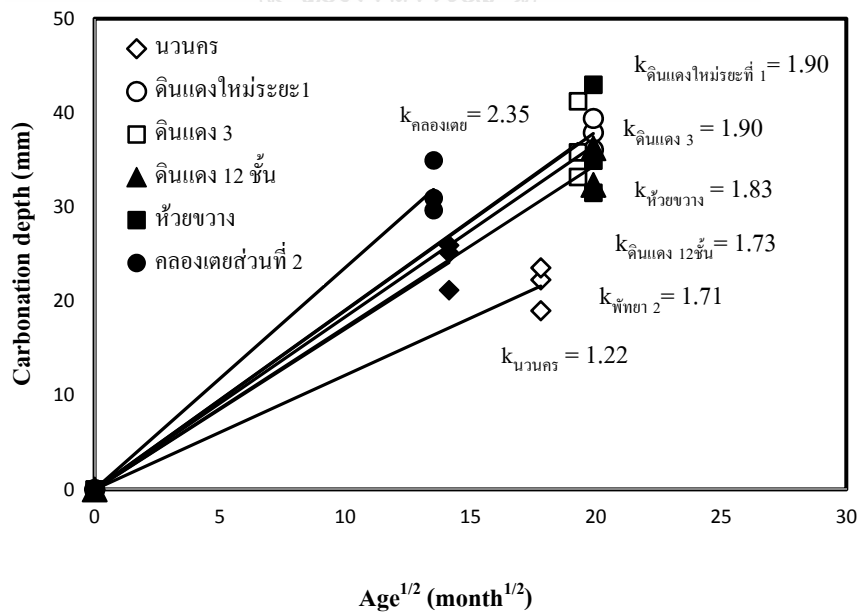
โครงการที่ตรวจสอบ	อายุ (เดือน)	ระยะเวลาคาร์บอนขึ้น		สัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้น	
		ระยะเวลาเฉลี่ย (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	k (มม./เดือน ^{1/2})	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1	45	6.18	4.88	0.92	0.73
บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์	62	8.63	5.16	1.10	0.66

ตารางที่ 5.5 ระยะเวลาคาร์บอนขึ้นเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้นของ โครงสร้างหล่อในที่

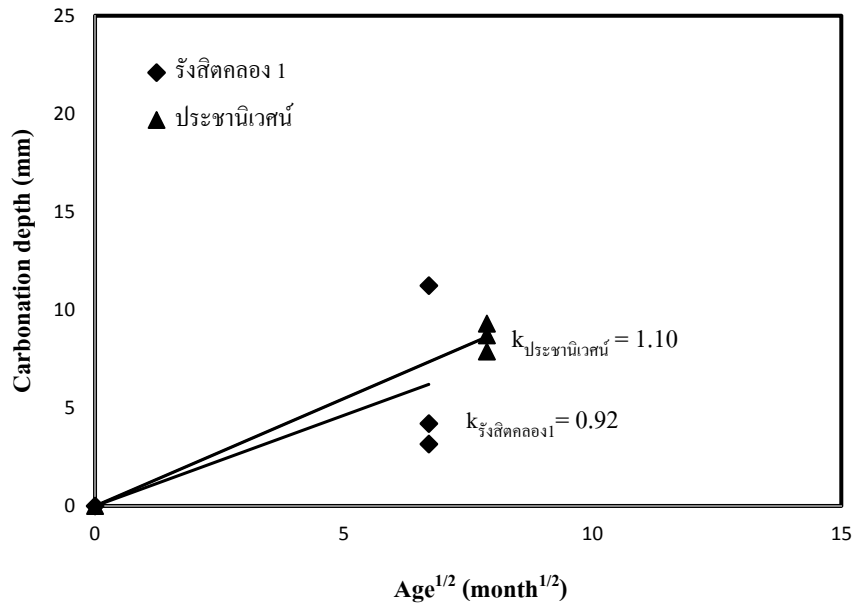
โครงการที่ตรวจสอบ	อายุ (เดือน)	ระยะเวลาคาร์บอนขึ้น		สัมประสิทธิ์คาร์บอนขึ้น	
		ระยะเวลาเฉลี่ย (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	k (มม./เดือน ^{1/2})	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เลหะชุมชนนวนคร	317	21.72	9.39	1.22	0.57
เลหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะ 1	396	37.80	8.87	1.90	0.45
เลหะชุมชนดินแดง 3	372	36.70	8.22	1.90	0.43
เลหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น)	396	34.38	13.02	1.73	0.65
เลหะชุมชนห้วยขวาง	396	36.48	10.86	1.83	0.55
เลหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2	183	32.50	8.05	2.35	0.64
เลหะชุมชนพญา 2	200	24.18	6.97	1.71	0.49



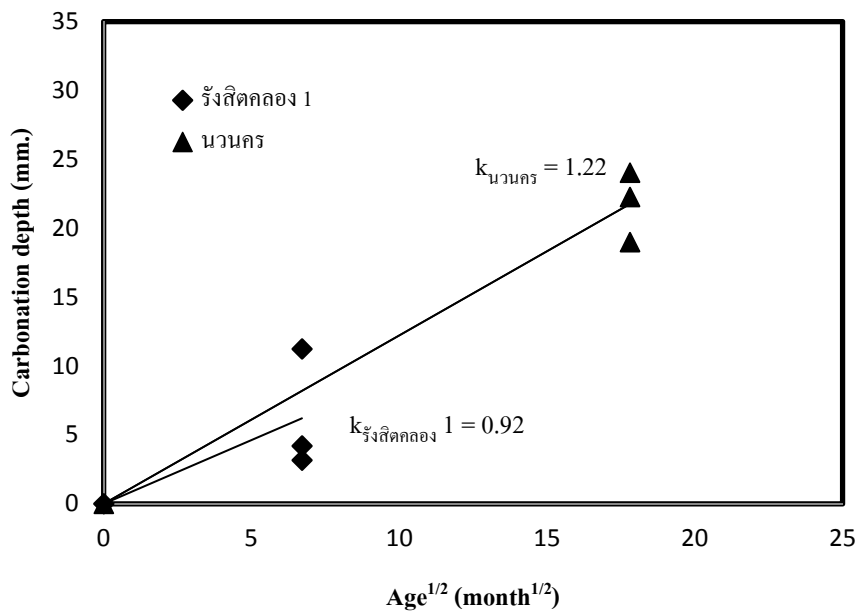
รูปที่ 5.29 ระยะคาร์บอนเนชันเฉลี่ยของโครงการที่ตรวจสอบ



รูปที่ 5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะคาร์บอนเนชันและอายุของโครงสร้างอาคารที่ก่อสร้างกรณีหล่อในที่

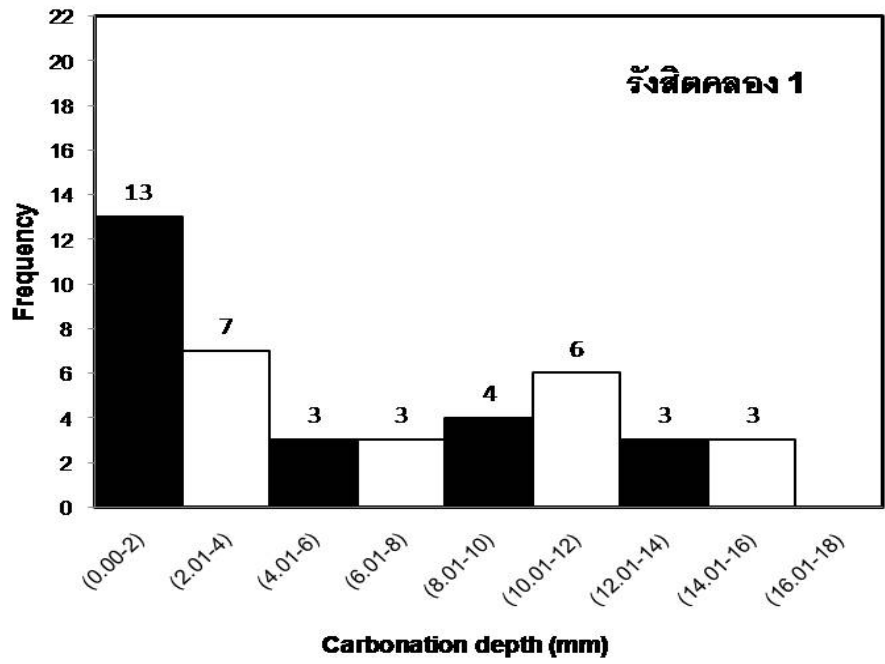


รูปที่ 5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะคาร์บอนเนชันและอายุของโครงสร้างอาคารที่ก่อสร้างกรณี
ชิ้นส่วนสำเร็จ

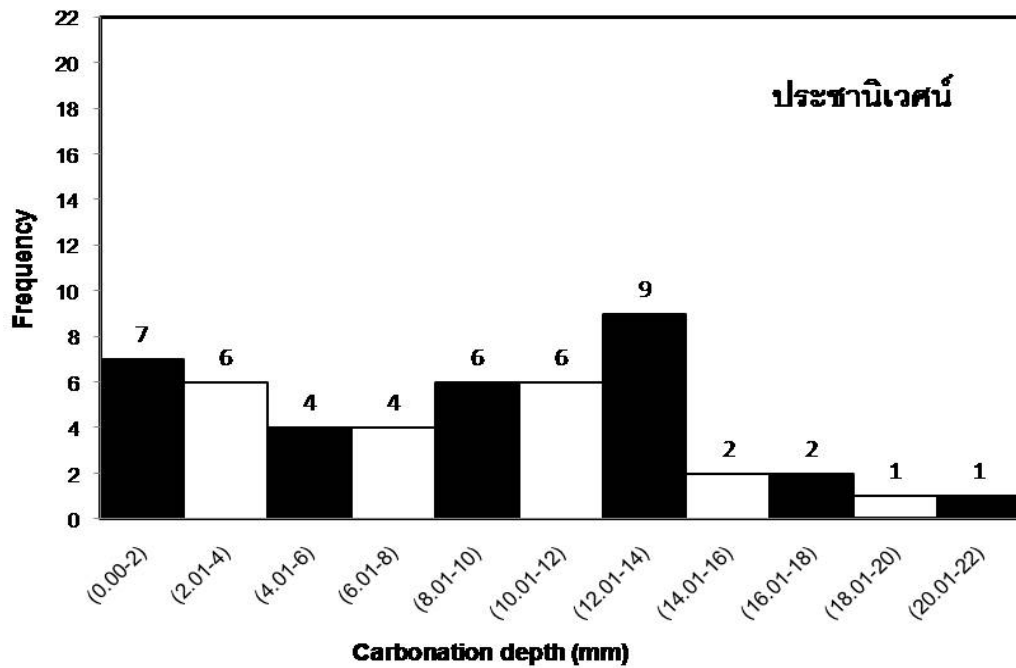


รูปที่ 5.32 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะคาร์บอนเนชันและอายุของโครงสร้างอาคารที่ตั้งอยู่ในสภาวะ
แวดล้อมใกล้เคียงกัน

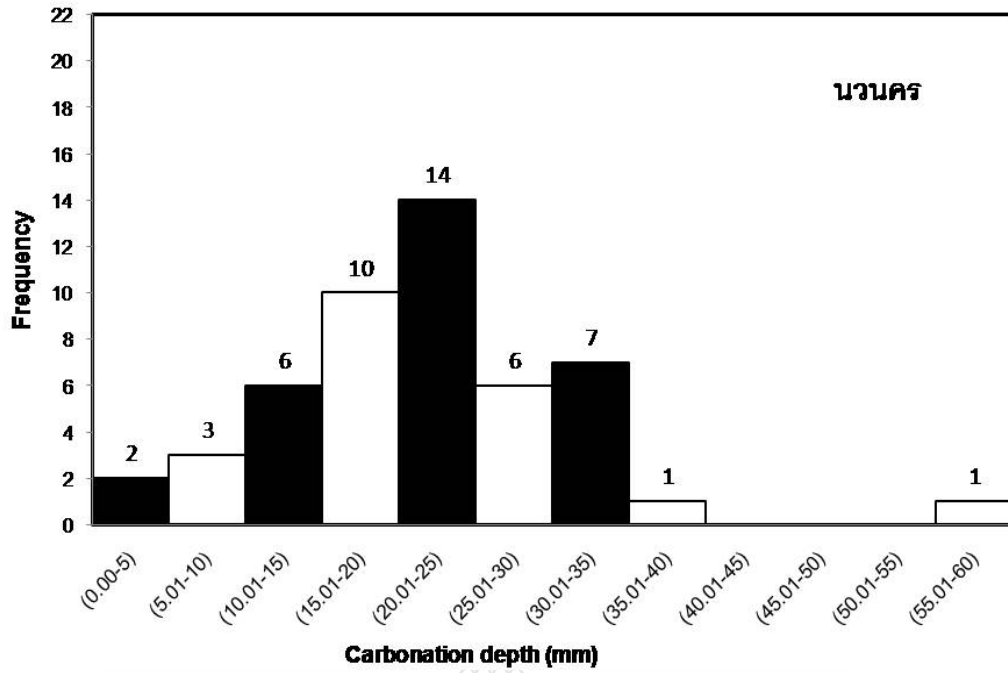
สำหรับรูปที่ 5.33 และ 5.34 แสดงค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนเนชันของโครงสร้างชิ้นส่วน
สำเร็จ และรูปที่ 5.35 ถึง 5.41 แสดงค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนเนชันของโครงสร้างหล่อในที่
แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จค่าระยะการกระจายตัวคาร์บอนเนชันอยู่ในช่วงระยะที่ต่ำกว่า
โครงสร้างหล่อในที่ทั้งนี้เกี่ยวเนื่องมาจากเหตุผลดังกล่าวมาข้างต้น



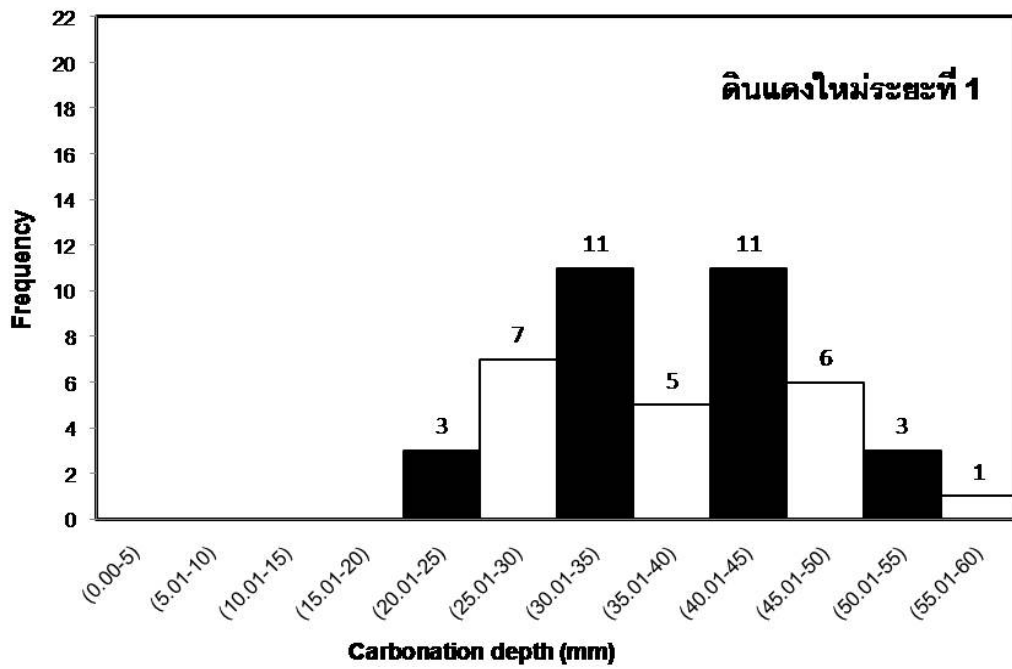
รูปที่ 5.33 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนเนชั่น โครงการรังสิตคลอง 1



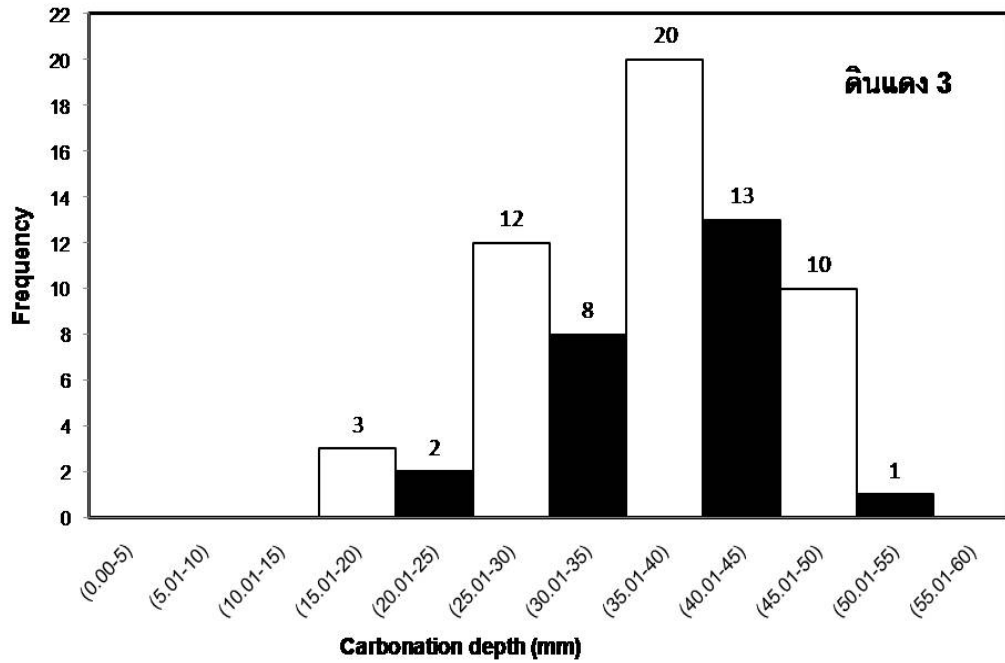
รูปที่ 5.34 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนเนชั่น โครงการประชานิเวศน์



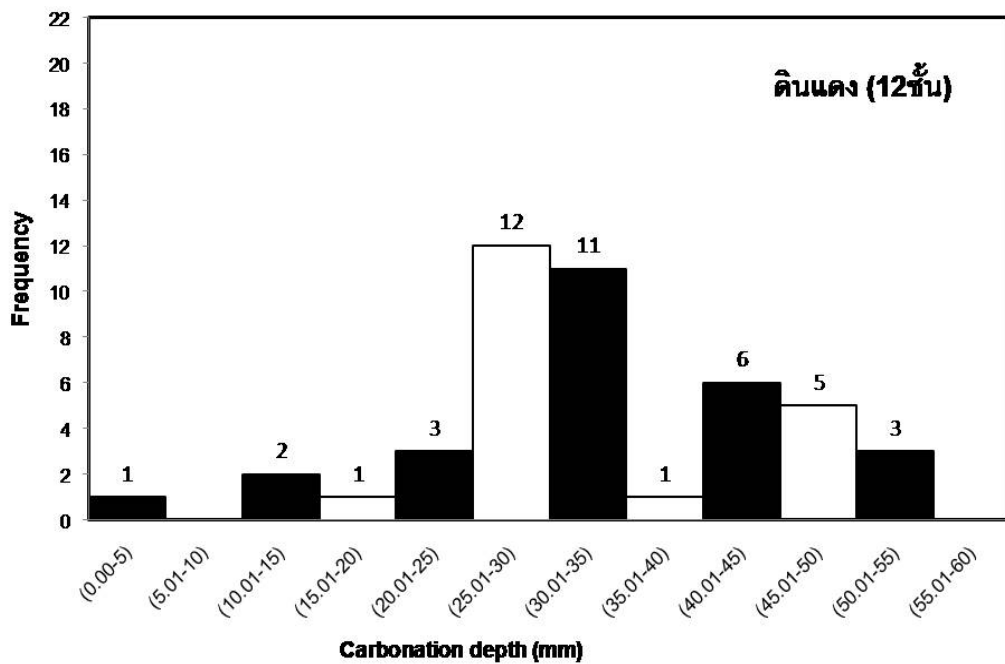
รูปที่ 5.35 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนเนชั่น โครงการนวนคร



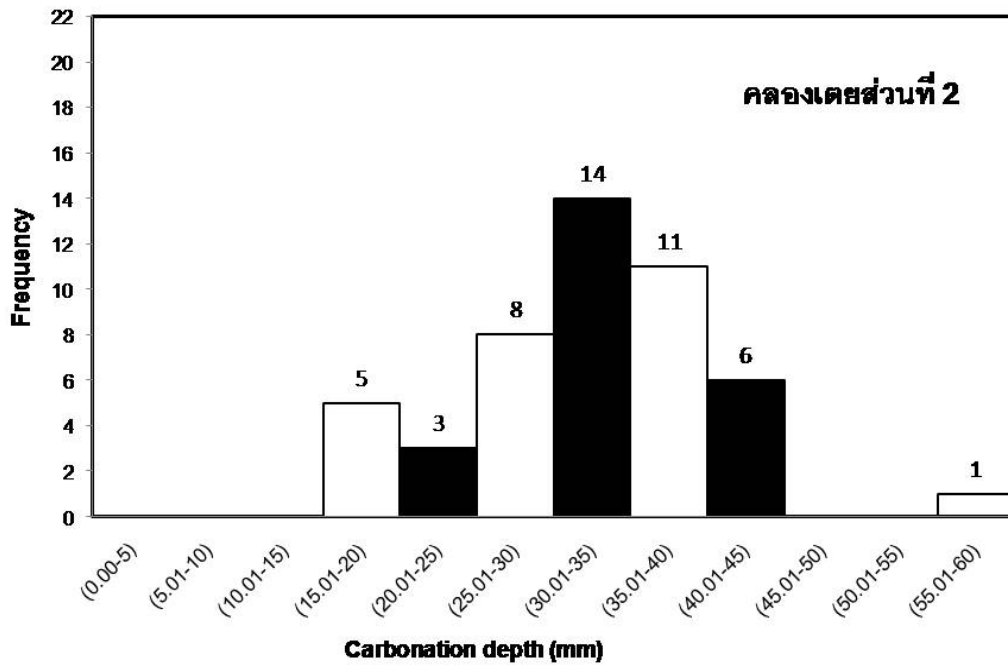
รูปที่ 5.36 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนเนชั่น โครงการดินแดงใหม่ระยะที่ 1



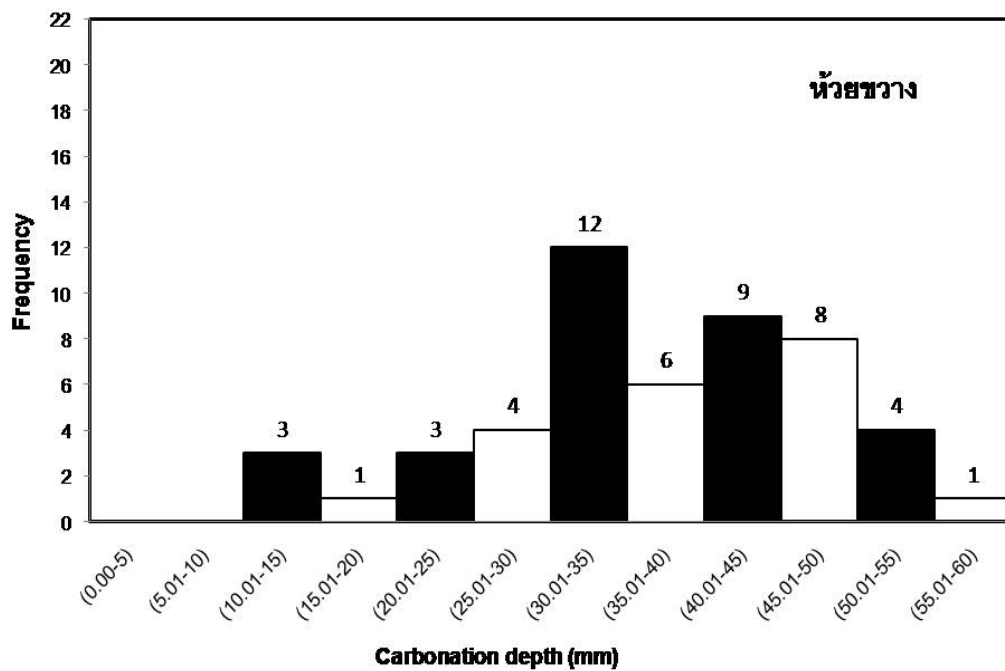
รูปที่ 5.37 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนชั้น โครงการดินแดง 3



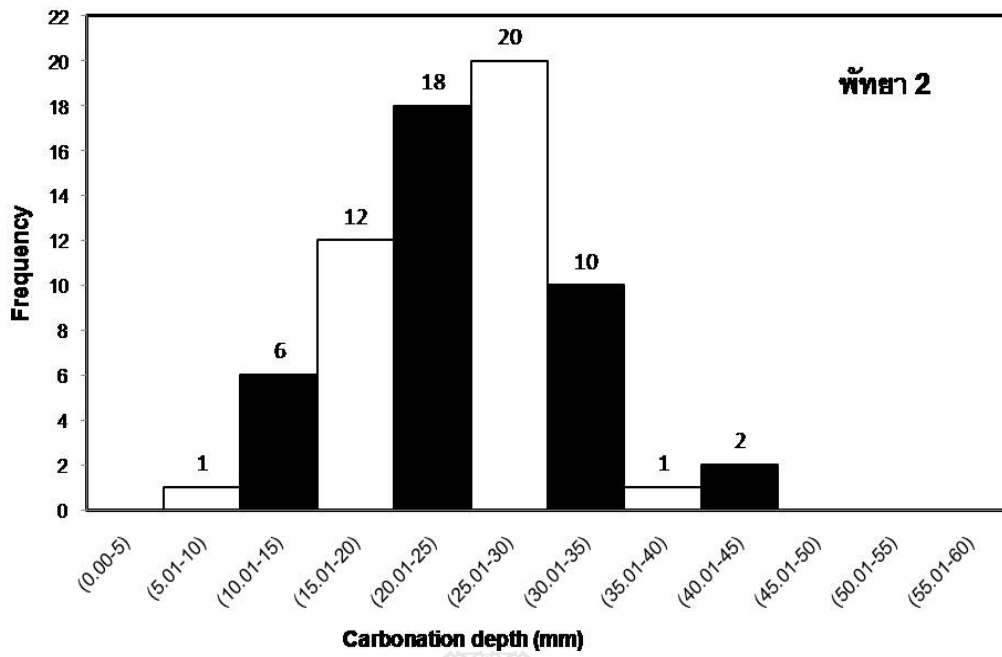
รูปที่ 5.38 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนชั้น โครงการดินแดง (12 ชั้น)



รูปที่ 5.39 ค่าการกระจายตัวของระยะคาร์บอนเนชัน โครงการคลองเตยส่วนที่ 2



รูปที่ 5.40 ค่าการกระจายตัวของระยะคาร์บอนเนชัน โครงการห้วยขวาง



รูปที่ 5.41 ค่าการกระจายตัวระยะคาร์บอนเนชั่น โครงการพ้ทยา 2

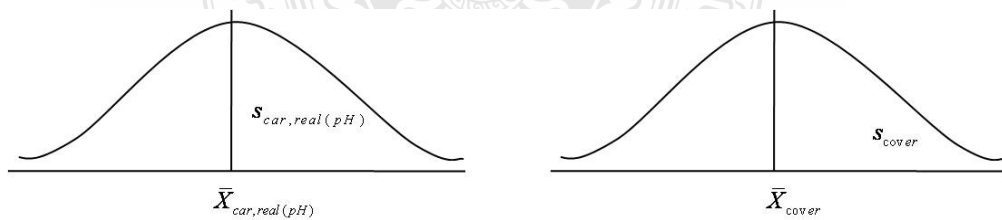


บทที่ 6

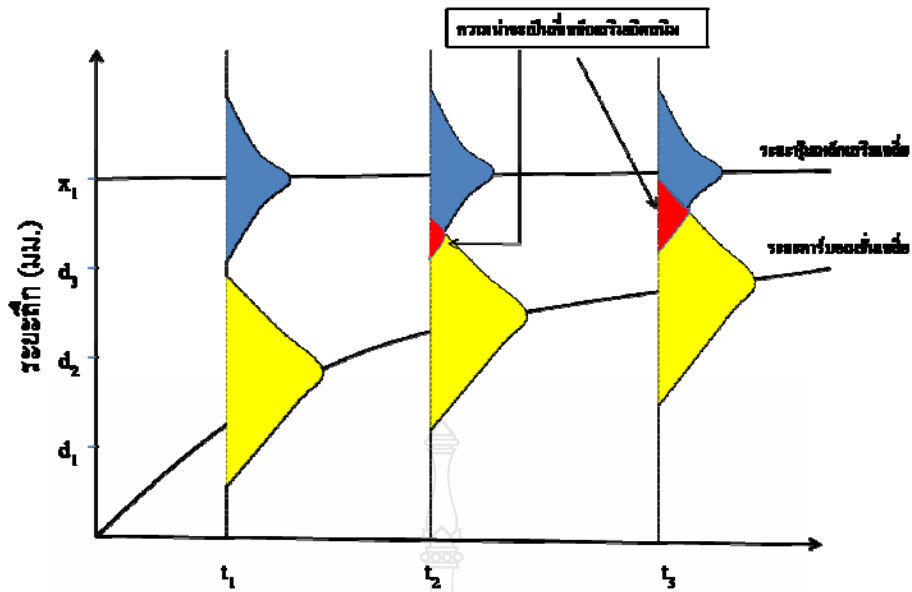
ค่าความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเนชั่น

ค่าความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

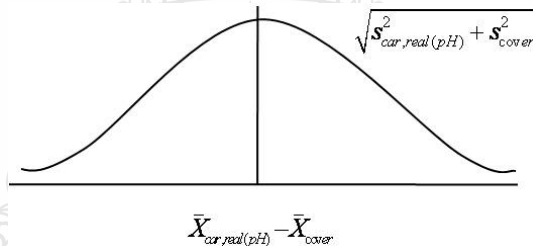
จากรูปที่ 6.1(ก) แสดงแบบจำลองโค้งปกติของระยะคาร์บอนเนชั่นและระยะหุ้มเหล็กเสริมซึ่งข้อมูลทั้งสองเป็นอิสระต่อกัน จากนั้นเมื่ออายุโครงสร้างมากขึ้นความสัมพันธ์ของโค้งปกติของระยะคาร์บอนเนชั่นจะซ้อนทับโค้งปกติของระยะหุ้มเหล็กเสริม ทำให้โค้งปกติของข้อมูลทั้งสองเกิดส่วนที่ซ้อนทับกันขึ้น ดังแสดงในรูปที่รูปที่ 6.1(ข) ซึ่งเป็นการแสดงแบบจำลองความเสี่ยงที่เหล็กเสริมภายในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีโอกาสเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเนชั่นโดยการแปรผันตามอายุของโครงสร้าง ซึ่งรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ความน่าจะเป็นของระยะหุ้มเหล็กเสริมเฉลี่ย x_1 จะมีค่าคงที่ตลอดอายุการใช้งาน ในขณะที่พื้นที่ความน่าจะเป็นของระยะคาร์บอนเนชั่นจะเพิ่มขึ้นทุกช่วงอายุการใช้งานจาก d_1 ไป d_2 หรือ d_3 เป็นต้น จนกระทั่ง ณ ช่วงอายุหนึ่งของโครงสร้าง ความน่าจะเป็นของระยะคาร์บอนเนชั่นจะซ้อนทับกับความน่าจะเป็นของระยะหุ้มเหล็กเสริม ซึ่งส่วนที่ซ้อนทับก็คือความเสี่ยงที่เหล็กเสริมจะเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเนชั่น จากการซ้อนทับของระยะหุ้มเหล็กเสริมและระยะคาร์บอนเนชั่นทำให้เกิดค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวใหม่ของข้อมูลระยะคาร์บอนเนชั่นและระยะหุ้มเหล็กเสริม ซึ่งแสดงออกมาในรูปที่ 6.1(ค)



(ก) แผนภาพจำลองโค้งปกติของระยะคาร์บอนเนชั่นและระยะหุ้มเหล็กเสริม



(ข) แผนภาพจำลองความเสี่ยงของระยะคาร์บอนไฟเบอร์และระยะหุ้มเหล็กเสริมที่มีการแปรผันตามอายุ
โครงสร้าง [29]



(ค) แผนภาพจำลองโค้งปกติที่เกิดจากการซ้อนทับของระยะคาร์บอนไฟเบอร์และระยะหุ้มเหล็กเสริม
รูปที่ 6.1 แผนภาพแสดงกลไกความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนไฟเบอร์ตามหลักความน่าจะเป็นทางสถิติ

จากข้อมูลในตารางที่ 5.2 และ 5.4 สามารถทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่เหล็กเสริมจะมีโอกาสเกิดสนิมตามอายุต่างๆของโครงสร้างได้โดยประยุกต์หลักทางสถิติเกี่ยวกับการแจกแจงความน่าจะเป็นต่อเนื่องของผู้แต่งจากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2535)[11] เข้ามาทำการวิเคราะห์ ตามแบบจำลองรูปที่ 6.1 (ก),(ข),(ค) อาศัยความสัมพันธ์ของการแจกแจงของผลต่างค่าเฉลี่ยของระยะหุ้มเหล็กเสริมและระยะคาร์บอนไฟเบอร์ โดยระยะคาร์บอนไฟเบอร์ที่จะนำมาสร้างความสัมพันธ์วิเคราะห์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนไฟเบอร์จะมีการบวกระยะเพิ่มเข้าไป 10 มิลลิเมตร ทุกระยะคาร์บอนไฟเบอร์ที่วัดได้จากโครงสร้างตามมาตรฐาน JSCE (2006) [30] ที่ระบุไว้ว่าระยะ

$$x_{car,real} = k\sqrt{t_0} \quad (6.1)$$

$$k\sqrt{t} + 10 = x_{car,real(pH)} \quad (6.2)$$

โดยที่ $x_{car,real}$ คือระยะคาร์บอนชั้นที่วัดได้จากโครงสร้าง ณ อายุที่ทำการทดสอบ (มม.)

$x_{car,real(pH)}$ คือระยะคาร์บอนชั้นที่มีการบวกเพิ่ม 10 มม.ตามมาตรฐาน JSCE

k คือค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนชั้น (มม./เดือน^{1/2})

t_0 คืออายุของโครงสร้าง ณ เวลาที่ทำการทดสอบระยะคาร์บอนชั้น (เดือน)

t คืออายุของโครงสร้างที่ต้องการวิเคราะห์ (เดือน)

อย่างไรก็ตามจากสมการที่ (6.1) เป็นการคำนวณหาระยะคาร์บอนชั้น ณ อายุที่ทำการทดสอบเท่านั้น ในกรณีที่จะหาระยะคาร์บอนชั้นที่มีการแปรผันตามอายุโครงสร้าง จะต้องมีการเปลี่ยนค่า t ในสมการที่ (2) เป็น $t_{1,2,...,n}$ โดย $1,2,...,n$ คืออายุโครงสร้างที่มีการแปรผันตามเวลาที่ต้องการพิจารณา

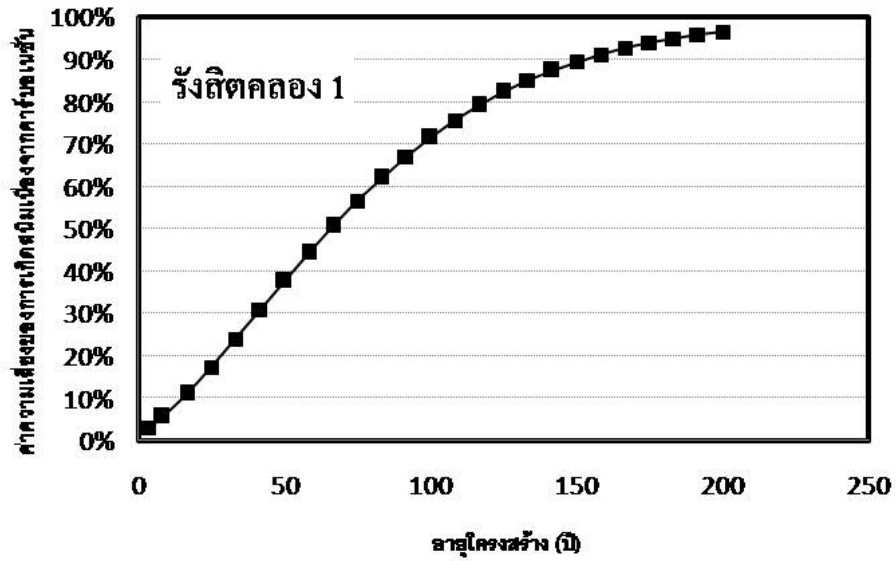
จากแผนภาพจำลองความเสี่ยงที่เหล็กเสริมเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นดังแสดงในรูปที่ 6.1(ก),(ข),(ค) ต้องมีการหาตัวแปรที่จะนำไปวิเคราะห์ตามหลักสถิติเพื่อหาความเสี่ยงที่เหล็กเสริมเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น ประกอบด้วย 1) ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะหุ้มเหล็กเสริม โดยสมมุติให้ค่าทั้งสองค่าดังกล่าวคงที่ตลอดอายุการใช้งาน 2) ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะคาร์บอนชั้นจะมีการวิเคราะห์ค่าดังกล่าวแตกต่างกันคือ ให้ค่าเฉลี่ยของระยะคาร์บอนชั้นจะมีการแปรผันตามเวลาของอายุโครงสร้าง สำหรับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะคาร์บอนชั้นเฉลี่ยจะสมมุติให้คงที่ตลอดอายุการใช้งาน หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐานของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นโดยอาศัยสมการที่ (6.3) ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นผลของช่วงอายุใดอายุหนึ่งของโครงสร้างเท่านั้น เพราะฉะนั้นถ้าต้องการให้ตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐานอายุโครงสร้างที่มีการแปรผันไปตามเวลา จึงจำเป็นต้องอาศัยสมการที่ (6.2) ที่มีตัวแปรเกี่ยวกับอายุโครงสร้างอยู่ด้วยสำหรับที่จะทำการแปรผันอายุโครงสร้างให้ได้ค่าระยะคาร์บอนชั้นที่อายุโครงสร้างต่างๆกัน จึงทำให้ค่าตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐานของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นที่ได้หลากหลายอายุมากยิ่งขึ้น

$$Z = \frac{(\bar{X}_{car,real(pH)} - \bar{X}_{cover}) - (0)}{\sqrt{s_{car,real}^2 + s_{cover}^2}} \quad (6.3)$$

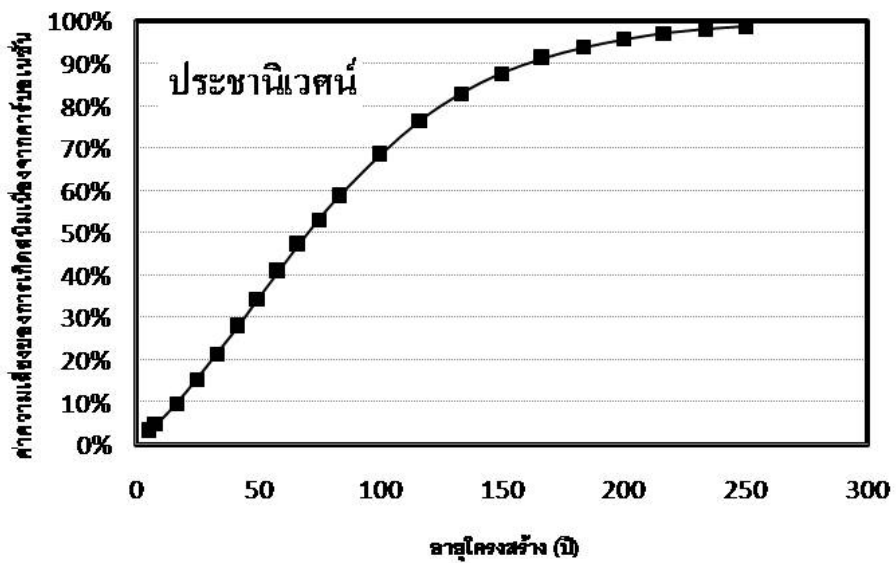
- โดย Z คือค่าตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐาน (นำไปเปิดตารางพื้นที่ใต้โค้ง) ของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น
- 0 คือค่าผลต่างของข้อมูลระยะคาร์บอนชั้นเฉลี่ยและระยะหุ้มเหล็กเสริมเฉลี่ยที่ทำให้เหล็กเสริมมีโอกาสเกิดสนิม ($\bar{X}_{car,real(pH)} > \bar{X}_{cover}$)
- \bar{X}_{cover} คือระยะหุ้มเหล็กเสริมเฉลี่ย (มม.)
- $\bar{X}_{car,real(pH)}$ คือระยะคาร์บอนชั้นเฉลี่ยที่มีการบวกเพิ่ม 10 มม. ตามมาตรฐาน JSCE (มม.)
- $s_{car,real}$ คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะคาร์บอนชั้นเฉลี่ย
- s_{cover} คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะหุ้มเหล็กเสริมเฉลี่ย

เมื่อได้ค่าตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐานของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นแล้ว นำค่าดังกล่าวมาเปิดตารางพื้นที่ใต้โค้งปกติมาตรฐาน ซึ่งพื้นที่ใต้โค้งปกติมาตรฐานนี้คือความน่าจะเป็นที่เหล็กเสริมจะเกิดสนิม

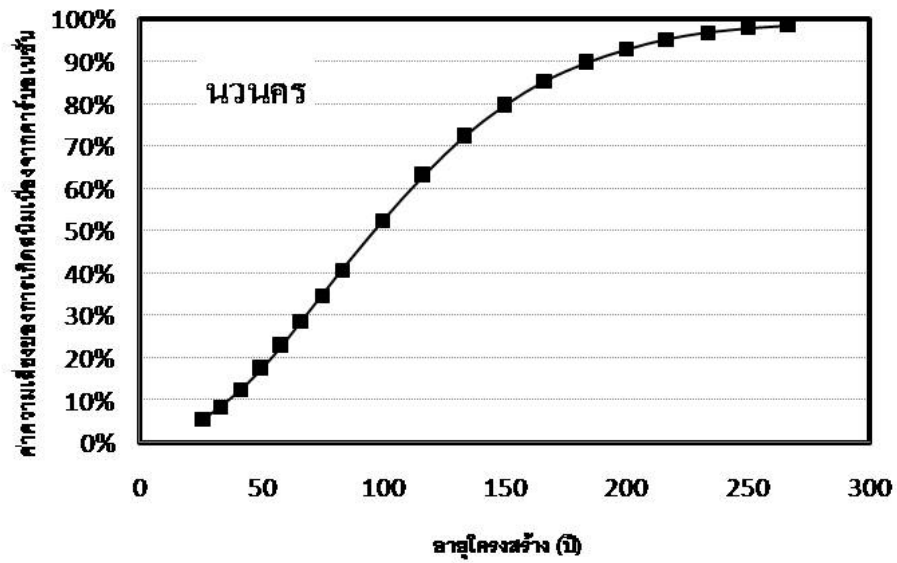
จากรูปที่ 6.2 ถึง 6.10 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง1 บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์ เคหะชุมชนนวนคร เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1 เคหะชุมชนดินแดง 3 เคหะชุมชนดินแดง (12ชั้น) เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2 เคหะชุมชนห้วยขวาง และเคหะชุมชนพญา 2 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าทุกช่วงอายุของโครงสร้างในทุกๆ โครงการมีค่าความเสี่ยงของการเกิดสนิมแตกต่างกัน โดยโครงการที่มีสถานที่ตั้งในเขตกรุงเทพมหานครเช่น เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1 เคหะชุมชนดินแดง 3 เคหะชุมชนดินแดง (12ชั้น) เป็นต้น มีค่าความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นสูงกว่าโครงการที่ตั้งอยู่ในเขตปริมณฑล เช่น เคหะชุมชนนวนคร เป็นต้น



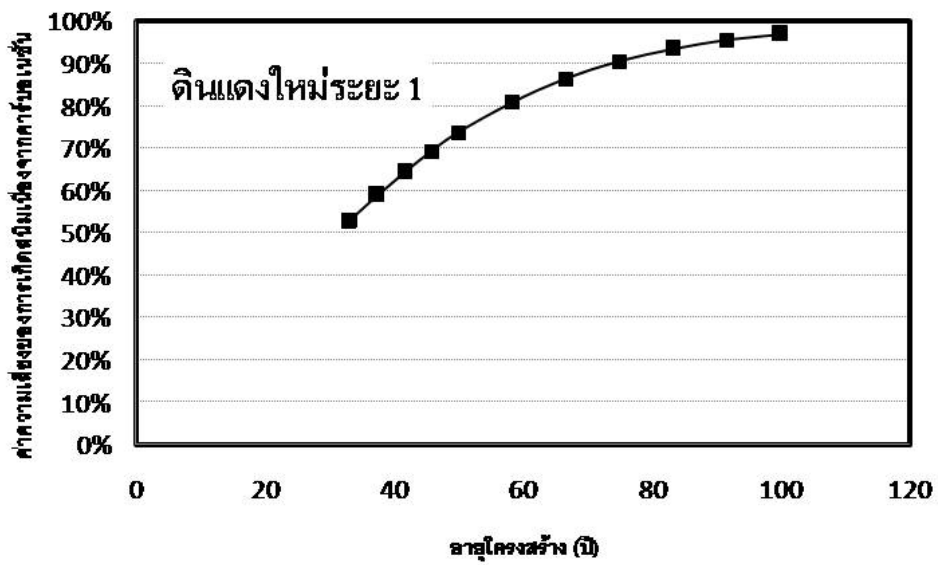
รูปที่ 6.2 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเข้มข้นของ โครงการรังสิตคลอง 1



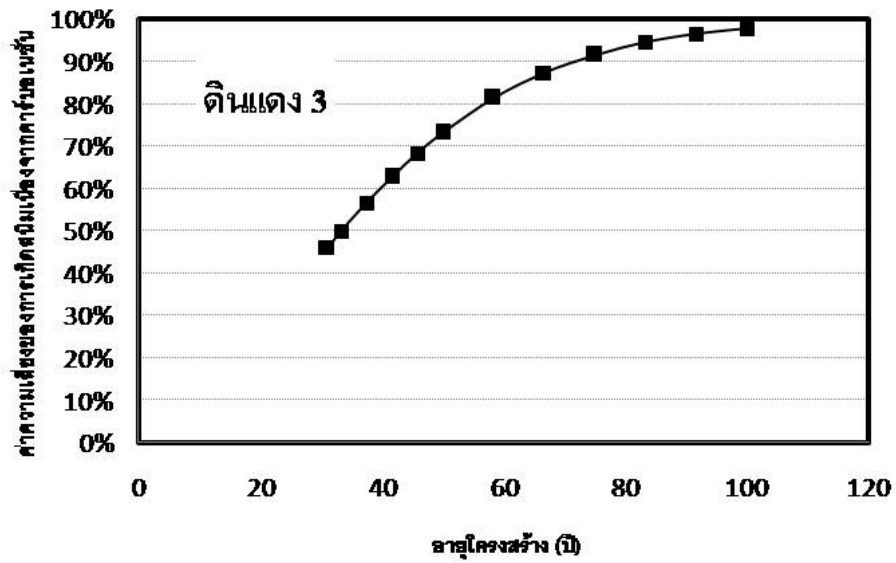
รูปที่ 6.3 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเข้มข้นของ โครงการประชาณีเวศน์



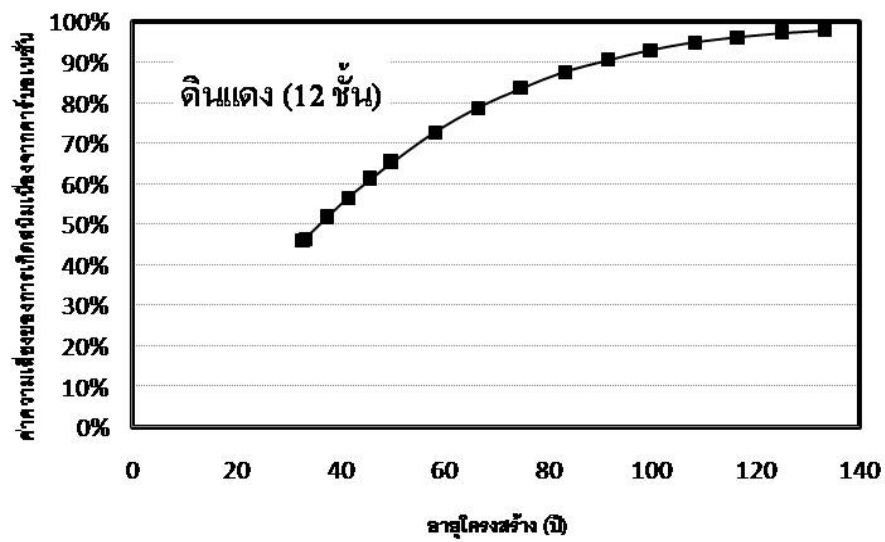
รูปที่ 6.4 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเพิ่มขึ้นของ โครงการนวนคร



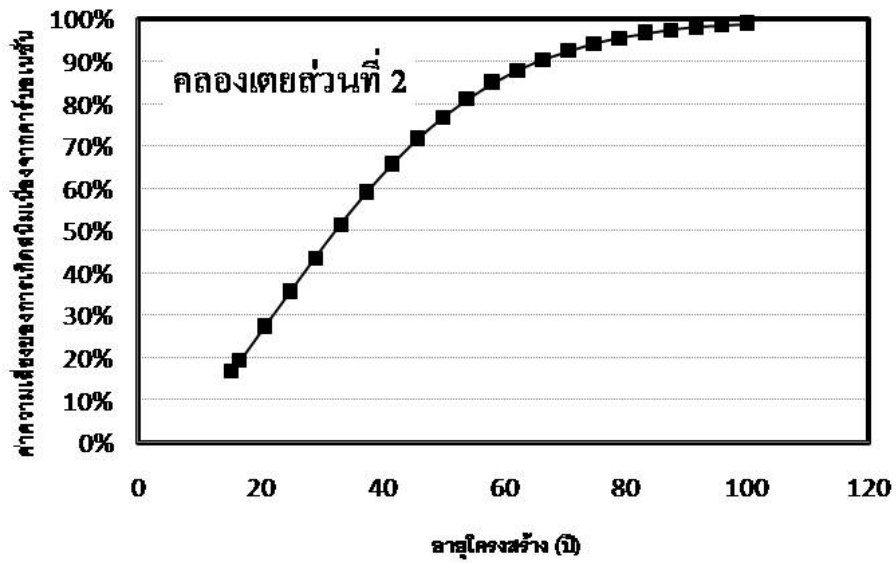
รูปที่ 6.5 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเพิ่มขึ้นของโครงการดินแดงใหม่ระยะที่ 1



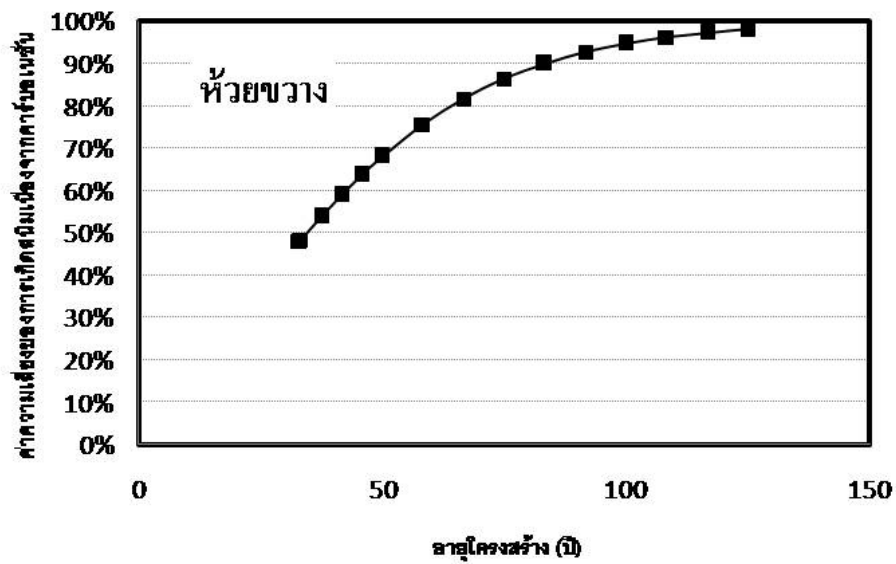
รูปที่ 6.6 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการดินแดง 3



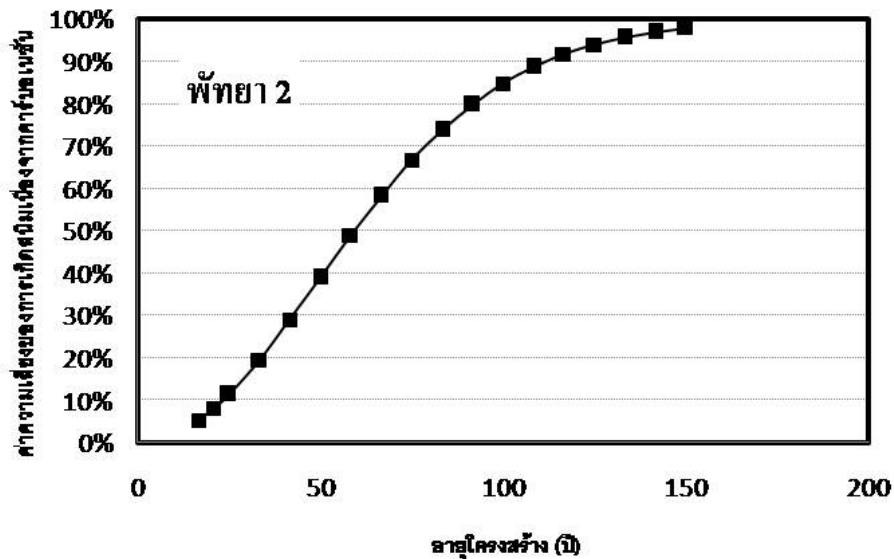
รูปที่ 6.7 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการดินแดง (12ชั้น)



รูปที่ 6.8 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการคอลลอยด์ส่วนที่ 2



รูปที่ 6.9 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการห้วยขวาง



รูปที่ 6.10 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากรับอนชั้นของโครงการพหุคูณ 2

ในขณะที่เดียวกันถ้าพิจารณาโครงสร้างที่ตั้งอยู่ในสภาวะสิ่งแวดล้อมที่คล้ายคลึงกัน แต่มีลักษณะโครงสร้างที่ต่างกันเช่น บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 และเคหะชุมชนนวนคร พบว่าค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนชั้นของเคหะชุมชนนวนครสูงกว่าบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 แต่เมื่อเปรียบเทียบอายุการใช้งานของโครงสร้าง 100 ปีเท่ากัน พบว่าความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากรับอนชั้นของบ้านเอื้ออาทรรังสิตเท่ากับ 72 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าเคหะชุมชนนวนครเท่ากับ 53 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจาก

1) ระยะเวลาคาร์บอนชั้นที่วัดได้จากเคหะชุมชนนวนครมีการรวมระยะปูนฉาบเข้าไปด้วย ซึ่งปูนฉาบมีอัตราการพัฒนาระยะคาร์บอนชั้นสูงกว่าคอนกรีต จึงเป็นผลทำให้อัตราการเกิดระยะคาร์บอนชั้นมีมาก

2) ระยะเวลาคาร์บอนชั้นที่ต่างกัน คือ บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 มีระยะเวลาคาร์บอนชั้นที่น้อยกว่าเคหะชุมชนนวนคร ย่อมส่งผลให้ระยะเวลาคาร์บอนชั้นเข้าทำลายคอนกรีตจนส่งผลกระทบต่อเหล็กเสริมภายในคอนกรีตได้เร็วขึ้น

จากรูปที่ 6.11 และ 6.12 แสดงความสัมพันธ์ของอายุโครงสร้างกับความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากรับอนชั้นของโครงสร้างที่มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลตามลำดับ ซึ่งพบว่าทุกช่วงอายุของโครงสร้างในทุกๆโครงการมีความเสี่ยงของการเกิดสนิมแตกต่างกัน เช่นเมื่อเปรียบเทียบอายุการใช้งานของโครงสร้าง 100 ปี ความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากรับอนชั้นของโครงการที่มีสถานที่ตั้งในเขตกรุงเทพมหานครอาทิ เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1 (ความเสี่ยงของการเกิดสนิม 98 เปอร์เซ็นต์), เคหะชุมชนดินแดง 3 (ความเสี่ยงของการเกิดสนิม 98

นอกจากนี้จากตารางที่ 5.4 และรูปที่ 6.12 ยังพบอีกว่าโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จที่มีอายุใกล้เคียงกัน คือบ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์ ซึ่งมีที่ตั้งอาคารใกล้กับทางด่วน มีค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนเข้มข้นสูงกว่าบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 แต่เมื่อเปรียบเทียบความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเข้มข้นพบว่าบ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์ (ความเสี่ยงของการเกิดสนิม 69 เปอร์เซ็นต์ที่อายุการใช้งาน 100 ปี) มีความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเข้มข้นน้อยกว่าบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (ความเสี่ยงของการเกิดสนิม 72 เปอร์เซ็นต์ที่อายุการใช้งาน 100 ปี) ทั้งนี้เนื่องจากระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมที่ต่างกันคือระยะหุ้มเหล็กเสริมของบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 มีค่าน้อยกว่าบ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์ ย่อมส่งผลให้ระยะคาร์บอนเข้มข้นเข้าทำลายคอนกรีตจนส่งผลกระทบต่อเหล็กเสริมภายในคอนกรีตได้เร็วขึ้น

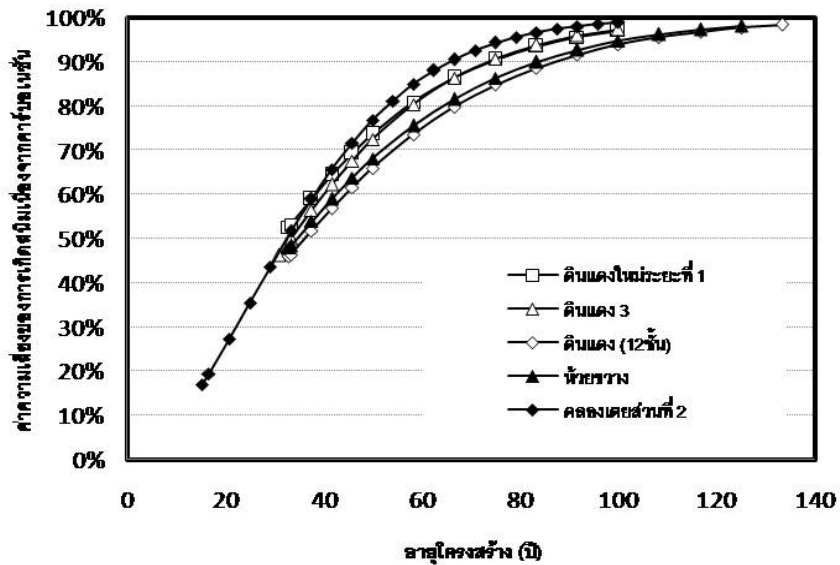
ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณารูปที่ 6.10, 6.11 และ 6.12 พบว่าความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเข้มข้นที่อายุการใช้งานโครงสร้าง 100 ปีของโครงการที่มีตำแหน่งที่ตั้งในเขตพัฒนาชลบุรีมีความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเข้มข้นเท่ากับ 84 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จคือบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 และประชานิเวศน์ แต่ต่ำกว่าโครงสร้างหล่อในที่ที่มีตำแหน่งอาคารอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร

สำหรับความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเข้มข้น ณ เวลาที่ทำการทดสอบระยะคาร์บอนเข้มข้น (พ.ศ.2553) ดังแสดงในตารางที่ 6.1 พบว่าโครงการที่มีสถานที่ตั้งในเขตกรุงเทพมหานครมีความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเข้มข้นสูงกว่าโครงการที่ตั้งอยู่ในเขตปริมณฑล จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นมีสาเหตุเนื่องมาจาก

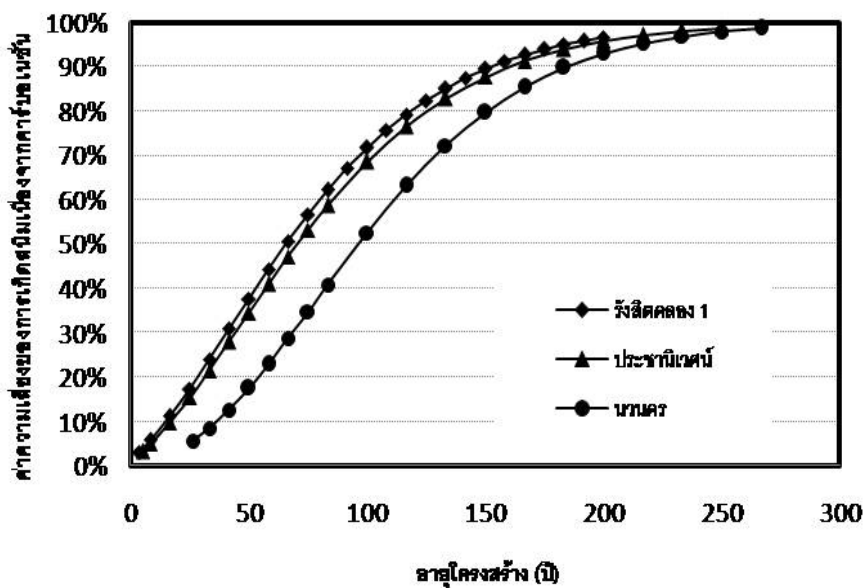
- 1) อัตราการพัฒนาระยะคาร์บอนเข้มข้นต่างกัน คือในเขตกรุงเทพมหานครมีอัตราการพัฒนาระยะคาร์บอนเข้มข้นสูงกว่าในเขตปริมณฑล
- 2) ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมที่มีระยะต่างกัน ซึ่งจะมีส่วนทำให้คาร์บอนเข้มข้นเข้าไปถึงตำแหน่งเหล็กเสริม จนทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตรอบเหล็กเสริมลดต่ำลงใกล้เคียงหรือต่ำกว่าระดับวิกฤติได้ต่างกัน
- 3) ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ที่มีปริมาณพอเหมาะต่อการเกิดคาร์บอนเข้มข้นในอัตราที่ต่างกัน คือในเขตกรุงเทพมหานครมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าในเขตปริมณฑล

4) คุณภาพของคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างของแต่ละพื้นที่ต่างกัน

5) อายุของโครงสร้างต่างกัน คือ โครงสร้างอาคารในเขตกรุงเทพมหานครมีการก่อสร้างก่อน โครงสร้างอาคารในเขตปริมณฑลจึงทำให้อาคารในเขตกรุงเทพมหานครมีอายุมากกว่าในเขตปริมณฑล



รูปที่ 6.11 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเข้มข้นของ โครงการที่มีตำแหน่งที่ตั้งในเขต กรุงเทพมหานคร



รูปที่ 6.12 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเข้มข้นของ โครงการที่มีตำแหน่งที่ตั้งในเขต ปริมณฑล

ตารางที่ 6.1 เปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น ณ เวลาที่ทำการทดสอบ (พ.ศ.2553) และที่อายุการใช้งาน 100 ปี

โครงการที่เข้าตรวจสอบ	อายุ(เดือน)	เปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงการเกิดสนิม	
		ณ เวลาที่ทดสอบ (พ.ศ.2553)	ที่อายุการใช้งาน 100 ปี
บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1	45	3.11	71.66
บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์	62	3.27	68.52
เคหะชุมชนนวนคร	317	5.57	52.50
เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะ 1	396	52.61	97.03
เคหะชุมชนดินแดง 3	372	46.05	97.38
เคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น)	396	46.11	93.90
เคหะชุมชนห้วยขวาง	396	47.96	94.77
เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2	183	16.95	98.91
เคหะชุมชนพิทยา 2	200	5.36	83.86

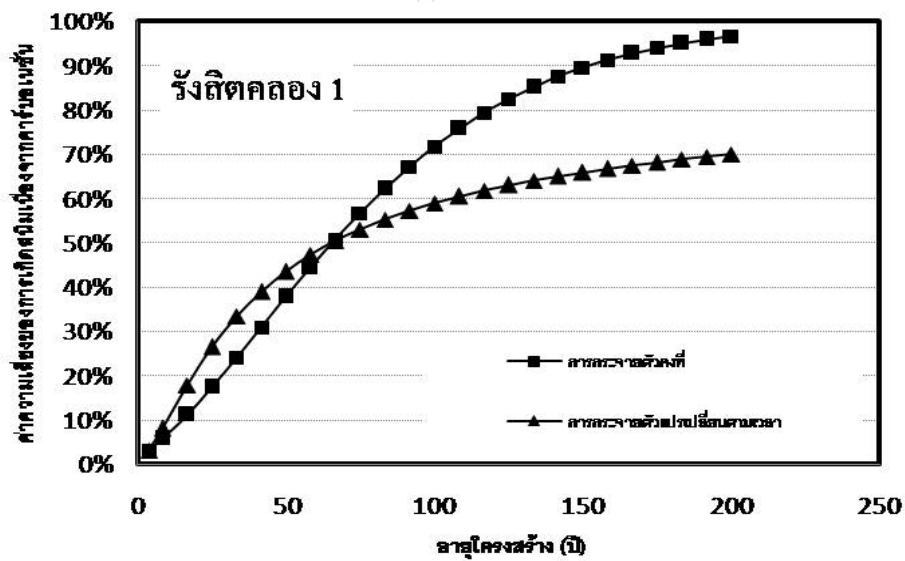
แต่อย่างไรก็ตามในอนาคตข้างหน้าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นของโครงการต่างๆที่ตรวจสอบทั้งหมดอาจมีความไม่แน่นอนอยู่ในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะอายุโครงสร้างที่มากขึ้น (ในอนาคต) อัตราการเกิดคาร์บอนชั้นอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปจากปัจจุบันไม่มากนักน้อย เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนชั้นในอนาคตอาจมีการเปลี่ยนแปลง เช่น สภาพแวดล้อม เป็นต้น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในระดับที่มากขึ้นแตกต่างกันได้ เช่น วางแผนการดูแลบำรุงรักษาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นต้น ซึ่งในอนาคตข้างหน้าอาจจะมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อความแม่นยำของผลที่ได้ก็อาจเป็นไปได้

ในขณะเดียวกันความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นมีการวิเคราะห์ 2 ลักษณะ คือ 1) วิเคราะห์ความเสี่ยงที่ใช้ค่าการกระจายตัวคงที่ ซึ่งกล่าวมาแล้วข้างต้น

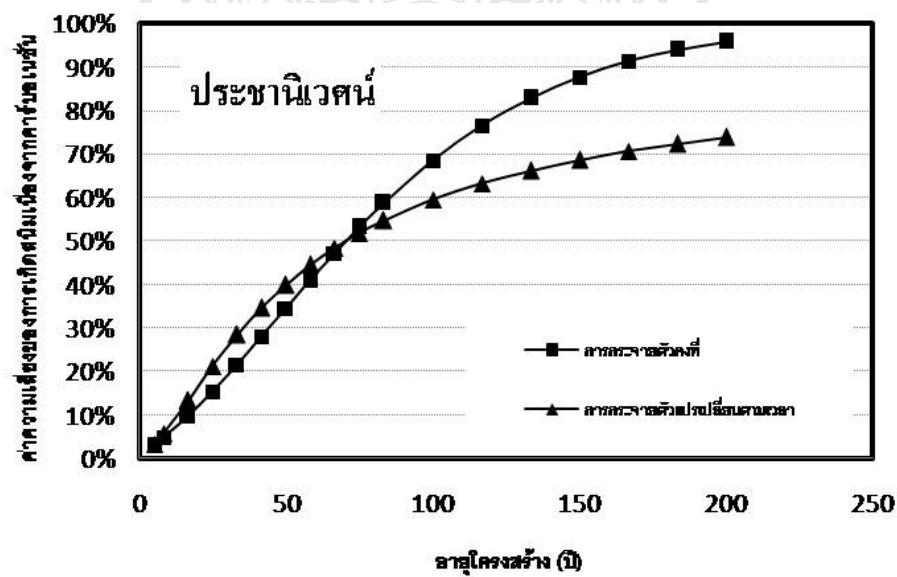
2) วิเคราะห์ความเสี่ยงที่ใช้ค่าการกระจายตัวแปรเปลี่ยนตามเวลา กล่าวต่อไปดังแสดงในรูปที่ 6.13 ถึง 6.21

จากรูปที่ 6.13 ถึง 6.21 แสดงความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น โดยใช้การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง1 บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์ เคหะชุมชนนวนคร เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1 เคหะชุมชนดินแดง 3 เคหะชุมชนดินแดง (12ชั้น) เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2 เคหะชุมชนห้วยขวาง และเคหะชุมชนพิทยา 2 ตามลำดับพบว่าค่าความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นที่ใช้การกระจายตัวแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการที่มีการพัฒนาระยะคาร์บอนชั้นที่ช้าจะสูงกว่าค่าความเสี่ยงที่ใช้การกระจายตัวคงที่ในช่วงที่โครงสร้างมีอายุการใช้งานน้อยๆ แต่ในทางกลับกันเมื่ออายุการใช้งานที่มากขึ้นค่าความเสี่ยง

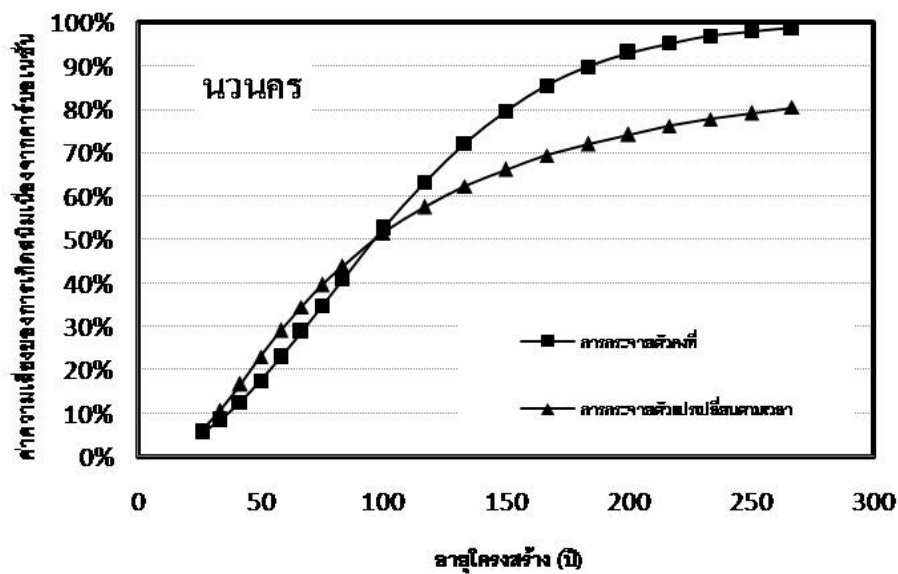
แต่อย่างไรก็ตามเมื่อโครงสร้างมีอายุการใช้งานที่มากขึ้น ค่าความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นที่มีการใช้ค่าการกระจายตัวคงที่จะมากกว่าโครงสร้างที่มีการนำค่าการกระจายตัวที่แปรเปลี่ยนตามเวลามาวิเคราะห์ตลอด ย่อมแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างมีระยะปลอดภัยที่สูงกว่านั่นเอง



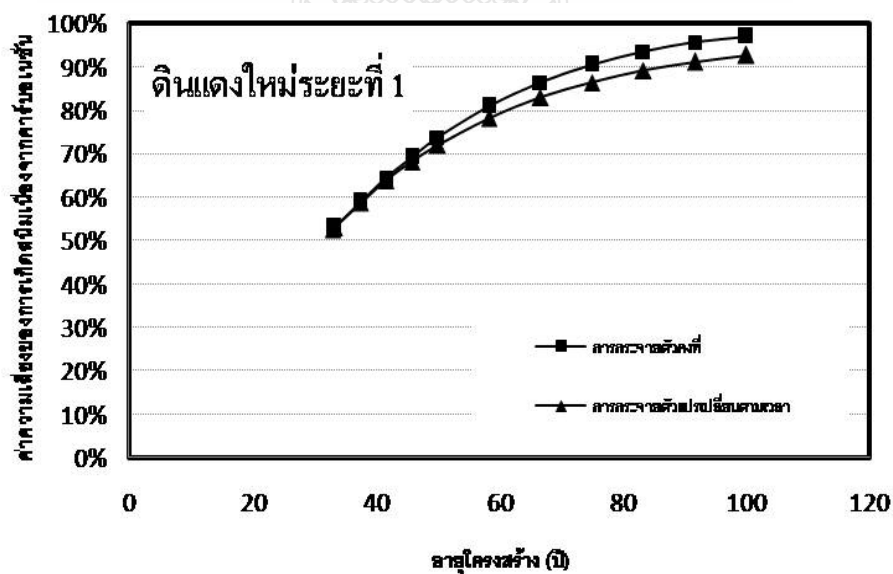
รูปที่ 6.13 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น โดยใช้การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการรังสิตคลอง 1



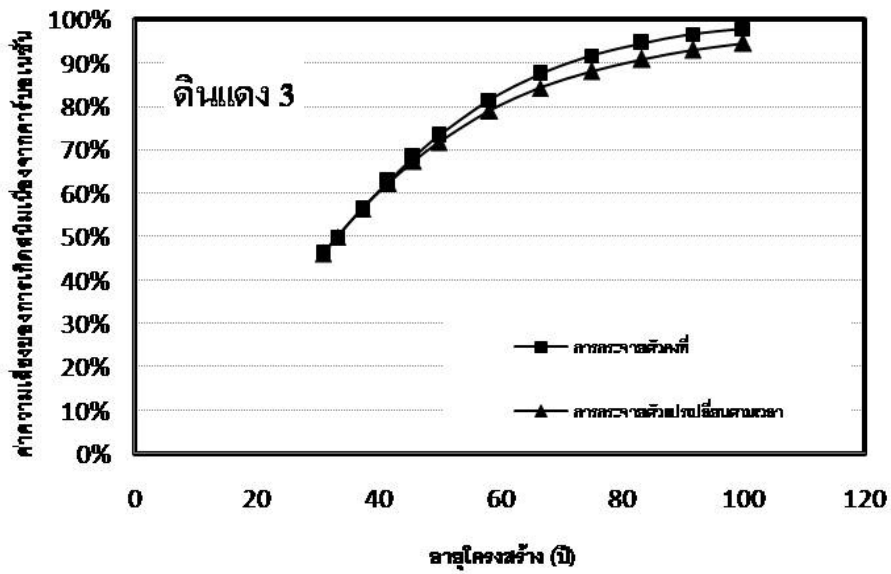
รูปที่ 6.14 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้น โดยใช้การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการประชานีเวศน์



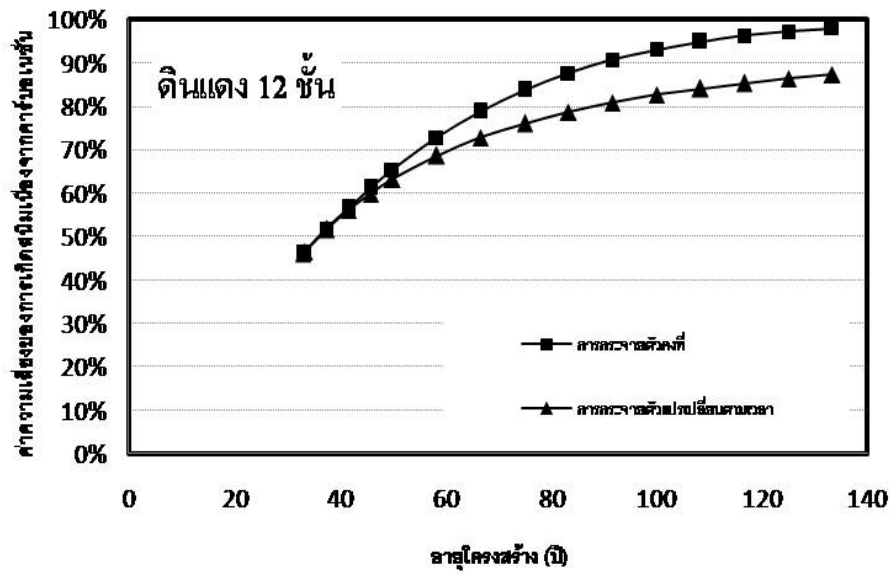
รูปที่ 6.15 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเข้มข้น โดยใช้การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการนวนคร



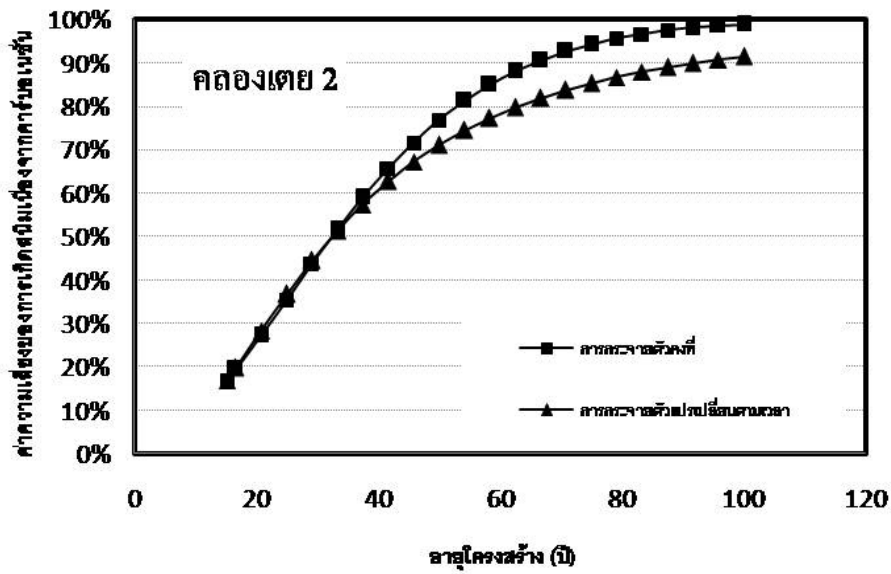
รูปที่ 6.16 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเข้มข้น โดยใช้การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการดินแดงใหม่ระยะที่ 1



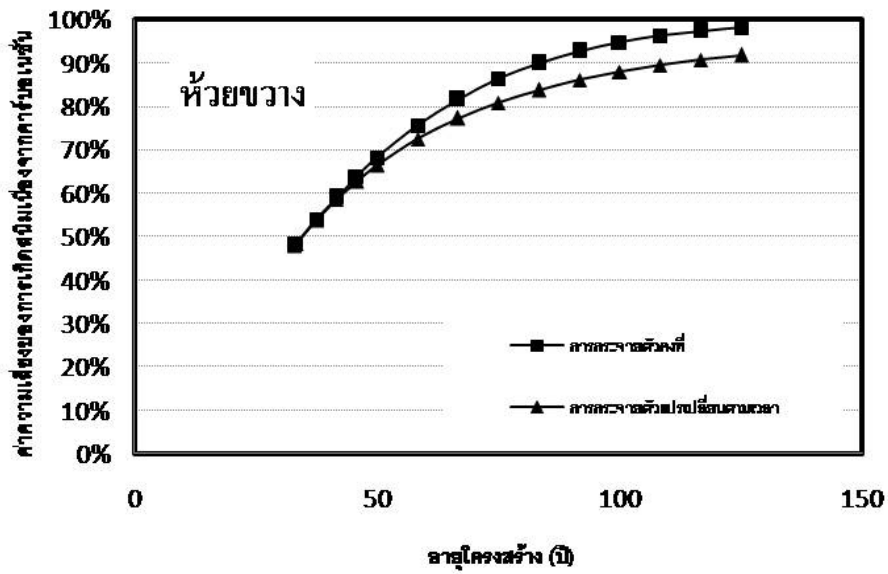
รูปที่ 6.17 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยใช้การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการดินแดง 3



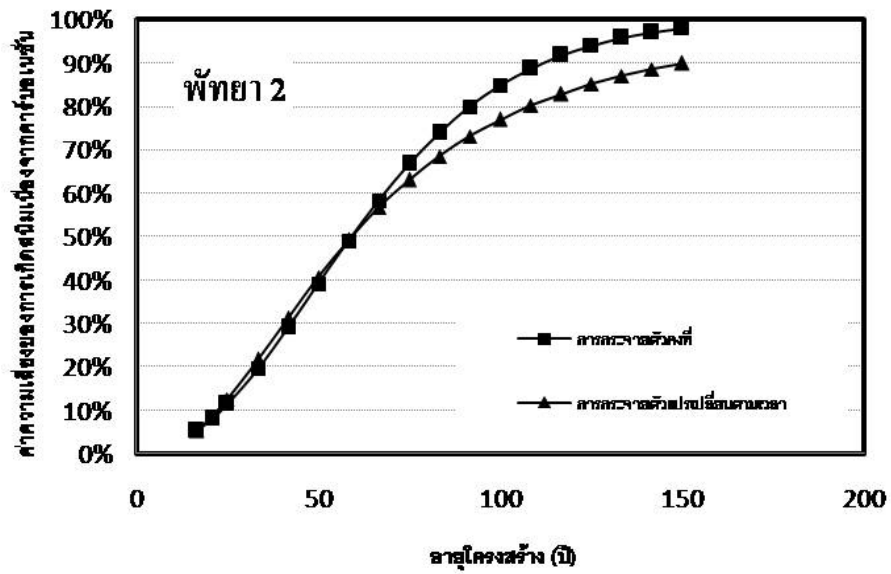
รูปที่ 6.18 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยใช้การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการดินแดง (12 ชั้น)



รูปที่ 6.19 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากการคาร์บอนเนชั่น โดยใช้การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการคลองเตยส่วนที่ 2



รูปที่ 6.20 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากการคาร์บอนเนชั่น โดยใช้การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการห้วยขวาง



รูปที่ 6.21 ความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้การกระจายตัวคงที่และแปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงการพัทยา 2



บทที่ 7

เปรียบเทียบระยะคาร์บอนเนชั่นจากโครงสร้างจริงและการออกแบบ

7.1 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องเผชิญคาร์บอนเนชั่น

เมื่อคอนกรีตอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ต้องเผชิญกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะแพร่เข้าไปในคอนกรีต และทำปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นซึ่งจะทำให้ความสามารถของคอนกรีตในการปกป้องเหล็กเสริมจากการเป็นสนิมลดลงจนทำให้เหล็กเสริมเกิดสนิมได้ เพื่อให้โครงสร้างคอนกรีตมีความคงทนต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นและมีอายุการใช้งานที่ปลอดการซ่อมแซม (Repair-free service life) ตามที่กำหนด ต้องควบคุมให้ความลึกคาร์บอนเนชั่นในช่วงอายุการใช้งานที่ปลอดการซ่อมแซมมีค่าไม่มากกว่าระยะหุ้มเหล็กเสริม โดยสามารถใช้สมการ (7.1) ในการออกแบบ

$$X_c = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot k \cdot \sqrt{t} \quad (7.1)$$

X_c คือระยะคาร์บอนเนชั่น (มม.) วัดจากผิวคอนกรีตที่เผชิญกับสภาพแวดล้อม ณ อายุคอนกรีตที่ออกแบบ

α_1 คือสัมประสิทธิ์การสัมผัสความเปียกชื้น (1.00 สำหรับผิวคอนกรีตที่ไม่สัมผัสความเปียกชื้น, 0.95 สำหรับผิวคอนกรีตที่สัมผัสความเปียกชื้น)

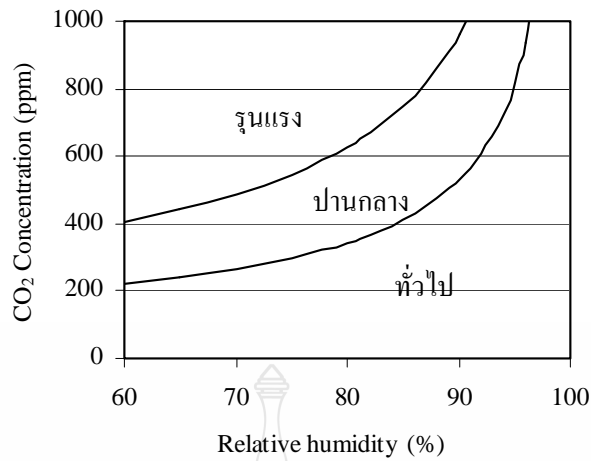
α_2 คือสัมประสิทธิ์ระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนเนชั่นดังตารางที่ 7.1

t คืออายุของโครงสร้าง (เดือน)

ตารางที่ 7.1 สัมประสิทธิ์ระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนเนชั่น

ความรุนแรงของสภาพแวดล้อม	α_2
สถานะทั่วไป	0.65
เสี่ยงต่อคาร์บอนเนชั่นปานกลาง	0.85
เสี่ยงต่อคาร์บอนเนชั่นรุนแรง	1.00

ระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนเนชั่น สามารถกำหนดได้โดยใช้รูปที่ 7.1 โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของบริเวณสถานที่ที่จะทำการก่อสร้างในช่วงอายุการใช้งาน ซึ่งอาจต้องคาดการณ์ล่วงหน้าไปในอนาคต

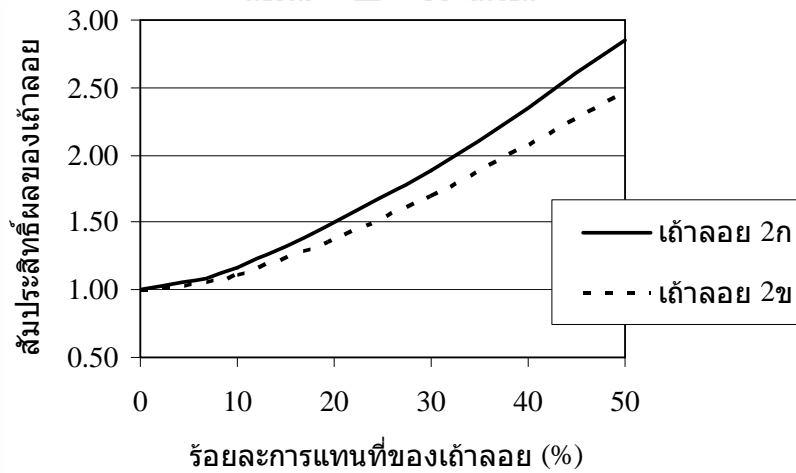


รูปที่ 7.1 การแบ่งระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมคาร์บอนขึ้น

k คือสัมประสิทธิ์ความลึกคาร์บอนขึ้น ดังสมการ $k = 17.5 \cdot k_r \cdot (w/b)^3$

(w/b) คืออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

โดยค่าสัมประสิทธิ์แสดงผลของการแทนที่เถ้าลอยในวัสดุประสาน (k_r) (ชนิดของเถ้าลอย 2ก และ 2ข กำหนดตามมาตรฐาน มอก. 2135-2545 หรือ ว.ส.ท. 1014-46) ดังรูป 7.2



รูปที่ 7.2 ค่าสัมประสิทธิ์แสดงผลของการแทนที่เถ้าลอยในวัสดุประสาน

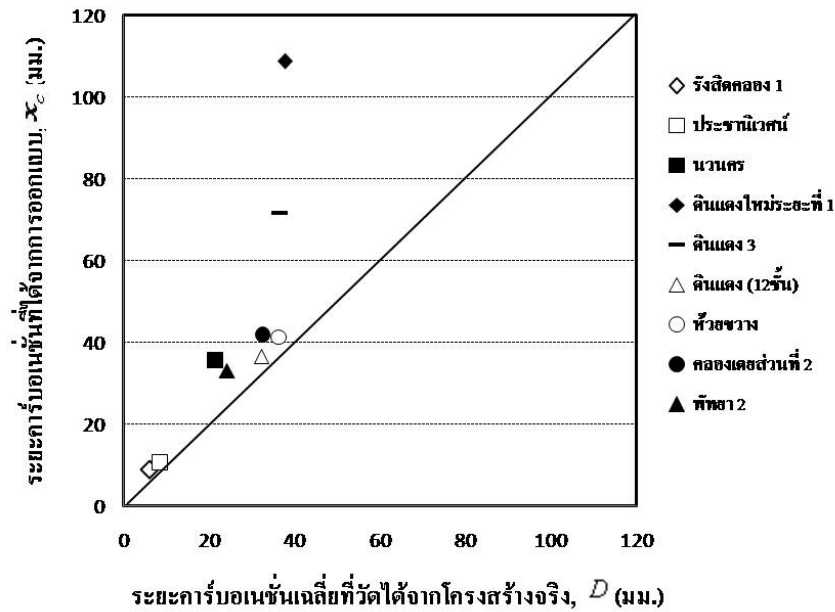
7.2 เปรียบเทียบระยะคาร์บอนที่ได้ออกแบบ (ไม่มีผลของสีและความหนาปูนฉาบ) และโครงสร้างจริง (รวมความหนาปูนฉาบและสี)

รูปที่ 7.3 และตารางที่ 7.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะคาร์บอนที่ได้ออกแบบ (ไม่มีผลของสีและความหนาปูนฉาบ) เทียบกับการออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบความคงทน สำหรับโครงสร้างที่เผชิญคาร์บอนที่ได้ออกแบบ (ไม่มีผลของสีและปูนฉาบ) พบว่าทั้ง 9 โครงการที่ทำการตรวจสอบมีค่าระยะคาร์บอนที่ได้ออกแบบน้อยกว่าที่ได้จากการออกแบบ ซึ่งทำให้เห็นว่าโครงสร้างจริงมีตัวแปรที่มีส่วนช่วยทำให้ระยะคาร์บอนที่ได้ออกแบบลดน้อยลงสามารถอธิบายในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 7.2 ระยะคาร์บอนที่ได้ออกแบบ (ไม่มีผลของสีและความหนาปูนฉาบ) และ โครงสร้างจริง (รวมความหนาปูนฉาบและสี)

โครงการที่ตรวจสอบ	อายุ (เดือน)	α_1	α_2	\sqrt{t}	k (มม./เดือน ^{1/2})	x_c (มม.)	D (มม.)
บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1	45	0.95	1.00	6.71	1.39	8.87	6.18
บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์	62	0.95	1.00	7.87	1.39	10.41	8.63
เคหะชุมชนนวนคร	317	0.95	0.85	17.80	2.46	35.38	21.59
เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะ 1	396	0.95	1.00	19.90	5.75	108.68	37.80
เคหะชุมชนดินแดง 3	372	0.95	1.00	19.29	3.78	69.26	36.70
เคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น)	396	0.95	1.00	19.90	1.94	36.59	32.24
เคหะชุมชนห้วยขวาง	396	0.95	1.00	19.90	2.19	41.35	36.48
เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2	183	0.95	1.00	13.53	3.24	41.65	32.50
เคหะชุมชนพญา 2	200	0.95	1.00	14.14	2.46	33.06	24.18

D คือ ระยะคาร์บอนที่วัดได้จากโครงสร้างจริงรวมความหนาปูนฉาบและสี



รูปที่ 7.3 ระยะคาร์บอนเนชันที่ได้จากโครงสร้างจริง (รวมความหนาปูนฉาบและสี) เทียบกับระยะคาร์บอนเนชันตามมาตรฐานการออกแบบความคงทนสำหรับโครงสร้างที่เผชิญคาร์บอนเนชัน (ไม่มีผลของสีและปูนฉาบ)

7.3 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องเผชิญคาร์บอนเนชัน (คำนึงผลของสี)

จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยศึกษาถึงผลของสีที่มีต่อการเกิดคาร์บอนเนชัน พบว่าสีมีส่วนช่วยทำให้ระยะคาร์บอนเนชันลดลงได้ในระดับหนึ่ง นอกจากนี้ยังทำให้ได้ค่าตัวแปรที่มีผลทำให้ระยะคาร์บอนเนชันลดน้อยลง นั่นก็คือค่า β_{pc} (ผลของสัมประสิทธิ์คอนกรีตที่ทาสี) ซึ่งค่าดังกล่าวมาจากความสัมพันธ์ของสมการที่ (7.2) [25]

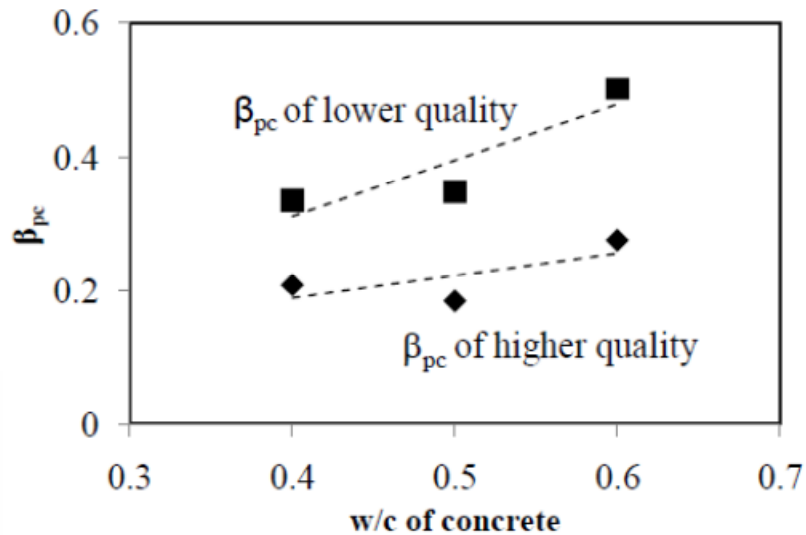
$$\beta_{pc} = k_{pc} / k_c \quad (7.2)$$

โดยที่ k_{pc} คือสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชันคอนกรีตที่ทาสี

k_c คือสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชันของคอนกรีต

จากสมการที่ (7.2) มีการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพสีที่ใช้ทาบริเวณผิวคอนกรีตถึง 2 ประเภทคือ สีที่คุณภาพสูงและสีคุณภาพต่ำ โดยคอนกรีตมีการแปรผันอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ ซึ่งผลที่ได้แสดงในกราฟรูปที่ 7.4 นอกจากนี้ยังพบอีกว่าค่า β_{pc} ที่ได้เป็นตัวชี้วัดค่าความต้านทานระยะคาร์บอนเนชัน ได้แตกต่างกันคือ

- 1) $\beta_{pc} < 1$ แสดงให้เห็นว่าผลของ β_{pc} มีส่วนช่วยทำให้ระยะคาร์บอนเนชันลดน้อยลง
- 2) $\beta_{pc} = 1$ แสดงให้เห็นว่าผลของ β_{pc} ไม่มีผลต่อระยะคาร์บอนเนชัน
- 3) $\beta_{pc} > 1$ แสดงให้เห็นว่าผลของ β_{pc} มีส่วนช่วยทำให้ระยะคาร์บอนเนชันเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 7.4 ความสัมพันธ์ของ β_{pc} (ผลของสัมประสิทธิ์คอนกรีตที่ทาสี) กับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ [25]

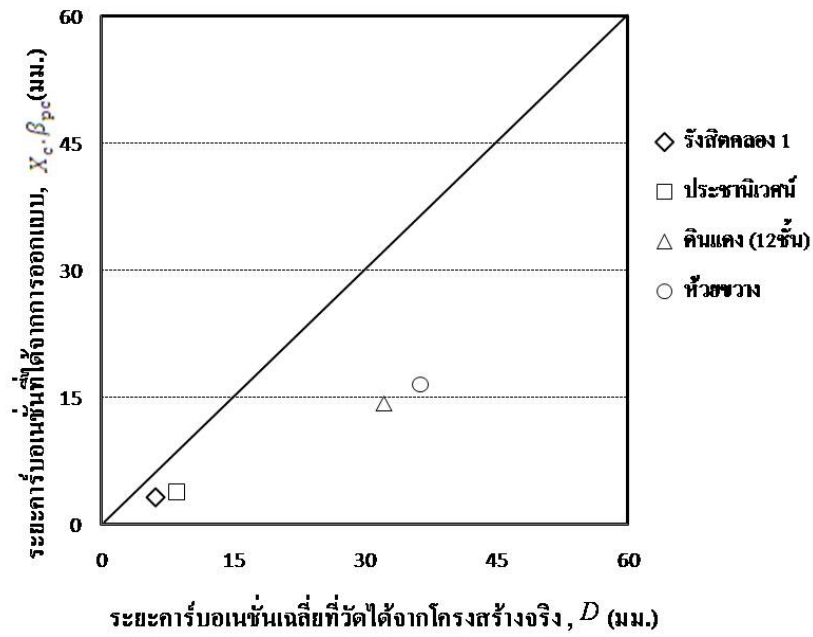
สำหรับค่า β_{pc} ที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้ จะใช้ค่า β_{pc} ของสีที่มีคุณภาพต่ำในการเปรียบเทียบ โดยค่า β_{pc} ที่ได้จากความสัมพันธ์ของรูปที่ 7.4 จะนำมาคูณระยะคาร์บอนชั้นที่ได้จากการออกแบบ (X_c) ได้ค่าดังตารางที่ 7.3

รูปที่ 7.5 และตารางที่ 7.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะคาร์บอนชั้นที่ได้จากโครงสร้างจริงเทียบกับการออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบความคงทนสำหรับโครงสร้างที่เผชิญคาร์บอนชั้น (ค่านิ่งผลของสี) โดยใช้ผลของ β_{pc} ในรูปที่ 7.4 มาทำการวิเคราะห์ พบว่าโครงการที่ตรวจสอบมีแนวโน้มของระยะคาร์บอนชั้นที่วัดได้จากโครงสร้างจริง มีค่าสูงกว่าระยะคาร์บอนชั้นจากการออกแบบ (ค่านิ่งผลของสี) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

- 1) สีในสภาวะจริงเกิดการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน
- 2) คุณภาพของสีที่ใช้มีคุณสมบัติการต้านทานการเกิดคาร์บอนชั้นต่างกัน

ตารางที่ 7.3 ระยะคาร์บอนชั้นที่ได้จากการออกแบบ (ค่านิ่งผลของสี) และโครงสร้างจริง (เฉพาะคอนกรีต)

โครงการที่ตรวจสอบ	อายุ (เดือน)	X_c	β_{pc}	$X_c \cdot \beta_{pc}$ (มม.)	D (มม.)
บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1	45	8.87	0.36	3.19	6.18
บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์	62	10.41	0.36	3.75	8.63
เลหะชุมชนดินแดง (12ชั้น)	396	36.59	0.39	14.27	32.24
เลหะชุมชนห้วยขวาง	396	41.35	0.40	16.54	36.48



รูปที่ 7.5 ระยะคาร์บอนชั้นที่ได้ออกโครงสร้างจริงเทียบกับระยะคาร์บอนชั้นตามมาตรฐานการออกแบบความคงทนสำหรับโครงสร้างที่เผชิญคาร์บอนชั้น (ค่านิ่งผลของสีในห้องปฏิบัติการ)

ในส่วนของการเปรียบเทียบระยะคาร์บอนชั้นของโครงสร้างที่มีสีและปูนฉาบเป็นส่วนประกอบจะมีค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าอยู่หลายตัว เช่น ส่วนผสมของปูนฉาบ เป็นต้น ซึ่งระยะคาร์บอนชั้นที่คำนวณได้อาจจะไม่แม่นยำเท่าที่ควร จึงสมควรศึกษาในอนาคตต่อไป

บทที่ 8

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

1) สำหรับโครงสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบขึ้นส่วนสำเร็จ ปัญหาที่พบมากที่สุดคือปัญหาการรั่วซึมของน้ำที่บริเวณรอยต่อของโครงสร้าง ซึ่งเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานของโครงสร้าง และอาจจะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างส่วนที่สัมผัสกับน้ำ นอกจากนี้ยังพบปัญหาเล็กน้อยเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาของไฟรต์

2) สำหรับโครงสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบหล่อในที่ ปัญหาที่พบมากที่สุดคือการแตกร้าวของโครงสร้าง การหลุดร่อนของชั้นปูนฉาบ และการเกิดสนิมในบางส่วนของโครงสร้างซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนคือในโครงการเคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 1 และ 2 ในขณะที่ปัญหาการรั่วซึมของน้ำในโครงสร้างนั้นจะมีอยู่บ้างแต่ระดับความรุนแรงจะน้อยกว่าปัญหาการรั่วซึมของน้ำที่พบในกรณีของอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบขึ้นส่วนสำเร็จ

จากการสรุปข้อที่ 1 และ 2 ทำให้ทราบถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างภายนอก ซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาวิเคราะห์ถึงสาเหตุภายในที่ลึกลงไป เพื่อให้ทราบถึงปัญหาความเสียหายที่ชัดเจนยิ่งขึ้น นั่นก็คือการวิเคราะห์ถึงสาเหตุภายในตัวคอนกรีตที่คอนกรีตอาจเกิดผลกระทบเนื่องจากความคองทนได้ โดยเน้นไปที่ความคองทนเกี่ยวกับคาร์บอนชั้นเป็นหลัก เนื่องจากสภาพโครงสร้างอาคารที่ตรวจสอบมีความเสี่ยงต่อการเกิดคาร์บอนชั้นค่อนข้างสูง

3) อัตราการเกิดระยะคาร์บอนชั้นของโครงสร้างอาคารที่มีตำแหน่งที่ตั้งติดกับทางด่วนมีแนวโน้มสูงกว่าของโครงสร้างอาคารที่ตำแหน่งที่ตั้งไม่ติดกับทางด่วน

4) โครงสร้างอาคารที่ตำแหน่งตั้งในเขตกรุงเทพมหานครมีอัตราการเกิดระยะคาร์บอนชั้นแนวโน้มสูงกว่าในเขตปริมณฑล

5) ในสิ่งแวดล้อมที่คล้ายกันพบว่าอัตราการเกิดระยะคาร์บอนชั้นของโครงสร้างอาคารขึ้นส่วนสำเร็จมีแนวโน้มต่ำกว่าของโครงสร้างอาคารหล่อในที่

6) ค่าความเสี่ยงการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นที่ใช้ค่าการกระจายตัวคงที่จะมากกว่าการใช้ค่าการกระจายตัวที่แปรเปลี่ยนตามเวลาเมื่อโครงสร้างมีอายุการใช้งานที่มาก

7) โครงสร้างที่มีตำแหน่งที่ตั้งในเขตกรุงเทพมหานคร มีค่าความเสี่ยงของการเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนชั้นสูงกว่าโครงการที่ตั้งอยู่ในเขตปริมณฑลที่อายุและวัสดุใกล้เคียงกัน

8) ระยะเวลาบอเนชั่นที่ได้จากการวัดจากโครงสร้างจริง (รวมความหนาปูนฉาบและสี) น้อยกว่ามาตรฐานการออกแบบความคงทนสำหรับ โครงสร้างที่เผชิญคาร์บอนชั่น (ไม่คำนึงถึงผลของสีและความหนาปูนฉาบ) ในขณะที่ระยะเวลาบอเนชั่นที่ได้จากการวัดจากโครงสร้างจริง(เฉพาะคอนกรีต) มีแนวโน้มมากกว่าระยะเวลาบอเนชั่นที่ได้จากมาตรฐานการออกแบบความคงทนสำหรับ โครงสร้างที่เผชิญคาร์บอนชั่น (คำนึงถึงผลของสี)

ข้อเสนอแนะ

- 1) ปัจจัยความสูงของอาคารที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนชั่นของอาคารที่ตรวจสอบในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลยังไม่ได้ทำการศึกษา ซึ่งสมควรที่จะนำไปศึกษาในอนาคตต่อไป
- 2) สภาวะแวดล้อมในอนาคตอาจมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจจะทำให้อัตราการเกิดคาร์บอนชั่นมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสมควรที่จะศึกษาในอนาคตต่อไป



เอกสารอ้างอิง

- [1] คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ ภายใต้คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา “ความคงทนของคอนกรีต” พิมพ์ครั้งที่ 1.2543,หน้า 3
- [2] สมนึก ตั้งเต็มศิริกุล และคณะ“มาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทนและอายุการใช้งาน”ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC) สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินทร (SIIT) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.2553.
- [3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มอก.15 เล่ม 1-2547: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, พ.ศ.2547
- [4] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มอก.2135: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ้ำลอมจากถ้ำนหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, พ.ศ.2550
- [5] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มอก.566: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมวลผสมคอนกรีต, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, พ.ศ.2550
- [6] American Society for Testing and Materials, ASTM C33: Standard Specification for Concrete Aggregates
- [7] American Society for Testing and Materials, ASTM C494: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete
- [8] American Society for Testing and Materials, ASTM C39: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- [9] สมนึก ตั้งเต็มศิริกุล และ รักติพงษ์ สหมิตรมงคล“มาตรฐานงานตรวจสอบโครงสร้างอาคารที่พักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็ก(สำหรับการเคหะแห่งชาติ)”ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา(CONTEC)สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินทร(SIIT) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.2553.
- [10] สมนึก ตั้งเต็มศิริกุล และคณะ“โครงการศึกษาวิจัยการสึกกร่อนของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดจากน้ำทะเล” ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC) สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินทร (SIIT) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.2551.
- [11] คณาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์“ความน่าจะเป็นและสถิติ”คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.2535.
- [12] P. Castro, E.I. Morenob and J. Genesca “Influence of marine micro-climates on carbonation of reinforced concrete buildings,” **Cement and Concrete Research** ,Vol 30 ,2000.pp 1565- 1571.
- [13] M.G. Alexander, J.R. Mackechnie and W. Yam “Carbonation of concrete bridge structures in three South African localities,” **Cement & Concrete Composites**, Vol 29,2007. pp 750–759.

- [14] M. N. Haque & H. Al-Khaiat “Carbonation of Concrete Structures in Hot Dry Coastal Regions,” **Cement and Concrete Composites**, Vol 19, 1997. pp 123-129.
- [15] M.N. Haque ,H. Al-Khaiat and B. John “Climatic zone-A prelude to designing durable concrete structures in the Arabian Gulf,” **Building and Environment** , Vol42 ,2007. pp 2410–2416.
- [16] S. K. Roy t, D. O. Northwood and K. B. Poh “Effect of plastering on the carbonation of a 19-year-old reinforced concrete building,” **Construction and Building Materials**, Vol. 10, No. 4, 1996. pp 261-272.
- [17] H. Al-Khayat 1, M. N. Haque I and N. I. Fattuhi “Concrete carbonation in arid climate,” **Materials and Structures/Materiaux et Constructions**, Vol. 35,2002. pp 421-426.
- [18] วัจนวงศ์ กริพละ, รัฐภูมิ บริษัทปริษา, สรรค์ สยามภักดี, ชนากร “การสำรวจ ทดสอบและประเมินสภาพโครงสร้างเสา โครงการทางรถไฟยกระดับ,” **การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี, ครั้งที่ 3,2550.หน้า 26-34.**
- [19] N.I. Fattuhi, “Carbonation of concrete as affected by mix constituents and initial water curing period ,” **Materiaux et Constructions**, Vol 19,1986.
- [20] J. Khunthongkeaw,S. Tangtermsirikul and T. Leelawat “A study on carbonation depth prediction for fly ash concrete,” **Construction and Building Materials**,Vol 20,2006. pp 744-753.
- [21] S.K. Roy, K.B. Poh and D.O. Northwood “Durability of concrete accelerated carbonation and weathering studies,” **Building and Environment**,Vol 23 ,1999. pp597-606.
- [22] Jin-Keun Kim , Chin-Yong Kim , Seong-Tae Yi and Yun Lee “Effect of carbonation on the rebound number and compressive strength of concrete,” **Cement & Concrete Composites** ,Vol31 ,2009 pp 139–144.
- [23] Cengiz Duran Atis “Accelerated carbonation and testing of concrete made with fly ash,” **Construction and Building Materials** ,Vol 17 ,2003. pp.147–152.
- [24] บวรฉัตร ฉัตรวีระ และทวิศักดิ์ คงทรัพย์ “ความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าว,”**วารสารวิจัยและพัฒนา มจร, ปีที่ 25 ฉบับที่ 4 ,2545,หน้า 373-389.**
- [25] J. Banjongrat, K. Wongpiyachetchai, R. Sahamitmongkol and S. Tangtermsirikul “**Effect of Plastering Mortar and Paint On Carbonation Resistance of Concrete**”Proceedings of the 6 Annual Concrete Conference, Thai Concrete Association, Thailand,2010.
- [26] P.F. Marques and A. Costa “Service life of RC structures: Carbonation induced corrosion. Prescriptive vs performance-based methodologies” **Construction and Building Materials**, Vol.24,2010. pp 258-265.

- [27] คณะทำงานทบทวนรายการประกอบแบบก่อสร้าง“รายการมาตรฐานทั่วไป รายการที่ (มฐ.) 01/2540” การเคหะแห่งชาติ.2540.
- [28] คลังปัญญาไทย, Available: <http://www.panyathai.or.th/wiki/index.php> (7 January 2011).
- [29] Concrete in Australia, Vol. 36, No 3, pp29-43.
- [30] JSCE Guidelines for Concrete : Standard Specifications for Concrete Structures “**Materials and Construction**” No.6,2002.
- [31] Tangtermsirikul S.“**Durability and mix design of concrete**” Printing House of Thammasat University , First Edition .2003. pp71-80.



ภาคผนวก ก
การทดสอบคลอไรด์ ข้อมูลการสะท้อน ระยะหุ้มเหล็ก
ระยะคาร์บอนชั้น



การทดสอบและวัดปริมาณการแทรกซึมคลอไรด์ (โครงการเคหะพิทยา 2 ชลบุรี)

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ทำการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ ก1 เพื่อทดสอบปริมาณการแทรกซึมคลอไรด์ของอาคารสูง 19 ชั้นของโครงการเคหะพิทยา 2 ชลบุรี กำหนดระดับความสูงที่เจาะเก็บตัวอย่างทั้งหมด 5 ระดับ คือ ระดับความสูงชั้นที่ 1 (ที่ระดับความสูง 1-2 ม.จากระดับพื้นดิน) ระดับความสูงชั้นที่ 5 (ที่ระดับความสูง 14-16 ม.จากระดับพื้นดิน) ระดับความสูงชั้นที่ 10 (ที่ระดับความสูง 29-31ม.จากระดับพื้นดิน) ระดับความสูงชั้นที่ 15 (ที่ระดับความสูง 44-46 ม.จากระดับพื้นดิน) และระดับความสูงชั้นที่ 19 (ที่ระดับความสูง 56-58 ม.จากระดับพื้นดิน) จากนั้นนำตัวอย่างคอนกรีตไปวัดปริมาณคลอไรด์ด้วยวิธีการไตเตรชันด้วยเครื่องมือที่แสดงในรูปที่ ก2



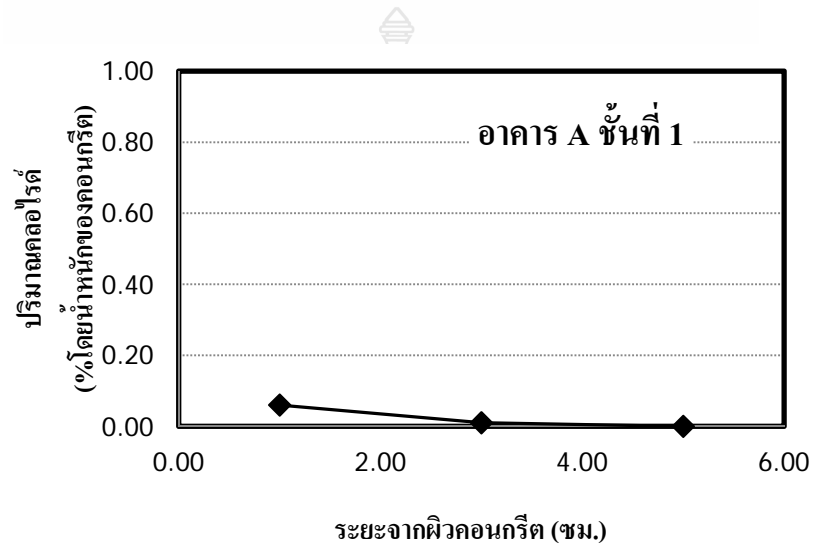
รูปที่ ก1 เจาะเก็บผงคอนกรีตทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์



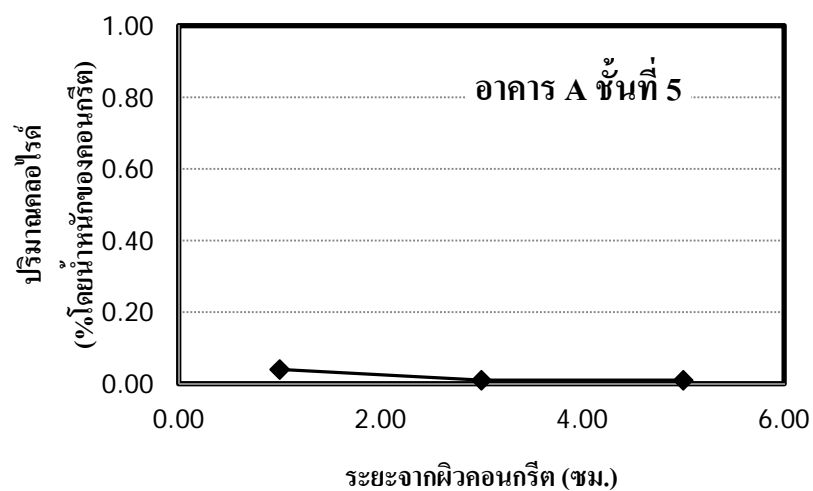
รูปที่ ก2 เครื่องมือวัดปริมาณคลอไรด์ด้วยการไตเตรชัน

ตารางที่ ก1 ปริมาณคลอไรด์ในโครงสร้างของอาคาร A โครงการเคหะพัทยา 2

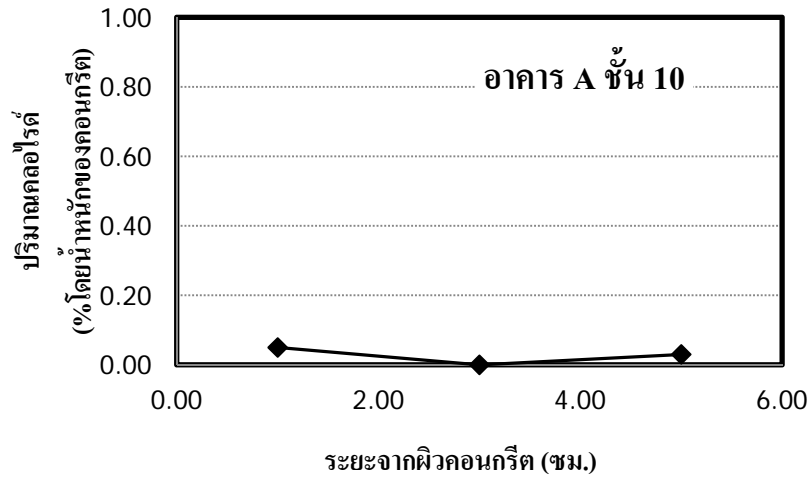
ระยะจากผิวคอนกรีต (ซม.)	ปริมาณคลอไรด์ (% โดยน้ำหนักของคอนกรีต)				
	ชั้น 1	ชั้น 5	ชั้น 10	ชั้น 15	ชั้น 19
1	0.06	0.04	0.05	0.02	0.05
3	0.01	0.01	0	0	0.01
5	0	0.01	0.03	0	0.05



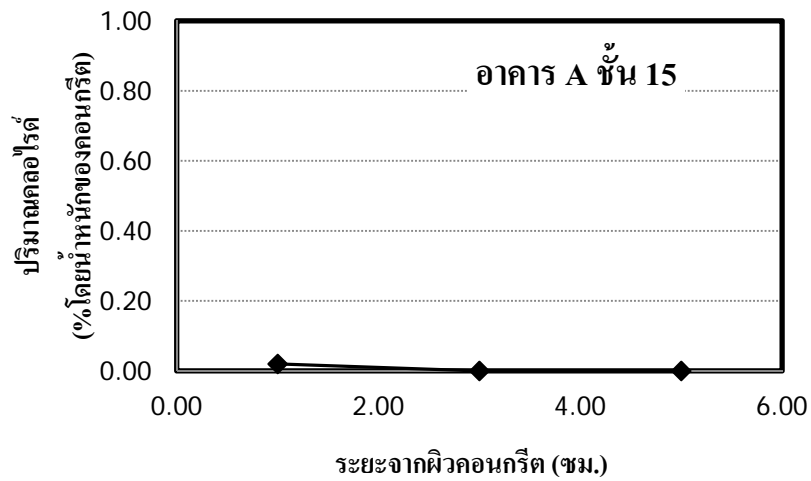
รูปที่ ก3 ปริมาณของคลอไรด์ที่ระยะต่างๆจากผิวตัวอย่างคอนกรีตอาคาร A ชั้นที่ 1



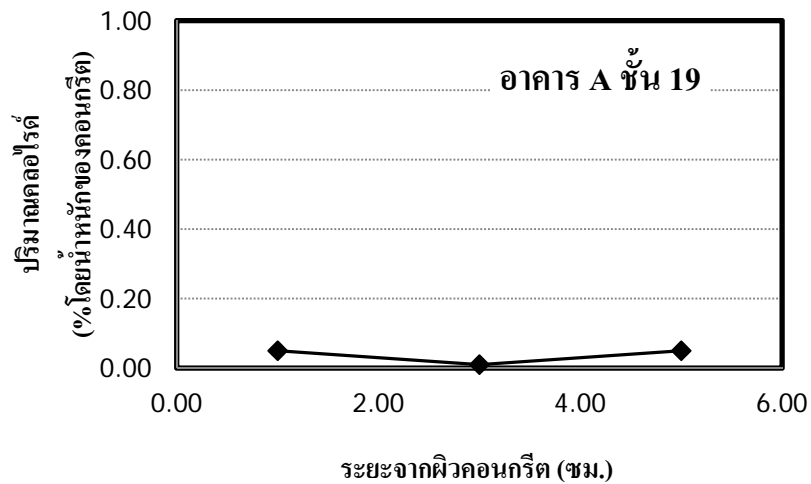
รูปที่ ก4 ปริมาณของคลอไรด์ที่ระยะต่างๆจากผิวตัวอย่างคอนกรีตอาคาร A ชั้นที่ 5



รูปที่ ก5 ปริมาณของคลอรีนที่ระยะต่างๆจากฟิวตัวอย่างคอนกรีตอาคาร A ชั้นที่ 10



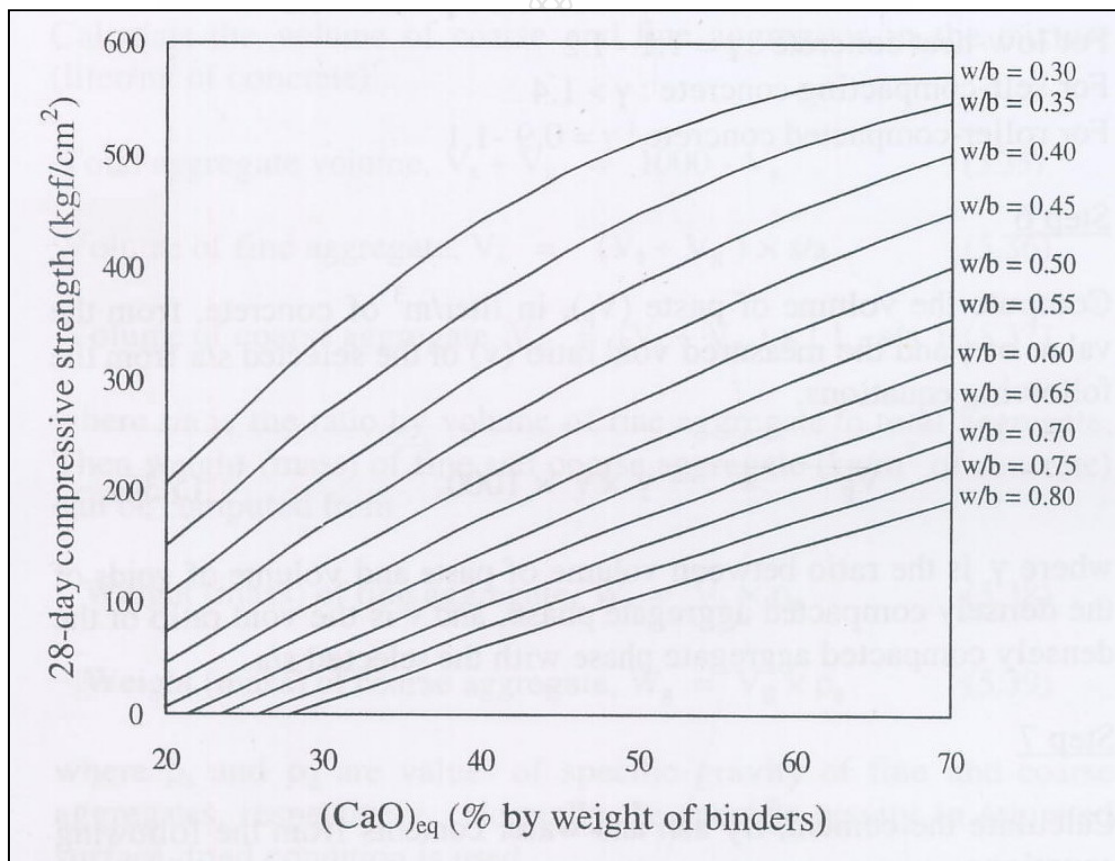
รูปที่ ก6 ปริมาณของคลอรีนที่ระยะต่างๆจากฟิวตัวอย่างคอนกรีตอาคาร A ชั้นที่ 15



รูปที่ ก7 ปริมาณของคลอรีนที่ระยะต่างๆจากฟิวตัวอย่างคอนกรีตอาคาร A ชั้นที่ 19

ปริมาณคลอไรด์ที่จะทำให้เหล็กเริ่มเกิดสนิม (ประมาณ 0.4% โดยน้ำหนักของปริมาณวัสดุประสาน ซึ่งมีค่าประมาณ 0.05% โดยน้ำหนักของคอนกรีตหากคอนกรีตมีปริมาณปูนซีเมนต์ 325 กก. ต่อ ลบ.ม.) ซึ่งพบว่าปริมาณคลอไรด์ในอาคาร A ทั้ง 5 ชั้นที่ทำการวัดปริมาณคลอไรด์มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.06 % (มีค่าประมาณ 1 เท่าของปริมาณคลอไรด์ที่ทำให้เหล็กเริ่มเกิดสนิม) แสดงให้เห็นว่าปริมาณคลอไรด์มีผลที่ทำให้เหล็กเสริมเกิดสนิมค่อนข้างน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก

- 1) วัสดุที่นำมาผสมในคอนกรีตมีการปนเปื้อนคลอไรด์ในปริมาณน้อย
- 2) อายุโครงสร้างที่ยังไม่มากนัก ซึ่งอาจจะเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากคลอไรด์น้อยอยู่
- 3) กระบวนการควบคุมคุณภาพการก่อสร้างได้มาตรฐาน



รูปที่ ๓๘ ความสัมพันธ์ของปริมาณแคลเซียมออกไซด์และกำลังอัดที่อายุ 28 วัน
(สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล, 2003) [31]

	ค่าการสะท้อน						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร 17 ชั้น 1	44.94	45.64	47.03	49.97	47.00	39.19	45.63
อาคาร 17 ชั้น 3	N/A	48.83	45.14	N/A	45.94	N/A	46.64
อาคาร 17 ชั้น 5	44.31	46.53	44.89	55.47	53.47	N/A	48.93
อาคาร 38 ชั้น 1	48.67	51.22	52.17	52.14	52.47	52.17	51.47
อาคาร 38 ชั้น 3	51.61	47.83	44.81	N/A	42.97	N/A	46.81
อาคาร 38 ชั้น 5	50.64	45.14	44.08	49.22	47.28	N/A	46.43
อาคาร 44 ชั้น 1	53.61	53.17	48.58	52.36	52.69	52.64	52.18
อาคาร 44 ชั้น 3	44.25	50.83	N/A	N/A	52.61	N/A	49.23
อาคาร 44 ชั้น 5	44.28	50.67	N/A	53.94	50.39	N/A	49.82
โครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1							48.83

	ค่าการสะท้อน						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร 15 ชั้น 1	51.94	49.19	44.11	46.92	46.31	54.83	48.88
อาคาร 15 ชั้น 3	44.97	46.03	53.06	N/A	50.97	50.69	49.14
อาคาร 15 ชั้น 5	43.81	43.72	55.97	N/A	46.19	52.31	48.40
อาคาร 19 ชั้น 1	50.44	52.28	46.78	52.97	44.47	51.47	49.74
อาคาร 19 ชั้น 3	40.50	56.64	56.31	N/A	52.78	50.94	51.43
อาคาร 19 ชั้น 5	44.64	54.31	44.50	N/A	52.97	44.19	48.12
อาคาร 22 ชั้น 1	51.75	50.81	51.86	45.22	45.56	54.25	49.91
อาคาร 22 ชั้น 3	41.72	55.39	45.31	N/A	44.97	50.36	47.55
อาคาร 22 ชั้น 5	44.75	43.61	54.14	N/A	45.39	50.53	47.68
โครงการบ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์							49.02

	ค่าการสะท้อน						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร 2 ชั้น 1	50.97	47.75	45.42	46.50	36.92	50.92	46.41
อาคาร 2 ชั้น 3	39.28	41.92	45.36	34.53	46.56	42.17	41.63
อาคาร 2 ชั้น 5	41.33	46.64	47.83	N/A	47.03	38.83	44.33
อาคาร 3 ชั้น 1	34.83	39.28	36.53	33.17	32.42	33.72	34.99
อาคาร 3 ชั้น 3	34.33	34.89	35.94	36.17	31.33	36.25	34.82
อาคาร 3 ชั้น 5	N/A	38.94	42.78	N/A	33.83	36.31	37.97
อาคาร 4 ชั้น 1	49.17	39.22	39.72	48.39	50.81	40.64	44.66
อาคาร 4 ชั้น 3	46.61	50.78	55.22	46.67	43.39	42.86	47.59
อาคาร 4 ชั้น 5	40.86	39.44	41.78	48.64	54.47	55.58	46.80
โครงการเคหะชุมชนนวนคร							42.25

	ค่าการสะท้อน						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร 1 ชั้น 1	34.19	31.25	35.39	25.69	28.44	40.94	32.65
อาคาร 1 ชั้น 3	24.64	33.92	31.83	28.22	30.83	30.78	30.04
อาคาร 1 ชั้น 5	26.56	26.47	30.61	25.28	25.44	23.53	26.31
อาคาร 4 ชั้น 1	43.97	47.97	46.58	40.44	33.06	42.67	42.45
อาคาร 4 ชั้น 3	23.00	27.67	32.81	24.56	24.94	25.67	26.44
อาคาร 4 ชั้น 5	25.58	29.33	21.22	22.81	23.75	23.69	24.40
อาคาร 8 ชั้น 1	49.11	36.33	36.81	39.42	40.67	37.11	39.91
อาคาร 8 ชั้น 3	24.75	34.14	39.67	32.53	29.61	28.00	31.45
อาคาร 8 ชั้น 5	26.44	33.25	29.92	24.94	36.56	38.78	31.65
โครงการเคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1							31.70

	ค่าการสะท้อน						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร 1 ชั้น 1	39.28	41.28	43.28	28.28	29.44	39.83	36.90
อาคาร 1 ชั้น 3	27.56	22.47	43.47	30.03	22.08	29.53	29.19
อาคาร 1 ชั้น 5	35.36	32.83	25.81	36.78	43.61	30.25	34.11
อาคาร 1 ชั้น 8	39.39	42.47	40.44	24.83	24.06	34.42	34.27
อาคาร 2 ชั้น 1	45.56	41.58	47.14	37.81	35.44	43.50	41.84
อาคาร 2 ชั้น 3	44.72	42.42	41.97	42.03	48.78	45.06	44.16
อาคาร 2 ชั้น 5	37.81	42.14	41.61	38.72	40.69	43.94	40.82
อาคาร 2 ชั้น 8	40.14	38.22	38.92	39.67	42.94	44.47	40.73
อาคาร 3 ชั้น 1	31.86	39.78	47.56	39.97	N/A	N/A	39.79
อาคาร 3 ชั้น 3	24.97	34.39	48.03	42.31	41.39	39.00	38.35
อาคาร 3 ชั้น 5	31.47	36.36	41.19	36.97	24.75	27.75	33.08
อาคาร 3 ชั้น 8	36.19	30.69	30.58	33.28	25.89	29.22	30.98
โครงการเคหะชุมชนดินแดง 3							36.94

	ค่าการสะท้อน						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร 1 ชั้น 1	40.33	38.14	37.53	50.64	45.69	45.19	42.92
อาคาร 1 ชั้น 3	48.14	46.61	43.00	45.39	48.19	47.97	46.55
อาคาร 1 ชั้น 5	49.92	48.61	44.47	40.81	42.72	46.67	45.53
อาคาร 1 ชั้น 12	50.86	44.33	47.25	47.58	45.86	45.81	46.95
อาคาร 2 ชั้น 1	49.83	N/A	46.08	42.28	38.17	44.25	44.12
อาคาร 2 ชั้น 3	44.11	44.31	43.22	43.75	45.42	47.39	44.70
อาคาร 2 ชั้น 5	46.58	44.86	46.14	44.11	44.94	50.72	46.23
อาคาร 2 ชั้น 12	37.64	39.47	37.61	39.75	41.69	43.11	39.88
โครงการเคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น)							44.62

	ค่าการสะท้อน						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร 11 ชั้น 1	41.94	41.61	39.53	39.22	36.44	44.00	40.46
อาคาร 11 ชั้น 3	33.28	46.69	43.97	39.61	38.00	37.78	39.89
อาคาร 11 ชั้น 5	38.28	41.72	34.86	32.11	35.75	38.06	36.80
อาคาร 14 ชั้น 1	35.03	34.67	32.58	32.61	34.00	43.78	35.44
อาคาร 14 ชั้น 3	35.22	33.81	41.83	40.11	35.31	34.86	36.86
อาคาร 14 ชั้น 5	35.78	30.33	33.53	37.94	39.06	38.83	35.91
อาคาร 18 ชั้น 1	45.19	40.83	40.17	40.06	35.92	37.81	40.00
อาคาร 18 ชั้น 3	45.78	37.78	39.22	44.42	41.33	37.28	40.97
อาคาร 18 ชั้น 5	40.39	42.25	40.94	45.25	44.42	33.67	41.15
โครงการเคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2							38.61

	ค่าการสะท้อน						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร 5 ชั้น 1	48.67	47.25	45.58	40.36	41.58	N/A	44.69
อาคาร 5 ชั้น 3	42.58	42.17	40.08	45.67	44.81	42.78	43.01
อาคาร 5 ชั้น 5	43.89	44.53	44.50	43.14	37.81	39.22	42.18
อาคาร 8 ชั้น 1	43.19	41.75	46.31	37.03	43.67	42.00	42.32
อาคาร 8 ชั้น 3	45.86	45.42	46.03	39.78	41.81	41.53	43.40
อาคาร 8 ชั้น 5	40.17	41.89	41.89	35.61	36.86	47.92	40.72
อาคาร 32 ชั้น 1	52.92	47.78	49.53	45.64	46.00	45.64	47.92
อาคาร 32 ชั้น 3	53.42	43.31	42.06	38.14	36.78	39.33	42.17
อาคาร 32 ชั้น 5	55.89	52.03	50.72	35.14	33.50	36.50	43.96
โครงการเคหะชุมชนห้วยขวาง							43.35

	ค่าการสะท้อน						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร A ชั้น 1	41.53	41.75	40.39	56.83	44.03	49.22	45.63
อาคาร A ชั้น 3	40.92	36.17	34.17	47.78	43.67	51.67	42.39
อาคาร A ชั้น 5	38.39	45.06	39.72	42.33	51.69	44.83	43.67
อาคาร A ชั้น 9	36.22	48.39	45.11	28.33	53.78	47.97	43.30
อาคาร A ชั้น 19	44.69	47.17	47.14	25.86	47.39	49.50	43.63
อาคาร 1 ชั้น 1	42.69	39.44	N/A	N/A	42.06	42.28	41.62
อาคาร 1 ชั้น 3	41.06	43.47	37.19	38.28	40.06	41.89	40.32
อาคาร 1 ชั้น 5	45.53	41.94	39.58	55.17	39.89	43.00	44.19
อาคาร 1 ชั้น 9	37.67	46.00	38.36	38.64	46.33	33.17	40.03
อาคาร 2 ชั้น 1	48.58	49.47	N/A	N/A	41.31	40.56	44.98
อาคาร 2 ชั้น 3	35.33	37.78	50.14	44.56	46.53	51.19	44.25
อาคาร 2 ชั้น 5	44.42	41.92	44.53	35.44	43.19	42.42	41.99
อาคาร 2 ชั้น 9	43.94	43.92	44.14	34.92	32.44	38.06	39.57
โครงการเคหะชุมชนพญา 2							42.70



ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กขึ้นในผนังชั้นส่วนสำเร็จบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1									
อาคาร	17			38			44		
ชั้น	1	3	5	1	3	5	1	3	5
จุดที่ 1	39	N/A	27	45	26	50	30	22	22
	37	N/A	36	30	27	41	30	25	26
	49	N/A	34	27	21	45	36	26	22
จุดที่ 2	35	N/A	29	35	35	50	36	19	22
	25	40	37	37	38	46	21	41	N/A
	24	56	41	39	23	40	24	45	N/A
จุดที่ 3	29	16	33	41	26	49	40	40	N/A
	48	39	16	51	40	34	38	45	N/A
	57	25	28	27	23	24	21	N/A	30
จุดที่ 4	53	36	29	34	24	32	24	N/A	40
	60	23	16	45	31	23	25	N/A	32
	57	39	60	34	53	25	25	N/A	27
จุดที่ 5	33	N/A	32	35	N/A	40	29	N/A	39
	36	N/A	40	23	N/A	37	40	N/A	43
	34	N/A	49	41	N/A	27	34	N/A	41
จุดที่ 6	30	N/A	38	28	N/A	38	44	N/A	38
	47	35	38	34	26	44	39	44	41
	30	30	37	33	41	30	42	33	40
จุดที่ 6	30	40	42	43	50	44	33	51	47
	48	39	37	41	50	32	32	49	43
	37	N/A	N/A	31	N/A	N/A	34	N/A	N/A
จุดที่ 6	48	N/A	N/A	39	N/A	N/A	40	N/A	N/A
	41	N/A	N/A	41	N/A	N/A	46	N/A	N/A
จุดที่ 6	50	N/A	N/A	40	N/A	N/A	43	N/A	N/A
	ค่าเฉลี่ย (mm)	40.71	34.83	34.95	36.42	33.38	37.55	33.58	36.67
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	36.83			35.78			34.94		
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	35.85								

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอกในผนังชั้นสำเร็จบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1									
อาคาร	17			38			44		
ชั้น	1	3	5	1	3	5	1	3	5
จุดที่ 1	36	N/A	28	29	20	54	22	33	22
	50	N/A	55	27	27	45	21	33	22
	45	N/A	33	35	31	58	34	26	18
จุดที่ 2	50	N/A	27	32	24	60	35	22	27
	37	34	31	50	35	42	28	38	N/A
	29	50	25	47	26	34	29	29	N/A
จุดที่ 3	33	22	20	41	17	22	23	41	N/A
	48	16	17	30	20	42	24	36	N/A
	48	37	40	34	33	24	24	N/A	35
จุดที่ 4	47	34	37	16	30	32	23	N/A	29
	41	30	33	45	23	35	20	N/A	33
	48	41	52	38	40	22	19	N/A	27
จุดที่ 5	34	N/A	40	31	N/A	27	40	N/A	39
	43	N/A	43	26	N/A	44	27	N/A	16
	38	N/A	51	29	N/A	47	33	N/A	30
จุดที่ 6	30	N/A	34	32	N/A	40	33	N/A	28
	29	28	38	32	39	46	31	32	41
	18	32	25	25	30	51	33	40	40
จุดที่ 6	16	36	35	29	31	58	41	52	35
	37	37	23	45	29	55	39	51	35
	34	N/A	N/A	40	N/A	N/A	39	N/A	N/A
	41	N/A	N/A	37	N/A	N/A	35	N/A	N/A
จุดที่ 6	32	N/A	N/A	29	N/A	N/A	31	N/A	N/A
	27	N/A	N/A	39	N/A	N/A	39	N/A	N/A
ค่าเฉลี่ย (mm)	37.13	33.08	34.35	34.08	28.44	41.90	30.13	36.08	29.81
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	34.85			34.81			32.01		
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	33.89								

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กชั้นในผนังชั้นสำเร็จบ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์									
อาคาร	15			19			22		
ชั้น	1	3	5	1	3	5	1	3	5
จุดที่ 1	35	35	29	43	34	26	31	33	37
	54	65	38	49	40	33	53	34	39
	30	42	49	63	23	21	64	50	46
จุดที่ 2	47	N/A	34	57	27	31	N/A	62	34
	40	29	41	31	39	37	51	49	23
	55	35	33	57	39	31	42	46	30
จุดที่ 3	33	32	38	43	40	39	76	45	38
	40	32	19	56	30	37	77	27	22
	38	46	37	37	35	39	40	32	29
จุดที่ 4	35	37	46	39	43	38	40	32	49
	37	48	67	45	43	34	42	29	34
	42	44	41	32	48	40	54	40	49
จุดที่ 5	52	N/A	N/A	49	N/A	N/A	59	N/A	N/A
	69	N/A	N/A	38	N/A	N/A	65	N/A	N/A
	N/A	N/A	N/A	49	N/A	N/A	58	N/A	N/A
จุดที่ 6	N/A	N/A	N/A	47	N/A	N/A	42	N/A	N/A
	47	56	48	58	57	40	56	44	35
	49	62	47	50	64	44	51	31	43
จุดที่ 7	38	43	43	59	46	48	45	41	58
	23	52	20	37	45	49	45	40	N/A
	40	45	55	64	45	24	62	37	29
จุดที่ 8	56	58	43	62	38	20	51	40	31
	59	40	26	N/A	47	28	30	34	27
	N/A	37	48	N/A	37	27	30	37	17
ค่าเฉลี่ย (mm)	43.76	44.11	40.10	48.41	41.00	34.30	50.61	39.15	35.26
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	42.66			41.24			41.67		
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	41.86								

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอกในผนังชั้นส่วนสำเร็จบ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์									
อาคาร	15			19			22		
ชั้น	1	3	5	1	3	5	1	3	5
จุดที่ 1	59	41	37	30	44	23	42	26	37
	35	39	37	64	39	25	50	27	30
	29	30	28	69	17	20	46	29	30
จุดที่ 2	51	34	38	33	30	25	38	42	34
	55	34	31	58	34	29	37	43	40
	61	26	26	50	34	37	63	37	35
จุดที่ 3	N/A	43	20	34	37	35	33	57	22
	N/A	47	26	34	38	N/A	63	37	29
	34	35	40	18	48	39	31	26	37
จุดที่ 4	46	33	33	32	33	44	41	34	34
	51	36	43	46	39	31	47	43	38
	45	34	61	33	40	43	47	49	43
จุดที่ 5	54	N/A	N/A	33	N/A	N/A	27	N/A	N/A
	55	N/A	N/A	25	N/A	N/A	58	N/A	N/A
	N/A	N/A	N/A	42	N/A	N/A	34	N/A	N/A
จุดที่ 6	N/A	N/A	N/A	32	N/A	N/A	50	N/A	N/A
	44	51	45	32	28	26	39	17	45
	46	30	45	38	40	39	50	24	31
จุดที่ 7	58	34	40	46	32	62	33	26	31
	45	29	46	37	38	26	33	26	31
	47	38	49	66	47	29	45	34	45
จุดที่ 8	39	35	49	47	43	44	41	29	28
	66	44	51	N/A	49	30	20	N/A	34
	N/A	45	N/A	N/A	46	37	24	N/A	29
ค่าเฉลี่ย (mm)	48.42	36.9	39.21	40.86	37.80	33.89	41.33	33.67	34.15
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	41.51			37.52			36.38		
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	38.47								

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กชั้นในผนังหล่อในที่เกาะชุมชนนวนคร									
อาคาร	2			3			4		
ชั้น	1	3	5	1	3	5	1	3	5
จุดที่ 1	43	51	56	49	54	50	55	55	N/A
	42	44	39	55	63	58	57	54	N/A
	41	46	53	58	54	45	49	58	N/A
จุดที่ 2	40	57	61	63	51	53	48	63	N/A
	38	58	51	49	63	51	45	N/A	54
	44	54	34	55	54	45	44	N/A	60
จุดที่ 3	39	60	41	46	63	48	39	N/A	56
	41	61	58	54	45	48	42	N/A	53
	58	N/A	55	48	43	56	60	62	26
จุดที่ 4	43	N/A	51	49	57	50	55	63	53
	46	N/A	48	62	33	53	47	65	30
	61	N/A	59	62	60	48	52	61	35
จุดที่ 5	50	54	N/A	47	47	N/A	62	70	47
	56	57	N/A	46	47	N/A	53	55	55
	54	56	N/A	47	44	N/A	62	39	N/A
จุดที่ 6	51	57	N/A	46	47	N/A	66	60	N/A
	50	30	39	57	52	48	62	59	60
	43	35	41	54	47	45	65	57	56
จุดที่ 6	44	41	35	51	43	57	64	50	61
	53	36	46	61	53	49	63	60	50
	46	48	58	59	49	45	63	64	58
จุดที่ 6	44	43	51	63	51	50	60	52	43
	51	46	48	59	47	57	62	54	57
จุดที่ 6	49	44	43	N/A	50	38	64	42	42
ค่าเฉลี่ย (mm)	46.96	48.90	48.35	53.91	52.19	50.25	55.79	57.15	49.78
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	48.07			52.12			54.24		
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	51.48								

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอกในผนังหล่อในที่เคหะชุมชนนวนคร									
อาคาร	2			3			4		
ชั้น	1	3	5	1	3	5	1	3	5
จุดที่ 1	37	45	48	46	48	50	42	46	N/A
	37	47	37	47	45	46	37	51	N/A
	33	50	41	44	43	51	37	47	N/A
จุดที่ 2	36	42	47	N/A	50	49	40	41	N/A
	37	49	37	37	49	44	30	N/A	43
	45	50	35	37	N/A	42	38	N/A	48
จุดที่ 3	45	51	49	33	N/A	33	40	N/A	47
	40	51	57	40	N/A	N/A	36	N/A	46
	37	N/A	49	46	36	46	40	49	27
จุดที่ 4	40	N/A	64	40	28	39	44	50	24
	44	N/A	38	N/A	47	51	N/A	52	46
	38	N/A	N/A	N/A	33	N/A	N/A	54	N/A
จุดที่ 5	45	44	N/A	36	39	N/A	46	45	50
	47	47	N/A	42	32	N/A	50	28	39
	48	40	N/A	38	30	N/A	53	49	27
จุดที่ 6	50	36	N/A	37	33	N/A	54	46	N/A
	35	33	52	39	52	45	38	51	44
	42	37	45	44	47	44	37	46	54
จุดที่ 7	42	39	48	45	43	41	N/A	47	47
	N/A	40	41	41	53	53	N/A	N/A	N/A
	38	51	38	N/A	49	49	45	55	51
จุดที่ 8	42	51	43	N/A	46	35	50	38	39
	38	45	44	N/A	52	40	52	47	45
จุดที่ 9	45	41	51	N/A	48	41	51	43	N/A
	ค่าเฉลี่ย (mm)	40.91	44.45	45.47	40.71	43.00	44.39	43.00	46.58
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	43.61			42.70			43.96		
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	43.42								

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กขึ้นในผนังหล่อในที่เกาะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1									
อาคาร	1			4			8		
ชั้น	1	3	5	1	3	5	1	3	5
จุดที่ 1	46	39	52	30	65	73	40	54	31
	37	33	52	34	64	74	36	50	40
	32	36	66	36	46	N/A	32	53	49
จุดที่ 2	39	41	54	37	69	N/A	39	54	46
	35	63	49	42	73	40	41	45	42
	47	62	46	42	78	40	45	33	48
จุดที่ 3	N/A	38	41	36	63	46	40	43	46
	N/A	60	35	28	73	46	31	36	54
	19	43	59	36	36	46	27	51	39
จุดที่ 4	21	55	57	56	31	51	27	32	56
	20	46	64	47	34	48	33	39	37
	20	43	66	44	29	57	29	30	55
จุดที่ 5	66	63	60	49	49	54	37	50	51
	65	73	56	41	61	54	41	53	40
	41	72	65	35	49	58	31	44	46
จุดที่ 6	64	56	58	27	N/A	56	37	49	49
	49	42	58	37	59	48	35	34	50
	40	43	54	28	56	41	42	49	52
จุดที่ 6	38	47	55	35	69	48	44	31	43
	37	35	63	42	64	34	41	54	45
	N/A	35	73	35	63	61	41	72	31
	N/A	46	80	25	56	49	42	68	40
จุดที่ 6	N/A	39	74	49	59	50	44	N/A	39
	N/A	58	N/A	44	48	58	41	N/A	42
ค่าเฉลี่ย (mm)	40.00	48.67	58.13	38.13	56.26	51.45	37.33	46.55	44.63
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	48.93			48.61			42.83		
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	46.79								

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอกในผนังหล่อในที่เกะหุ้มชนิดใหม่ระยะที่ 1									
อาคาร	1			4			8		
ชั้น	1	3	5	1	3	5	1	3	5
จุดที่ 1	40	25	44	31	36	63	41	45	37
	29	37	39	40	45	60	39	52	30
	40	47	66	43	47	63	34	55	27
จุดที่ 2	34	50	60	36	47	N/A	40	57	28
	30	54	37	38	52	37	47	42	37
	33	60	38	43	68	30	51	29	42
จุดที่ 3	35	64	45	40	66	19	57	34	42
	38	46	N/A	47	57	44	58	33	40
	18	54	41	43	27	41	33	32	39
จุดที่ 4	17	57	60	46	23	36	28	30	40
	18	49	41	46	32	32	40	30	40
	18	45	43	43	37	38	41	29	26
จุดที่ 5	61	55	50	49	45	50	30	50	40
	54	51	48	51	42	48	34	43	40
	57	49	50	46	43	50	38	37	45
จุดที่ 6	44	34	49	55	38	59	40	44	39
	40	25	55	43	47	40	40	36	47
	37	27	50	33	50	42	47	37	41
จุดที่ 6	43	34	51	34	49	39	44	29	34
	44	28	51	40	47	33	48	30	33
	N/A	33	66	44	45	47	43	61	31
	N/A	34	65	43	44	47	40	65	33
จุดที่ 6	N/A	43	N/A	43	47	39	45	N/A	36
	N/A	38	N/A	40	41	55	37	N/A	36
ค่าเฉลี่ย (mm)	36.50	43.29	49.95	42.38	44.79	44.00	41.46	40.91	36.79
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	43.25			43.72			39.72		
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	42.23								

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นในผนังหล่อในที่เคหะชุมชนดินแดง 3 (8 ชั้น)												
อาคาร	1				2				3			
ชั้น	1	3	5	8	1	3	5	8	1	3	5	8
จุดที่ 1	46	29	45	30	31	37	26	25	45	39	42	41
	39	32	44	52	39	36	38	33	59	48	31	40
	54	52	44	28	45	37	38	30	57	57	39	43
	44	40	51	46	31	36	28	21	41	50	53	38
จุดที่ 2	73	62	52	69	48	64	57	60	76	64	53	43
	62	54	61	67	55	67	61	66	63	66	63	45
	66	57	55	71	56	67	54	48	N/A	N/A	54	48
	57	57	54	38	N/A	37	57	57	N/A	N/A	62	51
จุดที่ 3	54	49	54	33	52	52	55	47	69	68	55	59
	49	40	49	52	36	57	51	46	72	64	64	54
	51	50	56	46	34	57	39	34	N/A	N/A	62	50
	68	45	57	51	54	N/A	48	45	N/A	N/A	72	51
จุดที่ 4	58	43	63	71	52	51	55	46	42	37	32	40
	44	49	47	69	37	39	32	45	40	56	45	37
	52	41	38	44	49	54	56	41	33	65	38	26
	63	54	52	61	N/A	41	27	44	37	32	40	30
จุดที่ 5	73	50	49	60	68	54	54	51	N/A	64	63	60
	64	60	50	49	57	59	67	51	N/A	59	62	73
	N/A	43	52	55	52	56	53	56	N/A	46	62	53
	N/A	62	50	51	52	53	57	51	N/A	54	51	74
จุดที่ 6	40	49	40	68	23	22	40	32	N/A	39	57	63
	38	41	36	37	40	35	48	27	N/A	40	43	47
	50	46	43	43	36	24	62	29	N/A	43	40	64
	44	31	43	35	N/A	28	49	38	N/A	38	39	52
ค่าเฉลี่ย (mm)	54.0	47.3	49.3	51.0	45.8	46.2	48.0	42.6	52.8	51.4	50.9	49.2
	5	3	8	8	6	2	0	3	3	5	2	5
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	50.46				45.67				51.11			
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	49.08											

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กก่อนในผนังหล่อในที่เคหะชุมชนดินแดง 3 (8 ชั้น)												
อาคาร	1				2				3			
ชั้น	1	3	5	8	1	3	5	8	1	3	5	8
จุดที่ 1	39	33	49	28	34	26	27	43	46	43	35	45
	42	34	49	30	31	23	35	23	45	44	30	41
	39	29	42	37	28	25	63	24	43	47	34	40
	43	34	45	27	39	26	41	24	48	53	37	50
จุดที่ 2	70	49	60	62	51	62	53	59	69	63	37	41
	68	47	62	64	55	68	60	58	68	67	60	62
	58	48	54	58	53	65	59	60	73	69	53	42
จุดที่ 3	65	49	50	62	56	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	51	41
	56	42	41	63	54	56	61	35	62	68	51	53
	48	44	37	31	34	60	34	37	72	53	63	69
จุดที่ 4	43	48	40	48	38	42	36	28	N/A	N/A	67	69
	46	44	40	45	31	30	34	27	N/A	N/A	N/A	54
	51	40	62	42	45	40	34	50	29	59	25	20
จุดที่ 5	55	44	42	47	57	41	38	40	29	35	25	27
	46	54	38	56	50	50	31	40	37	39	26	35
	42	45	41	53	N/A	30	44	47	37	38	31	25
จุดที่ 6	58	53	41	39	68	53	37	43	N/A	58	64	60
	67	45	36	59	69	59	48	35	N/A	54	55	70
	64	44	52	45	59	54	22	38	N/A	34	55	68
จุดที่ 6	N/A	45	46	45	N/A	53	21	37	N/A	39	65	N/A
	33	45	35	20	34	18	41	44	N/A	45	44	43
	37	49	21	22	35	18	42	20	N/A	38	42	50
	38	41	37	25	41	25	44	30	N/A	39	45	43
จุดที่ 6	34	45	35	28	26	19	46	34	N/A	30	54	60
	52.6	43.7	44.4	43.1	44.9	41.0	41.3	38.0	50.6	48.3	45.6	48.1
	3	9	3	7	1	0	6	9	2	3	1	7
	ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	46.00				41.34				48.18		
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	45.18											

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กขึ้นในผนังหล่อในที่เคหะชุมชนดินแดง (12ชั้น)								
อาคาร	1				2			
ชั้น	1	3	5	12	1	3	5	12
จุดที่ 1	49	52	50	45	N/A	46	41	46
	50	40	43	45	N/A	42	41	46
	51	41	46	37	N/A	48	45	45
	47	51	45	39	N/A	43	48	46
จุดที่ 2	47	56	40	52	N/A	64	42	64
	43	58	45	34	N/A	64	42	53
	48	64	47	34	N/A	63	43	55
	43	46	38	34	N/A	72	42	55
จุดที่ 3	48	33	35	45	57	36	33	41
	53	30	55	47	56	49	29	47
	61	47	48	46	54	40	33	40
	56	34	52	55	48	41	35	37
จุดที่ 4	50	51	51	56	42	40	36	44
	54	52	46	54	38	41	44	39
	59	50	46	51	42	44	41	38
	51	56	47	51	51	39	45	35
จุดที่ 5	46	51	49	38	49	50	49	41
	58	51	47	38	53	49	47	43
	56	55	55	40	50	55	50	34
	52	49	52	39	51	54	47	41
จุดที่ 6	48	37	55	42	42	39	50	29
	67	38	47	38	46	37	58	31
	46	45	38	34	42	32	60	24
	50	38	38	31	42	36	55	25
ค่าเฉลี่ย (mm)	51.38	46.88	46.46	42.71	47.69	46.83	44.00	41.63
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	46.85				45.04			
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	45.95							

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอกในผนังหล่อในที่เคหะชุมชนดินแดง (12ชั้น)								
อาคาร	1				2			
ชั้น	1	3	5	12	1	3	5	12
จุดที่ 1	50	43	39	33	N/A	43	44	39
	54	38	48	27	N/A	41	42	28
	50	40	41	40	N/A	37	42	29
	49	40	41	41	N/A	44	50	27
จุดที่ 2	55	43	48	31	N/A	48	36	52
	50	40	44	23	N/A	57	38	48
	38	47	50	22	N/A	58	36	44
	49	43	49	30	N/A	62	39	43
จุดที่ 3	45	17	43	33	33	31	25	32
	48	17	43	33	33	28	26	35
	41	37	39	39	35	25	17	42
	48	41	36	38	33	26	17	34
จุดที่ 4	53	38	40	49	44	38	38	30
	54	45	44	47	37	38	47	36
	56	40	42	46	44	33	49	33
	68	48	55	44	46	31	40	31
จุดที่ 5	41	41	46	45	42	32	42	40
	38	46	37	32	48	34	36	29
	40	45	41	41	38	40	39	35
	40	41	39	29	47	41	33	32
จุดที่ 6	48	35	56	41	33	30	41	28
	47	47	55	34	34	26	50	22
	42	47	50	40	32	29	42	23
	40	31	31	38	36	17	35	27
ค่าเฉลี่ย (mm)	48.35	39.58	44.14	36.50	38.44	37.04	37.13	34.13
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	42.14				36.68			
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	39.41							

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กขึ้นในผนังหล่อในที่เกาะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2									
อาคาร	11			14			18		
ชั้น	1	3	5	1	3	5	1	3	5
จุดที่ 1	53	56	61	47	77	64	63	47	66
	64	57	53	61	62	68	58	41	55
	60	69	45	39	56	65	59	49	76
จุดที่ 2	56	65	49	38	77	63	62	50	65
	58	80	33	69	79	80	54	27	75
	47	77	31	61	64	80	50	40	64
จุดที่ 3	65	74	55	73	82	N/A	42	37	55
	57	80	49	63	N/A	N/A	53	40	63
	50	72	51	45	N/A	59	33	42	56
จุดที่ 4	41	70	65	47	N/A	60	48	51	50
	50	76	61	47	N/A	73	33	40	49
	48	77	53	51	N/A	56	43	41	42
จุดที่ 5	60	53	54	53	65	76	41	68	66
	48	41	60	34	55	73	32	55	54
	53	37	59	56	65	65	45	55	32
จุดที่ 6	65	33	48	38	65	65	38	49	45
	61	45	47	32	77	72	40	56	56
	59	51	47	39	80	64	49	61	47
จุดที่ 6	54	59	51	36	N/A	54	44	72	45
	58	62	59	49	N/A	78	53	60	45
	57	65	40	57	73	45	42	75	52
	50	69	52	50	69	46	40	67	65
	50	80	56	47	65	44	42	71	70
	51	74	62	N/A	N/A	47	37	72	65
ค่าเฉลี่ย (mm)	54.79	63.42	51.71	49.22	69.44	63.50	45.88	52.75	56.58
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	56.64			60.72			51.74		
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	56.36								

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอกในผนังหล่อในที่เกาะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2									
อาคาร	11			14			18		
ชั้น	1	3	5	1	3	5	1	3	5
จุดที่ 1	46	46	48	61	54	59	67	64	67
	45	53	54	50	55	56	62	31	58
	40	54	47	50	55	56	67	67	68
จุดที่ 2	46	48	48	61	N/A	55	50	60	52
	49	62	28	50	59	64	41	47	49
	49	58	26	62	54	50	47	45	52
จุดที่ 3	45	68	27	63	54	N/A	38	29	51
	43	61	37	63	N/A	N/A	42	27	54
	33	58	40	35	N/A	55	41	47	50
จุดที่ 4	39	62	51	42	N/A	42	48	42	46
	37	57	55	42	N/A	53	29	45	46
	29	61	46	41	N/A	N/A	24	43	32
จุดที่ 5	45	39	62	50	43	67	42	55	50
	55	39	55	37	47	57	43	65	47
	59	43	51	59	65	57	34	60	40
จุดที่ 6	N/A	50	37	39	66	60	36	61	54
	48	45	36	23	68	37	39	49	40
	46	50	39	20	63	56	25	45	41
จุดที่ 6	46	54	51	26	N/A	59	31	61	37
	46	60	48	27	N/A	N/A	N/A	60	43
	47	67	45	50	61	68	41	61	67
	47	66	47	68	67	58	29	57	60
จุดที่ 6	36	N/A	54	69	65	58	48	66	N/A
	43	N/A	43	52	N/A	59	45	N/A	N/A
ค่าเฉลี่ย (mm)	44.30	54.59	44.79	47.50	58.40	56.30	42.13	51.61	50.18
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	47.90			54.07			47.97		
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	49.98								

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นในผนังหล่อในที่เคหะชุมชนห้วยขวาง(แบบเปลือย)									
อาคาร	5			8			32		
ชั้น	1	3	5	1	3	5	1	3	5
จุดที่ 1	80	26	47	42	52	44	39	60	61
	55	27	37	48	33	50	49	35	67
	56	29	47	58	54	52	34	57	64
จุดที่ 2	74	36	36	N/A	39	45	N/A	57	N/A
	76	37	55	39	47	54	64	60	62
	73	33	41	50	46	59	36	35	64
จุดที่ 3	70	37	60	46	48	56	41	57	71
	70	41	40	45	33	54	37	57	68
	80	50	61	42	49	56	42	80	43
จุดที่ 4	73	43	40	45	47	54	20	56	44
	74	41	68	41	47	55	63	69	44
	74	42	74	49	66	58	40	N/A	52
จุดที่ 5	40	19	56	29	50	48	37	20	43
	41	27	63	35	53	51	36	20	22
	45	21	48	45	54	51	37	21	50
จุดที่ 6	41	26	63	30	58	51	37	17	54
	49	24	46	40	51	37	46	56	43
	55	33	56	40	50	35	46	47	25
จุดที่ 6	53	26	50	51	54	35	50	56	45
	51	26	60	45	46	37	N/A	56	42
	N/A	33	43	44	51	24	58	38	53
	N/A	38	51	42	52	41	59	27	69
	N/A	31	42	46	56	31	43	36	51
	N/A	35	51	N/A	56	40	N/A	26	54
ค่าเฉลี่ย (mm)	61.50	32.54	51.46	43.27	49.67	46.58	43.52	45.35	51.78
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	48.50			46.51			46.88		
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	47.30								

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอกในผนังหล่อในที่เกาะชุมชนห้วยขวาง(แบบเปลือย)									
อาคาร	5			8			32		
ชั้น	1	3	5	1	3	5	1	3	5
จุดที่ 1	55	24	38	39	28	45	27	49	47
	67	19	43	43	29	50	27	57	56
	52	27	45	44	20	49	27	57	48
จุดที่ 2	N/A	24	48	34	20	50	29	60	N/A
	70	28	54	37	46	44	40	57	43
	69	29	48	38	49	46	29	52	54
จุดที่ 3	68	28	52	39	48	50	22	21	48
	N/A	27	55	37	40	59	39	58	35
	66	37	63	33	36	50	34	48	40
จุดที่ 4	77	37	36	37	47	35	34	51	42
	64	41	54	40	61	54	30	68	54
	N/A	41	56	39	32	55	22	53	37
จุดที่ 5	42	27	47	37	53	44	29	47	27
	41	20	69	34	54	44	39	23	37
	42	25	69	35	62	37	41	40	52
จุดที่ 6	N/A	20	54	26	62	42	34	30	38
	43	30	47	32	47	33	37	69	34
	46	29	44	37	46	30	45	58	25
จุดที่ 6	49	33	44	36	52	35	47	54	36
	48	34	46	30	61	41	50	N/A	42
	N/A	46	41	39	60	30	46	34	59
	N/A	36	46	34	73	34	41	33	59
จุดที่ 6	N/A	39	47	37	63	37	50	30	59
	N/A	38	51	34	N/A	37	35	29	N/A
ค่าเฉลี่ย (mm)	56.19	30.79	49.88	36.29	47.35	42.96	35.58	46.87	44.18
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	45.62			42.20			42.21		
ค่าเฉลี่ยโครงการ (mm)	43.34								

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กยื่นในผนังหล่อในที่เคหะชุมชนพญา 2													
อาคาร	A					I				2			
ชั้น	1	3	5	9	19	1	3	5	9	1	3	5	9
จุดที่ 1	18	55	49	47	67	69	49	45	69	50	31	43	60
	33	62	41	42	63	65	54	58	75	46	25	53	56
	36	58	46	46	62	63	39	55	33	56	40	72	66
	38	64	45	45	61	62	59	59	69	50	55	62	59
จุดที่ 2	49	53	47	62	64	43	59	43	62	59	48	56	65
	39	34	40	73	65	49	52	52	62	56	43	64	63
	39	31	47	75	64	42	40	43	63	52	45	65	67
จุดที่ 3	39	37	46	74	65	41	40	50	63	56	48	62	58
	48	56	39	56	64	N/A	64	59	62	N/A	52	50	72
	49	51	31	47	64	N/A	63	59	62	N/A	67	50	69
	52	52	44	54	65	N/A	75	57	62	N/A	45	49	70
จุดที่ 4	47	58	43	52	63	N/A	78	60	61	N/A	47	49	62
	77	28	73	80	62	N/A	54	51	N/A	N/A	75	N/A	52
	79	47	73	80	70	N/A	62	61	N/A	N/A	68	N/A	65
	76	49	68	65	71	N/A	68	65	N/A	N/A	65	N/A	68
จุดที่ 5	68	50	68	73	71	N/A	57	61	N/A	N/A	71	N/A	55
	30	80	38	79	78	60	58	28	52	57	62	65	62
	23	80	36	68	79	62	56	37	62	56	61	61	60
	29	75	35	75	80	58	52	43	44	57	53	66	55
จุดที่ 6	29	68	36	65	75	58	56	45	57	53	52	62	52
	62	50	59	42	54	50	44	34	58	52	64	55	48
	60	47	51	41	49	58	55	51	59	55	62	52	59
	51	48	56	49	56	51	58	53	67	59	53	51	52
	51	49	57	47	50	52	52	37	65	59	48	50	47
ค่าเฉลี่ย (mm)	46.7	56.2	47.2	59.8	65.0	55.1	56.0	50.2	60.3	54.5	53.3	56.8	60.0
	5	5	5	8	8	9	0	5	5	6	3	5	8
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	55.04					55.45				56.21			
ค่าเฉลี่ยโครงการ(mm)	55.57												

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอกในผนังหล่อในที่เคหะชุมชนพญา 2													
อาคาร	A					I				2			
ชั้น	1	3	5	9	19	1	3	5	9	1	3	5	9
จุดที่ 1	34	55	47	27	36	69	42	60	53	44	26	50	49
	31	50	53	32	48	72	34	63	61	37	25	52	54
	28	60	29	34	45	73	30	53	64	35	22	58	39
	35	51	35	47	43	68	41	49	69	42	28	57	45
จุดที่ 2	35	24	29	48	62	26	32	46	58	56	30	51	51
	39	35	39	59	65	32	46	37	60	54	48	56	59
	39	30	48	58	65	36	29	47	62	53	45	N/A	68
จุดที่ 3	41	31	45	56	62	31	31	48	53	58	44	N/A	52
	39	37	30	52	45	N/A	55	54	N/A	N/A	44	53	65
	34	34	29	49	45	N/A	39	54	N/A	N/A	58	54	64
	35	45	39	49	55	N/A	53	47	N/A	N/A	53	64	53
จุดที่ 4	45	42	41	49	53	N/A	54	47	N/A	N/A	56	55	61
	68	30	56	66	61	N/A	52	54	N/A	N/A	69	44	64
	65	21	53	65	65	N/A	44	51	N/A	N/A	69	45	N/A
	72	33	58	63	64	N/A	38	50	N/A	N/A	65	N/A	N/A
จุดที่ 5	62	35	56	70	65	N/A	45	52	N/A	N/A	58	N/A	N/A
	28	68	28	63	63	57	54	35	41	51	51	51	56
	20	69	35	65	64	53	40	37	44	42	31	N/A	N/A
	22	65	32	63	67	54	47	43	53	N/A	53	N/A	N/A
จุดที่ 6	28	53	31	63	65	52	45	50	41	N/A	N/A	N/A	N/A
	53	43	54	27	41	33	35	48	41	46	54	39	40
	50	48	45	32	41	47	45	38	57	47	66	51	45
	48	34	54	41	41	50	46	36	58	N/A	52	35	39
	54	35	52	32	40	47	48	42	58	N/A	51	N/A	47
ค่าเฉลี่ย (mm)	41.8	42.8	42.4	50.4	54.2	50.0	42.7	47.5	54.5	47.0	47.7	50.9	52.8
ค่าเฉลี่ยอาคาร (mm)	8	3	2	2	1	0	1	4	6	8	4	4	3
ค่าเฉลี่ยโครงการ(mm)	46.35					48.70				49.65			
	48.23												

	ระยะคาร์บอนขึ้น						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร 17 ชั้น 1	13.38	11.88	6.00	8.25	12.00	15.00	11.24
อาคาร 17 ชั้น 3	N/A	9.38	12.00	N/A	13.63	N/A	
อาคาร 17 ชั้น 5	14.25	14.13	13.13	5.13	9.25	N/A	
อาคาร 38 ชั้น 1	1.38	0.00	2.25	2.00	1.88	1.25	3.16
อาคาร 38 ชั้น 3	2.38	6.63	7.75	N/A	0.75	N/A	
อาคาร 38 ชั้น 5	3.25	2.38	10.75	1.75	3.00	N/A	
อาคาร 44 ชั้น 1	3.63	0.25	9.50	0.63	6.25	2.00	4.20
อาคาร 44 ชั้น 3	11.00	1.38	N/A	N/A	5.50	N/A	
อาคาร 44 ชั้น 5	10.25	0.75	N/A	2.13	1.38	N/A	
บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1							6.18

	ระยะคาร์บอนขึ้น						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร 15 ชั้น 1	6.50	10.00	11.00	12.00	11.88	3.13	9.30
อาคาร 15 ชั้น 3	12.38	12.63	0.88	N/A	11.75	2.50	
อาคาร 15 ชั้น 5	14.50	17.25	4.13	N/A	13.13	5.13	
อาคาร 19 ชั้น 1	7.50	1.13	11.25	0.88	13.00	5.75	7.88
อาคาร 19 ชั้น 3	20.38	3.25	2.50	N/A	12.50	4.13	
อาคาร 19 ชั้น 5	12.50	10.63	1.38	N/A	13.00	6.25	
อาคาร 22 ชั้น 1	8.75	2.00	7.50	12.88	8.50	4.00	8.70
อาคาร 22 ชั้น 3	18.00	8.13	0.88	N/A	14.63	3.75	
อาคาร 22 ชั้น 5	9.75	13.00	8.13	N/A	18.13	1.25	
บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์							8.63

	ระยะคาร์บอนชั้น						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร 2 ชั้น 1	26.25	20.00	32.88	13.88	4.25	22.00	18.99
อาคาร 2 ชั้น 3	21.38	15.75	11.63	21.00	11.13	12.00	
อาคาร 2 ชั้น 5	20.00	15.25	20.38	N/A	23.88	31.25	
อาคาร 3 ชั้น 1	29.75	12.50	17.00	17.00	19.25	32.50	
อาคาร 3 ชั้น 3	15.00	26.25	22.00	5.00	38.00	25.00	
อาคาร 3 ชั้น 5	31.50	29.63	21.00	N/A	18.50	18.75	
อาคาร 4 ชั้น 1	25.88	60.00	23.25	7.50	5.50	32.75	
อาคาร 4 ชั้น 3	22.00	18.00	24.25	28.00	23.50	23.00	
อาคาร 4 ชั้น 5	N/A	31.13	32.00	N/A	21.75	6.00	
เกาะชุมชนนวนคร							21.72

	ระยะคาร์บอนชั้น						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร 1 ชั้น 1	30.75	28.38	33.75	25.75	44.63	N/A	37.91
อาคาร 1 ชั้น 3	42.00	33.13	33.75	44.00	N/A	29.75	
อาคาร 1 ชั้น 5	41.88	46.88	N/A	37.13	40.63	56.25	
อาคาร 4 ชั้น 1	41.88	31.25	32.38	35.25	29.00	33.00	
อาคาร 4 ชั้น 3	N/A	36.00	22.50	45.63	23.38	26.13	
อาคาร 4 ชั้น 5	33.38	N/A	44.88	53.63	48.00	41.13	
อาคาร 8 ชั้น 1	41.75	31.50	27.50	45.00	41.63	38.88	
อาคาร 8 ชั้น 3	48.75	N/A	29.88	22.88	30.75	32.25	
อาคาร 8 ชั้น 5	N/A	52.00	38.00	50.00	54.25	45.50	
เกาะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1							37.80

	ระยะการบ่อน้ำมัน						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร 1 ชั้น 1	32.63	42.75	37.75	48.00	47.88	44.25	41.23
อาคาร 1 ชั้น 3	N/A	40.00	41.38	34.25	35.38	36.25	
อาคาร 1 ชั้น 5	45.88	42.50	50.38	46.63	39.63	43.88	
อาคาร 1 ชั้น 8	37.88	40.00	33.13	46.88	44.63	36.38	
อาคาร 2 ชั้น 1	27.38	27.63	27.75	36.13	30.38	26.88	33.19
อาคาร 2 ชั้น 3	43.50	43.50	37.00	30.50	27.75	29.13	
อาคาร 2 ชั้น 5	20.38	40.63	20.38	39.75	19.50	17.38	
อาคาร 2 ชั้น 8	40.50	39.25	37.50	48.00	47.00	38.88	
อาคาร 3 ชั้น 1	38.63	29.25	29.25	27.13	48.00	49.63	35.81
อาคาร 3 ชั้น 3	N/A	29.38	16.38	29.50	28.50	49.25	
อาคาร 3 ชั้น 5	N/A	39.50	35.25	44.625	40.25	39.13	
อาคาร 3 ชั้น 8	33.25	41.5	33.375	36.5	33.25	36.38	
เคหะชุมชนดินแดง 3							36.70

	ระยะการบ่อน้ำมัน						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร 1 ชั้น 1	40.25	47.13	65.00	10.88	30.50	28.88	32.88
อาคาร 1 ชั้น 3	30.25	55.00	29.88	31.75	25.50	30.38	
อาคาร 1 ชั้น 5	17.25	29.00	40.00	46.25	43.25	34.38	
อาคาร 1 ชั้น 12	11.88	24.50	27.63	29.13	33.25	27.25	
อาคาร 2 ชั้น 1	24.13	N/A	29.00	45.63	52.00	45.38	35.93
อาคาร 2 ชั้น 3	21.75	30.63	34.13	29.63	30.25	30.50	
อาคาร 2 ชั้น 5	27.50	29.00	26.38	40.13	41.38	1.50	
อาคาร 2 ชั้น 12	70.00	30.88	52.00	44.50	50.00	40.25	
เคหะชุมชนดินแดง (12ชั้น)							34.38

	ระยะการบ่อน้ำมัน						เฉลี่ย	
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6		
อาคาร 11 ชั้น 1	N/A	41.00	33.63	41.38	37.25	25.50	30.95	
อาคาร 11 ชั้น 3	31.75	29.25	32.38	28.38	32.63	38.00		
อาคาร 11 ชั้น 5	23.88	32.00	17.63	29.00	31.75	20.75		
อาคาร 14 ชั้น 1	N/A	40.38	32.38	43.38	27.13	33.00		
อาคาร 14 ชั้น 3	N/A	29.25	19.88	N/A	31.50	30.38		
อาคาร 14 ชั้น 5	45.00	57.25	22.00	39.25	34.38	39.13		34.95
อาคาร 18 ชั้น 1	41.50	30.75	N/A	17.00	37.38	35.88		
อาคาร 18 ชั้น 3	39.88	N/A	26.50	19.00	33.75	32.25		
อาคาร 18 ชั้น 5	43.63	27.50	36.13	12.88	20.00	20.75		29.67
เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2							31.77	

	ระยะการบ่อน้ำมัน						เฉลี่ย	
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6		
อาคาร 5 ชั้น 1	30.63	30.75	49.75	50.00	33.88	40.38	42.99	
อาคาร 5 ชั้น 3	42.00	40.75	45.63	32.88	41.50	44.75		
อาคาร 5 ชั้น 5	41.75	N/A	46.38	50.25	50.25	59.25		
อาคาร 8 ชั้น 1	31.88	34.75	27.63	32.50	39.50	35.88		
อาคาร 8 ชั้น 3	27.00	23.13	35.25	47.50	49.13	45.63		
อาคาร 8 ชั้น 5	25.75	39.75	36.75	N/A	31.13	30.75		34.93
อาคาร 32 ชั้น 1	19.00	12.38	20.38	32.38	40.88	35.50		
อาคาร 32 ชั้น 3	25.50	30.75	31.50	41.63	48.00	51.88		
อาคาร 32 ชั้น 5	12.63	15.00	23.00	50.875	44.38	N/A		31.51
เคหะชุมชนห้วยขวาง							36.48	

	ระยะการบ่อน้ำมัน						เฉลี่ย
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	
อาคาร A ชั้น 1	29.50	23.25	25.38	9.63	21.00	N/A	25.93
อาคาร A ชั้น 3	16.00	39.88	28.13	22.50	27.88	15.00	
อาคาร A ชั้น 5	30.88	31.75	30.00	27.00	N/A	21.75	
อาคาร A ชั้น 9	40.38	35.00	25.63	N/A	25.38	29.38	
อาคาร A ชั้น 19	21.63	31.63	26.25	N/A	19.75	19.63	
อาคาร 1 ชั้น 1	17.25	18.13	N/A	N/A	24.38	16.00	21.17
อาคาร 1 ชั้น 3	13.50	18.38	22.13	28.38	16.00	20.38	
อาคาร 1 ชั้น 5	26.75	19.63	29.50	17.50	14.38	22.00	
อาคาร 1 ชั้น 9	26.88	14.75	22.50	26.25	20.50	30.63	
อาคาร 2 ชั้น 1	19.25	10.63	N/A	N/A	22.25	43.63	
อาคาร 2 ชั้น 3	30.50	21.00	33.38	24.00	23.50	25.75	25.14
อาคาร 2 ชั้น 5	24.50	26.00	20.38	10.5	23.50	26.50	
อาคาร 2 ชั้น 9	25.13	16.38	28.38	34.375	32.50	31.00	
เคหะชุมชนพิทยา 2							24.18



ภาคผนวก ข
ตัวอย่างแผนที่ความเสียหาย



ภาคผนวก ข เป็นตัวอย่างวิธีการจัดเก็บข้อมูลความเสียหายของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่พบระหว่างการตรวจพินิจ โดยใช้แบบก่อสร้างในการกำหนดตำแหน่งและรูปถ่ายจากกล้องดิจิทัลในการบันทึกสภาพความเสียหายที่พบ

โดยทั้งนี้ก่อนทำการบันทึกความเสียหายจะต้องกำหนดรหัสของโครงการ เช่น DNG คือ ดินแดง (Din Daeng) และ RNG คือ รังสิตคลองหนึ่ง (Rangsit Klong 1) โดยรหัสของแต่ละโครงการจะต้องไม่ซ้ำกันและต้องเป็นชื่อย่อที่ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าใจได้โดยง่าย

รหัสของโครงการที่ทำการตรวจสอบพินิจ

บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG)

บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์ (PET)

บ้านเอื้ออาทรบึงกุ่ม (BUM)

บ้านเอื้ออาทรปทุมธานี (PNI)

เคหะชุมชนนวนคร (NRN)

เคหะชุมชนหลักสี่ (LSI)

เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1 (DNG1)

เคหะชุมชนเคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 1 (KEI1)

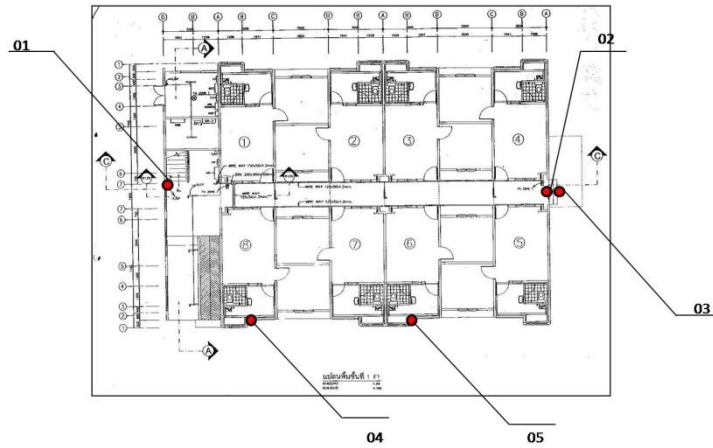
เคหะชุมชนเคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2 (KEI2)

เคหะชุมชนพญา 2 (PYA)

เมื่อกำหนดรหัสแล้วให้นำแบบโครงสร้างของอาคารที่จะตรวจสอบมาประกอบการตรวจพินิจ และจดบันทึกเลขอาคารและชั้นที่ทำการตรวจสอบ เช่น DNG 1/4 หมายถึง ชั้น 4 ของอาคาร 1 ในโครงการเคหะชุมชนดินแดง และ RNG 17/1 หมายถึง ชั้น 1 ของอาคารที่ 17 ในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลองหนึ่ง

เมื่อกำหนดรหัสโครงการและบันทึกเลขอาคารและชั้นที่ทำการตรวจสอบแล้วให้ถ่ายรูปความเสียหายที่พบประกอบการจดบันทึกตำแหน่งที่พบแต่ละความเสียหายลงในแบบโครงสร้าง ดังต่อไปนี้

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/1)



1

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/1)



รูปที่ RNG 17/1 - 01 : ปัญหารอยต่อของผนังและเสา ด้านหน้าภายนอก อาคาร 17 มีการกะเทาะ

2

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/1)



รูปที่ RNG 17/1 - 02 : ปัญหารอยต่อระหว่างเพดานชั้น 2 และผนังห้อง เกิดรอยร้าวและมีน้ำรั่วซึม อาคาร 17

3

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/1)



รูปที่ RNG 17/1 - 03 : ปัญหารอยต่อบริเวณบันไดหนีไฟมีรอยร้าว
อาคาร 17

4

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/1)



รูปที่ RNG 17/1 - 04 : มีการกะเทาะของผิวคอนกรีตที่คานคอดิน
(อาคาร 17)

5

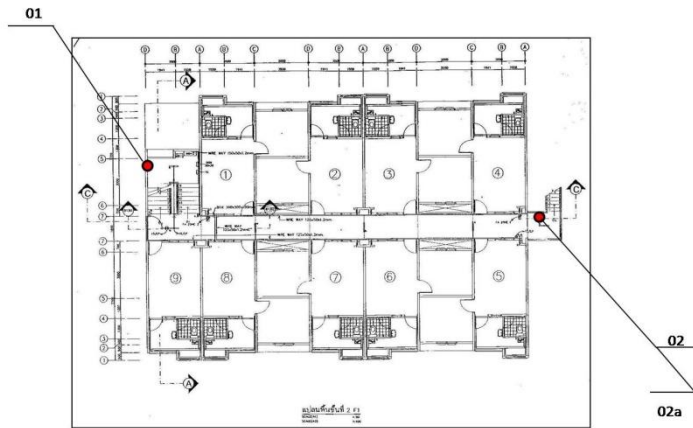
ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/1)



รูปที่ RNG 17/1 - 05 : ปัญหารอยต่อผนังมีรอยร้าว อาคาร 17

6

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/2)



7

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/2)



รูปที่ RNG 17/2 - 01 : ปัญหาการรั่วซึมรอยต่อบริเวณผนังบริเวณโถงบันได
ชั้น 2 ลงชั้น 1 (อาคาร 38)

8

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/2)



รูปที่ RNG 17/2 - 02 : ปัญหารอยต่อบริเวณบันไดหนีไฟมีรอยรั่ว
อาคาร 17

9

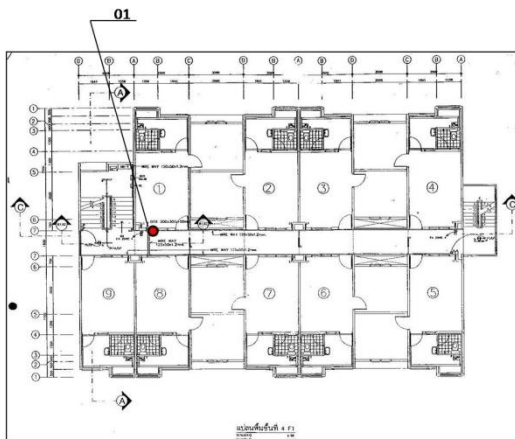
ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/2)



รูปที่ RNG 17/2 - 02a : ปัญหารอยต่อบริเวณบันไดหนีไฟมีรอยร้าว อาคาร 17

10

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/4)



11

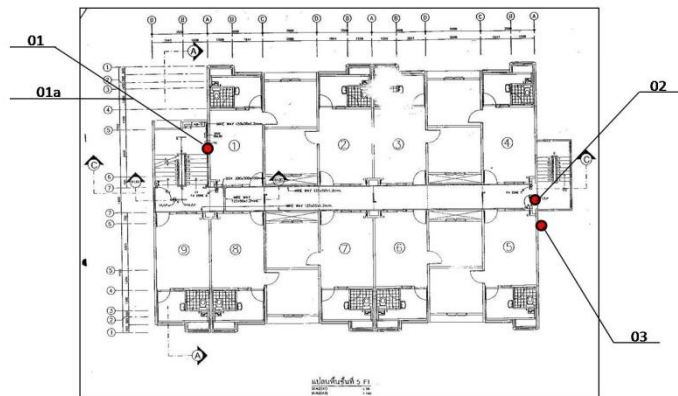
ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/4)



รูปที่ RNG 17/4 - 01 : ปัญหาผนังมีรอยร้าว อาคาร 17

12

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/5)



13

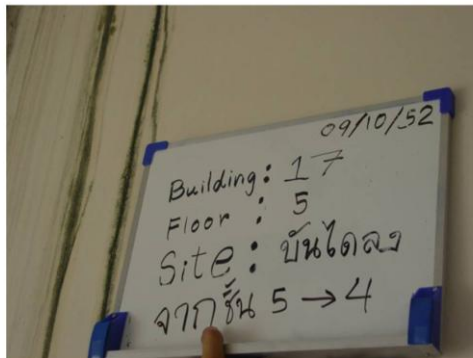
ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/5)



รูปที่ RNG 17/5 - 01 : ปัญหารอยต่อบริเวณเพดานโถงบันไดชั้นตาดฟ้าลง
ชั้น 5มีการทรุดตัว เกิดรอยร้าว(อาคาร 17)

14

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/5)



รูปที่ RNG 17/5 - 01a : ปัญหาการรั่วซึมรอยต่อผนังโถงบันไดชั้น 5ลง
ชั้น 4(อาคาร 17)

15

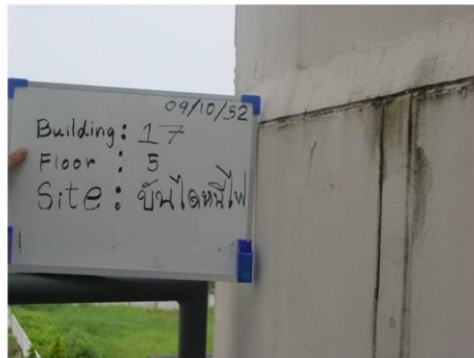
ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/5)



รูปที่ RNG 17/5 - 02 : ปัญหาช่วงรอยต่อบริเวณบนเพดานเกิดรอยร้าว
(อาคาร 17)

16

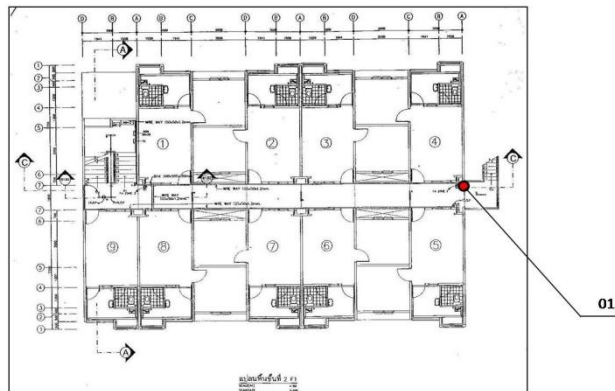
ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 17/5)



รูปที่ RNG 17/5 - 03 : ปัญหาการรั่วซึมรอยต่อผนังบันไดหนีไฟด้านนอกชั้น 5
ลงชั้น 4(อาคาร 17)

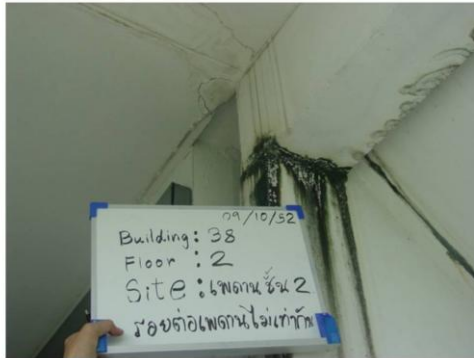
17

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/2)



18

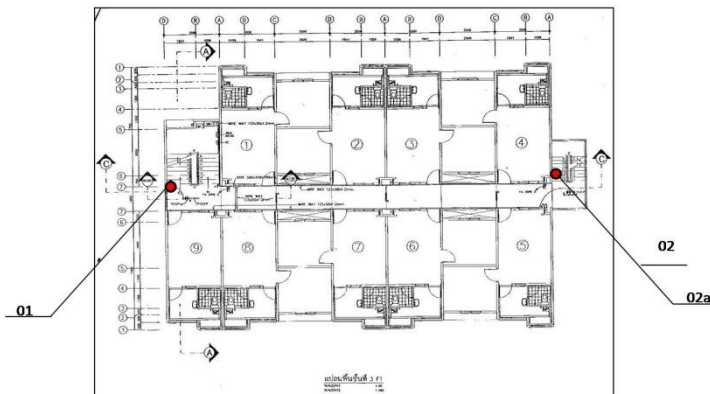
ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/2)



รูปที่ RNG 38/2 - 01 : ปัญหารอยต่อบริเวณบันไดหนีไฟมีรอยร้าว
อาคาร 38

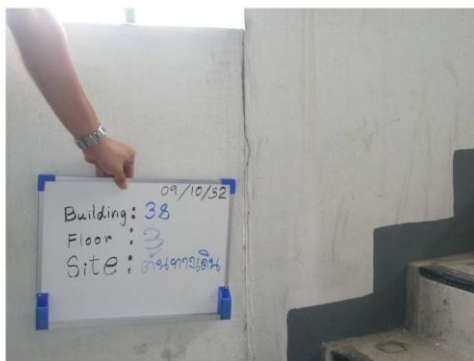
19

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/3)



20

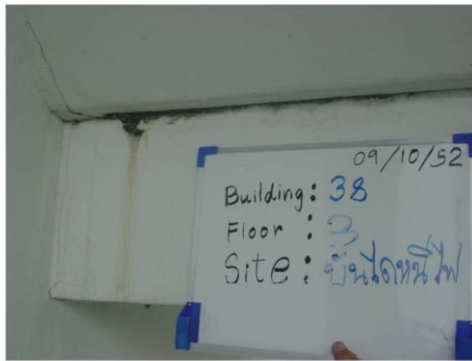
ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/3)



รูปที่ RNG 38/3 - 01 : ปัญหารอยต่อบริเวณผนังเกิดรอยร้าวบริเวณทางขึ้น
บันไดชั้น 3 (อาคาร 38)

21

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/3)



รูปที่ RNG 38/3 - 02 : ปัญหารอยต่อบริเวณบันไดหนีไฟมีรอยร้าว
อาคาร 38

22

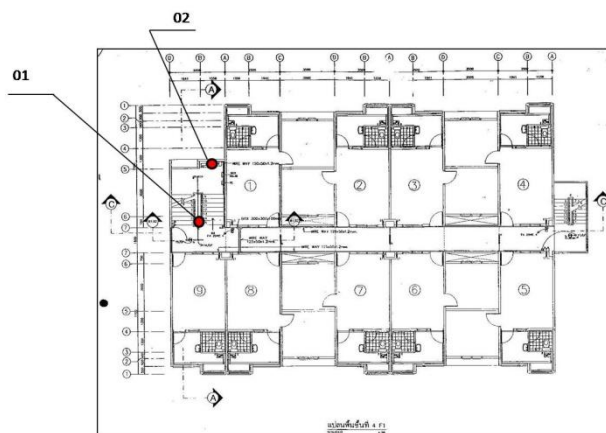
ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/3)



รูปที่ RNG 38/3 - 02a : ปัญหารอยต่อบริเวณบันไดหนีไฟมีรอยร้าว
อาคาร 38

23

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/4)



24

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/4)



**รูปที่ RNG 38/4 - 01 : ปัญหาการรื้อซึมรอยต่อบริเวณชายพนักบันไดชั้น 4ลง
ชั้น 3 (อาคาร 38)**

25

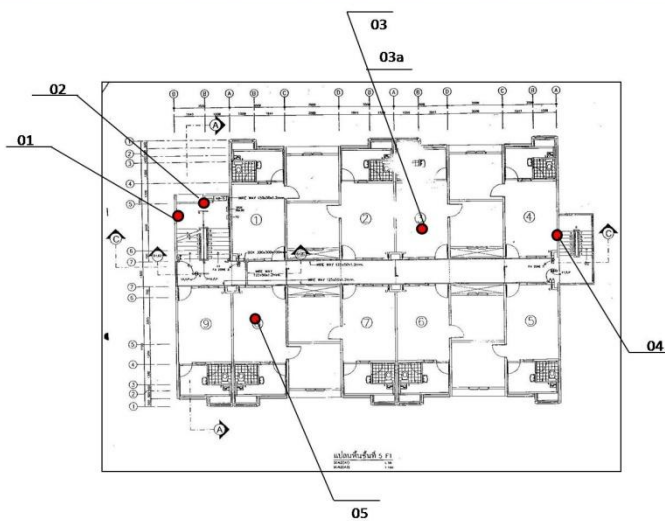
ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/4)



**รูปที่ RNG 38/4 - 02 : ปัญหาการรื้อซึมรอยต่อบริเวณผนังบริเวณโถงบันได
ชั้น 4ลงชั้น 3 (อาคาร 38)**

26

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/5)



27

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/5)



**รูปที่ RNG 38/5 - 01 : ปัญหาการรั่วซึมรอยต่อบริเวณผนังบริเวณโถงบันได
ชั้น 5 ลงชั้น 4 (อาคาร 38)**

28

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/5)



**รูปที่ RNG 38/5 - 02 : ปัญหาการรั่วซึมรอยต่อบริเวณผนังบริเวณโถงบันได
ชั้น 5 ลงชั้น 4 (อาคาร 38)**

29

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/5)



**รูปที่ RNG 38/5 - 03 : ปัญหาการโค้งตัวของแนวกระเบื้อง
(อาคาร 38 ห้อง 38/41)**

30

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/5)



รูปที่ RNG 38/5 - 03a : ปัญหาการโก่งตัวและหลุดล่อนของกระเบื้อง
(อาคาร 38 ห้อง 38/41)

31

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/5)



รูปที่ RNG 38/5 - 04 : ปัญหารอยต่อบริเวณกำแพงภายนอกอาคารชั้น 5 ลง
ชั้น 4 บริเวณบันไดหนีไฟเกิดรอยร้าว (อาคาร 38)

32

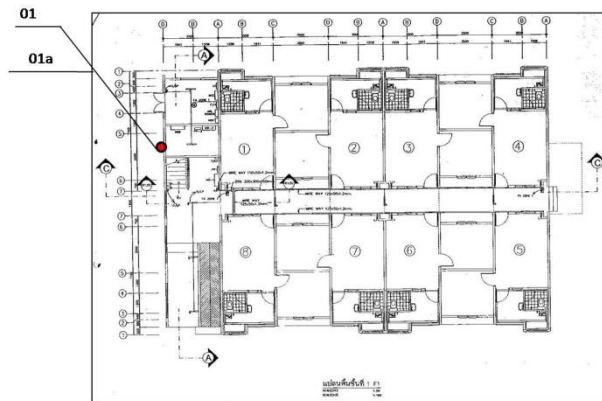
ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 38/5)



รูปที่ RNG 38/5 - 05 : ปัญหาการโก่งตัวและหลุดล่อนของกระเบื้อง
(อาคาร 38 ห้อง 38/36)

33

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 44/1)



34

ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 44/1)



รูปที่ RNG 44/1-5 - 01 : ปัญหาเกิดรอยสนิมที่ผนังด้านนอกอาคาร (อาคาร 44)

35

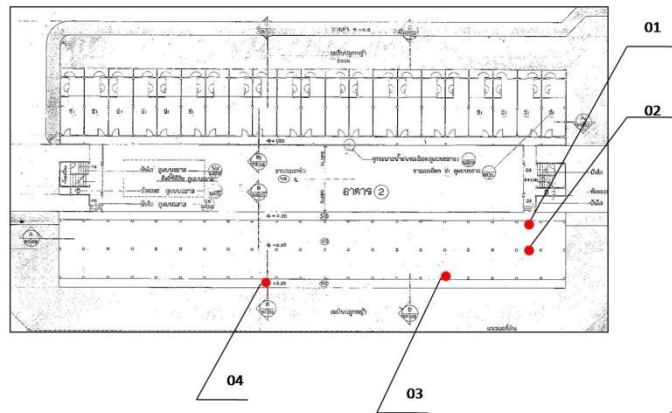
ความเสียหายที่พบในโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 (RNG 44/1)



รูปที่ RNG 44/1-5 - 01a : ปัญหาเกิดรอยสนิมที่ผนังด้านนอกอาคาร (อาคาร 44)

36

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 2/1)



1

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 2/1)



รูปที่ NRN 2/1-01 : ปัญหาพื้นเกิดรอยร้าว (อาคาร 2)

2

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 2/1)



รูปที่ NRN 2/1-02 : ปัญหาปูนฉาบล่อนบริเวณคานชั้นจตุรภุม (อาคาร 2)

3

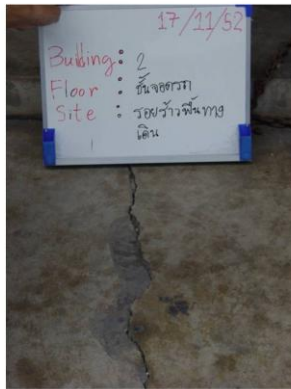
ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 2/1)



รูปที่ NRN 2/1-03 : ปัญหาปูนฉาบล่อนบริเวณคานชั้นจอดรถ (อาคาร 2)

4

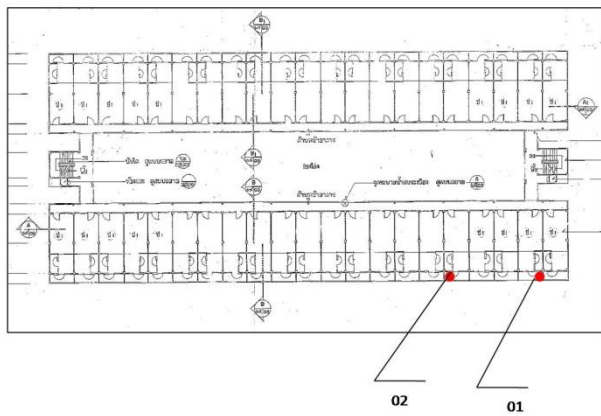
ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 2/1)



รูปที่ NRN 2/1-04 : ปัญหาพื้นเกิดรอยร้าว (อาคาร 2)

5

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 2/2)



6

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนคร(NRN 2/2)



รูปที่ NRN 2/1-01 : ปัญหาหัวรั้วซึมทางเดินที่บริเวณชานพักหลังห้องครัว (อาคาร 2)

7

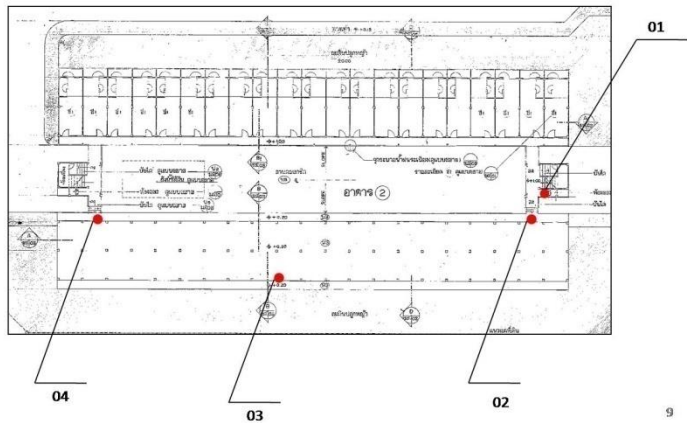
ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนคร(NRN 2/2)



รูปที่ NRN 2/1-02 : ปัญหาหัวรั้วซึมทางเดินที่บริเวณชานพักหลังห้องครัว (อาคาร 2)

8

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนคร (NRN 3/1)



9

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 3/1)



รูปที่ NRN 3/1-01 : ปัญหาที่อเมหน้าบริเวณปล่องขยะฝั่งห้องเก็บของมีรอยรั่วซึม (อาคาร 3 ชั้น 1)

10

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 3/1)



รูปที่ NRN 3/1-02 : ปัญหาพื้นทางเดินชั้นบนได้ฝั่งห้องเก็บของทรุดตัว (อาคาร 3 ชั้นจอดรอก)

11

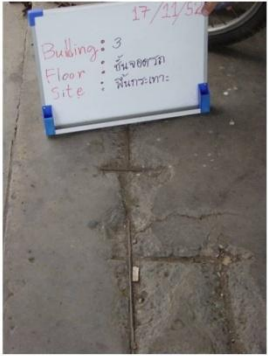
ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 3/1)



รูปที่ NRN 3/1-03: ปัญหาฝ้ารื้อซึม (อาคาร 3)

12

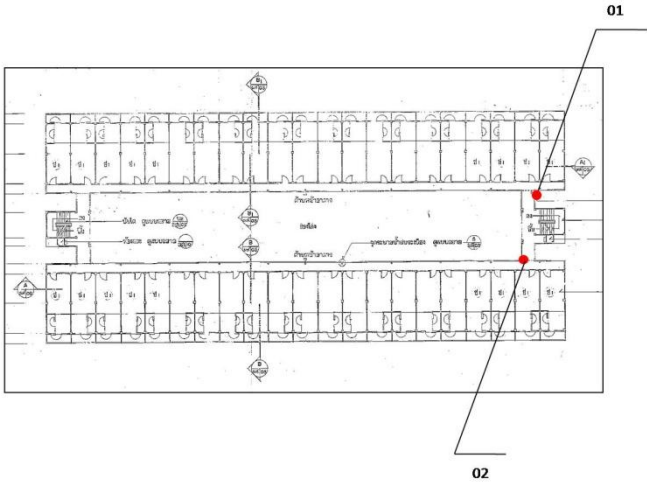
ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 3/1)



รูปที่ NRN 3/1-04: ปัญหาพื้นกะเทาะ (อาคาร 3)

13

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 3/2)



14

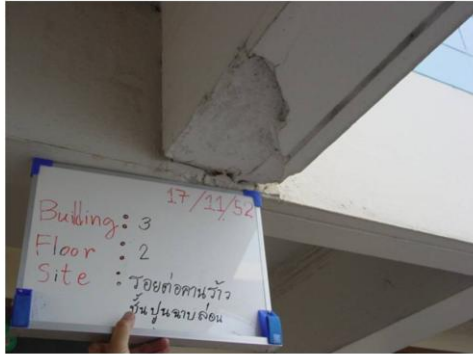
ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 3/2)



รูปที่ NRN 3/2-01 : ปัญหาคานเกิดรอยแตกร้าว (อาคาร 3 ชั้น 2)

15

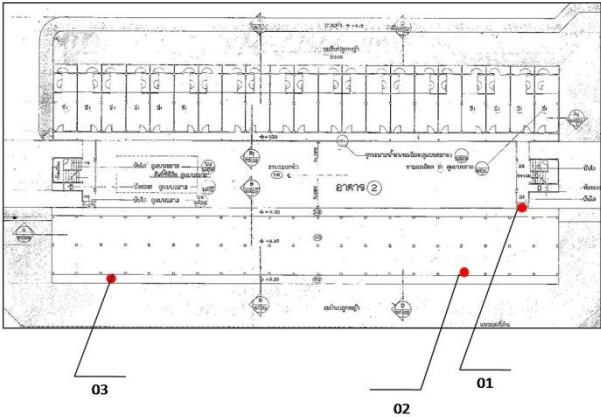
ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 3/2)



รูปที่ NRN 3/2-02 : ปัญหาคานเกิดรอยแตกร้าว, ชั้นปูนฉาบล่อน (อาคาร 3 ชั้น 2)

16

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 4/1)



17

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 4/1)



รูปที่ NRN 4/1-01 : ปัญหารอยร้าวการทรุดตัวของทางเดินบันได (อาคาร 4)

18

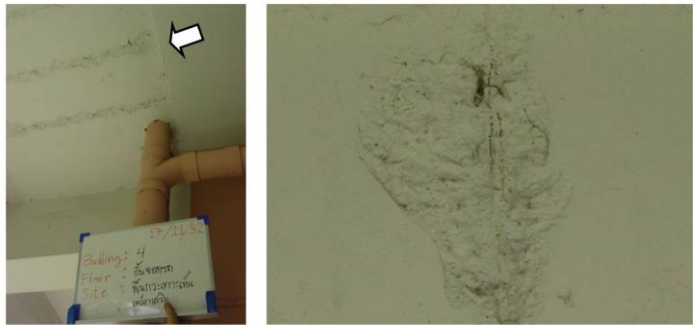
ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 4/1)



รูปที่ NRN 4/1-02 : ปัญหาน้ำรั่วซึมทางเดินท่อใต้อาคาร (อาคาร 4)

19

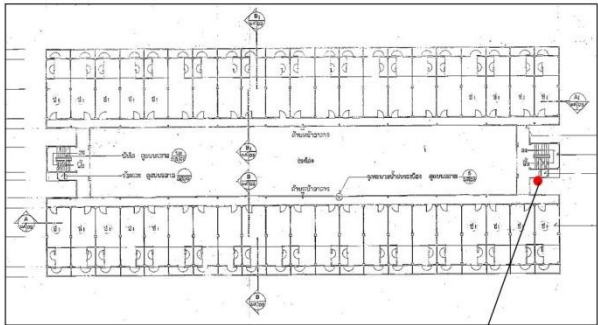
ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 4/1)



รูปที่ NRN 4/1-03 : ปัญหาเพดานชั้นจอดรถมีการกะเทาะเห็นเหล็กเสริมที่เป็นสนิมแล้วทาสีทับ (อาคาร 4)

20

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 4/2)



01

21

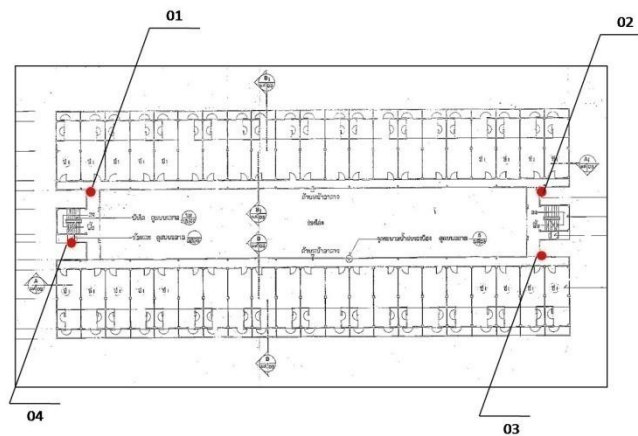
ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 4/2)



รูปที่ NRN 4/2-01 : ปัญหารอยแตกฝ้าของคานที่ช่องปล่องขยะ (อาคาร 4)

22

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 4/3)



23

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 4/3)



รูปที่ NRN 4/3-01 : ปัญหาการแตกฝ้าและการหลุดล่อนของชั้นปูนฉาบ บริเวณส่วนต่อคาน (อาคาร 4 หน้าห้อง 51/85)

24

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 4/3)



รูปที่ NRN 4/3-02 : ปัญหาการแตกร้าวและการหลุดล่อนของชั้นปูนฉาบบริเวณส่วนต่อคาน (อาคาร 4 หน้าห้อง 51/103)

25

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 4/3)



รูปที่ NRN 4/3-03 : ปัญหาการแตกร้าวและการหลุดล่อนของชั้นปูนฉาบบริเวณส่วนต่อคาน (อาคาร 4 หน้าห้อง 51/64)

26

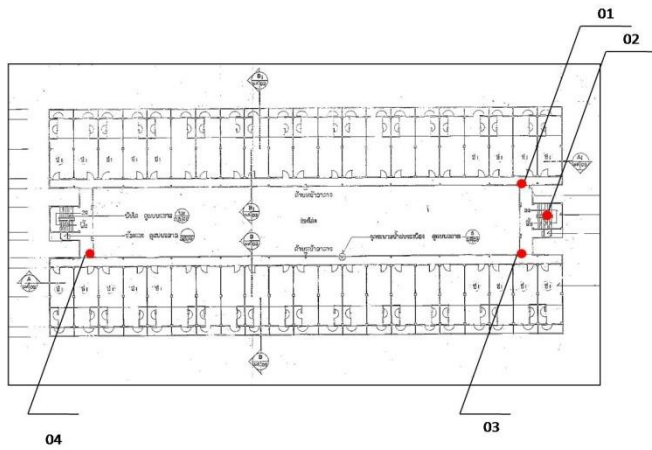
ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 4/3)



รูปที่ NRN 4/3-04 : ปัญหาการแตกร้าวและการหลุดล่อนของชั้นปูนฉาบช่องปล่องขยะ (อาคาร 4 ชั้น 3)

27

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนนทบุรี (NRN 4/4)



28

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนนทบุรี (NRN 4/4)



รูปที่ NRN 4/4-01 : ปัญหาการแตกร้าวและการหลุดล่อนของชั้นปูนฉาบ บริเวณส่วนต่อคาน (อาคาร 4 หน้าห้อง 51/145)

29

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนนทบุรี (NRN 4/4)



รูปที่ NRN 4/4-02 : ปัญหาอันตรายจากน้ำฝนที่มากกระทบตู้มิเตอร์ไฟฟ้า (อาคาร 4)

30

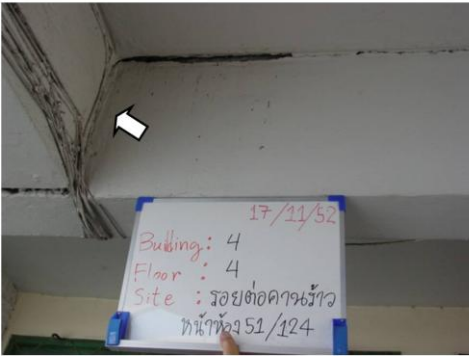
ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 4/4)



รูปที่ NRN 4/4-03 : ปัญหาการแตกร้าวและการหลุดล่อนของชั้นปูนฉาบบริเวณส่วนต่อคาน (อาคาร 4 หน้าห้อง 51/106)

31

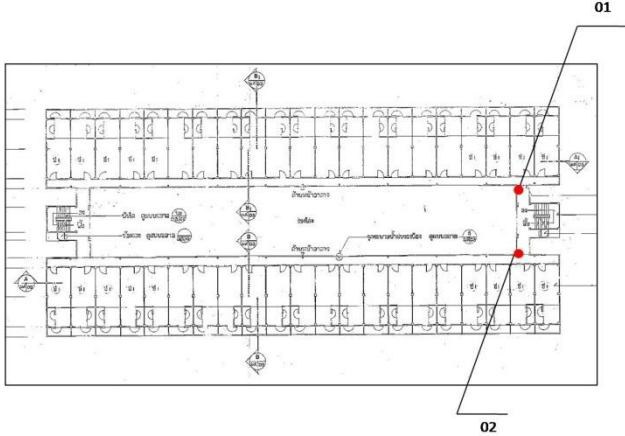
ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 4/4)



รูปที่ NRN 4/4-04 : ปัญหาปัญหาการแตกร้าวและการหลุดล่อนของชั้นปูนฉาบบริเวณส่วนต่อคาน (อาคาร 4 หน้าห้อง 51/124)

32

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนวนคร (NRN 4/5)



33

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนคร (NRN 4/5)



รูปที่ NRN 4/5-01 : ปัญหาการแตกร้าวและการหลุดล่อนของชั้นปูนฉาบ บริเวณส่วนต่อคาน (อาคาร 4 หน้าห้อง 51/187)

34

ความเสียหายที่พบในโครงการเคหะชุมชนนคร (NRN 4/5)



รูปที่ NRN 4/5-02 : ปัญหาการแตกร้าวและการหลุดล่อนของชั้นปูนฉาบ บริเวณส่วนต่อคาน (อาคาร 4 หน้าห้อง 51/148)

35



ภาคผนวก ค
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่

ANNUAL CONCRETE CONFERENCE (ACC6)

6

ในวาระครบรอบ 50 ปี แห่งการสถาปนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

20 - 22 ตุลาคม 2553
Grand Pacific Sovereign Resort & Spa
อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี



จัดโดย สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

- ร่วมกับ
- o ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา และ ศูนย์การศึกษาต่อเนื่อง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 - o ACI Thailand Chapter
 - o ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน

คณะกรรมการผู้พิจารณาบทความ การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 6

ศ.ดร.ชัย	จาคูรพิทักษ์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.เอนก	ศิริพานิชกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.สมเกียรติ	รุ่งทองใบสุรีย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สุทัศน์	ลีลาทวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ทวิช	พูลเงิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.วีรชาติ	ตั้งจิรภัทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ธรรมบุญ	เฮงษฎ์กุล	ศูนย์การศึกษาต่อเนื่อง มจร.
อ.เอกชัย	ภัทรวงศ์ไพบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.วิเชียร	ชาติ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผศ.ดร.สมิตร	ส่งพิริยะกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ปิตินานต์	กร้ามาตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.พุทธพล	ทองอินทร์ดำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.จตุพล	ตั้งปกาศิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.ธีรวัฒน์	สินลิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ดร.วันชัย	สะตะ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.อุบลลักษณ์	รัตนศักดิ์	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผศ.ดร.เรืองรุชต์	ชีระโรจน์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ดร.สหลาภ	หอมวุฒิวงศ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร.ปิติ	สุคนธสุขกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.คมสัน	มาลีสี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.บูรฉัตร	ฉัตรวีระ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ดร.สำริง	รักซ้อน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
รศ.ดร.บุญไชย	สถิตมั่นในธรรม	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ดร.รัฐภูมิ	ปรีชาตปรีชา	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.ประวีณ	ชมปรีดา	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร.วรรณสิริ	พันธ์อุไร	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร.รัชวีร์	ลีละวัฒน์	มหาวิทยาลัยมหิดล
คุณวันทยาอูฐ	วงศ์กองแก้ว	บริษัท บอรอล คอนกรีต (ประเทศไทย) จำกัด
คุณบุญรอด	คุปดีทัฬหิ	บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด (CPAC)
ผศ.ดร.วันชัย	ยอดสุดใจ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ว่าที่ ร.ต.ดร.ศุภชัย	สินถาวร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รศ.ดร.สุวิมล	สังจวานิชย์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.ฉัตร	สุจินดา	มหาวิทยาลัยศรีปทุม

คณะกรรมการผู้พิจารณาบทความ การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 6 (ต่อ)

รศ.ดร.ไพบูรณ์	บัญชาคะโป	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผศ.ดร.เกรียงศักดิ์	แก้วกุลชัย	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.ดร.นคร	ภู่วโรดม	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผศ.ดร.วิรัช	เลิศไพฑูรย์พันธ์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
รศ.ดร.อมร	พิมานมาศ	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
คุณมนตรี	เชื้อคล้อยวรรณ	บริษัท เซมกรีต (ประเทศไทย) จำกัด (CEMKRETE)
ดร.รักติพงษ์	สหมิตรมงคล	ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC)
ดร.ณัฐวัฒน์	จุฑารัตน์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
รศ.ดร.ประเสริฐ	สุวรรณวิทยา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



17.00 – 18.30 น. การนำเสนอบทความวิจัย (ห้อง Pecth Siam)

ประธานภาค : ผศ.ดร.เรืองรุชดี ชีระโรจน์

รองประธานภาค : ดร.วิฑิต ปานสุข

MAT-09	Factors Affecting Near Surface Tests of In-Situ Concrete Structures for Carbonation-Induced Corrosion
MAT-10	ผลกระทบของจำนวน ความลึก และมุมลาดเอียงของรอยร้าวที่มีต่ออัตราเร็วคลีนอัลตราโซนิคส์ในคอนกรีต
MAT-11	แนวทางการศึกษาการประเมินกำลังงอค์อาคารอย่างง่ายโดยไม่ทดสอบ Load Test
MAT-61	อิทธิพลของเหล็กปลอกและเหล็กหลัก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี ชมิคท์แฮมเมอร์
STR-03	การเปรียบเทียบผลของการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างรับโมเมนต์ดัดระหว่างที่ออกแบบตามมาตรฐาน ACI318-99 และ ACI318-02
REP-05	ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับการซ่อมแซมบางส่วน

17.00 – 18.30 น. การนำเสนอบทความวิจัย (ห้อง Petch Phailin)

ประธานภาค : รศ.ดร.ปิติ สุขนธสุขกุล

รองประธานภาค : ดร.ธรรมบุญ เสงษ์ภูิกุล

IVT-01	การใช้เจลเรืองแสงตรวจสอบปรากฏการณ์ ASR ของโครงสร้างเดิม
MAT-15	การทดสอบการก่อตัวของคอนกรีตด้วยคลีนอัลตราโซนิคส์ ตอนที่ 1 ผลกระทบของความต่อเนื่องของแบบหล่อโลหะและวิธีการแก้ไข
MAT-16	การทดสอบการก่อตัวของคอนกรีตด้วยคลีนอัลตราโซนิคส์ ตอนที่ 2 การทดสอบโดยให้หัวรับ – ส่งคลื่นสัมผัสโดยตรงกับเนื้อคอนกรีต
MAT-47	การเสื่อมสภาพวัสดุของสะพานคอนกรีตในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบท
MAT-64	การสำรวจอัตราการเกิดคาร์บอนเนชั่นของอาคารที่พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

18.30 น. เป็นต้นไป พักร่อนตามอัธยาศัย



การสำรวจอัตราการเกิดคาร์บอนชั้นของอาคารที่พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

Survey on Carbonation Rate of Residential buildings in Bangkok Metropolitan Area

บัญญัติ วารินทร์ไพล (Banyut Warinlai)¹รักติพงษ์ สหมิตรมงคล (Raktipong Sahamitmongkol)^{2,3}ปิติสานต์ กร้ามาตร (Pitisan Krammart)⁴สมนึก ตังเดิมสิริกุล (Somnuk Tangtermsirikul)⁵¹นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

nowsurvey@hotmail.com

²นักวิจัย ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC) สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ sahamit@siit.tu.ac.th

³นักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) raktips@mtec.or.th⁴ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

pitisan.k@en.rmutt.ac.th

⁵ศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC) และภาควิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยีโยธา

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ somnuk@siit.tu.ac.th

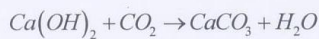
บทคัดย่อ : การศึกษานี้เป็นการตรวจสอบพฤติกรรมการเกิดคาร์บอนชั้นของอาคารที่พักอาศัยประเภทอาคาร โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยทำการทดสอบและประเมินค่ากำลังอัด วัฏระยะหุ้มเหล็ก วัฏระยะความหนาปูนฉาบในกรณีที่มีชั้นปูนฉาบ และการเจาะเก็บชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบระยะคาร์บอนชั้นของโครงสร้างอาคารตัวอย่างในโครงการที่พักอาศัยทั้งหมด 9 โครงการ ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดและระยะหุ้มเหล็กของโครงสร้างอาคารมีค่าเฉลี่ยเกินค่าที่ได้ออกแบบไว้ ในส่วนการเกิดระยะคาร์บอนชั้นนั้น พบว่าอัตราการพัฒนาระยะคาร์บอนชั้นของโครงสร้างอาคารที่มีตำแหน่งที่ตั้งติดกับทางด่วนสูงกว่าที่ไม่ติดกับทางด่วน ในขณะที่ตำแหน่งที่ตั้งของโครงสร้างอาคารในเขตกรุงเทพมหานครมีอัตราการเกิดคาร์บอนชั้นสูงกว่าในเขตปริมณฑล ส่วนในกรณีโครงสร้างอาคารชั้นส่วนสำเร็จนั้นมีแนวโน้มว่าอัตราการพัฒนาระยะคาร์บอนชั้นช้ากว่าโครงสร้างอาคารหล่อในที่เมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมเหมือนกัน

ABSTRACT : This study is an investigation on the carbonation of residential RC buildings in Bangkok Metropolitan area. Compressive strength, cover thickness, thickness of plastering mortar and carbonation depth of RC buildings in nine residential communities were measured. The results indicated that the compressive strength and cover thickness of most of the structures were larger than the design specification. For carbonation depth, it was found that the rate of carbonation was higher in the buildings located near expressway while the buildings in Bangkok showed, on average, higher rate of carbonation than those in the suburb area. It was also found that the rate of carbonation of precast concrete buildings had greater carbonation resistance than those constructed with cast-in-place method in the similar environment.

KEYWORDS : Carbonation depth, Schmidt Hammer, Cover, Carbonation Coefficient, Plastering

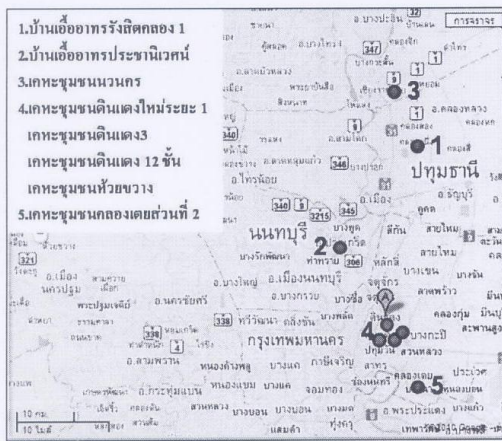
1. บทนำ

คอนกรีตเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการก่อสร้าง แต่คอนกรีตก็อาจเสื่อมสภาพเนื่องจากปัญหาความคงทนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในเขตที่มีการจราจรหนาแน่น จะสัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในปริมาณที่สูง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังกล่าวจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)₂ ในซีเมนต์เพสต์ ทำให้เกิดแคลเซียมคาร์บอเนตดังสมการ



ปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่าปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันซึ่งทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตลดลงและส่งผลให้เหล็กเสริมเกิดสนิมได้

จากผลการวิจัยในอดีตพบว่าอัตราการเกิดคาร์บอนเนชันในคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้น โดยที่บริเวณความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 50-75 ทำให้อัตราการเกิดคาร์บอนเนชันสูง ชนิดของวัสดุประสาน เช่น กรณีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยทำให้เกิดคาร์บอนเนชันได้เร็วขึ้น และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์โดยคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ในอัตราที่สูงเกิดคาร์บอนเนชันได้เร็วขึ้น [1,2,3]



รูปที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งของโครงการก่อสร้างในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้

อย่างไรก็ตามในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กยังไม่มีการคำนึงถึงผลกระทบในด้านตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร ลักษณะโครงสร้างที่ทำการก่อสร้าง และผลของปูนฉาบในกรณีที่เป็นโครงสร้างแบบหล่อในที่ ที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนเนชัน รวมถึงข้อมูลส่วนใหญ่มาจากการทดสอบแบบเร่งซึ่งเป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ยังไม่มีฐานข้อมูลของโครงสร้างจริง ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงเป็นการศึกษาถึงผลกระทบดังกล่าวที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนเนชันของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ตลอดจนอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของแต่ละโครงการ

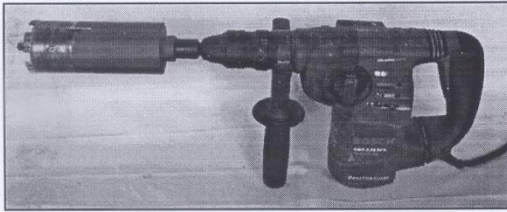
2. ระเบียบวิธีการศึกษา

2.1 การคัดเลือกโครงการตัวอย่าง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ทำการเจาะเก็บตัวอย่างจากโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่สัมผัสกับสภาวะแวดล้อมที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่สูง โดยอายุของโครงสร้างมีตั้งแต่อายุสั้นไปจนถึงอายุมาก (4-33ปี) มีโครงการ 2 แบบ คือ แบบชิ้นส่วนสำเร็จ และแบบหล่อในที่ รวมทั้งหมด 9 โครงการ คือ โครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 บ้านเอื้ออาทรพระธานีเวนท์ เคหะชุมชนนวนคร เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะ 1 เคหะชุมชนดินแดง 3 เคหะชุมชนดินแดง (12ชั้น) เคหะชุมชนห้วยขวาง เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2 และเคหะชุมชนพิทยา 2 โดย รูปที่ 1 แสดงแผนที่พร้อมทั้งตำแหน่งที่ตั้งของโครงการตัวอย่างในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในงานวิจัยนี้

2.2 วิธีการเก็บตัวอย่างและทดสอบ

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการทดสอบระยะคาร์บอนเนชันของโครงสร้างอาคารที่พิกัดศึกษาในการควบคุมของการเคหะแห่งชาติในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตด้วยสว่านหัวเจาะแบบ HOLESAW ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร (รูปที่ 2) และทำการผ่าซีกชิ้นตัวอย่าง ถัดด้วยสารละลายฟีนอล์ฟธาไลน์ เพื่อวัดระยะคาร์บอนเนชัน



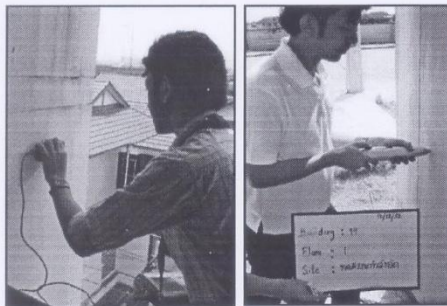
รูปที่ 2 สว่าน BOSCH หัวเจาะ HOLESAW

2.2.1 การหาตำแหน่งเหล็กและวัดระยะหุ้มเหล็ก

ทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดระยะหุ้มเหล็กในตำแหน่งที่ใกล้กับตำแหน่งที่เจาะเก็บตัวอย่าง (รูปที่ 3ก) โดย 1 ตำแหน่งจะวัดค่าระยะหุ้มเหล็ก 4 ค่า เก็บข้อมูล 54 ตำแหน่งต่อ 1 โครงการ รวมวัดค่าระยะหุ้มเหล็กทั้งหมด 216 ค่า

2.2.2 การวัดกำลังอัด

โดยวัดค่าสะท้อนกลับของคอนกรีตด้วยค้อนกระทบ (Schmidt Hammer) ในตำแหน่งที่ใกล้กับตำแหน่งที่เจาะเก็บตัวอย่าง (รูปที่ 3ข) โดย 1 ตำแหน่งเก็บค่าการสะท้อนกลับของคอนกรีต 36 ค่า โดยจุดที่การวัดค่าการสะท้อนแต่ละครั้งต้องห่างกันประมาณ 25 มิลลิเมตร เก็บข้อมูลทั้งหมด 1944 ค่าต่อ 1 โครงการ



(ก) การวัดระยะหุ้มเหล็ก (ข) การวัดค่าการสะท้อน
รูปที่ 3 การทดสอบแบบไม่ทำลาย

2.3 ตำแหน่งที่ทำการเจาะเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 4-5 เซนติเมตร เก็บจากบริเวณบันไดขึ้นลง ชานพักบันไดที่อยู่ขอบตัวอาคาร โดยในแต่ละโครงการทดสอบทั้งหมด 3 อาคาร (ยกเว้นโครงการเคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น) ทดสอบ 2 อาคาร) และในแต่ละอาคารเจาะเก็บตัวอย่างจากชั้นที่ 1 (ที่ระดับความสูงประมาณ 1-2 เมตรจากระดับพื้นดิน) ชั้นที่ 3 (ที่ระดับความสูงประมาณ 5-7 เมตรจากระดับพื้นดิน) และชั้นที่ 5 (ที่ระดับความสูงประมาณ 11-13 เมตรจากระดับพื้นดิน) จำนวนชั้นละ 6 ตำแหน่ง รวมทั้งหมด 54 ตัวอย่างต่อโครงการ สำหรับโครงการที่มีความสูงเกิน 5 ชั้น คือเคหะชุมชนดินแดง 3 เจาะเก็บตัวอย่างชั้นที่ 8 เพิ่มเติม (ที่ระดับความสูงประมาณ 17-19 เมตรจากระดับพื้นดิน) รวมทั้งหมด 72 ตัวอย่างต่อโครงการ เคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น) เจาะเก็บตัวอย่างชั้นที่ 12 เพิ่มเติม (ที่ระดับความสูงประมาณ 30-32 เมตรจากระดับพื้นดิน) รวมทั้งหมด 48 ตัวอย่างต่อโครงการ และเคหะชุมชนพญา 2 เจาะเก็บตัวอย่างชั้นที่ 9 (ที่ระดับความสูงประมาณ 25-27 เมตรจากระดับพื้นดิน) และชั้นที่ 19 (ที่ระดับความสูงประมาณ 55-57 เมตรจากระดับพื้นดิน) เพิ่มเติม รวมทั้งหมด 78 ตัวอย่างต่อโครงการ

2.4 การทดสอบระยะคาร์บอนเนชั่น

ตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการเจาะจากตำแหน่งที่กล่าวมา นำมาผ่าซีกเพื่อทดสอบระยะคาร์บอนเนชั่น (รูปที่ 4ก) จากปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตลดลง (โดยทั่วไปค่า pH ของคอนกรีตประมาณ 13) ในการทดสอบนี้ได้ทำการแยกส่วนที่เกิดคาร์บอนเนชั่นออกจากส่วนที่ยังไม่เกิดคาร์บอนเนชั่น โดยฉีกพื้นด้วยสารละลายฟีนอล์ฟธาไลนไปยังคอนกรีตที่ผ่าซีกแล้ว (รูปที่ 4ข) ซึ่งสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูเข้มหาก pH ของคอนกรีตมีค่ามากกว่า 9 จากนั้นวัดค่าระยะคาร์บอนเนชั่น จากระยะคอนกรีตที่ยังคงสีเดิมอยู่ไปจนถึงจุดตัดของสีชมพู (รูปที่ 5ก) สำหรับโครงการที่เป็นโครงสร้างแบบหล่อในที่ สามารถวัดค่าระยะปูนฉาบได้จากตัวอย่างที่เจาะ (รูปที่ 5ข)

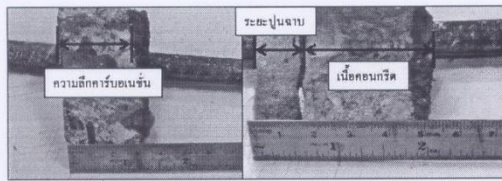


(ก) การนำซีกก้อนตัวอย่างคอนกรีต



(ข) นำก้อนตัวอย่างที่ผ่าซีกแล้วด้วยสารละลายฟีนอล์ฟธาไลน์

รูปที่ 4 การทดสอบวักระยะคาร์บอนชั้น



(ก) กรณีชิ้นส่วนสำเร็จ (ข) กรณีหล่อในที่มีระยะปูนฉาบ

รูปที่ 5 การวักระยะคาร์บอนชั้นและปูนฉาบ

3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์

จากผลการทดสอบโครงสร้างแบบชิ้นส่วนสำเร็จและแบบหล่อในที่ พบว่าระยะหุ้มเหล็กทั้ง 9 โครงการที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 35-57 มม. ดังแสดงในตารางที่ 1 โดย

ตารางที่ 1 ผลระยะหุ้มเหล็ก, กำลังอัดจาก Schimide Hammer และความหนาของปูนฉาบ

โครงการที่เข้าตรวจสอบ	ระบบก่อสร้าง	อายุ (เดือน)	ระยะหุ้มเหล็ก		Schimide Hammer		ความหนาปูนฉาบ	
			ระยะเฉลี่ย (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม. ²)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะเฉลี่ย (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1	ชิ้นส่วนสำเร็จรูป	45	35.85	9.35	431.32	46.97	ไม่มี	-
บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์	ชิ้นส่วนสำเร็จรูป	62	41.86	11.51	433.67	54.59	ไม่มี	-
เคหะชุมชนนวนคร	หล่อในที่	317	51.48	8.12	349.48	80.11	14.72	5.58
เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะ 1	หล่อในที่	396	46.79	12.57	218.13	88.05	12.94	4.78
เคหะชุมชนดินแดง 3	หล่อในที่	372	48.07	11.77	283.33	86.48	8.18	6.25
เคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น)	หล่อในที่	396	45.95	8.31	378.95	45.20	0 [*]	0
เคหะชุมชนห้วยขวาง	หล่อในที่	396	47.30	13.25	363.15	60.11	0 [*]	0
เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2	หล่อในที่	183	56.36	12.55	304.12	50.09	13.43	4.88
เคหะชุมชนพิทยา 2	หล่อในที่	200	55.57	11.94	355.11	71.68	10.84	6.15

*จุดที่ทำการทดสอบอาคารเคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น) และเคหะชุมชนห้วยขวางเป็นคิวคอนกรีตเปลือย ระยะปูนฉาบจึงมีค่าเท่ากับศูนย์

ระยะหุ้มเหล็กมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ออกแบบมาตรฐานที่การเคหะแห่งชาติกำหนดไว้คือ 25 มม. [4]

ส่วนผลการทดสอบกำลังอัดด้วยวิธีการวัดแรงสะท้อนกลับของผิวคอนกรีตจากอุปกรณ์ Schmidt Hammer ทั้งหมด 9 โครงการนั้น สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่ากำลังอัดของคอนกรีตโดยอาศัยข้อมูลความสัมพันธ์ของสมการที่ (1) [5]

$$f'_c = -176.4 + (12.446 \times RN) \quad (1)$$

โดยที่ f'_c คือค่าประมาณการกำลังอัดของ คอนกรีต

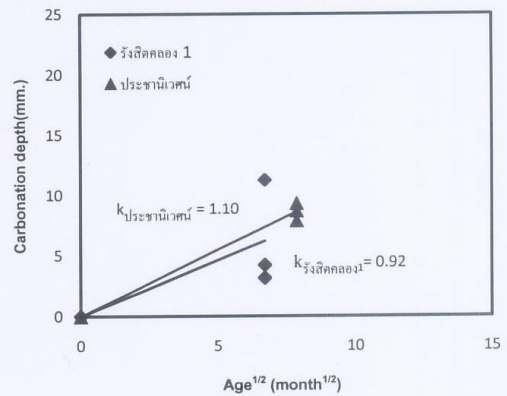
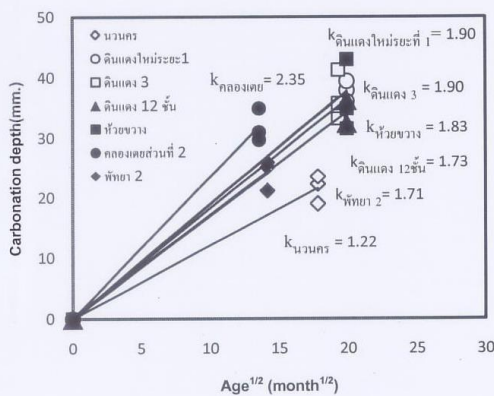
(กก./ซม.²)

RN คือค่าการสะท้อนของ Schmidt Hammer โดยผลของกำลังอัดเฉลี่ยทั้ง 9 โครงการอยู่ระหว่าง 218-434 กก./ซม.² ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่ากำลังอัดเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ออกแบบมาตรฐานที่การเคหะแห่งชาติกำหนดไว้คือ 200 กก./ซม.² [4]

สำหรับระยะความหนาปูนฉาบที่ได้ทดสอบ (ตารางที่ 1) พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8-15 มม. โดยที่โครงการเคหะชุมชนดินแดง 3 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์ออกแบบมาตรฐานที่การเคหะแห่งชาติกำหนดไว้คือ 10 มม. [4] สำหรับโครงการอื่นๆ มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ออกแบบที่การเคหะแห่งชาติกำหนดไว้

ตารางที่ 2 ผลระยะคาร์บอนชั้นเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์คาร์บอนชั้น

โครงการที่เข้าตรวจสอบ	อายุ(เดือน)	ระยะคาร์บอนชั้น		สัมประสิทธิ์คาร์บอนชั้น	
		ระยะเฉลี่ย (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	k(มม./เดือน ^{1/2})	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1	45	6.18	4.88	0.92	0.73
บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์	62	8.63	5.16	1.10	0.66
เคหะชุมชนนวนคร	317	21.72	9.39	1.22	0.57
เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะ 1	396	37.80	8.87	1.90	0.45
เคหะชุมชนดินแดง 3	372	36.70	8.22	1.90	0.43
เคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น)	396	34.38	13.02	1.73	0.65
เคหะชุมชนห้วยขวาง	396	36.48	10.86	1.83	0.55
เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2	183	32.50	8.05	2.35	0.64
เคหะชุมชนพิทยา 2	200	24.18	6.97	1.71	0.49



(ก) อาคารที่ก่อสร้างกรณีหล่อในที่
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะคาร์บอนชั้นและอายุของโครงสร้าง

(ข) อาคารที่ก่อสร้างกรณีขึ้นส่วนสำเร็จ

ตารางที่ 2 แสดงผลระยะคาร์บอนชั้นเฉลี่ยของอาคารในโครงการตัวอย่างทั้ง 9 โครงการ ส่วนรูปที่ 6 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะคาร์บอนชั้นและรากที่สองของอายุของโครงสร้างของโครงการดังกล่าว

จากการทดสอบพบว่าระยะคาร์บอนชั้นเฉลี่ยของโครงการที่ได้ศึกษาในครั้งนี้ มีค่าอยู่ระหว่าง 6-38 มม. โดยโครงการที่มีสถานที่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครมีแนวโน้มของระยะคาร์บอนชั้นที่มากกว่าโครงการที่ตั้งอยู่ในเขตปริมณฑล ทั้งนี้เนื่องจาก

- 1) สภาพอายุการใช้งานที่แตกต่างกัน คือ โครงสร้างอาคารในเขตกรุงเทพมหานครมีการก่อสร้างก่อนโครงสร้างอาคารในเขตปริมณฑล
- 2) สภาพแวดล้อมที่ต่างกันคือในเขตกรุงเทพมหานครมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าในเขตปริมณฑล
- 3) คุณภาพของคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างของแต่ละพื้นที่ก็มีส่วนที่ต่างกัน

อย่างไรก็ตามจากอายุของโครงสร้างและระยะคาร์บอนชั้น สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนชั้นได้จากสมการที่ (2) [2]

$$d = k\sqrt{t} \quad (2)$$

โดยที่ d คือค่าระยะคาร์บอนเนชั่น (มม.)

t คือเวลาในโครงการนี้ประมาณอายุของโครงสร้าง(เดือน)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชั่น (มม/ เดือน^{1/2})

จากผลการทดสอบ โครงสร้างสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชั่น (k) ได้ค่าดังตารางที่ 2 และพร้อมได้แสดงความสัมพันธ์ระยะคาร์บอนเนชั่นและอายุของโครงสร้างดังรูปที่ 6 ซึ่งพบว่าอาคารที่อยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร เช่น เคหะชุมชนดินแดงมีค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชั่นสูงกว่าอาคารที่อยู่ในเขตปริมณฑลเช่น เคหะชุมชนนวนคร เป็นต้น

รูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชั่นของอาคารชั้นสำเร็จตำแหน่งที่ตั้งของอาคารที่ใกล้กับทางด่วน คือบ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์มีค่ามากกว่าบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 และจากรูปที่ 6ก และ 6ข พบว่าบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 และเคหะชุมชนนวนครซึ่งมีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในสิ่งแวดล้อมเดียวกันได้ค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนเนชั่นบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 ซึ่งเป็นกรณีโครงสร้างชั้นสำเร็จ น้อยกว่าเคหะชุมชนนวนคร ซึ่งเป็นกรณีโครงสร้างหล่อในที่

4. สรุป

จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการประเมินกำลังอัดและระยะหุ้มเหล็กของโครงสร้างอาคาร (9 โครงการที่ศึกษา) มีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ในการออกแบบ
2. อัตราการพัฒนาระยะคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างอาคารที่มีตำแหน่งที่ตั้งติดกับทางด่วนมีแนวโน้มสูงกว่าของโครงสร้างอาคารที่ตำแหน่งที่ตั้งไม่ติดกับทางด่วน ในขณะที่ โครงสร้างอาคารที่ตำแหน่งที่ตั้งในเขตกรุงเทพมหานครมีอัตราการเกิดระยะคาร์บอนเนชั่นแนวโน้มสูงกว่าในเขตปริมณฑล

3. ในสิ่งแวดล้อมที่เหมือนกัน พบว่าอัตราการพัฒนาระยะคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างอาคารชั้นสำเร็จมีแนวโน้มต่ำกว่าของโครงสร้างอาคารหล่อในที่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการเคหะแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนทุนในงานวิจัยนี้ ตลอดจนผู้ร่วมงานจากการเคหะแห่งชาติคือ คุณนพวิชัย กอแก้ว คุณอศวิณ เจริญเรืองเดช และคุณวิวัฒน์ เขาวรรณเรศ

เอกสารอ้างอิง

- [1] S.K.Roy, K.B.Poh and D.O. Northwood, 1998. Durability of concrete accelerated carbonation and weathering studies. *Building and Environment*, Vol.34: 597-606.
- [2] J.Khunthongkeaw, S.Tangtermsirikul, and T.Leelawat, 2006. A study on carbonation depth prediction for fly ash concrete. *Construction and Building Materials*, Vol.20: 744-753.
- [3] N.I Fattuhi, Carbonation of concrete as affected by mix constituents and initial water curing period. *Materiaux et Constructions*, Vol.19: 131-136.
- [4] คณะทำงานทบทวนรายการประกอบแบบก่อสร้าง, 2540.รายการมาตรฐานทั่วไป รายการที่ (มจ.) 01/2540. การเคหะแห่งชาติ.
- [5] สมนึก ตั้งเดิมสิริกุล และคณะ, 2551. *โครงการศึกษาวิจัยการสึกกร่อนของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดจากน้ำทะเล*. ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC) สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร (SIIT) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายบัญญัติ วรินทร์ไหล
วัน เดือน ปีเกิด	22 กรกฎาคม 2528
ที่อยู่	47 หมู่ 2 ตำบลห้วยม่วง อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73180
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม สำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลธัญบุรี เมื่อ พ.ศ.2550
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ.2551	ตำแหน่งวิศวกรสนาม (โยธา-สำรวจ) บริษัท Westcon จำกัด
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	
	บัญญัติ วรินทร์ไหล และคณะ, 2553. การสำรวจอัตราการเกิดคาร์บอนชั้นของอาคารที่พัก อาศัยในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล, เอกสารประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติครั้งที่ 6, ชะอำ เพชรบุรี, บทความเลขที่ MAT 64.

