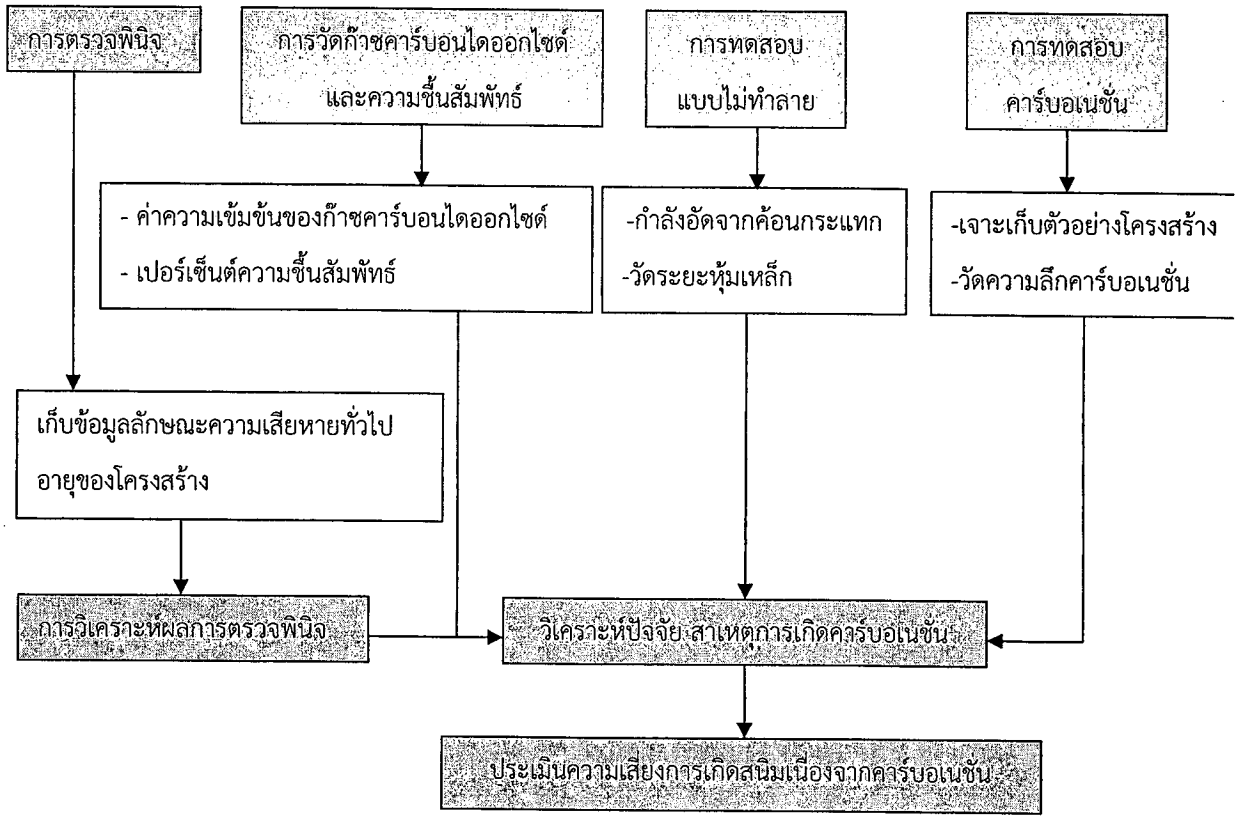
บทที่ 3
วิธีการศึกษา

ในการศึกษาประเมินความเสียหายและการเสื่อมสภาพของอาคารเรียนคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากคาร์บอเนชั่น : กรณีศึกษาอาคารโรงเรียนในเขตชุมชนครั้งนี้ ในขั้นตอนแรกเป็นการพิจารณาเลือกสถานที่ตั้งและตำแหน่งของอาคารเรียนในการเก็บตัวอย่าง หลังจากนั้นเป็นการตรวจพินิจด้วยตาเปล่า ร่วมกับการใช้อุปกรณ์ตรวจสอบพื้นฐาน เช่น ไม้บรรทัด มาตรวัดความกว้างของรอยร้าว พร้อมกับการทดสอบแบบไม่ทำลายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ช่วยในการทดสอบและเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อนำมาทดสอบทางเคมีในห้องปฏิบัติการเพื่อหาระยะความลึกคาร์บอเนชั่น โดยวิธีดำเนินการของการตรวจสอบแต่ละประเภทสามารถจำแนกได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนวิธีดำเนินการของการตรวจสอบโครงสร้างอาคาร

3.1 การศึกษาสถานที่ตั้งและตำแหน่งในการเก็บตัวอย่าง

สถานที่ตั้งของอาคาร โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในสิ่งแวดล้อมที่สัมผัสกับสภาวะแวดล้อมที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในปริมาณที่มีความเข้มระดับสูงนั้น สำหรับโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในการศึกษาครั้งนี้อยู่ในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ กรณีศึกษาตัวอย่างคอนกรีตจากโครงสร้าง

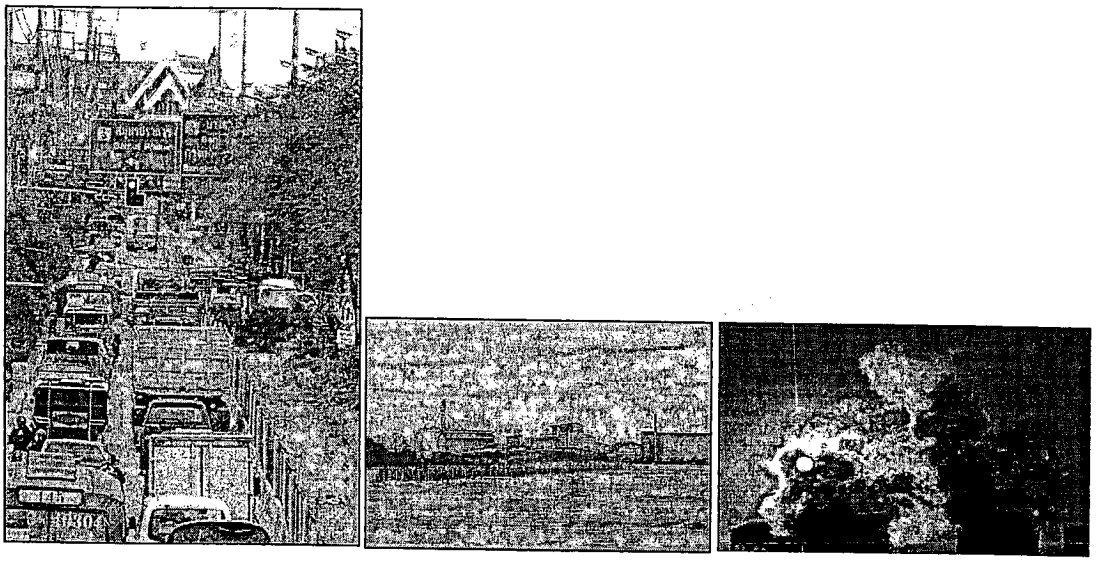
ของอาคารเรียน ส่วนตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างคอนกรีตของอาคารเรียนนั้น จะใช้ชิ้นส่วนของคานหรือเสาของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเลือกเก็บตัวอย่างเฉพาะอาคารเรียนที่ใกล้กับแหล่งชุมชน ถนน ที่มีการจราจรหนาแน่น และเป็นแหล่งชุมชนโดยทำการบันทึกเก็บข้อมูลทั่วไป ของโครงสร้างไปพร้อมกัน เช่น อายุของโครงสร้าง ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ กำลังอัดของโครงสร้าง ความสูงของตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง ระยะทางจากถนนถึงตัวอาคาร และระยะทางจากแม่น้ำถึงตัวอาคาร เป็นต้น

โครงสร้างอาคารเรียนในจังหวัดสมุทรปราการ ที่ใช้สำหรับศึกษาอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นในงานวิจัยครั้งนี้ ทั้งหมด 9 โครงสร้าง รายละเอียดโครงการที่เข้าตรวจสอบดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ชื่อโครงสร้างอาคารเรียนที่ศึกษาอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่น

โครงสร้าง อาคารเรียน	อายุ (ปี)
A1 โรงเรียนสมุทรปราการ	44
A2 โรงเรียนวัดด่านสำโรง	30
A3 โรงเรียนวัดทรงธรรม	29
A4 โรงเรียนอนุบาลวัดพิชัยสงคราม	20
A5 โรงเรียนเอี่ยมสุรีย์	16
A6 โรงเรียนนาคดีอนุสรณ์	14
A7 โรงเรียนบ้านคลองหลวง	10
A8 โรงเรียนวัดแพรกษา	5
A9 โรงเรียนมัธยมวัดศรีจันทร์ประดิษฐ์	5

จากโครงสร้างอาคารเรียนและสะพานลอยเดินข้ามดังกล่าวที่ถูกเลือกมานั้น อายุของโครงสร้าง มีตั้งแต่อายุ 4 ปี จนถึง 44 ปี และจากรูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นสภาพแวดล้อม ที่มีการจราจรหนาแน่น และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานซึ่งโครงสร้างที่ศึกษาทั้งหมดตั้งอยู่ในตำแหน่งสภาพแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดคาร์บอเนชั่นในอัตราที่สูง นอกจากสภาพปัญหาดังกล่าวแล้ว จังหวัดสมุทรปราการยังมีประชากรหนาแน่นเป็นอันดับ 1 ใน 3 ของประเทศไทย



รูปที่ 3.2 สภาพแวดล้อมของจังหวัดสมุทรปราการ

3.2 การตรวจพินิจความเสียหายของโครงสร้าง

การตรวจพินิจ (Visual inspection) หมายถึง การตรวจสอบด้วยตาเปล่า ร่วมกับการใช้อุปกรณ์ตรวจสอบพื้นฐาน เช่น ไม้บรรทัด มาตรวัดความกว้างของรอยร้าว แว่นขยาย หรือกล้องถ่ายรูป โดยไม่มีการใช้อุปกรณ์วัดอิเล็กโทรนิคส์เข้ามาเกี่ยวข้องกับการวัดความเสียหาย

การตรวจสอบสภาพทางกายภาพ (Visual inspection) หมายถึง การตรวจสอบด้วยตาเปล่าประกอบกับอุปกรณ์การตรวจสอบพื้นฐาน เช่นไม้บรรทัด มาตรวัดความกว้างของรอยร้าว แว่นขยาย หรือกล้องถ่ายรูป โดยไม่มีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ามาเกี่ยวข้อง เป็นการสำรวจทางกายภาพด้วยสายตา เพื่อตรวจสอบสภาพการชำรุดและการประเมินโครงสร้าง การสำรวจทางกายภาพด้วยสายตานี้ถือเป็นขั้นตอนแรกและเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากในการตรวจสอบโครงสร้าง เนื่องจากความเสียหายของโครงสร้างส่วนใหญ่ที่สามารถมองเห็นได้ ดังนั้นการสำรวจทางกายภาพด้วยสายตา จึงสามารถบอกได้ถึงข้อมูลสำคัญต่างๆ เช่น คุณภาพของการก่อสร้าง สภาพการใช้งาน การเสื่อมสภาพของวัสดุรูปแบบของการแตกร้าว รวมถึงการชำรุดของชิ้นส่วนโครงสร้างเป็นต้น และบอกได้ถึงระดับความรุนแรงของความเสียหาย นอกจากนี้ยังช่วยในการตั้งสมมุติฐานสาเหตุของความเสียหายได้

การตรวจสอบโครงสร้างเบื้องต้นเพื่อวิเคราะห์สภาพและความเสียหายของอาคารเรียนในจังหวัดสมุทรปราการ โดยขั้นตอนระเบียบวิจัยในการศึกษาครั้งนี้มีรายละเอียดดังนี้

1) รวบรวมข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการตรวจสอบหน้างาน เช่น แบบโครงสร้างอาคาร แบบสถาปัตยกรรมตัวอาคารข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง และข้อมูลการซ่อมแซมบำรุงรักษาของตัวอาคาร เป็นต้น

2) การเดินสำรวจสภาพอาคาร โครงสร้างอาคาร โดยการจดบันทึกตำแหน่งและลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวอาคาร พร้อมกับถ่ายรูปเพื่อนำมาวิเคราะห์ความเสียหาย

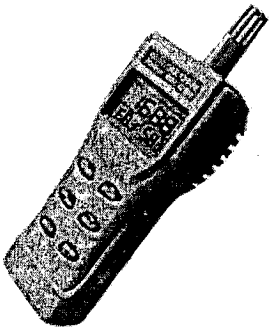
3) นำข้อมูลที่บันทึกได้ มาจำแนกและวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวอาคาร และโครงสร้างอาคารที่ตรวจสอบ

3.3 การวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความชื้นสัมพัทธ์

ทำการตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (รูปที่ 3.3) บริเวณอาคารโครงสร้างที่ทำการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีต ในการตรวจวัดครั้งนี้ใช้เครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ High accuracy รุ่น 77535 โดยวัดค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ทั้งหมด 3 วัน โดยในแต่ละวันจะวัดค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ 3 ช่วงเวลาคือ ช่วงเช้า (เวลาประมาณ 8:00-9:00 น.) ช่วงกลางวัน (เวลาประมาณ 12:00-13:00 น.) และช่วงเย็น (เวลาประมาณ 16:00 -17:00 น.) ในแต่ละโครงสร้าง ที่ทำการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตทดสอบ จะเก็บค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ โครงสร้างละ 36 ค่า

รูปที่ 3.3 การวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความชื้นสัมพัทธ์

เครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิที่ใช้ในการตรวจสอบ ด้วย RH meter (รูปที่ 3.4) โดยการใช้สัญญาณตัวเซ็นเซอร์บริเวณส่วนหัวของเครื่องในการตรวจรับค่าที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (รุ่น77535)

คุณสมบัติของตัวเครื่อง

- วัดค่า CO_2 ในช่วง Range: 0 ถึง 9,999 ppm
- วัดค่าอุณหภูมิในช่วง -10 ถึง 60 องศาเซลเซียส
- วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 0.1% ถึง 99.9%RH
- สามารถคำนวณค่า Dew point และ Wet bulb ได้
- สามารถตั้งเตือนได้
- สามารถต่อกับ Computer โดยผ่านช่อง RS-232
- หน้าจอเป็น LCD สามารถแสดงค่าได้ 3 ค่า
- เซ็นเซอร์เป็นแบบ NDIR (non-dispersive infrared)
- หาค่าเฉลี่ยได้ทุก 15 นาที และ เฉลี่ยทุก 8 ชั่วโมง

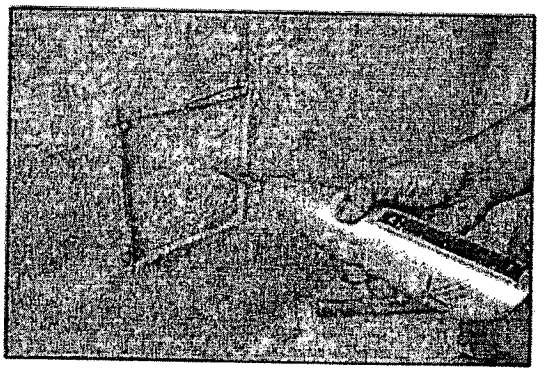
ขั้นตอนการทดสอบ

เมื่อต้องการทำการวัดค่าที่บริเวณใดให้ทำการเปิดเครื่องที่บริเวณนั้น เครื่องจะทำการบู๊ทเป็นเวลา 30 วินาที หลังจากนั้นก็จะแสดงค่าที่หน้าปัดของตัวเครื่อง ซึ่งมีทั้งหมด 3 ค่าคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ โดยเครื่องจะบอกค่าเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทุก 15 นาที ให้ทำการบันทึกค่าในตาราง

3.4 การทดสอบแบบไม่ทำลาย

3.4.1 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก

ในการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตครั้งนี้ ใช้ค้อนกระแทกแบบชมิดท์ (Schmidt hammer) ทำการทดสอบวัดค่าการสะท้อนกลับของคอนกรีต (รูปที่ 3.5) เก็บค่าการสะท้อนกลับของคอนกรีต 16 ค่าต่อ 1 ตำแหน่งการทดสอบ โดยจุดที่มีการวัดค่าการสะท้อนแต่ละครั้งต้องห่างกันประมาณ 25 มิลลิเมตร โดยแต่ละชั้นของอาคารเรียนจะเก็บข้อมูลชั้นละ 6 ตำแหน่งที่ใกล้กับตำแหน่งทดสอบ



รูปที่ 3.5 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก

การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive tests) เป็นการทดสอบเพื่อตรวจวัดคุณสมบัติของคอนกรีตหรือเพื่อตรวจสภาพของโครงสร้างคอนกรีต โดยที่ไม่ทำให้คอนกรีตได้รับความเสียหายหรือ

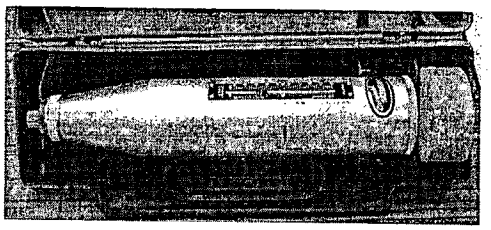
เกิดความเสียหายน้อยที่สุด การทดสอบแบบไม่ทำลายที่ดีจะใช้เครื่องมือทางเทคนิคและการควบคุมรายละเอียดของการทดสอบให้เป็นไปตามกำหนด โดยการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (Compressive strength test) โดยวิธี Rebound hammer (รูปที่ 3.6) เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย สามารถทำการทดสอบแบบในที่โดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับของ Steel hammer

หลักการทดสอบ

การทดสอบวิธีนี้สามารถนำไปใช้ในกรณีต่างๆ ได้ดังนี้

- ประเมินหาค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต ณ สภาพปัจจุบัน
- นำค่าที่ได้ไปตรวจสอบหาความสามารถในการรับน้ำหนักขององค์อาคารคอนกรีตที่เหลืออยู่

การทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตโดยใช้เครื่องมือ Schmidt hammer อาศัยแรงต้านทานที่เกิดขึ้นจากการดันของ Steel hammer ซึ่งมีหน้าตัดที่แน่นอนกดลงบนผิวหน้าคอนกรีตที่ต้องการตรวจสอบแล้วเกิดการสะท้อนกลับ ทำให้ได้ค่าระยะที่ดันลูกตุ้มให้สะท้อนกลับคือค่า Rebound number ซึ่งค่า Rebound number นี้จะถูกนำไปแปลงผลเป็นกำลังอัดประลัยของคอนกรีตโดยใช้ดัชนีมาตรฐานในการแปลงผลการทดสอบหาค่ากำลังอัดสูงสุดด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด Schmidt hammer เป็นไปตาม ASTM C805 “Rebound Number of Hardened Concrete”



รูปที่ 3.6 เครื่องมือรีบาวด์แฮมเมอร์ (Schmidt rebound hammer)

ขั้นตอนการทดสอบ

ให้ตรวจสอบสภาพผิวตัวอย่างทดสอบ ขัดผิวที่ต้องการทดสอบให้เรียบ ถ้าผิวโค้งนูน หรือ ผิวเว้าจะมีผลต่อการ Rebound ของ Rebound Hammer เนื่องจากผิวที่โค้งนูนจะทำให้ค่าที่อ่านได้ต่ำกว่าค่าความเป็นจริง ส่วนผิวที่เว้าจะทำให้ค่าที่อ่านได้สูงกว่าค่าความเป็นจริง ให้ทำการวัดค่าการทดสอบบริเวณตำแหน่งที่ต้องการทราบค่ากำลังอัดให้มีตำแหน่งการกดอย่างน้อย 10 จุด โดยจุดที่วัดค่าการสะท้อนแต่ละครั้งห่างกันอย่างน้อย 2.5 เซนติเมตร แต่ละตำแหน่ง สามารถทำการกด Rebound Number ได้ 3 ทิศทาง ได้แก่ กดในแนวนอน แนวตั้งแบบยิงขึ้น หรือแนวตั้งแบบยิงลง เนื่องจากแต่ละทิศทางจะใช้กราฟในการปรับค่า Rebound number เป็นค่า Strength of Concrete ที่แตกต่างกัน

ในส่วนของค่าการสะท้อนของ Schmidt Hammer สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่ากำลังอัดของคอนกรีตโดยอ้างอิงการประมาณค่าตามความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (3.1) (JSCE G-504) หรือ สมการที่ (3.2) [9]

$$f_c' = -18 + (1.27 \times RN) \quad (3.1)$$

โดยที่ f_c' คือ ค่าประมาณการกำลังอัดของคอนกรีต (N/mm^2)

RN คือ ค่าการสะท้อนของ Schmidt hammer

$$f_c' = -176.4 + (12.446 \times RN) \quad (3.2)$$

โดยที่ f_c' คือ ค่าประมาณการกำลังอัดของคอนกรีต (กก./ซม.^{2})

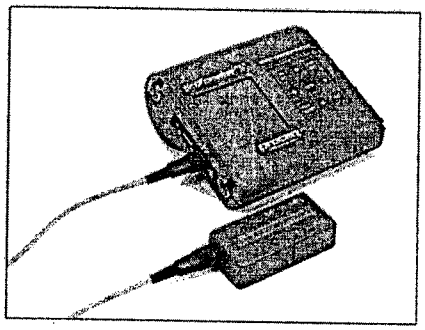
RN คือ ค่าการสะท้อนของ Schmidt hammer

3.4.2 การหาตำแหน่งเหล็กและวัดระยะหุ้มเหล็ก

ในการวิจัยนี้มีการทดสอบวัดระยะหุ้มเหล็กด้วยเครื่องวัดระยะหุ้มเหล็ก (รูปที่ 3.7) ในตำแหน่งที่ใกล้กับตำแหน่งที่เจาะเก็บตัวอย่าง โดยใช้เครื่องมือ Profometer ในการตรวจสอบจะวัดค่าระยะหุ้มเหล็ก โดยแต่ละชั้นของอาคารเรียนจะเก็บข้อมูลชั้นละ 6 ตำแหน่ง ต่อ 1 โครงสร้าง

รูปที่ 3.7 การหาตำแหน่งเหล็กและวัดระยะหุ้มเหล็ก

การตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริม (Reinforcing rebar location determination) โดยเครื่องวัดระยะหุ้มเหล็ก (รูปที่ 3.8) เป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลายซึ่งจะใช้บอกตำแหน่งวัตถุที่สามารถเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ เช่นเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รวมถึงระยะหุ้มเหล็กเสริมของคอนกรีต



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดระยะหุ้มเหล็ก

หลักการทดสอบ

เครื่องมือตรวจวัดเหล็กเสริมถูกพัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเครื่องมือจะสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นรอบเหล็กเสริมโดยขึ้งเหนี่ยวนำเป็นช่วง ๆ ให้เกิดการไหลเวียนของกระแสไฟฟ้าขึ้นในเหล็กเสริม ที่จุดสิ้นสุดแต่ละช่วงของกระแสไฟฟ้าจะเกิดสนามแม่เหล็กที่อ่อนแรงลงเช่นเดียวกับเกิดการสะท้อนของแหล่งกำเนิดคลื่น กำลังของสนามแม่เหล็กลดน้อยลงนี้จะถูกตรวจวัดโดยหัวทดสอบโดยที่สัญญาณจากหัวทดสอบจะถูกแปลงความหมายต่อไป

ขั้นตอนการทดสอบ

ให้ใช้เครื่องวัดระยะหุ้มเหล็กที่ผลิตโดยบริษัทที่มีมาตรฐาน และก่อนนำเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กไปใช้ ให้สอบเทียบเครื่องมือในห้องทดสอบเพื่อยืนยันความแม่นยำของเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโดยความถี่ของการตรวจสอบขึ้นอยู่กับคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องมือและควรบันทึกประวัติการตรวจสอบไว้ด้วย โดยดำเนินการตรวจวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กได้ต่อเมื่อการแสดงผลของเครื่องนิ่งเท่านั้นเมื่ออุปกรณ์อยู่ในสภาพพร้อมทำงานให้นำหัววัดแนบกับผิวคอนกรีต และเคลื่อนที่บนผิวคอนกรีตในทิศทางที่ต้องการวัด ทิศทางการเคลื่อนหัววัดควรตั้งฉากกับแนวการวางตัวของเหล็กเสริมเนื่องจากเหล็กเสริมมีผลต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุดเมื่อวางตัวผ่านแกนของขดลวดในหัววัดโดยเครื่องวัดระยะหุ้มเหล็กจะส่งสัญญาณให้ผู้ดำเนินการวัดทราบเมื่อผ่านตำแหน่งที่มีเหล็กเสริมอยู่

3.5 การทดสอบคาร์บอเนชั่น

3.5.1 การเก็บตัวอย่างคอนกรีตจากองค์อาคารของโครงสร้าง

คาร์บอเนชั่น (Carbonation) เป็นขบวนการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์ในอากาศแทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตแล้วทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในซีเมนต์เพสต์และความชื้นแล้ว มีผลทำให้สภาพความเป็นด่างของเนื้อคอนกรีตลดลง ปกติซีเมนต์เพสต์มีความเป็นด่างสูงโดยมีค่า pH ระหว่าง 12.6 ถึง 13.5 และอาจลดลงเหลือเพียง 8 ถึง 9 ถ้าแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นจนหมด

ขบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่ผิวคอนกรีตก่อนแล้วค่อยๆ แทรกซึมเข้าไปจนถึงตำแหน่งของเหล็กเสริม หลังจากนั้นแผ่นฟิล์มบางที่ได้จากไฮเดรตของซีเมนต์เพสต์ที่เคลือบผิวของเหล็กเสริมจะถูกทำลาย การผุกร่อนของเหล็กเสริมก็จะเริ่มขึ้น

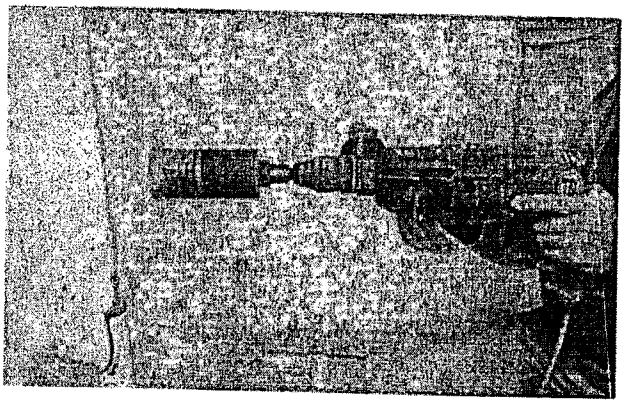
หลักการทดสอบ

การทดสอบคาร์บอเนชั่น สามารถทำได้โดยใช้วิธีของ RILEM โดยการใช้น้ำยาฟินอล์ฟธาลีน (Phenolphthalein) โดยใช้ผงฟินอล์ฟธาลีน 1 กรัม ผสมแอลกอฮอล์ 100 กรัม ในกระบอกฉีด ฉีดลงบนผิวคอนกรีตที่ต้องการวัดความลึกของคาร์บอเนชั่น คอนกรีตที่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์อยู่จะปรากฏเป็นสีม่วง ส่วนคอนกรีตที่เกิดคาร์บอเนชั่นจะไม่มีสี

มาตรฐานการทดสอบ

การตรวจวัดคาร์บอเนชั่นของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นไปตามทฤษฎีของ RILEM [10]

ตัวอย่างที่นำทดสอบความลึกคาร์บอเนชั่น ได้จากการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตด้วยสว่านหัวเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ลึกประมาณ 4-5 เซนติเมตร (รูปที่ 3.8) โดยเก็บจากโครงสร้างเสาและคานของอาคารเรียน บริเวณกันสาดด้านหน้าและด้านหลังอาคารเรียน ชั้นละ 6 ตำแหน่ง ที่ความสูงแต่ละชั้น ชั้น1 (1.00-1.50 เมตร) ชั้น2 (3.50-4.00 เมตร) ชั้น3 (6.50-7.00 เมตร) เป็นต้น

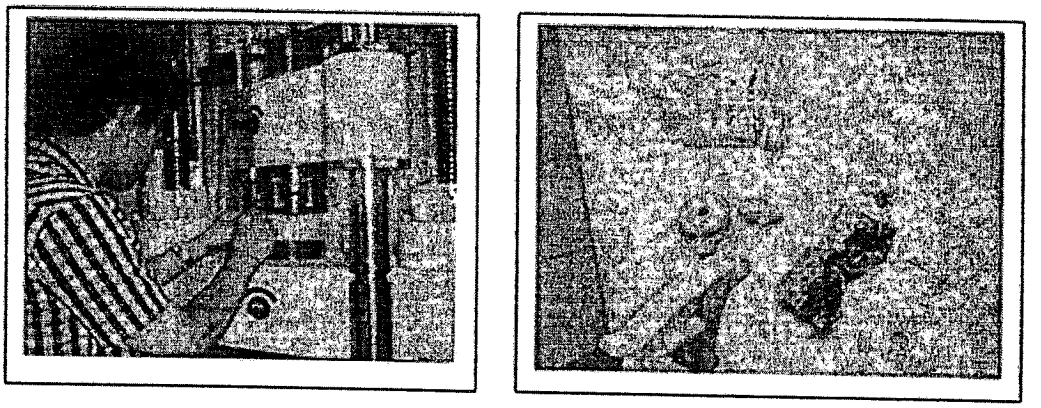


รูปที่ 3.8 การเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีต

3.5.2 การทดสอบหาความลึกคาร์บอเนชั่นของชิ้นส่วนคอนกรีตที่ได้จากการเจาะ

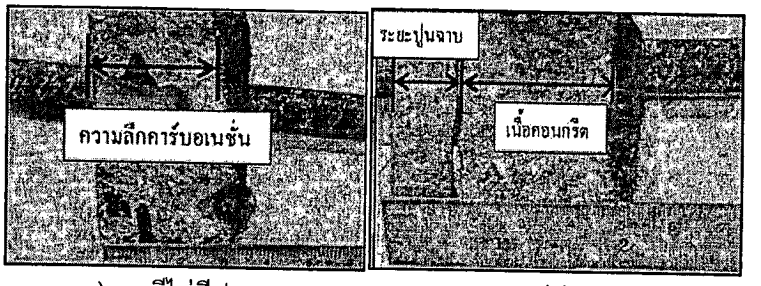
นำก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการเจาะมาผ่าซีกด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) ดังแสดงใน**รูปที่ 3.9 ก)** เพื่อทดสอบหาความลึกคาร์บอเนชั่น จากปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตลดลง (โดยทั่วไปค่า pH ของคอนกรีตประมาณ 13) ในการทดสอบนี้ได้ทำการแยกส่วนที่เกิดคาร์บอเนชั่นออกจากส่วนที่ยังไม่เกิดคาร์บอเนชั่น โดยฉีดพ่นด้วยสารละลายฟีนอล์ฟธาลีนไปยังผิวคอนกรีตที่ผ่าซีกแล้ว ตาม **รูปที่ 3.9 ข)** ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงเข้มหาก pH ของคอนกรีตมีค่าน้อย คือประมาณ 9 ถึง 10

การวัดความลึกคาร์บอเนชั่น ถ้าเป็นโครงสร้างผิวฉาบปูน ให้วัดค่าความลึกคาร์บอเนชั่นจากระยะคอนกรีตที่ยังคงสีเดิมรวมกับระยะปูนฉาบ (รูปที่ 3.10 ก)) สำหรับโครงสร้างที่ไม่ฉาบปูน ให้วัดค่าความลึกคาร์บอเนชั่น จากระยะคอนกรีตที่ยังคงสีเดิมอยู่ไปจนถึงขอบเส้นของสีม่วงเข้ม (รูปที่ 3.10 ข)) อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้นั้น เนื่องจากว่าอาคารเรียนนั้นจะเป็นกรณีการมีปูนฉาบทั้งสิ้น



ก)　　ข)

รูปที่ 3.9 การทดสอบหาความลึกคาร์บอเนชั่น



ก) กรณีไม่มีปูนฉาบ　　ข) กรณีมีปูนฉาบ

รูปที่ 3.10 การวัดความลึกคาร์บอเนชั่น

3.6 การวิเคราะห์ผลการศึกษา

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากความลึกคาร์บอเนชั่นกับอายุของโครงสร้าง

วิเคราะห์ผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายและการเสื่อมสภาพของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก อาคารเรียนเนื่องจากคาร์บอเนชั่น