บทที่ 2

วิธีวิจัย

เริ่มทำการสำรวจและกำหนดจุดสำหรับการขุดเจาะเพื่อเก็บตัวอย่างแล้วทำการเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด โดยคัดเลือกเอาดินบริเวณที่มีสภาพความเสียหายของโครงสร้างอาคารรุนแรง ส่วนตัวอย่างผงคอนกรีตก็ทำการสำรวจและกำหนดจุดสำหรับการขุดเจาะเช่นเดียวกัน เพื่อเก็บตัวอย่างนำส่งห้องทดลองและปฏิบัติการของงานทดสอบดินปุ๋ยและการประยุกต์ ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม เพื่อหาค่าปริมาณธาตุในดินได้แก่ Ca, Na, Cl, HCO_3 $SO2^{-}_4$ และในคอนกรีตได้แก่ Cl แล้วนำค่าต่างๆ ที่ได้จากห้องทดลองไปวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วนการวัดความลึกของคาร์บอเนชั่น ให้กำหนดจุดโดยใช้จุดเดียวกับบริเวณที่เจาะตัวอย่างผงคอนกรีต และกำหนดจุดที่จะวัดค่าการแตกร้าวของคอนกรีตเพื่อประเมินความเสียหายต่อไป

2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดการวิจัย

ความเสียหายของโครงสร้างอาคารในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ตรวจสอบด้วย Visual Inspection มีลักษณะทั่วไปคือ เนื้อคอนกรีตมีความเปื่อยยุ่ย และเกิดการแตกร้าวในแนวเหล็กเสริม อีกทั้งมีรอยสนิมที่เหล็กเสริม ดังที่แสดงมาแล้วในรูปที่ 1-2, 1-3 และ1-3 ตามลำดับ ในสภาพเช่นนี้ โดยทั่วไปการกัดกร่อนอาจเกิดจากสารเคมีที่อยู่ในสภาพของสารละลายที่เป็นของเหลว ซึ่งตรงกับสภาวะสิ่งแวดล้อมบริเวณตอม่ออาคารที่มีความเปียกชื้นสลับแห้งตลอดเวลา สารละลายที่สามารถทำลายคอนกรีตและเหล็กเสริมส่วนใหญ่เป็นเกลือซัลเฟตและเกลือโซเดียมที่มีความเข้มข้นสูงพอที่จะเป็นอันตรายได้ การเร่งการกัดกร่อนมีปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น อุณหภูมิสูง คุณภาพของคอนกรีต การเกิดการกัดกร่อนเหล็กเสริมในคอนกรีต เป็นต้น ดังนั้นเพื่อลดการใช้งบประมาณในการก่อสร้างอาคารใหม่ทดแทนอาคารเดิมที่ชำรุด และลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งการศึกษาความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตมีผลต่อองค์รวมในระดับมหาวิทยาลัยและประเทศ

รูปที่ 2-1 ความเสียหายของโครงสร้างตอม่อโดยทั่วไป บริเวณหอพักนิสิต

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.2.1 พลั่ว สำหรับขุดเจาะเพื่อเก็บตัวอย่างดิน มีด้ามยาวประมาณ 2.00 เมตร
2.2.2 จอบ ขนาดมาตรฐาน สำหรับเปิดหน้าดิน
2.2.3 ถุงเก็บตัวอย่างผงคอนกรีตและดิน ขนาดต่างๆ พร้อมระบุหมายเลข วันที่และสถานที่เจาะสำรวจ
2.2.4 สว่านเจาะพร้อมหัวเจาะคอนกรีต
2.2.5 ไม้สเกลวัดขนาดรอยร้าว
2.2.6 Phenolphthalein in Alcohol (1%)
2.2.7 กระดาษกรอง
2.2.8 หลอดพ่น

2.3 วิธีดำเนินการวิจัย แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

2.3.1 ขั้นตอนการสำรวจด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) การสำรวจจำนวนอาคารจากกองแผนงาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และทำการตรวจสอบความเสียหายเบื้องต้นด้วยตาเปล่าของโครงสร้างตอม่ออาคาร จัดลำดับขั้นความเสียหาย จากน้อยไปมาก จึงสามารถสรุปจำนวนอาคารที่เสียหายในขั้นรุนแรงได้ จากนั้นทำการประเมินลักษณะความเสียหายของเนื้อคอนกรีต เหล็กเสริม พื้นที่ความเสียหาย สรุปเป็นร้อยละของความเสียหาย และจัดทำฐานข้อมูลความเสียหายโครงสร้างของวิทยาเขตฯ

2.3.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดิน สำรวจพื้นที่ทำการเจาะสำรวจอาคารทั้ง 4 ในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และกำหนดจุดเจาะสำรวจเพื่อเก็บตัวอย่างลงในแผนที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยการเลือกบริเวณที่ตั้งของโครงสร้างที่มีปัญหา และทำการขุดโดยใช้จอบขนาดมาตรฐานสำหรับเปิดหน้าดิน ดังรูปที่ 2-2(ก) แล้วใช้พลั่วสำหรับขุดเจาะเพื่อเก็บตัวอย่างดิน โดยเจาะให้ได้ระดับความลึก 1.5 เมตร ดังรูปที่ 2-2(ข) ให้ได้ตัวอย่างดินประมาณ 1 กิโลกรัม บรรจุใส่ถุงเก็บตัวอย่าง พร้อมระบุ ชื่อตัวอย่าง หมายเลข วันเวลาและสถานที่เจาะ ดังรูปที่ 2-2(ค), (ง) ในการขุดเจาะเก็บตัวอย่างแต่ละอาคาร อาคารละ 2 ตัวอย่าง จะได้ทั้งหมด 8 ตัวอย่าง นำตัวอย่างที่ได้ส่งห้องทดลองและปฏิบัติการของงานทดสอบดินปุ๋ยและการประยุกต์ ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ต่อไป

(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 2-2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดิน

2.3.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างคอนกรีต เพื่อนำมาตรวจวัดหาปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต กำหนดจุดที่จะทำการเจาะสำรวจเพื่อเก็บตัวอย่างลงในแผนที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยการเลือกกำหนดจุดเจาะสำรวจบริเวณโครงสร้างเสาตอม่อที่มีปัญหาดังรูปที่ 2-3(ก) เจาะนำเอาผงคอนกรีตตัวอย่างจากโครงสร้างดังรูปที่ 2-3(ข) เพื่อนำมาตรวจวัดหาปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต โดยใช้ดอกสว่านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 เซนติเมตร เจาะเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึกจากผิวคอนกรีต 0-2 เซนติเมตร 2-4 เซนติเมตร 4-6 เซนติเมตร 6-8 เซนติเมตร และ 8-10 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 2-3(ค) ใช้แปลงทำความสะอาดรูเจาะก่อนเริ่มเจาะในระดับความลึกถัดไปทุก ๆ ครั้ง แยกผงตัวอย่างใส่ถุงตามระดับความลึกหลังจากทำการเจาะใช้ non shrink grout อุดรูที่ทำการเจาะ โดยทำการเจาะอาคารละ 2 ตัวอย่าง จากอาคารทั้งหมด 4 อาคาร นำผงตัวอย่างส่งไปตรวจสอบหารปริมาณคลอไรด์ในห้องปฏิบัติการ ถ้าโครงสร้างที่ทำการตรวจสอบอยู่ในสภาวะเปียก – แห้ง สลับกันต้องทำการเก็บตัวอย่างจากระดับความสูงที่แตกต่างกัน เพราะการแทรกซึมของคลอไรด์ในแต่ละระดับอาจไม่เท่ากัน แล้วเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่ได้ ส่งห้องทดลองและปฏิบัติการของงานทดสอบดินปุ๋ยและการประยุกต์ ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2-3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างคอนกรีต

2.3.4 ขั้นตอนการวัดขนาดรอยร้าวที่เกิดขึ้น (Crack Assessment) แล้วประเมินระดับความเสียหาย เพื่อประเมินหาวิธีการแก้ไขในขั้นตอนต่อไป และตรวจสอบระดับความเสียหายของโครงสร้างโดยใช้ไม้เกลวัดขนาดรอยร้าวพร้อมกับบันทึกข้อมูลด้วยภาพถ่าย จำนวนรอยแตกร้าว ความกว้างของรอยแตกร้าว (Crack Width and Length) และลักษณะการกระเทาะของคอนกรีต และทำการจัดลำดับขั้นความเสียหายจากรอยแตกร้าวเป็น 5 ระดับ โดยเริ่มต้นจากไม่มีรอยแตกร้าว จนถึงมีรอยกระเทาะของคอนกรีตและเหล็กเสริมเป็นสนิม

รูปที่ 2-4 แสดงการวัดรอยแตกร้าว

2.3.5 ขั้นตอนการวัดความลึกของคาร์บอเนชั่น เลือกเอาจุดเดียวกับจุดเจาะผงคอนกรีตตัวอย่างวัดหาปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตดังรูปที่ 2-5(ก) โดยการพ่น phenolphthalein in alcohol (1%) ให้ชุ่มกระดาษกรอง (สาร phenolphthalein จะไม่เปลี่ยนสีเมื่อ pH มีค่าต่ำกว่า 10) เจาะผิวคอนกรีตและรองผงคอนกรีตที่หลุดด้วยกระดาษกรองดังรูปที่ 2-5(ข) หยุดเจาะเมื่อเกิดสีชมพูขึ้นที่กระดาษกรอง และความลึกของคาร์บอเนชั่นวัดได้จากความลึกจากผิวคอนกรีตเมื่อหยุดเจาะดังรูปที่ 2-5(ค) สุดท้ายทำการอุดรูเจาะด้วย non shrink grout

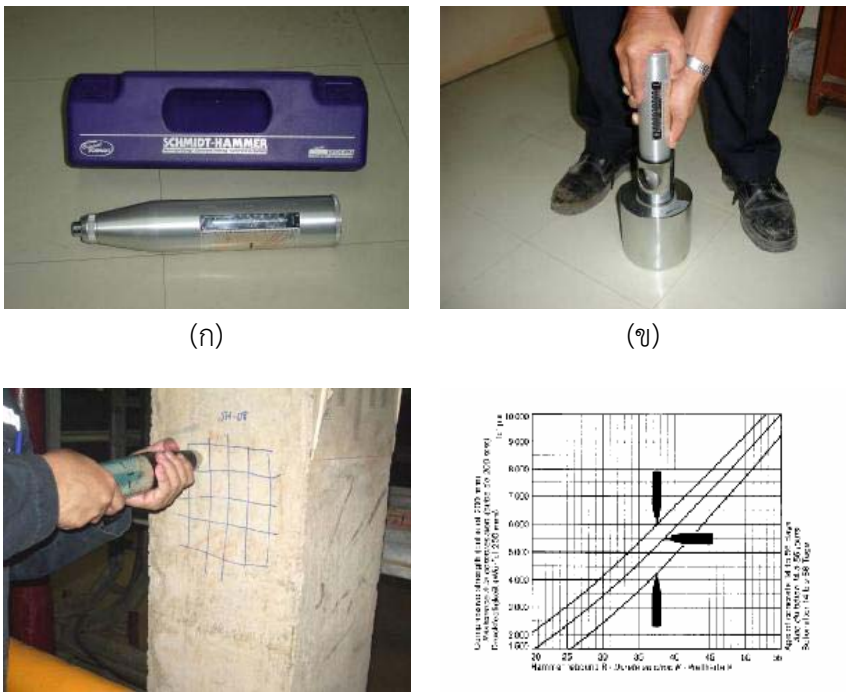
(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2-5 ขั้นตอนการวัดความลึกของคาร์บอเนชั่น

2.3.6 ทดสอบหากำลังอัดประลัยคอนกรีตโดยวิธี Rebound Hammer-Schmidt เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย สามารถทำการทดสอบแบบในที่ โดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับของ Steel Hammer เพื่อประเมินหาค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต ณ สภาพปัจจุบัน และสามารถนำค่าที่ได้ไปตรวจสอบหาความสามารถในการรับน้ำหนักขององค์อาคารคอนกรีตที่เหลืออยู่ การทดสอบหาค่ากำลังอัดสูงสุดด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด (Schmidt Hammer) เป็นไปตามมาตรฐาน BS 1881: Past 202 “Recommendations for Surface Hardness Testing by Rebound Hammer” และ ASTM C805 “Rebound Number of Hardened Concrete”



(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 2-6 การทดสอบหากำลังอัดประลัยคอนกรีตโดยวิธี Rebound Hammer-Schmidt

2.3.7 การตรวจสอบระยะหุ้มและตำแหน่งเหล็กเสริม เป็นการตรวจสอบหาจำนวนของเหล็กเสริมของ เสา คาน พื้น ด้วยเครื่องวัดเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ซึ่งจะใช้บอกตำแหน่งวัตถุที่สามารถเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ เช่น เหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รวมถึงระยะหุ้มเหล็กเสริมของคอนกรีต

(ก) (ข)

รูปที่ 2-7 การตรวจสอบระยะหุ้มและตำแหน่งเหล็กเสริม

2.3.8 นำตัวอย่างได้คือดินและผงคอนกรีต ส่งห้องทดลองและปฏิบัติการ ของงานทดสอบดิน ปุ๋ยและการประยุกต์ ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

โดยส่วนของดินหาปริมาณของธาตุต่าง ๆ ดังนี้

1) ปริมาณของแคลเซียม (Ca)
2) ปริมาณของแมกนีเซียม (Mg)
3) ปริมาณของโซเดียม (Na)
4) ปริมาณของโปแตสเซียม (K)
5) ปริมาณของคลอไรด์ (Cl)
6) ปริมาณของไบคาร์บอเนต (HCO_3)
7) ปริมาณของซัลเฟต (SO_4)
8) ปริมาณของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

และส่วนของคอนกรีตหาปริมาณของคลอไรด์ (Cl) เพียงอย่างเดียว

2.3.7 วิเคราะห์สาเหตุความเสียหายของอาคาร (Data Analysis) ทำการวิเคราะห์ผลของข้อมูลทั้งหมดโดยใช้วิธีทางสถิติ และสร้างกราฟความสัมพันธ์ของความน่าจะเป็นและตัวแปรที่พิจารณารวมทั้งค่าทางสถิติเช่น ค่าเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ใช้เป็นตัวแทนชุดข้อมูลดังกล่าว เปรียบเทียบกับแบบจำลองต่างๆ เพื่อหาระยะเวลาที่โครงสร้างเกิดจุดเสื่อมสภาพ

หลังจากได้รับผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการแล้ว นำมาวิเคราะห์และสรุปผล ว่าตัวอย่างดินมีแนวโน้มที่จะเป็นสารละลายชนิดใด และหาเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (โดยน้ำหนัก) พร้อมทั้งบรรยายถึงลักษณะทายกายภาพของตัวอย่างดินด้วย

ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวกับสารละลายที่มีอยู่ในดินและปูนซีเมนต์ที่จะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเฉพาะสารละลายประเภทซัลเฟต และสารละลายอื่น ๆ เพื่อเติม

นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ศึกษาค้นคว้าหรือข้อกำหนดต่างๆ ว่าปริมาณสารละลายที่มีอยู่ในดินและปูนซีเมนต์ตัวอย่าง จะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างไร

สรุปและประเมินถึงระยะเวลาอายุการใช้งานของคอนกรีตที่มีสภาวะสัมผัสกับเกลือในดินได้โดยอาศัยค่าตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสมการ เช่น C_3A, WC, E_o และอื่นๆ

ส่วนผงคอนกรีต ภายหลังได้ผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการแล้ว แยกการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานแสดงปริมาณคลอไรด์ที่ละลายน้ำได้ในเนื้อคอนกรีต (% เทียบกับน้ำหนักของตัวอย่างที่ส่ง) ส่วนที่สองนำผลการทดลองแสดงค่าปริมาณคลอ

ไรด์ที่ระดับความลึกต่างๆมาแทนค่าใน สมการคำนวณระยะเวลาในการเสื่อมสภาพเนื่องจากปริมาณคลอไรด์ที่ผิวทำให้เกิดกระบวนการกัดกร่อนได้จากสมการที่ (1)

$$t_i = \frac{(0.1x)^2 \left[erfc^i \left(\frac{C_{\lim}}{C_s} \right) \right]^{-2}}{4D_{cl}} \qquad (1)$$

เมื่อ ;

t_i คือ เวลาที่เหล็กเริ่มเกิดกระบวนการถูกกัดกร่อนเนื่องจากคลอไรด์(ปี) ตามมาตรฐานของ JSCE.(2005)

D_{cl} คือ อัตราการแพร่กระจายของคลอไรด์(ตร.ซม./ปี)

C_{lim} คือ ปริมาณคลอไรด์ ที่ทำให้เริ่มการกัดกร่อนเหล็กเสริม (กก./ลบ.ม.) โดยกำหนดค่าไว้ที่1.2กก./ลบ.ม.ตามมาตรฐานของ JSCE.(2005)

Cs คือ ปริมาณคลอไรด์ที่ผิว (กก./ลบ.ม.)

X คือ ระยะหุ้มเหล็กเสริมของคอนกรีต (มม.)

สรุปและประเมินถึงระยะเวลาอายุการใช้งานของคอนกรีตเนื่องจากปริมาณคลอไรด์ที่ผิวทำให้เกิดกระบวนการกัดกร่อน จากผลการวัดความลึกของคาร์บอเนชั่น นำค่าความลึกที่ได้มาแทนค่าในสมการ คำนวณระยะเวลาที่เหล็กเริ่มเกิดกระบวนการถูกกัดกร่อนจากปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น จากสมการที่ (2) และนำผลที่ได้จากการตรวจสอบระดับความเสียหายของรอยร้าว ประเมินและสรุปหาวิธีการแก้ไข

$$D = k\sqrt{t_c} \qquad (2)$$

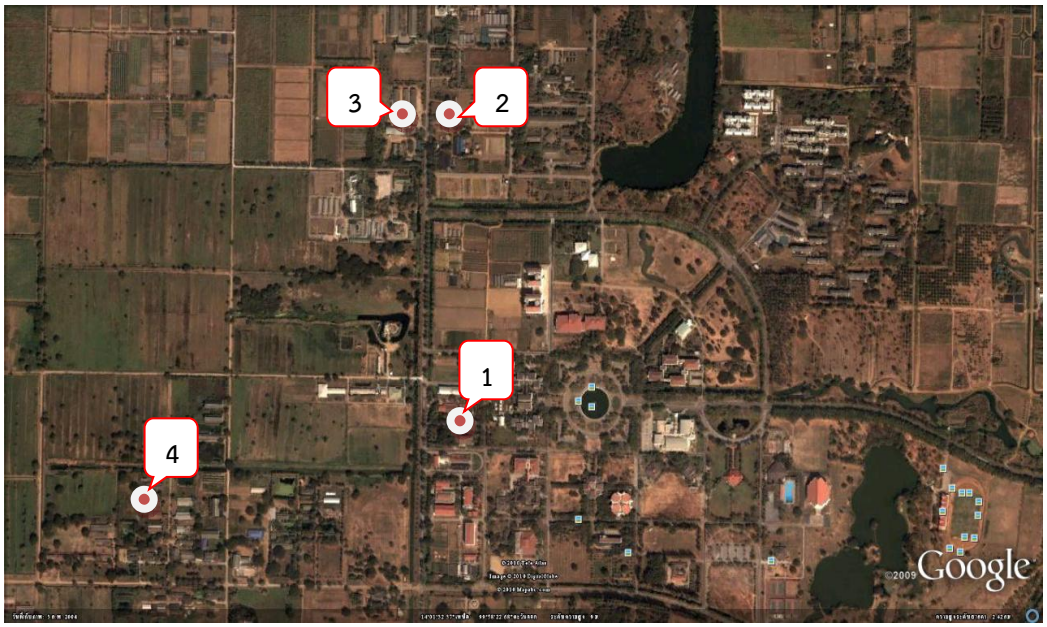
เมื่อ ;

D = ความลึกของคาร์บอเนชั่น (มม.)

k = สัมประสิทธิ์การเกิดคาร์บอเนชั่น (มม./ปี$^{0.5}$)

t_c = เวลาที่เหล็กเริ่มเกิดกระบวนการถูกกัดกร่อนจากปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น

2.4 รายละเอียดการเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 2-8 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงบริเวณการเก็บตัวอย่าง

อาคาร 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ กพส.

เรือนปฏิบัติการกลาง และสนง.ภาควิชากีฏวิทยา

กองอาคารสถานที่และยานพาหนะ

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตโคกระบือ

รูปที่ 2-9 สภาพอาคารบริเวณการเก็บตัวอย่าง