วิธีการประเมินโครงสร้างอาคาร

Evaluation Methods of Building Structures

ภาคภูมิ มงคลสังข์[1]*, ไตรทศ ขำสุวรรณ[2]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม 10160

[2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม 10160

*E-mail: phakphum@siam.edu, skamsuwan@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางการทดสอบแบบไม่ทำลายและกึ่งทำลายในการตรวจสอบเสถียรภาพของโครงสร้างอาคารที่มีอายุการใช้งานนานซึ่งอาจมีผลกระทบด้านการเสื่อมสภาพของวัสดุ โดยมีประเด็นพิจารณาด้านอายุการใช้งาน ความคงทนของวัสดุ เสถียรภาพ การใช้งาน น้ำหนักบรรทุกจรและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยการสำรวจและวิเคราะห์จำเป็นต้องมีข้อมูลทั้งด้านสภาพทางกายภาพและรายละเอียดโครงสร้างทั้งด้านคุณสมบัติวัสดุ รายละเอียดทางวิศวกรรมและทางด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิคเพื่อทราบถึงความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทั้งโครงสร้างและระบบฐานรากเพื่อนำมาวิเคราะห์ประเมินเสถียรภาพของโครงสร้างอาคารต่อไป

คำสำคัญ: เสถียรภาพ, การทดสอบแบบไม่ทำลาย, โครงสร้าง

Abstract

This paper presents the results of non – destructive test and semi destructive test carried out in the evaluation of stability for Building structures. For each type and cause of damage or characteristic: service life, durability, and structural stability, execution of work, Live Load and environmental effects. To evaluate the capacity of load carried, these investigate and analysis must have the data concern physical properties and structural details in both parts of structural material and geological properties. The mentioned technique can be used for safety evaluation of the Building structures in the future.

Keywords: Stability, Non – destructive test, Structure

1. บทนำ

ผู้พัฒนาอสังหาริมทรัพย์หลายรายมักประสบปัญหาการใช้งานอาคารเก่าที่ซื้อมาทำการปรับปรุงการใช้งานใหม่และหลายอาคารมีการเปลี่ยนแปลงประเภทของการใช้อาคารให้มีน้ำหนักบรรทุกจรที่เพิ่มขึ้น บางแห่งไม่เปลี่ยนแปลงการใช้งานแต่มีการเปลี่ยนแปลงทางสถาปัตยกรรม ภายในมีแนวผนังกั้นห้องใหม่ ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักประสบกับปัญหาเรื่องแบบโครงสร้างของอาคารเดิมไม่มี เนื่องจากอาคารเก่ามีการเปลี่ยนเจ้าของมาหลายราย แบบอาจมีการชำรุด สูญหาย จึงทำให้ไม่สามารถทราบว่าผู้ออกแบบเดิมได้ออกแบบประเภทการใช้งานเดิมไว้เป็นประเภทใด ไม่สามารถทราบถึงขนาดของคาน เสา ความหนาพื้น จำนวนฐานราก ชนิด ขนาด ความยาวของเสาเข็ม รายละเอียดของเหล็กเสริมต่างๆ รวมไปถึงสภาพของโครงสร้างของอาคารอาจมีการชำรุด เสื่อมสภาพ เนื่องมาจากอายุการใช้งานของอาคารมาก ดังรูปที่ 1 คอนกรีตมีการแตกร้าว กะเทาะร่อน ปัญหาเรื่องความคงทนของวัสดุทั้งหลายเหล่านี้ส่งผลให้เจ้าของอาคาร ผู้ประกอบการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ไม่มั่นใจในสภาพของโครงสร้างอาคาร ณ ปัจจุบันว่าหากนำมาปรับปรุง เปลี่ยนแปลงสภาพอาคารใหม่แล้ว โครงสร้างอาคารจะมีความมั่นคงแข็งแรงและปลอดภัยอยู่หรือไม่

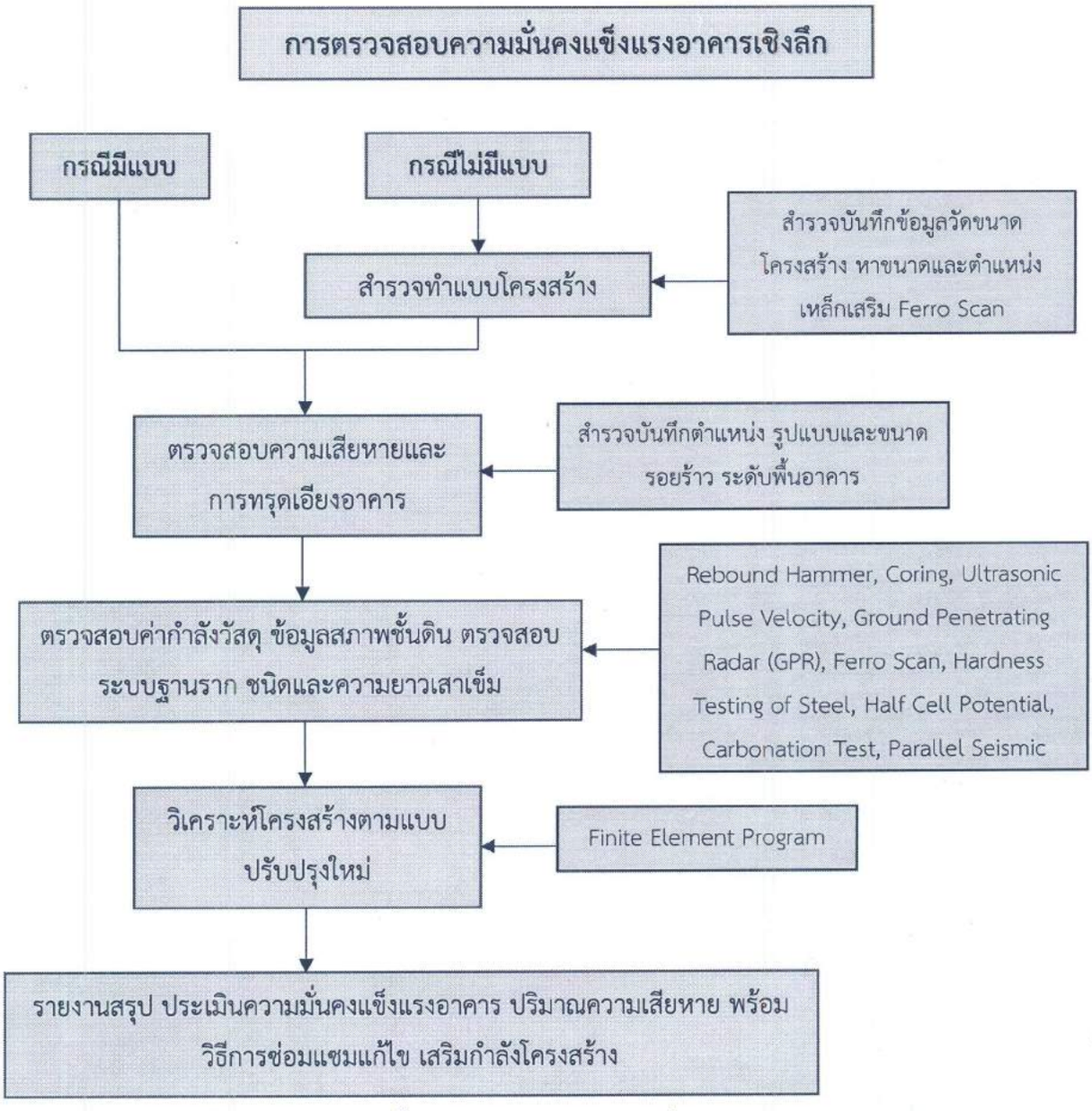
รูปที่ 1 สภาพอาคารเดิมก่อนการปรับปรุง

2. วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นการศึกษาวิธีตรวจสอบโครงสร้างอาคารด้วยเครื่องมือทดสอบแบบไม่ทำลาย แบบการสุ่มตำแหน่งการทดสอบ โดยวิศวกรผู้เชี่ยวชาญและมีประสบการณ์ เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลทั้งหมดของโครงสร้าง เช่น ข้อมูลรายละเอียดทางกายภาพ รูปแบบโครงสร้าง แบบโครงสร้าง รายละเอียดทางด้านวิศวกรรม คุณสมบัติของวัสดุ กำลังของวัสดุ ณ ปัจจุบัน และทางด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค คุณสมบัติของชั้นดิน ระดับความเสียหายของโครงสร้าง และนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้ไปวิเคราะห์ประเมินเสถียรภาพของโครงสร้างอาคาร

3. หลักการตรวจสอบ

หลักการตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคารเชิงลึกสามารถแสดงได้ดังแผนภาพในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงอาคาร [1]

4. ขอบเขตการตรวจสอบ

ขอบเขตการดำเนินงานเป็น 2 ระยะ คือ ช่วงแรกการดำเนินงานระยะที่ 1 (งานสำรวจและตรวจสอบ) และการดำเนินงานระยะที่ 2 ประเมินความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้าง

การดำเนินงานระยะที่ 1 งานสำรวจและประเมินสภาพเบื้องต้นอาคาร

- สำรวจสภาพโครงสร้างทางกายภาพของอาคาร และบันทึกข้อมูลขนาดโครงสร้าง
- สำรวจสภาพความเสียหายของอาคาร เช่น รอยแตกร้าวที่เสา คาน พื้น
- งานตรวจสอบและทดสอบทางวิศวกรรมโครงสร้าง สุ่มตรวจสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (Fc') โดยวิธี Rebound Hammer, สุ่มตรวจสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (Fc') โดยใช้วิธีเจาะเก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตด้วย

วิธี Coring และนำมากดทดสอบในห้องปฏิบัติการ ตรวจสอบต่อเนื่องของคอนกรีตด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย โดยวิธีความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity, UPV) สุ่มตรวจสอบรายละเอียดเหล็กเสริม โดยวิธีการตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริม โดยวิธี Ground Penetrating Radar (GPR) หรือ Ferro Scan, ทดสอบหาแนวโน้มการเกิดสนิมเหล็ก (Half Cell Potential), ตรวจสอบอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่น (Carbonation Test)

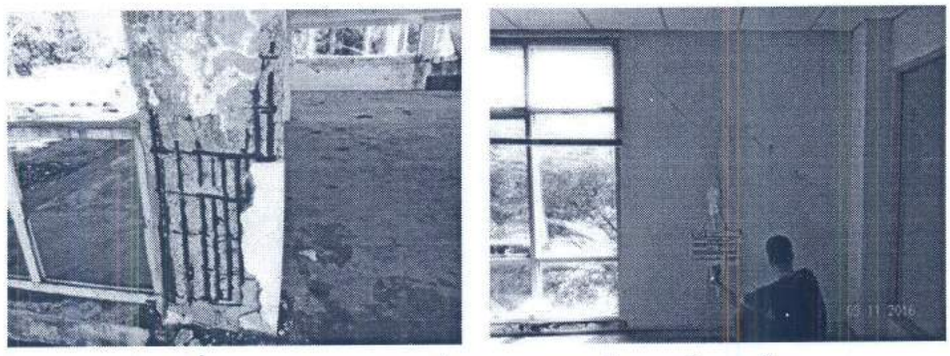
- งานตรวจสอบและทดสอบทางวิศวกรรมฐานรากธรณีเทคนิค งานสุ่มขุดตรวจสอบระบบฐานราก งานเจาะสำรวจสภาพชั้นดินบริเวณภายในโครงการ งานสุ่มทดสอบความยาวเสาเข็มของอาคาร

การดำเนินงานระยะที่ 2 ประเมินผลตรวจสอบทางวิศวกรรม ประเมินความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้าง และจัดทำรายงานผลการตรวจสอบ

5. ผลการตรวจสอบและวิเคราะห์

5.1 งานสำรวจโครงสร้างทางกายภาพโครงสร้างหลักของอาคาร

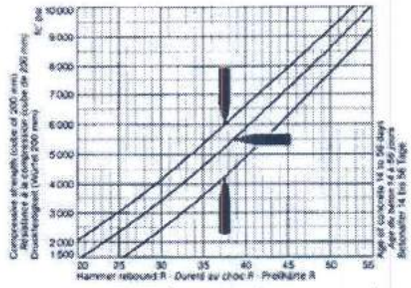
สำรวจสภาพโครงสร้างทางกายภาพ จัดทำแบบรายละเอียดแปลนอาคาร ขนาดต่างๆของโครงสร้างหลัก เช่น ความหนาพื้น ขนาดคาน เสา ระดับความสูงในแต่ละชั้นของอาคาร การสำรวจสภาพโครงสร้างทางกายภาพด้วยสายตา (Visual inspection) ประกอบกับความรู้ทางด้านพฤติกรรมโครงสร้าง เพื่อตรวจสอบสภาพการชำรุดและการประเมินโครงสร้าง ซึ่งต้องดำเนินการโดยวิศวกรที่มีความเชี่ยวชาญและมีประสบการณ์ โดยสามารถบอกได้ถึงข้อมูลสำคัญต่าง ๆ เช่น คุณภาพของการก่อสร้าง สภาพการใช้งาน การเสื่อมสภาพของวัสดุ รูปแบบของการแตกร้าว ตำแหน่งของการแตกร้าว ดังรูปที่ 3 รวมถึงการชำรุดของชิ้นส่วนโครงสร้าง การทรุดตัวของอาคาร เป็นต้น



รูปที่ 3 การสำรวจความเสียหายรอยแตกร้าวของโครงสร้าง

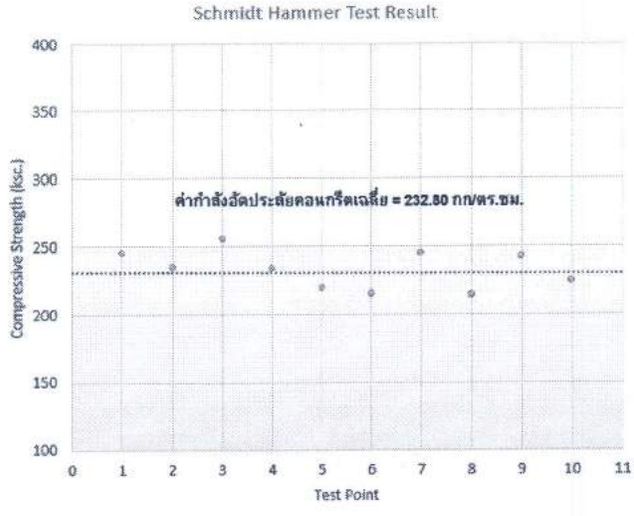
5.2 การตรวจสอบทางวิศวกรรมโครงสร้างหลักของอาคาร

5.2.1 ตรวจสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f'c) แบบไม่ทำลายโครงสร้าง โดยใช้วิธี Rebound Hammer-Schmidt [2] ใช้หลักการสะท้อนของลูกเหล็กภายในอุปกรณ์มาเทียบกับค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต ดังรูปที่ 4 – 5 การทดสอบวิธีนี้สามารถนำไปใช้ประเมินหาค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต ณ สภาพปัจจุบัน ค่า Rebound Number จะถูกนำไปแปลงผลเป็นกำลังอัดประลัยของคอนกรีตโดยใช้ดัชนีมาตรฐานในการแปลงผล



กราฟแสดงดัชนีมาตรฐานในการแปลงค่า

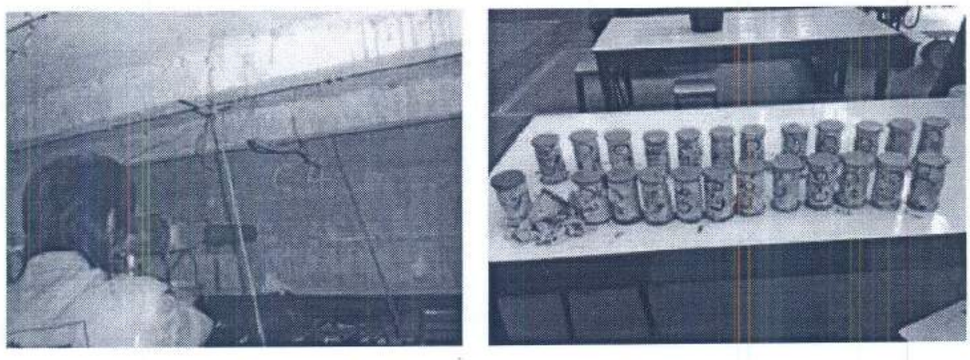
รูปที่ 4 ทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ด้วยวิธี Rebound Hammer-Schmidt



รูปที่ 5 ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต ด้วยวิธี Rebound Hammer-Schmidt

มาตรฐานการทดสอบ ASTM C805 – 97 "Rebound Number of Hardened Concrete"

5.2.2 ตรวจสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (fc') โดยใช้วิธีเจาะเก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตด้วยวิธี coring [3] และนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการดังรูปที่ 6 และนำมาตัดให้อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2:1



รูปที่ 6 เจาะเก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตด้วยวิธี coring

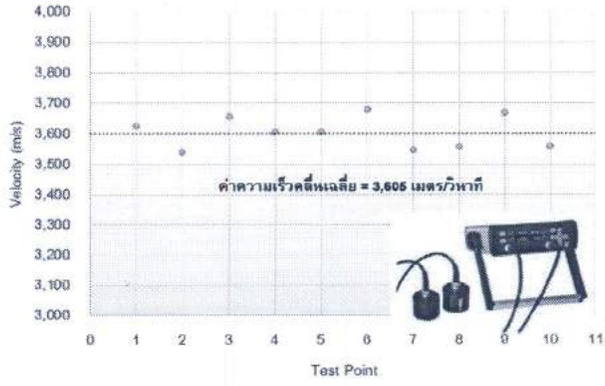
มาตรฐานการทดสอบหาค่ากำลังอัดสูงสุดด้วยการเจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีต (Coring) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C42/C 42M "Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete"

5.2.3 การตรวจสอบความต่อเนื่องของคอนกรีต โดยเครื่องอัลตร้าโซนิค โดยวิธี Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) [4] อาศัยหลักการของการส่งคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Pulse) ดังรูปที่ 7 ผ่านเข้าไปในตัวกลางเนื้อคอนกรีต

ที่ต้องการทดสอบ แล้ววัดเวลาที่คลื่นความถี่สูงใช้ในการเคลื่อนที่จากหัวส่งสัญญาณไปยังหัวรับสัญญาณ นำมาคำนวณหาค่าความเร็วคลื่น (Pulse Velocity) ในตัวกลาง โดยที่ความเร็วคลื่นมีค่าเท่ากับระยะทางหารด้วยเวลาที่ใช้

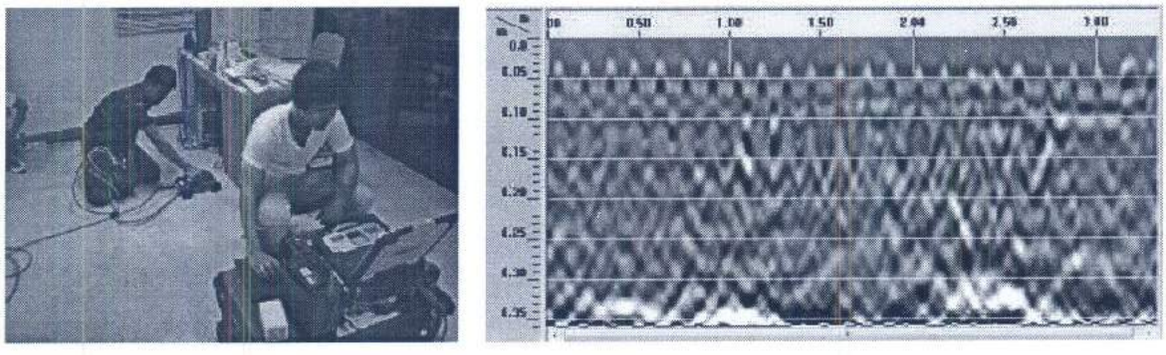
มาตรฐานการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C597-97: "Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete"

ความเร็วคลื่น (เมตร/วินาที)	สภาพคุณภาพคอนกรีต
> 4,500	ดีมาก (Excellent)
3,500 – 4,500	ดี (Good)
3,000 – 3,500	ปานกลาง (Medium)
2,000 – 3,000	ไม่แน่นอน (Doubtful)
< 2,000	ต่ำ (Poor)



รูปที่ 7 เกณฑ์การทดสอบและผลค่าความเร็วคลื่นจากการทดสอบเครื่องอัลตร้าโซนิค

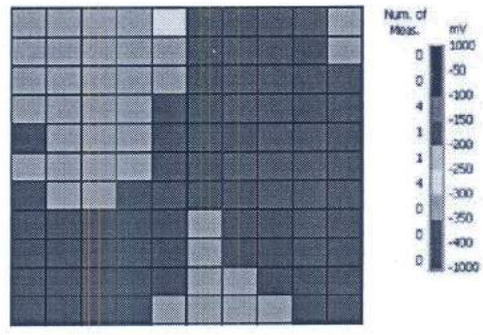
5.2.4 การตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริมโดยวิธี Ground Penetrating Radar (GPR) [5] เป็นวิธีการทดสอบโดยการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) ในการตรวจสอบโดย หากพบวัตถุที่ฝังอยู่ด้านใต้หรือพบความเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวัสดุจะเกิดการสะท้อนของคลื่นบางส่วนกลับขึ้นมา ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงผลการตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริมโครงสร้างโดยเครื่องมือ Ground Penetrating Radar (GPR)

5.2.5 งานทดสอบความเป็นไปได้การเกิดสนิมในเหล็กเสริมโครงสร้างด้วย Half Cell Potential อ้างอิงมาตรฐาน ASTM C 876 [6] ดังรูปที่ 9

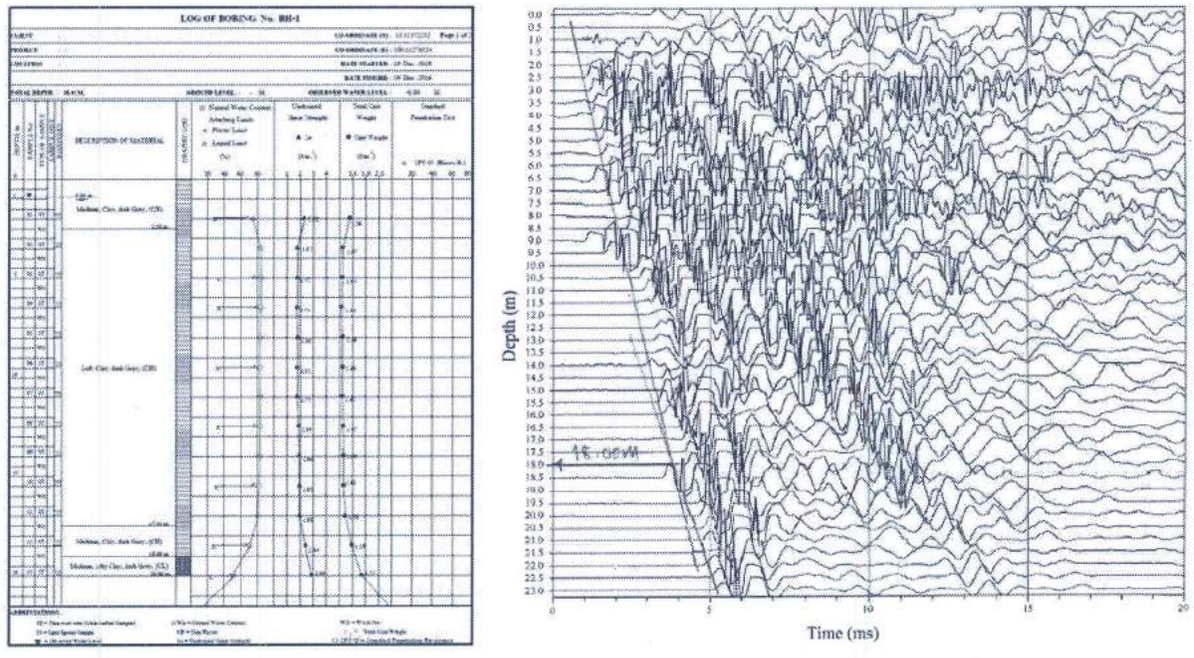
ความต่างศักย์ (mV)	แนวโน้มการเกิดสนิมเหล็ก
> -200 mV	มีความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดการกัดกร่อนของสนิมในเหล็กเสริมคอนกรีตมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์
-200 mV ถึง -350 mV	มีโอกาสเกิดหรือไม่เกิดการกัดกร่อนของสนิมในเหล็กเสริมคอนกรีต
< -350 mV	มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดการกัดกร่อนของสนิมในเหล็กเสริมคอนกรีตมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 9 เกณฑ์มาตรฐานของการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าตามมาตรฐานและตัวอย่างผล Potential Map

5.2.6 งานทดสอบคุณสมบัติทางเคมี โดย pH Value Test, Chloride Content Test, Sulfate Content Test อ้างอิงมาตรฐาน ASTM A 751 [7], ASTM C1152/C1152M-04 [8]

5.2.7 งานเจาะสำรวจสภาพชั้นดิน (Soil Investigation) และผลการทดสอบหาความยาวเสาเข็มโดยวิธี Parallel Seismic แสดงผลดังรูปที่ 10



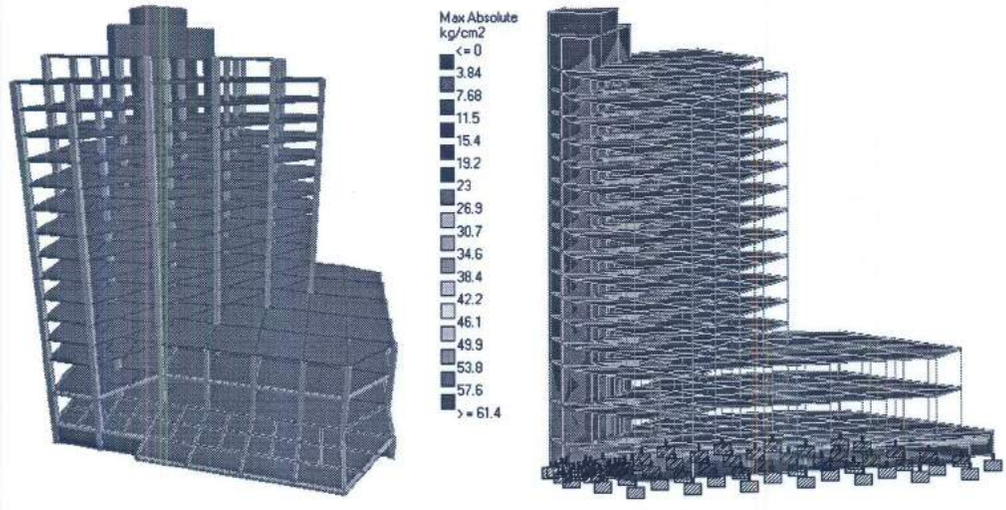
รูปที่ 10 ข้อมูลงานเจาะสำรวจสภาพชั้นดิน และผลการทดสอบหาความยาวเสาเข็มโดยวิธี Parallel Seismic

5.2.8 งานวิเคราะห์ประเมินผลตรวจสอบทางวิศวกรรมและความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้าง

นำผลที่ได้จากงานทดสอบทางวิศวกรรม ข้อมูลแรงที่กระทำต่อโครงสร้างทั้งหมดไปวิเคราะห์และประเมินความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างโดยใช้โปรแกรม Finite Element 3D ในการขึ้นแบบจำลองสามมิติโครงสร้างอาคาร ดังรูปที่ 11 – 12 เพื่อวิเคราะห์หาหน่วยแรงต่างๆที่เกิดขึ้นและเปรียบเทียบกับสภาพโครงสร้าง ณ ปัจจุบัน

โครงสร้าง	ชั้น	ตำแหน่ง	ชนิด		หน่วย	ค่าที่ยอมรับได้	ค่าจากได้จากการวิเคราะห์
คาน	3	7-8/C	0.15X0.45	ค่าโมเมนต์สูงสุด	กก.-ม.	2,933	653
				แรงเฉือนสูงสุด	กก.	1,938	764
	3	7/B-C	0.30X0.65	ค่าโมเมนต์สูงสุด	กก.-ม.	17,244	17,790
				แรงเฉือนสูงสุด	กก.	14,596	14,950
	3	7-8/B	0.30X0.65	ค่าโมเมนต์สูงสุด	กก.-ม.	12,536	1,006
				แรงเฉือนสูงสุด	กก.	11,421	1,155
	3	7/A-B	0.30X0.65	ค่าโมเมนต์สูงสุด	กก.-ม.	12,152	8,877
				แรงเฉือนสูงสุด	กก.	10,364	7,268
เสา	1	2-B	0.40X0.40	แรงในแนวดิ่ง	กก.	76,622	71,761
	1	2-D	0.40X0.40	แรงในแนวดิ่ง	กก.	111,098	69,110
	2	2-B	0.35X0.35	แรงในแนวดิ่ง	กก.	55,448	51,818
	3	2-B	0.35X0.35	แรงในแนวดิ่ง	กก.	55,448	31,500
	4	2-B	0.30X0.30	แรงในแนวดิ่ง	กก.	45,089	12,567
การประเมิน							ผ่าน

รูปที่ 11 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าที่ยอมรับได้กับค่าการวิเคราะห์



รูปที่ 12 แบบจำลองสามมิติโครงสร้างอาคารและผลการวิเคราะห์หน่วยแรงต่างๆ

6. บทสรุป

6.1 ผลการสำรวจทางกายภาพสามารถแยกลักษณะของการแตกร้าวของโครงสร้าง ระดับความรุนแรงของความเสียหายเพื่อนำไปประเมินสันนิษฐานสาเหตุความเสียหาย กำหนดขอบเขตของความเสียหายรวมไปถึงขอบเขตการการซ่อมแซมและประเมินรูปแบบ วิธีของการซ่อมแซมเพื่อให้โครงสร้างมีความมั่นคงแข็งแรงต่อไป โดยการเสื่อมสภาพและความเสียหายของโครงสร้างสาเหตุหลักเนื่องมาจากการกัดกร่อน และเสื่อมสภาพของวัสดุ

6.2 การทดสอบแบบ Non-destructive Testing สามารถช่วยตรวจสอบได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ไม่ทำลายโครงสร้างและยังสามารถประเมินกำลังเสถียรภาพของโครงสร้างอาคาร ณ ปัจจุบันว่าจะมีความมั่นคงแข็งแรงและปลอดภัยตามหลักวิศวกรรมหรือไม่สำหรับการใช้งานในอนาคตต่อไป

6.3 การจำลองรูปแบบของโครงสร้างจะทำให้สามารถหาค่าแรงภายในที่เกิดขึ้น (Moment, Shear, Torsion, Axial force, Stress) และนำไปประเมินเปรียบเทียบกับผลการตรวจสอบดังกล่าวข้างต้น หากสภาพโครงสร้าง ณ ปัจจุบันมีกำลังรับน้ำหนัก (Strength) มากกว่าแรงภายในที่เกิดขึ้นจึงจะถือว่าโครงสร้างมีความปลอดภัยทางด้านกำลังรับน้ำหนัก

6.4 ควรมีการตรวจสอบ การซ่อมแซมบำรุงรักษาโครงสร้างอยู่สม่ำเสมอ โดยในบางกรณีอาจต้องมีการเสริมกำลังของโครงสร้าง (Strengthening) ด้วยเพื่อยืดอายุการใช้งานหรือเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

7. บรรณานุกรม

[1] ACI Committee 228.2R – 98, Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures, ACI Annual of Concrete Practice, Farmington Hills, MI, American Concrete Institute.

[2] ASTM C805-02, Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02, ASTM, West Conshohocken, PA, American Society for Testing and Materials, 2003.

[3] ASTM C42/C42M-03, Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete. Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, American Society for Testing and Materials, 2003.

[4] ASTM C597, Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02, ASTM, West Conshohocken, PA, American Society for Testing and Materials, 2003.

[5] ASTM D6432, Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation, Annual Book of ASTM Standards, ASTM, West Conshohocken, PA, American Society for Testing and Materials.

[6] ASTM C876, Standard Test Method for Half – Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Vol.03.02, ASTM, West Conshohocken, PA, American Society for Testing and Materials, 2003.

[7] ASTM A751, Standard Test Method, Practices, and Terminology for Chemical Analysis of Steel Products. Annual Book of ASTM Standards, Vol.03.02, ASTM, West Conshohocken, PA, American Society for Testing and Materials, 2007.

[8] ASTM C1152/C1152M-04, Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02, ASTM, West Conshohocken, PA, 2012.