

การสำรวจ ตรวจสอบ และประเมินความมั่นคง แข็งแรงของโครงสร้างคอนกรีต

ติณณภัทร์ โทวะดี

Halcrow PDI Limited



เนื้อหาการบรรยาย

- ส่วนที่ 1 ความจำเป็นสำหรับการใช้เครื่องมือทดสอบ เพื่อประเมินสภาพความสมบูรณ์ของโครงสร้าง
- ส่วนที่ 2 การตรวจสอบสภาพโครงสร้างทางกายภาพ
- ส่วนที่ 3 วิธีการทดสอบความแข็งแรง ความสมบูรณ์ และการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง โดยเครื่องมือทดสอบ
- ส่วนที่ 4 การซ่อมแซมโครงสร้างที่ได้รับ ความเสียหาย (เบื้องต้น)

**ทำไมถึงต้องตรวจสอบ
โครงสร้าง ?**



1. ความจำเป็นสำหรับการใช้เครื่องมือทดสอบ เพื่อประเมินสภาพความสมบูรณ์ของโครงสร้าง

- **เกิดจากข้อบกพร่องของโครงสร้าง** ซึ่งอาจเกิดจากการบรรทุกน้ำหนักเกินจากการออกแบบ การกัดกร่อนของสารเคมี ความสั่นสะเทือน อายุของโครงสร้าง สภาพแวดล้อม ฯลฯ



- เมื่อโครงสร้างได้รับความเสียหาย หรือการเสื่อมสภาพ เช่น การขยายตัวของรอยร้าว, การหลุดร่อน (Spalling) ของคอนกรีต, เหล็กเสริมผุกร่อน, การทรุดตัว/บิดตัวของอาคาร, การแอ่นตัว/การโก่งตัวของคาน ฯลฯ



- เกิดข้อสงสัยว่าอาคารมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งอาจเกิดจากขั้นตอนการออกแบบ, การใช้งาน, การก่อสร้าง หรือวัสดุก่อสร้าง ฯลฯ



■ เกิดข้อสงสัย ถึงความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากการใช้งานในปัจจุบันและอนาคต

■ เมื่อต้องการ การเปลี่ยนแปลง ลักษณะการใช้งานในอนาคต

■ เมื่อมีการ ต่อเติมหรือเพิ่มน้ำหนัก บรรทุกใช้งานจากโครงสร้างเดิม



- เมื่อได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติ เช่น เพลิงไหม้, น้ำท่วม, แผ่นดินไหว ฯลฯ



- อาคารร้างที่ก่อสร้างทิ้งไว้ หรือมีการเปลี่ยนเจ้าของอาคาร และจะนำกลับมาใช้งานอีกในอนาคต



2. การตรวจสอบสภาพโครงสร้างทางกายภาพ

- ศึกษาข้อมูลโครงสร้างที่มีอยู่ รวมทั้งการเก็บข้อมูลขนาดและระยะต่าง ๆ เพื่อจัดทำแบบแผนผังตำแหน่งของชิ้นส่วนโครงสร้าง
- งานสำรวจโครงสร้างทางกายภาพ Visual Inspection
- ลักษณะรอยแตกร้าวประเภทต่าง ๆ ของโครงสร้าง

งานเก็บข้อมูลขนาดและระยะต่าง ๆ เพื่อจัดทำแบบผังตำแหน่งของชิ้นส่วนโครงสร้าง

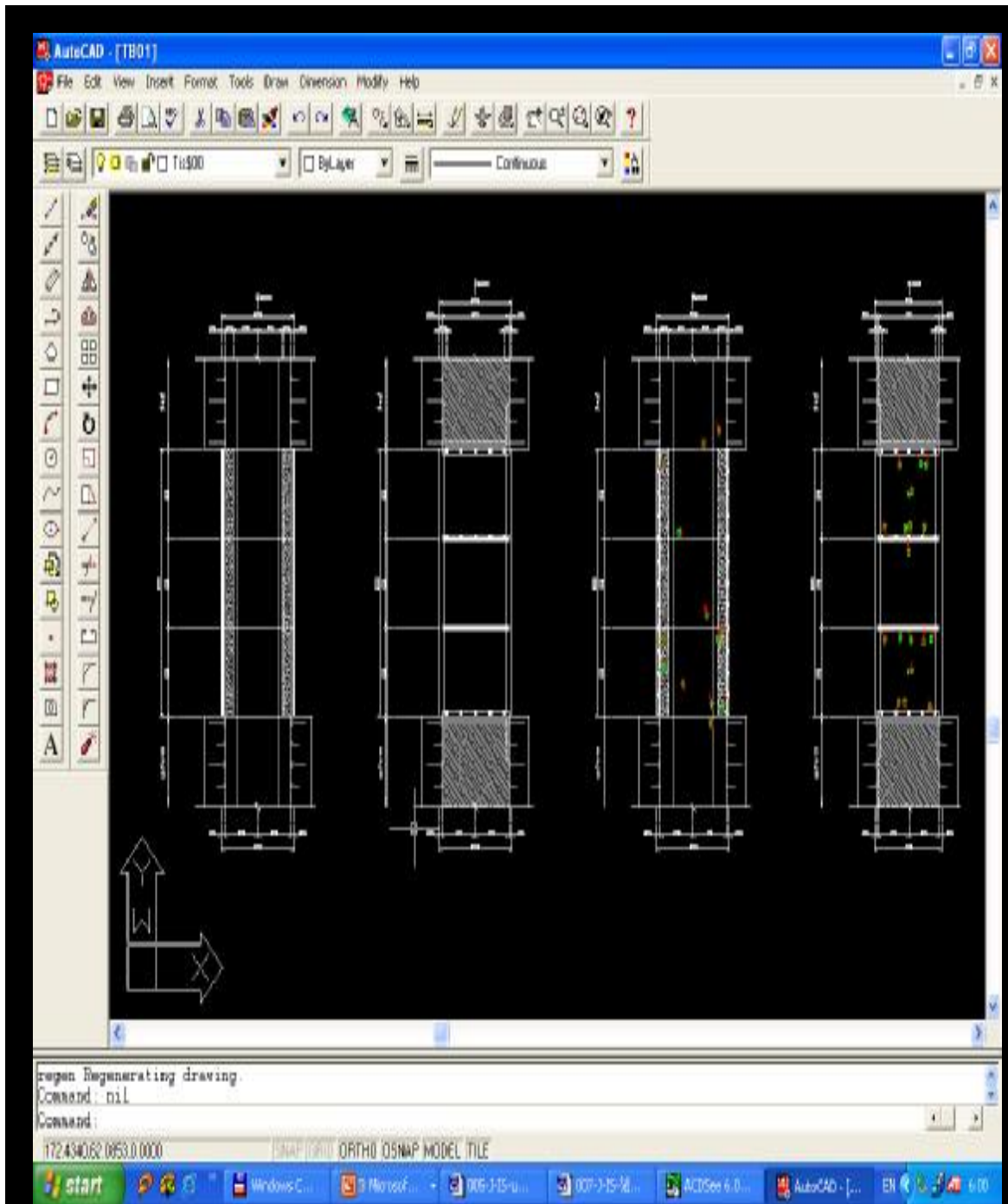
แบบแผนผังอาคารนี้จะแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาคารที่สำคัญ เช่น ตำแหน่งเสา แนวผนัง บันได และเครื่องจักร เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการนำมาวิเคราะห์และประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารต่อไป



งานสำรวจโครงสร้างทางกายภาพ Visual Inspection

ดำเนินการโดยวิศวกรที่มีความเชี่ยวชาญ และมีประสบการณ์ พร้อมทีมงานที่จะทำการบันทึกสภาพความเสียหายของโครงสร้าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมิน สภาพโครงสร้าง (การประเมินสภาพโครงสร้างนี้เป็นการเปรียบเทียบสภาพของ ชิ้นส่วนโครงสร้างในสภาพปัจจุบันกับสภาพที่ควรจะเป็นตามการออกแบบหรือ สภาพใหม่เมื่อเริ่มใช้งาน โดยไม่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้าง)





การรายงาน ผลการสำรวจสภาพ

- การใช้โปรแกรม
AUTO สำหรับทำเป็น
Electronic File

LIST OF OBSERVED DEFECT FROM BRIDGE CONDITION SURVEY

Bridge Code :	Concrete Bridge	Date of Investigation :	04 / 12 / 05
Name of Bridge :	Pairuang		
Bridge ID :	BT01		

[illegible]

 รายการแสดงตำแหน่ง
ความเสียหาย ของ
อาคาร

BRIDGE INSPECTION FORM

Bridge Code : BT01
Date : 04/12/05

Photo No. :

PH-01

Ref. Dwg. No. :

D-01

Description :

Concrete Joint



Photo No. :

PH-02

Ref. Dwg. No. :

D-01

Description :

Concrete Broken



BRIDGE INSPECTION FORM

Bridge Code : BT01
Date : 04/12/05

Photo No. :

PH-03

Ref. Dwg. No. :

D-01

Description :

Concrete Crack



Photo No. :

PH-04

Ref. Dwg. No. :

D-01

Description :

Concrete Broken

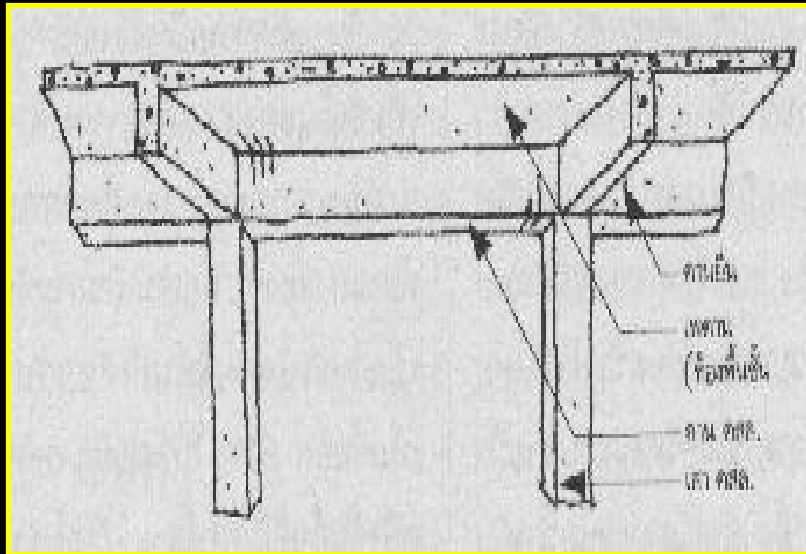


● ภาพแสดงตำแหน่ง
ความเสียหาย บริเวณ
ต่างๆ

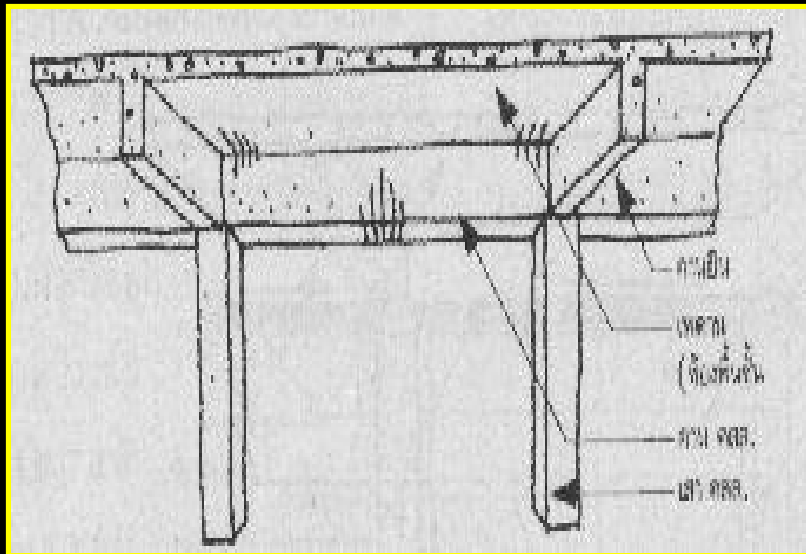
ลักษณะรอยแตกร้าวประเภทต่าง ๆ ของโครงสร้าง

■ รอยร้าวในคานเนื่องจากคานไม่สามารถรับแรงได้

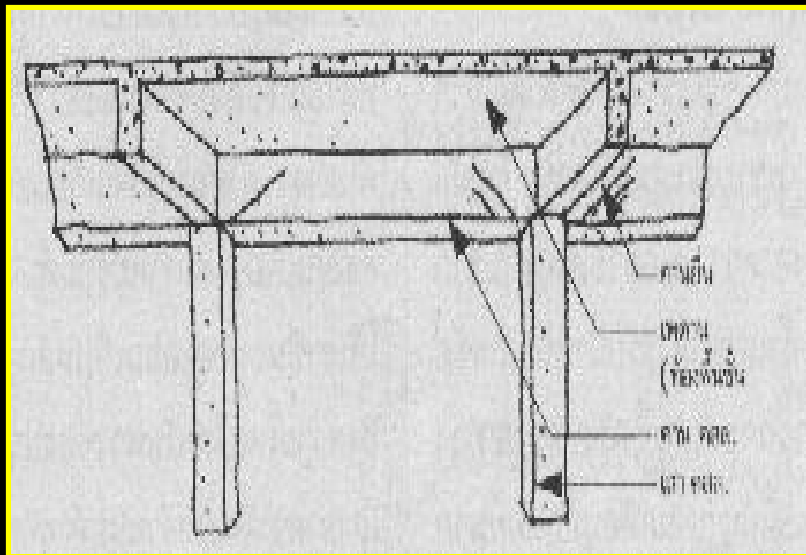
รอยแตกร้าวในคานเนื่องจากมี น้ำหนักบรรทุกมากกว่าความสามารถในการรับแรงของคานคอนกรีต การแตกร้าวของคานประเภทนี้อาจทำให้เกิด การวิบัติพังทลายของโครงสร้าง ได้ โดยจำแนกตามสาเหตุ ได้ดังนี้



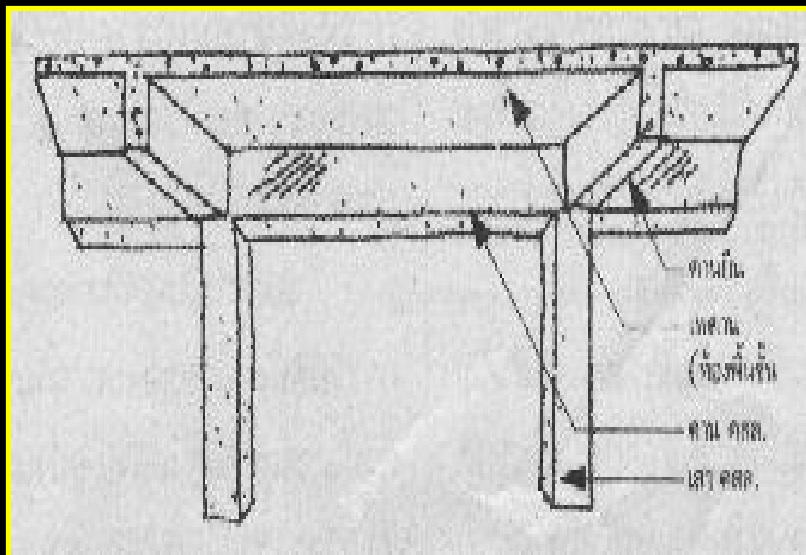
- รอยร้าวเนื่องจากการ **ทรุดตัวต่างระดับ** ของเสาหรือฐานราก
(โดยเสาด้านขวาทรุดตัวมากกว่า)



- รอยร้าว **เนื่องจากแรงดัด** ที่เกิดจากน้ำ
หนักบรรทุกเกิน



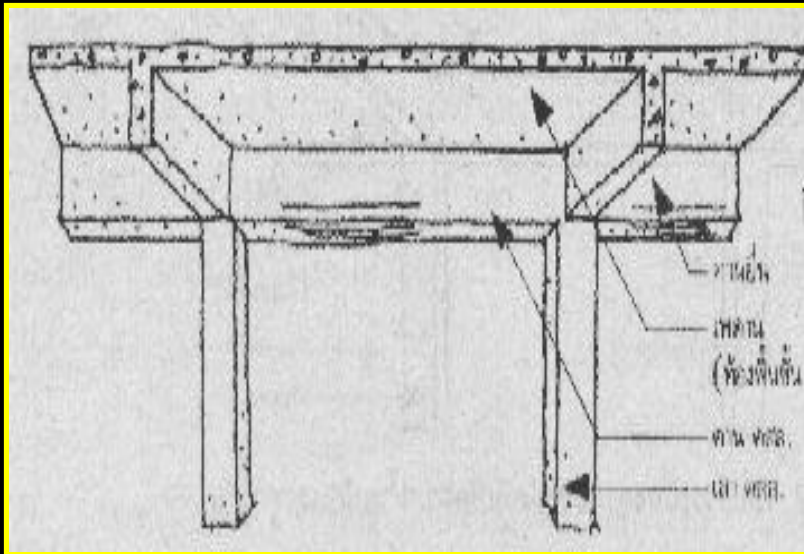
- รอยร้าว **เนื่องจากแรงเฉือน** ที่เกิดจาก
น้ำหนักบรรทุกเกิน



- รอยร้าว **เนื่องจากแรงบิด** ที่เกิดจากน้ำ
หนักบรรทุกเกิน

■ รอยร้าวในคอนเนื่องมาจากคุณภาพการก่อสร้างหรือการกัดกร่อน

คุณภาพการก่อสร้างที่ไม่ดีอาจทำให้อายุโครงสร้างสั้นลง และเกิดรอยร้าวได้หลากหลายประเภทแต่โครงสร้าง มักจะไม่พังทลายหรือวิบัติในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งอาจใช้เวลาหลายปีกว่าจะเกิดความเสียหายอย่างแท้จริง รอยร้าวประเภทนี้พบในอาคาร ซึ่งควบคุมการก่อสร้างไม่ดี โดยเฉพาะบริเวณแถบชายฝั่งทะเลจะพบมาก อันเนื่องจากไอเค็มของทะเลทำให้คอนกรีตเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น และเหล็กเป็นสนิมเร็วขึ้น เช่นกัน

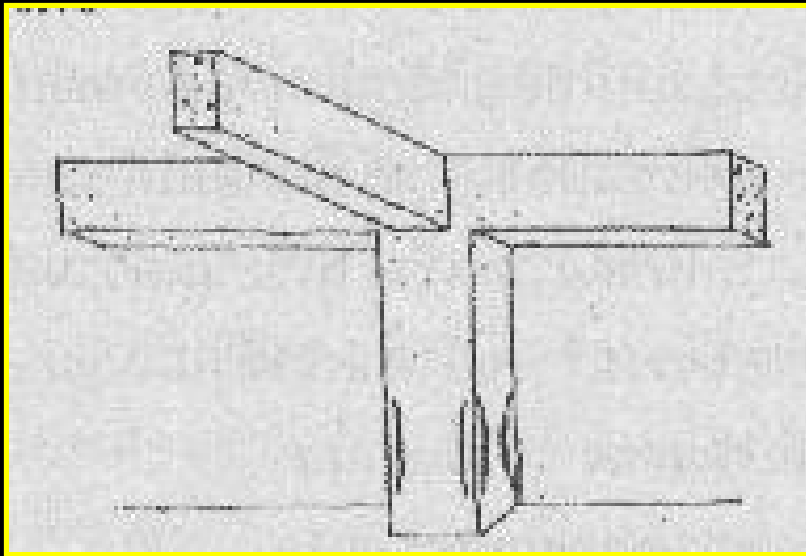


● รอยร้าว เนื่องจากเหล็กเสริมเป็นสนิม

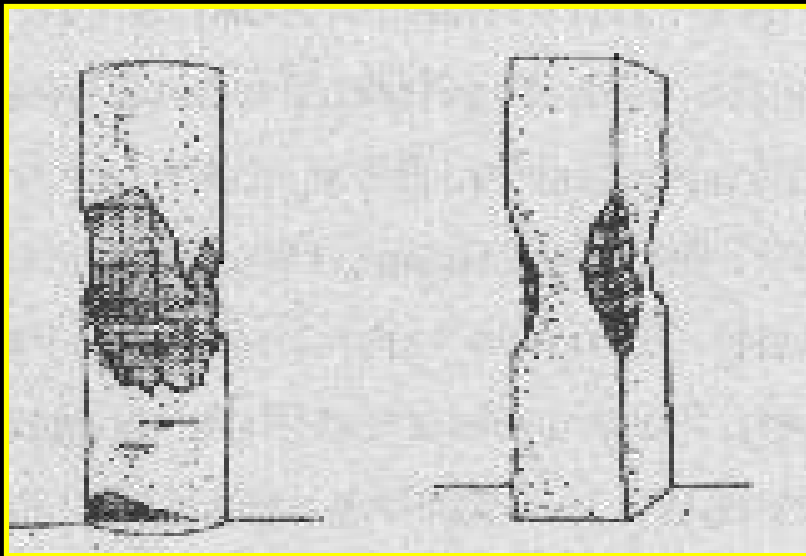


■ รอยร้าวในเสาคอนกรีตเนื่องจากรับน้ำหนักไม้ไผ่

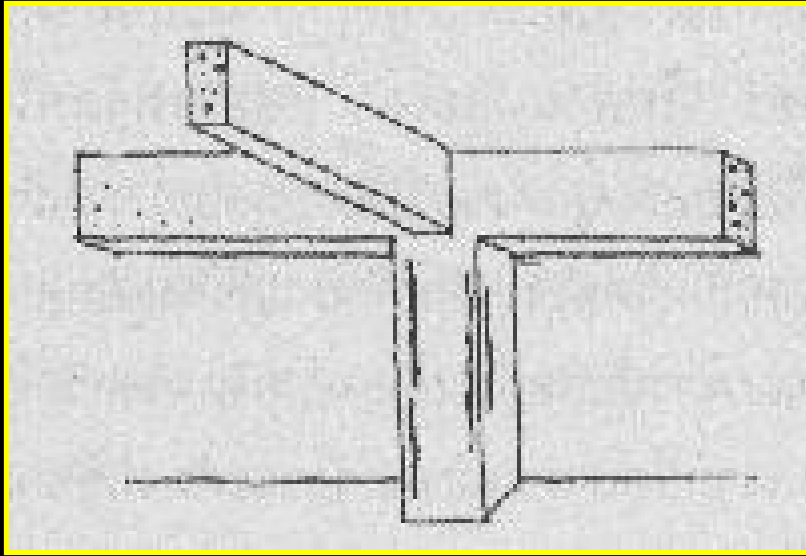
คุณภาพการก่อสร้างที่ไม่ดีอาจทำให้อายุโครงสร้างสั้นลง และเกิดรอยร้าวได้หลากหลายประเภทแต่โครงสร้างดังกล่าว มักจะไม่พังทลายหรือวิบัติในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งอาจใช้เวลาหลายปีกว่าจะเกิดความเสียหายอย่างแท้จริง รอยร้าวประเภทนี้พบในอาคาร ซึ่งควบคุมการก่อสร้างไม่ดี โดยเฉพาะบริเวณแถบชายฝั่งทะเลจะพบมาก อันเนื่องจากไอเค็มของทะเลทำให้คอนกรีตเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น และเหล็กเป็นสนิมเร็วขึ้น เช่นกัน



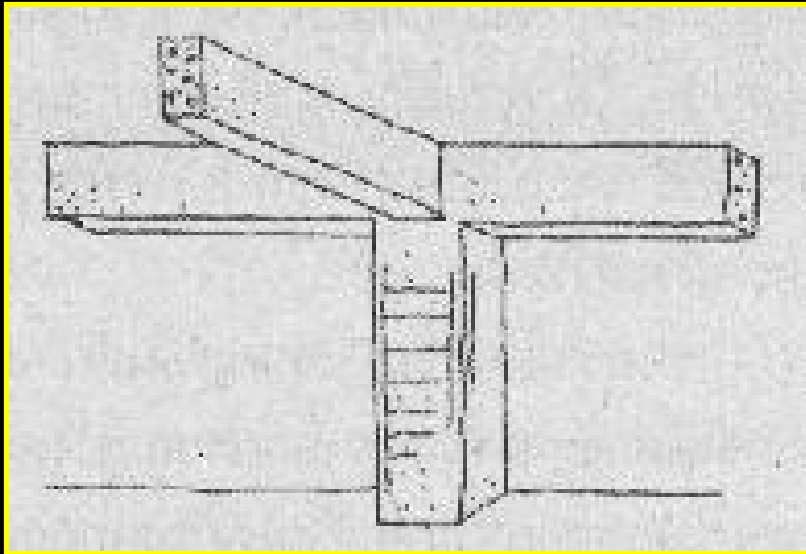
- รอยปริแตกจะเริ่มเกิดเป็นคู่ๆ ที่ขอบ
คนละด้านของเสา



- การวิบัติของเสากลมและเสาเหลี่ยม จะ
เกิดขึ้นทันทีหลังจากคอนกรีตหุ้มเหล็ก
เสริมกะเทาะออก



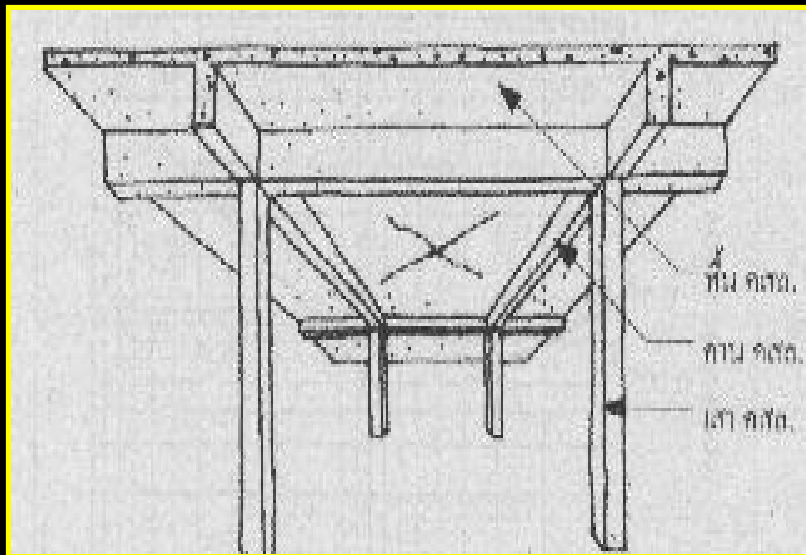
● รอยร้าว เนื่องจากเหล็กเสริมเป็นสนิม



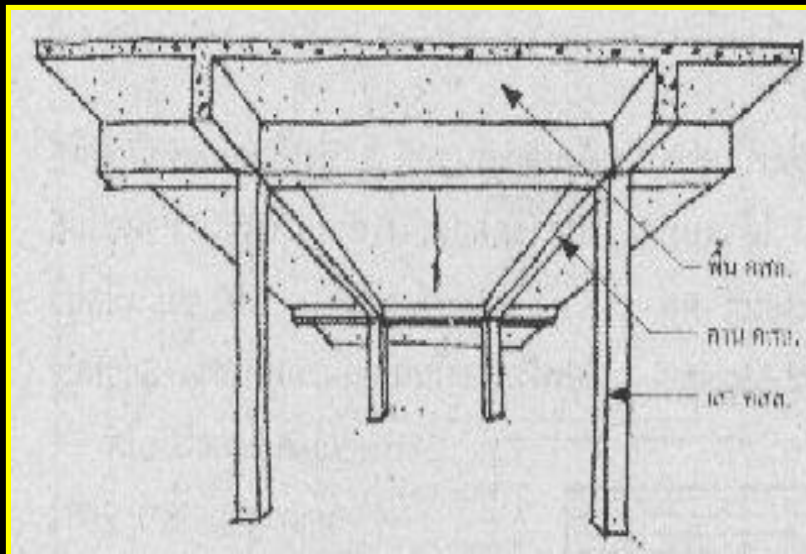
● รอยร้าว เนื่องจากเหล็กเสริมเป็นสนิม

■ รอยร้าวที่พื้นคอนกรีต

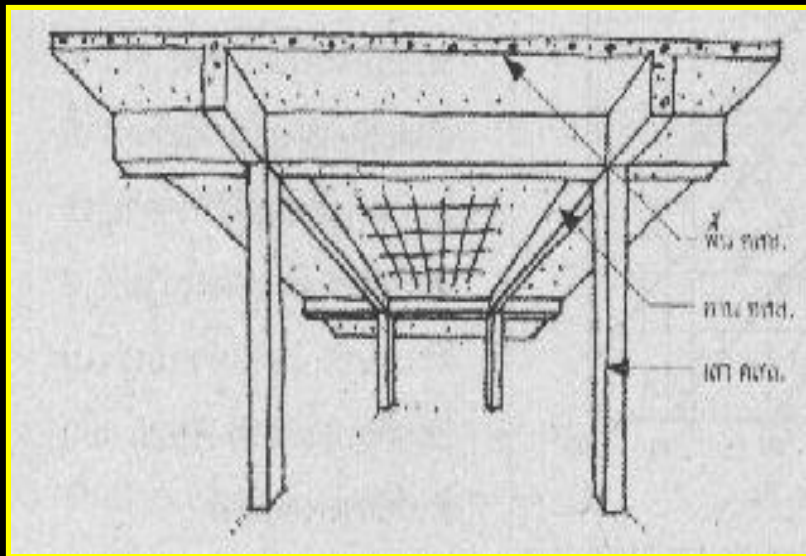
รอยแตกร้าวที่พื้นมักจะพบเห็นได้ง่ายและทำให้เจ้าของอาคารกังวลมากกว่าอาคารของตนเอง จะทรุดพังทลายหรือไม่ โดยความเป็นจริงรอยแตกร้าวจำนวนมากเป็นเพียงรอยแตกร้าวที่ผิวของวัสดุปูพื้น หรือวัสดุตกแต่งพื้น สำหรับรอยแตกร้าวที่พื้น นั้นเฉพาะพื้นที่เป็นลักษณะโครงสร้างเท่านั้น กล่าวคือ เป็นพื้นซึ่งมีคานรองรับ ไม่รวมถึงพื้นซึ่งวางบนดิน เช่น พื้นที่จอดรถ หรือพื้นอาคารชั้นล่าง ซึ่งโดยส่วนมากจะเป็นพื้นวางบนดินไม่มีโครงสร้างคาน หรือเสาเข็มรองรับอยู่ ซึ่งการเกิดรอยแตกในพื้นวางบนดินเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติอยู่แล้ว



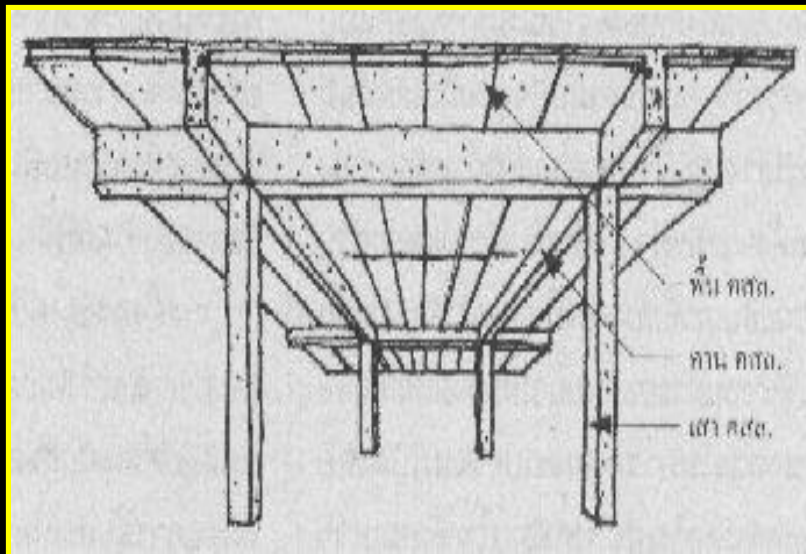
- รอยร้าวใต้ท้องพื้นรูปกากบาทในแนว
ทะแยงมุม



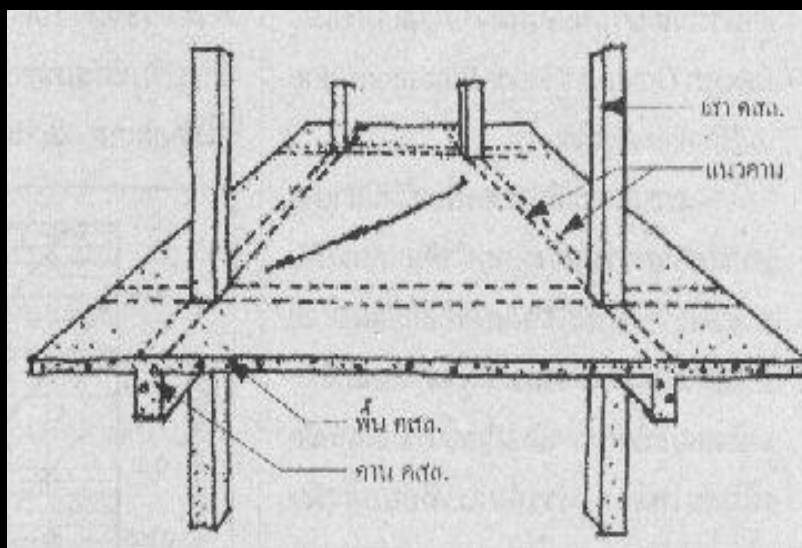
- รอยร้าวใต้ท้องพื้นบริเวณกึ่งกลาง
ขนานกับแนวกานด้านยาว



- รอยรั่วหรือรอยสนิมเหล็กที่ใต้ท้อง
พื้นเป็นตาราง



- รอยรั่วที่ บริเวณกึ่งกลางใต้ท้องพื้น
เป็นแนวขวางกับแผ่นคอนกรีตสำเร็จ
รูป



● รอยร้าวทะแยงมุมที่ผิวบนของพื้น
เนื่องจากทรุดตัวของเสาหรือฐานราก



3. การทดสอบความแข็งแรง ความสมบูรณ์ และการเสื่อมสภาพ ของโครงสร้าง โดยใช้เครื่องมือทดสอบ

- การทดสอบเพื่อประเมินค่ากำลังอัดสูงสุด (f_c')
- การทดสอบเพื่อประเมินค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดของเหล็กเสริม (f_y)
- การทดสอบสภาพความสมบูรณ์ของเนื้อคอนกรีต
- การตรวจสอบรายละเอียด ตำแหน่ง ขนาดและจำนวนของเหล็กเสริม
- การตรวจสอบระดับความเสียหายต่อการผุกร่อนเป็นสนิมของเหล็กเสริม

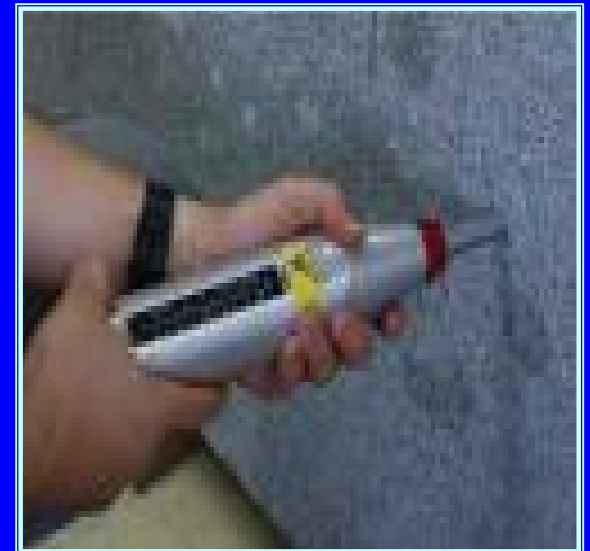
การทดสอบเพื่อประเมินค่ากำลังอัดสูงสุด (f_c')

- Rebound Hammer (Schmidt)
- Cut And Pull Out (CAPO)
- การเจาะเก็บแท่งตัวอย่าง Core Sampling

Rebound Hammer (Schmidt's)

การทดสอบ Rebound Hammer Test หรือ Schmidt's Hammer Test เป็นการทดสอบหาค่ากำลังอัดสูงสุดที่ผิวคอนกรีตแบบไม่ทำลาย เป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว เหมาะสำหรับการตรวจสอบในเบื้องต้น

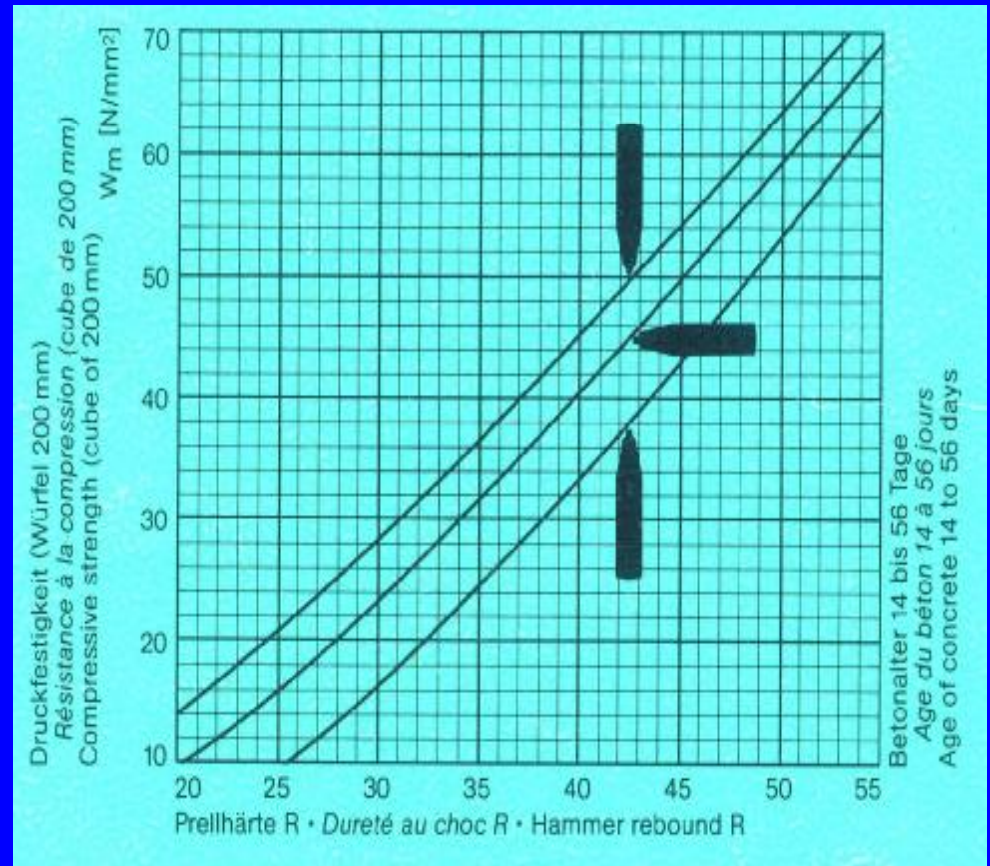
โดยอาศัยหลักการวัดค่าดัชนีสะท้อนกลับที่เกิดจากการกระดอนทดสอบลงบนผิวคอนกรีต ถ้าผิวคอนกรีตที่มีความแข็งมากจะมีค่าดัชนีสะท้อนกลับสูง ซึ่ง ผลทดสอบได้มาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีสะท้อนกลับเป็น ค่ากำลังอัด ตามมาตรฐาน **ASTM C805** และ **BS 1881 Part 202**



วิธีการทดสอบ

- เลือกพื้นที่ทดสอบ แล้วสกัดพื้นผิวคอนกรีตให้เรียบร้อย
- แบ่งพื้นที่ทดสอบให้เป็นตารางจำนวน 16 จุด และห่างกันอย่างน้อย 2.5 cm.
- นำเครื่องทดสอบกดลงบนผิวคอนกรีตพร้อมบันทึกค่าดัชนีสะท้อนกลับและมุมทดสอบ (แนวนอน, แนวตั้งแบบยิงขึ้น, แนวตั้งแบบยิงลง)
- นำค่าทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย และนำค่าดังกล่าวมาหาค่ากำลังอัดคอนกรีตจากกราฟในการปรับแก้





กราฟตัวอย่างการแปรผลจากผู้ผลิต
และเครื่อง Calibrate

Cut And Pull Out (CAPO)

การทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตโดยวิธี Cut And Pull Out (CAPO) เป็นการทดสอบในที่ (In-Situ) โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการดึงแหวน (พุก) เหล็ก (Steel Ring) ที่ฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีตกับค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต เครื่องมือทดสอบนี้ได้ออกแบบให้มีรูปทรงเฉพาะเพื่อหาค่าของแรงที่ใช้ในการดึงแหวนเหล็กออกจากเนื้อคอนกรีต ตามมาตรฐาน **ASTM C900-99**



1



2



3



4



5



6

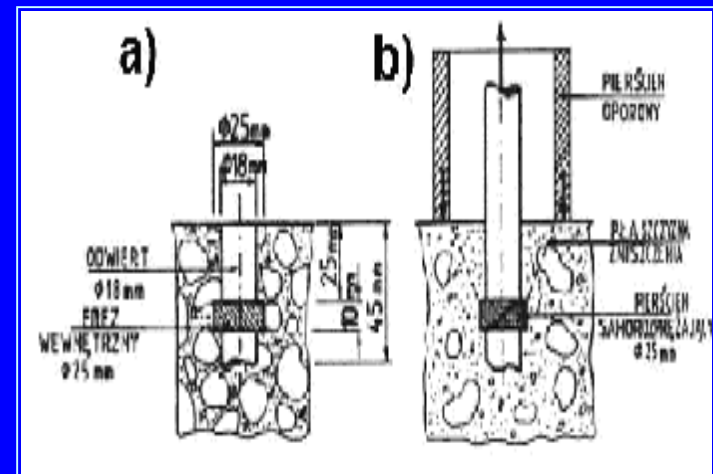


ค่าแรงถอนสูงสุดจะถูกนำมาแปลงผลเป็นค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต โดยอาศัยความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งความสัมพันธ์นี้เป็นค่าแนะนำตามมาตรฐานของ Danish Standard DS 423.23

$$f'_c = (F_u - 1.00)/0.96 \quad \text{สำหรับค่า } 2 \text{ kN} < F_u < 25 \text{ kN}$$

$$f'_c = (F_u - 5.00)/0.80 \quad \text{สำหรับค่า } 25 \text{ kN} < F_u < 60 \text{ kN}$$

โดยที่ค่า F_u เป็นค่าแรงถอนสูงสุดมีหน่วยเป็น kN และ f'_c เป็นค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานขนาด ϕ 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร ในหน่วย MPa วิธีการทดสอบนี้มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 6% (+/-)



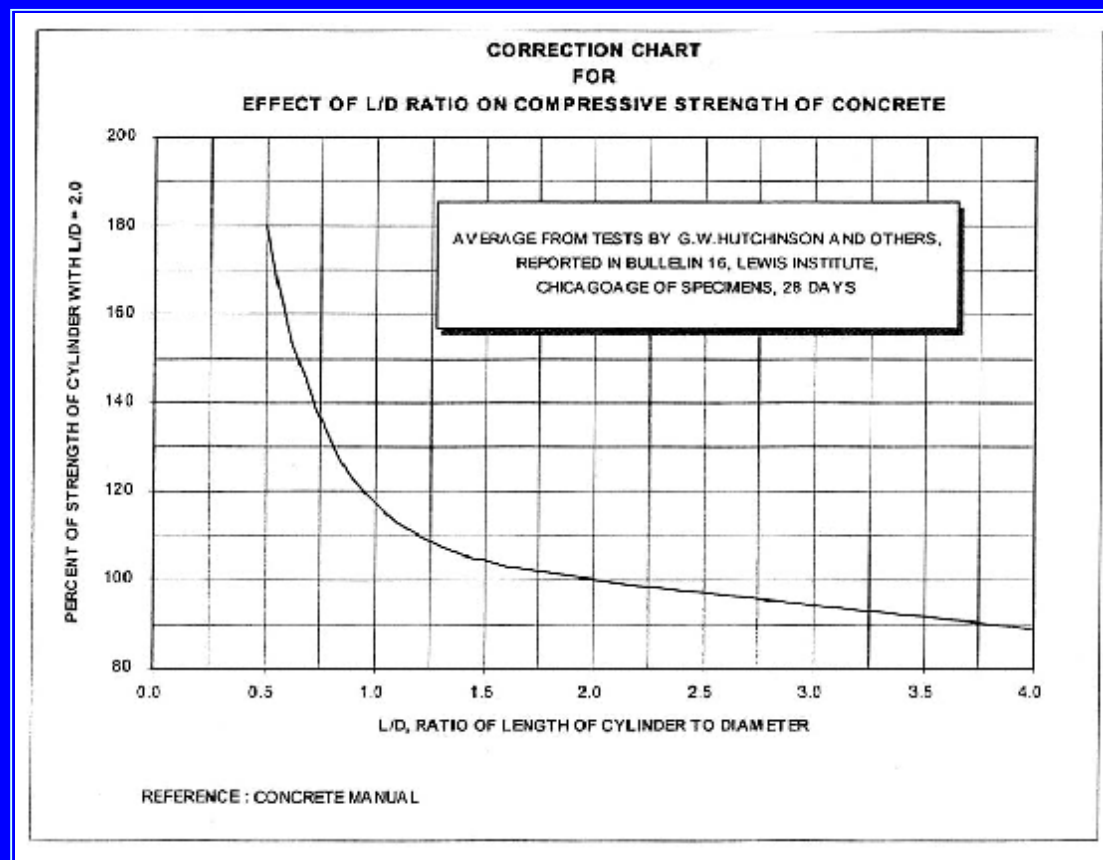
การเจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีต (Core Sampling)

คุณภาพของคอนกรีตที่ก่อสร้างแล้วเสร็จสามารถประเมินได้โดยตรงด้วยการเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีต จากตำแหน่งที่ต้องการหรือสงสัย มา **ตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ทางกายภาพ (Visual Inspection)** และทดสอบหาค่ากำลังอัดสูงสุด ด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด ตามมาตรฐาน ASTM C39 และ ASTM C42

แท่งทดสอบมีขนาด **๘** ไม่น้อยกว่า **3** เท่าของขนาดมวลรวมหยาบที่ใหญ่ที่สุด แต่ต้องไม่เล็กกว่า **2 นิ้ว (50 mm.)**

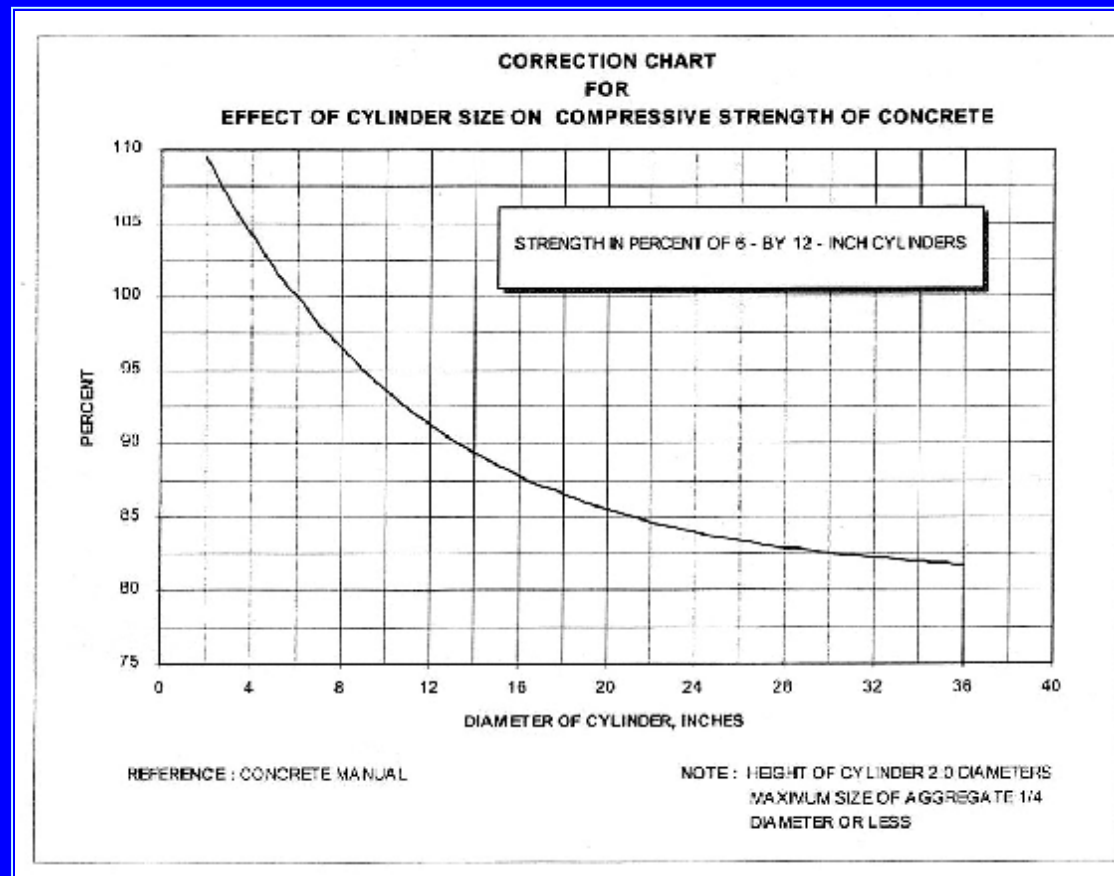


แท่งตัวอย่างคอนกรีตควรมีอัตราส่วนความยาว (L) ต่อ ϕ (D) หรือ L:D Ratio ประมาณ 2:1 ในกรณีที่ L:D Ratio แตกต่างออกไปต้องปรับแก้ค่ากำลังอัดทดสอบด้วยค่าปรับแก้ (Correction Factor) ตามคำแนะนำของ ASTM C42 หรือกราฟความสัมพันธ์



กราฟปรับแก้
L/D ratio

เนื่องจากแท่งตัวอย่างมีขนาดเล็กกว่ามาตรฐาน 15x30 cm. จึงควรปรับแก้
ขนาดที่แตกต่างดังกล่าวตามกราฟความลัมพันธ์



กราฟปรับแก้
Standard Sample
15x30 cm.

ควรเจาะเก็บแท่งคอนกรีตอย่างน้อย 3
ตัวอย่างจากตำแหน่งองค์อาคารเดียว
กัน

ผลการทดสอบพิจารณาค่ากำลังอัดของ
แต่ละแท่งตัวอย่างต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ
75 ของค่ากำลังอัดสูงสุดที่กำหนดไว้
และค่าเฉลี่ยจาก 3 แท่งตัวอย่างต้องไม่
ต่ำกว่าร้อยละ 85 (ACI 318)



วิธีการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีต

- กำหนดจุดในการเจาะเก็บแท่งตัวอย่างแล้วตรวจสอบ ตำแหน่งเหล็กเสริมให้ชัดเจน
- ทำการยึดแท่นเครื่องเจาะ เพื่อป้องกันการแกว่งขณะทำงาน
- ต่อสายยางจากปั๊มเข้าเครื่อง จึงเริ่มเจาะ ในขณะทำงานต้องมีย้ำหล่อเลี้ยงเพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดจากการเสียดสี
- เมื่อได้ตัวอย่างแท่งคอนกรีต แล้วให้ทำการบันทึก ขนาด ความยาว และสภาพของวัสดุผสม



วิธีการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีต (ต่อ)

- นำมาทำความสะอาดและห่อพลาสติก



วิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัด

- ตัดแท่งตัวอย่างคอนกรีตให้เรียบ
เหลือเฉพาะส่วนที่รับกำลัง และเก็บ
บันทึกค่าความสูง ขนาดและเส้นผ่า
ศูนย์กลาง
- ทำการเคลือบหัวคอนกรีตให้เรียบ
ด้วยกัมมะถัน
- ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด ด้วย
เครื่องทดสอบกำลังอัด โดยเพิ่มกำลัง
ขึ้นเรื่อย ๆ ด้วยอัตราคงที่
- กดตัวอย่างแท่งคอนกรีตจนพัง แล้ว
บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุด



วิธีการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีต (ต่อ)

- ในกรณีที่ค่า L:D Ratio น้อยกว่า 2 จะต้องปรับลดค่ากำลังรับแรงอัด



การทดสอบเพื่อประเมินค่ากำลังรับแรงดึงสูง สุดของเหล็กเสริม (f_y)

- การตัดแท่งตัวอย่างจากองค์อาคาร Specimen Sampling
- Hardness Test

การตัดแท่งตัวอย่างจากองค์อาคาร (Specimen Sampling)

เป็นการสุ่มตัดแท่งตัวอย่างเหล็กเสริมในการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงดึง (Tensile Strength, f_y) โดยตรง ตามมาตรฐาน **ASTM A370** แท่งตัวอย่างที่ตัดจากองค์อาคารควรนำมาจากส่วนที่มีแรงเค้นต่ำ (Stress) ต่ำสุดและไม่ควรนำแท่งตัวอย่างมาจากองค์อาคารเดียวกัน ขนาดความยาวไม่ควรสั้นกว่า 40 cm. และควรสุ่มจากเหล็กเสริมหลัก (Main Steel) ในสัดส่วนที่มากกว่า Stirrup หรือ Tie Bar



การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นการทดสอบแบบทำลาย (Destructive Test) และทำให้โครงสร้างอาคารได้รับความเสียหาย จึงไม่นิยมทำการทดสอบด้วยวิธีการนี้เป็นจำนวนมาก แต่จะทำการทดสอบเท่าที่จำเป็นเพื่อเป็นข้อมูลในการสอบเทียบกับวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายอื่น ๆ



Hardness Test

เป็นการทดสอบประเมินค่าความแข็ง (Hardness Test) ของผิวเหล็กเสริม มีลักษณะการทำงานโดยปล่อยหัวทดสอบรูปทรงกลม ให้กระแทกกับผิวเหล็กเสริมที่ต้องการทดสอบ ด้วยแรงดันสูงจากสปริงภายในเครื่องมือทดสอบ **ความเร็วในการกระแทกและการสะท้อนกลับ (Impact และ Rebound Hammer)** จะถูกตรวจวัดด้วยความละเอียด จากค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นขณะที่หัวทดสอบเคลื่อนที่ผ่านแม่เหล็กแล้วนำมาแปรผลเป็นค่าดัชนีความแข็งของผิวเหล็ก



วิธีการทดสอบ

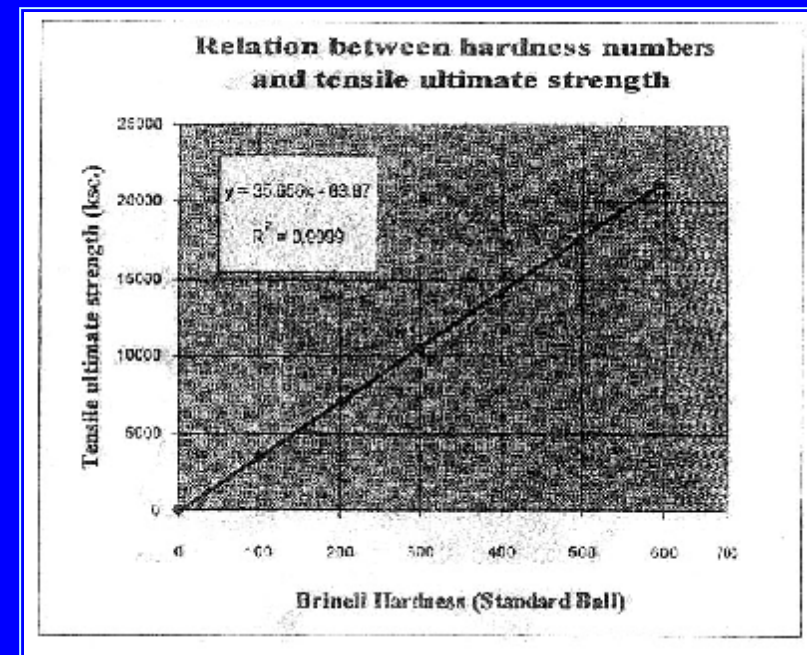
- กำหนดตำแหน่งเหล็กเสริมด้วยเครื่อง Ferro Scan ก่อน
- ตรวจสอบค่ามาตรฐาน
- เจาะผิวคอนกรีตด้วยสว่านไฟฟ้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16-20 mm. จนถึงตำแหน่งเหล็กเสริม
- ทำความสะอาดผิวเหล็กให้สะอาด
- ทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้งต่อจุด แล้วนำค่าเฉลี่ยดังกล่าวไปใช้งาน และควรทำอย่างน้อย 6 จุดต่อเหล็กเสริมขนาดหนึ่ง ๆ พึงหลีกเลี่ยงการทดสอบในองค์อาคารเดียวกัน



ตามสเกลมาตรฐานของ Leeb หรือ Brinell จากค่าความแข็งที่วัดได้นำมาประมาณ ค่ากำลังดึง (Tensile Strength) ของเนื้อโลหะต่อไป

เป็นไปตามมาตรฐาน **ASTM A956** “Standard Test Methods for Leeb Hardness Testing of Steel Products”

พบว่าค่าดัชนีความแข็งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่ากำลังดึงสูงสุด (Tensile Strength), f_y ดังตัวอย่างกราฟ แต่อย่างไรก็ตามยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและส่วนผสมของเหล็กเสริมการนำไปใช้งานควรทำสอบเทียบ



การทดสอบสภาพความสมบูรณ์ของเนื้อคอนกรีต

- Ultrasonic Pulse Velocity
- Impact Echo Test

Ultrasonic Pulse Velocity

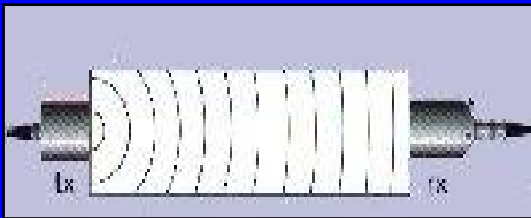
เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive testing method) สามารถใช้กับโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่ และทราบผลการทดสอบได้รวดเร็ว ด้วยหลักการบันทึกเวลาที่คลื่นความถี่สูงเดินทางจากตัวส่งคลื่น (Transmitting Transducer : Tx) ผ่านเนื้อตัวกลาง คือคอนกรีต ไปยังตัวรับคลื่น (Receiving Transducer : Rx) เพื่อวิเคราะห์สภาพของเนื้อคอนกรีต โดยเปรียบเทียบจากความเร็วคลื่นระหว่างบริเวณที่คอนกรีตมีความต่อเนื่องกับบริเวณที่คอนกรีตมีความเสียหายภายใน



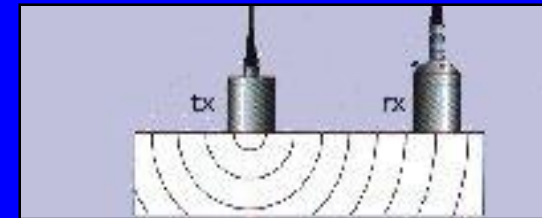
ความเร็วคลื่น (Pulse Velocity) คำนวณจากสัดส่วนของระยะทางระหว่างตัวส่งคลื่นและตัวรับคลื่น กับ ระยะเวลาที่คลื่นใช้เดินทางผ่านตัวกลาง โดยที่

$$\text{ความเร็วคลื่น} = \frac{\text{ระยะทาง}}{\text{เวลาที่ใช้}}$$

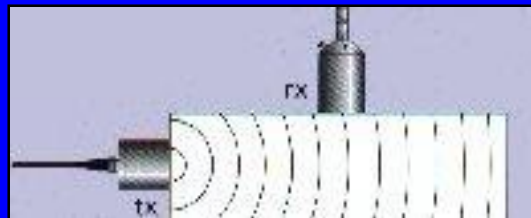
ตามมาตรฐานของ **ASTM C597-97** ซึ่งสามารถทำได้ 3 รูปแบบดังนี้



(1) ทิศทางตรง (Direct Transmission)



(3) ทิศทางขนาน
(In-direct Transmission)



(2) ทิศทางตั้งฉาก (Semi-direct Transmission)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเร็วคลื่นในตำแหน่ง
ทดสอบต่างๆ ซึ่งโดยปกติแล้วในคอนกรีตที่มี
ความต่อเนื่อง ความเร็วคลื่นจะมีค่าประมาณ
3,600 เมตร/วินาทีขึ้นไป

กรณีเนื้อคอนกรีตไม่สมบูรณ์ เช่น รอยแตก
หรือโพรง, เนื้อคอนกรีตไม่แน่นหรือร่วน, หรือ
มีการแยกชั้น คลื่นความถี่สูงที่ส่งผ่านเข้าไปจะ
ใช้ระยะเวลาเดินทางไปยังตัวรับสัญญาณมาก
ขึ้น และเมื่อคำนวณค่าความเร็วคลื่นจะทำให้ได้
ค่าลดลง



เกณฑ์การพิจารณาข้อบกพร่องในเนื้อคอนกรีต ค่าความเร็วคลื่น (ม./วินาที)

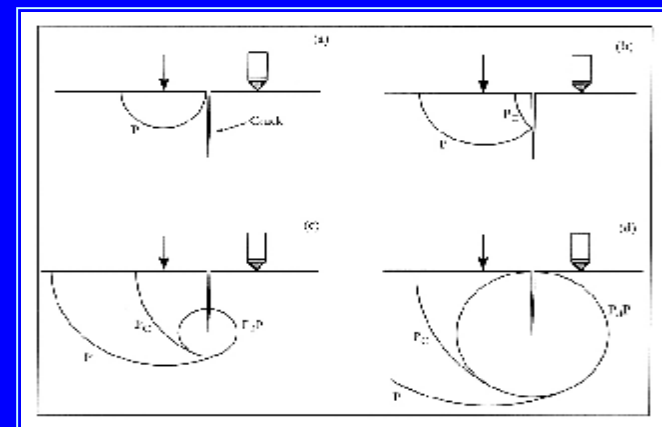
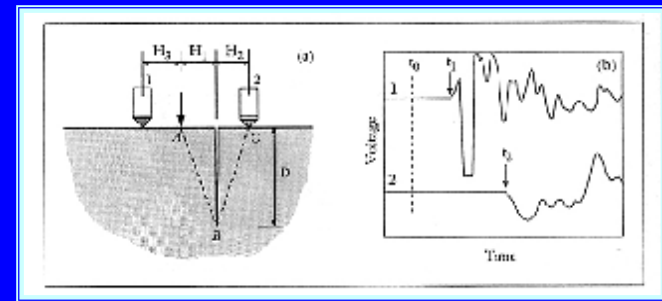
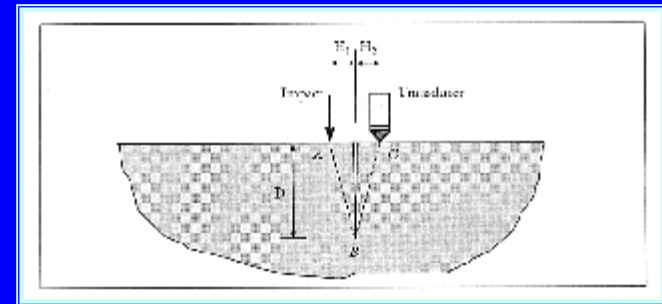
มากกว่า 4,000	หมายถึง สภาพคอนกรีตมีความสมบูรณ์ปกติ
ระหว่าง 3,600-4,000	หมายถึง สภาพคอนกรีตบกพร่องเล็กน้อย
น้อยกว่า 3,600	หมายถึง สภาพคอนกรีตบกพร่อง

Impact Echo

การตรวจสอบโครงสร้างโดยวิธี Impact Echo ใช้หลักการส่งคลื่นผ่านตัวกลาง และการสะท้อนกลับของคลื่นในการตรวจสอบความสมบูรณ์ของโครงสร้างสามารถใช้ตรวจหารอยแตก โพรงอากาศ ความไม่ต่อเนื่อง ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้จากการตรวจสอบด้วยสายตา และสามารถหาค่าความหนาของโครงสร้างคอนกรีตได้ เช่นในกรณีของโครงสร้างที่อยู่ติดกับผิวดิน ซึ่งไม่สามารถตรวจวัดความหนาโดยวิธีปกติได้



จากการสร้างคลื่นตกกระทบที่ผิวของวัสดุที่ต้องการทดสอบ ซึ่งจะทำให้เกิดการถ่ายทอดพลังงานในรูปของคลื่นภายในเนื้อตัวกลาง และสะท้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของตัวกลาง เช่น ผิวของวัสดุอีกด้าน, รอยแตก, โพรงอากาศ, หรือเนื้อคอนกรีตไม่แน่น **คลื่นที่สะท้อนกลับจะถูกบันทึกในรูปของสัญญาณความถี่** ซึ่งสามารถคำนวณเป็นระยะทางจากผิวที่คลื่นเดินทางและสะท้อนกลับได้ ทำให้เราทราบถึงระยะความหนาของโครงสร้างหรือระยะที่เกิดรอยแตกหรือโพรงภายในเนื้อตัวกลางได้



1



2



3



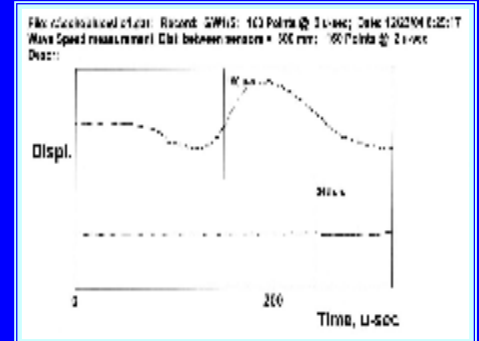
4



5



6



การตรวจสอบรายละเอียด ตำแหน่ง ขนาด และจำนวนของเหล็กเสริม

- **Ferro Scan (CM9)**

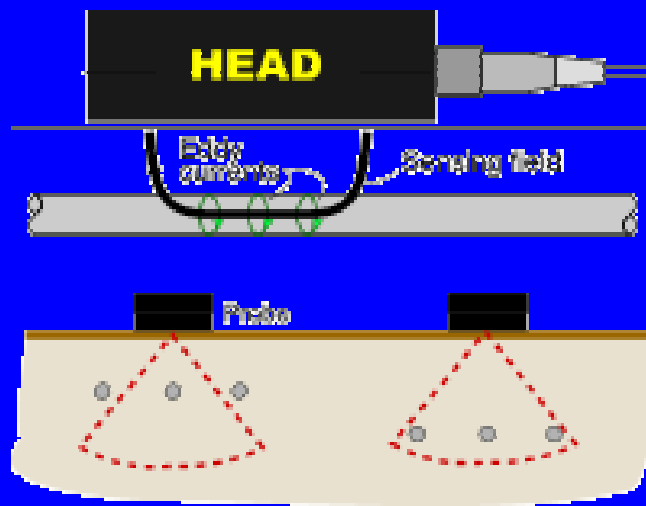
Ferro Scan (CM9)

เป็นเครื่องมือตรวจวัดตำแหน่ง ขนาด และความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Covermeters - CM9) อาศัยหลักการที่เหล็กเสริมซึ่งอยู่ในเนื้อคอนกรีตจะมีผลกระทบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสนามแม่เหล็กที่เครื่องทดสอบสร้างขึ้น เมื่อนำหัวทดสอบลากผ่านบนผิวคอนกรีต ซึ่งจะมีเสียงดังมากขึ้นเมื่อใกล้เหล็กเสริมและเสียงดังมากที่สุดเมื่ออยู่ตรงกับตำแหน่งเหล็กเสริมพอดี เครื่องมือดังกล่าวสามารถระบุความลึก และขนาดของเหล็กเสริมโดยประมาณ



ข้อจำกัดของการหาตำแหน่งของเหล็กเสริมได้ที่ความลึกไม่เกิน 175-200 mm.
และไม่สามารถใช้งานได้กับองค์อาคารที่มีเหล็กเสริมจำนวนมาก, เหล็กเสริมอยู่
ติดกัน หรือมีการเสริมเหล็กหลายชั้น

การตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัด
ความหนาคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม
เป็นไปตามมาตรฐาน **BS 1881:
Part 204 1992**



การตรวจสอบระดับความเสียหายต่อการผุกร่อนเป็นสนิมของเหล็กเสริม

- Corrosion Mapping
- Chloride Content Test
- Carbonation Test

Corrosion Mapping

การตรวจวัดความผูกเรือนของเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีต โดยอาศัยหลักการตรวจวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างเหล็กเสริมและผิวคอนกรีตในการตรวจสอบสนิมและการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตที่กำลังดำเนินการอยู่ ผลการทดสอบถูกแสดงด้วยสีที่แตกต่างกันของเส้นชั้นความต่างศักย์ไฟฟ้า (Potential Contour) ซึ่งแสดงถึงความเลี่ยนมากน้อยที่จะเกิดสนิมและการกัดกร่อนของเหล็กเสริม



การตรวจวัดความผุกร่อนของเหล็กเสริมโครงสร้างคอนกรีตเป็นไปตามมาตรฐาน **ASTM C876-80**, “Standard Practice for Measuring Potentials for Evaluation of the Risks of Corrosion of Rebars”

ผลการทดสอบซึ่งแสดงด้วยสีที่แตกต่างกันของเส้นชั้นความต่างศักย์ไฟฟ้า (Potential Contour) แสดงถึงความเสี่ยงมากน้อยที่จะเกิดสนิมและการกัดกร่อนของเหล็กเสริมโดยอาศัยหลักเกณฑ์ในตาราง



เกณฑ์การเกิดสนิมและการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีต

ระดับ	สี	ความต่างศักย์ (mV)	ความเสี่ยงสำหรับเกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริม
1.	เขียวอ่อน	$> +50$	คอนกรีตอยู่ในสภาพสมบูรณ์มาก
2.	เขียว	$+50$ ถึง -100	คอนกรีตอยู่ในสภาพสมบูรณ์ดี และ แนวโน้มการกัดกร่อนของเหล็กเสริมต่ำมาก
3.	น้ำเงิน	-100 ถึง -225	เกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้เมื่อมีสภาพแวดล้อมอันตราย
4.	ดำ	-225 ถึง -400	เริ่มมีการกัดกร่อนเหล็กเสริมแล้ว มีการออกซิเดชันของไอออนระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม
5.	แดง	-400 ถึง -650	เหล็กเสริมถูกกัดกร่อนพร้อมกับการละลายของชั้นผิวเหล็ก (Reinforcing Steel Film)
6.	เหลือง	-650 ถึง -900	เหล็กเสริมถูกกัดกร่อนมากจนทำให้พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมลดลง

Potential reading of Corrosion Mapping

Results of Potential Reading (mV)

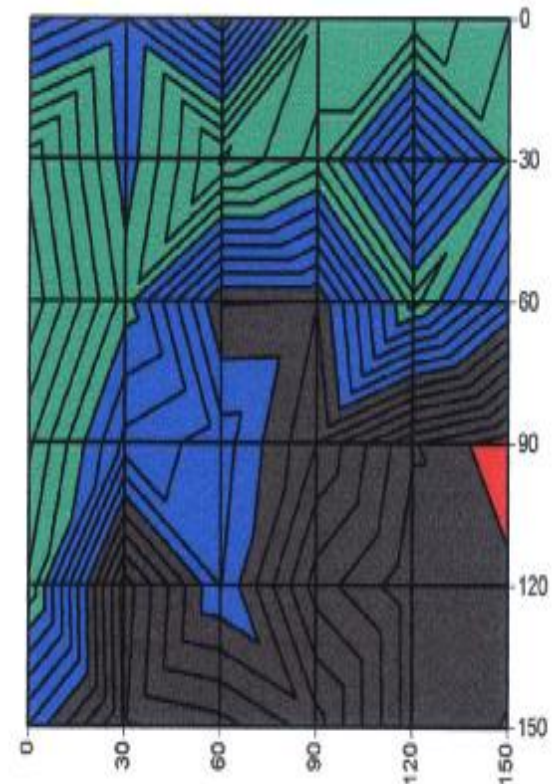
Horizontal Distance

Grid (cm)	0	30	60	90	120	150
0	-190	-125	-349	-29	-29	-75
30	17	-114	5	-81	-228	-94
60	45	-87	-252	-249	-65	-195
90	-20	-158	-187	-275	-372	-419
120	-53	-399	-199	-337	-362	-363
150	-201	-328	-311	-263	-360	-401

Level of electrochemical reaction (mV CSE)

- Very good condition (+50)
- Good Condition (+50 to -100)
- Borderline between good condition and corrosion begin (-100 to -225)
- Corrosion begin (-225 to -400)
- Borderline (-400 to -650)
- Unacceptable (-650 to -900)

Potential Reading - mV : Gridline - cm.



Potential contour of corrosion Mapping for CM03

ตัวอย่างแสดงผลการทดสอบด้วยเครื่อง Corrosion Mapping

Chloride Content Test

การทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตใช้วิธี Rapid Chloride Test (RCT) อาศัยหลักการทางไฟฟ้าเคมีในการตรวจวัดปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ในผงตัวอย่างคอนกรีต การทดสอบจะใช้สารละลายเพื่อสกัดคลอไรด์ไอออนจากผงตัวอย่างคอนกรีต จากนั้นจะใช้ขั้วไฟฟ้าในการตรวจวัดปริมาณคลอไรด์ไอออนที่สกัดได้จากสารละลาย

ผลที่ได้จะแสดงในรูปร้อยละปริมาณคลอไรด์โดยน้ำหนักซีเมนต์



การวิเคราะห์ผลการทดสอบอาศัยหลัก
เกณฑ์ของสถาบันคอนกรีตอเมริกา
(ACI) [1] ซึ่งกำหนดปริมาณคลอไรด์ใน
คอนกรีตไว้ดังนี้

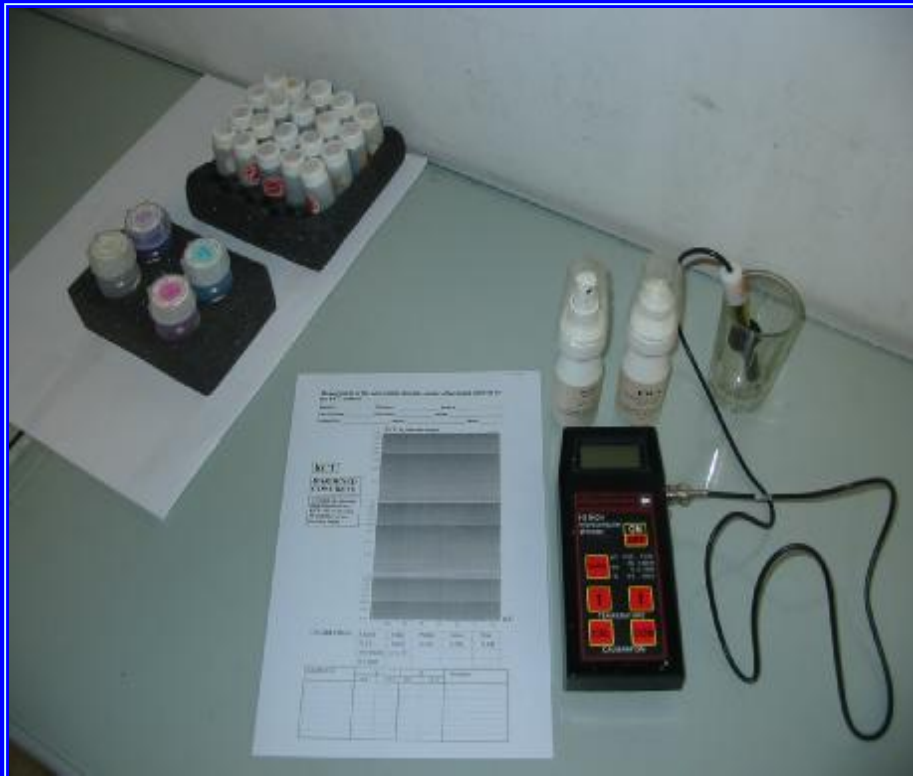
สำหรับโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง
(Prestress Concrete) ไม่เกิน ร้อยละ
0.08 ของน้ำหนักซีเมนต์

สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
ทั่วไป ไม่เกิน ร้อยละ 0.20 ของน้ำหนัก
ซีเมนต์โครงสร้างคอนกรีตที่มีปริมาณ
คลอไรด์สูงเกินกว่าค่าดังกล่าวจะ
มีความเสี่ยงต่อการเกิดสนิมของเหล็ก
เสริม



การตรวจวัดปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตโดยวิธี **Rapid Chloride Test** เป็นไปตามมาตรฐาน **ASTM C144-81**, “Standard Titration for Acid Soluble and Water Soluble Chloride Content in Concrete”

และมาตรฐาน **AASHTO T-260-93**, “Standard Method for Sampling and Testing for Total Chloride ion in Concrete and Concrete Raw Materials”



Carbonation Test

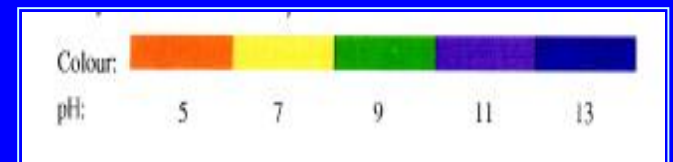
เป็นกระบวนการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ Acidic Gases อื่น ๆ ในอากาศแทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตแล้วทำปฏิกิริยากับ $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ ใน Cement Paste และ ความชื้นแล้วมีผลทำให้สภาพความเป็นด่างแก่ของเนื้อคอนกรีต ($\text{pH} > 12$) ลดลงเป็นด่างอ่อนหรือเป็นกลาง ($\text{pH} \sim 8$)

ขบวนการดังกล่าวจะเกิดที่บริเวณผิวคอนกรีตและค่อย ๆ แทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตจนถึงตำแหน่งของเหล็กเสริม หลังจากนั้น Passivity Film จะถูกทำลายแล้ว การผุกร่อนของเหล็กเสริมก็จะเริ่มขึ้น

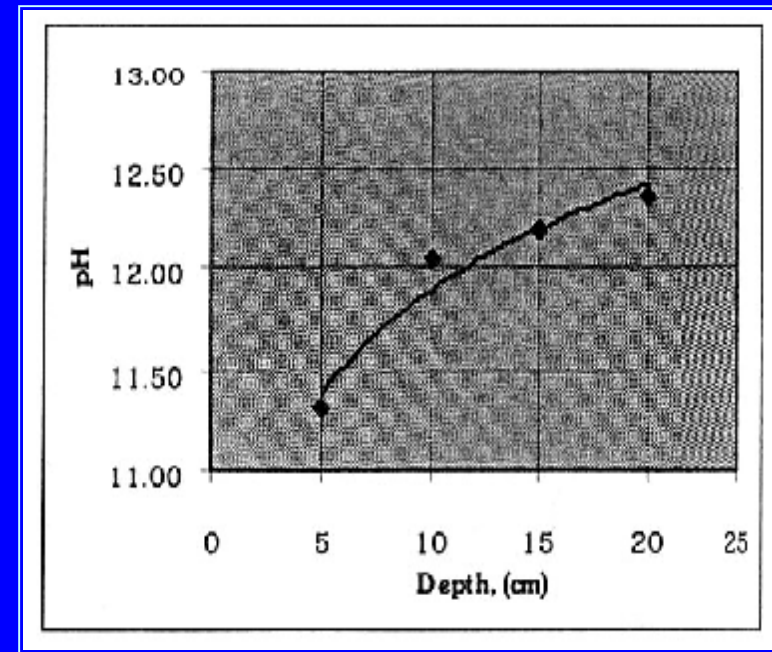


Carbonation ตรวจสอบได้ง่ายโดยการพ่นสารละลาย Phenolphthalein หรืออาจเจาะเก็บผงเนื้อคอนกรีตที่ระยะความลึกต่าง ๆ มาทดสอบหาค่า pH-value ในห้องปฏิบัติการ

โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตที่ดีจะมีค่าความเป็นด่าง (หรือค่า pH) ประมาณ 12 ถึง 13 เหล็กเสริมมีความเสี่ยงที่จะเกิดสนิมได้หากค่าความเป็นด่างของคอนกรีตลดลงหรือค่าความเป็นด่างของคอนกรีตอยู่ในต่ำระดับวิกฤติ คือ ค่า pH ต่ำกว่า 9 ถึง 10 โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากสภาพแวดล้อมมีปริมาณน้ำและออกซิเจนเพียงพอ



ค่าความลึกของขบวนการ
Carbonation หรือที่เรียกว่า
Carbonation Depth อาจนำมา
ใช้ประเมินอายุใช้งานของ
คอนกรีตที่เหลืออยู่ได้ในกรณีที่
ถือว่าอายุการใช้งานขององค์
อาคารจะหมดลงเมื่อเหล็กเสริม
เริ่มผุกร่อนเป็นสนิม



การตรวจสอบหาการเกิดปฏิกิริยา Carbonation โดยการวัดความเป็นด่าง เป็น
ไปตามมาตรฐานของสถาบัน มาตรฐานเครือจักรภพ (**British Standard
Institute**)

“Appendix A, Notes on Procedures for Soil Survey Test and
Observations and Their Interpretation”

ตารางสรุปรายละเอียดวิธีการทดสอบต่าง ๆ

จุดประสงค์	วิธีการทดสอบ	มาตรฐาน	ชนิดการทดสอบ			ความน่าเชื่อถือ ของผลการทดสอบ			ความสะดวก ในการทดสอบ			ค่าใช้จ่าย ในการทดสอบ		
			ทำลาย	กึ่งทำลาย	ไม่ทำลาย	สูง	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
ประเมินค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต	- Hammer Rebound Test	ASTM C805 BS 1881, Part 203			•			•	•					•
	- Pull - out Test (CAPO)	ASTM C900-99		•			•			•			•	
	- Coring	ASTM C42	•			•				•			•	
ตรวจสอบความสมบูรณ์ของเนื้อคอนกรีต	- Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPV)	ASTM C597			•	•			•					•
	- Impact Echo	-			•		•		•				•	
ตรวจสอบรอยละเหี่ยค ขนาดและตำแหน่งเหล็กเสริม	- Magnatic Test (Covermeter)	BS 1881, Part 204			•		•		•					•
ตรวจสอบการผุกร่อนของสนิมในเหล็กเสริม	- Half Cell Potential	ASTM C876 BS 1881, Part 201			•		•		•				•	
	- Chloride Content	ASTM C114			•	•				•				•
	- PH - value	-			•	•				•				•
ประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจริง	- Full Scale Load Test	ACI 318			•	•					•	•		
ประเมินค่า Yield Strenght ของเหล็กเสริม	- Tensile Test	ASTM A370	•			•					•		•	
	- Hardness Test	ASTM A956		•		•			•					•

4. การซ่อมแซมการซ่อมแซมโครงสร้างที่ได้รับความเสียหาย (เบื้องต้น)

- การซ่อมแซมความเสียหายสำหรับรอยแตกร้าวต่าง ๆ
- การซ่อมแซมความเสียหายสำหรับรอยแตกร้าว โดยการฉีดอัด Epoxy
- การซ่อมแซมความเสียหายโดยการฉาบซ่อม (Patching System)

การซ่อมแซมความเสียหายสำหรับรอยแตกร้าวต่าง ๆ

ใช้วิธีการฉาบซ่อมด้วย **Non-Shrink Mortar** ทำการสกัดปูนฉาบออกตามรอยที่แตกร่อนแล้ว ทำความสะอาดผิวที่สกัดออกให้สะอาด สกัดรอยร้าวให้กว้างขึ้น และลึกพอสมควร และร่องที่สกัด ควรตัดฉากลงไปหรือสกัดให้ผายข้างใน ทั้งนี้ เพื่อที่จะอัดปูนทรายารอยร้าวได้แน่นเต็มที่ หลังจากนั้นจึงฉาบ ซ่อมด้วยมอร์ต้าชนิดพิเศษ ที่ใช้สำหรับซ่อมแซมโครงสร้าง



การซ่อมแซมความเสียหาย สำหรับรอยแตกร้าว โดยการฉีดยึด Epoxy

กำหนดตำแหน่งคอนกรีตที่มีรอยร้าว

ทำการเจียรผิวรอยแตกร้าวของ
คอนกรีตเป็นรูปตัว V ความลึกประมาณ
5-10 มิลลิเมตร

ทำความสะอาด และร่องตัว V ที่ได้
เตรียมไว้โดยการใช้ลมเป่า

ฉีดย่อยร้าวตามร่องที่ทำการเจียรไว้ตาม
ข้อ 2 และรอบ Injection Tube ด้วย
Epoxy



การซ่อมแซมความเสียหาย สำหรับรอยแตกร้าว โดยการฉีดอัด Epoxy

Adhesive Mortar เพื่อป้องกันน้ำยารั่ว
ออกในระหว่าง การอัดน้ำยาด้วยแรงดัน

เมื่อวัสดุที่ฉีดไว้ในขั้นตอนที่ 4 แข็งแรง
ตัวดีแล้ว จึงทำการ Injection ด้วยอีพ็อกซี่
ซึ่งมีความหนืดต่ำ (Low Viscosity
Epoxy Resin) จากปลายด้านใดด้านหนึ่ง
ของรอยแตกร้าว อัดน้ำยาที่จุดแรก แล้ว
เปลี่ยนไปอัดน้ำยา ณ จุดที่ 2 ทำการอัดน้ำ
ยาด้วยกรรมวิธีนี้ซ้ำกันทุก ๆ จุดที่ฝัง
Injection Tube จนน้ำยาแทรกเข้าไปเต็ม
ทั่วรอยแตกร้าว



การซ่อมแซมความเสียหายโดยการฉาบซ่อม (Patching System)

ทำการสกัดคอนกรีตที่เสียหายออกให้หมด จนถึงคอนกรีตเนื้อดี

ทำความสะอาดผิวหน้าคอนกรีตที่ได้สกัดไว้ด้วยน้ำสะอาด เพื่อขจัดคลอรีนที่ผิวหน้า คอนกรีตที่ถูกสกัดจะต้องทำความสะอาดให้ปราศจากเศษชิ้นส่วนคอนกรีต ฝุ่น น้ำมันหรือเศษวัสดุอื่น ๆ

ทาผิวคอนกรีตเก่าและเหล็กเสริมด้วยน้ำยาประสานคอนกรีตเก่าและใหม่



การซ่อมแซมความเสียหายโดยการฉาบซ่อม (Patching System)

ฉาบหรือเทซ่อมด้วยคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำหรือวัสดุที่ใช้สำหรับฉาบซ่อม (Repair mortar) ที่มีความแข็งแรงสูง

ทำการป้องกันผิวคอนกรีตด้วยวัสดุเคลือบผิว



จบการบรรยาย ขอขอบคุณครับ

Tel : 02-676-3790-7 Ext.29 ; e-mail : thovadeek@halcrow.com