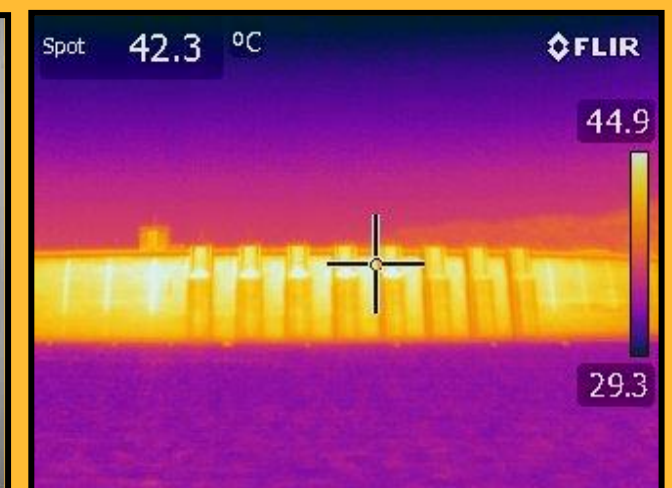




สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร
กรมโยธาธิการและผังเมือง
ถ.พระรามที่ 6 แขวงพญาไท
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร. 0-2299-4321 โทรสาร 0-2299-4321

มยพ. 1902-62

มาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม
และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่า
และโครงสร้างอาคารที่เสียหาย



กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย



มาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรง
โครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย

มยพ. 1902-62
กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย

มาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่า
และโครงสร้างอาคารที่เสียหาย/กรมโยธาธิการและผังเมือง

1. มาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่า
และโครงสร้างอาคารที่เสียหาย

ISBN 978-974-458-666-7

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537

โดยสำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

กรมโยธาธิการและผังเมือง

ถนนพระราม 6 แขวงพญาไท

เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

โทร. 0-2299-4321 โทรสาร 0-2299-4321

พิมพ์ที่ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง

อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2562 จำนวน 1,000 เล่ม

คำนำ

ปัจจุบันอาคารที่ก่อสร้างแล้วเสร็จและมีอายุการใช้งานเป็นเวลานาน และอาคารที่ก่อสร้างไม่แล้วเสร็จ และถูกปล่อยทิ้งร้าง เนื่องจากได้รับผลกระทบจากปัญหาเศรษฐกิจ รวมไปถึงอาคารที่ประสบอุบัติเหตุ หรือภัยธรรมชาติต่าง ๆ เช่น อัคคีภัย วาตภัย และอุทกภัย อาจมีโครงสร้างที่ได้รับความเสียหายจากการเสื่อมสภาพ หรือความเสียหายของวัสดุ หรือปัญหาการทรุดตัว การแอ่นตัว การแตกร้าว การผุกร่อน ความเสียหาย จากเหตุเพลิงไหม้ตลอดจนปัญหาการปรับปรุงอาคารอันเนื่องมาจากการดัดแปลงหรือการเปลี่ยนการใช้ ซึ่งอาคารดังกล่าวมีความจำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบ และประเมินความเสียหาย แต่เนื่องจากปัจจุบัน ยังไม่มีมาตรฐานหรือหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนในการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคง แข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหายที่ชัดเจน กรมโยธาธิการและผังเมือง จึงได้จัดทำมาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่า และโครงสร้างอาคารที่เสียหาย (มยผ. 1902-62) เพื่อให้มีมาตรฐานในการปฏิบัติเป็นไปตามมาตรฐานสากล

กรมโยธาธิการและผังเมืองหวังเป็นอย่างยิ่งว่ามาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย (มยผ. 1902-62) จะเป็นประโยชน์ต่อผู้นำมาตรฐานนี้ไปใช้ปฏิบัติเพื่อให้การตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหายเป็นไปอย่างเหมาะสมและถูกต้อง ตามหลักวิชาการ ซึ่งจะก่อให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิต และทรัพย์สินของประชาชนเพิ่มมากยิ่งขึ้น



(นายมนทล สูดประเสริฐ)

อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

บทนำ

เนื่องด้วยปัจจุบันมีการพบปัญหาความเสียหาย และการเสื่อมสภาพของโครงสร้างอาคารที่เกิดจากการก่อสร้างไม่แล้วเสร็จ การถูกทิ้งร้าง การรับแรงกระทำในลักษณะที่ไม่ได้ถูกออกแบบไว้ การทรุดตัว แอ่นตัว ปัญหาการแตกร้าว ภัยธรรมชาติ การเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน ความล้าของวัสดุ เพลิงไหม้ จำเป็นต้องได้รับการบำรุงรักษาอย่างถูกต้องเหมาะสม ซึ่งการบำรุงรักษาประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ตั้งแต่ การตรวจสอบ การประเมิน การเลือกวิธีการบำรุงรักษา และการบันทึกข้อมูล ปัจจุบันการดำเนินการบำรุงรักษา ยังไม่มีการกำหนดมาตรฐาน หรือแนวทางการดำเนินการที่ชัดเจนและครอบคลุม ทำให้การตรวจสอบ และประเมินความเสียหาย ตลอดจนการซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงโครงสร้างอาคารมีความหลากหลาย และมีโอกาสที่ไม่เป็นไปตามหลักการที่เหมาะสม ส่งผลต่อความปลอดภัยของชีวิต และทรัพย์สินของประชาชน นอกจากนี้เพื่อเป็นการเพิ่มความตระหนักรู้ต่อภาคส่วนต่างๆ ถึงความสำคัญของการบำรุงรักษาโครงสร้างอาคาร นอกจากเพิ่มความปลอดภัยของอาคารแล้ว ยังสามารถประหยัดงบประมาณและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงในอนาคตได้

การตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่า และโครงสร้างอาคารที่เสียหายจำเป็นต้องดำเนินการให้ได้มาตรฐาน สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร จึงได้รับมอบหมายจากกรมโยธาธิการและผังเมืองให้ดำเนินการจัดทำมาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่า และโครงสร้างอาคารที่เสียหาย

มาตรฐานฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นโดยการอ้างอิงเอกสารวิชาการ และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่า และอาคารที่เสียหาย ทั้งในประเทศ และต่างประเทศ เช่น มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง คู่มือการตรวจสอบและประเมิน ความสามารถเชิงโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย International Existing Building Code (2012), ACI 562-14: Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings, ASCE/SEI 11-99: Guideline for Structural Condition Assessment of Existing Buildings, EN 1504: Products and systems for the protection and repair of concrete structures, ACF (2004): Guidelines for maintenance and rehabilitation of concrete structures against chloride induced deterioration เนื้อหาของมาตรฐานฉบับนี้ได้อ้างอิงจาก มาตรฐานดังกล่าว ซึ่งเป็นที่ยอมรับในระดับประเทศ และระดับสากล อย่างไรก็ตามคณะทำงานได้จัดทำ มาตรฐานให้มีเนื้อหาเหมาะสมกับโครงสร้างอาคาร ลักษณะการปฏิบัติงาน รวมทั้งสภาพทางเศรษฐกิจ และสังคมในประเทศไทย อีกทั้งยังได้ปรับปรุงแก้ไขจากการรับฟังความคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิ

ของกรมโยธาธิการและผังเมือง และการรับฟังความคิดเห็นจากนักวิชาการ วิศวกร ผู้ที่เกี่ยวข้องจากภาคส่วนต่างๆ ผ่านการทำเทคนิคพิจารณา ซึ่งคณะทำงานขอขอบคุณอย่างยิ่งสำหรับข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันมีคุณค่ายิ่งจากผู้ที่เกี่ยวข้อง

คณะทำงานขอขอบคุณกรมโยธาธิการและผังเมืองที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงาน ขอขอบคุณคณะกรรมการกำกับดูแลการปฏิบัติงานของที่ปรึกษาสำหรับการอำนวยความสะดวกต่างๆ และขอขอบคุณคณะผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งประกอบด้วย รศ.เอนก ศิริพานิชกร ศ.ดร.ธัญวัฒน์ โพธิ์ศิริ รศ.ดร.สุทัศน์ สีสาทวิวัฒน์ ผศ.ปิยะ รัตนสุวรรณ และคุณชูเลิศ จิตเจื้อจุน และทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการให้ข้อคิดเห็นที่มีคุณค่าทางวิชาการซึ่งช่วยให้การจัดทำมาตรฐานนี้มีความสมบูรณ์ดียิ่งขึ้น และหวังเป็นอย่างยิ่งว่ามาตรฐานฉบับนี้จะมีส่วนในการยกระดับการปฏิบัติงานด้านบำรุงรักษาโครงสร้างอาคารของประเทศไทยให้มีความถูกต้อง ประหยัดค่าใช้จ่ายในระยะยาว และเกิดความปลอดภัยต่อชีวิต และทรัพย์สินมากยิ่งขึ้น



(ศาสตราจารย์ ดร.สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล)

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้าง และบำรุงรักษา

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา และเทคโนโลยี

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

หัวหน้าคณะทำงาน

**คณะกรรมการจัดทำมาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม
และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่า และโครงสร้างอาคารที่เสียหาย**

หัวหน้าคณะกรรมการ

ศ.ดร.สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร

คณะกรรมการหลัก

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 1. ศ.ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. รศ.ดร.ทวีป ชัยสมภพ | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร |
| 3. ผศ.ดร.ภักดิ์วัฒน์ แสนเจริญ | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร |
| 4. ผศ.ดร.วรางคณา แสงสร้อย | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร |
| 5. ดร.กนต์ไชย ธนาพรรวีกิตต์ | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร |
| 6. ดร.กฤติยา แก้วมณี | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร |

คณะกรรมการสนับสนุน

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. ดร. พงษ์ศักดิ์ วิวัฒน์โรจนกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| 2. นาย วัชรพล แซ่โกว | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร |
| 3. นาย ปวีร์ ศิลปเสริญสกุลวงศ์ | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร |

คณะกรรมการกำกับดูแลการปฏิบัติงานของทีปรีक्षा
เรื่อง มาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม
และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่า และโครงสร้างอาคารที่เสียหาย

ประธานกรรมการ

นายสินธิ์ บุญสิทธิ์

ผู้อำนวยการสำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

คณะกรรมการ

นายอนวัช บุรพาชน

วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

นายพรชัย สังข์ศรี

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

นายสมโชค เล่งวงศ์

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

นางสาวสุรีย์ ประเสริฐสุด

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

ดร.ทยากร จันทรางศุ

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

ดร.ธนิต ใจสอาด

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

สำนักสนับสนุนและพัฒนาตามผังเมือง

กรรมการและเลขานุการ

นางณัฏกานต์ แสงสุวรรณ

วิศวกรโยธาปฏิบัติการ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวยุพิน พรหมหล่อ

วิศวกรโยธาปฏิบัติการ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

ดร.สุวัฒน์ งามจันทร์

วิศวกรโยธาปฏิบัติการ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

สารบัญ

คำนำ	i
บทนำ.....	ii
ส่วนที่ 1 ทั่วไป	1
1.1 ขอบข่าย	1
1.2 มาตรฐานอ้างอิง	2
ส่วนที่ 2 นิยามและสัญลักษณ์.....	8
2.1 นิยาม.....	8
2.2 สัญลักษณ์.....	12
ส่วนที่ 3 ภาพรวมของการตรวจสอบ การประเมิน และการบำรุงรักษาโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้าง อาคารที่เสียหาย	14
3.1 เป้าหมาย.....	14
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	14
3.3 การกำหนดวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบ การประเมิน และการบำรุงรักษาโครงสร้าง	15
3.4 การตรวจสอบ.....	16
3.5 การประเมินโครงสร้าง (Structural Evaluation).....	16
3.5.1 การตรวจประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง (Structural Assessment)	17
3.5.2 การวิเคราะห์โครงสร้าง (Structural Analysis)	17
3.6 การบำรุงรักษาโครงสร้าง	17
3.6.1 การออกแบบการบำรุงรักษาโครงสร้าง.....	17
3.6.2 การเลือกวิธีการบำรุงรักษา	17
3.6.3 การดำเนินการบำรุงรักษา.....	18
3.7 การบันทึกข้อมูล	18
ส่วนที่ 4 การตรวจสอบโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย	19
4.1 การตรวจสอบเบื้องต้น	19
4.2 การตรวจสอบโดยละเอียด	30
4.2.1 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนัก บรรทุก.....	36

4.2.1.1 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต	36
4.2.1.2 การทดสอบกำลังดึงของเหล็กเสริม	41
4.2.1.3 การตรวจสอบการรับน้ำหนักบรรทุก	43
4.2.2 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านความสามารถ ในการใช้งาน	43
4.2.3 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านอายุการใช้งาน และความคงทน	44
4.2.3.1 การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง	44
4.2.3.2 คาร์บอนชั่น	45
4.2.3.3 การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์	46
4.2.3.4 ปฏิกริยาระหว่างต่างกับมวลรวม	47
4.2.3.5 การสึกกร่อน	48
4.2.3.6 การเผชิญกับซัลเฟต	49
4.2.3.7 การหลุดตัวที่ไม่เท่ากัน	49
4.2.3.8 การเผชิญกับอุณหภูมิสูง	49
4.3 การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง	52
4.4 การตรวจสอบโครงสร้างเหล็ก	53
4.4.1 การตรวจสอบเบื้องต้น	54
4.4.2 การตรวจสอบโดยละเอียด	55
4.4.2.1 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนัก บรรทุก	55
4.4.2.2 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านความสามารถ ในการใช้งาน	57
4.4.2.3 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านอายุการใช้งาน และความคงทน	57
ส่วนที่ 5 การประเมินโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย	60
5.1 ความปลอดภัยเชิงโครงสร้าง (Structural Safety)	61
5.1.1 การตรวจประเมินเชิงโครงสร้าง (Structural Assessment)	61
5.1.2 การวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง (Structural Analysis)	61

5.1.2.1 โครงสร้างที่มีความเสียหายรุนแรงทางโครงสร้าง (Substantial structural damage) ต่อโครงสร้างแนวตั้งที่รับแรงกระทำด้านข้างด้วย	63
5.1.2.2 โครงสร้างที่มีความเสียหายรุนแรงทางโครงสร้าง (Substantial structural damage) ต่อโครงสร้างที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง (Gravity Load).....	64
5.1.2.3 โครงสร้างที่มีความเสียหายทางโครงสร้างน้อยกว่าระดับรุนแรง	64
5.2 ความสามารถในการใช้งาน	64
5.2.1 การประเมินการแอ่นตัว การเคลื่อนตัวของโครงสร้าง และความกว้างรอยร้าว	64
5.2.2 การประเมินการร้าวซึม	65
5.2.3 การประเมินการสั่นสะเทือน	65
5.3 อายุการใช้งาน และความคงทน	66
5.3.1 การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง	67
5.3.2 คาร์บอนชั้น	67
5.3.2.1 ช่วงเริ่มต้น (Initiation)	68
5.3.2.2 ช่วงพัฒนา (Propagation)	69
5.3.2.3 ช่วงเร่ง (Acceleration).....	69
5.3.2.4 ช่วงเสื่อมสภาพ (Deterioration).....	69
5.3.3 การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์	70
5.3.3.1 ช่วงเริ่มต้น (Initiation)	71
5.3.3.2 ช่วงพัฒนา (Propagation)	71
5.3.3.3 ช่วงเร่ง (Acceleration).....	72
5.3.3.4 ช่วงเสื่อมสภาพ (Deterioration).....	72
5.3.4 ปฏิกริยาระหว่างต่างกับมวลรวม	72
5.3.5 การสึกกร่อน	73
5.3.6 การเผชิญกับซัลเฟต	73
5.3.7 ไฟไหม้.....	73
5.3.8 ข้อบกพร่องบนพื้นผิวของโครงสร้างเหล็ก	75
ส่วนที่ 6 การบำรุงรักษาโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย	77
6.1 หลักการการบำรุงรักษา	80
6.2 การบำรุงรักษาเพื่อความปลอดภัยของโครงสร้าง	83
6.2.1 น้ำหนักบรรทุก	84

6.2.2 กำลังที่ต้องการ.....	84
6.2.3 ตัวคูณลดกำลัง	85
6.2.4 การออกแบบการเสริมกำลังแบบภายนอก.....	85
6.2.5 กำลังการยึดเกาะ	85
6.2.6 สมบัติการทนไฟ	86
6.3 การบำรุงรักษาเพื่อความสามารถในการใช้งาน	86
6.3.1 การบำรุงรักษาเพื่อความสามารถการใช้งานได้ในด้านการแอ่นตัว การเคลื่อนตัวของโครงสร้างและการสั่นสะเทือน	86
6.3.2 การบำรุงรักษาเพื่อความสามารถการใช้งานได้ในด้านการร้าวซึม	86
6.4 การบำรุงรักษาเพื่ออายุการใช้งาน และความคงทน	87
6.4.1 การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง	87
6.4.2 คาร์บอนชั้น	87
6.4.3 การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์	88
6.4.4 ปฏิกริยาระหว่างต่างกับมวลรวม	89
6.4.5 การสึกกร่อน	89
6.4.6 การเผชิญกับซัลเฟต	90
6.5 วัสดุซ่อมแซม	90
6.5.1 สมบัติของวัสดุ	90
6.6 อายุการใช้งาน และความคงทนหลังการบำรุงรักษา	91
6.7 การก่อสร้าง	92
6.8 การควบคุมคุณภาพ.....	93

มยพ. 1902-62

มาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม
และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่า และโครงสร้างอาคารที่เสียหาย

ส่วนที่ 1 ทั่วไป

1.1 ขอบข่าย

- 1.1.1 มาตรฐานนี้ ครอบคลุมโครงสร้างอาคารคอนกรีต โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โครงสร้างอาคารคอนกรีตอัดแรง และโครงสร้างอาคารเหล็กรูปพรรณ แต่ไม่ครอบคลุมโครงสร้างอาคารไม้ และโครงสร้างอาคารอิฐก่อ
- 1.1.2 มาตรฐานนี้ ครอบคลุมอาคารที่ก่อสร้างแล้วเสร็จและได้รับอนุญาตให้มีการใช้งาน หรืออาคารที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาทางเศรษฐกิจของประเทศซึ่งยังก่อสร้างไม่แล้วเสร็จตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร แต่ไม่ครอบคลุมอาคารที่ก่อสร้างไม่แล้วเสร็จอื่น ๆ หรือก่อสร้างแล้วเสร็จแต่ไม่ได้รับอนุญาตให้มีการใช้งาน
- 1.1.3 มาตรฐานนี้ ครอบคลุมความเสียหายที่เกิดจากการใช้งาน การเสื่อมสภาพของวัสดุตามอายุการใช้งาน และจากอุบัติเหตุต่าง ๆ เช่น อัคคีภัย ภัยพิบัติ และอุทกภัย แต่ไม่ครอบคลุมความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหว
- 1.1.4 มาตรฐานนี้ ไม่ครอบคลุมการซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดกับส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างของอาคาร เช่น ส่วนประกอบเพื่อวัตถุประสงค์ด้านความสวยงาม ยกเว้นว่าอาจเกิดอันตรายขึ้นจากการซ่อมแซมส่วนประกอบดังกล่าว
- 1.1.5 มาตรฐานนี้ ไม่ครอบคลุมการดำเนินการที่มีวัตถุประสงค์ในการดัดแปลงอาคาร หรือเปลี่ยนการใช้งานอาคาร
- 1.1.6 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก

1.2 มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง ประกอบด้วย

1.2.1 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.)

1332-55 มาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทน และอายุการใช้งาน

1333-61 มาตรฐานความคงทนของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

1501-51 มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย

การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีตรวจพินิจ (Visual Inspection Method)

1502-51 มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย
วิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Hammer)

1503-51 มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย
วิธีทดสอบประเมินค่ากำลังอัดคอนกรีตด้วยการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบ

1504-51 มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย
วิธีทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity)

1505-51 มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย
วิธีตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีต (Cover Meter)

1506-51 มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย
วิธีทดสอบหาค่าการสีกกร่อนของเหล็กเสริม (Half Cell Potential)

1507-51 มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย
วิธีทดสอบเพื่อประเมินสภาพสมบูรณ์ของเนื้อคอนกรีตด้วยคลื่นเรดาร์ (Radar)

1551-51 มาตรฐานการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธี Seismic Test

1552-51 มาตรฐานการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอาคาร

1561-51 มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีตรวจพินิจ

1562-51 มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบด้วยคลื่นเสียง
ความถี่สูง

1563-51 มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบด้วยผงแม่เหล็ก

1564-51 มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบด้วยสารแทรกซึม

1565-51 มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบด้วยรังสี

1901-51 มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต

1.2.2 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.)

1007-34 มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

1008-38 มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง

1.2.3 สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (สคท.)

3201-52 คู่มือการตรวจสอบและประเมินความสามารถเชิงโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.2.4 American Concrete Institute (ACI)

201.1R-92 Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service

201.2R-01 Guide to Durable Concrete

214.4R-03 Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results

216R-89 Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements

222R-01 Protection of Metals in Concrete Against Corrosion

224R-01 Control of Cracking in Concrete Structures

224.1R-93 Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures

228.1R-03 In-Place Methods to Estimate Concrete Strength

228.2R-98 Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures

301-99 Specifications for Structural Concrete

318R-11 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary

350.1R-01 Tightness Testing of Environmental Engineering Concrete Structures

364.1R-94 Guide for Evaluation of Concrete Structures before Rehabilitation

437R-03 Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings

437.1R-07 Load Tests of Concrete Structures: Methods, Magnitude, Protocols, and Acceptance Criteria

440R-96 State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures

440.1R-03 Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars

440.2R-02 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures

- 503R-93 Use of Epoxy Compounds with Concrete
- 503.4R-92 Standard Specification for Repairing Concrete with Epoxy Mortars
- 503.5R-92 Guide for the Selection of Polymer Adhesives in Concrete
- 503.6R-97 Guide for Application of Epoxy and Latex Adhesives for Bonding Freshly Mixed and Hardened Concrete
- 503.7R-07 Specification for Crack Repair by Epoxy Injection
- 546R-04 Concrete Repair Guide
- 546.3R-03 Guide for the Selection of Materials for the Repair of Concrete
- 562-14 Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings

1.2.5 American Society of Civil Engineers (ASCE)

- ASCE/SEI 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures
- ASCE/SEI 11-99 Guideline for Structural Condition Assessment of Existing Buildings
- ASCE/SEI 37-02 Design Loads on Structures during Construction

1.2.6 American Society for Testing and Materials (ASTM)

- A370-03 Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
- C39-01 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- C42-03 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete
- C295-03 Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete
- C496-04 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- C597-02 Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete
- C803-03 Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete
- C805-02 Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete
- C823-00 Standard Practice for Examination and Sampling of Hardened Concrete in Constructions
- C876-99 Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing

Steel in Concrete

- C900-01 Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete
- C1152-03 Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete
- C1260-01 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)
- C1293-01 Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction
- C1383-98 Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method
- C1567-07 Standard Test Method for Determining the Potential Alkali-Silica Reactivity of Combinations of Cementitious Materials and Aggregate (Accelerated Mortar-Bar Method)
- C1580-15 Standard Test Method for Water-Soluble Sulfate in Soil
- C1583-04 Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method)
- D516-95 Standard Test Method for Sulfate Ion in Water
- D4130-03 Standard Test Method for Sulfate Ion in Brackish Water, Seawater, and Brines
- D4580-03 Standard Practice for Measuring Delamination in Concrete Bridge Decks by Sounding
- D4788-03 Standard Test Method for Detecting Delamination in Bridge Decks Using Infrared Thermography
- E122-00 Standard Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process
- E178-94 Standard Practice for Dealing with Outlying Observations
- E2128-01 Standard Guide for Evaluating Water Leakage of Building Walls

1.2.7 Asian Concrete Federation (ACF)

- 2004 Guidelines for Maintenance and Rehabilitation of Concrete Structures Against Chloride Induced Deterioration

2011 Guidelines for Maintenance and Rehabilitation of Concrete Structures
Subjected to Carbonation-Induced Deterioration

1.2.8 British Standard (BS)

7385-1-90 Evaluation and Measurement for Vibration in Buildings. Guide for
Measurement of Vibrations and Evaluation of their Effects on Buildings

7385-2-93 Evaluation and Measurement for Vibration in Buildings. Guide to Damage
Levels from Ground Borne Vibration

1.2.9 European Standard (EN)

1504-04 Products and Systems for the Protection and Repair of Concrete Structures

14630-06 Products and Systems for the Protection and Repair of Concrete Structures.
Test Methods. Determination of Carbonation Depth in Hardened Concrete
by the Phenolphthalein Method

1.2.10 International Code Council (ICC)

IBC-2012 International Building Code

IEBC-2012 International Existing Building Code

1.2.11 International Concrete Repair Institute (ICRI)

210.3-08 Guide for Using In-Situ Tensile Pull- Off Tests to Evaluate Bond of Concrete
Surface Materials

310.1R-08 Guide for Surface Preparation for the Repair of Deteriorated Concrete
Resulting from Reinforcing Steel Corrosion

310.2-08 Selecting and Specifying Concrete Surface Preparation for Sealers, Coatings,
and Polymer Overlays

320.2R-08 Guide for Selecting and Specifying Materials for Repair of Concrete Surfaces

320.3-08 Guideline for Inorganic Repair Material Data Sheet Protocol

330.1-08 Selection of Strengthening Systems for Concrete Structures

340.1-08 Guideline for the Selection of Grouts to Control Leakage in Concrete
Structures

1.2.12 International Organization for Standardization (ISO)

4628-05 Paints and Varnishes -- Evaluation of Segregation of Coatings

4866-10 Mechanical Vibration and Shock -- Vibration of Fixed Structures --
Guidelines for the Measurement of Vibrations and Evaluation of their
Effects on Structures

TR16475 Guidelines for the Repair of Water-Leakage Cracks in Concrete Structures

1.2.13 อื่นๆ

FIB No.46, 2008, “Fire design of concrete structures - structural behavior and assessment”, the International Federation for Structural Concrete (fib), Germany

Murray, T. M., Allen, D. E. and Ungar, E. E., 1999, “Floor Vibrations Due to Human Activity,” Steel Design Guide Series 11, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA

Kuhn, B., Lukic, M., Nussbaumer, A., Gunther, H.P., Helmerich, R., Herion, S., Kolstein, M.H., Walbridge, S., Androic, B., Dijkstra, O. and Bucak, O., 2008, “Assessment of Existing Steel Structures: Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life”, JRC Scientific and Technical Reports, JRC, European Commission

ส่วนที่ 2 นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

“อาคาร (building)” หมายถึง ดึก บ้าน เรือน โรง ร้าน แพ คลังสินค้า สำนักงาน และสิ่งที่สร้างขึ้นอย่างอื่น ซึ่งบุคคลอาจเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้ และหมายความรวมถึงสิ่งก่อสร้างอื่นๆ ตามที่กำหนดในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร

“อาคารเก่า (existing building)” หมายถึง อาคารที่ก่อสร้างแล้วเสร็จและได้รับอนุญาตให้มีการใช้งาน และผ่านการใช้งานมาแล้วหรืออาคารที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาทางเศรษฐกิจของประเทศซึ่งยังก่อสร้างไม่แล้วเสร็จตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

“อันตราย (dangerous)” หมายถึง การที่อาคารหรือส่วนใดของอาคารเกิดการพังทลายทั้งหมดหรือเพียงบางส่วนเกิดการเคลื่อนตัวจากฐานรากหรือขาดโครงสร้างค้ำยันที่จำเป็น หรือมีความเสี่ยงที่ส่วนใดของอาคารหรือโครงสร้างจะเกิดการพังทลายแยกตัวหรือเคลื่อนตัวภายใต้แรงกระทำในสภาวะใช้งาน

“อาคารที่เสียหาย (damaged building)” หมายถึง อาคารที่มีสภาพโครงสร้างหรือชิ้นส่วนโครงสร้างเข้าข่ายอันตราย (dangerous) ต่อชีวิตของบุคคลหรือสาธารณชนหรือสภาพที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยหรืออาคารร้างที่ไม่มีการปิดกั้นการเข้าออกอาคารหรืออาคารที่สมรรถนะด้านความสามารถในการใช้งานไม่เป็นที่ยอมรับหรืออาคารที่มีสมรรถนะด้านอายุการใช้งานและความคงทนไม่เป็นที่ยอมรับ

“ความเสียหายรุนแรง (substantial damage)” หมายถึง ความเสียหายใดๆ ที่ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมโครงสร้าง หรือส่วนของโครงสร้างให้กลับไปสมบุรณ์ดังเดิมสูงกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 50 ของมูลค่าโครงสร้าง หรือส่วนของโครงสร้างก่อนเกิดความเสียหาย

“ความเสียหายรุนแรงทางโครงสร้าง (substantial structural damage)” หมายถึง การที่อาคาร หรือส่วนของอาคารใด ๆ ที่มีสภาพดังอธิบายในรายละเอียดของ IEBC-2012 ดังนี้

1. ในชั้นใด ๆ ของอาคาร หากชิ้นส่วนของระบบโครงสร้างที่รับแรงด้านข้างเกิดความเสียหาย ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงด้านข้างของอาคารในทิศทางใด ๆ ลดลงเกินกว่าร้อยละ 33 จากความสามารถในการรับแรงด้านข้างของอาคารนั้นก่อนเกิดความเสียหาย
2. ชิ้นส่วนอาคาร หรือกลุ่มขององค์อาคาร ที่รองรับพื้นที่ของอาคารเกินกว่าร้อยละ 30 ของพื้นที่ใช้สอยรวมของอาคารและหลังคา มีกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งลดลงเกินกว่าร้อยละ 20 จากความสามารถของชิ้นส่วนอาคาร หรือกลุ่มขององค์อาคารนั้น ๆ ก่อนเกิดความเสียหายและกำลังที่เหลือของชิ้นส่วนที่เสียหายนั้นมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 75 ของกำลังที่ต้องการตามมาตรฐานการออกแบบ ณ ปัจจุบันเมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจร

“การบำรุงรักษา (maintenance)” หมายถึง การตรวจสอบ การตรวจติดตาม การซ่อมแซม การเพิ่มสมรรถนะเฉพาะด้าน หรือการเสริมกำลัง เพื่อให้สมรรถนะของโครงสร้างอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

“สมรรถนะของโครงสร้าง (structural performance)” หมายถึง สมรรถนะของโครงสร้างในด้านความปลอดภัยในการรับน้ำหนัก ความสามารถในการใช้งาน หรือมีอายุการใช้งานตามต้องการ โดยมีเกณฑ์การยอมรับได้แตกต่างกันไปในแต่ละอาคาร

“วัตถุประสงค์ของการบำรุงรักษา (objectives of maintenance)” หมายถึง การกำหนดเกณฑ์การยอมรับได้ของสมรรถนะของโครงสร้าง เช่น กำลังการรับน้ำหนักบรรทุก ความสามารถในการใช้งาน อายุการใช้งาน เพื่อใช้ในการออกแบบและดำเนินการบำรุงรักษา

“เกณฑ์การยอมรับได้ (acceptance criteria)” หมายถึง ระดับต่ำที่สุดของสมรรถนะของโครงสร้างที่ยอมรับได้ โดยโครงสร้างต้องได้รับการบำรุงรักษาให้มีสมรรถนะสูงกว่าเกณฑ์การยอมรับได้ตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้าง

“การประเมินโครงสร้าง (structural evaluation)” หมายถึง การตรวจประเมิน และ/หรือ การวิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อพิจารณาสมรรถนะของโครงสร้างว่าอยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้หรือไม่

“การตรวจประเมินโครงสร้าง (structural assessment)” หมายถึง การประเมินผลการตรวจสอบโครงสร้าง เช่น ผลการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจ ผลการตรวจสอบกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง เพื่อพิจารณาสมรรถนะของโครงสร้างว่าอยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้หรือไม่

“การวิเคราะห์โครงสร้าง (structural analysis)” หมายถึง การวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบ เช่น สมบัติของวัสดุ ขนาดชิ้นส่วนโครงสร้าง เพื่อพิจารณาสมรรถนะของโครงสร้างว่าอยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้หรือไม่

“การตรวจสอบ (inspection)” หมายถึง การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง การตรวจสอบสภาพของโครงสร้าง การตรวจสอบลักษณะความเสียหาย การตรวจสอบสมบัติของวัสดุ หรือการตรวจสอบสมรรถนะของโครงสร้างในด้านต่าง ๆ เช่น กำลังการรับน้ำหนักบรรทุก ความสามารถในการใช้งาน เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง การพิจารณาวิธีการบำรุงรักษา หรือการบำรุงรักษาโครงสร้าง

“การตรวจติดตาม (monitoring)” หมายถึง การตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงของความเสียหาย หรือสมรรถนะของโครงสร้างอย่างต่อเนื่อง

“การเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้าง (structural rehabilitation)” หมายถึง การซ่อมแซม การเพิ่มสมรรถนะเฉพาะด้าน การเสริมกำลัง หรือการซ่อมแซมโครงสร้างที่เสื่อมสภาพ เสียหาย หรือมีสมรรถนะต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยหากส่วนดังกล่าวเกิดความเสียหาย อาจก่อให้เกิดสภาพที่ไม่ปลอดภัย

“การซ่อมแซม (repair)” หมายถึง การแก้ไขโครงสร้าง หรือส่วนของโครงสร้างที่เสื่อมสภาพ หรือเสียหาย ให้มีสมรรถนะของโครงสร้างอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ไม่เกินสมรรถนะของโครงสร้างก่อนเกิดความเสียหาย

“การเพิ่มสมรรถนะเฉพาะด้าน (enhancement)” หมายถึง การเพิ่มสมรรถนะของโครงสร้าง หรือส่วนของโครงสร้างเฉพาะด้าน ที่นอกเหนือจากกำลังการรับน้ำหนักบรรทุก เช่น ความตึงน้ำ ความต้านทานการขีดสี

“การเสริมกำลัง (strengthening)” หมายถึง การเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง หรือส่วนของโครงสร้าง

“การซ่อมแซมโครงสร้าง (structural repair)” หมายถึง การเปลี่ยน การซ่อมแซม หรือการเสริมกำลังส่วนของโครงสร้างที่เสื่อมสภาพ เสียหาย หรือมีกำลังไม่เพียงพอให้มีสมรรถนะของโครงสร้างอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ไม่เกินสมรรถนะของโครงสร้างก่อนเกิดความเสียหาย โดยหากส่วนดังกล่าวเกิดความเสียหาย อาจก่อให้เกิดสภาพที่ไม่ปลอดภัย

“แรงยึดเหนี่ยว (bond)” หมายถึง 1. แรงยึดติด (adhesion) ระหว่างวัสดุที่ถูกใช้งานกับเหล็กเสริม หรือพื้นผิวอื่น ๆ ซึ่งเกิดจากแรงเสียดทาน แรงเชื่อมตามแนวผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตเดิมและวัสดุซ่อมแซม 2. แรงยึดระหว่างวัสดุต่างชนิดกัน (adhesion) ที่เกิดระหว่างชั้นของการซ่อมแซมหรือระหว่างวัสดุซ่อมแซมกับวัสดุเดิมหรือแรงยึดในวัสดุชนิดเดียวกัน (cohesion) ที่เกิดในชั้นของการซ่อมแซมหรือวัสดุเดิมซึ่งทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างวัสดุซ่อมแซมกับวัสดุเดิมตลอดอายุการใช้งานของการบำรุงรักษา

“ความเข้ากันได้ (compatible)” หมายถึง ความเข้ากันได้ของวัสดุสองชนิดหรือมากกว่าที่ถูกนำมาใช้งาน ติดกัน หรือใกล้เคียงกัน โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อกันอย่างมีนัยสำคัญ

“ความคงทน (durability)” หมายถึง ความสามารถของวัสดุหรือโครงสร้าง ในการต้านการเสื่อมสภาพ เนื่องจากสภาพแวดล้อม สารเคมี การถูกขีดสี หรือการกระทำอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน ทั้งที่เกิดจากปัจจัยภายนอก และภายใน หรือการรักษาสภาพการใช้งานได้ของโครงสร้างตลอดช่วงเวลาที่กำหนดไว้

“คอนกรีตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non-structural concrete)” หมายถึง ส่วนใด ๆ ที่ไม่ได้เป็นระบบของโครงสร้างที่ทำหน้าที่ถ่ายแรงแนวตั้ง แรงด้านข้าง หรือทั้งสอง

“คอนกรีตโครงสร้าง (structural concrete)” หมายถึง ส่วนใด ๆ ที่เป็นระบบของโครงสร้างที่ทำหน้าที่ถ่ายแรงแนวตั้ง แรงด้านข้าง หรือทั้งสอง

“อายุการใช้งานที่เหลืออยู่ (remaining service life)” หมายถึง อายุที่โครงสร้างยังมีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยพิจารณาผลการเสื่อมสภาพ ณ ปัจจุบัน และคาดการณ์การเสื่อมสภาพในอนาคต โดยไม่มีการดำเนินการซ่อมแซม

“อายุการใช้งานที่ออกแบบ (design service life)” หมายถึง ช่วงเวลาภายหลังการติดตั้ง หรือการบำรุงรักษาที่กำหนดในการออกแบบให้โครงสร้างมีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

“ความปลอดภัยเชิงโครงสร้าง (structural safety)” หมายถึง การที่โครงสร้าง หรือส่วนของโครงสร้าง ยังคงมีสภาพที่ปลอดภัย และมีกำลังที่ออกแบบสูงกว่ากำลังที่ต้องการ

“กำลังที่ต้องการ (required strength)” หมายถึง กำลังที่ต้องการของโครงสร้าง หรือชิ้นส่วนของโครงสร้าง เมื่อพิจารณาผลรวมของน้ำหนักบรรทุกที่คูณด้วยตัวคูณแล้ว ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการออกแบบ

“กำลังที่ใช้ออกแบบ (design strength)” หมายถึง กำลังระบุที่ได้คำนวณตามข้อกำหนด และสมมติฐาน ในมาตรฐานการออกแบบคูณด้วยตัวคูณลดกำลัง

“ความสามารถในการใช้งาน (serviceability)” หมายถึง ความเพียงพอของสมรรถนะของโครงสร้าง ตามวัตถุประสงค์การใช้งานภายใต้แรงกระทำในสภาวะใช้งาน เช่น การแอ่นตัว การแตกร้าว การร้าวซึม หรือการสั่นสะเทือน

“การเสื่อมสภาพ (deterioration)” หมายถึง การเปลี่ยนสภาพของวัสดุ เนื่องจากแรง สิ่งแวดล้อม หรืออิทธิพลภายใน ทำให้คอนกรีตหรือเหล็กเสริมภายในคอนกรีต มีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก หรือความคงทนต่ำลง เช่น การแตกร้าวของคอนกรีต การหลุดร่อนของคอนกรีต การบวมตัวของคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริม การสูญเสียกำลังของคอนกรีต การสูญเสียกำลังของเหล็กเสริม

“ความลึกคาร์บอนชั้น (carbonation depth)” หมายถึง ระยะที่วัดจากผิวของคอนกรีต เข้าไปข้างในเนื้อ คอนกรีตจนถึงแนวแบ่งแยกระหว่างส่วนที่เกิดคาร์บอนชั้นไปแล้วกับส่วนที่ยังไม่เกิดคาร์บอนชั้น

“คาร์บอนชั้น (carbonation)” หมายถึง ปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากสิ่งแวดล้อม กับสารละลายไฮดรอกไซด์ในเพสต์ มอร์ตาร์ หรือคอนกรีต ได้ผลลัพธ์เป็นสารประกอบคาร์บอเนต

“ปลอดการซ่อมแซม (repair-free)” หมายถึง การที่ไม่ต้องทำการซ่อมแซมองค์อาคารของโครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็ก ทั้งนี้การซ่อมแซมไม่รวมถึงการตรวจสอบต่าง ๆ ในด้านวิศวกรรมโยธา

“ระยะหุ้มคอนกรีต (covering)” หมายถึง ระยะที่วัดจากผิวคอนกรีตถึงผิวนอกสุดของเหล็กปลอกเดี่ยว หรือเหล็กปลอกเกลียว หรือเหล็กลูกตั้ง ในกรณีไม่มีเหล็กดัดกล่าว ให้วัดถึงผิวของเหล็กเสริมที่อยู่ใกล้ผิวนอกที่สุด

“ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (life cycle cost)” หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งทางตรง และทางอ้อม ในการก่อสร้าง และบำรุงรักษาโครงสร้างให้มีอายุการใช้งานตามที่ได้ออกแบบไว้ ค่าใช้จ่ายทางตรง เช่น ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบโครงสร้าง ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมโครงสร้าง ค่าใช้จ่าย ทางอ้อม เช่น ค่าเสียโอกาสในการใช้งานโครงสร้าง ผลกระทบต่อสาธารณสุขหรือผู้ใช้อาคาร การสูญเสีย ทางร่างกาย ชีวิต และทรัพย์สิน

“ผู้ตรวจสอบวิศวกรรมโครงสร้าง (structural inspector)” หมายถึง ผู้ได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบ วิชาชีพวิศวกรรมควบคุม สาขาวิศวกรรมโยธา ตั้งแต่ระดับภาคีวิศวกรขึ้นไป และเป็นผู้ที่ผ่านการอบรม และได้รับใบรับรองตามหลักสูตรการตรวจสอบวิศวกรรมโครงสร้างอาคารจากสถาบันที่คณะกรรมการควบคุม อาคารรับรอง

“ผู้ประเมินวิศวกรรมโครงสร้าง (structural evaluator)” หมายถึง ผู้ได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม สาขาวิศวกรรมโยธา ตั้งแต่ระดับสามัญวิศวกรขึ้นไป และมีประสบการณ์หรือผลงานในการประเมินโครงสร้างอาคารเก่า และโครงสร้างอาคารที่เสียหาย หรือเป็นผู้ที่ผ่านการอบรมและได้รับใบรับรองตามหลักสูตรการประเมินวิศวกรรมโครงสร้างอาคารจากสถาบันที่คณะกรรมการควบคุมอาคารรับรอง

“โครงสร้างเป้าหมาย (target structure)” หมายถึง โครงสร้างอาคารเก่า หรืออาคารที่เสียหายที่ถูกกำหนด เพื่อดำเนินการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้าง

“ชิ้นส่วนโครงสร้างเป้าหมาย (target structural member)” หมายถึง ชิ้นส่วนของโครงสร้างอาคารเก่า หรืออาคารที่เสียหายที่ถูกกำหนด เพื่อดำเนินการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้าง

“วิศวกรตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร (registered engineer)” หมายถึง บุคคลซึ่งได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาวิศวกรรมโยธิตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร

2.2 สัญลักษณ์

- A = สัมประสิทธิ์การเกิดคาร์บอนชั้น (มม./ปี^{0.5})
- C_d = ความลึกการเกิดคาร์บอนชั้น (มม.)
- C_c = ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริมชั้นนอกสุด
- C_r = ระยะหุ้มคอนกรีต (มม.)
- C_0 = ปริมาณคลอไรด์เริ่มต้นในคอนกรีต
- C_s = ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวหน้าของคอนกรีต
- D_a = สัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือคลอไรด์ในคอนกรีต
- e = ระดับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ระหว่างผลการสุ่ม และค่าที่แท้จริง แสดงเป็นร้อยละของค่าเฉลี่ยที่แท้จริงของประชากรตัวอย่างทดสอบ
- f_c = กำลังอัดของคอนกรีตของโครงสร้างจริง (MPa)
- $\bar{f}_c$ = ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตของโครงสร้างจริงที่ได้จากสมการที่ 2 (MPa)
- f_{ceq} = กำลังอัดคอนกรีตเทียบเท่า (MPa)
- f_{core} = ผลทดสอบกำลังอัดคอนกรีตจากแท่งเจาะตัวอย่างคอนกรีต (MPa)
- F_d = สัมประสิทธิ์ปรับแก้ผลของความเสียหายที่เกิดจากการเจาะแท่งตัวอย่าง
- F_{dia} = สัมประสิทธิ์ปรับแก้ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
- $F_{V/d}$ = สัมประสิทธิ์ปรับแก้ผลของอัตราส่วนขนาดความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง

F_{mc}	=	สัมประสิทธิ์ปรับแก้ผลของความชื้นของแท่งเจาะคอนกรีต
f_{yeq}	=	กำลังดึง ณ จุดครากของเหล็กเสริมเทียบเท่า (MPa)
$\bar{f}_y$	=	ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบกำลังดึง (MPa)
k_c	=	ตัวคูณปรับแก้ผลของค่าความเปื่อยเบนของผลทดสอบดังแสดงในตารางที่ 8
k_s	=	ตัวคูณปรับแก้ผลของค่าความเปื่อยเบนของผลทดสอบดังแสดงในตารางที่ 9
N_{min}	=	จำนวนตัวอย่างขั้นต่ำที่ต้องทดสอบ
n	=	จำนวนตัวอย่างทดสอบ
V	=	สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของผลทดสอบ
R_n	=	กำลังระบุ
$R_{n\theta}$	=	กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างเดิมที่ไม่ได้รับการเสริมกำลังภายหลังการเกิดเพลิงไหม้ โดยประเมินตาม ACI216R-89
s_c	=	ค่าความเปื่อยเบนมาตรฐานของผลทดสอบ
S_{DL}	=	น้ำหนักบรรทุกคงที่หรือโมเมนต์และแรงภายในที่เกี่ยวข้อง
S_{LL}	=	น้ำหนักบรรทุกจรหรือโมเมนต์และแรงภายในที่เกี่ยวข้อง
t_i	=	อายุโครงสร้าง ณ เวลาที่ตรวจวัดความลึกการเกิดคาร์บอนชั้น (ปี)
t_s	=	อายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีต (ปี)
t_{sl}	=	ระยะเวลาการเริ่มเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอนชั้น (ปี)
U	=	กำลังที่ต้องการ
ϕ	=	ตัวคูณลดกำลัง
$\phi(R_n)$	=	กำลังที่ใช้ออกแบบ

ส่วนที่ 3 ภาพรวมของการตรวจสอบ การประเมิน และการบำรุงรักษาโครงสร้างอาคารเก่า และโครงสร้างอาคารที่เสียหาย

3.1 เป้าหมาย

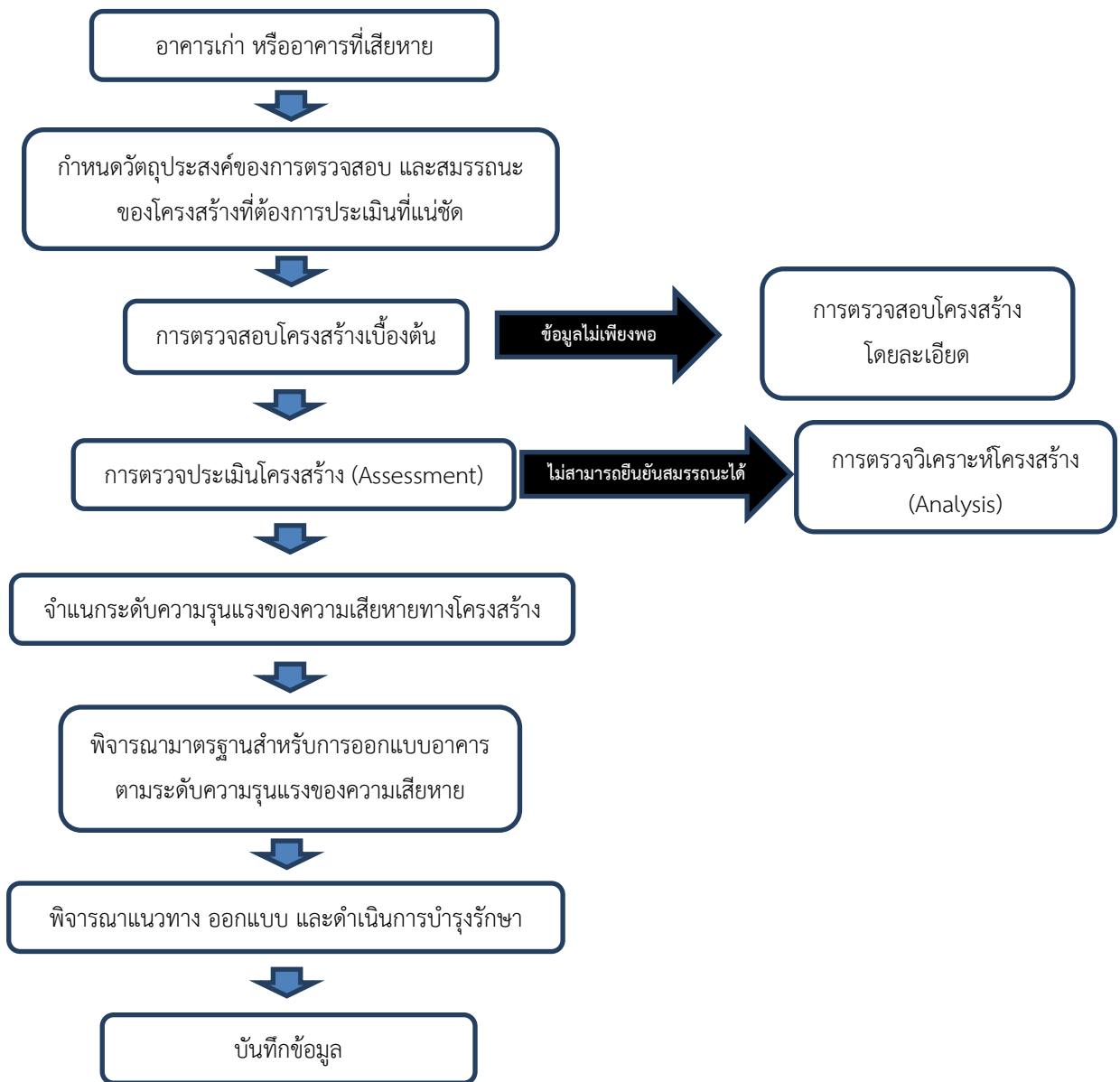
การตรวจสอบโครงสร้างอาคารเก่า และอาคารที่เสียหาย ซึ่งครอบคลุมทั้งการตรวจสอบเอกสาร การตรวจสอบโครงสร้างจริง ทั้งสภาพความเสียหาย ลักษณะการใช้งาน สมบัติของวัสดุ มีเป้าหมายเพื่อการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างนั้น ๆ ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ ผู้ตรวจสอบ และผู้ประเมินวิศวกรรมโครงสร้างต้องกำหนดเป้าหมายของการตรวจสอบให้ชัดเจนว่าต้องการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างในเรื่องใด หากผลการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างพบว่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ต้องมีการพิจารณาการบำรุงรักษาโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อให้สมรรถนะของโครงสร้างเป็นที่ยอมรับตลอดอายุการใช้งาน

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการตรวจสอบ การประเมิน และการบำรุงรักษาโครงสร้างที่เหมาะสม การดำเนินการจะเริ่มจากการกำหนดวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบ และสมรรถนะของโครงสร้างที่ต้องการประเมินที่แน่ชัด เช่นการประเมินความสามารถในการใช้งานของโครงสร้าง หรือการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของโครงสร้าง

ขั้นตอนถัดไป ได้แก่ การรวบรวมตรวจสอบข้อมูลที่เกี่ยวข้อง และสภาพของโครงสร้างจริง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ ในกรณีที่ข้อมูลที่รวบรวมเบื้องต้นมีไม่เพียงพอสำหรับการประเมินอาจต้องตรวจสอบโครงสร้าง และข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม และวิเคราะห์โครงสร้างโดยละเอียด

หากพบว่าสมรรถนะของโครงสร้างต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ต้องมีการพิจารณาการบำรุงรักษาโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อให้สมรรถนะของโครงสร้างเป็นที่ยอมรับตลอดอายุการใช้งาน



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการตรวจสอบ การประเมิน และการบำรุงรักษาโครงสร้าง

3.3 การกำหนดวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบ การประเมิน และการบำรุงรักษาโครงสร้าง

การบำรุงรักษาโครงสร้างจำเป็นต้องกำหนดวัตถุประสงค์ของการบำรุงรักษา และกำหนดเกณฑ์การยอมรับได้ของสมรรถนะของโครงสร้างให้แน่ชัด และเป็นไปตามข้อบังคับ ข้อกำหนด มาตรฐาน การออกแบบของอาคารนั้น ๆ เช่น กำลังการรับน้ำหนักบรรทุก ความสามารถในการใช้งาน อายุการใช้งาน

เพื่อสามารถกำหนดแนวทางในการดำเนินการตรวจสอบ การประเมิน และการบำรุงรักษาโครงสร้างได้อย่างเหมาะสม

3.4 การตรวจสอบ

การตรวจสอบโครงสร้างแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การตรวจสอบโครงสร้างเบื้องต้น และการตรวจสอบโครงสร้างโดยละเอียด

การตรวจสอบโครงสร้างเบื้องต้น ได้แก่ การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น แบบก่อสร้าง ข้อกำหนดการก่อสร้าง ข้อกำหนดและมาตรฐานการออกแบบ รายงานการก่อสร้าง ประวัติการใช้งาน และประวัติการบำรุงรักษาโครงสร้าง การตรวจสอบโครงสร้างและความเสียหายด้วยตาเปล่า โดยผู้ประเมินวิศวกรรมโครงสร้างมีหน้าที่ประเมินสมรรถนะของโครงสร้างว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ จากข้อมูลการตรวจสอบเบื้องต้น

ในกรณีที่มีข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบโครงสร้างโดยละเอียดในขั้นตอนต่อไป

การตรวจสอบโครงสร้างโดยละเอียด ได้แก่ การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม การตรวจสอบด้วยเครื่องมือทดสอบแบบทำลาย หรือแบบไม่ทำลาย

ในกรณีที่ต้องมีการตรวจสอบเพื่อวัตถุประสงค์การประเมินกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของโครงสร้าง หรือในการออกแบบการบำรุงรักษาโครงสร้าง ต้องมีการคำนึงถึงผลของการเสื่อมสภาพของวัสดุต่อกำลังของโครงสร้าง โดยหากไม่มีข้อมูลดังกล่าวจำเป็นต้องมีการตรวจสอบสมบัติของวัสดุของโครงสร้างจริงเพิ่มเติม โดยอย่างน้อยต้องมีการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต และกำลังดึงของเหล็กเสริม

3.5 การประเมินโครงสร้าง (structural evaluation)

ในกรณีที่ผลการตรวจสอบโครงสร้างพบว่าชิ้นส่วนโครงสร้างใด ๆ ส่วนของโครงสร้างใด ๆ หรือโครงสร้างโดยรวม มีการเสื่อมสภาพ มีความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้างหรือมีพฤติกรรมใด ๆ ที่ไม่สอดคล้องกับเอกสารที่เกี่ยวข้อง จำเป็นต้องมีการประเมินโครงสร้าง (structural evaluation)

การประเมินโครงสร้าง ประกอบไปด้วย ตรวจประเมิน (assessment) การวิเคราะห์ (analysis) หรือทั้งสองวิธี โดยสมรรถนะของโครงสร้าง (structural performance) ที่ต้องพิจารณา ได้แก่ ความปลอดภัยเชิงโครงสร้าง (structural safety) ความสามารถในการใช้งาน (serviceability) และอายุการใช้งาน และความคงทน (service life and durability)

โครงสร้างต้องได้รับการประเมินว่ามีความเสียหายรุนแรงทางโครงสร้าง (substantial structural damage) หรือไม่ เพื่อพิจารณาข้อบังคับอาคารที่จะใช้ในการออกแบบโครงสร้างที่ได้รับการบำรุงรักษา ว่าจะ

สามารถปฏิบัติตามข้อบังคับ หรือมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างฉบับเดิมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคารนั้น ๆ ในอดีต หรือต้องใช้ตามฉบับปัจจุบัน

3.5.1 การตรวจประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง (structural assessment)

การตรวจประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง (structural assessment) ประกอบด้วยการตรวจประเมินเอกสาร การประเมินผลการตรวจสอบสภาพโครงสร้างด้วยตาเปล่า ผลการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย และผลการตรวจสอบแบบทำลาย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินข้อมูลดังกล่าวต่อสมรรถนะของโครงสร้าง

3.5.2 การวิเคราะห์โครงสร้าง (structural analysis)

การวิเคราะห์โครงสร้าง (structural analysis) มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันสมรรถนะของโครงสร้าง หรือชิ้นส่วนโครงสร้างที่รับแรงกระทำแนวดิ่ง และแรงกระทำด้านข้าง ทั้งทางด้านความปลอดภัยเชิงโครงสร้าง ความสามารถในการใช้งาน และความคงทนซึ่งต้องมีการตรวจสอบโครงสร้างจริง และพิจารณาสมบัติของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และผลของการเสื่อมสภาพ ความเสียหายที่พบในโครงสร้าง

3.6 การบำรุงรักษาโครงสร้าง

การบำรุงรักษาครอบคลุมทั้งการตรวจสอบ การตรวจติดตาม การซ่อมแซม การเพิ่มสมรรถนะโครงสร้าง เฉพาะด้าน และการเสริมกำลังโครงสร้าง โดยโครงสร้างต้องได้รับการบำรุงรักษา เพื่อให้สมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตลอดอายุการใช้งาน

3.6.1 การออกแบบการบำรุงรักษาโครงสร้าง

การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อการออกแบบการบำรุงรักษาโครงสร้าง ให้พิจารณาข้อบังคับอาคารที่ใช้ ออกแบบอาคารนั้น ๆ หรือข้อบังคับอาคาร ณ ปัจจุบัน ตามระดับความเสียหายว่าน้อยหรือมากกว่าระดับ ความเสียหายรุนแรงทางโครงสร้าง นอกจากนั้นต้องพิจารณาผลการตรวจสอบโครงสร้างจริง และพิจารณา สมบัติของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และผลของการเสื่อมสภาพ ความเสียหายที่พบในโครงสร้าง ประกอบการออกแบบโครงสร้าง

3.6.2 การเลือกวิธีการบำรุงรักษา

การบำรุงรักษาโครงสร้างเพื่อให้มีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้นั้นมีหลายวิธี การพิจารณาเลือกวิธีที่เหมาะสมต้องคำนึงถึงหลายปัจจัยควบคู่กันไป ได้แก่ ความต้องการของผู้ใช้งาน โครงสร้างสภาพแวดล้อมการใช้งาน โครงสร้างน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ที่กระทำกับโครงสร้างทั้งระหว่างการบำรุงรักษา และการใช้งาน ความสะดวกในการปฏิบัติงานบำรุงรักษาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และ ความปลอดภัยต่อผู้ทำงาน

3.6.3 การดำเนินการบำรุงรักษา

การดำเนินการบำรุงรักษาต้องคำนึงถึงความมั่นคงของโครงสร้าง หรือชิ้นส่วนโครงสร้างในทุกขั้นตอนของการบำรุงรักษา หากมีความจำเป็น ให้พิจารณาการใช้ค้ำยันชั่วคราว โดยให้พิจารณาน้ำหนักบรรทุกที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการดำเนินการบำรุงรักษาตาม ASCE/SEI 37-02 เช่น น้ำหนักบรรทุกจากวัสดุ อุปกรณ์การก่อสร้าง และแรงกระทำที่จะเกิดขึ้นในขั้นตอนการก่อสร้างต่าง ๆ

การควบคุมคุณภาพของการบำรุงรักษาเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งควรให้ครอบคลุมทั้งการยืนยันลักษณะความรุนแรงของความเสียหายซึ่งระบุไว้ในรายงานผลการตรวจสอบโครงสร้างเก่า และข้อกำหนดต่าง ๆ ของการบำรุงรักษา เช่น วัสดุ อุปกรณ์ ขั้นตอนการดำเนินการ เพื่อให้การบำรุงรักษามีสมรรถนะ และได้อายุการใช้งานตามต้องการ

3.7 การบันทึกข้อมูล

ข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการบำรุงรักษาโครงสร้าง ทั้งข้อมูลเอกสาร ข้อมูลการตรวจสอบ ผลการประเมิน และการบำรุงรักษาโครงสร้าง ควรได้รับการเก็บรวบรวมอย่างมีระบบ สามารถสืบค้น และนำมาใช้เป็นข้อมูลในการบำรุงรักษาโครงสร้างในอนาคตได้

ส่วนที่ 4 การตรวจสอบโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย

การตรวจสอบโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหายโดยผู้ตรวจสอบวิศวกรรมโครงสร้าง มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง หรือชิ้นส่วนโครงสร้างเป้าหมาย เพื่อการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง หรือชิ้นส่วนโครงสร้างเป้าหมาย โดยผู้ตรวจสอบวิศวกรรมโครงสร้าง

การตรวจสอบต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งานอาคาร และผู้ตรวจสอบ รวมทั้งบุคคลอื่น ๆ ในบริเวณนั้น

การตรวจสอบโครงสร้างสามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การตรวจสอบเบื้องต้น และการตรวจสอบโดยละเอียด

การตรวจสอบโครงสร้างควรดำเนินการเป็นระยะ ตามกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบอาคาร โดยได้กำหนดให้มีการตรวจสอบโครงสร้างอาคารเก่า และอาคารที่เสียหายโดยผู้ตรวจสอบวิศวกรรมโครงสร้าง ที่ขึ้นทะเบียนทุกระยะเวลาห้าปี และการตรวจสอบอาคารตามแผนการตรวจสอบอาคารประจำปี

4.1 การตรวจสอบเบื้องต้น

การตรวจสอบเบื้องต้น ได้แก่ การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้อง และการตรวจสอบสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบันด้วยวิธีตรวจพินิจ

การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเป้าหมาย เช่น ข้อกำหนดและมาตรฐานการออกแบบ เอกสารการคำนวณโครงสร้าง แบบรายละเอียดโครงสร้าง ข้อกำหนดการก่อสร้าง ข้อมูลการทดสอบวัสดุ ระหว่างการก่อสร้าง รายงานการก่อสร้าง ประวัติการใช้งาน และประวัติการบำรุงรักษาโครงสร้าง

สมบัติของวัสดุ ให้พิจารณาจากเอกสารข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น แบบการก่อสร้าง ข้อกำหนดการก่อสร้าง หากไม่มีข้อมูลดังกล่าวให้ใช้ข้อมูลตามตารางที่แนะนำตามช่วงอายุการก่อสร้างอาคารนั้น ๆ

การตรวจสอบสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบันด้วยวิธีตรวจพินิจ ได้แก่ การตรวจสอบความสอดคล้องของลักษณะโครงสร้างจริง และข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง เช่น รูปแบบโครงสร้าง ตำแหน่งจำนวน และขนาดชิ้นส่วนโครงสร้าง ลักษณะการใช้งานโครงสร้าง รวมทั้งการตรวจสอบสภาพความเสียหายของโครงสร้างตามมาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีตรวจพินิจ (visual inspection method) (มยพ.1501-51) และ สคท. 3201-52 การตรวจสอบควมมีการบันทึกลักษณะทางกายภาพของโครงสร้าง รวมทั้งตำแหน่ง การเกิดการเสื่อมสภาพ การถ่ายแรงในชิ้นส่วนโครงสร้างแต่ละชิ้นส่วนข้อจำกัดอื่น ๆ ในการบำรุงรักษา เช่น ระยะห่างระหว่างโครงสร้างข้างเคียง ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานแผ่นดินไหว

เพื่อเป็นการรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการประเมิน และวิเคราะห์โครงสร้าง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบโครงสร้างในรายละเอียดดังต่อไปนี้

- (1) ลักษณะทางกายภาพของชิ้นส่วนโครงสร้าง ความเสียหาย และการเสื่อมสภาพตารางที่ 1 และตารางที่ 2
- (2) แสดงรูปแบบความเสียหายของโครงสร้าง บริเวณชิ้นส่วนโครงสร้างที่มักพบ สาเหตุ และช่วงอายุที่เกิดความเสียหาย
- (3) ความมั่นคง และปลอดภัยของการถ่ายแรงไปยังชิ้นส่วนโครงสร้างหลักในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง
- (4) ข้อมูลเอกสารต่าง ๆ ที่จำเป็นในการประเมินค่ากำลังของวัสดุ และตัวคุณลักษณะต่างๆ ในขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างหรือการทดสอบสมบัติของวัสดุเพิ่มเติม
- (5) การเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนโครงสร้าง หรือตำแหน่งของชิ้นส่วนโครงสร้างที่ผิดไปจากปกติ ข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้อง เช่น ระยะห่างจากโครงสร้างข้างเคียง ข้อจำกัดในการพิจารณาวิธีการบำรุงรักษา การประเมินแรงต้านทานแผ่นดินไหวของโครงสร้าง สภาพของฐานรองรับชิ้นส่วนโครงสร้าง รูปแบบทางสถาปัตยกรรม
- (6) การเปลี่ยนแปลงระบบของโครงสร้างเช่น รูปแบบของจุดรองรับโครงสร้างแบบยึดรั้ง หรือไม่ยึดรั้ง
- (7) ลักษณะการใช้งานโครงสร้างที่ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ในเอกสารการออกแบบโครงสร้าง

การตรวจสอบต้องมีการคำนึงถึงผลของการเสื่อมสภาพของวัสดุต่อสมรรถนะของโครงสร้าง โดยหากไม่มีข้อมูลดังกล่าว จำเป็นต้องมีการตรวจสอบสมบัติของวัสดุของโครงสร้างจริงโดยละเอียดเพิ่มเติมเพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง

ในกรณีที่มีข้อมูลไม่เพียงพอในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบโครงสร้างโดยละเอียดในขั้นตอนต่อไป

**ตารางที่ 1 การแตกร้าวและความเสียหายในลักษณะอื่น ๆ ที่เกิดจากการทำลายจากสิ่งแวดล้อม
หรือการเสื่อมสภาพ**

ประเภท ความเสียหาย	ลักษณะและ บริเวณ ที่พบในองค์ อาคาร	ชนิดองค์อาคาร ที่มักพบ	สาเหตุหลัก	สาเหตุรอง	ช่วงอายุที่มักจะ เริ่มพบ (ขึ้นกับ ความรุนแรง ของการทำลาย)
ประเภทความเสียหายแบบการแตกร้าว					
1.1) การทรุดตัว พลาสติก (plastic settlement)	○ ผิวบนตามแนว เหล็กเสริม แนวนอน ○ ใกล้บริเวณที่มี การเปลี่ยนความ หนาขององค์ อาคาร ○ ข้างเสาตาม แนวเหล็กปลอก	○ แผ่นพื้น ถนน ○ พื้นวาฟเฟิล รอยต่อระหว่าง แผ่นพื้นกันคาน หรือเสา หรือฐาน ราก ที่เทคอนกรีต พร้อมกัน ○ เสา	○ เย็นน้ำมาก เกินไป ○ แบบขยับ แบบไม่ แน่น แบบแอ่น ตัว แบบร้าว	○ สูญเสีย ฟองอากาศ ○ แบบหล่อดูน้ำ มากเกินไป	ในช่วงพลาสติก หลังเทคอนกรีต เสร็จ ก่อน คอนกรีตแข็งตัว
1.2) การหดตัว พลาสติก (plastic shrinkage)	○ ผิวบน ทิศทาง รอยแตกไม่ แน่นอน หรือ แตกผิวบนตาม แนวเหล็กเสริม แนวนอน หรือ แตกทแยงมุมที่ผิว ในกรณีแผ่นพื้น หรือถนน	○ แผ่นพื้น ถนน คาน ฐานราก	○ สูญเสียน้ำ บริเวณผิวมาก และเร็วเกินไป	○ การเย็นน้ำ ขัดเขยไม่ทัน ○ การระเหย ที่ผิวบน	ในช่วงพลาสติก หลังเทคอนกรีต เสร็จ ก่อน คอนกรีตแข็งตัว และบ่มไม่ดี
1.3) อุนหภูมิ (คอนกรีตหยา)	○ บริเวณผิวที่มี อุณหภูมิต่ำกว่า ข้างใน (ยึดรั้ง ภายใน) ใน ○ รอยต่อระหว่าง ผนังหนากับ โครงสร้างที่ยึดรั้ง	○ ฐานราก เชื้อน แผ่นพื้นและผนัง หนามาก ○ ผนังหนาที่หล่อ ติดกับโครงสร้าง ด้านล่างที่ยึดรั้ง	○ ความร้อนที่เกิด จากปฏิกิริยา ระหว่าง ปูนซีเมนต์กับน้ำ	-	ในช่วงอายุต้น หลังคอนกรีตแข็ง แล้ว เช่น ประมาณ 3 ถึง 14 วัน ในกรณี ฐานราก และแผ่น พื้นและผนัง และ

มยพ.1902-62 มาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่า
และโครงสร้างอาคารที่เสียหาย

ประเภท ความเสียหาย	ลักษณะและ บริเวณ ที่พบในองค์ อาคาร	ชนิดองค์อาคาร ที่มักพบ	สาเหตุหลัก	สาเหตุรอง	ช่วงอายุที่มักจะ เริ่มพบ (ขึ้นกับ ความรุนแรง ของการทำลาย)
	ผนังด้านล่าง (ยึดรั้งภายนอก)	ผนัง			นานกว่านั้น หากโครงสร้าง ใหญ่มากขึ้น
1.4) การหดตัว 1.4.1) การหดตัว แห้ง 1.4.2) การหดตัว ออโตจีนัส	- ทิศทางไม่ แน่นอน ลายงา มักแตกเฉพาะใกล้ ผิว (ยึดรั้งภายใน) - แตกแนวยาว ทะลุตลอดความ หนา (มีการยึดรั้ง ภายนอก) - แตกภายใน (ยึดรั้งภายในโดย เหล็กเสริม) - แตกแนวยาว ทะลุตลอดความ หนา (มีการยึดรั้ง ภายนอก)	- องค์อาคารที่ หนา เช่น แผ่นพื้น หนา ฐานราก คาน เสา - แผ่นบาง เช่น แผ่นพื้น ถนน ผนัง - เสา คาน ที่ใช้ คอนกรีตกำลังสูง หรือ อัตราส่วนน้ำ ต่อวัสดุประสานต่ำ หรือมีความทึบน้ำ สูงมาก	- สูญเสียน้ำ บริเวณผิว - สูญเสียน้ำ ภายในให้กับ ปฏิกิริยาระหว่าง ปูนซีเมนต์ กับน้ำ	-	- ตั้งแต่ปล่อยให้ ผิวคอนกรีตแห้ง จนถึงประมาณ 2 ถึง 3 เดือน - ในช่วงอายุต้น หลังคอนกรีตแข็ง แล้ว ในระหว่างที่ ปฏิกิริยาระหว่าง ปูนซีเมนต์กับน้ำ ยังมีอยู่ เช่น ประมาณ 3 วัน ถึง 2 เดือน
1.5) แตกลายงา แบบละเอียด (crazing)	แตกลายงาแบบ ละเอียดเฉพาะบน ผิว เป็นแห่งๆ	แผ่นพื้น ถนน ฐานราก	สูญเสียน้ำ บริเวณผิว มีเพสต์มาก เกินไปบริเวณผิว	แตงผิวมาก เกินไป เติมน้ำ บนผิวมาก เกินไป	หลังผิวคอนกรีต แข็งแล้วในช่วง อายุต้น โดยปกติ ภายในสอง สัปดาห์แรก
1.6) การเกิดสนิม ในเหล็กเสริม	แตกร้าวตาม แนวเหล็กเสริม	ทุกชนิดองค์อาคาร คอนกรีตที่มี	สัมผัสกับคลอ ไรด์ เช่น	สภาวะแห้ง สลับเปียกขึ้น	หนึ่งปีขึ้นไป

ประเภท ความเสียหาย	ลักษณะและ บริเวณ ที่พบในองค์ อาคาร	ชนิดองค์อาคาร ที่มักพบ	สาเหตุหลัก	สาเหตุรอง	ช่วงอายุที่มักจะ เริ่มพบ (ขึ้นกับ ความรุนแรง ของการทำลาย)
	(หากกะเทาะ คอนกรีตออกจะ เห็นสนิมเหล็ก เสริม) ○ คอนกรีตหุ้ม เหล็กกะเทาะออก (หากกะเทาะ คอนกรีตออกจะ เห็นสนิมเหล็ก เสริม)	การเสริมเหล็ก	สิ่งแวดล้อมทะเล ดินที่มีเกลือ ○ คาร์บอนชั้น ในสิ่งแวดล้อมที่มี ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ สูง		○ มากกว่าสองปี ขึ้นไป (เกิดสนิม ช้ากว่ากรณีคลอ ไรด์)
1.7) ปฏิกริยา ระหว่างต่างและ มวลรวม (AAR)	แตกร้าวบริเวณผิว อาจสังเกตเห็น คราบเจล หรือการ บวมตัวของ คอนกรีต การ แตกร้าวขยายตัว ไปเรื่อย ๆ ตาม กาลเวลา	ทุกชนิดองค์อาคาร	ใช้มวลรวมที่เกิด ปฏิกิริยาได้ใน การผสม คอนกรีต และ องค์อาคารอยู่ใน สิ่งแวดล้อมที่ สัมผัสความเปียก ชื้น	-	มากกว่าห้าปีขึ้นไป
1.8) ปฏิกริยา DEF (delayed etching formation)	แตกร้าวบริเวณผิว อาจสังเกตเห็นการ บวมตัวของ คอนกรีต	ทุกชนิดองค์อาคาร	คอนกรีตเคย ผ่านอุณหภูมิสูง ในช่วงอายุต้นมา ก่อน	มีปริมาณยิปซัม สูงเกินไปในวัสดุ ประสาน	มากกว่าห้าปีขึ้นไป

ประเภท ความเสียหาย	ลักษณะและ บริเวณ ที่พบในองค์ อาคาร	ชนิดองค์อาคาร ที่มักพบ	สาเหตุหลัก	สาเหตุรอง	ช่วงอายุที่มักจะ เริ่มพบ (ขึ้นกับ ความรุนแรง ของการทำลาย)
ประเภทความเสียหายลักษณะอื่น					
1.9) การบวมตัว และผิวน้ำ เสียหาย เนื่องจากโซเดียม ซัลเฟต	คอนกรีตบวมตัว จนแตกร้าวที่ผิว	ทุกชนิดองค์อาคาร ที่สัมผัสกับ สารละลายโซเดียม ซัลเฟต	สัมผัสกับ สารละลาย โซเดียมซัลเฟต	-	มากกว่าสองปีขึ้นไป
1.10) การกร่อน ของผิวน้ำ คอนกรีตจาก แมกนีเซียม ซัลเฟต	ผิวน้ำคอนกรีต กร่อน เผยให้เห็น เม็ดหิน ทราบ	ทุกชนิดองค์อาคาร ที่สัมผัสกับ สารละลาย แมกนีเซียมซัลเฟต	สัมผัสกับ สารละลาย แมกนีเซียม ซัลเฟต	-	มากกว่าสองปีขึ้นไป
1.11) การกร่อน ของผิวน้ำ คอนกรีตจากกรด ทำลาย	ผิวน้ำคอนกรีต กร่อน เผยให้เห็น เม็ดหิน ทราบ	ทุกชนิดองค์อาคาร ที่สัมผัสกับกรด และโครงสร้าง ระบายน้ำเสีย	สัมผัสกับกรด	-	มักจะเร็วกว่า กรณีซัลเฟต แล้วแต่ความ เข้มข้น ของกรด
1.12) การสึก กร่อนจากการขัด สี หรือชะล้าง 1.12.1) การสึก กร่อนจากการขัด สี 1.12.2) การสึก กร่อนจากการชะ ล้าง	ผิวน้ำสึกกร่อน เผยให้เห็นเม็ดหิน ทราบ	- ผิวน้ำ ผิวน้ำพื้น โรงงาน - ประตูน้ำล้น อุโมงค์น้ำ โครงสร้างในน้ำที่ ไหลเชี่ยว หรือ มี คลื่นกระทบ	- แรงขัดสี ขัดถู จากของแข็ง เช่น จากยาง รถยนต์ จากการ เลื่อนของหนัก บนผิวคอนกรีต - การชะล้าง โดยกระแสน้ำ คลื่น และอนุภาค	-	หนึ่งปีขึ้นไป

ประเภท ความเสียหาย	ลักษณะและ บริเวณ ที่พบในองค์ อาคาร	ชนิดองค์อาคาร ที่มักพบ	สาเหตุหลัก	สาเหตุรอง	ช่วงอายุที่มักจะ เริ่มพบ (ขึ้นกับ ความรุนแรง ของการทำลาย)
			ของแข็ง เช่น เม็ดยานที่อยู่ ในน้ำ และคลื่น		
1.13) หินเกิด สนิม และผิว คอนกรีตกะเทาะ หลุดร่อน	ผิวหน้าคอนกรีตมี สีสนิมเป็นจุดๆ และหลุดร่อน บริเวณหิน	โครงสร้างที่ผิวหน้า สัมผัสกับความชื้น ได้	มีแร่เหล็กซัลไฟด์ ในหิน เช่น แร่ไพ ไรต์ไพโรไทต์	-	สามเดือนขึ้นไป
1.14) ไฟไหม้	ผิวคอนกรีต เปลี่ยนสี แตกร้าว คอนกรีตหุ้ม กะเทาะ เหล็ก เสริมเปลี่ยนรูป แตกร้าว	เสา คาน แผ่นพื้น ผนัง โดยรอบตำแหน่ง ยัดรีงขององค์ อาคารที่ได้รับผล จากไฟไหม้	อุณหภูมิสูงจาก การถูกไฟไหม้ การขยายตัว ขององค์อาคาร เนื่องจาก อุณหภูมิสูง	- -	เมื่อถูกไฟไหม้ เมื่อถูกไฟไหม้

ตารางที่ 2 การแตกร้าวและความเสียหายที่เกิดจากแรงกระทำ

ประเภท ความเสียหาย	ลักษณะและบริเวณ ที่พบในองค์อาคาร	ชนิดองค์อาคาร ที่มักพบ	สาเหตุ	ช่วงอายุที่มักจะ เริ่มพบ
2.1) แรงอัด	แตกแบบบดขยี้ (crushing) ในองค์อาคาร รับแรงอัด	เสา ตอม่อ ผนังรับน้ำหนัก	หน่วยแรงอัดจากน้ำหนัก บรรทุกสูงกว่ากำลังอัด ของคอนกรีต ซึ่งอาจเกิดจากการใช้งาน เกินน้ำหนักบรรทุกที่ ออกแบบ หรือ กำลังคอนกรีตต่ำกว่าที่ ออกแบบ หรือออกแบบ ผิด หรือก่อสร้างไม่ดี หรือ เสื่อมสภาพ	ตลอดอายุ เมื่อ น้ำหนักบรรทุก เกินกำลัง ในการรับแรงอัด ขององค์อาคาร
2.2) แรงดัด	○ แตกร้าวที่ผิว องค์อาคารรับแรงดัด ในด้านที่เกิดหน่วย แรงดัดในทิศทางตาม ขวาง ○ แตกแบบบดขยี้ ที่ผิวองค์อาคาร รับแรงดัดในด้าน ที่เกิดหน่วยแรงอัด บริเวณผิวด้านที่รับ หน่วยแรงอัดสูงสุด	คาน แผ่นพื้น เสารับ แรงดัด	○ หน่วยแรงดัดที่เกิดจาก โมเมนต์ดัดสูงกว่าค่า โมดูลัสแตกร้าว ของคอนกรีต ○ หน่วยแรงอัดที่ผิวองค์ อาคาร รับแรงดัดในด้านที่เกิด หน่วยแรงอัดที่เกิดจาก โมเมนต์ดัดสูงกว่ากำลังอัด ของคอนกรีตซึ่งอาจเกิด จาก การใช้งานเกินกว่า น้ำหนักบรรทุกที่ ออกแบบ หรือ กำลัง คอนกรีต ต่ำกว่าที่ออกแบบ หรือ ออกแบบผิด หรือก่อสร้าง ไม่ดี หรือ เสื่อมสภาพ	○ ตลอดอายุ เมื่อ โมเมนต์จาก น้ำหนักบรรทุก เกินค่าโมเมนต์ แตกร้าว ○ ตลอดอายุ เมื่อ โมเมนต์จาก น้ำหนักบรรทุก เกินค่าโมเมนต์ ประลัย

ประเภท ความเสียหาย	ลักษณะและบริเวณ ที่พบในองค์อาคาร	ชนิดองค์อาคาร ที่มักพบ	สาเหตุ	ช่วงอายุที่มักจะ เริ่มพบ
2.3) แรงเฉือน 2.3.1) แรงเฉือนดัด (flexural shear)	○ แตกร้าวในแนวเฉียง ต่อจากรอยแตกร้าวที่ เกิดจากแรงดัด มักเกิดบริเวณใกล้ ฐานรองรับคาน	○ คาน	○ หน่วยแรงเฉือนในหน้า ดัดคาน มีค่าสูงกว่ากำลังเฉือน ของหน้าดัดคานนั้น	ตลอดอายุ เมื่อ หน่วยแรงเฉือนที่ คำนวณมาจาก น้ำหนักบรรทุกทุก เกินค่ากำลังรับ แรงเฉือนแต่ละ ชนิด
2.3.2) แรงเฉือนแกน (web shear)	○ แตกร้าวในแนวเฉียง บริเวณกลาง ความลึกคาน	○ คานที่มี ความกว้าง หน้าตัดบาง เช่น คาน หน้าตัดรูป T รูป I	○ หน่วยแรงเฉือนในหน้า ดัดคาน มีค่าสูงกว่ากำลังเฉือน ของหน้าดัดคานนั้น	
2.3.3) แรงเฉือนตัด ขาด (direct shear)	○ แตกร้าวแบบเฉือน ตัดขาด	○ ฐานยื่นรองรับคาน (corbels)	○ หน่วยแรงเฉือนในหน้า ดัดคาน มีค่าสูงกว่ากำลังเฉือน ของหน้าดัดคานนั้น	
2.3.4) แรงเฉือนเจาะ ทะลุ(punching shear)	○ แตกร้าวแบบเฉือน ตามแนวแรงเฉือน (กรณีนี้เกิดยาก มักไม่พบเห็น) ○ แตกร้าวเป็น วงรอบแบบเจาะทะลุ ในแผ่นพื้นบางที่ รองรับโดยเสา	○ แผ่นพื้นที่วางบน เสา ฐานรากวางบน เสาเข็ม	○ หน่วยแรงเฉือนตัดขาด ในหน้าดัดมีค่าสูงกว่า กำลังเฉือนตัดขาด ของหน้าดัด ○ หน่วยแรงเฉือนเจาะทะลุ ในหน้าดัดมีค่าสูงกว่า กำลังเฉือนเจาะทะลุของ หน้าดัด	
2.4) แรง ยึดเหนี่ยวระหว่าง	○ แตกร้าวตามแนว เหล็กเสริม (มักเกิดใน	○ คาน แผ่นพื้น	○ เหล็กเสริมหลุดจาก คอนกรีต เนื่องจากแรง	ตลอดอายุ เมื่อ แรงดึง

ประเภท ความเสียหาย	ลักษณะและบริเวณ ที่พบในองค์อาคาร	ชนิดองค์อาคาร ที่มักพบ	สาเหตุ	ช่วงอายุที่มักจะ เริ่มพบ
คอนกรีตกับเหล็ก เสริม (bond)	กรณีที่มีระยะหุ้ม ไม่มาก ○ เหล็กเสริมหลุดออก จากคอนกรีต (มักเกิด ในกรณีที่มีระยะหุ้ม มาก)	○ องค์อาคารที่มีการ ฝังเหล็ก	ยึดเหนี่ยวไม่เพียงพอ ○ ระยะฝังไม่เพียงพอ ทำให้ แรงยึดเหนี่ยวไม่ เพียงพอซึ่งอาจเกิดจาก การออกแบบผิดพลาด หรือก่อสร้างไม่ดี	ในเหล็กเสริมที่ หน้าตัดสูงกว่า แรงยึดเหนี่ยว ระหว่างคอนกรีต กับเหล็กเสริมที่ หน้าตัดนั้น
2.5) แรงบิด	○ แตกร้าว เป็นมุมเฉียง เป็นเกลียวรอบคาน ○ แตกร้าวตามแนว รอยต่อระหว่างคาน กับแผ่นพื้น	คานริม คานในที่แผ่นพื้นสอง ฝั่งรับน้ำหนักไม่ เท่ากัน (unbalanced moment)	สาเหตุมักจะเกิดจากการ ไม่ได้ออกแบบรับแรงบิด	○ ตลอดอายุเมื่อน้ำหนักบรรทุกทุกทำให้ หน่วยแรงเฉือนที่เกิดจากแรงบิด มีค่าสูงกว่ากำลังเฉือน ขององค์อาคาร นั้น ○ ตลอดอายุเมื่อแรงบิดทำให้เกิด หน่วยแรงดึงตามแนวรอยต่อ ระหว่างคานกับแผ่นพื้น ที่มีค่าสูงกว่ากำลังดึง ของหน้าตัดนั้น
2.6) การทรุดตัว	แตกร้าวในทิศทาง ทแยงในผนัง หรือทิศ เฉียงในคาน ทั้งนี้รอย ร้าวในผนัง จะเกิดง่าย และพบได้ บ่อยกว่า หรือตรวจ	ผนัง คาน	การทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน ในโครงสร้าง	ตลอดอายุ เมื่อการ ทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน ทำให้เกิดหน่วย แรงเฉือนในผนัง หรือ คาน ที่มีค่า สูงกว่ากำลังเฉือน

ประเภท ความเสียหาย	ลักษณะและบริเวณ ที่พบในองค์อาคาร	ชนิดองค์อาคาร ที่มักพบ	สาเหตุ	ช่วงอายุที่มักจะ เริ่มพบ
	พบการทรุดตัว ที่ไม่เท่ากัน			ขององค์อาคาร นั้น
2.7) การแอ่นตัวที่ มากเกินไปของ โครงสร้างรับแรงดัด	แตกร้าวในผนังบน องค์อาคารรับแรงดัด ดังกล่าว แตกร้าวในผนังใต้ องค์อาคารรับแรงดัด ดังกล่าว แตกร้าวบริเวณกลาง องค์อาคารบริเวณ ที่มีหน่วยแรงดัด	ผนัง ผนัง คาน, แผ่นพื้น (ส่วนใหญ่พบบริเวณ ผิวล่าง)	การแอ่นตัวมากเกินไป	เมื่อการแอ่นตัว มากเกินไปจนทำให้ การรองรับผนัง ด้านบนไม่ สม่ำเสมอ เมื่อการแอ่นตัว มากเกินไปจะทำให้ เกิดแรงกด บริเวณกึ่งกลาง ผนัง ด้านใต้ของอาคาร รับแรงดัด ดังกล่าว เมื่อการแอ่นตัว มากเกินไปทำให้ หน่วยแรงดัด ใน บริเวณผิวรับแรง ดัด มีค่าสูงกว่า กำลังแรงดัดของ องค์อาคาร ที่บริเวณนั้น

4.2 การตรวจสอบโดยละเอียด

ในกรณีที่การตรวจสอบเบื้องต้นให้ข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง จำเป็นต้องดำเนินการตรวจสอบโดยละเอียดเพิ่มเติม ได้แก่ การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม หรือการตรวจสอบสมบัติของวัสดุที่เกิดการเสื่อมสภาพ

ในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างจริงที่เกิดการเสื่อมสภาพแล้ว จำเป็นต้องคำนึงถึงสมบัติของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเสื่อมสภาพด้วย

การตรวจสอบโดยละเอียดของโครงสร้างจริง แสดงรายละเอียดในตารางที่ 3 ถึงตารางที่ 4 และ มยพ.1501-51 ถึง มยพ. 1507-51, ACI 201.2R-01, ACI 214.4R-03, ACI 228.1R-03, ACI 228.2R-98, ACI 364.1R-94, ACI 437.1R-07 และ ASCE/SEI 11-99

ตารางที่ 3 การตรวจสอบความเสียหายและการเสื่อมสภาพในรูปแบบลักษณะต่าง ๆ

3.1 จุดบกพร่องจากการก่อสร้าง (construction faults)		
ประเภทความเสียหาย	รายการทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง
รอยต่อการเทคอนกรีต (cold joint)	กำลังอัดของคอนกรีต ในรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.3	ASTM C42-03 และ C39-01
เหล็กเสริมที่ไม่มีคอนกรีตหุ้ม	ระยะหุ้มคอนกรีต ในรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.3	
รูพรุนแบบรงฝังในเนื้อคอนกรีต	วิธีการตรวจสอบขึ้นอยู่กับขนาดของรูพรุนในเนื้อคอนกรีต 1. คลื่นอัลตราโซนิก 2. คลื่นเรดาร์ 3. ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ 4. เจาะคอนกรีต และทำการตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1504-51 มยพ. 1507-51 มยพ. 1501-51 ASTM C823-00
ช่องว่างในคอนกรีต และการหลุดร่อนของคอนกรีต (delamination)	วิธีการตรวจสอบขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่างและความลึก 1. Acoustic impact	ASTM D 4580

3.1 จุดบกพร่องจากการก่อสร้าง (construction faults)		
ประเภทความเสียหาย	รายการทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง
	2. Impact echo 3. Infrared thermography 4. คลื่นอัลตราโซนิก 5. คลื่นเรดาร์	ASTM C1383-98 ASTM D4788-03 มยพ. 1504-51 มยพ. 1507-51

3.2 รอยร้าว (cracks)		
ประเภทความเสียหาย	รายการทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง
ทิศทางและลักษณะของรอยร้าว	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1501-51
ความกว้างของรอยร้าว	1. บรรทัดเปรียบเทียบกับ 2. กล้องวัดขยายรอยแตก	มยพ. 1501-51
ความยาวรอยร้าว	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1501-51
ความลึกของรอยร้าว	1. คลื่นอัลตราโซนิก 2. Impact Echo 3. เจาะคอนกรีต และทำการตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1504-51 ASTM C1383-98 ASTM C823-00
ติดตามการขยายตัวของรอยร้าว	ตรวจติดตามรอยร้าว	มยพ. 1501-51

3.3 การเสื่อมสภาพ หรือสลายตัวของคอนกรีต (deterioration or disintegration of concrete)		
ประเภทความเสียหาย	รายการทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง
การบวมตัว และผิวหน้าเสียหาย	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1501-51
การสีกร่อนของผิวหน้า	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1501-51
การสลายตัวของผิวหน้า	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1501-51
การหลุดร่อนของผิวคอนกรีต	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1501-51
การเกิดสนิมของมวลรวม	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1501-51
การเปลี่ยนสีของคอนกรีต	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1501-51
การแตกของคอนกรีตเนื่องจาก การถูกกดอัด (Crushing)	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1501-51

3.4 การบิดเบี้ยวหรือเคลื่อนตัวของโครงสร้าง (distortion and movement)		
ประเภทความเสียหาย	รายการทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง
การบิดเบี้ยวของโครงสร้าง	มาตรฐานการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอาคาร	มยพ. 1552-51
การทรุดตัวไม่เท่ากันของโครงสร้าง	มาตรฐานการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอาคาร	มยพ. 1552-51
การเคลื่อนตัวของโครงสร้าง	มาตรฐานการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอาคาร	มยพ. 1552-51

3.5 การรั่วซึมของน้ำ หรือของเหลว		
ประเภทความเสียหาย	รายการทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง
คราบความชื้น สนิม หรือตะไคร่น้ำ	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1501-51
การบวมปูดของวัสดุเคลือบผิว	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1501-51
การเสื่อมสภาพของวัสดุอุดปิดรอยต่อ	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1501-51
คราบหินปูนที่ผิวคอนกรีต	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1501-51

ตารางที่ 4 การตรวจสอบโดยละเอียด

4.1 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนักบรรทุก		
ประเภทความเสียหาย	รายการทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง
กำลังอัดคอนกรีต	1. เจาะคอนกรีตเพื่อทดสอบกำลังอัด 2. Pull out test 3. ค้อนกระแทก 4. Windsor probe 5. คลื่นอัลตราโซนิก	ASTM C42-03 และ C39-01 ASTM C900-01 มยพ. 1502-51 มยพ. 1503-51 มยพ. 1504-51
แรงดึงคอนกรีต	1. เจาะคอนกรีต เพื่อทดสอบกำลังดึง 2. Pull off test	ASTM C496-04 ASTM C1583-04
กำลังดึงของเหล็กเสริม	1. การตัดชิ้นตัวอย่างเหล็กเพื่อทดสอบ กำลังดึงของเหล็กเสริม 2. Hardness test *ค่า Hardness value เหมาะสำหรับการ ตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบ ความสม่ำเสมอของสมบัติเหล็กเสริม ในบริเวณต่าง ๆ กัน เช่น ใช้ใน การประเมินว่า เหล็กเสริมในบริเวณ ที่ถูกไฟไหม้มีค่า Hardness value ต่างไปจากเหล็กเสริมในบริเวณ ที่ไม่ถูกไฟไหม้ หรือไม่	ASTM A370-03 ASTM A370-03
ความหนาแน่นของคอนกรีต	1. เจาะคอนกรีต	ASTM C42-03 และ C39-01
การทดสอบค่าโมดูลัส ยืดหยุ่น	ตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการเจาะ และติดอุปกรณ์วัดความเครียด	ASTM C42-03
กำลังการรับน้ำหนักบรรทุก ของโครงสร้าง	ทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจริง	ACI 318R-11 ACI 437.1R-07

4.1 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนักบรรทุก		
ประเภทความเสียหาย	รายการทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง
จำนวนและตำแหน่งของเหล็กเสริม	1. Covermeter 2. คลื่นเรดาร์ 3. เปิดผิวคอนกรีต	มยพ. 1505-51 มยพ. 1507-51 -
ขนาดและระยะหุ้มคอนกรีต	1. Covermeter 2. คลื่นเรดาร์ 3. เปิดผิวคอนกรีต และทำการตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยพ. 1505-51 มยพ. 1507-51 -

4.2 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านความสามารถในการใช้งาน		
ประเภทความเสียหาย	รายการทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง
ค่าการทรุดตัวที่ยอมรับได้ในรูปของการเสียรูปเชิงมุม (Angular Distortion: β)	ทำการวัดด้วยกล้องระดับ	-
การแอ่นตัวขององค์อาคาร	ทำการวัดด้วยกล้องระดับ	-
ปริมาณการร้าวซึมของของเหลวเก็บกัก	การประเมินการร้าวซึมของของเหลวเก็บกัก	ACI 350.1R-01 และ ASTM E2128-01
การตรวจสอบความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือน	วัดความถี่ของอาคารและองค์อาคาร	BS 7385-1-90 ISO 4866-10 BS 7385-2-93 Murray et al. (1999) ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 37

4.3 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านอายุการใช้งานและความคงทน		
ประเภทความเสียหาย	รายการทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง
การแตกร้าวเนื่องจาก การหดตัวแบบพลาสติก	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ และตารางที่ 3	มยผ. 1501-51
การแตกร้าวเนื่องจาก อุณหภูมิ	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ และตารางที่ 3	มยผ. 1501-51
การแตกร้าวเนื่องจาก การหดตัวแบบออโตจีนัส	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ และตารางที่ 3	มยผ. 1501-51
การแตกร้าวเนื่องจาก การหดตัวแบบแห้ง	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ และตารางที่ 3	มยผ. 1501-51
การเป็นสนิมของเหล็กเสริม เนื่องจากคลอไรด์	ปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตที่ตำแหน่ง เหล็กเสริม	ASTM C1152-03
การเกิดสนิมในเหล็กเสริม	1. ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ 2. Linear polarization 3. เป็ดผิวคอนกรีต และทำการตรวจสอบ ด้วยการตรวจพินิจ	มยผ. 1506-51 SHRPS-324 -
การเป็นสนิมของเหล็กเสริม เนื่องจากคาร์บอนชั้น	ความลึกคาร์บอนชั้น	EN 14630-06
ปฏิกิริยาระหว่างต่าง กับมวลรวม	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ และตารางที่ 2	มยผ. 1501-51
การเกิด Delayed Ettringite Formation	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ และตารางที่ 2	มยผ. 1501-51
การสึกกร่อน	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ และตารางที่ 2	มยผ. 1501-51
การเผชิญกับซัลเฟต และกรด	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ และตารางที่ 2	มยผ. 1501-51

4.3 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านอายุการใช้งานและความคงทน		
ประเภทความเสียหาย	รายการทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง
ไฟไหม้	เจาะคอนกรีต เพื่อทดสอบกำลังอัด เจาะคอนกรีต เพื่อทดสอบกำลังดึง ค้อนกระทบ คลื่นอัลตราโซนิก Infrared thermography	ASTM C39-01 ASTM C496-04 มยผ. 1502-51 มยผ. 1504-51 ASTM D4788-03
การเกิดสนิมของมวลรวม	ตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ	มยผ. 1501-51

4.2.1 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนักบรรทุก

การประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกแม้ว่าจะมีข้อมูลด้านสมบัติของคอนกรีต หรือเหล็กเสริมจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง หรือข้อมูลสมบัติวัสดุในช่วงเวลาการก่อสร้างอาคาร แต่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบสมบัติของวัสดุของโครงสร้างจริงเพิ่มเติมด้วย โดยอย่างน้อยต้องมีการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต และกำลังดึงของเหล็กเสริม

การทดสอบสมบัติของวัสดุในโครงสร้างจริง ต้องคำนึงถึงตำแหน่ง และจำนวนตัวอย่างในการทดสอบ ซึ่งต้องถูกกำหนดโดยผู้ตรวจสอบวิศวกรรมโครงสร้างโดยจำนวนตัวอย่างต้องไม่น้อยกว่าจำนวนตัวอย่างที่แนะนำในมาตรฐานวิธีทดสอบนั้น ๆ จำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมควรคำนึงถึงการควบคุมคุณภาพระหว่างการก่อสร้าง ระบบของโครงสร้าง นอกจากนั้นควรพิจารณาผลของการเสื่อมสภาพต่อสมบัติของวัสดุประกอบด้วย

กำลังของวัสดุที่ได้จากการตรวจสอบนี้สามารถนำไปใช้คู่กับตัวคูณลดทอนค่ากำลัง ดังแสดงในรายละเอียดในบทที่ 5 เพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างต่อไป

4.2.1.1 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

วิธีการทดสอบที่เป็นที่ยอมรับในการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ได้แก่ การเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีต และการทดสอบแท่งตัวอย่างตาม ASTM C42-03, ASTM C823-00 และ ACI 214.4R-03 ไม่อนุญาตให้ใช้วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายเพียงวิธีเดียวเพื่อทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ยกเว้นได้มีการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบกำลังอัดจากแท่งตัวอย่างคอนกรีต และผลการทดสอบแบบไม่ทำลายตามคำแนะนำ ACI 228.1R-03 หรือมาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบ

แบบไม่ทำลาย วิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (rebound hammer) (มยพ. 1502-51) โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวต้องมีความเหมาะสม เช่น คอนกรีตที่มีวัสดุประสาน และมวลรวมประเภทเดียวกัน กับคอนกรีตของโครงสร้างที่ตรวจสอบ หรือมีผลการทดสอบเชิงสถิติที่เพียงพอในการสร้างความสัมพันธ์ ระหว่างกำลังอัดคอนกรีต และผลการทดสอบแบบไม่ทำลาย ซึ่งได้พิจารณาผลของตัวแปรที่มีผลต่อ ผลการทดสอบนั้น ๆ โดยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย ให้อ้างอิงวิธีการทดสอบตาม มยพ. 1502-51 ถึง มยพ. 1504-51

4.2.1.1.1 จำนวนตัวอย่าง

การทดสอบกำลังอัดจากแท่งตัวอย่างคอนกรีตจากการเจาะคอนกรีตมีความไม่แน่นอน เนื่องจากหลายปัจจัย เช่น การใช้งานคอนกรีตที่มีกำลังอัดต่างกันในแต่ละชั้นส่วนโครงสร้าง ความไม่แน่นอนของกำลัง คอนกรีตในแต่ละครั้งที่มีการเทคอนกรีต ความไม่สมบูรณ์ของแท่งเจาะคอนกรีตที่ใช้ทดสอบ ผลของขนาด แท่งเจาะคอนกรีตและความชื้น และความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ นอกจากนี้ผลของการก่อสร้าง ก็ยังเป็นปัจจัยสำคัญทำให้กำลังอัดของคอนกรีตแตกต่างกันไป เช่น การเย็นน้ำ การจี้คอนกรีต การบ่ม คอนกรีต และการเกิดรอยร้าวขนาดเล็ก

ดังนั้นการเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตเพื่อการทดสอบมีความจำเป็นต้องกำหนดจำนวนตัวอย่างขั้นต่ำ ที่เป็นไปตามข้อแนะนำของ ASTM E122-00 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 นอกจากนี้ ASTM C823-00 ได้แนะนำจำนวนแท่งตัวอย่างอย่างน้อย 5 แท่งตัวอย่าง

$$N_{min} = \left(\frac{3 \times V}{e} \right)^2 \quad (1)$$

โดยที่ N_{min} คือ จำนวนตัวอย่างขั้นต่ำที่ต้องทดสอบ

V คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของผลทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5

e คือ ระดับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ระหว่างผลการสุ่ม และค่าที่แท้จริง แสดงเป็นร้อยละของค่าเฉลี่ยที่แท้จริงของประชากรตัวอย่างทดสอบ

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของค่ากำลังอัดคอนกรีต (ACI 214.4R-03)

การใช้งานคอนกรีต	ในองค์อาคารเดียว	ในหลายองค์อาคาร
การผสมในครั้งเดียว	7%	8%
การผสมหลายครั้ง		
หล่อในที่	12%	13%
ชิ้นส่วนสำเร็จรูป	9%	10%

4.2.1.1.2 ตำแหน่ง และขนาดของการเจาะตัวอย่าง

การเลือกตำแหน่งทดสอบควรมีการกระจายตัวที่ดีทั้งโครงสร้าง โดยต้องคำนึงถึงความแตกต่างกันของสัดส่วนผสมคอนกรีต และกำลังอัดคอนกรีตที่ใช้ในแต่ละส่วนของโครงสร้าง โดยอาจใช้เครื่องมือทดสอบแบบไม่ทำลายตาม มยผ. 1502-51 ถึง มยผ. 1504-51 และ ACI 228.1R-03 เป็นวิธีการคัดกรองตำแหน่งทดสอบเบื้องต้น

การเจาะแท่งตัวอย่างทดสอบควรดำเนินการตาม ASTM C42-03 โดยต้องระวังไม่ให้เกิดความเสียหายจากการเจาะแท่งตัวอย่างต่อแท่งตัวอย่างคอนกรีต ซึ่งจะส่งผลต่อผลการทดสอบ นอกจากนี้ขนาดของแท่งตัวอย่างควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 100 ถึง 150 มม. (ไม่ต่ำกว่าสองเท่าของขนาดมวลรวมหยาบที่ใหญ่ที่สุด) และอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 1.5 ถึง 2.0 เท่า เพื่อลดผลของการใช้สัมประสิทธิ์ปรับแก้ขนาด ซึ่งอาจมีความไม่แม่นยำได้ อย่างไรก็ตาม ASTM C823-00 ได้แนะนำความลึกของการเก็บตัวอย่างตามประเภทของโครงสร้างดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความลึกแนะนำของการเจาะเก็บแท่งตัวอย่างตามประเภทของโครงสร้าง (ASTM C823-00)

ลักษณะโครงสร้าง	ความหนาของชิ้นส่วน โครงสร้าง	ความลึกอย่างน้อย ของการเจาะเก็บตัวอย่าง
แผ่นพื้น, ถนน, กำแพง, ชั้นรองพื้น, ฐานราก, องค์อาคารที่เข้าถึงได้จากด้านเดียว	≤ 0.3 ม.	ตลอดความหนา
	≥ 0.3 ม.	0.3 ม.
แผ่นพื้นบนคาน, กำแพง, ท่อระบายน้ำ, ฐานราก, องค์อาคารที่เข้าถึงได้จากหลายด้าน, ผลิตภัณฑ์คอนกรีต	≤ 0.15 ม.	ตลอดความหนา
	0.15 – 0.30 ม.	ค่ามากกว่าของ 0.5 เท่า ของความหนา หรือ 0.15 ม.
คอนกรีตหลา	≥ 0.6 ม.	0.6

4.2.1.1.3 การทดสอบกำลังอัดของแท่งเจาะตัวอย่าง

ความชื้นของแท่งตัวอย่างคอนกรีตมีผลต่อค่ากำลังอัด ดังนั้นควรมีการควบคุมสภาพความชื้นของแท่งตัวอย่างคอนกรีตตาม ASTM C42-03 ได้แก่ ต้องมีการเช็ดผิวให้แห้งทันทีหลังการเจาะ และทิ้งไว้ให้ผิวแห้งแต่ไม่เกิน 1 ชั่วโมงหลังการเจาะ เก็บแท่งตัวอย่างใส่ถุงพลาสติกที่ปิดมิดชิด หากต้องมีการตัดหรือขัดหัวแท่งตัวอย่างต้องดำเนินการภายใน 2 วันหลังการเจาะ และเช็ดผิวให้แห้ง เก็บในถุงที่ปิดมิดชิด แท่งตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบต้องถูกเก็บในถุงพลาสติกที่ปิดมิดชิดเป็นเวลาอย่างน้อย 5 วัน หลังจากการเปียกน้ำครั้งสุดท้ายเพื่อลดผลกระทบของการกระจายตัวของความชื้นในคอนกรีตที่ไม่สม่ำเสมอ

การทดสอบแท่งตัวอย่างต้องสังเกตการวิบัติของแท่งตัวอย่างคอนกรีตว่าเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของแท่งตัวอย่างหรือการทดสอบที่ไม่ดีหรือไม่ หากมีข้อมูลที่มีค่าสูง หรือต่ำผิดปกติ อาจพิจารณาตัดค่าดังกล่าวทิ้งตาม ASTM E 178-94

4.2.1.1.4 การประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตจากผลทดสอบกำลังอัดของแท่งเจาะตัวอย่าง

กำลังอัดของคอนกรีตในโครงสร้างจริงสามารถคำนวณได้จากกำลังอัดของแท่งเจาะตัวอย่างโดยใช้สมการที่ 2

$$f_c = F_{l/d} F_{dia} F_{mc} F_d f_{core} \quad (2)$$

โดยที่ f_c คือ กำลังอัดของคอนกรีตของโครงสร้างจริง (MPa)

$F_{l/d}$ คือ สัมประสิทธิ์ปรับแก้ผลของอัตราส่วนขนาดความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง

F_{dia} คือ สัมประสิทธิ์ปรับแก้ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

F_{mc} คือ สัมประสิทธิ์ปรับแก้ผลของความชื้นของแท่งเจาะคอนกรีต

F_d คือ สัมประสิทธิ์ปรับแก้ผลของความเสียหายที่เกิดจากการเจาะแท่งตัวอย่าง

f_{core} คือ ผลทดสอบกำลังอัดคอนกรีตจากแท่งเจาะตัวอย่างคอนกรีต (MPa)

โดยสัมประสิทธิ์ที่ใช้สำหรับปรับแก้อัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ปรับแก้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ปรับแก้ความชื้น และความเสียหายของตัวอย่างที่เกิดจากการเจาะแท่งตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สัมประสิทธิ์การปรับแก้กำลังอัดจากแท่งเจาะคอนกรีต

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย	สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (%)
F_{vd} สัมประสิทธิ์ปรับแก้ผลของอัตราส่วนขนาดความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง		
As received	$1 - \{0.130 - \alpha_{f_{core}}\} \left(2 - \frac{1}{d}\right)^2$	$2.5 \left(2 - \frac{1}{d}\right)^2$
แช่น้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง	$1 - \{0.117 - \alpha_{f_{core}}\} \left(2 - \frac{1}{d}\right)^2$	$2.5 \left(2 - \frac{1}{d}\right)^2$
ปล่อยให้แห้งตัว ในอากาศ	$1 - \{0.144 - \alpha_{f_{core}}\} \left(2 - \frac{1}{d}\right)^2$	$2.5 \left(2 - \frac{1}{d}\right)^2$
F_{dia} สัมประสิทธิ์ปรับแก้ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง		
50 มม.	1.06	11.8
100 มม.	1.00	0.0
150 มม.	0.98	1.8
F_{mc} สัมประสิทธิ์ปรับแก้ผลของความชื้นของแท่งเจาะคอนกรีต		
As-received	1.00	2.5
แช่น้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง	1.09	2.5
ปล่อยให้แห้งตัว ในอากาศ	0.96	2.5
F_d สัมประสิทธิ์ปรับแก้ผลของความเสียหายที่เกิดจากการเจาะแท่งตัวอย่าง		
	1.06	2.5

กำลังอัดของคอนกรีตของโครงสร้างจริงที่ได้จากการตรวจสอบจะถูกลดทอนเป็นค่ากำลังอัดคอนกรีตเทียบเท่าเพื่อใช้ในการออกแบบ และประเมินโครงสร้าง กำลังอัดคอนกรีตเทียบเท่าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 โดยค่า k_c จะขึ้นอยู่กับจำนวนตัวอย่างของการตรวจสอบกำลังอัดเทียบเท่าสามารถใช้กับตัวคุณลดทอนค่ากำลัง ดังแสดงใน

$$f_{ceq} = 0.9\bar{f}_c \left[1 - 1.28 \sqrt{\frac{(k_c V)^2}{n} + 0.0015} \right] \quad (3)$$

โดยที่	f_{ceq}	คือ	กำลังอัดคอนกรีตเทียบเท่า (MPa)
	$\bar{f}_c$	คือ	ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตของโครงสร้างจริงที่ได้จากสมการที่ 2 (MPa)
	k_c	คือ	ตัวคูณปรับแก้ผลของค่าความเบี่ยงเบนของผลทดสอบดังแสดงในตารางที่ 8
	V	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของผลทดสอบ
	n	คือ	จำนวนตัวอย่างแห่งทดสอบ

ตารางที่ 8 ตัวคูณปรับแก้ผลของค่าความเบี่ยงเบนของผลการทดสอบกำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีต (ACI 562-14)

จำนวนตัวอย่าง (n)	ตัวคูณปรับแก้ (k_c)
2	2.40
3	1.47
4	1.28
5	1.20
6	1.15
8	1.10
10	1.08
12	1.06
16	1.05
20	1.03
25 หรือมากกว่า	1.02

4.2.1.2 การทดสอบกำลังดึงของเหล็กเสริม

หากมีข้อมูลจากการตรวจสอบเบื้องต้น และการตรวจสอบเหล็กเสริมของโครงสร้างจริง ยืนยันเกี่ยวกับช่วงเวลา และชั้นคุณภาพของเหล็กเสริมที่ใช้ในการก่อสร้างตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สามารถใช้กำลังดึงของเหล็กเสริมตามกำหนดขั้นต่ำในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้

แต่หากไม่มีข้อมูลผู้ประเมินวิศวกรรมโครงสร้าง ควรทดสอบโดยการตัดชิ้นตัวอย่างเหล็กเสริม เพื่อทดสอบกำลังดึงของเหล็กเสริมตาม ASTM A370-03 ในการทดสอบกำลังดึงของเหล็กเสริมต้องทดสอบ ชิ้นตัวอย่างไม่น้อยกว่า 3 ตัวอย่าง โดยค่ากำลังดึง ณ จุดครากเทียบเท่าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$f_{yeq} = (\bar{f}_y - 24)\exp(-1.3k_s V) \quad (4)$$

โดยที่ f_{yeq} คือ กำลังดึง ณ จุดครากของเหล็กเสริมเทียบเท่า (MPa)

$\bar{f}_y$ คือ ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบกำลังดึง (MPa)

k_s คือ ตัวคูณปรับแก้ผลของค่าความเบี่ยงเบนของผลทดสอบดังแสดงในตารางที่ 9

V คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของผลทดสอบ

n คือ จำนวนตัวอย่างทดสอบ

การประเมินกำลังดึงของเหล็กเสริมด้วยการทดสอบ Hardness value ตาม ASTM A370-03 ควรคำนึงถึงความแข็งของผิวเหล็กเสริมที่จะแตกต่างกันตามกระบวนการผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (Heat Treatment) ของเหล็กเสริม อย่างไรก็ตามการทดสอบ Hardness value เหมาะสำหรับการตรวจสอบ เพื่อเปรียบเทียบความสม่ำเสมอของสมบัติเหล็กเสริมในบริเวณต่าง ๆ กัน เช่น ใช้ในการประเมินว่า เหล็กเสริม ในบริเวณที่ถูกไฟไหม้มีค่า Hardness value ต่างไปจากเหล็กเสริมในบริเวณที่ไม่ถูกไฟไหม้ หรือไม่

ไม่อนุญาตให้ใช้วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายเพียงวิธีเดียวเพื่อทดสอบกำลังดึงของเหล็กเสริม ยกเว้น หรือมีผลการทดสอบเชิงสถิติที่เพียงพอในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงของเหล็กเสริม และผลการทดสอบแบบไม่ทำลาย ซึ่งได้พิจารณาผลของตัวแปรที่มีผลต่อผลการทดสอบนั้น ๆ

ตารางที่ 9 ตัวคูณปรับแก้ผลของค่าความเปี่ยงเบนของผลการทดสอบกำลังดึง ณ จุดครากของเหล็กเสริม
(ACI562-14)

จำนวนตัวอย่าง (n)	ตัวคูณปรับแก้ (k_s)
3	3.46
4	2.34
5	1.92
6	1.69
8	1.45
10	1.32
12	1.24
16	1.14
20	1.08
25	1.03
30 หรือมากกว่า	1.00

4.2.1.3 การตรวจสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

การตรวจสอบสภาพการใช้งาน และน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างจริงมีความจำเป็นหากพบว่ามีลักษณะการใช้งานอาคารมีความแตกต่างจากรายละเอียดในเอกสารที่เกี่ยวข้อง หรือเกิดความไม่มั่นใจโดยการประเมินด้วยวิธีอื่น ๆ การตรวจสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของอาคารสามารถอ้างอิงได้จาก สคท. 3201-52 หรือ ACI 318R-11

4.2.2 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านความสามารถในการใช้งาน

ความสามารถในการใช้งานของโครงสร้าง ควรพิจารณาการแอ่นตัว ความกว้างรอยร้าวที่ยอมรับได้ การร้าวซึม การสั่นสะเทือน หรือข้อกำหนดเฉพาะของอาคารนั้น ๆ โดยข้อกำหนดด้านการใช้งานของโครงสร้างอาจแตกต่างกันไปในแต่ละอาคาร

การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อการประเมินการแอ่นตัว การเคลื่อนตัวของโครงสร้าง และความกว้างรอยร้าว แสดงรายละเอียดในมาตรฐานการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอาคาร(มยผ. 1552-51)อย่างไรก็ตาม

การประเมินให้คำนึงถึงผลของอายุโครงสร้าง การหดตัว และการคืบ ต่อการเพิ่มขึ้นของการแอ่นตัว รอยร้าว และอื่น ๆ ตาม ACI 318R-11 หัวข้อ 9.5

การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อการประเมินการร้าวซึมของของเหลวเก็บกักตรวจสอบปริมาณการร้าวซึมตามลักษณะการใช้งาน ดังแสดงรายละเอียดใน ACI350.1R-01 และ ASTM E2128-01

การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อการประเมินการสันสเทือน ควรตรวจสอบความถี่ และความเร่งของการสันสเทือน ดังแสดงรายละเอียดใน Murray et al. (1999)

4.2.3 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านอายุการใช้งานและความคงทน

การตรวจสอบมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสาเหตุการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบัน ความรุนแรงของการเสื่อมสภาพ คาดการณ์การเสื่อมสภาพในอนาคต เพื่อใช้พิจารณาประกอบการเลือกวิธีการบำรุงรักษาที่เหมาะสม

โครงสร้างควรได้รับการตรวจสอบลักษณะการใช้งาน และสภาพแวดล้อมของโครงสร้าง ดังรายละเอียดในมาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทน และอายุการใช้งาน(มยพ. 1332-55) เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการประเมินสมรรถนะด้านอายุการใช้งาน และความคงทน ซึ่งพิจารณาการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของโครงสร้างกรณีต่าง ๆ ดังนี้

4.2.3.1 การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง

การหดตัวแบบแห้งสามารถทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ ซึ่งอาจมีผลต่อกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกความสามารถในการใช้งาน และความคงทนของโครงสร้าง

การตรวจสอบเพื่อยืนยันสาเหตุของการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต ควรตรวจสอบลักษณะของรอยร้าว เช่น รูปแบบ ตำแหน่ง ความกว้าง ความลึก ความยาว และการขยายตัวของรอยร้าว ความสม่ำเสมอของระดับผิวรอยร้าว ตามรายละเอียดใน มยพ. 1501-51

การตรวจสอบความรุนแรงของการแตกร้าวที่มีผลต่อสมรรถนะของโครงสร้าง ควรตรวจสอบความกว้างของรอยร้าว ตามรายละเอียดใน มยพ. 1501-51 และลักษณะการเปลี่ยนแปลงรอบแนวรอยร้าว เช่น สี คราบสนิม การร้าวซึม รอยร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้งจะมีการขยายตัวได้ต่อเนื่องภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จถึงประมาณ 3 ปี หรือนานกว่านั้นขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้าง สมบัติการหดตัวของคอนกรีต และสภาพแวดล้อม การขยายตัวของความกว้างรอยร้าวส่งผลต่อการลดลงของสมรรถนะของโครงสร้าง

รอยร้าวยังเร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริม เนื่องจากเป็นช่องทางผ่านของความชื้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเกลือ ให้สัมผัสกับเหล็กเสริมโดยตรง ดังนั้นควรตรวจสอบลักษณะการใช้งานและสภาพแวดล้อม

ของโครงสร้าง เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ การเผชิญเกลือคลอไรด์ ซึ่งอาจพิจารณาการตรวจสอบความลึกของรอยร้าวว่ามีความลึกถึงระดับของเหล็กเสริมหรือไม่ควบคู่กันไปด้วย

4.2.3.2 คาร์บอนเนชั่น

การเกิดคาร์บอนเนชั่นของคอนกรีตทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตบริเวณใกล้ผิวลดลง และหากความลึกของคอนกรีตที่ความเป็นด่างลดลงเข้าไปถึงตำแหน่งเหล็กเสริม เหล็กเสริมจะเกิดสนิมได้

การตรวจสอบการเกิดคาร์บอนเนชั่น ใช้วิธีการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของคอนกรีตด้วยสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ ซึ่งเป็นสารที่ใช้บ่งชี้ความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งจะเปลี่ยนจากสีใสเป็นสีม่วงแดงที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำกว่า 10 โดยประมาณ

การตรวจสอบความรุนแรงของการเกิดคาร์บอนเนชั่นที่มีผลต่อสมรรถนะของโครงสร้าง นอกจากการตรวจสอบความลึกของการเกิดคาร์บอนเนชั่นแล้ว ควรตรวจสอบระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้วยการสกัดเปิดผิวคอนกรีต หรือการใช้เครื่องมือหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีตตาม มยพ. 1505-51 เพื่อการประเมินโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอนเนชั่น

นอกจากนั้นควรตรวจสอบสภาพของผิวของคอนกรีต เช่น รอยแตกร้าว คราบสนิม สัญญาณการหลุดร่อนของผิวคอนกรีต ตาม สคท. 3201-52 การหลุดร่อนของผิวคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริม

การตรวจสอบผลของการเกิดคาร์บอนเนชั่นต่อการเสื่อมสภาพในอนาคต ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการเกิดคาร์บอนเนชั่น ความเสียหายและคุณภาพของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม ณ ปัจจุบัน และความรุนแรงของสภาพแวดล้อม โดยแบ่งช่วงของการเสื่อมสภาพเนื่องจากการเกิดคาร์บอนเนชั่นเป็น 4 ช่วง ได้แก่

- (1) ช่วงเริ่มต้น (initiation) เป็นช่วงที่ความลึกของการเกิดคาร์บอนเนชั่นเพิ่มขึ้นจนถึงความลึกที่ตำแหน่งของเหล็กเสริม และทำให้เหล็กเสริมเริ่มเป็นสนิม ในช่วงนี้จำเป็นต้องตรวจสอบความลึกของการเกิดคาร์บอนเนชั่น ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม อายุของโครงสร้าง และข้อมูลสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ เพื่อประเมินระยะเวลาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมต่อไป
- (2) ช่วงพัฒนา (propagation) เป็นช่วงที่เหล็กเสริมเกิดสนิมแล้ว ไปจนถึงเกิดการแตกร้าวของผิวคอนกรีตเนื่องจากสนิมของเหล็กเสริม โดยมีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาการแตกร้าว เช่น อัตราการเกิดสนิม ตำแหน่งและขนาดของเหล็กเสริม สมบัติของคอนกรีต การตรวจสอบความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตสามารถใช้ประเมินอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ซึ่งจะมีค่าสูงขึ้นถ้าคอนกรีตมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ นอกจากนี้อาจพิจารณาตรวจสอบโอกาสการเกิดสนิม

ของเหล็กเสริมในบริเวณอื่น ๆ ของโครงสร้างด้วยวิธีวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ตาม มยพ. 1506-51

- (3) ช่วงเร่ง (acceleration) การเกิดสนิมของเหล็กเสริมจะรุนแรงขึ้นเนื่องจากการแตกร้าวเกิดขึ้นแล้ว และจะนำไปสู่การหลุดร่อนของพื้นผิว ควรตรวจสอบความรุนแรงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริม และโอกาสการหลุดร่อนของผิวคอนกรีตตาม สคท. 3201-52 ในบางกรณีการแยกชั้นของคอนกรีตก่อนที่จะเกิดการหลุดร่อนสามารถตรวจพบได้จากการตรวจสอบความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณผิวของคอนกรีตด้วยกล้องอินฟราเรดหรือการตรวจสอบด้วยการเคาะฟังเสียง
- (4) ช่วงเสื่อมสภาพ (deterioration) การเกิดสนิมของเหล็กเสริมจะพัฒนาต่อไปในระดับที่รุนแรง ซึ่งส่งผลต่อการลดลงของพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม ส่งผลต่อความปลอดภัยของโครงสร้าง ควรตรวจสอบความรุนแรงของการเกิดสนิม และสัญญาณความเสียหายทางโครงสร้าง

4.2.3.3 การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์

การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ เกิดจากการมีปริมาณคลอไรด์ไอออนในคอนกรีตบริเวณผิวของเหล็กเสริมสูงเกินไป ซึ่งคลอไรด์ไอออนอาจเกิดจากการปนเปื้อนในขั้นตอนการผลิตคอนกรีต การก่อสร้างหรือซึมผ่านเข้าไปจากภายนอกขณะใช้งานโครงสร้าง

การตรวจสอบเพื่อยืนยันสาเหตุของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ ใช้วิธีการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ไอออนในคอนกรีตบริเวณผิวของเหล็กเสริม โดยหากปริมาณคลอไรด์ที่วัดได้มีค่าสูงกว่าปริมาณคลอไรด์วิกฤติที่จะก่อให้เกิดสนิมของเหล็กเสริมตาม มยพ. 1332-55 ให้ถือว่าเหล็กเสริมสามารถเกิดสนิมได้แล้ว โดยวิธีการทดสอบปริมาณคลอไรด์สามารถอ้างอิงได้จาก ASTM C1152-03

การตรวจสอบความรุนแรงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ที่มีผลต่อสมรรถนะของโครงสร้าง นอกจากการตรวจสอบปริมาณคลอไรด์แล้ว ควรตรวจสอบระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้วยการสกัดเปิดผิวคอนกรีต หรือการใช้เครื่องหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีตตาม มยพ. 1505-51 เพื่อการประเมินโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริม

นอกจากนั้นควรตรวจสอบสภาพของผิวของคอนกรีต เช่น รอยแตกร้าว คราบสนิม สัญญาณการหลุดร่อนของผิวคอนกรีตและคอนกรีตหุ้ม การหลุดร่อนของผิวคอนกรีตและคอนกรีตหุ้ม การเกิดสนิมของเหล็กเสริม

การตรวจสอบผลของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ต่อการเสื่อมสภาพในอนาคต ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ความเสียหายและคุณภาพของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม ณ ปัจจุบันและความรุนแรงของสภาพแวดล้อม โดยแบ่งช่วงของการเสื่อมสภาพเป็น 4 ช่วง ได้แก่

- (1) ช่วงเริ่มต้น (initiation) เป็นช่วงที่ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริมเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณคลอไรด์วิกฤติที่ทำให้เหล็กเสริมเริ่มเป็นสนิม ในช่วงนี้จำเป็นต้องตรวจสอบปริมาณคลอไรด์ที่ความลึกต่าง ๆ จากผิวคอนกรีตอย่างน้อย 5 ชั้นระดับความลึก ซึ่งสามารถเก็บตัวอย่างได้ตามคำแนะนำ ASTM C1152-03 เพื่อมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ และปริมาณคลอไรด์ที่ผิวคอนกรีต ตรวจสอบระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม และอายุของโครงสร้าง เพื่อประเมินระยะเวลาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมต่อไป
- (2) ช่วงพัฒนา (propagation) เป็นช่วงที่เหล็กเสริมเกิดสนิมแล้ว ไปจนถึงเกิดการแตกร้าวของผิวคอนกรีตเนื่องจากสนิมของเหล็กเสริม โดยมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาการเกิดสนิม เช่น อัตราการเกิดสนิม ตำแหน่งและขนาดของเหล็กเสริม สมบัติของคอนกรีต การตรวจสอบความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตสามารถใช้ประเมินอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ซึ่งจะมีค่าสูงขึ้นถ้าคอนกรีตมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ นอกจากนี้ในช่วงนี้อาจพิจารณาการตรวจสอบโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในบริเวณอื่น ๆ ของโครงสร้างด้วยวิธีวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ตาม มยพ. 1506-51
- (3) ช่วงเร่ง (acceleration) การเกิดสนิมของเหล็กเสริมจะรุนแรงขึ้นเนื่องจากการแตกร้าวเกิดขึ้นแล้ว และจะนำไปสู่การหลุดร่อนของพื้นผิว ควรตรวจสอบความรุนแรงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริม และโอกาสการหลุดร่วงของผิวคอนกรีตตาม สคท. 3201-52 ในบางกรณีการแยกชั้นของคอนกรีตก่อนที่จะเกิดการหลุดร่วงสามารถตรวจพบได้จากการตรวจสอบความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณผิวของคอนกรีตด้วยกล้องอินฟราเรดหรือการตรวจสอบด้วยการเคาะฟังเสียง
- (4) ช่วงเสื่อมสภาพ (deterioration) การเกิดสนิมของเหล็กเสริมจะพัฒนาต่อไปในระดับที่รุนแรง ซึ่งส่งผลต่อการลดลงของพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม ส่งผลต่อความปลอดภัยของโครงสร้าง ควรตรวจสอบความรุนแรงของการเกิดสนิม และสัญญาณความเสียหายทางโครงสร้าง

4.2.3.4 ปฏิบัติการระหว่างต่างกับมวลรวม

มวลรวมบางชนิดสามารถทำปฏิกิริยากับต่างในคอนกรีตก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีการขยายตัวสูงเมื่อมีการสัมผัสกับน้ำ ทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้

การตรวจสอบเพื่อยืนยันสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม ควรตรวจสอบลักษณะของรอยร้าว เช่น รูปแบบ ตำแหน่ง ความกว้าง ความลึก ความยาว การขยายตัวของรอยร้าว ความสม่ำเสมอของระดับผิวรอยร้าว และลักษณะโดยรอบรอยร้าว ตามรายละเอียดใน มยผ. 1501-51

นอกจากนั้นการยืนยันสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวมควรพิจารณาตรวจสอบความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของมวลรวม ตาม ASTM C1260-01 และ ASTM C1567-07 หรือการตรวจสอบการขยายตัวของแท่งเจาะตัวอย่างคอนกรีต ตาม ASTM C1293-01 หรือการตรวจสอบการเกิดผลิตภัณฑ์รอบมวลรวม เช่น ซิลิกาเจล ตาม ASTM C295-03 หรือการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

ในการตรวจสอบความรุนแรงของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวมที่มีผลต่อสมรรถนะของโครงสร้าง ควรตรวจสอบสภาพของผิวของคอนกรีต เช่น รอยแตกร้าว คราบสนิม สัญญาณการหลุดร่อนของผิวคอนกรีต ตาม สคท. 3201-52 การหลุดร่อนของผิวคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริม นอกจากนั้นการขยายตัวของคอนกรีตมีผลต่อหน่วยแรงในเหล็กเสริม มีงานวิจัยแสดงให้เห็นการขาดของเหล็กปลอกเนื่องจากการขยายตัวของคอนกรีตที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม ดังนั้นในกรณีที่มีการตรวจพบรอยร้าวที่มีความกว้างมากบริเวณผิวคอนกรีต อาจพิจารณาตรวจสอบสภาพของเหล็กเสริมหรือหน่วยแรงในเหล็กเสริมประกอบกันไปด้วย

การตรวจสอบผลของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวมต่อการเสื่อมสภาพในอนาคต ควรประเมินโอกาสในการขยายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวมที่เหลืออยู่ ซึ่งสามารถประเมินได้จากผลทดสอบการขยายตัวของแท่งเจาะตัวอย่างคอนกรีต ตาม ASTM C1293

4.2.3.5 การสึกกร่อน

การสึกกร่อนของผิวหน้าคอนกรีตที่รุนแรง หรือเร็วเกินไป เกิดจากผิวหน้าคอนกรีตมีความแข็งแรงต่ำกว่าที่ควรจะเป็น หรือสภาพการใช้งานมีความผิดปกติ ทำให้เกิดแรงกระทำต่อผิวหน้าคอนกรีตสูงเกินกว่าที่ได้ออกแบบไว้

การตรวจสอบเพื่อยืนยันสาเหตุของการสึกกร่อน ควรตรวจสอบลักษณะของความเสียหาย เช่น รูปแบบ ตำแหน่ง การกระจายตัว ความสม่ำเสมอของระดับผิว ตามรายละเอียดใน มยผ. 1501-51 รวมทั้งสภาพการใช้งานเช่น ปริมาณการสัญจร น้ำหนักบรรทุก ความเร็ว ชนิดของล้อรถ การเกิดฟองอากาศในน้ำ ปริมาณและชนิดของสารแขวนลอยในน้ำ

นอกจากนั้นอาจพิจารณาเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตตาม ASTM C42-03 เพื่อทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต และดูการกระจายตัวของสัดส่วนผสมของคอนกรีต รวมทั้งสภาพของคอนกรีตบริเวณใกล้ผิว

การตรวจสอบค่าการสะท้อนของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทกตาม มยผ. 1502-51 สามารถประเมินความต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตบริเวณผิวในเชิงเปรียบเทียบได้ระหว่างบริเวณที่ไม่เกิดการสึกกร่อนและบริเวณที่เกิดการสึกกร่อน

4.2.3.6 การเผชิญกับซัลเฟต

การเผชิญกับซัลเฟตทำให้คอนกรีตเกิดการขยายตัว หรือการสลายตัวได้ ขึ้นอยู่กับประเภทของสารละลายซัลเฟตที่คอนกรีตเผชิญ

การตรวจสอบเพื่อยืนยันสาเหตุของการเสื่อมสภาพที่เกิดจากการเผชิญซัลเฟต ควรตรวจสอบลักษณะของความเสียหาย เช่น การขยายตัวของคอนกรีต การแตกร้าว การสลายตัวของคอนกรีตที่ผิว ตามรายละเอียดใน มยพ. 1501-51 รวมทั้งลักษณะสภาพการใช้งาน เช่น อยู่ในทะเล หรือมีการเผชิญน้ำเสีย หรือสารเคมีต่าง ๆ การตรวจสอบความเข้มข้น และชนิดของสารละลายซัลเฟตในดิน หรือน้ำโดยรอบโครงสร้าง สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อประเมินเปรียบเทียบความรุนแรงของสภาพแวดล้อมตาม มยพ. 1332-55 วิธีการตรวจสอบปริมาณซัลเฟตในดินเป็นไปตาม ASTM C1580-15 และในน้ำตาม ASTM D516-95 หรือ ASTM D4130-03

การตรวจสอบความรุนแรงของการเสื่อมสภาพเนื่องจากการเผชิญสารละลายซัลเฟต สามารถตรวจสอบกำลังอัดคอนกรีตบริเวณใกล้ผิวด้วยค้อนกระแทกตาม มยพ. 1502-51 การเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตตาม ASTM C42-03 เพื่อทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต และตรวจสอบสภาพของผิวผิวของการเสื่อมสภาพจากผิวคอนกรีต หรือการตรวจสอบทางเคมีเพื่อดูผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยากับสารละลายซัลเฟตในเนื้อคอนกรีต

4.2.3.7 การหลุดตัวที่ไม่เท่ากัน

การหลุดตัวที่ไม่เท่ากัน หรือการเคลื่อนตัวของโครงสร้างสามารถทำให้เกิดความเสียหาย และการวิบัติของโครงสร้างได้

การตรวจสอบเพื่อยืนยันสาเหตุของการหลุดตัว การตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอาคารสามารถทำได้ตาม มยพ. 1552-51 นอกจากนั้นอาจพิจารณาตรวจสอบความสมบูรณ์ของฐานรากโดยการขุดเปิดสำรวจ หรือตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธี Seismic Test ตามมาตรฐานการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธี Seismic Test (มยพ. 1551-51)

4.2.3.8 การเผชิญกับอุณหภูมิสูง

ความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากอุณหภูมิสูงสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่

- (1) อุณหภูมิในช่วงที่ไม่ก่อให้เกิดการกลายเป็นไอของน้ำในคอนกรีต (ไม่เกิน 100°C) เช่น คอนกรีตหลา การเผชิญวัฏจักรของอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามเนื่องจากการกระจายตัวของอุณหภูมิในชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการยัดรังและหน่วยแรงขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีต ก่อให้เกิดการแตกร้าวของคอนกรีตได้ในบริเวณที่มีหน่วยแรงดึงสูง
- (2) อุณหภูมิในช่วงที่ไม่ก่อให้เกิดการสลายตัวของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ จะไม่มีผลกระทบกับกำลังและสมบัติทางกลของคอนกรีต แต่อาจเกิดการแตกร้าว หรือระเบิดของผิวคอนกรีต (ไม่เกิน 290°C) หากคอนกรีตมีความทึบน้ำมาก เช่น โครงสร้างที่เผชิญไฟไหม้

ในระยะสั้น ทำให้น้ำในเนื้อคอนกรีตเกิดการระเหยกลายเป็นไอที่ระบายออกมาข้างนอกไม่ได้
จึงสร้างแรงดันในบริเวณใกล้ผิวหน้าคอนกรีตจนเกิดการแตกร้าว หรือระเบิดออกได้

- (3) อุณหภูมิในช่วงที่เกิดการสลายตัวของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ และมีผลกระทบกับกำลังและสมบัติทางกลของคอนกรีต (เกิน 290°C) อุณหภูมิสูงจากไฟไหม้
ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของคอนกรีตและเหล็กเสริม และเกิดการสลายตัว
ของผลิตภัณฑ์บางชนิดในคอนกรีตจากการถูกเผาไหม้ ซึ่งส่งผลต่อการลดลงของกำลัง
และสมบัติทางกลของวัสดุ รวมถึงกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง

การตรวจสอบโครงสร้างที่เผชิญอุณหภูมิสูง ควรตรวจสอบลักษณะของรอยร้าว เช่นรูปแบบ ตำแหน่ง
ความกว้าง ความลึก ความยาว การขยายตัวของรอยร้าว ความสม่ำเสมอของระดับผิวรอยร้าว และลักษณะ
โดยรอบรอยร้าว ตามรายละเอียดใน มยผ. 1501-51

การตรวจสอบโครงสร้างที่เผชิญอุณหภูมิสูง ควรตรวจสอบอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นส่วนโครงสร้างจริง
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันของอุณหภูมิที่ผิวของโครงสร้าง ช่วงอุณหภูมิที่โครงสร้างต้องเผชิญ
เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิในชิ้นส่วนโครงสร้าง และหน่วยแรงที่
เกิดขึ้นจากการยึดรั้งภายใน

การตรวจสอบโครงสร้างที่เกิดอัคคีภัยควรตรวจสอบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ ได้แก่ ต้นเพลิง
ระยะเวลาการเกิดอัคคีภัย ชนิดของเชื้อเพลิง ลักษณะของอาคารบริเวณที่ถูกเพลิงไหม้ เพื่อประกอบการ
ประเมินอุณหภูมิที่โครงสร้างต้องเผชิญดังแสดงในตารางที่ 10

การตรวจสอบสภาพโครงสร้าง ได้แก่ การตรวจสอบการหลอมเหลว หรือการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะ
ของวัสดุต่าง ๆ ในโครงสร้าง และการตรวจสอบสภาพความเสียหายของโครงสร้าง

การหลอมเหลว และการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของวัสดุ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของโครงสร้าง เช่น โลหะ
ชนิดต่าง ๆ แก้ว พลาสติก สามารถใช้เป็นข้อมูลประเมินอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้น ณ ชิ้นส่วนโครงสร้างใกล้เคียงได้
เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดจะมีจุดหลอมเหลว และการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิ

ลักษณะความเสียหายของโครงสร้างที่ถูกไฟไหม้ที่มักพบ เช่น การเปลี่ยนสีของคอนกรีตเมื่อเผชิญ
อุณหภูมิสูง การแยกชั้นของคอนกรีตผิวหน้าหรือวัสดุปิดผิว การระเบิดออกของผิวหน้าคอนกรีตเนื่องจาก
แรงดันไอน้ำ การแอ่นตัว การผิดรูป หรือแตกร้าวของชิ้นส่วนโครงสร้างเนื่องจากสูญเสียกำลังของวัสดุ
เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

การตรวจสอบความลึกของการเสื่อมสภาพของผิวหน้าคอนกรีตเนื่องจากอุณหภูมิสูงสามารถตรวจสอบ
ได้จากการวัดความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก ตาม มยผ. 1504-51

ในบางกรณีการแยกชั้นของคอนกรีตบริเวณผิวหน้าก่อนที่จะเกิดการหลุดร่วงสามารถตรวจพบได้จากการตรวจสอบความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณผิวของคอนกรีตด้วยกล้องอินฟราเรดหรือการตรวจสอบด้วยการเคาะฟังเสียง

การตรวจสอบระยะหุ้มคอนกรีตสามารถใช้ประเมินอุณหภูมิที่เหล็กเสริมต้องเผชิญได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาการถูกไฟไหม้ และระยะหุ้มคอนกรีต

การเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตเพื่อประเมินกำลังอัดของคอนกรีตที่ลดลงเนื่องจากอุณหภูมิสูง รวมทั้งความลึกของคอนกรีตที่เกิดการเสื่อมสภาพด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เช่น ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามความลึก เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะสลายตัวเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงเกินกว่า 420°C โดยประมาณ การตรวจสอบอาจพิจารณาเปรียบเทียบตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณที่เกิดไฟไหม้กับตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบ

การตรวจสอบสมบัติทางกลของเหล็กเสริม โดยการตัดชิ้นตัวอย่าง สามารถทำได้ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 4.2.1.2

กำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างสามารถตรวจสอบได้โดยการตรวจสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง ตาม ACI 318R-11

ตารางที่ 10 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของวัสดุแต่ละชนิด (FIB No.46)

ชนิดของวัสดุ	ตัวอย่าง	ลักษณะการเปลี่ยนแปลง	อุณหภูมิที่เผชิญโดยประมาณ (°C)
พอลิไธรีน	กล่องโฟม, ฝาครอบคอมไฟ, ตะขอแขวนม่าน, กรอบเครื่องวิทยุ	พัง อ่อนตัว หลอมเหลว และไหลตัว	120 120 – 140 150 – 180
พอลิเอทิลีน	ถุงพลาสติก, ฟิล์มติดกระจก, ขวดน้ำพลาสติก, ถังพลาสติก, ท่อพลาสติก	หดตัว หลอมเหลว และไหลตัว	120 120 - 140
อะคริลิก	มือจับ, แผ่นปิดทับ, ช่องแสง	อ่อนตัว เกิดฟอง	130 – 200 250
พีวีซี	สายไฟ, ท่อน้ำ, มือจับ, ของเล่น, ขวดน้ำ	เสื่อมสภาพ เกิดควัน เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล	100 150 200

ชนิดของวัสดุ	ตัวอย่าง	ลักษณะการเปลี่ยนแปลง	อุณหภูมิที่เผชิญ โดยประมาณ (°C)
		ไหม้เกรียม	400 – 500
เซลลูโลส	ไม้, กระดาษ, สำลี	เปลี่ยนเป็นสีเข้ม หรือดำ	200 – 300
รอยบัดกรี	รอยต่อของท่อน้ำ	หลอมเหลว	250
ตะกั่ว	ท่อน้ำ, อุปกรณ์ห้องน้ำ, ของเล่น	หลอมเหลว ย้อยตัว ขอบที่มีความคมเปลี่ยน เป็นกลมมน	300 – 350
อลูมิเนียม และ โลหะผสมเบา	อุปกรณ์จับยึดต่างๆ, ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า	อ่อนตัว	400
		หลอมเหลว ย้อยตัว	650
กระจก	วัสดุตกแต่ง, ขวดแก้ว	อ่อนตัว	500 – 600
		ขอบที่มีความคมเปลี่ยน เป็นกลมมน ไหลตัว	800
โลหะเงิน	เครื่องประดับ, ซ้อนส้อม	หลอมเหลว ย้อยตัว	950
ทองเหลือง	กลอนประตู, ท่อน้ำ ประปา, ลูกบิด	หลอมตัว ย้อยตัว	900 - 1000

4.3 การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง

การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง ต้องคำนึงถึงผลของความเสียหายหรือการเสื่อมสภาพของโครงสร้างที่เกิดขึ้นกับหน่วยแรงอัดในคอนกรีต และหน่วยแรงดึงในลวดอัดแรง ซึ่งมีผลต่อพฤติกรรมของโครงสร้าง การพิจารณาเลือกวิธีการตรวจสอบ ตำแหน่งในการทดสอบ ผลการทดสอบและการประเมินผลการทดสอบที่ได้

การทดสอบโครงสร้างด้วยวิธีแบบทำลาย หรือกึ่งทำลายในบางกรณี ทำให้เกิดการสูญเสียหน้าตัดบางส่วน ของโครงสร้าง ซึ่งก่อให้เกิดการกระจายตัวของหน่วยแรงที่เปลี่ยนแปลงไปได้ และอาจส่งผลต่อความปลอดภัยของ โครงสร้างได้ เนื่องจากหน่วยแรงอัดในคอนกรีต และหน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงที่สูงจากการอัดแรง

โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงระบบดึงก่อน (pre-tension) เนื่องจากลวดอัดแรงถูกหุ้มด้วยคอนกรีตโดยตรง ดังนั้นการตรวจสอบการเกิดสนิมของลวดอัดแรงสามารถพิจารณาเหมือนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงระบบดึงภายหลัง (post-tension) เนื่องจากลวดอัดแรงถูกร้อยอยู่ในท่อร้อย ลวดอัดแรง ซึ่งวัสดุของท่อร้อยลวดอัดแรงมีหลายชนิด เช่น เหล็กชุบสังกะสี พลาสติก โดยลวดอัดแรงอาจถูกหุ้ม หรือไม่ถูกหุ้มด้วยวัสดุกันสนิม เช่น ซีเมนต์เกรทท์ จารบี หรือซีฟิง นอกจากนั้นโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงระบบ ดึงภายหลัง (post-tension) จำเป็นต้องมีระบบสมอยึดลวดอัดแรง (anchorage) บริเวณปลายชิ้นส่วน โครงสร้าง ดังนั้นการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงระบบดึงภายหลัง (post-tension) จะมีความ แตกต่างจากโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

การตรวจสอบระบบสมอยึดลวดอัดแรง (anchorage) โดยปกติตำแหน่งของสมอยึดจะมีช่องเปิดไว้ (block out) เพื่อให้สามารถดึงลวดได้ในขั้นตอนก่อสร้าง การตรวจสอบคอนกรีตโดยรอบสมอยึด เช่น การแตกร้าว การเกิดคราบสนิม หรือการเกิดคราบหินปูนจากการเกิด Efflorescence สามารถใช้เป็นข้อมูลบ่งชี้การเผชิญ กับความชื้น หรือการเกิดสนิมของลวดอัดแรงและสมอยึด การตรวจสอบวัสดุเกรทท์บริเวณสมอยึดเพื่อดู สารปนเปื้อน เช่น คลอไรด์ หรือค่าความเป็นกรดต่าง สามารถดำเนินการได้เช่นเดียวกับโครงสร้างคอนกรีต เสริมเหล็กทั่วไป

การตรวจสอบการเกิดสนิมของลวดอัดแรงของระบบ Unbonded Post-tension ไม่สามารถใช้วิธี การตรวจสอบค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ได้เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าจากผิวของลวดอัดแรงไม่สามารถส่งผ่านมายังผิว คอนกรีตได้ เนื่องจากมักถูกหุ้มด้วยท่อร้อยลวดชนิดพลาสติก หรือหุ้มด้วยวัสดุชนิดจารบี ดังนั้นวิธีที่นิยม ในการตรวจสอบสภาพของลวดอัดแรงในกรณีนี้ ได้แก่ การปลดแรงอัด และนำลวดอัดแรงออกมาตรวจสอบ สภาพภายนอก หรือการสกัดและกรีดท่อร้อยลวดเพื่อเปิดดูลวดอัดแรงแบบเฉพาะที่

การตรวจสอบการเกิดสนิมของลวดอัดแรงของระบบ Bonded Post-tension โดยตรงเป็นเรื่องยาก เนื่องจากลวดอัดแรงถูกร้อยในท่อ และหุ้มด้วยวัสดุปูนเกรทท์กำลังอัดสูง การตรวจสอบจึงมุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบ การเติมเต็มของปูนเกรทท์โดยรอบลวดอัดแรง ซึ่งจะมีหน้าที่ป้องกันการเกิดสนิมของลวดอัดแรง

4.4 การตรวจสอบโครงสร้างเหล็ก

การตรวจสอบต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งานอาคาร และผู้ตรวจสอบ รวมทั้งบุคคลอื่น ๆ ในบริเวณนั้น การตรวจสอบโครงสร้างสามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การตรวจสอบเบื้องต้น และการตรวจสอบโดยละเอียด

การตรวจสอบโครงสร้างควรดำเนินการเป็นระยะ กฎกระทรวงที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบอาคารได้กำหนดให้มีการตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงของอาคารโดยผู้ตรวจสอบอาคารที่ขึ้นทะเบียนทุกระยะเวลาห้าปี และการตรวจสอบอาคารตามแผนการตรวจสอบอาคารประจำปี

4.4.1 การตรวจสอบเบื้องต้น

การตรวจสอบเบื้องต้น ประกอบไปด้วย

1) การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเป้าหมาย ควรจะตรวจสอบเอกสารการออกแบบสำหรับก่อสร้าง และเอกสารการออกแบบสำหรับซ่อมแซมและงานติดตั้งเพิ่มเติม (ถ้ามี) รวมไปถึงข้อกำหนดและมาตรฐานการออกแบบ เอกสารการคำนวณโครงสร้าง แบบรายละเอียดโครงสร้าง ข้อกำหนดการก่อสร้าง ข้อมูลการทดสอบวัสดุระหว่างการก่อสร้าง ประวัติการใช้งาน และประวัติการบำรุงรักษาโครงสร้าง และผลของการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจ

2) การตรวจสอบสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบัน ควรจะตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องดังข้อที่ 1) และสภาพภายนอกที่ปรากฏ รวมไปถึงลักษณะภายนอกของพื้นที่และสภาพแวดล้อมโดยรอบของโครงสร้าง

สมบัติของวัสดุ ให้พิจารณาจากเอกสารข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น แบบการก่อสร้าง ข้อกำหนดการก่อสร้าง หากไม่มีข้อมูลดังกล่าวให้ใช้ข้อมูลตามตารางที่แนะนำตามช่วงอายุการก่อสร้างอาคารนั้น ๆ

การตรวจสอบสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบันด้วยวิธีตรวจพินิจ ได้แก่ การตรวจสอบความสอดคล้องของลักษณะโครงสร้างจริง และข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง เช่น รูปแบบโครงสร้าง ตำแหน่ง จำนวน และขนาดชิ้นส่วนโครงสร้าง ลักษณะการใช้งานโครงสร้าง การตรวจสอบควมมีการบันทึกลักษณะทางกายภาพของโครงสร้าง รวมทั้งตำแหน่งการเกิดการเสื่อมสภาพ การถ่ายแรงในชิ้นส่วนโครงสร้าง แต่ละชิ้นส่วน ข้อจำกัดอื่น ๆ ในการบำรุงรักษา เพื่อเป็นการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการประเมิน และวิเคราะห์โครงสร้าง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบโครงสร้างในรายละเอียดดังต่อไปนี้

- (1) ลักษณะทางกายภาพของชิ้นส่วนโครงสร้าง ความเสียหาย และการเสื่อมสภาพตามตารางที่ 11
- (2) ความมั่นคงและปลอดภัยของการถ่ายแรงไปยังชิ้นส่วนโครงสร้างหลักในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง
- (3) ข้อมูลเอกสารต่าง ๆ ที่จำเป็นในการประเมินค่ากำลังของวัสดุ และตัวคุณลักษณะต่าง ๆ ในขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างหรือการทดสอบสมบัติของวัสดุเพิ่มเติม
- (4) การเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนโครงสร้าง หรือตำแหน่งของชิ้นส่วนโครงสร้างที่ผิดไปจากปกติข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้อง เช่น ระยะห่างจากโครงสร้างข้างเคียง ข้อจำกัดในการพิจารณาวิธี

การบำรุงรักษา การประเมินแรงต้านทานแผ่นดินไหวของโครงสร้าง สภาพของฐานรองรับชิ้นส่วน
โครงสร้าง รูปแบบทางสถาปัตยกรรม

(5) การเปลี่ยนแปลงระบบของโครงสร้าง เช่น รูปแบบของจุดรองรับโครงสร้างแบบยึดรั้ง หรือไม่ยึดรั้ง

(6) ลักษณะการใช้งานโครงสร้างที่ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ในเอกสารการออกแบบโครงสร้าง

การตรวจสอบต้องมีการคำนึงถึงผลของการเสื่อมสภาพของวัสดุต่อสมรรถนะของโครงสร้าง โดยหากไม่มีข้อมูลดังกล่าว จำเป็นต้องมีการตรวจสอบสมบัติของวัสดุของโครงสร้างจริงโดยละเอียดเพิ่มเติม เพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง

ในกรณีที่มีข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบโครงสร้างโดยละเอียดในขั้นตอนต่อไป

4.4.2 การตรวจสอบโดยละเอียด

ในกรณีที่การตรวจสอบเบื้องต้นให้ข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง จำเป็นต้องดำเนินการตรวจสอบโดยละเอียดเพิ่มเติม ได้แก่ การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม การตรวจสอบสมบัติของวัสดุที่เกิดการเสื่อมสภาพ

ในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างจริงที่เกิดการเสื่อมสภาพแล้ว จำเป็นต้องคำนึงถึงสมบัติของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเสื่อมสภาพ

4.4.2.1 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนักบรรทุก
การประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนักบรรทุก แม้ว่าจะมีข้อมูลด้านสมบัติของโครงสร้างหลักจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง หรือข้อมูลสมบัติวัสดุในช่วงเวลาการก่อสร้างอาคาร แต่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบสมบัติของวัสดุของโครงสร้างจริงเพิ่มเติมด้วย โดยให้ผู้ประเมินวิศวกรรมโครงสร้างใช้ข้อมูลดังกล่าวในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง

4.4.2.1.1 การตรวจสอบรอยเชื่อม

การตรวจสอบคุณสมบัติของผู้ทำการตรวจสอบ การตรวจสอบรอยเชื่อมควรจะมีการตรวจสอบคุณสมบัติของผู้ตรวจสอบรอยเชื่อม และผู้ตรวจสอบด้วยวิธีไม่ทำลายก่อนการตรวจสอบรอยเชื่อม โดยคุณสมบัติของผู้ตรวจสอบรอยเชื่อมจะต้องเป็นเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อม ที่มีคุณสมบัติตามแบบแผนการควบคุมคุณภาพของผู้ผลิตหรือช่างผู้สร้างตามคู่มือการตรวจสอบโครงสร้างหลักที่ประกอบสำเร็จรูปของสมาคมเหล็กโครงสร้างไทย

สำหรับคุณสมบัติของผู้ตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (NDT) บุคลากรที่ตรวจสอบ NDT สำหรับการตรวจสอบ NDT นอกเหนือจากการตรวจสอบด้วยวิธีพิณิจจะต้องมีคุณสมบัติตามการปฏิบัติเป็นลายลักษณ์อักษรของนายจ้างซึ่งจะต้องผ่านเกณฑ์หรือสูงกว่าเกณฑ์ของ AWS D1.1 / D1.1M ข้อ 6.14.6

ตารางที่ 11 ความเสียหายในลักษณะอื่น ๆ ที่เกิดจากการทำลายจากสิ่งแวดล้อมหรือการเสื่อมสภาพ

ประเภทความเสียหาย	ลักษณะและบริเวณที่พบในองค์อาคาร	ชนิดองค์อาคารที่มักพบ	สาเหตุ	ช่วงอายุที่มักจะเริ่มพบ (ขึ้นกับความรุนแรงของการทำลาย)
ประเภทความเสียหายทางกายภาพ				
1.1) รอยเชื่อม	- บริเวณข้อต่อของโครงสร้าง - บริเวณที่มีการเปลี่ยนความหนาขององค์อาคาร	ทุกชนิดองค์อาคาร	เกิดจากช่างเชื่อมไม่มีทักษะ	ทุกช่วงอายุ
1.2) สลักเกลียว (bolt) แหวน (Rivet) และ น็อต (nut)	- บริเวณข้อต่อของโครงสร้าง - ฐานราก	ทุกชนิดองค์อาคาร	เกิดจากคุณภาพของวัสดุ	ทุกช่วงอายุ
ประเภทความเสียหายลักษณะอื่น				
1.3) การเกิดสนิมของโครงสร้าง	เสา และ คาน	ทุกชนิดองค์อาคาร	สิ่งแวดล้อม	มากกว่าสองปีขึ้นไป ขึ้นอยู่กับสีที่ทาและสภาพแวดล้อม

การตรวจสอบรอยเชื่อมโครงสร้างเหล็กด้วยวิธีการตรวจด้วยวิธีพินิจ และการตรวจสอบแบบไม่ทำลายสามารถอ้างอิงจาก มยผ. 1561-51 ถึง มยผ. 1565-51 หรือ คู่มือการตรวจสอบโครงสร้างเหล็กที่ประกอบสำเร็จรูปของสมาคมเหล็กโครงสร้างไทย

4.4.2.1.2 การทดสอบสลักเกลียว

การตรวจสอบวัสดุของสลักเกลียวเป็นวิธีการหลักที่ใช้เพื่อยืนยันว่าวัสดุ ขึ้นตอน และการติดตั้งสอดคล้องกับเอกสารก่อสร้างและข้อกำหนดของ The Research Council on Structural Connections (CSC) สำหรับการตรวจสอบสลักเกลียว โดยดูที่เกลียวของสลักเกลียวว่าเกิดสนิมหรือไม่โดยแบ่งระดับออกเป็น 2 ระดับ คือ ปรกติ และ รุนแรง โดยขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ตรวจสอบวิศวกรรมโครงสร้าง ในการจัดระดับสำหรับการตรวจสอบสลักเกลียว อย่างน้อยที่สุดการตรวจสอบสลักเกลียวต้องเป็นไปตามตารางที่ 12 ในตารางเหล่านี้งานตรวจสอบมีดังต่อไปนี้:

การตรวจสอบการรับแรงดึงของสลักเกลียวกำลังสูง ตัวอย่างของสลักเกลียวจะต้องได้รับการตรวจสอบเพื่อค้นหาเครื่องหมายที่ถูกกำหนดไว้ และการจำแนกประเภทเมื่อสลักเกลียวนั้นไม่สามารถระบุได้ ผู้ตรวจสอบวิศวกรรมโครงสร้างจะต้องระบุตัวอย่างที่ใช้และทดสอบเพื่อหาลำดับรับแรงดึง (tensile strength) ตาม ASTM F606 / F606M หรือเทียบเท่า โดยสมมติให้สลักเกลียวเป็น ASTM A307 และแหวน (Rivets) จะถือว่าเป็น ASTM A502 Grade 1 เว้นแต่กรณีที่มีสลักเกลียว หรือแหวนที่มีมาตรฐานสูงกว่าถูกจัดตั้งขึ้นผ่านเอกสารหรือการทดสอบ

4.4.2.1.3 การตรวจสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

การตรวจสอบสภาพการใช้งาน และน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างจริงมีความจำเป็นหากพบว่าลักษณะการใช้งานอาคารมีความแตกต่างจากรายละเอียดในเอกสารที่เกี่ยวข้อง การตรวจสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของอาคารสามารถอ้างอิงได้จาก AISC 360 และ ASCE/SEI 7-10

4.4.2.2 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านความสามารถในการใช้งาน

ในการประเมินสมรรถนะด้านความสามารถในการใช้งานของโครงสร้าง ควรพิจารณาการแอ่นตัว การสั่นสะเทือน หรือข้อกำหนดเฉพาะของอาคารนั้น ๆ โดยข้อกำหนดด้านการใช้งานของโครงสร้างอาจแตกต่างกันไปในแต่ละอาคาร

การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อการประเมินการแอ่นตัว และการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง ดังแสดงรายละเอียดใน ASCE/SEI 7-10

การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อการประเมินการการสั่นสะเทือนควรตรวจสอบความถี่ และความเร่งของการสั่นสะเทือน ดังแสดงรายละเอียดใน AISC Design Guide 3 และ AISC Design Guide 11

ตารางที่ 12 การเกิดสนิมของสลักเกลียว

ระดับ	พื้นที่ที่เป็นสนิม %
ปกติ	0
รุนแรง	40

4.4.2.3 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านอายุการใช้งานและความคงทน

การตรวจสอบมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสาเหตุการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบัน ความรุนแรงของการเสื่อมสภาพ คาดการณ์การเสื่อมสภาพในอนาคต เพื่อใช้พิจารณาประกอบการเลือกวิธีการบำรุงรักษาที่เหมาะสม

โครงสร้างควรได้รับการตรวจสอบลักษณะการใช้งาน และสภาพแวดล้อมของโครงสร้าง ดังรายละเอียดในมาตรฐานความคงทนของอาคารและโครงสร้างรูปพรรณ (มยผ. 1333-61) เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการประเมินสมรรถนะด้านอายุการใช้งาน และความคงทน ซึ่งพิจารณาการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของโครงสร้างกรณีต่าง ๆ ดังนี้

4.4.2.3.1 การตรวจสอบข้อบกพร่องที่พื้นผิวของโครงสร้างเหล็ก

ISO 4628-05 ได้แนะนำรายละเอียด วิธีการ และขั้นตอนการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจ รวมไปถึงการอ้างอิงจากภาพถ่ายของข้อบกพร่องต่าง ๆ บนพื้นผิวของโครงสร้างเหล็กซึ่งข้อมูลจะถูกบันทึกในรูปแบบของตาราง และภาพถ่ายตามปริมาณและความรุนแรงของข้อบกพร่องและความเสียหายต่าง ๆ

มยผ. 1333-61 ได้แนะนำรายละเอียด วิธีการ และขั้นตอนการทำระบบป้องกันการกัดกร่อนของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ เพื่อให้อาคารมีความคงทนต่อสภาพแวดล้อม ตามระดับความสำคัญ สำหรับการออกแบบโครงสร้างใหม่ ซึ่งอาจพิจารณาเป็นแนวทางในการประเมินอายุการใช้งานโครงสร้างอาคารเก่า และอาคารที่เสียหายได้

อย่างไรก็ตามสำหรับการกำหนดอายุการใช้งานเพื่อประเมินโครงสร้างอาคารเก่า หรืออาคารที่เสียหาย ควรคำนึงถึงความปลอดภัย ความสามารถในการใช้งานในอนาคต และความสามารถในการบำรุงรักษาได้ทั้งในทางวิศวกรรม และในทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละอาคารควบคู่กันไปด้วย

จากผลการตรวจสอบ ควรประเมินสาเหตุของการเสื่อมสภาพ ระดับความรุนแรง และระดับของความเสียหายของโครงสร้าง ณ ปัจจุบัน และแนวโน้มการพัฒนาของความเสียหายในอนาคต เพื่อพิจารณาแนวทางการบำรุงรักษาที่เหมาะสม การประเมินข้อบกพร่องบนพื้นผิวของโครงสร้างเหล็กสามารถอ้างอิงได้จาก ISO 4628-05

4.4.2.3.2 การล้าของโครงสร้างเหล็ก

การล้าของโครงสร้างเหล็กจะเกิดขึ้น และเป็นผลให้กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเหล็กลดลงเมื่อจำนวนรอบของแรงที่กระทำมากขึ้นเรื่อย ๆ ความล้าจะทำให้เกิดรอยร้าวในรอยเชื่อม หรือสลักเกลียว ซึ่งเป็นบริเวณที่มักจะพบรอยร้าวจากการตรวจสอบ การตรวจสอบและการประเมินรอยร้าวที่เกิดจากการล้าสามารถอ้างอิงได้จากคู่มือ Assessment of Existing Steel Structures: Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life (Kuhn et al. 2008)

4.4.2.3.3 การเผชิญอุณหภูมิสูง

การตรวจสอบโครงสร้างเหล็กที่เกิดอัคคีภัยควรตรวจสอบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ ได้แก่ ต้นเพลิง ระยะเวลาการเกิดอัคคีภัย ชนิดของเชื้อเพลิง ลักษณะของอาคารบริเวณที่ถูกเพลิงไหม้ เพื่อประกอบการประเมินอุณหภูมิที่โครงสร้างต้องเผชิญดังแสดงในตารางที่ 10

การตรวจสอบสภาพโครงสร้าง ได้แก่ การตรวจสอบการหลอมเหลว หรือการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของวัสดุต่าง ๆ ในโครงสร้าง และการตรวจสอบสภาพความเสียหายของโครงสร้าง

การหลอมเหลว และการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของวัสดุ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของโครงสร้าง เช่น โลหะชนิดต่าง ๆ แก้ว พลาสติก สามารถใช้เป็นข้อมูลประเมินอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้น ณ ชิ้นส่วนโครงสร้างใกล้เคียงได้ เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดจะมีจุดหลอมเหลว และการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะแตกต่างกันตามอุณหภูมิ

สมบัติทางกลของโครงสร้างเหล็กภายหลังการเผชิญอุณหภูมิสูงจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป แอ่นตัวผิดปกติของชิ้นส่วนโครงสร้างได้ นอกจากนั้นโครงสร้างทางจุลภาคของเหล็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเย็นตัวของเหล็กที่แตกต่างจากกระบวนการผลิตเหล็กโครงสร้างโดยทั่วไป อาจส่งผลให้สมบัติทางกล เช่น ความเหนียวของเหล็กลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

โดยปกติโครงสร้างเหล็กจะมีสีกันไฟ เพื่อป้องกันการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของโครงสร้างเหล็ก ดังนั้นควรมีการประเมินอุณหภูมิที่โครงสร้างเหล็กต้องเผชิญ โดยการตัดชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบสมบัติทางกล และโครงสร้างทางจุลภาค

บริเวณรอยต่อของชิ้นส่วนโครงสร้าง เป็นจุดที่ติดตั้งระบบกันไฟให้สมบูรณ์ได้ยาก จึงควรตรวจสอบบริเวณรอยต่อโครงสร้างเป็นพิเศษ

ส่วนที่ 5 การประเมินโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย

กรณีที่เกิดการตรวจสอบโครงสร้างเบื้องต้น (preliminary inspection) พบว่าชิ้นส่วนโครงสร้างใด ๆ ส่วนของโครงสร้างใด ๆ หรือโครงสร้างโดยรวม มีการเสียหาย การเสื่อมสภาพ มีความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้าง (deficiencies) หรือมีพฤติกรรมใด ๆ ที่ไม่สอดคล้องกับเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น แบบก่อสร้าง รายการคำนวณ หรือมาตรฐานในการออกแบบ จำเป็นต้องมีการประเมินโครงสร้าง (structural evaluation)

สมรรถนะของโครงสร้างต้องได้รับการตรวจประเมิน (assessment) การวิเคราะห์ (analysis) หรือทั้งสองวิธี โดยผู้ประเมินวิศวกรรมโครงสร้าง โดยสมรรถนะของโครงสร้าง (structural performance) ที่ต้องประเมิน ได้แก่

- (1) ความปลอดภัยเชิงโครงสร้าง (structural safety) ได้แก่ ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกตามลักษณะการใช้งานที่ได้ออกแบบไว้ ยกเว้นในกรณีที่มีข้อมูลยืนยันกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างที่แน่ชัด อาจยกเว้นการประเมินโครงสร้างได้
- (2) ความสามารถในการใช้งาน (serviceability) ได้แก่ พฤติกรรมของโครงสร้างที่ส่งผลต่อการใช้งานอาคาร เช่น การเกิดรอยร้าว การแอ่นตัว การสั่นสะเทือน หรือความชื้น
- (3) อายุการใช้งาน และความคงทน (service life and durability) ได้แก่ การเสื่อมสภาพของวัสดุซึ่งมีผลต่อสมรรถนะของโครงสร้างทั้งในเชิงโครงสร้าง และความสามารถในการใช้งาน และอายุการใช้งานของโครงสร้าง เช่น การเกิดสนิมของเหล็กเสริม

การประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง (structural performance) ต้องพิจารณาทั้งสมรรถนะ ณ ปัจจุบัน และสมรรถนะของโครงสร้างในอนาคตตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้าง

ในกรณีที่มีข้อสงสัยในค่ากำลังที่ใช้ในการออกแบบของชิ้นส่วนโครงสร้างใด ๆ หรือมีข้อมูลไม่เพียงพอในการพิจารณาสมรรถนะของโครงสร้าง ต้องมีการประเมินโครงสร้างโดยคำนึงถึงผลของการเสื่อมสภาพต่อสมบัติของวัสดุนั้นด้วย

หากผลการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โครงสร้างต้องได้รับการบำรุงรักษาที่เหมาะสมเพื่อให้โครงสร้างมีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ในกรณีที่พบว่ามีบางชิ้นส่วนของโครงสร้างจำเป็นต้องได้รับการบำรุงรักษา ต้องมีการตรวจสอบประเมินชิ้นส่วนโครงสร้างที่คล้ายกันอื่น ๆ เพิ่มเติมด้วย

5.1 ความปลอดภัยเชิงโครงสร้าง (structural safety)

การประเมินความปลอดภัยเชิงโครงสร้าง คือ การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกตามลักษณะการใช้งานที่ได้ออกแบบไว้ให้ออกแรงเกินการประเมินโครงสร้างได้ในกรณีที่มีข้อมูลยืนยันกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างที่แน่ชัด

การประเมินความปลอดภัยเชิงโครงสร้างให้เป็นไปตามบทบัญญัติอาคาร หรือตามมาตรฐานการออกแบบที่เป็นที่ยอมรับ เช่น วสท. 1007-34, วสท. 1008-38 หรือ ACI 318R-11 ในการประเมินให้พิจารณาบทบัญญัติอาคาร หรือมาตรฐาน ฉบับเดิมที่ใช้ออกแบบอาคาร หรือฉบับปัจจุบัน ตามระดับความรุนแรงของความเสียหายทางโครงสร้าง

5.1.1 การตรวจประเมินเชิงโครงสร้าง (structural assessment)

จากผลการตรวจสอบดังแสดงรายละเอียดในบทที่ 4 หากพบว่าชิ้นส่วนโครงสร้าง ส่วนของโครงสร้าง หรือโครงสร้างโดยรวมมีสัญญาณที่แสดงถึงความเสียหาย การเสื่อมสภาพ การลดลงของกำลังการรับน้ำหนักบรรทุก หรือพฤติกรรมใด ๆ ที่ไม่สอดคล้องกับเอกสารที่เกี่ยวข้อง หรือมีข้อสงสัยใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง ต้องมีการตรวจประเมินความปลอดภัยของโครงสร้าง

โดยหากผลการตรวจประเมิน (assessment) ไม่พบข้อบ่งชี้ถึงปัญหาด้านกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง สามารถยกเว้นการวิเคราะห์เชิงโครงสร้างได้

5.1.2 การวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง (structural analysis)

การวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง (structural analysis) มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันความปลอดภัยของโครงสร้าง หรือชิ้นส่วนโครงสร้างที่รับแรงกระทำแนวตั้ง และแรงกระทำด้านข้าง

ในการวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง ต้องคำนึงถึงสภาพของโครงสร้างจริง เช่น การเคลื่อนตัวของโครงสร้าง การเกิดการหดตัวหรือการคืบของวัสดุ ผลของการเคลื่อนตัวของฐานราก

นอกจากนั้น ต้องพิจารณาผลของการเสื่อมสภาพของวัสดุ ผลของการบำรุงรักษาต่าง ๆ ซึ่งอาจมีผลต่อเนื่องไปถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะการกระจายตัวของหน่วยแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง

การกำหนดน้ำหนักบรรทุก หน่วยแรงที่ยอมรับ การรวมน้ำหนัก ตัวคูณลดน้ำหนัก และอื่น ๆ ในการวิเคราะห์เชิงโครงสร้างให้อิงตามบทบัญญัติอาคาร หรือมาตรฐานการออกแบบฉบับใดฉบับหนึ่งเท่านั้น ห้ามไม่ให้อ้างอิงข้ามมาตรฐาน เพราะมีผลของความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเชื่อมั่นและค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในแต่ละข้อบังคับไว้แต่จะทำให้ปลอดภัยมากขึ้น

การประเมินผลการวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง (structural analysis) ให้อิงตามสมการที่ 5 โดยหากกำลังที่ออกแบบมากกว่ากำลังที่ต้องการของโครงสร้าง ถือว่าโครงสร้างมีความปลอดภัย

$$\phi(R_n) \geq U \quad (5)$$

โดยที่ ϕ คือ ตัวคูณลดกำลัง

$\phi(R_n)$ คือ กำลังที่ใช้ออกแบบ

U คือ กำลังที่ต้องการ

การพิจารณาน้ำหนักบรรทุก และการรวมน้ำหนักบรรทุก เพื่อคำนวณค่ากำลังที่ต้องการให้เป็นไปตาม พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 โดยให้ใช้ตัวคูณลดกำลัง (strength reduction factor, ϕ) ดังแสดงในตารางที่ 13 ยกเว้นในกรณีที่มีผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของชิ้นส่วนโครงสร้างจริง และสมบัติของวัสดุจากโครงสร้างจริง ได้แก่ กำลังอัดคอนกรีต และกำลังดึงของเหล็กเสริมตามรายละเอียดในหัวข้อ 4.2.1.1 และ 4.2.1.2 ซึ่งส่งผลให้การวิเคราะห์โครงสร้างมีข้อมูลที่น่าเชื่อถือขึ้น จึงอนุญาตให้เพิ่มค่าตัวคูณลดกำลังโดยไม่ให้เกินค่าที่แสดงในตารางที่ 14

สำหรับกำลังการรับแรงอัด แรงดัด แรงเฉือน หรือแรงแบกทานบนคอนกรีต (bearing) ของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตล้วน ให้ใช้ตัวคูณลดกำลัง (strength reduction factor, ϕ) เท่ากับ 0.60

สำหรับอาคารโครงสร้างเหล็กให้ใช้ตัวคูณลดกำลังตามมาตรฐานการออกแบบอาคารปัจจุบัน

ตารางที่ 13 ตัวคูณลดกำลัง (strength reduction factor) (ACI 562-14)

ประเภทของโครงสร้าง	ตัวคูณลดกำลัง
หน้าตัดที่รับแรงดึงเป็นหลัก (tension controlled section)	0.90
หน้าตัดที่รับแรงอัดเป็นหลัก (compression controlled section)	
องค์อาคารที่มีการเสริมเหล็กปลอกเกลียว (spiral)	0.75
องค์อาคารที่มีการเสริมเหล็กแบบอื่น ๆ	0.65
แรงเฉือน หรือแรงบิด	0.75
แรงแบกทานบนคอนกรีต (bearing)	0.65
คอนกรีตบริเวณสมอยึดลวดอัดแรง	0.85
Strut and Tie models	0.75

**ตารางที่ 14 ค่ามากที่สุดของตัวคูณลดกำลัง (strength reduction factor) ในกรณีที่มีผล
การตรวจสอบโครงสร้างจริง (ACI 562-14)**

ประเภทของโครงสร้าง	ตัวคูณลดกำลังในกรณีที่มี ผลการตรวจสอบ โครงสร้างจริง
หน้าตัดที่รับแรงดึงเป็นหลัก (tension controlled section)	1.0
หน้าตัดที่รับแรงอัดเป็นหลัก (compression controlled section)	
องค์อาคารที่มีการเสริมเหล็กปลอกเกลียว (spiral)	0.90
องค์อาคารที่มีการเสริมเหล็กแบบอื่น ๆ	0.80
แรงเฉือน หรือแรงบิด	0.80
แรงแบกทานบนคอนกรีต (bearing)	0.80

ผลการวิเคราะห์ความปลอดภัยของโครงสร้างสามารถจำแนกความเสียหายทางโครงสร้างตามการลดลงของกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างรับแรงแนวตั้ง หรือโครงสร้างรับแรงด้านข้าง เพื่อพิจารณาการออกแบบการบำรุงรักษาโครงสร้าง ตามรายละเอียดดังนี้

**5.1.2.1 โครงสร้างที่มีความเสียหายรุนแรงทางโครงสร้าง (substantial structural damage) ต่อ
โครงสร้างแนวตั้งที่รับแรงกระทำด้านข้างด้วย**

ในกรณีที่เกิดความเสียหายรุนแรงทางโครงสร้าง (substantial structural damage) ต่อองค์อาคารแนวตั้งที่รับแรงด้านข้างด้วยโครงสร้างต้องได้รับการประเมิน (evaluation) โดยผู้ประเมินวิศวกรรมโครงสร้าง โดยตรวจสอบว่าโครงสร้างภายหลังได้รับการบำรุงรักษาจนกลับไปมีสมรรถนะเท่าเดิมก่อนเกิดความเสียหายนั้น มีสมรรถนะเป็นไปตามข้อกำหนดในเรื่องความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลม และไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ของแรงแผ่นดินไหวตามข้อบังคับอาคาร ณ ปัจจุบันหรือไม่

ในกรณีที่ผลการประเมินพบว่าโครงสร้างภายหลังการบำรุงรักษามีสมรรถนะเป็นไปตามข้อกำหนดในเรื่องความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลม และแรงแผ่นดินไหวตามข้อบังคับอาคาร ปัจจุบัน ให้ดำเนินการบำรุงรักษาโครงสร้างให้เป็นดังสภาพเดิม โดยอ้างอิงสมบัติวัสดุ และการออกแบบกำลังของวัสดุ ตามข้อบังคับที่ใช้ ณ ช่วงเวลาที่ทำการก่อสร้างโครงสร้างนั้น

ในกรณีที่ผลการประเมินพบว่าโครงสร้างภายหลังการบำรุงรักษามีสมรรถนะไม่เป็นไปตามเป็นไปตามข้อกำหนดในเรื่องความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลม และแรงแผ่นดินไหวตามข้อบังคับอาคารปัจจุบัน ให้ดำเนินการบำรุงรักษาโครงสร้างโดยให้ใช้การรวมน้ำหนักบรรทุก (load combination)

ตามข้อบังคับปัจจุบัน โดยพิจารณาแรงลม หรือแรงแผ่นดินไหวด้วย โดยสามารถใช้แรงลมตามข้อบังคับที่ใช้ ณ ช่วงเวลาที่ทำการก่อสร้างโครงสร้างนั้น ยกเว้นความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้นเป็นความเสียหายที่เกิดเนื่องจากแรงลม ก็ให้ใช้แรงลมตามข้อบังคับปัจจุบัน ส่วนแรงแผ่นดินไหวให้ใช้ตามข้อบังคับที่ใช้ ณ ช่วงเวลาที่ทำการก่อสร้างโครงสร้างนั้น แต่ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ของแรงแผ่นดินไหวตามข้อบังคับปัจจุบัน

5.1.2.2 โครงสร้างที่มีความเสียหายรุนแรงทางโครงสร้าง (substantial structural damage) ต่อโครงสร้างที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง (gravity load)

โครงสร้างที่มีความเสียหายรุนแรงทางโครงสร้าง (substantial structural damage) ต่อโครงสร้างที่รับแรงแนวตั้ง (gravity load) ให้ดำเนินการบำรุงรักษาโครงสร้างโดยการรื้อน้ำหนักบรรทุกทุกโดยพิจารณา น้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจรตามข้อบังคับปัจจุบัน

โครงสร้างรับแรงแนวตั้งที่ไม่มีความเสียหาย ที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ หรือน้ำหนักบรรทุกจร จากส่วนของโครงสร้างที่ได้รับการบำรุงรักษา ต้องได้รับการบำรุงรักษา หรือแสดงให้เห็นว่าชิ้นส่วนโครงสร้างดังกล่าวสามารถรับน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปจากการบำรุงรักษาโครงสร้างได้

ในกรณีที่โครงสร้างรับแรงแนวตั้งที่เป็นส่วนหนึ่งของการรับแรงกระทำด้านข้างด้วย เกิดความเสียหายรุนแรงทางโครงสร้าง (substantial structural damage) เนื่องจากแรงลม หรือแรงแผ่นดินไหว ให้พิจารณาตามรายละเอียดในหัวข้อ 5.1.2.1

5.1.2.3 โครงสร้างที่มีความเสียหายทางโครงสร้างน้อยกว่าระดับรุนแรง

ในกรณีที่โครงสร้างมีความเสียหายทางโครงสร้างน้อยกว่าระดับรุนแรงให้พิจารณาบำรุงรักษาโครงสร้างให้กลับไปอยู่สภาพเดิมตามข้อมูลสมบัติวัสดุ และกำลังของวัสดุ ณ ช่วงเวลาการก่อสร้างโครงสร้างนั้น ยกเว้นบริเวณที่เป็นชิ้นส่วนโครงสร้างใหม่ หรือจุดเชื่อมต่อในการดำเนินการบำรุงรักษาให้เป็นไปตามข้อบังคับ ณ ปัจจุบัน

5.2 ความสามารถในการใช้งาน

ความสามารถในการใช้งานของโครงสร้าง ควรพิจารณาการแอ่นตัว ความกว้างรอยร้าวที่ยอมรับได้ การร้าวซึม และการสั่นสะเทือน โดยข้อกำหนดด้านการใช้งานของโครงสร้างอาจแตกต่างกันไปตามแต่ละอาคาร

5.2.1 การประเมินการแอ่นตัว การเคลื่อนตัวของโครงสร้าง และความกว้างรอยร้าว

มาตรฐานการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอาคาร (มยพ.1552-51) ได้แนะนำค่าที่ยอมรับได้ของการแอ่นตัว การเคลื่อนตัวของโครงสร้าง เช่น การทรุดในแนวตั้งที่แตกต่างกันในรูปของการเสียรูปเชิงมุม ตามชนิดของความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น และชนิดขององค์อาคาร รวมทั้งความกว้างรอยร้าวมากที่สุดที่ยอมรับได้ โดยในการประเมินควรคำนึงถึงกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกทุกผลของสภาพแวดล้อม และอายุการใช้งานควบคู่กันไปด้วย

ในการประเมินการแอ่นตัว การเคลื่อนตัวของโครงสร้าง และความกว้างรอยร้าว ควรคำนึงถึงผลของพฤติกรรมในระยะยาวเช่น การหดตัว และการคืบของวัสดุ ต่อการเพิ่มขึ้นของการแอ่นตัวการเคลื่อนตัว หรือความกว้างรอยร้าวด้วย ตัวอย่างเช่น ACI 318R-11 หัวข้อ 9.5

5.2.2 การประเมินการร้าวซึม

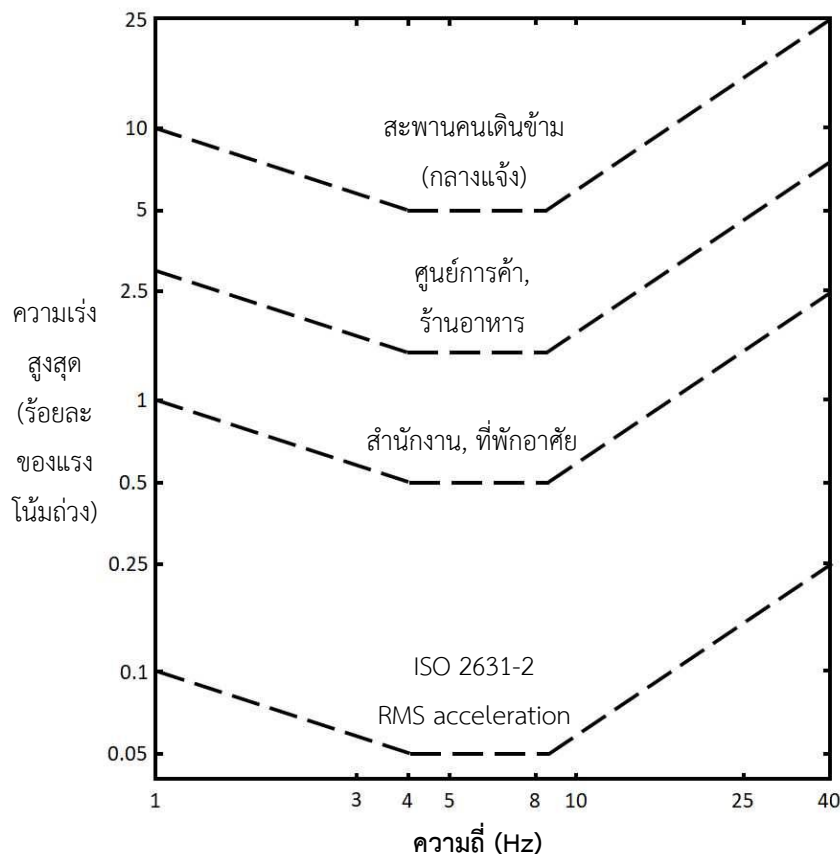
รายละเอียดการประเมินการร้าวซึมของถังเก็บน้ำ และเกณฑ์ในการยอมรับได้ แสดงใน ACI350.1R-01

5.2.3 การประเมินการสั่นสะเทือน

การประเมินการสั่นสะเทือน สามารถตรวจวัดความถี่ของการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนโครงสร้างนั้น ๆ โดยความรู้สึกสบายของผู้ใช้อาคารเมื่อมีแรงสั่นสะเทือนจะขึ้นอยู่กับชนิดของกิจกรรมที่ผู้ใช้อาคารดำเนินอยู่ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการสั่นสะเทือน และค่าความเร่งสูงสุดของการสั่นสะเทือน แสดงในรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าช่วงความถี่ของการสั่นสะเทือน 4-8 Hz จะเป็นช่วงที่ผู้ใช้อาคารมีความรู้สึกไวที่สุด ต่อแรงสั่นสะเทือน เนื่องจากค่าที่ยอมรับได้ของความเร่งมีค่าต่ำที่สุด (Murray et al., 1999)

นอกจากนี้ ASCE/SEI 7-10 ได้แนะนำว่าถ้าต้องการควบคุมความถี่ของการสั่นให้มีค่าสูงกว่า 8 Hz ควรจำกัดการแอ่นตัวของแผ่นพื้นไม่ให้เกิน 5 มม.

การประเมินการสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร สามารถพิจารณาได้ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 37 (พ.ศ. 2553) เรื่อง กำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร โดยได้กำหนดเกณฑ์การยอมรับของความสั่นสะเทือนของอาคาร ทั้งการตรวจวัดความถี่ และความเร็วอนุภาคสูงสุด



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างขีดจำกัดความเร่งสูงสุด และความถี่ของการสั่นสะเทือน ตามลักษณะการดำเนินกิจกรรมของผู้ใช้อาคาร (Murray et al., 1999)

5.3 อายุการใช้งาน และความคงทน

มยพ. 1332-55 ได้แนะนำอายุการใช้งานตลอดการซ่อมแซมสำหรับโครงสร้างแต่ละประเภทตามระดับความสำคัญสำหรับการออกแบบโครงสร้างใหม่ ซึ่งอาจใช้เป็นแนวทางในการประเมินอายุการใช้งานโครงสร้างอาคารเก่า และอาคารที่เสียหายได้

อย่างไรก็ตามสำหรับการกำหนดอายุการใช้งานเพื่อประเมินโครงสร้างอาคารเก่า หรืออาคารที่เสียหาย ควรคำนึงถึงความปลอดภัย ความสามารถในการใช้งานในอนาคต และความสามารถในการบำรุงรักษาได้ทั้งในทางวิศวกรรม และในทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละอาคารควบคู่กันไปด้วย

จากผลการตรวจสอบ ควรประเมินสาเหตุของการเสื่อมสภาพ ระดับความรุนแรง และระดับของความเสียหายของโครงสร้าง ณ ปัจจุบัน และแนวโน้มการพัฒนาของความเสียหายในอนาคต เพื่อพิจารณาแนวทางการบำรุงรักษาที่เหมาะสม ตารางที่ 1 และตารางที่ 2 สรุปการแตกร้าวและความเสียหายในลักษณะอื่น ๆ ที่เกิดจากการทำลายจากสิ่งแวดล้อมหรือการเสื่อมสภาพ และจากแรงกระทำ

5.3.1 การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง

การประเมินสาเหตุของการแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวแบบแห้ง สามารถประเมินได้จากรูปแบบรอยร้าว และระยะเวลาการเกิดรอยแตกร้าว

รูปแบบของรอยร้าวที่เกิดเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตมีอยู่ 2 ประเภท คือ รอยร้าวประเภทลายงา มีทิศทางไม่แน่นอน กระจาย เป็นรอยร้าวที่เกิดจากการยัดรั้งภายในคอนกรีตเอง มักจะเกิดขึ้นในส่วนโครงสร้างที่มีความหนา กับรอยร้าวที่มักจะเกิดห่างกันเป็นช่วง ๆ และตั้งฉากกับแนวยาวของโครงสร้าง รอยร้าวที่ร้าวทะลุตลอดความลึกของชิ้นส่วนโครงสร้าง เกิดจากการถูกยัดรั้งภายนอกโดยโครงสร้างข้างเคียง หรือจากพื้นดินในกรณีแผ่นพื้นบนดิน รอยร้าวไม่ได้เกิดขึ้นในตำแหน่งที่มีแรงดัด หรือแรงเฉือนสูงเสมอไป ไม่พบคราบสนิมบริเวณรอยร้าว

ระยะเวลาของการเกิดการแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวแบบแห้ง มักจะเริ่มเกิดในช่วง 1 ปีแรก หลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ

มยพ. 1552-51 ได้แนะนำความกว้างรอยร้าวมากที่สุดที่ยอมรับได้โดยคำนึงถึงกำลังการรับน้ำหนักบรรทุก ผลของสภาพแวดล้อม และอายุการใช้งาน

ในการประเมินความกว้างรอยร้าว ควรคำนึงถึงผลของระยะเวลา โดยรอยร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้งอาจจะมีการขยายตัวได้ต่อเนื่องถึงประมาณ 3 ปีภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จหรือนานกว่านั้นขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้าง

รอยร้าวที่เกิดขึ้นอาจส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของโครงสร้างโดยขึ้นกับความกว้างรอยร้าว สภาพแวดล้อม และสภาพการใช้งานของโครงสร้าง เช่น ความสามารถในการถ่ายแรงเฉือนข้ามรอยร้าวลดลง เกิดการรั่วซึมของของเหลวที่ถูกกักเก็บไว้ การแอ่นตัวเพิ่มขึ้น หรือการเกิดสนิมของเหล็กเสริมรุนแรงขึ้น

การประเมินผลของการแตกร้าวต่อสมรรถนะของโครงสร้าง สามารถทำได้โดยใช้ข้อมูลความกว้างของรอยร้าว ตำแหน่งของรอยร้าวในชิ้นส่วนโครงสร้าง และลักษณะการเปลี่ยนแปลงรอบแนวรอยร้าว เช่น สี คราบสนิม การรั่วซึม

การประเมินผลของการแตกร้าวต่อการเสื่อมสภาพในอนาคต สามารถทำได้โดยพิจารณาข้อมูลความรุนแรงของรอยร้าว เช่น ความกว้าง ความลึก และลักษณะการใช้งาน และสภาพแวดล้อมของโครงสร้าง

5.3.2 คาร์บอนเนชั่น

การประเมินความรุนแรงของการเกิดคาร์บอนเนชั่นของคอนกรีตความรุนแรงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริม และความเสียหายที่เกิดกับผิวคอนกรีต เช่นรอยร้าว การหลุดร่อน สามารถประเมินได้จากการตรวจสอบด้วยวิธีตรวจพินิจดังแสดงในตารางที่ 15 และความลึกของการเกิดคาร์บอนเนชั่น

เทียบกับระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม เพื่อการพิจารณาแนวโน้ม และระดับความรุนแรงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริม

ตารางที่ 15 ระดับความรุนแรงของการเกิดคาร์บอนชั้น (ACF, 2011)

ระดับ	การเสื่อมสภาพ
1	ไม่พบความเสียหาย ความลึกการเกิดคาร์บอนชั้นน้อยกว่าระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม
2	ไม่พบความเสียหาย ความลึกการเกิดคาร์บอนชั้นมากกว่าระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม และเหล็กเสริมเริ่มเกิดสนิมแล้ว
3-1	เริ่มเกิดรอยร้าวขนาดเล็กบนผิวคอนกรีต
3-2	พบรอยร้าวจากการเกิดสนิมจำนวนมาก และคราบสนิมบนผิวคอนกรีต พบการแยกชั้น หรือหลุดร่วนของผิวคอนกรีตบางบริเวณ การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ
4	พบการขยายตัวของรอยร้าวจากการเกิดสนิมในบริเวณกว้าง และมีความกว้างของรอยร้าวมาก พบรอยคราบสนิมในบริเวณกว้าง พบการแยกชั้น หรือหลุดร่วนของผิวคอนกรีตในหลายบริเวณ พบการเพิ่มขึ้นของการแอ่นตัว หรือการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง

5.3.2.1 ช่วงเริ่มต้น (initiation)

จากผลการทดสอบความลึกของการเกิดคาร์บอนชั้นและระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมสามารถประเมินระยะเวลาการเริ่มเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้ดังแสดงในสมการที่ 6

$$t_{sl} = \left(\frac{C_r}{A} \right)^2 \quad (6)$$

โดยที่ t_{sl} คือ ระยะเวลาการเริ่มเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอนชั้น (ปี)

C_r คือ ระยะหุ้มคอนกรีต (มม.)

A คือ สัมประสิทธิ์การเกิดคาร์บอนชั้น (มม./ปี^{0.5}) ซึ่งหาได้จากสมการที่ 7

$$A = \frac{C_d}{\sqrt{t_i}} \quad (7)$$

โดยที่ t_i คือ อายุโครงสร้าง ณ เวลาที่ตรวจวัดความลึกการเกิดคาร์บอนชั้น (ปี)

C_d คือ ความลึกการเกิดคาร์บอนชั้น (มม.)

5.3.2.2 ช่วงพัฒนา (propagation)

เป็นช่วงที่เหล็กเสริมเกิดสนิมแล้ว ไปจนถึงเกิดการแตกร้าวของผิวคอนกรีตเนื่องจากสนิมของเหล็กเสริม การประเมินระยะเวลาการเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการเกิดสนิมต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น อัตราการเกิดสนิม อุณหภูมิ ความชื้น ตำแหน่ง ชนิด และขนาดของเหล็กเสริม สมบัติของคอนกรีต และระยะหุ้ม

ผลการตรวจสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต สามารถใช้ประเมินอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้

ผลการตรวจสอบโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในบริเวณอื่น ๆ ของโครงสร้างด้วยวิธีวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ตาม มยผ. 1506-51 สามารถประเมินแนวโน้มการกระจายตัวของการเกิดสนิม และแนวโน้มของความรุนแรงของการเกิดสนิมในโครงสร้างในภาพรวม

5.3.2.3 ช่วงเร่ง (acceleration)

เช่นเดียวกับช่วงพัฒนา การประเมินระยะเวลาการเกิดการแตกร้าวรุนแรง และการหลุดร่อนของผิวคอนกรีตเนื่องจากการเกิดสนิมต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น อัตราการเกิดสนิม อุณหภูมิ ความชื้น ตำแหน่ง ชนิด และขนาดของเหล็กเสริม สมบัติของคอนกรีต และระยะหุ้ม

จากผลการตรวจสอบการเคาะฟังเสียง หรือภาพถ่ายความร้อนด้วยกล้องอินฟราเรด สามารถประเมินพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดการร่วร่อนของผิวคอนกรีต หรือการแยกชั้นของคอนกรีตบริเวณผิว เพื่อการป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับผู้ใช้อาคาร

การเกิดสนิมของเหล็กเสริมมีผลกระทบต่อสมรรถนะของโครงสร้าง นอกจากพื้นที่หน้าตัดที่ลดลงจากการเกิดสนิมแล้ว สมบัติของเหล็กเสริมทั้งกำลังดึง ณ จุดคราก ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น แรงยึดเกาะ และความเครียดประลัย (ultimate strain) จะลดลงเนื่องจากผลของการเกิดสนิมของเหล็กเสริม

ความรุนแรงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมสามารถจัดระดับได้ดังแสดงในตารางที่ 16

5.3.2.4 ช่วงเสื่อมสภาพ(deterioration)

เช่นเดียวกับช่วงพัฒนาการประเมินระยะเวลาสู่การเสื่อมสภาพของโครงสร้างรุนแรง ต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น อัตราการเกิดสนิม อุณหภูมิ ความชื้น ตำแหน่ง ชนิดและขนาดของเหล็กเสริม สมบัติของคอนกรีต

5.3.3 การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์

การประเมินความรุนแรงของการเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จะประเมินจากความรุนแรงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริม และความเสียหายที่เกิดกับผิวคอนกรีต เช่นรอยร้าว การหลุดร่อน โดยสามารถประเมินได้จากการตรวจสอบด้วยวิธีตรวจพินิจดังแสดงในตารางที่ 17 และปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริมเทียบกับปริมาณคลอไรด์วิกฤติที่ทำให้เหล็กเสริมเริ่มเป็นสนิม โดยค่าปริมาณคลอไรด์วิกฤติสามารถอ้างอิงได้จาก มยผ.1332-55

ตารางที่ 16 ระดับความรุนแรงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริม (ACF, 2011)

ระดับ	ลักษณะการเกิดสนิมของเหล็กเสริม
1	พบการเกิดสนิมแบบ Mill Scale หรือมีชั้นของสนิมที่มีความบางมากแต่แน่นตัวบนผิวเหล็กเสริม
2	พบการเกิดสนิมบางตำแหน่ง หรือเป็นจุดๆ บนผิวเหล็กเสริม
3	พบการเกิดสนิมทั่วผิวเหล็กเสริม แต่พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ
4	พบพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 17 ระดับความรุนแรงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ (ACF, 2004)

ระดับ	การเสื่อมสภาพ
1-1	ไม่พบความเสียหาย ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริมน้อยกว่าค่าคลอไรด์วิกฤติ
1-2	ไม่พบความเสียหาย ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริมเกินกว่าค่าคลอไรด์วิกฤติ และเหล็กเสริมเริ่มเกิดสนิมแล้ว
2-1	เริ่มเกิดรอยร้าวขนาดเล็กบนผิวคอนกรีต เริ่มพบคราบสนิมซึมออกมาบนผิวคอนกรีต
2-2	พบรอยร้าวจากการเกิดสนิมจำนวนมาก และคราบสนิมบนผิวคอนกรีต พบการแยกชั้น หรือหลุดร่วนของผิวคอนกรีตบางบริเวณ การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ
3	พบการขยายตัวของรอยร้าวจากการเกิดสนิมในบริเวณกว้าง และมีความกว้างของรอยร้าวมาก พบรอยคราบสนิมในบริเวณกว้าง พบการแยกชั้น หรือหลุดร่วนของผิวคอนกรีตในหลายบริเวณ พบการเพิ่มขึ้นของการแอ่นตัว หรือการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง

5.3.3.1 ช่วงเริ่มต้น (initiation)

จากผลการตรวจสอบปริมาณคลอไรด์ที่ความลึกต่าง ๆ จากผิวคอนกรีตอย่างน้อย 5 ชั้นระดับความลึกสามารถนำมาใช้วิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ และปริมาณคลอไรด์ที่ผิวคอนกรีต โดยใช้สมการที่ 8 และประเมินระยะเวลาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้โดยคำนวณระยะเวลาที่ทำให้ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริมชั้นนอกสุด (ระยะความลึกจากผิวเท่ากับระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม) มีค่าเท่ากับค่าคลอไรด์วิกฤติ

$$C_c = (C_s - C_0) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1C_r}{2\sqrt{D_a t_s}} \right) \right] + C_0 \quad (8)$$

โดยที่ C_r คือ ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม

D_a คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์ในคอนกรีต

t_s คือ อายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีต

C_0 คือ ปริมาณคลอไรด์เริ่มต้นในคอนกรีต

C_s คือ ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวหน้าของคอนกรีต

C_c คือ ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริมชั้นนอกสุด

ในกรณีที่เกิดการปนเปื้อนคลอไรด์ตั้งแต่ขั้นตอนการก่อสร้าง ผลการตรวจสอบจะพบว่าปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตจะมีค่าสูงตลอดระยะความลึกจากผิวคอนกรีต หากคลอไรด์ที่ความลึกเท่ากับระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (ที่ตำแหน่งเหล็กเสริมชั้นนอกสุด) มีค่าเท่ากับหรือเกินกว่าค่าคลอไรด์วิกฤติ เหล็กเสริมจะเกิดสนิม

5.3.3.2 ช่วงพัฒนา (propagation)

เป็นช่วงที่เหล็กเสริมเกิดสนิมแล้ว ไปจนถึงเกิดการแตกร้าวของผิวคอนกรีตเนื่องจากสนิมของเหล็กเสริม การประเมินระยะเวลาการเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการเกิดสนิมต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น อัตราการเกิดสนิม อุณหภูมิ ความชื้น ตำแหน่ง ชนิดและขนาดของเหล็กเสริม สมบัติของคอนกรีต และระยะหุ้ม

ผลการตรวจสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต สามารถใช้ประเมินอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้

ผลการตรวจสอบโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในบริเวณอื่น ๆ ของโครงสร้างด้วยวิธีวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ตาม มยพ. 1506-51 สามารถประเมินแนวโน้มการกระจายตัวของการเกิดสนิม และแนวโน้มความรุนแรงของการเกิดสนิมในโครงสร้างในภาพรวม

5.3.3.3 ช่วงเร่ง (acceleration)

เช่นเดียวกับช่วงพัฒนา การประเมินระยะเวลาการเกิดการแตกร้าวรุนแรง และการหลุดร่อนของผิวคอนกรีต เนื่องจากการเกิดสนิมต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น อัตราการเกิดสนิม อุณหภูมิ ความชื้น ตำแหน่ง ชนิด และขนาดของเหล็กเสริม สมบัติของคอนกรีต และระยะหุ้ม

จากผลการตรวจสอบการเคาะฟังเสียง หรือภาพถ่ายความร้อนด้วยกล้องอินฟราเรด สามารถประเมินพื้นที่ที่มีโอกาสการหลุดร่อนของผิวคอนกรีต หรือการแยกชั้นของคอนกรีตบริเวณผิว เพื่อการป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับผู้ใช้อาคาร

การเกิดสนิมของเหล็กเสริมมีผลกระทบต่อสมรรถนะของโครงสร้าง นอกจากพื้นที่หน้าตัดที่ลดลงจากการเกิดสนิมแล้ว สมบัติของเหล็กเสริมทั้งกำลังดึง ณ จุดคราก ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น แรงยึดเกาะ และความเครียดประลัย (ultimate strain) จะลดลงเนื่องจากผลของการเกิดสนิมของเหล็กเสริม

ความรุนแรงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมสามารถจัดระดับได้ดังแสดงในตารางที่ 16

5.3.3.4 ช่วงเสื่อมสภาพ (deterioration)

เช่นเดียวกับช่วงพัฒนา การประเมินระยะเวลาดำเนินการเสื่อมสภาพของโครงสร้างรุนแรง ต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น อัตราการเกิดสนิม อุณหภูมิ ความชื้น ตำแหน่ง ชนิด และขนาดของเหล็กเสริม สมบัติของคอนกรีต

5.3.4 ปฏิกริยาระหว่างต่างกับมวลรวม

จากผลการตรวจสอบสภาพแวดล้อม ลักษณะรอยร้าว ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของมวลรวม การขยายตัวของแท่งเจาะตัวอย่างคอนกรีต โอกาสในการขยายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวมที่เหลืออยู่ และการทดสอบ Petrography สามารถประเมินระดับความรุนแรง และผลกระทบต่อสมรรถนะของโครงสร้างได้

รอยร้าวที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวมจะมีความกว้างมากบริเวณผิวของคอนกรีต อย่างไรก็ตามรอยร้าวจะเล็กลง และมักจะไม่มีร้าวทะลุหน้าตัดขึ้นส่วนโครงสร้างหากมีปริมาณเหล็กเสริมโอברัดคอนกรีตมากเพียงพอ ซึ่งอาจมีผลกระทบไม่มากต่อการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของโครงสร้าง แต่หากการขยายตัวมีความรุนแรง และต่อเนื่อง และปริมาณเหล็กเสริมโอברัดต่ำ อาจเกิดการคราก หรือวิบัติของเหล็กเสริมโอברัดได้ ดังนั้นควรประเมินหน่วยแรงในเหล็กเสริมโอברัดควบคู่กันไปด้วย

รอยร้าวที่เกิดขึ้น มีผลกระทบต่อความคงทน และอายุการใช้งานของโครงสร้าง ดังนั้นควรประเมินความรุนแรงของสภาพแวดล้อมต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริมด้วย

5.3.5 การสึกกร่อน

เป็นการประเมินเพื่อหาสาเหตุของการสึกกร่อนที่รุนแรงเกินไปว่าเกิดจากสมบัติของคอนกรีต หรือสภาพการใช้งานไม่เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยสภาพการใช้งานที่เป็นสาเหตุของการสึกกร่อน อาจเกิดจากการถูกขัดสี การเกิดขึ้นและแตกตัวของฟองอากาศในของไหลที่ไหลผ่านโครงสร้าง การสึกกร่อนเนื่องจากการสัมผัสสารเคมี การสึกกร่อนเนื่องจากการสัมผัสน้ำบริสุทธิ์ (deionized water หรือ distilled water)

ในกรณีการสึกกร่อนเกิดจากสมบัติของคอนกรีต ควรประเมินพื้นที่ และความลึกของคอนกรีตที่มีสมบัติไม่เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้เพื่อกำหนดขอบเขตการบำรุงรักษา

5.3.6 การเผชิญกับซัลเฟต

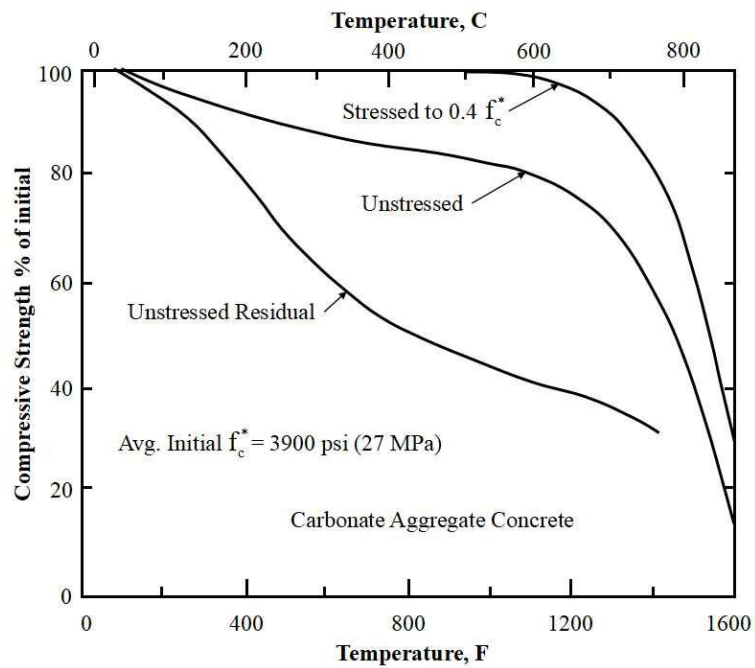
จากผลการตรวจสอบสภาพความเสียหาย สามารถประเมินระดับความรุนแรง และผลกระทบต่อสมรรถนะของโครงสร้างได้

ในกรณีที่ความเสียหายเกิดจากโซเดียมซัลเฟต ขึ้นส่วนโครงสร้างจะเกิดการขยายตัว และการแตกร้าว โดยความเสียหายจะพัฒนาจากบริเวณผิวคอนกรีต ดังนั้นควรประเมินความลึกที่คอนกรีตเกิดการเสื่อมสภาพ เพื่อประเมินขอบเขตในการบำรุงรักษา

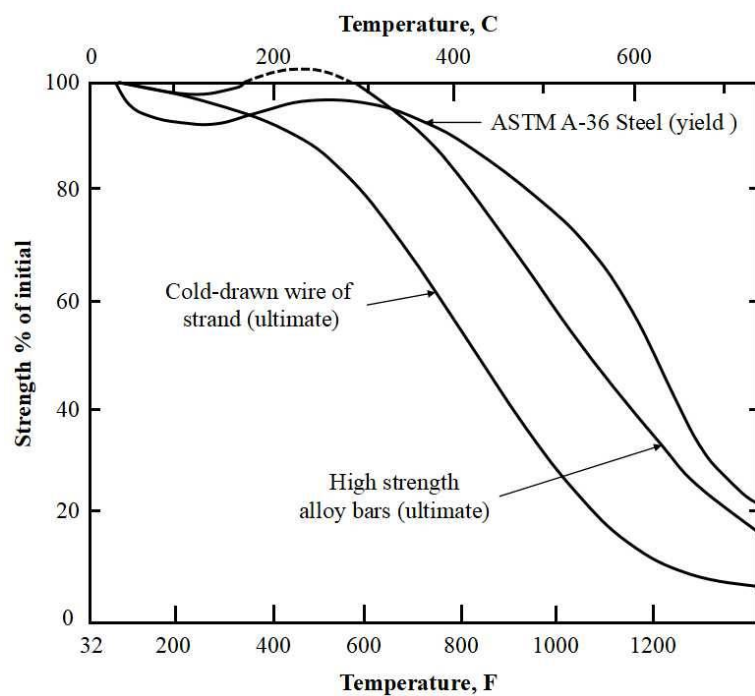
ในกรณีที่ความเสียหายเกิดจากแมกนีเซียมซัลเฟต ขึ้นส่วนโครงสร้างจะเกิดการสลายตัวบริเวณผิวที่สัมผัสกับแมกนีเซียมซัลเฟต ทำให้ส่งผลต่อกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของโครงสร้าง โดยความเสียหายจะพัฒนาจากบริเวณผิวคอนกรีต ดังนั้นควรประเมินความลึกที่คอนกรีตเกิดการเสื่อมสภาพ เพื่อประเมินขอบเขตในการบำรุงรักษา

5.3.7 ไฟไหม้

การประเมินความรุนแรงของการเสื่อมสภาพของโครงสร้างเนื่องจากไฟไหม้ จำเป็นต้องประเมินอุณหภูมิสูงสุดที่โครงสร้างเผชิญ เนื่องจากสมบัติทางกลของคอนกรีตและเหล็กเสริมจะลดลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4



รูปที่ 3 การลดลงของกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประเภทคาร์บอนตเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น (ACI 216R-89)



รูปที่ 4 การลดลงของกำลังดึงของเหล็กเสริมเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น (ACI 216R-89)

ข้อมูลการหลอมเหลว หรือการเปลี่ยนคุณลักษณะของวัสดุต่าง ๆ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของโครงสร้างและในบริเวณรอบ ๆ สามารถใช้ประเมินอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้น ณ ชั้นส่วนโครงสร้างนั้น และชั้นส่วนโครงสร้างใกล้เคียงได้

ตารางที่ 18 แสดงการเปลี่ยนสีของคอนกรีตเมื่อเผชิญอุณหภูมิสูง การเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตตามแนวตั้งฉากกับผิวคอนกรีตที่เผชิญอุณหภูมิสูงจะช่วยให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของสีคอนกรีตตามความลึกได้ชัดเจนมากขึ้น

จากผลการตรวจสอบการเคาะฟังเสียงคอนกรีตบริเวณผิว สามารถประเมินพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดการหลุดร่อนจนสามารถร่วงหล่นของผิวคอนกรีต เพื่อกำหนดขอบเขตของการบำรุงรักษา

การประเมินความลึกของคอนกรีตที่เกิดการเสื่อมสภาพ เพื่อกำหนดขอบเขตการบำรุงรักษาสามารถประเมินได้จากผลการตรวจสอบสีที่เปลี่ยนแปลง ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ผลการทดสอบกำลังอัดของแท่งเจาะตัวอย่างคอนกรีต

ในกรณีที่ตรวจพบการเคลื่อนตัว การแอ่นตัว หรือการแตกร้าวของโครงสร้าง ต้องประเมินความเครียด และการครากของเหล็กเสริม ประกอบด้วย เนื่องจากพฤติกรรมที่กล่าวมามีผลต่อการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อการบำรุงรักษา หรือเสริมกำลัง

ตารางที่ 18 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อสี และสมบัติของคอนกรีต

อุณหภูมิ (°C)	การเปลี่ยนแปลงของสีคอนกรีต	ลักษณะทางกายภาพ	ผลกระทบต่อกำลังคอนกรีต
0 – 290	ไม่มี	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ
290 – 300	ชมพู ถึงแดง	รอยแตกร้าวขนาดเล็กที่ผิวคอนกรีต	กำลังลดลงเล็กน้อย
550		รอยร้าวขนาดใหญ่	
575		การกะเทาะของผิวหน้าเป็นจุดๆ	
590 – 800	เทา	การหลุดร่อน และร่วงหล่นของผิวหน้า	กำลังลดลงอย่างมีนัยสำคัญ
900		การกลายเป็นฝุ่นผง	
มากกว่า 950	สีน้ำตาลอมเหลือง (Buff)	การร่วงหล่นของผิวหน้าเป็นบริเวณกว้าง	

5.3.8 ข้อบกพร่องบนพื้นผิวของโครงสร้างเหล็ก

มยพ. 1333-61 ได้แนะนำรายละเอียด วิธีการ และขั้นตอนการจัดทำระบบป้องกันการกัดกร่อนของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ เพื่อให้อาคารมีความคงทนต่อสภาพแวดล้อม ตามระดับความสำคัญ

มยพ.1902-62 มาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่า และโครงสร้างอาคารที่เสียหาย

สำหรับการออกแบบโครงสร้างใหม่ ซึ่งอาจพิจารณาเป็นแนวทางในการประเมินอายุการใช้งานโครงสร้างอาคารเก่า และอาคารที่เสียหายได้

อย่างไรก็ตามสำหรับการกำหนดอายุการใช้งานเพื่อประเมินโครงสร้างอาคารเก่า หรืออาคารที่เสียหาย ควรคำนึงถึงความปลอดภัย ความสามารถในการใช้งานในอนาคต และความสามารถในการบำรุงรักษาได้ทั้งในทางวิศวกรรม และในทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละอาคารควบคู่กันไปด้วย

จากผลการตรวจสอบ ควรประเมินสาเหตุของการเสื่อมสภาพ ระดับความรุนแรง และระดับของความเสียหายของโครงสร้าง ณ ปัจจุบัน และแนวโน้มการพัฒนาของความเสียหายในอนาคต เพื่อพิจารณาแนวทางการบำรุงรักษาที่เหมาะสม

การประเมินข้อบกพร่องบนพื้นผิวของโครงสร้างเหล็กสามารถอ้างอิงได้จาก ISO 4628-05

ส่วนที่ 6 การบำรุงรักษาโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย

การบำรุงรักษาครอบคลุมถึง

- (1) การตรวจสอบ (inspection) สมรรถนะของโครงสร้าง เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับผู้ใช้งาน หรือบุคคลที่สาม โดยความเป็นได้ที่อายุการใช้งานของโครงสร้างจะลดลงนั้นสามารถยอมรับได้
- (2) การตรวจติดตาม (monitor) สมรรถนะของโครงสร้างเป็นระยะ เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับ ผู้ใช้งาน หรือบุคคลที่สาม โดยความเป็นได้ที่อายุการใช้งานของโครงสร้างจะลดลงนั้นสามารถ ยอมรับได้
- (3) การซ่อมแซม (repair) เพื่อการแก้ไขส่วนของอาคารเก่าให้มีสภาพดีและมั่นคงดังเดิมหรือเพียงพอ และปลอดภัยต่อการใช้งาน เพื่อป้องกันหรือลดอัตราการเสื่อมสภาพ ตามวัตถุประสงค์ของ การบำรุงรักษา
- (4) การเพิ่มสมรรถนะเฉพาะด้าน (performance enhancement) เพื่อการแก้ไขส่วนของอาคารเก่า ให้มีสมรรถนะเฉพาะด้านสูงขึ้น
- (5) การเสริมกำลัง (strengthening) เพื่อการแก้ไขส่วนของอาคารเก่าให้มีความสามารถในการรับน้ำหนัก บรรทุกของโครงสร้าง หรือส่วนของโครงสร้างสูงขึ้น

หากผลการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างอาคารเก่า และอาคารที่เสียหายอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ ที่ยอมรับได้ จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาเพื่อให้สมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตลอดอายุการใช้งาน

การบำรุงรักษาสามารถพิจารณาตามระดับความเสียหาย ตามผลการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 การจัดระดับความเสียหายตามผลการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง

ระดับความเสียหาย	สมรรถนะของโครงสร้าง	กระบวนการที่แนะนำ	ระยะเวลาการดำเนินการ	ตัวอย่างวิธีการซ่อมแซม
ระดับ 1	ผ่าน ความคงทนใช้งานได้ ปลอดภัย	ไม่ต้องซ่อมแซม ตรวจสอบ หรือ ตรวจติดตามต่อไป ตามระยะเวลาในแผนบำรุงรักษา	พิจารณาจาก ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	ตรวจสอบด้วยตาเปล่า ตรวจสอบด้วยเครื่องมือแบบไม่ทำลาย
ระดับ 2	ไม่ผ่าน ความคงทนใช้งานได้ ผ่าน ปลอดภัย	ตรวจติดตามต่อไป ตามระยะเวลาในแผนบำรุงรักษา หรือ ซ่อม ความเสียหายที่ไม่ใช่ ปัญหาของการรับน้ำหนัก	พิจารณาจาก ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	ทาสี เคลือบผิว (coating) ซ่อมปะ (patching) ซ่อมโดยระบบไฟฟ้าเคมี การใช้สารเคมีต่าง ๆ
ระดับ 3	ไม่ผ่าน ความคงทนใช้งานได้ ผ่าน ปลอดภัย	ซ่อมความเสียหายที่เป็น ปัญหาของการรับน้ำหนัก	พิจารณาจาก ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	เสริมหน้าตัด เพิ่มเหล็กเสริม jacketing เสริมด้วยวัสดุเส้นใย หรือ เส้นใยต่อเนื่อง เสริมด้วยระบบอัดแรงภายใน หรือ ภายนอก
ระดับ 4	ไม่ผ่าน ความคงทนใช้งานได้ ปลอดภัย	ระงับการใช้อาคาร และซ่อม ความเสียหายที่เป็นปัญหา ของการรับน้ำหนัก	ทันที	เสริมหน้าตัด เพิ่มเหล็กเสริม jacketing เสริมด้วยวัสดุเส้นใย หรือ เส้นใยต่อเนื่อง เสริมด้วยระบบอัดแรงภายใน หรือ ภายนอก
ระดับ 5	ไม่ผ่าน ความคงทนใช้งานได้ ปลอดภัย	ระงับการใช้อาคาร และทุบทำลาย สร้างใหม่	ทันที	

การดำเนินการบำรุงรักษาควรกำหนดวัตถุประสงค์ของการบำรุงรักษาให้ชัดเจน ได้แก่

- (1) บำรุงรักษาเพื่อความปลอดภัยของโครงสร้าง
- (2) บำรุงรักษาเพื่อความสามารถในการใช้งาน
- (3) บำรุงรักษาเพื่ออายุการใช้งาน และความคงทนของโครงสร้าง

การบำรุงรักษาโครงสร้างเพื่อให้มีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้นั้นมีหลายวิธี การพิจารณาเลือกวิธีบำรุงรักษาที่เหมาะสมควรคำนึงถึงความสำคัญของโครงสร้าง ผลการตรวจสอบ สาเหตุของความเสียหาย ผลการประเมินระดับความเสียหาย การคาดการณ์การเสื่อมสภาพในอนาคต นอกจากนี้ควรต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ควบคู่กัน ได้แก่

- (1) ความต้องการของผู้ใช้งานโครงสร้าง เช่น ระยะเวลาการใช้งานโครงสร้างต่อไปในอนาคต ความสวยงาม ผลกระทบของการบำรุงรักษาต่อการใช้งานอาคาร งบประมาณ ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน
- (2) สภาพแวดล้อมการใช้งานโครงสร้าง เช่น ความรุนแรงของสภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ความเปียกชื้น การเผชิญสารเคมี
- (3) น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ที่กระทำกับโครงสร้างทั้งระหว่างการบำรุงรักษา และการใช้งาน
- (4) ความเป็นไปได้ในการบำรุงรักษา เช่น การเข้าถึงได้ของชิ้นส่วนโครงสร้าง วิธีการดำเนินการบำรุงรักษา ระยะเวลาการดำเนินการ
- (5) ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้าง ซึ่งพิจารณารวมทั้งค่าใช้จ่ายทางตรงในการบำรุงรักษา เช่น ค่าออกแบบ ค่าก่อสร้าง ค่าตรวจสอบ ค่าวัสดุ ค่าแรง ค่าดำเนินการ และค่าใช้จ่ายทางอ้อม เช่น ค่าสูญเสียโอกาสระหว่างโครงสร้างปิดดำเนินการ ความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายกับผู้ใช้งานอาคารที่เสียหาย โดยต้องพิจารณาความคงทนของโครงสร้างทั้งก่อน และหลังการซ่อมแซมควบคู่ไปด้วย เพื่อสามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาโครงสร้างตลอดอายุการใช้งานได้
- (6) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความปลอดภัยต่อผู้ทำงาน เช่น มลภาวะที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการบำรุงรักษา ความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุ

โครงสร้าง หรือชิ้นส่วนโครงสร้างที่ได้รับการบำรุงรักษา ต้องได้รับการออกแบบให้มีสติฟเนส (stiffness) เพียงพอ เพื่อที่จะควบคุมการแอ่นตัว การสั่นสะเทือน การเกิดรอยร้าว หรือการเปลี่ยนรูปร่างอื่น ๆ ที่มีผลต่อการรับน้ำหนักบรรทุก ความสามารถในการใช้งานของโครงสร้าง และอายุการใช้งานของโครงสร้าง

ผลที่เกิดจากการบำรุงรักษา และขั้นตอนต่าง ๆ ในการบำรุงรักษา ต้องได้รับการพิจารณาในการออกแบบการบำรุงรักษา เช่น น้ำหนักบรรทุกที่เปลี่ยนแปลงระหว่าง และหลังการบำรุงรักษา แรงภายในที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการบำรุงรักษา หรือการเคลื่อนตัวต่าง ๆ (movement) หรือ การเปลี่ยนตำแหน่ง (displacement)

ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องบำรุงรักษาส่วนของโครงสร้างที่ไม่มีความเสียหายมาก่อนเพื่อให้การบำรุงรักษาส่วนที่เสียหายมีความสมบูรณ์ ให้พิจารณาส่วนที่ไม่มีความเสียหายมาก่อนเป็นส่วนหนึ่งของการบำรุงรักษาด้วย

ขึ้นส่วนโครงสร้างใหม่ หรือจุดเชื่อมต่อ ให้ออกแบบโดยเป็นไปตามข้อบังคับอาคาร ณ ปัจจุบัน

โครงสร้างที่ได้รับการบำรุงรักษาต้องมีการพิจารณาระบบทางไฟฟ้า ความสามารถในการทนไฟ ให้เป็นไปตามข้อบังคับ ณ ปัจจุบัน

ระบบไฟฟ้าของอาคารที่ได้รับการบำรุงรักษา ให้ดำเนินการโดยพิจารณาใช้วัสดุประเภทเดียวกันกับวัสดุเดิม

ระบบเครื่องกลของอาคารที่ได้รับการบำรุงรักษา ให้ดำเนินการโดยให้ระบบที่ได้รับการบำรุงรักษา มีความสอดคล้องกับข้อบังคับอาคาร และไม่น้อยกว่าระบบเดิมก่อนการบำรุงรักษา

อาคารที่ได้รับการบำรุงรักษา ต้องพิจารณาข้อกำหนดเกี่ยวกับการเข้าถึงได้ (accessibility) เช่น ทางเข้า ลิฟท์ บันไดเลื่อน ลิฟท์สำหรับรถเข็นผู้พิการ ทางลาดต่าง ๆ ให้ไม่น้อยกว่าที่มีอยู่ของอาคารเดิม

การออกแบบโครงสร้าง ขึ้นส่วนโครงสร้าง หรือจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ ที่ได้รับการบำรุงรักษา ต้องพิจารณา น้ำหนักบรรทุก ตัวคูณต่าง ๆ ให้เป็นไปตามมาตรฐานนี้

6.1 หลักการการบำรุงรักษา

การพิจารณาวิธีการบำรุงรักษาต้องมีการกำหนดวัตถุประสงค์ให้ชัดเจน โดยหลักการการบำรุงรักษาได้จำแนกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 20 และตัวอย่างวิธีการบำรุงรักษาตามหลักการต่าง ๆ

ตารางที่ 20 หลักการ และวิธีการบำรุงรักษาโครงสร้าง (EN 1504-04)

ลำดับ	หลักการการบำรุงรักษา	ตัวอย่างวิธีการบำรุงรักษา
1	การตรวจสอบ	การตรวจสอบโครงสร้างด้วยวิธีตรวจพินิจ
2	การตรวจติดตาม	การตรวจสอบโครงสร้างเป็นระยะด้วยวิธีตรวจพินิจ หรือการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อการตรวจติดตาม
3	การป้องกันการเผชิญกับสารที่เป็นอันตรายต่อโครงสร้าง	การใช้สารที่ไม่ชอบน้ำในการซึมลึกเข้าไปในคอนกรีต (hydrophobic impregnation)
		การอุดปิดโพรงในคอนกรีต
		การเคลือบผิวปิดเฉพาะบริเวณที่มีรอยร้าว
		การอุดปิดรอยร้าว
		การเปลี่ยนรอยร้าวให้เป็นรอยต่อของโครงสร้าง
		การทำที่กำบัง หรือหลังคาคลุมโครงสร้าง
		การทาเคลือบผิวโครงสร้าง
4	การป้องกันความชื้น	การใช้สารที่ไม่ชอบน้ำในการซึมลึกเข้าไปในคอนกรีต (hydrophobic impregnation)
		การอุดปิดโพรงในคอนกรีต
		การทาเคลือบผิวโครงสร้าง
		การทำที่กำบัง หรือหลังคาคลุมโครงสร้าง
		การลดความชื้นด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี
5	การใช้คอนกรีตใหม่ทดแทนคอนกรีตที่เสื่อมสภาพ	การฉาบปะมอร์ตาร์ด้วยมือ
		การเทหล่อคอนกรีตใหม่
		การพ่นคอนกรีต (shotcrete)
		การเปลี่ยนชิ้นส่วนโครงสร้าง
6	การเสริมกำลัง	การเปลี่ยน หรือเสริมเหล็กเสริม
		การเจาะรูและเสริมเหล็ก
		การเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก หรือไฟเบอร์เสริมกำลัง (FRP)
		การใชงานมอร์ตาร์ หรือคอนกรีต
		การอัดฉีดเพื่อปิด และประสานรอยร้าว หรือโพรงช่องว่าง
		การเติมเต็มเพื่อปิด และประสานรอยร้าว หรือโพรงช่องว่าง

ลำดับ	หลักการการบำรุงรักษา	ตัวอย่างวิธีการบำรุงรักษา
		การเสริมกำลังภายนอก
7	การเพิ่มความต้านทาน การเสื่อมสภาพทางกายภาพ	การเพิ่มขึ้นด้านทานการถูกขัดสี
		การใช้แผ่นปิดทับหน้า
		การใช้สารซึมลึกเข้าไปในคอนกรีต
8	การเพิ่มความต้านทาน การเสื่อมสภาพทางเคมี	การเพิ่มขึ้นด้านทานการเสื่อมสภาพทางเคมี
		การใช้แผ่นปิดทับหน้า
		การอุดปิดโพรงในคอนกรีตด้วยสารที่มีความต้านทานทางเคมี
9	การฟื้นฟูชั้นฟิล์มป้องกัน การเกิดสนิมของเหล็กเสริม	เพิ่มระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม
		การใช้คอนกรีตใหม่ทดแทนคอนกรีตที่เสื่อมสภาพ
		การเพิ่มความเป็นด่างของคอนกรีตด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี(realkalization by electrochemical method)
		การเพิ่มความเป็นด่างของคอนกรีตด้วยวิธีทางกายภาพ (realkalization by physical method)
		การดึงคลอไรด์ออกจากคอนกรีต (chloride extraction)
10	การเพิ่มความต้านทาน ทางไฟฟ้าของคอนกรีต	การควบคุมความชื้นในคอนกรีต
11	การควบคุมบริเวณที่เกิดการรับ อิเล็กตรอน (คาโทดิก)	การลดการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนด้วยการทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำ
		การลดการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนด้วยการเคลือบผิว
12	การควบคุมบริเวณที่เหล็กเสริม สูญเสียอิเล็กตรอน (แอโนดิก)	การทาเคลือบผิวเหล็กเสริมด้วยสีชนิดสูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่าย
		การทาเคลือบผิวเหล็กเสริมด้วยสีที่เป็นชั้นป้องกันการเกิดสนิม
		การใช้สารยับยั้งการเกิดสนิม (corrosion inhibitor)
13	การป้องกันการเกิดสนิม ด้วยไฟฟ้าเคมี	การติดตั้งโลหะที่สูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่าย (sacrificial anode)
		การใช้กระแสไฟฟ้าจากภายนอก (impressed current)

6.2 การบำรุงรักษาเพื่อความปลอดภัยของโครงสร้าง

ในกรณีที่ผลการประเมินความปลอดภัยของโครงสร้างอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จำเป็นต้องมีการซ่อมแซม หรือเสริมกำลังโครงสร้าง

การออกแบบการซ่อมแซมความปลอดภัยของโครงสร้างให้อิงตามสมการที่ 5 โดยหาก กำลังที่ออกแบบมีค่ามากกว่ากำลังที่ต้องการของโครงสร้าง ถือว่าโครงสร้างมีความปลอดภัย

การพิจารณาข้อบังคับอาคารที่ใช้ในการออกแบบการซ่อมแซมโครงสร้างระหว่างข้อบังคับที่ใช้ในช่วงการก่อสร้างอาคารในอดีต และฉบับปัจจุบันนั้น ให้พิจารณาตามระดับความรุนแรงของความเสียหายทางโครงสร้างดังรายละเอียดที่แสดงในหัวข้อ 3.6 และในบทที่ 5

การพิจารณาแรงกระทำต่าง ๆ หน่วยแรงที่ยอมให้ ตัวคุณลกกำลังของวัสดุ ตัวคุณน้ำหนักบรรทุก การพิจารณาน้ำหนักบรรทุก ให้อิงตามบทบัญญัติอาคาร หรือมาตรฐานการออกแบบฉบับใดฉบับหนึ่งเท่านั้น ห้ามไม่ให้อ้างอิงข้ามมาตรฐาน เพราะมีผลของความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเชื่อมั่นและค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในแต่ละข้อบังคับ ยกเว้นจะทำให้เกิดความปลอดภัยมากขึ้น

ในกรณีที่โครงสร้างต้องได้รับการซ่อมแซมให้เป็นไปตามข้อบังคับอาคาร ณ ปัจจุบัน ให้พิจารณาข้อกำหนดต่าง ๆ ตามข้อบังคับ ณ ปัจจุบัน

การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อการออกแบบการซ่อมแซมจำเป็นต้องพิจารณารายละเอียดการดำเนินการ และขั้นตอนในการดำเนินการซ่อมแซม เช่น การสกัดส่วนโครงสร้างที่เสียหายออก แรงกระทำต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการซ่อมแซม การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัสดุ อุณหภูมิ ที่อาจมีผลต่อหน่วยแรงที่เกิดขึ้น การเปลี่ยนรูปของชิ้นส่วนโครงสร้างทั้งส่วนเดิม และส่วนที่ซ่อมแซม

การวิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อพิจารณาสมรรถนะของโครงสร้างว่าเป็นที่ยอมรับได้หรือไม่ ให้พิจารณาน้ำหนักบรรทุกแนวตั้ง และแนวราบ ตามมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างนั้น ซึ่งต้องมีการตรวจสอบขนาดหน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้าง การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วน หรือระบบโครงสร้างจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง และลักษณะการใช้งานจริงเพื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุก

การวิเคราะห์โครงสร้างต้องคำนึงถึงสมบัติของวัสดุจริง มิติของโครงสร้าง และการเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนโครงสร้าง ระยะเวลาที่รับน้ำหนักบรรทุกซึ่งมีผลต่อการล้าและการหดตัวของวัสดุ รวมทั้งผลของรอยร้าว หรือปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมแบบไร้เชิงเส้นของโครงสร้าง รวมถึงผลของปัจจัยภายนอกอื่น ๆ ที่มีผล เช่น การอัดแรง ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัสดุ อุณหภูมิ หรือการเคลื่อนตัวของฐานราก

ในการออกแบบเพื่อการบำรุงรักษาโครงสร้าง สำหรับโครงสร้างอัดแรง ต้องพิจารณาผลของแรงอัดที่เกิดจากการอัดแรง (prestressing force) ที่มีอยู่ในชิ้นส่วนโครงสร้าง และควรระวังหน่วยแรงอัดในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการสกัดเอาคอนกรีตที่เสียหายออก โดยเฉพาะบริเวณสมอยึด (anchorage)

หากพบว่าชิ้นส่วนโครงสร้างมีการเสื่อมสภาพ การเสียหาย หรือได้รับการซ่อมแซมมาแล้ว ต้องพิจารณาผลของการเสื่อมสภาพของวัสดุ การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยว หรือการกระจายตัวของแรงในชิ้นส่วนโครงสร้างเพิ่มเติมประกอบในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วย

รอยต่อระหว่างส่วนโครงสร้างเดิม และวัสดุซ่อมแซม สามารถพิจารณาเป็น 1) เป็นวัสดุคอมโพสิตโดยสมบูรณ์ ซึ่งไม่มีการเคลื่อนตัวตามแนวรอยต่อระหว่างสองวัสดุ หรือ 2) ไม่มีแรงยึดเกาะเลยระหว่างสองวัสดุ หรือ 3) มีแรงยึดเกาะบางส่วน อย่างไรก็ตามในสภาวะน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน โครงสร้างเดิมและวัสดุซ่อมแซมต้องมีพฤติกรรมเป็นวัสดุคอมโพสิตโดยสมบูรณ์เพื่อป้องกันการร่วงหล่นของวัสดุระหว่างการใช้งาน

โครงสร้างเดิม และส่วนที่ซ่อมแซมต้องสามารถถ่ายแรงระหว่างกันได้ ทั้งระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้างและภายในชิ้นส่วนโครงสร้างเอง โดย วสท. 1008-38 หรือ ACI 318R-11 หัวข้อ 11.6 และ 17.5 ได้แนะนำการวิเคราะห์การถ่ายแรงภายในระหว่างส่วนโครงสร้างเดิม และส่วนที่ซ่อมแซมไว้

ระยะทาบ และระยะฝังของเหล็กเสริม ต้องเป็นไปตามบทบัญญัติอาคารฉบับปัจจุบัน

ผู้ประเมินวิศวกรรมโครงสร้าง สามารถอ้างอิงการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างตาม ACI 318R-11 เพื่อประกอบผลการวิเคราะห์โครงสร้าง และยืนยันความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างที่ได้รับการซ่อมแซม

6.2.1 น้ำหนักบรรทุก

ให้พิจารณาน้ำหนักบรรทุกตามลักษณะการใช้งานจริงของโครงสร้าง หากไม่สามารถประเมินน้ำหนักบรรทุกได้ ให้อ้างอิงตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

หากอาคารมีการใช้งานระหว่างการบำรุงรักษา ให้อ้างอิงน้ำหนักบรรทุกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 แต่หากไม่มีการใช้งานอาคารระหว่างการบำรุงรักษา ให้อ้างอิงน้ำหนักบรรทุกตาม ASCE/SEI 37-02

ต้องพิจารณาน้ำหนักบรรทุก หรือแรงกระทำต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการบำรุงรักษา เช่น การลดลงของน้ำหนักบรรทุก ลำดับขั้นตอนการใส่น้ำหนักบรรทุก หน่วยแรงจากการอัดแรง แรงสั่นสะเทือน รถเครน แรงกระแทก การหดตัว การคืบ อุณหภูมิ การทรุดตัว และอื่น ๆ ในบางกรณีอาจมีความจำเป็นต้องใช้โครงสร้างชั่วคราว หรือระบบค้ำยัน

6.2.2 กำลังที่ต้องการ

กำลังที่ออกแบบต้องมีค่าไม่ต่ำกว่ากำลังที่ต้องการจากการรวมน้ำหนักบรรทุกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกแนวตั้ง แรงลม และแรงกระทำแผ่นดินไหวแบบลดทอน หรือไม่ลดทอน

6.2.3 ตัวคูณลดกำลัง

ตัวคูณลดกำลังให้อิงตามรายละเอียดในบทที่ 5

6.2.4 การออกแบบการเสริมกำลังแบบภายนอก

การออกแบบการเสริมกำลังแบบภายนอกให้พิจารณาเกณฑ์การออกแบบดังแสดงในสมการที่ 9 และ 10 (ACI 440.2R-02) เพื่อให้โครงสร้างเดิมที่ไม่ได้รับการเสริมกำลังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกได้ แม้ว่า การเสริมกำลังแบบภายนอกที่ติดตั้งเพิ่มเติมจะได้รับความเสียหายเนื่องจากแรงกระทำพิเศษ เช่น ไฟไหม้ ระเบิด หรือการชน โดยที่แรงลม และแรงแผ่นดินไหวไม่ถือเป็นแรงกระทำพิเศษ

$$(\phi R_n)_{\text{existing}} \geq (1.2S_{DL} + 0.85S_{LL})_{\text{new}} \quad (9)$$

$$(R_{n\theta})_{\text{existing}} \geq S_{DL} + S_{LL} \quad (10)$$

โดยที่ R_n คือ กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของโครงสร้างเดิมที่ไม่ได้รับการเสริมกำลัง

S_{DL} คือ น้ำหนักบรรทุกคงที่หรือโมเมนต์และแรงภายในที่เกี่ยวข้อง

S_{LL} คือ น้ำหนักบรรทุกจรหรือโมเมนต์และแรงภายในที่เกี่ยวข้อง

$R_{n\theta}$ คือ กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของโครงสร้างเดิมที่ไม่ได้รับการเสริมกำลังภายหลัง การเกิดเพลิงไหม้โดยประเมินตาม ACI216R-89

6.2.5 กำลังการยึดเกาะ

ในกรณีที่พิจารณารอยต่อระหว่างส่วนโครงสร้างเดิม และวัสดุซ่อมแซม เป็น 1) วัสดุคอมโพสิต โดยสมบูรณ์ ซึ่งไม่มีการเคลื่อนตัวตามแนวรอยต่อระหว่างสองวัสดุ หรือ 2) มีแรงยึดเกาะบางส่วน กำลังการยึดเกาะ ที่ต้องการระหว่างโครงสร้างเดิมและวัสดุซ่อมแซมต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของหน่วยแรงที่คำนวณได้ จากการวิเคราะห์ และออกแบบ

อย่างไรก็ตามในสภาวะน้ำหนักบรรทุกใช้งาน โครงสร้างเดิมและวัสดุซ่อมแซมต้องมีพฤติกรรมเป็น วัสดุคอมโพสิตโดยสมบูรณ์เพื่อป้องกันการร่วนหล่นของวัสดุระหว่างการใช้งาน

ผลการทดสอบกำลังการยึดเกาะต้องมากกว่า ค่าที่น้อยกว่าระหว่างกำลังการยึดเกาะที่ต้องการ หรือกำลังดึงของคอนกรีตของโครงสร้างเดิม

การทดสอบกำลังการยึดเกาะระหว่างโครงสร้างเดิมและวัสดุซ่อมแซม หรือกำลังดึงของคอนกรีต สามารถทดสอบได้ตาม ASTM C1583-04

กำลังของคอนกรีตเดิมต้องเพียงพอในการรับแรงที่ถ่ายมาจากการซ่อมแซม หรือการเสริมกำลัง ACI 440.2R-02 ได้แนะนำว่ากำลังอัดของคอนกรีตเดิมควรมากกว่า 17 MPa สำหรับการเสริมกำลังแบบภายนอกด้วย FRP

วัสดุประสานที่ใช้ในการประสานคอนกรีตเดิม วัสดุซ่อมแซม หรือเหล็กเสริม ต้องสามารถถ่ายแรงระหว่างวัสดุได้ดี การประเมินแรงยึดเกาะของวัสดุประสานสามารถอ้างอิง ACI 440R-96, ACI 503R-93, ICRI 210.3-08 และ ASTM C1583-04

6.2.6 สมบัติการทนไฟ

ระบบซ่อมแซมต้องได้รับการออกแบบ หรือป้องกันให้มีความสามารถในการทนไฟเป็นไปตามข้อกำหนดของข้อมติบัญญัติอาคาร ณ ปัจจุบัน ยกเว้นผลการวิเคราะห์โครงสร้างพบว่าโครงสร้างเดิมก่อนการบำรุงรักษามีความปลอดภัยตามการประเมินดังแสดงในสมการที่ 10 และ 11

ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุซ่อมแซมต้องได้รับการพิจารณาในการออกแบบ เช่น แรงยึดเกาะ การซึมผ่านได้ของไอน้ำ สัมประสิทธิ์การยึดหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิ สมบัติทางกลของ FRP

6.3 การบำรุงรักษาเพื่อความสามารถในการใช้งาน

6.3.1 การบำรุงรักษาเพื่อความสามารถในการใช้งานได้ในด้านการแอ่นตัว การเคลื่อนตัวของโครงสร้าง และการสั่นสะเทือน

การบำรุงรักษาเพื่อความสามารถในการใช้งานได้ในด้านการแอ่นตัว การเคลื่อนตัวของโครงสร้าง และการสั่นสะเทือน ให้พิจารณาการออกแบบ และวิเคราะห์ตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 6.1 โดยพิจารณาน้ำหนักบรรทุกทุกในสภาวะใช้งาน

6.3.2 การบำรุงรักษาเพื่อความสามารถในการใช้งานได้ในด้านการร้าวซึม

การบำรุงรักษาเพื่อความสามารถในการใช้งานได้ในด้านการร้าวซึม สามารถอ้างอิงได้ตามมาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต (มยผ.1901-51), ISO/TR 16475 หรือ ACMC-L3-006

การเลือกวิธี และวัสดุซ่อมแซม ในการออกแบบการบำรุงรักษาต้องคำนึงถึงลักษณะการร้าวซึม เช่น การเกิดปฏิกิริยาเคมี องค์ประกอบทางเคมี แรงดัน อัตราการร้าวซึม ความชื้น อุณหภูมิ แรงสั่นสะเทือน

ในกรณีที่การร้าวซึมเกิดจากรอยแตกร้าว สามารถใช้วิธีการอัดฉีดด้วยวัสดุปิดรอยร้าว เช่น การอัดฉีดด้วยอีพอกซีเรซิน การอัดฉีดด้วยซีเมนต์เกราท์ชนิดไม่หดตัว การอัดฉีดด้วยวัสดุที่ขยายตัว การอัดฉีดด้วยวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นสูง การเจาะร่องและอุดแนวบริเวณรอยร้าว โดยต้องพิจารณาพฤติกรรมของรอยร้าวว่ามีการขยายตัว หรือเคลื่อนตัวหรือไม่ รวมทั้งลักษณะของรอยร้าว เช่น ความกว้างรอยร้าว ความลึก

ของรอยร้าว ความชื้น อุณหภูมิ เพื่อพิจารณาเลือกวิธี และวัสดุในการซ่อมแซมที่เหมาะสม และควรระวังไม่ให้เกิดการขยายตัวของรอยร้าวจากแรงดันที่ใช้ในการอัดฉีดสมบัติของวัสดุอัดฉีดรอยร้าวที่ควรพิจารณา เช่น แรงยึดเกาะ ความตึงน้ำ ความสามารถในการยึดตัว ความต้านทานสารเคมี ความสามารถในการถูกอัดฉีด ความหนืด อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ระยะเวลาการแข็งตัว

ในกรณีที่การรั่วซึมไม่ได้เกิดจากรอยแตกร้าว หรือรอยร้าวมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถใช้วิธีอัดฉีดเพื่อปิดรอยร้าวได้ ให้พิจารณาใช้วัสดุเททับผิวหน้า หรือทาทับผิวหน้าแทน โดยควรพิจารณาสมบัติ เช่น แรงยึดเกาะ ความหนา ความตึงน้ำ ความสามารถในการยึดตัว ความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากรังสียูวี ความต้านทานสารเคมี ความปลอดภัยในการสัมผัสกับน้ำประปา ความต้านทานการถูกขัดสี ระยะเวลาการแข็งตัว

ไม่ควรใช้การอัดฉีด หรือฉาบปะทับหน้าผิวคอนกรีตเพื่อปิดรอยร้าวที่เกิดจากการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ปฏิบัติการระหว่างต่างและมวลรวม การเสื่อมสภาพเนื่องจากซัลเฟต ยกเว้นในกรณีที่ต้นเหตุของการแตกร้าวได้รับการแก้ไขแล้วโดยสมบูรณ์

6.4 การบำรุงรักษาเพื่ออายุการใช้งาน และความคงทน

6.4.1 การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง

จากผลการประเมินควรมีการกำหนดวัตถุประสงค์ของการซ่อมแซมรอยร้าวให้ชัดเจน เช่น สมรรถนะทางด้านการรับกำลัง สมรรถนะทางด้านความสามารถในการใช้งานได้ ความตึงน้ำ ความสวยงาม ความคงทนและอายุการใช้งาน

การพิจารณาเลือกวิธี และวัสดุซ่อมแซมรอยร้าวแสดงในหัวข้อ 6.2.2, ACI 503.7R-07 และ มยผ. 1901-51

การซ่อมแซมควรคำนึงถึงผลของระยะเวลา โดยรอยร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง จะมีการขยายตัวได้ต่อเนื่องถึงประมาณ 3 ปีภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ หรือนานกว่านั้นขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้าง การซ่อมแซมในช่วงเวลาที่รอยร้าวยังมีการขยายตัวอาจทำให้เกิดการแตกร้าวอีกครั้ง หรือเกิดรอยแตกร้าวใหม่ขึ้นได้

6.4.2 คาร์บอนเนชั่น

การบำรุงรักษาโครงสร้างที่เสื่อมสภาพเนื่องจากการเกิดคาร์บอนเนชั่นของคอนกรีตมีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอหรือหยุดการเกิดสนิม และการฟื้นฟูความเป็นด่างของคอนกรีต

ในกรณี que การเชื่อมสภาพอยู่ในช่วงเริ่มต้น การควบคุมการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถชะลอ หรือหยุดกระบวนการคาร์บอนเนชั่นได้ โดยวิธีการที่ได้ผล ได้แก่ การทาทับผิวหน้าคอนกรีต และการปิดรอยร้าว

ในกรณี que การเชื่อมสภาพอยู่ในช่วงพัฒนา การทาทับผิวหน้าคอนกรีต และการปิดรอยร้าวสามารถชะลอกระบวนการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้ เนื่องจากสามารถลดความชื้น และการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนลง หากผลการประเมินอายุการใช้งานพบว่าอายุการใช้งานมีค่าน้อยกว่าที่ยอมรับได้ ให้พิจารณาหยุดการเกิดสนิมของเหล็กเสริมด้วยวิธีอื่นด้วย เช่น การฟื้นฟูความเป็นด่างของคอนกรีตด้วยการสกัดคอนกรีตที่เชื่อมสภาพออก แล้วเทคอนกรีตทับใหม่ หรือการใช้วิธีทางไฟฟ้าเคมี

ในกรณี que การเชื่อมสภาพอยู่ในช่วงเร่ง และช่วงเสื่อมสภาพผลของรอยร้าว และการหลุดร่อนของผิวคอนกรีต จะเร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในบางสภาวะแวดล้อม หากผลการประเมินอายุการใช้งานพบว่าอายุการใช้งานมีค่าน้อยกว่าที่ยอมรับได้ ต้องพิจารณาการหยุดการเกิดสนิมของเหล็กเสริมด้วยวิธีต่าง ๆ และหากความปลอดภัยของโครงสร้างน้อยกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต้องพิจารณาซ่อมแซมโครงสร้าง หรือเสริมกำลังโครงสร้างตามรายละเอียดในหัวข้อ 6.1

การบำรุงรักษาการเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอนเนชั่น ควรคำนึงถึงความเข้ากันได้ทางไฟฟ้าเคมีของโครงสร้างเดิม และวัสดุซ่อมแซม เนื่องจากอาจก่อให้เกิดการเร่งการเกิดสนิมในบริเวณข้างเคียงหลังจากการซ่อมได้ (incipient anode)

6.4.3 การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์

การบำรุงรักษาโครงสร้างที่เชื่อมสภาพเนื่องจากการเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ มีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอหรือหยุดการเกิดสนิม และกำจัดคลอไรด์ที่ปนเปื้อนในคอนกรีตโดยเฉพาะบริเวณใกล้ผิวของเหล็กเสริม

ในกรณี que การเชื่อมสภาพอยู่ในช่วงเริ่มต้น การควบคุมการซึมผ่านของคลอไรด์สามารถชะลอ หรือหยุดการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตได้ โดยวิธีการที่ได้ผล ได้แก่ การทาสารที่ลดการซึมผ่านของน้ำ การทาทับผิวหน้าคอนกรีต และการปิดรอยร้าว

ในกรณี que การเชื่อมสภาพอยู่ในช่วงพัฒนา การทาทับผิวหน้าคอนกรีต และการปิดรอยร้าวสามารถชะลอกระบวนการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้ เนื่องจากสามารถลดความชื้น และการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนลง หากผลการประเมินอายุการใช้งานพบว่าอายุการใช้งานมีค่าน้อยกว่าที่ยอมรับได้ ให้พิจารณาหยุดการเกิดสนิมของเหล็กเสริมด้วยวิธีอื่นด้วย เช่น การกำจัดคลอไรด์ในคอนกรีตด้วยการสกัดคอนกรีตที่เชื่อมสภาพออก หรือการใช้วิธีทางไฟฟ้าเคมี

ในกรณีที่มีการเสื่อมสภาพอยู่ในช่วงเร่ง และช่วงเสื่อมสภาพ ผลของรอยร้าว และการหลุดร่อนของผิวคอนกรีต จะเร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในบางสภาวะแวดล้อม หากผลการประเมินอายุการใช้งานพบว่า อายุการใช้งานมีค่าน้อยกว่าที่ยอมรับได้ ต้องพิจารณาการหยุดการเกิดสนิมของเหล็กเสริมด้วยวิธีต่าง ๆ และหากความปลอดภัยของโครงสร้างน้อยกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต้องพิจารณาซ่อมแซมโครงสร้าง หรือเสริมกำลังโครงสร้างตามรายละเอียดในหัวข้อ 6.1

การบำรุงรักษาการเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ ควรคำนึงถึงความเข้ากันได้ทางไฟฟ้าเคมีของโครงสร้างเดิม และวัสดุซ่อมแซม เนื่องจากอาจก่อให้เกิดการเร่งการเกิดสนิมในบริเวณข้างเคียงหลังจากการซ่อมได้ (incipient anode)

6.4.4 ปฏิบัติการระหว่างต่างกับมวลรวม

การบำรุงรักษาโครงสร้างที่เสื่อมสภาพเนื่องจากปฏิบัติการระหว่างต่างกับมวลรวม สามารถแบ่งได้ตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

การบำรุงรักษาเพื่อหยุดการขยายตัวของคอนกรีต สามารถดำเนินการได้โดยการป้องกันน้ำโดยรอบขึ้นส่วนโครงสร้าง เนื่องจากซิลิกาเจลจะขยายตัวต่อเมื่อมีการดูดซึมน้ำ การใช้สารละลายลิเทียมบางชนิด อาจลดการเกิดปฏิบัติการระหว่างต่างกับมวลรวมได้ และการกำจัดคอนกรีตที่มีมวลรวมที่เกิดปฏิกิริยาออก

การบำรุงรักษาเพื่อจำกัดการขยายตัวของชิ้นส่วนโครงสร้าง สามารถดำเนินการได้โดยการเพิ่มการโอบรัดโครงสร้างภายนอก เพื่อควบคุมการขยายตัวของชิ้นส่วนโครงสร้าง โดยต้องคำนึงถึงหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริมเนื่องจากการขยายตัวและการโอบรัดควบคู่กันไปด้วย

การบำรุงรักษาด้านอายุการใช้งาน และความคงทน ในบางกรณีการขยายตัวอยู่ในระดับไม่รุนแรง ณ ปัจจุบัน แต่รอยร้าวที่ผิวคอนกรีตสามารถเร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในบางสภาวะแวดล้อม ดังนั้นต้องบำรุงรักษาเพื่อปิดรอยร้าว โดยในการเลือกวิธี และวัสดุในการซ่อมแซมต้องคำนึงถึงการขยายตัวของรอยร้าวเนื่องจากปฏิบัติการระหว่างต่างกับมวลรวมในอนาคตด้วย การตรวจติดตามอาจมีความจำเป็นและเป็นประโยชน์ เพื่อประกอบการตัดสินใจการบำรุงรักษาในอนาคต

6.4.5 การสึกกร่อน

กรณีการสึกกร่อนเกิดจากการถูกกัดกร่อน แนวทางการบำรุงรักษาควรกำหนดสมบัติของวัสดุ และการก่อสร้าง ให้เหมาะสมตามลักษณะของการใช้งานจริง โดย ACI 302.1 ได้แนะนำการแบ่งประเภทของแผ่นพื้นคอนกรีตตามลักษณะการใช้งาน โดยในกรณีที่สมบัติการต้านทานการกัดกร่อนของคอนกรีตไม่เพียงพอต้องพิจารณาใช้วัสดุเพิ่มความแข็งแรงของผิวคอนกรีต หรือวัสดุเคลือบผิว

กรณีที่เกิดการสึกกร่อนเกิดจากการแตกตัวของฟองอากาศในของไหล ACI 210 ได้แนะนำแนวทางการควบคุมการเกิดขึ้นของฟองอากาศในของไหล

กรณีที่เกิดการสึกกร่อนเกิดจากการสัมผัสสารเคมี ให้พิจารณาใช้วัสดุเคลือบผิวคอนกรีตที่สามารถทนต่อสารเคมีชนิดนั้น ๆ ได้

6.4.6 การเผชิญกับซัลเฟต

กรณีที่ความเสียหายเกิดจากโซเดียมซัลเฟต ชั้นส่วนโครงสร้างจะเกิดการขยายตัวและการแตกร้าว โดยความเสียหายจะพัฒนาจากบริเวณผิวคอนกรีต ดังนั้นควรประเมินความลึกที่คอนกรีตเกิดการเสื่อมสภาพ มีการขยายตัว หรือรอยแตกร้าว ดำเนินการสกัดคอนกรีตที่เสื่อมสภาพออก และเทคอนกรีตที่มีสมบัติเป็นไปตามคำแนะนำใน มยผ. 1332-55 หรือใช้วัสดุเคลือบผิวคอนกรีตเพื่อป้องกันการสัมผัสกับโซเดียมซัลเฟต

ในกรณีที่ความเสียหายเกิดจากแมกนีเซียมซัลเฟต ชั้นส่วนโครงสร้างจะเกิดการสลายตัวบริเวณผิวที่สัมผัสกับแมกนีเซียมซัลเฟต ส่งผลต่อกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง โดยความเสียหายจะพัฒนาจากบริเวณผิวคอนกรีต ดังนั้นควรประเมินความลึกจากผิวที่คอนกรีตเกิดการเสื่อมสภาพ ดำเนินการสกัดคอนกรีตที่เสื่อมสภาพออก และเทคอนกรีตที่มีสมบัติเป็นไปตามคำแนะนำใน มยผ. 1332-55 หรือใช้วัสดุเคลือบผิวคอนกรีตเพื่อป้องกันการสัมผัสกับแมกนีเซียมซัลเฟต

6.5 วัสดุซ่อมแซม

วัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมต้องไม่ก่อให้เกิดอันตราย หรือสภาวะความไม่ปลอดภัยขึ้น ห้ามใช้สารที่เป็นอันตราย เช่น แร่ใยหิน สีที่มีส่วนผสมของสารตะกั่ว

การพิจารณาวัสดุต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการบำรุงรักษา โดยพิจารณาสมบัติของวัสดุ และชนิดของวัสดุ ให้เหมาะสม

6.5.1 สมบัติของวัสดุ

ต้องพิจารณาสภาพทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางเคมี วิธีการดำเนินการ แรงยึดเกาะ การหดตัว ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ความคงทน ความต้านทานการเกิดสนิม การติดตั้ง การบ่ม ความเหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของโครงสร้าง และอื่น ๆ ให้เหมาะสมตามวัตถุประสงค์

มยผ. 1901-51, ACI 301-99, ACI 318R-11, ACI 503R-93, ACI 503.5R-92, ACI 503.6R-97, ACI 546.3R-03, ICRI No. 320.2-08, ICRI No. 320.3-08, ICRI No. 330.1-08, ICRI No. 340.1-08 และ EN 1504-04 ได้แนะนำแนวทางการเลือกวัสดุซ่อมแซมโดยพิจารณาถึงสมบัติที่เหมาะสม

การบำรุงรักษาต้องพิจารณาส่วนของโครงสร้างเดิม และวัสดุซ่อมแซมให้เป็นระบบเดียวกัน ดังนั้น ความเข้ากันได้ของสมบัติระหว่างส่วนของโครงสร้างเดิม และวัสดุซ่อมแซม เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาเพื่อให้ การบำรุงรักษา มีความสมบูรณ์ และคงทน ความเข้ากันได้นี้ ได้แก่ สภาพกายภาพและเคมี สมบัติทางกล และสมบัติด้านไฟฟ้าเคมี

สภาพกายภาพและเคมี เช่น การหดตัว การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจากอุณหภูมิ ความชื้น การเข้ากันได้ทางเคมี การซึมผ่านของก๊าซหรือของเหลว การคืบ การล้า สมบัติเชิงมิติ เช่น ปริมาตร และความยาว อาจแปรเปลี่ยนตามสภาพแวดล้อม สภาพการใช้งาน และเวลา โดยความแตกต่างกันของการเปลี่ยนแปลงด้านมิติของส่วนโครงสร้างเดิม และวัสดุซ่อมแซม อาจก่อให้เกิดการยึดรั้ง หน่วยแรงภายใน และความเสียหายต่อระบบการซ่อมแซมได้

สมบัติทางกลของวัสดุซ่อมแซม เช่น โมดูลัสยืดหยุ่น กำลังอัด กำลังดึงความสามารถในการยึดตัว แรงยึดเกาะ ต้องมีความเหมาะสมตามวัตถุประสงค์การบำรุงรักษา และตามข้อกำหนดที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้าง เช่น การถ่ายแรงในระบบซ่อมแซม การเคลื่อนตัว

สมบัติด้านไฟฟ้าเคมี มีผลต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ในบางกรณีความแตกต่างกันขององค์ประกอบทางเคมี เช่น ปริมาณคลอไรด์ ค่าความเป็นกรดต่าง ความตึงน้ำ ความตึงต้อก๊าซออกซิเจน อาจส่งผลต่อเสถียรภาพของชั้นฟิล์มป้องกันสนิมของเหล็กเสริม หรือทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของเหล็กเสริมเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีผลต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริม

ในกรณีที่มีการประสานวัสดุซ่อมแซมกับส่วนของโครงสร้างเดิม ต้องคำนึงถึงการยึดเกาะที่ดี โดยเกณฑ์การยอมรับได้ของแรงยึดเกาะโดยทั่วไปจะกำหนดไว้ที่ 1.71 MPa ตาม ASTM C1583-04 หรือตามรายละเอียดในหัวข้อ 6.1.5 แต่หากทดสอบด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น slant shear หรือ direct shear ค่าที่ได้จะแตกต่างกันออกไปตามกำลังของคอนกรีตเดิม ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดเกณฑ์ยอมรับที่แน่ชัดได้

สำหรับการซ่อมแซมที่แรงยึดเกาะไม่มีความสำคัญมาก อาจพิจารณาลดเกณฑ์กำลังการยึดเกาะลงเหลือ 0.69 MPa และ 1.38 MPa สำหรับวัสดุกลุ่มซีเมนต์ และพอลิเมอร์ ตามลำดับ

ควรคำนึงถึงสมบัติของวัสดุเมื่อต้องมีการใช้งานในอุณหภูมิสูงโดยเฉพาะวัสดุที่ทำหน้าที่ประสาน

สมบัติด้านการทนไฟ และความปลอดภัยของวัสดุซ่อมแซมในกรณีเกิดไฟไหม้ เช่น ควันทิษ การลามไฟ ให้เป็นไปตามบทบัญญัติอาคารฉบับปัจจุบัน

6.6 อายุการใช้งาน และความคงทนหลังการบำรุงรักษา

โครงสร้างต้องได้รับการบำรุงรักษาให้มีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างที่เหลืออยู่

ในกรณีที่โครงสร้างที่ได้รับการบำรุงรักษามีอายุการใช้งานน้อยกว่าอายุการใช้งานที่ต้องการของโครงสร้าง ผู้ประเมินวิศวกรรมโครงสร้างต้องแนะนำแผนการ หรือแนวทางบำรุงรักษาโครงสร้างเพิ่มเติมในอนาคต

ระบบซ่อมแซมต้องมีระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมที่เพียงพอ โดยคำนึงถึงความคงทน และอายุการใช้งาน รวมทั้งการทนไฟตามคำแนะนำใน มยผ. 1332-55 ในกรณีที่วัสดุอื่นนอกเหนือจากคอนกรีต ระบบซ่อมแซมต้องพิจารณาระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมเทียบเท่า

ระบบซ่อมแซมมีโอกาสเกิดการแตกร้าวได้ง่ายทั้งในตัวเอง และแนวรอยต่อ เนื่องจากสมบัติของวัสดุใหม่ และส่วนโครงสร้างเดิมแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของโครงสร้าง ดังนั้นต้องคำนึงถึงการป้องกันการแตกร้าวของระบบซ่อมแซม

เหล็กเสริมต้องได้รับการป้องกันจากการเป็นสนิมโดยรอบอย่างทั่วถึงด้วยคอนกรีต หรือวัสดุซ่อมแซมที่สามารถป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้

ในบางกรณีความแตกต่างทางสมบัติไฟฟ้าเคมีของวัสดุเดิมและวัสดุซ่อมแซม สามารถเร่งให้เหล็กเสริมในบริเวณรอบส่วนที่ได้รับการซ่อมแซมเกิดสนิมมากขึ้น สาเหตุของความแตกต่างทางไฟฟ้าเคมี เช่น ปริมาณคลอไรด์ที่แตกต่าง ความถี่ต่อการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนหรือความชื้นที่แตกต่าง ความต้านทานทางไฟฟ้าที่แตกต่าง โลหะที่แตกต่าง ACI 222R-01 และ ACI 546R-04 ได้แนะนำวิธีการป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากความแตกต่างทางสมบัติไฟฟ้าเคมี

ในกรณีที่มีการใช้งานวิธีทางไฟฟ้าเคมี ต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสมรรถนะของโครงสร้างในด้านอื่น ๆ ประกอบด้วย เช่น การเพิ่มขึ้นของความเป็นด่างเนื่องจากการป้องกันแคโทดิก cathodic protection ต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม หรือผลของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนต่อสมบัติของเหล็ก และลวดอัดแรง และต่อสมบัติการยึดเกาะระหว่างเหล็กเสริมหรือลวดอัดแรงกับคอนกรีต หรือการเกิดกระแสรั่วไหลไปยังเหล็กในส่วนที่ไม่ได้รับการป้องกัน

6.7 การก่อสร้าง

โครงสร้าง และชิ้นส่วนโครงสร้างต้องมีความปลอดภัย และมั่นคงในทุกขั้นตอนของการบำรุงรักษา การก่อสร้างต้องคำนึงถึงการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักบรรทุก การรื้อย้ายชิ้นส่วนโครงสร้าง การลดลงของขนาดหน้าตัด โครงสร้าง แรงสั่นสะเทือน ในกรณีจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบค้ำยันชั่วคราวเพิ่มเติม และตรวจสอบความปลอดภัยโดยวิศวกรตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร ASCE/SEI 37-02 ได้แนะนำการออกแบบระบบค้ำยันชั่วคราว

โครงสร้าง และชิ้นส่วนโครงสร้างต้องมีสติฟเนส (stiffness) เพียงพอในทุกขั้นตอนของการบำรุงรักษา เพื่อควบคุมการเคลื่อนตัว หรือแอ่นตัวของโครงสร้าง ไม่ให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง หรือส่งผลกระทบต่อ

ต่อชิ้นส่วนโครงสร้างข้างเคียง ในบางกรณีอาจจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบค้ำยันชั่วคราวเพิ่มเติม

ต้องพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงการกระจายน้ำหนัก การถ่ายแรง หน่วยแรงภายใน ที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนต่าง ๆ ของการบำรุงรักษา ในบางกรณีอาจจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบค้ำยันชั่วคราวเพิ่มเติม

การพิจารณาความปลอดภัย และมั่นคงของโครงสร้าง รวมทั้งการออกแบบระบบค้ำยันชั่วคราวเพิ่มเติม ต้องคำนึงถึงผลของการเสื่อมสภาพของวัสดุ ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างจริงในการออกแบบ และวิเคราะห์โครงสร้างด้วย

ในกรณีที่มีการสกัดคอนกรีตที่เสื่อมสภาพออก และมีการทดแทนหน้าตัดด้วยวัสดุซ่อมแซม คอนกรีตที่เสื่อมสภาพต้องถูกสกัดออกให้หมด ในกรณีที่คอนกรีตที่เสื่อมสภาพเป็นสาเหตุของการเกิดสนิมของเหล็กเสริม คอนกรีตโดยรอบเหล็กเสริมต้องถูกสกัดออกให้หมด

ความลึกน้อยที่สุดที่ยอมรับได้ของการสกัด ต้องคำนึงถึงลักษณะของวัสดุซ่อมแซม เพื่อให้วัสดุซ่อมแซมสามารถเติมเต็มหน้าตัดได้อย่างสม่ำเสมอ เช่น ต้องคำนึงถึงขนาดโตสุดของมวลรวม

ในขั้นตอนสุดท้ายของการสกัด ควรใช้เครื่องมือเบา เพื่อลดการเกิดของรอยร้าวขนาดเล็กบริเวณรอยต่อระหว่างคอนกรีตเดิมและวัสดุซ่อมแซม ซึ่งส่งผลต่อแรงยึดเกาะ

ในกรณีที่มีการเสริมเหล็กเพิ่มเติม ต้องคำนึงถึงระยะทับ ระยะฝัง ตามบทบัญญัติอาคารฉบับปัจจุบัน

เพื่อให้ระบบซ่อมแซมมีความคงทน ต้องมีการบ่มวัสดุ ควบคุมแรงกระทำ ตามคำแนะนำของผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อย่างเคร่งครัด

6.8 การควบคุมคุณภาพ

การตรวจสอบ และควบคุมคุณภาพการบำรุงรักษา ให้เป็นไปตามบทบัญญัติอาคารฉบับปัจจุบันสำหรับการก่อสร้างอาคารใหม่

ควรตรวจสอบทั้งวัสดุ อุปกรณ์ และขั้นตอนการบำรุงรักษา ให้เป็นไปตามข้อกำหนด

ตรวจสอบสภาพความเสียหายจริงของโครงสร้าง หรือชิ้นส่วนโครงสร้างให้เป็นไปตามรายละเอียด หรือข้อกำหนดในการออกแบบ และการซ่อมแซมเช่น ตำแหน่ง พื้นที่ ลักษณะการเกิดความเสียหาย หากพบว่ามีค่าไม่สอดคล้องระหว่างสภาพของโครงสร้างจริงกับรายงานผลการตรวจสอบ ให้พิจารณาผลกระทบของความแตกต่างต่อสมรรถนะของการบำรุงรักษา

ผู้ตรวจสอบต้องคำนึงถึงผลของความไม่เข้ากันของคอนกรีตเดิม และวัสดุซ่อมแซม รวมทั้งหลักการของวิธีการบำรุงรักษาแต่ละวิธี เพื่อควบคุมคุณภาพของการบำรุงรักษาให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการบำรุงรักษา

ตรวจสอบสมรรถนะของโครงสร้าง ภายหลังการบำรุงรักษา ให้เป็นไปตามที่วัตถุประสงค์ของการบำรุงรักษา