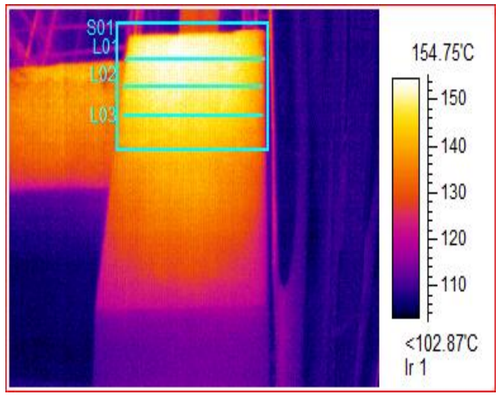
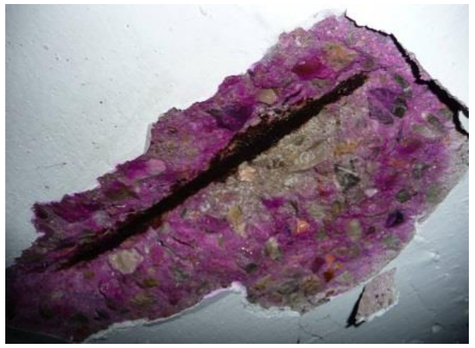
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร
กรมโยธาธิการและผังเมือง
ถ.พระรามที่ 6 แขวงพญาไท
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร. 0-2299-4321 โทรสาร 0-2299-4321

คู่มือการตรวจสอบและประเมิน โครงสร้างอาคาร





กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย

คู่มือการตรวจสอบและประเมินโครงสร้างอาคาร

กรมโยธาธิการและผังเมือง

กระทรวงมหาดไทย

กรมโยธาธิการและผังเมือง

คู่มือการตรวจสอบและประเมินโครงสร้างอาคาร

ISBN 978-974-458-667-4

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537

โดย สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

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 และอาคารที่ก่อสร้างไม่แล้วเสร็จและถูกปล่อยทิ้งร้าง เนื่องจากได้รับผลกระทบจากปัญหาเศรษฐกิจ รวมไปถึงอาคารที่ประสบอุบัติภัยหรือภัยธรรมชาติต่าง ๆ เช่น อัคคีภัย วาตภัย และอุทกภัย อาจมีโครงสร้างที่ได้รับความเสียหายจากการเสื่อมสภาพหรือความเสียหายของวัสดุ หรือปัญหาการทรุดตัว การแอ่นตัว การแตกร้าว การผุกร่อน ความเสียหายจากเหตุเพลิงไหม้ตลอดจนปัญหาการปรับปรุงอาคารอันเนื่องมาจากการดัดแปลงหรือการเปลี่ยนการใช้ ซึ่งอาคารดังกล่าวมีความจำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบ และประเมินความเสียหาย แต่เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานหรือหลักเกณฑ์ดังกล่าวที่ชัดเจน กรมโยธาธิการและผังเมืองจึงได้จัดทำมาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย (มยผ. 1902-62) และเพื่อให้การปฏิบัติตามมาตรฐานที่จัดทำขึ้นเป็นไปอย่างถูกต้อง จึงได้จัดทำคู่มือการตรวจสอบและประเมินโครงสร้างอาคารนี้ขึ้นเพื่อประกอบการปฏิบัติตามมาตรฐานดังกล่าว

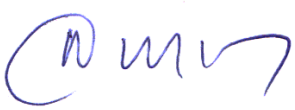
กรมโยธาธิการและผังเมืองหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้นำคู่มือไปใช้ปฏิบัติ เพื่อให้การตรวจสอบและการประเมินโครงสร้างอาคารเป็นไปอย่างเหมาะสมและถูกต้องตามหลักวิชาการ ซึ่งจะก่อให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิต และทรัพย์สินของประชาชนเพิ่มมากยิ่งขึ้น

(นายมณฑล สุดประเสริฐ)
อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

บทนำ

คู่มือการตรวจสอบและประเมินโครงสร้างอาคารฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นเอกสารอ้างอิงส่วนหนึ่งสำหรับประกอบมาตรฐาน การตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่า และโครงสร้างอาคารที่เสียหาย (มยผ 1902-62) โดยมีเนื้อหาครอบคลุมการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีต และโครงสร้างเหล็ก และครอบคลุมการตรวจสอบโดยตาเปล่า การตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือทั้งแบบไม่ทำลาย หรือแบบที่สร้างความเสียหายเล็กน้อยต่อโครงสร้าง และการตรวจสอบทางเคมี คู่มือฉบับนี้ยังมีเนื้อหาเกี่ยวกับเกณฑ์กำหนดระดับความเสียหาย และข้อแนะนำสำหรับการประเมินผลที่ได้จากการตรวจสอบไว้ด้วย เพื่อให้เป็นประโยชน์สำหรับการตัดสินใจในขั้นตอนการบำรุงรักษาต่อไป และเพื่อให้เกิดประโยชน์ในด้านการใช้งานจริง จึงได้ให้ตัวอย่างแบบฟอร์มที่ใช้สำหรับการตรวจสอบและประเมิน พร้อมทั้งตัวอย่างงานตรวจสอบประเมิน ไว้ในภาคผนวกของคู่มือฉบับนี้ด้วย

คณะทำงานจัดทำคู่มือการตรวจสอบและประเมินโครงสร้างอาคารฉบับนี้ ขอขอบคุณ กรมโยธาธิการและผังเมืองที่ได้จัดสรรงบประมาณสำหรับโครงการจัดทำมาตรฐานและคู่มือชุดนี้ รวมถึงร่วมตรวจสอบติดตามโครงการ ขอขอบคุณคณะทำงาน ตลอดจนผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการศึกษา และจัดทำคู่มือประกอบมาตรฐานฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และหวังว่าคู่มือฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับงานตรวจสอบ และ ประเมินโครงสร้าง ทั้งที่มี และยังไม่มีความเสียหาย เพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไปอย่างถูกต้องตามหลักการทางวิชาการ รวมถึงเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษา และผู้ที่สนใจศึกษางานที่เกี่ยวข้องกับคู่มือฉบับนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า การนำมาตรฐานและคู่มือดังกล่าวไปใช้ปฏิบัติ จะทำให้อาคารเก่า และอาคารที่เสียหายได้รับการตรวจสอบ และประเมินอย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรม และนำไปสู่การบำรุงรักษาให้มีสมรรถนะของโครงสร้างทั้งความปลอดภัย ความสามารถในการใช้งาน และความคงทนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตลอดอายุการใช้งาน



ศ. ดร. สมนึก ตั้งเติมสิริกุล
หัวหน้าคณะทำงานจัดทำคู่มือ

คณะทำงานจัดทำคู่มือการตรวจสอบและประเมินโครงสร้างอาคาร

หัวหน้าคณะทำงาน

ศ.ดร.สมนึก ตั้งเติมสิริกุล	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร

คณะทำงานหลัก

1.	รศ.ดร.ทวีป ชัยสมภพ	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
2.	ศ.ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3.	ผศ.ดร.วรางคณา แสงสร้อย	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
4.	ผศ.ดร.ภัควัฒน์ แสนเจริญ	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
5.	ดร.กันต์ไชย ธนาพรรวีกิตติ์	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
6.	ดร.ปานเทพ จุลนิพิฐวงษ์	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
7	ดร.พงษ์ศักดิ์ วิวัฒน์โรจนกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะทำงานสนับสนุน

1.	นายวัชรพล แซ่โกว	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
2.	นายปวีร์ ศิลปเสริฐสกุลวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
3.	นายวีรเดช ธนพลังกร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการกำกับดูแลการปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

คู่มือการตรวจสอบและประเมินโครงสร้างอาคาร

ประธานกรรมการ

นายสินิทธิ์ บุญสิทธิ์

ผู้อำนวยการสำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

คณะกรรมการ

นายอนวัช บูรพาชน
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 พรมหล่อ
วิศวกรโยธาปฏิบัติการ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

ดร.สุวัฒน์ รามจันทร์
วิศวกรโยธาปฏิบัติการ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

สารบัญ

คำนำ i

บทนำ ii

ส่วนที่ 1 การตรวจสอบและประเมินองค์อาคาร หรือโครงสร้างคอนกรีต 1

ส่วนที่ 2 การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย 2

1.1 ความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต (concrete resistivity) 4

2.1.1 ระบบสี่ขั้ว (four–electrode method or four–probe method) 5

2.1.2 ระบบสองขั้ว (two–electrode method or two–probe method) 6

2.1.3 การประเมินระดับการเกิดสนิมโดยใช้ค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต 6

2.2 วิธีรังสีอินฟราเรด (Infrared Thermography) 9

2.2.1 หลักการ 9

2.2.2 อุปกรณ์ 11

2.2.4 การประเมินผลการตรวจสอบโดยใช้เทคนิครังสีอินฟราเรด 12

2.3 การประเมินกำลังอัดของคอนกรีตโดยวิธีตรวจสอบแบบไม่ทำลาย 13

2.3.1 วิธีการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีค้อนกระแทก (rebound number, ASTM C 805, มยผ. 1502-51) 13

2.3.2 วิธีการประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบวินเซอร์ (Windsor probe) (ASTM C 803/C 803M, มยผ.1503-51) 15

2.3.3 วิธีการประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (ASTM C 597 มยผ. 1504-51) 17

2.4 การเจาะแท่งตัวอย่างและการทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต (BS 1881 : Part 4, ASTM C 42-77) 19

2.5 วิธีการทดสอบแบบรวม (combined method) 20

2.6 การเลือกตำแหน่งและจำนวนการทดสอบ 21

2.7 การตรวจสอบความแปรปรวนที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย 22

2.8 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ 22

2.9 ข้อจำกัด 22

ส่วนที่ 3 การตรวจสอบทางเคมี 23

3.1 การทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต 23

3.1.1 วิธีการทดสอบ 23

3.1.2 เกณฑ์การประเมินปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตสด 24
3.1.3 เกณฑ์การประเมินปริมาณคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีต 24
3.2 การตรวจสอบความลึกคาร์บอเนชันโดยสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 26
3.2.1 วิธีการทดสอบ 26
3.2.2 เกณฑ์การประเมินการเริ่มเกิดสนิมจากคาร์บอเนชัน 27
3.3 การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม 27
3.3.1 การตรวจสอบแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาของมวลรวมตามวิธี ASTM C289 : Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method) 28
3.3.2 การตรวจสอบแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาของมวลรวมตามวิธี ASTM C295 : Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete 29
3.3.3 การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวมตามวิธี ASTM C1260 : Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method) 30
3.3.4 การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวมตามวิธี ASTM C227 : Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method) 31
3.3.5 การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวมตามวิธี ASTM C1293 : Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete due Toa-Silica Reaction 32
3.3.6 การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวมตามวิธี ASTM C1567: Standard Test Method for Determining the Potential Alkali-Silica Reactivity of Combinations of Cementitious Materials and Aggregate (Accelerated Mortar-Bar Method) 32
3.3.7 การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวมตามวิธี ASTM C856 : Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete 33
3.3.8 การตรวจสอบด้วยการใช้สารยูเรนิลอะซิเตท (Uranyl Acetate) ตามวิธี ASTM C856 - ANNEX 35
3.3.9 การทดสอบการขยายตัวคงเหลือของคอนกรีต (residual expansion of concrete) 35
ส่วนที่ 4 การเผชิญกับอุณหภูมิสูงและไฟไหม้ 37
ส่วนที่ 5 เกณฑ์การประเมินระดับความเสียหาย 43

5.1 การแบ่งระดับความเสียหายสำหรับโครงสร้างที่เผชิญปัญหาเหล็กเสริมเกิดสนิมเนื่องจากคลอไรด์ 44
5.2 การแบ่งระดับความเสียหายสำหรับโครงสร้างที่เผชิญปัญหาเหล็กเสริมเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชัน...45
5.3 ตัวอย่างการแบ่งระดับความเสียหายสำหรับโครงสร้างที่เผชิญปัญหาเหล็กเสริม..... 46
ส่วนที่ 6 การตรวจสอบโครงสร้างเหล็ก..... 48
6.1 การตรวจสอบเบื้องต้น..... 48
ในกรณีที่มีข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบโครงสร้างโดยละเอียดในขั้นตอนต่อไป..... 49
6.2 การตรวจสอบโดยละเอียด..... 49
6.2.1 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนักบรรทุก..... 50
6.2.2 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านความสามารถในการใช้งาน..... 52
6.2.3 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านอายุการใช้งาน และความคงทน..... 52
บรรณานุกรม..... 54
ภาคผนวก ก..... 58
ภาคผนวก ข..... 64
ตัวอย่างอาคารที่ 1..... 65
ตัวอย่างอาคารที่ 2..... 83
ตัวอย่างอาคารที่ 3..... 98
ตัวอย่างอาคารที่ 4..... 117
ตัวอย่างอาคารที่ 5..... 137

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการเกิดสนิม (Corrosion Current Density) (Feliu et al.,1996)..... 8
รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต กับ Rapid Chloride Penetration (RCP) (Hnin et al., (2017)..... 8
รูปที่ 3 ตัวอย่างเครื่องมืออินฟราเรดที่ใช้สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีต..... 11
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและระยะความลึกของการเจาะทะลวงของคอนกรีต ที่ทำจากมวลรวมที่แตกต่างกัน (Bungey (1996))..... 16
รูปที่ 5 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตและความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก (ASTM C 597)..... 18
รูปที่ 6 ตัวอย่างการประเมินแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยา AAR ของมวลรวมหยาบ จากปริมาณซิลิกาในสารละลายและความเป็นด่างที่ลดลง (ASTM C289)..... 29
รูปที่ 7 แท่งมอร์ตาร์และเครื่องมือวัดความยาวของแท่งตัวอย่างทดสอบ (length comparator)..... 31
รูปที่ 8 ตัวอย่างภาพถ่ายแบบ BSE (Backscattered electron image) ของคอนกรีต..... 34
รูปที่ 9 ตัวอย่างภาพถ่ายแบบ BSE (Backscattered electron image) ของคอนกรีต..... 34
รูปที่ 10 ตัวอย่างแท่งทดสอบที่เจาะมาจากโครงสร้างจริง..... 36
รูปที่ 11 เครื่องมือวัดความยาวแบบ Contact gauge..... 36
รูปที่ 12 การลดลงของกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประเภทคาร์บอเนตเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น..... 40
รูปที่ 13 การลดลงของกำลังดึงของเหล็กเสริมเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น (ACI 216)..... 41
รูปที่ 14 ตัวอย่างความเสียหายระดับ 1 (ความลึกคาร์บอเนชันยังเข้าไปไม่ถึงตำแหน่งเหล็กเสริม)..... 46
รูปที่ 15 ตัวอย่างความเสียหายระดับ 2 (ความลึกคาร์บอเนชันถึงตำแหน่งเหล็กเสริมแล้ว แต่ยังไม่ปรากฏความเสียหายที่ผิว)..... 46
รูปที่ 16 ตัวอย่างความเสียหายระดับ 3 (บริเวณเสาเกิดการกะเทาะของคอนกรีตหุ้มเนื่องจากการเป็นสนิมของเหล็กเสริม)..... 46
รูปที่ 17 ตัวอย่างความเสียหายระดับ 4 (เหล็กเสริมเกิดสนิมจนสูญเสียหน้าตัดบางส่วนจนเป็นปัญหาในการรับน้ำหนักบรรทุก เกิดรอยแตกร้าว และหลุดร่อนของผิวคอนกรีตค่อนข้างรุนแรง)..... 47

รูปที่ 18 ตัวอย่างความเสียหายระดับ 5 (เหล็กเสริมเกิดสนิม และสูญเสียหน้าตัดอย่างรุนแรง ในบริเวณกว้าง จนเป็นอันตรายต่อการรับน้ำหนักบรรทุก เกิดรอยแตกร้าว และหลุดร่อนของผิวคอนกรีต อย่างรุนแรง ประเมินค่าซ่อมแซมแล้วไม่คุ้มค่า เมื่อเปรียบเทียบกับการหล่อเสาใหม่) 47

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 สรุปวิธีการและผลที่ได้จากการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย 3
ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตกับอัตราการเป็นสนิม 7
ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตกับความสามารถในการซึมผ่านของคลอไรด์ 9
ตารางที่ 4 สรุปข้อดีและข้อจำกัดของวิธีตรวจสอบโดยใช้เทคนิครังสีอินฟราเรด 12
ตารางที่ 5 จำนวนและวิธีทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต (Bungey, 1989) 21
ตารางที่ 6 ช่วงกำลังอัดของคอนกรีตที่เหมาะสมกับการทดสอบแบบไม่ทำลาย (ACI 228.1R) 22
ตารางที่ 7 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดที่ยอมให้ในส่วนผสมคอนกรีต (มยผ. 1332-55) 25
ตารางที่ 8 ปริมาณคลอไรด์วิกฤติของคอนกรีต (มยผ. 1332-55) 25
ตารางที่ 9 ขนาดคละของมวลรวมที่ใช้ในการทดสอบตามวิธี ASTM C1260 31
ตารางที่ 10 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของวัสดุแต่ละชนิด (FIB No.46) 39
ตารางที่ 11 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อสี และสมบัติของคอนกรีต 42
ตารางที่ 12 ระดับความเสียหายของโครงสร้างที่ได้รับความเสียหายหรือเสื่อมสภาพ 43
ตารางที่ 13 ระดับความเสียหายสำหรับโครงสร้างที่เผชิญปัญหาเหล็กเสริมเกิดสนิมเนื่องจากคลอไรด์ 44
ตารางที่ 14 ระดับความเสียหายสำหรับโครงสร้างที่เผชิญปัญหาเหล็กเสริมเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชัน ... 45
ตารางที่ 15 ความเสียหายในลักษณะอื่น ๆ ที่เกิดจากการทำลายจากสิ่งแวดล้อมหรือการเสื่อมสภาพ 50
ตารางที่ 16 การเกิดสนิมของสลักเกลียว 52

คู่มือการตรวจสอบและประเมินโครงสร้างอาคาร

ส่วนที่ 1 การตรวจสอบและประเมินองค์อาคาร หรือโครงสร้างคอนกรีต

การตรวจสอบองค์อาคาร หรือโครงสร้างคอนกรีตสามารถแบ่งได้ตามระดับความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการตรวจสอบองค์อาคาร หรือโครงสร้างคอนกรีต ดังนี้

1) การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย และการตรวจสอบโดยใช้อุปกรณ์ หรือเครื่องมือต่าง ๆ ที่ไม่ทำให้องค์อาคาร หรือโครงสร้างเกิดความเสียหาย หรือได้รับความเสียหายเพียงเล็กน้อยในระดับที่ไม่มีผลต่อการรับน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคาร และโครงสร้างที่ได้รับการตรวจสอบ เช่น การตรวจสอบที่ใช้เครื่องมือแบบไม่ทำลาย การตรวจพินิจ (visual inspection) ก็ถือเป็นส่วนหนึ่งของการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

2) การตรวจสอบแบบกึ่งทำลาย เป็นการตรวจสอบที่มีการทำให้องค์อาคาร หรือโครงสร้างอาคารมีความเสียหายบ้าง เช่น เกิดการกะเทาะ เกิดรอยร้าว หรือการเกิดการแอ่นตัว ทรุดตัว ตัวอย่างของการตรวจสอบแบบกึ่งทำลาย เช่น การตรวจสอบที่ต้องมีการเจาะ หรือตัดชิ้นตัวอย่างจากโครงสร้าง หรือการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

การตรวจสอบโครงสร้างทั่วไปจะเริ่มต้นจากการตรวจพินิจก่อนเสมอ โดยหากผลการตรวจพินิจโดยผู้ตรวจที่มีความชำนาญ ไม่พบปัญหาการเสื่อมสภาพ หรือความเสียหาย หรือพบแต่สามารถลงความเห็นทางวิศวกรรมได้ ก็สามารถดำเนินการการซ่อมแซม ซึ่งเป็นขั้นตอนต่อไปได้ แต่หากยังไม่สามารถตัดสินได้ก็มีความจำเป็นต้องมีการตรวจสอบในขั้นตอนต่อไป โดยดำเนินการวิเคราะห์ หรือทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคารหรือโครงสร้างที่ตรวจสอบนั้น เพื่อประกอบการตัดสินใจในขั้นตอนการซ่อมแซมหรือเสริมกำลังต่อไป

ส่วนที่ 2 การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

ในงานวิศวกรรมมีวิธีการตรวจสอบประเมินโครงสร้างแบบไม่ทำลายอยู่หลายวิธี มีวัตถุประสงค์สำหรับใช้ในการประเมินกำลังและคุณภาพของคอนกรีต นอกจากใช้ประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกแล้ว การตรวจสอบเหล่านี้ยังมีประโยชน์อย่างมากสำหรับการประเมินความเสียหายและการเสื่อมสภาพทั้งจากสาเหตุภายนอกและภายใน เช่น ความเสียหายและการเสื่อมสภาพที่เกิดจากการทำลายจากสิ่งแวดล้อม การทำลายทางเคมี อัคคีภัย หรือจากสาเหตุอื่น ๆ

การทดสอบแบบไม่ทำลาย เป็นการทดสอบหรือตรวจสอบองค์อาคารของโครงสร้างที่ไม่ส่งผลต่อสมรรถนะขององค์อาคารหรือโครงสร้างที่ได้รับการตรวจสอบ การประเมินโครงสร้างแบบไม่ทำลายสามารถแบ่งเป็นสองประเภท ได้แก่ การทดสอบในภาคสนาม และการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1) เพื่อประเมินกำลังในสนามของคอนกรีต (in-situ concrete strength)
2) เพื่อประเมินผลของการทำลายทางเคมี (chemical attack)
3) เพื่อประเมินผลของการกัดกร่อน (corrosion activity)
4) เพื่อประเมินผลของการเสื่อมสภาพเนื่องจากปัญหาความคงทนอื่น ๆ (durability)
5) เพื่อประเมินผลของความเสียหายจากไฟไหม้ (fire damage)
6) เพื่อประเมินความสมบูรณ์ของโครงสร้าง (structural integrity/soundness)

จากตารางที่ 1 สรุปวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายเฉพาะวิธีที่เป็นที่นิยม โดยระบุการใช้งานที่เหมาะสมเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ตรวจสอบโครงสร้างเลือกใช้งาน

ตารางที่ 1 สรุปวิธีการและผลที่ได้จากการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

ลำดับที่	วิธีและหลักการ	ผลที่ได้
1	การตรวจพินิจ (visual inspection) – สังเกตุแยกแยะการเสื่อมสภาพและความเสียหายที่สามารถสังเกตุได้ด้วยตาเปล่า	แผนที่แสดงรายละเอียดความบกพร่อง การเสื่อมสภาพ รอยร้าว รอยกะเทาะ การขัดสี หรือข้อบกพร่องและความเสียหายอื่นๆ ที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า
2	วิธีค้อนกระแทก (rebound hammer) – ใช้หลักการวัดการสะท้อนกลับของตุ้มน้ำหนักเหล็กโดยการใช้พลังงานที่เท่ากัน	- ตรวจสอบความสมบูรณ์ หรือความสม่ำเสมอของคุณภาพคอนกรีตในบริเวณใกล้ผิว - ประเมินกำลังอัดของคอนกรีตที่อยู่ในองค์อาคาร หรือโครงสร้าง
3	วิธีคลื่นอัลตราโซนิก (ultrasonic pulse velocity) – วัดระยะเวลาการเคลื่อนที่ของคลื่นเหนือเสียงจากหัวส่งสัญญาณไปยังหัวรับสัญญาณ	เปรียบเทียบสภาพ หรือความสม่ำเสมอของคุณภาพคอนกรีต ในโครงสร้าง โดยเปรียบเทียบความเร็วของคลื่นในคอนกรีต อาจประยุกต์ใช้ในการประเมินกำลังอัดของคอนกรีต
4	การหาตำแหน่งและระยะหุ้มเหล็กเสริม (cover meter or reinforcing bar locator) – ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการเหนี่ยวนำเพื่อหาตำแหน่งเหล็กเสริมในองค์อาคาร หรือโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยการวางอุปกรณ์หรือเครื่องมือ บนผิวองค์อาคาร หรือโครงสร้าง	ตำแหน่งของเหล็กเสริมในองค์อาคาร หรือโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ประเมินระยะหุ้ม และขนาดของเหล็กเสริม รวมถึงทิศทางของเหล็กเสริม
5	ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (half–cell potential) - วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างเหล็กเสริมในคอนกรีตกับขั้วอ้างอิงมาตรฐาน ค่าความต่างศักย์นี้เป็นค่าบ่งชี้ความเป็นไปได้ของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต	กำหนดบริเวณที่ เหล็กเสริมมีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดสนิม โดยไม่จำเป็นต้องกะเทาะเปิดคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมออกดู

ตารางที่ 1 สรุปวิธีการและผลที่ได้จากการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (ต่อ)

ลำดับที่	วิธีและหลักการ	ผลที่ได้
6	ความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต (concrete resistivity) – โดยวิธีการใช้เครื่องมือที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 4 ขั้ว (four-electrode method) เพื่อวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง 2 ขั้วด้านในจากกระแสไฟฟ้าที่ส่งออกจาก 2 ขั้วด้านนอก แล้วจึงคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต	
7	รังสีอินฟราเรด (infrared thermography) – รอยร้าว โพรงอากาศ หรือความบกพร่องภายในคอนกรีต ส่งผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของคอนกรีต ซึ่งจะแสดงออกมาให้เห็นได้ ในลักษณะของความแตกต่างของอุณหภูมิบนผิว	หาบริเวณที่เกิดการหลุดร่อน หรือหลุดลอกของผิวคอนกรีต การหลุดร่อน ของแผ่นไฟเบอร์สำหรับเสริมกำลัง หรือ การหลุดร่อนของอีพอกซีที่เคลือบผิว หรือบริเวณที่น่าจะเกิดความบกพร่องภายใต้ผิวหน้าคอนกรีต เช่น โพรง เป็นต้น
8	เรดาร์ (radar) – เป็นการส่งคลื่นเรดาร์ ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งเข้าไปในคอนกรีตเพื่อหาตำแหน่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติฉนวนไฟฟ้า (dielectric properties) โดยคลื่นบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติดังกล่าว	หาตำแหน่งของโลหะ หรือ เหล็กเสริมที่อยู่ในคอนกรีต โพรงช่องว่างใต้พื้นผิวคอนกรีตและบริเวณที่มีความชื้นสูง ในคอนกรีต รวมถึงหาความหนาขององค์อาคาร

มยผ. 1501-51 ถึง มยผ. 1507-51 นำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายในลำดับที่ 1 ถึง 5 และลำดับที่ 8 ในตารางที่ 1 โดยละเอียดไว้แล้ว ในคู่มือฉบับนี้ จึงนำเสนอรายละเอียดวิธีตรวจสอบในลำดับที่ 6 และ 7 เพิ่มเติม ดังต่อไปนี้

1.1 ความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต (concrete resistivity)

ความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตเป็นปัจจัยควบคุมความยากง่ายของการเคลื่อนที่ของอิออนของเหล็กที่เคลื่อนที่จากบริเวณขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโธดในวงจรไฟฟ้าเคมีของกระบวนการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างจุลภาค อัตราส่วนปริมาณเพสต์ การนำไฟฟ้า

ของสารละลายโพรงและระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำในโพรงช่องว่างของคอนกรีต คอนกรีตที่มีความแน่นมากกว่า (มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำกว่า หรือบ่มได้ดีกว่า) จะมีความต้านทานไฟฟ้าที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำเท่า ๆ กัน ความต้านทานไฟฟ้าของแท่งตัวอย่างวัสดุทดสอบสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ (Tipler 1991)

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

โดยที่ R คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของแท่งตัวอย่างวัสดุทดสอบ (โอห์ม) L คือ ความยาวของแท่งตัวอย่างวัสดุทดสอบ (ซม.) A คือ พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างวัสดุทดสอบ (ตร.ซม.) และ ρ คือ ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้ทำแท่งตัวอย่างวัสดุทดสอบนั้น (โอห์ม.ซม.) ข้อควรสังเกตเกี่ยวกับหน่วยของค่าความต้านทานไฟฟ้า คือ แม้ว่าในระบบหน่วย SI จะกำหนดหน่วยของค่าความต้านทานไฟฟ้าเป็น โอห์ม.ม. (โอห์ม.เมตร) แต่ในการใช้งานด้านการตรวจสอบการเกิดสนิมมักใช้หน่วย โอห์ม.ซม. โดย 1 โอห์ม.ซม.= 0.01 โอห์ม.ม

ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตมีอยู่สองระบบ คือ ระบบสี่ขั้ว และระบบสองขั้ว โดยมีรายละเอียดของแต่ละระบบ ดังต่อไปนี้

2.1.1 ระบบสี่ขั้ว (four–electrode method or four–probe method)

ยังไม่มีวิธีการทดสอบที่แนะนำโดย ASTM ที่ใช้สำหรับการวัดความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต ที่ใช้สำหรับโครงสร้างจริงในสนาม ASTM G57 กล่าวถึงการใช้ระบบสี่ขั้วในการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของดิน (Wenner, 1916) วิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตทำได้โดยต่อขั้วทั้งสี่บนผิวคอนกรีต โดยอาศัยสารนำไฟฟ้าทานระหว่างผิวสัมผัสของขั้วและคอนกรีต เพื่อให้ไฟฟ้าสามารถเดินทางผ่านระหว่างขั้วและคอนกรีตได้ (Millard et al, 1990) สองขั้วที่อยู่ริมนอกจะต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนสองขั้วคู่ในจะต่อเข้ากับโวลท์มิเตอร์ ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้สามารถคำนวณได้จาก (Millard et al, 1990 และ Wenner, 1916)

$$\rho = \frac{2\pi s V}{I} \quad (2)$$

โดยที่ ρ คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุที่ทดสอบ (โอห์ม.ซม) s คือ ระยะห่างระหว่างขั้ว (ซม) I คือ ความสูงของคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับระหว่างขั้วริมนอกสองขั้ว (แอมแปร์) และ V คือ ค่าความต่างศักย์ระหว่างสองขั้วด้านในที่วัดได้ (โวลท์)

สมการที่ 2 ได้มาจากการสมมติให้วัสดุที่ต้องการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเป็นวัสดุที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอ (homogeneous) และมีขอบเขตแบบกึ่งอนันต์ (semi–infinite boundary)

ซึ่งสมมติฐานดังกล่าวอาจเป็นข้อจำกัดหนึ่งหากต้องการใช้สมการที่ 2 ประเมินค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต โดยต้องการความแม่นยำ (Millard et al, 1990)

ข้อจำกัดของการใช้ระบบสี่ขั้วในการวัดความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตมีดังนี้ เนื่องจาก สมมติฐานที่ได้กล่าวมาในย่อหน้าก่อนสำหรับการคำนวณโดยใช้สมการที่ 2 การที่คอนกรีตประกอบไปด้วยเพสต์ และมวลรวม ซึ่งทำให้คอนกรีตมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกันโดยสม่ำเสมออย่างแท้จริง ดังนั้น ในการวัดควรจัดให้ระยะระหว่างขั้วห่างมากเพียงพอ เพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทนของคอนกรีต โดยระยะห่างนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของมวลรวมที่ใช้ ยิ่งมวลรวมมีขนาดใหญ่ ก็ต้องให้มีระยะห่างระหว่างขั้วมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ความหนาของตัวอย่างคอนกรีตที่ต้องการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าก็มีผลด้วยเช่นกัน หากชิ้นตัวอย่างคอนกรีตมีความหนาน้อยเกินไปเมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างขั้วจะมีผลให้ค่าที่วัดได้ไม่เป็นค่าที่ถูกต้อง Millard et al (1990) แนะนำว่าระยะห่างระหว่างขั้วที่ 2 นิ้ว (50 มม.) มีความเหมาะสมกับการใช้วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตทั่วไป และความหนาของคอนกรีตควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 4 เท่าของระยะห่างระหว่างขั้ว นอกจากนั้น ระยะห่างจากขั้วจนถึงขอบตัวอย่างคอนกรีตควรไม่น้อยกว่า 2 เท่าของระยะห่างระหว่างขั้ว หากระยะและความหนาดังกล่าวไม่เป็นไปตามที่แนะนำ การคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยใช้สมการที่ 2 อาจมีปัญหาโดยมักจะให้ค่าที่สูงเกินไป

ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จากวิธีนี้ยังมีอีก เช่น การมีอยู่ของเหล็กเสริม ซึ่งจะทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้ต่ำเกินกว่าค่าจริงของคอนกรีต ระยะหุ้มเหล็กเสริมจะมีผลมากกว่าขนาดของเหล็กเสริม ดังนั้น หากเป็นไปได้ ตำแหน่งที่วัดควรอยู่ระหว่างกลางตำแหน่งของเหล็กเสริมสองเส้น หากระยะหุ้มหรือ ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมมีค่าน้อย อาจสามารถปรับแก้ค่าที่วัดได้โดยสัมประสิทธิ์ปรับแก้ที่มีการนำเสนอใน (Millard et al, 1990)

2.1.2 ระบบสองขั้ว (two–electrode method or two–probe method)

การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตโดยระบบสองขั้วเป็นอีกหนึ่งวิธีที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่วิธีการจะแตกต่างจากระบบสี่ขั้ว โดยระบบสองขั้วจะเป็นการวัดความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตหุ้มที่อยู่ระหว่างเหล็กเสริมกับผิวคอนกรีตในตำแหน่งที่วางขั้ววัด ในกรณีนี้จำเป็นต้องทราบระยะความลึกของเหล็กเสริมจากผิวคอนกรีต (ระยะหุ้ม) ด้วย ในปัจจุบันยังไม่มีรายงานผลการเปรียบเทียบค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตที่วัดได้จากระบบสองขั้ว และสี่ขั้ว

2.1.3 การประเมินระดับการเกิดสนิมโดยใช้ค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต

จากการที่ค่าความต้านทานไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับการไหลของอิออนในคอนกรีต ค่าความต้านทานไฟฟ้าจึงมีความสัมพันธ์กับสภาพ หรืออัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีตด้วย

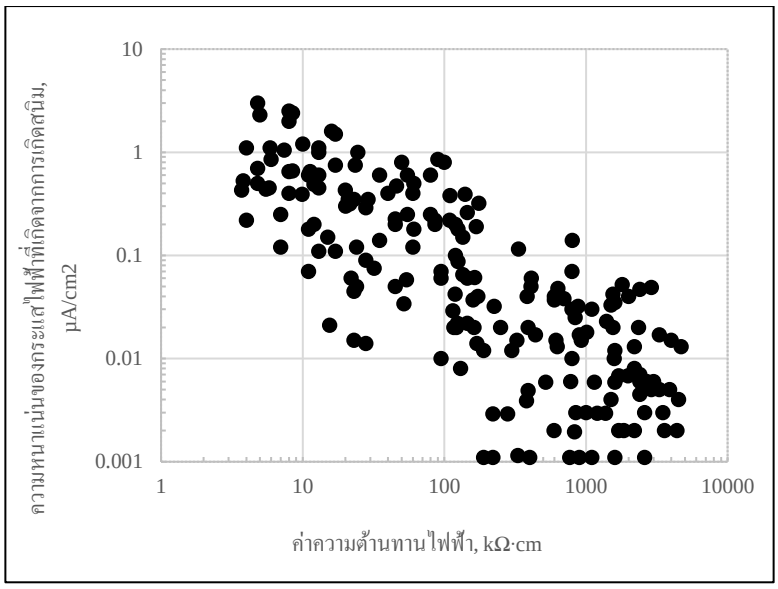
ตารางที่ 2 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตกับอัตราการเป็นสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีตที่สามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินระดับอัตราการพัฒนาการเกิดสนิมในคอนกรีตเสริมเหล็ก

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า การใช้ค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต เพื่อประเมินอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต ยังคงมีปัญหาบ้างในเรื่องเชิงปริมาณระหว่างแหล่งข้อมูลอ้างอิงที่ต่างกัน ทั้งนี้ แหล่งข้อมูลทั้งสองแห่งสามารถอ้างอิงในตารางโดยใช้ระบบการวัดที่แตกต่างกัน อีกทั้งเป็นการประเมินในเชิงคำพูดซึ่งเป็นการเปรียบเทียบในเชิงคุณภาพเท่านั้น

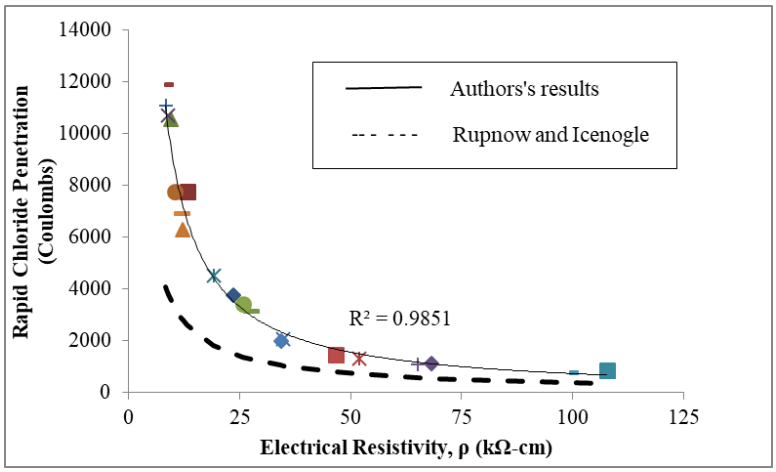
รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการเกิดสนิม (corrosion current density) ซึ่งได้มาจาก Feliu et al. (1996) แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์มีระดับการกระจายตัวที่สูงมากในทางกลับกัน ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต กับ ค่า Rapid Chloride Penetration (RCP) มีความสัมพันธ์ที่ดีกว่าดังแสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตกับอัตราการเป็นสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต

เอกสารอ้างอิง	ความต้านทานไฟฟ้า kΩ.cm	อัตราการเป็นสนิมของเหล็กเสริม
Feliu et al. (1996) Single-probe System	> 100	ไม่เกิด เนื่องจากคอนกรีตแห้งเกินไป
	50 - 100	ต่ำ
	10 - 50	กลาง ถึง สูง
	< 10	ความต้านทานไฟฟ้าไม่สัมพันธ์กับอัตราการเกิดสนิม เนื่องจากค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำเกินไป
Bungey et al. (2006) Four-probe System	> 20	ต่ำ
	10 - 20	ต่ำ ถึง กลาง
	5 - 10	สูง
	< 5	สูงมาก



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการเกิดสนิม (Corrosion Current Density) (Feliu et al.,1996)



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต กับ Rapid Chloride Penetration (RCP) (Hnin et al., (2017)

อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของส่วนผสม โดยเฉพาะชนิดของวัสดุประสานและมวลรวม การใช้วัสดุประสานและมวลรวมที่แตกต่างกันจะทำให้คอนกรีตมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่แตกต่างกันด้วย นอกจากนี้เส้นกราฟความสัมพันธ์อาจจะเป็นคนละเส้นหากใช้วัสดุผสมโดยเฉพาะมวลรวมต่างชนิดกัน อย่างไรก็ดี ASTM C 1202 และ AASHTO T277 ได้แสดงตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตกับความสามารถในการซึมผ่านของคลอไรด์ที่วัดโดยวิธี RCP ดังในตารางที่ 3 ซึ่งสามารถใช้เป็นเกณฑ์คร่าว ๆ ในการประเมินคุณภาพคอนกรีตในด้านการซึมผ่านของคลอไรด์ได้

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตกับความสามารถในการซึมผ่านของคลอไรด์

ความสามารถในการซึมผ่านของคลอไรด์	ค่าการซึมผ่านของคลอไรด์วัดโดยวิธี RCP (คูลอมบ์) ตาม ASTM C1202/AASHTO T277	ความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวคอนกรีตที่มีอายุ 28 วัน ตาม FSTM 5-578 (kΩ.cm)
สูง	> 4000	<12
กลาง	2000 - 4000	12 - 21
ต่ำ	1000 - 2000	21 - 37
ต่ำมาก	100 - 1000	37 - 254
แทบไม่ซึมผ่านเลย	<100	>254

2.2 วิธีรังสีอินฟราเรด (Infrared Thermography)

เทคนิคการใช้รังสีอินฟราเรด สามารถประยุกต์ใช้ในการค้นหาความผิดปกติใต้ผิวคอนกรีตได้ เช่น ค้นหา โพรง ช่องว่าง การหลุดร่อน และการแตกร้าวในโครงสร้างคอนกรีต ASTM D4788 อธิบายวิธีการใช้เทคนิครังสีอินฟราเรดในการตรวจสอบการหลุดร่อนในโครงสร้างแผ่นพื้นสะพานคอนกรีตทั้งที่มีและไม่มีการปูทับด้วยแอสฟัลท์

เทคนิครังสีอินฟราเรดยังสามารถใช้ในการตรวจสอบการหลุดร่อนและความบกพร่องของชั้นการเสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยโพลิเมอร์ ซึ่งรวมถึงโพรงอากาศที่อยู่ระหว่างผิวคอนกรีตกับแผ่นเส้นใยโพลิเมอร์ การวิเคราะห์โดยละเอียดในเชิงปริมาณโดยใช้ข้อมูลเชิงความร้อนที่ได้มาจากการวัดด้วยเครื่องมืออินฟราเรดสามารถทำให้ประเมินขนาด และความลึกของความบกพร่องได้ (Starnes et al, 2003 ; Brown and Hamilton, 2007)

2.2.1 หลักการ

อุปกรณ์อินฟราเรดจะจับการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวที่ตรวจวัด และแสดงแผนภาพความแตกต่างของอุณหภูมิบนพื้นผิวนั้นบนจอแสดงภาพ อุปกรณ์บางเครื่องอาจไม่แสดงผลเป็นอุณหภูมิโดยตรง อย่างไรก็ตามสามารถใช้การตรวจสอบความผิดปกติใต้พื้นผิวองค์อาคารคอนกรีตได้ หลักการที่เป็นที่นิยม คือ หากความผิดปกตินี้ เช่น โพรงช่องว่าง อยู่ไม่ลึกจากผิวคอนกรีตมากนัก ความผิดปกติใต้พื้นผิวนี้จะรบกวนและมีผลต่อการไหลของความร้อนผ่านคอนกรีตในบริเวณดังกล่าว ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิปรากฏบนพื้นผิวของคอนกรีตบนบริเวณที่มีความผิดปกตินั้น เนื่องจากกลไกการทำให้

เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ จำเป็นต้องทำให้เกิดการไหลของความร้อน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพึ่งพาแหล่งความร้อนในช่วงเวลาที่ตรวจสอบจากภายนอกหรือภายใน เช่น การใช้โคมไฟให้ความร้อน หรืออาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือให้ความร้อนภายในคอนกรีตผ่านเหล็กเสริม หรือทำการตรวจสอบในช่วงเวลากลางคืนในขณะที่ความร้อนถ่ายเทออกจากคอนกรีตก็ได้ เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากพื้นผิวได้รับผลจากความขรุขระและความเป็นราบเรียบของพื้นผิวด้วย ดังนั้น พื้นผิวที่มีความขรุขระและความราบเรียบที่แตกต่างกันจะแสดงผลที่แตกต่างกัน ดังนั้น การใช้อุปกรณ์อินฟราเรดในการตรวจสอบความผิดปกติภายใต้พื้นผิวคอนกรีต ควรคำนึงถึงผลของลักษณะพื้นผิวคอนกรีตที่ต้องการตรวจสอบด้วย

สภาพอากาศมีผลต่อการตรวจสอบโดยใช้อุปกรณ์อินฟราเรด หากทำการตรวจสอบโครงสร้างที่อยู่กลางแจ้ง สภาพที่มีเมฆมากจะลดรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ อาจทำให้ได้แผนภาพที่แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิบนพื้นผิวได้ไม่ชัดเจนมากนัก ลมและความชื้นสัมพัทธ์จะมีผลในการลดความแตกต่างของอุณหภูมิบนพื้นผิวด้วยเช่นกัน อาจทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของอุณหภูมิบนพื้นผิวที่ตรวจสอบ ดังนั้น สภาพอากาศที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบกลางแจ้ง คือ ท้องฟ้าโปร่ง ลมไม่แรง ผิวคอนกรีตแห้ง และมีแสงอาทิตย์เพียงพอ ASTM D4788 แนะนำวิธีการปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับสภาพที่เหมาะสมในการตรวจสอบโดยใช้อุปกรณ์อินฟราเรด ดังนี้

ก) กำจัดเศษวัสดุบนผิวคอนกรีต

ข) ไม่ควรตรวจสอบในขณะที่ผิวคอนกรีต แช่น้ำ หรือเปียกน้ำ หรือมีน้ำแข็งบนพื้นผิว หากผิวเปียก ควรรอให้แห้งอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนทำการตรวจสอบ

ค) ไม่ควรตรวจสอบในขณะที่มีความเร็วลมเกินกว่า 25 กม./ชม.

ง) อุณหภูมิอากาศต้องสูงกว่า 0°C

จ) หากต้องการตรวจสอบในเวลากลางคืน ควรตรวจสอบในขณะที่ท้องฟ้าโปร่ง

โดยหลักการแล้วควรตรวจสอบในสภาวะ และเงื่อนไขที่ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิบนพื้นผิวคอนกรีตที่ต้องการตรวจสอบมากที่สุด หากตรวจสอบในเวลากลางวัน อุณหภูมิบนพื้นผิวคอนกรีตเหนือบริเวณที่มีความบกพร่องจะสูงกว่าบริเวณอื่น แต่หากตรวจสอบในเวลากลางคืนขณะที่คอนกรีตกำลังคายความร้อน อุณหภูมิเหนือบริเวณที่บกพร่องจะต่ำกว่าบริเวณอื่น ช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการตรวจสอบคือ ช่วงเวลาที่พระอาทิตย์เริ่มขึ้น และช่วงครึ่งชั่วโมงถึง 1 ชั่วโมง หลังพระอาทิตย์ตกแล้ว เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวจะมีการถ่ายเทความร้อนในอัตราที่สูง ทำให้ได้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิบนพื้นผิวที่ชัดที่สุด หากตรวจสอบนอกช่วงเวลาที่กล่าวมานั้น อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งในคอนกรีตและระหว่างคอนกรีตกับสิ่งแวดล้อมอาจต่ำเกินไปจนไม่สามารถตรวจพบความแตกต่างของอุณหภูมิบนพื้นผิวของคอนกรีตทำให้ไม่สามารถตรวจพบความบกพร่องภายใต้พื้นผิวของคอนกรีตได้ ASTM D4788 แนะนำว่าในการตรวจสอบความบกพร่องใต้พื้นผิวคอนกรีตของโครงสร้างที่อยู่กลางแจ้ง ควรรอให้พื้นผิวคอนกรีตได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงประมาณ 4 ชม. แต่หากเป็นการตรวจสอบการหลุดร่อนของผิวทางแอสฟัลท์ที่ปูบนแผ่นพื้น

สะพานคอนกรีต ควรรอให้พื้นผิวแอสฟัลท์ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงประมาณ 6 ชม. ส่วนการตรวจสอบความสมบูรณ์ของการติดตั้ง หรือตรวจสอบการหลุดร่อนของระบบเสริมกำลังที่ใช้แผ่นเส้นใยไฟเบอร์หรือระบบเคลือบพอลิเมอร์เรซิน ซึ่งมักจะอยู่ในบริเวณที่ไม่สัมผัสโดยตรงกับแสงอาทิตย์ อาจจำเป็นต้องมีการให้ความร้อนบริเวณพื้นผิวที่ต้องการตรวจสอบด้วยแหล่งความร้อนอื่น ๆ ด้วย

2.2.2 อุปกรณ์

อุปกรณ์ระบบรังสีอินฟราเรดประกอบด้วยส่วนหลัก 3 ส่วน คือ ส่วนสแกนเนอร์และตรวจจับ (scanner/detector unit) ส่วนเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ (data acquisition/analysis device) และส่วนแสดงแผนภาพ (visual image recorder) ส่วนสแกนเนอร์และตรวจจับจะเป็นส่วนกล้องและเลนส์ ที่ปลดปล่อยรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นในช่วง 3 ถึง 5.6 μm (คลื่นสั้น) หรือ 8 ถึง 12 μm (คลื่นยาว) โดยมีระบบของกระจกที่หมุนได้เพื่อเก็บข้อมูลการสแกนวัตถุได้ใน 2 มิติ ในอุปกรณ์ที่ทันสมัยมากขึ้นในปัจจุบันอาจไม่จำเป็นต้องใช้กระจกแล้ว แต่สามารถใช้เซ็นเซอร์ทดแทนในการเก็บข้อมูล 2 มิติได้ รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างเครื่องมืออินฟราเรดที่ใช้สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีต

ข้อมูลที่ได้จากการสแกนจะถูกแปลเป็นข้อมูลตัวเลข (digital) โดยส่วนของการวิเคราะห์ผลและแสดงบนจอภาพในส่วนแสดงแผนภาพ โดยแผนภาพจะถูกแสดงเป็นความเข้มของสีขาว เทา ดำ ที่มีความเข้มแตกต่างกัน หรือเป็นสีต่าง ๆ ที่แตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของอุปกรณ์ บางครั้งอาจจำเป็นในการเปรียบเทียบภาพที่ได้จากการใช้อุปกรณ์และสภาพจริงบนพื้นผิวที่เห็น เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ผลให้มั่นใจว่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแผนภาพอินฟราเรดไม่ได้เกิดจากการกระจัดกระจายของรังสีความร้อนที่เป็นผลมาจากลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ หรือสภาพของพื้นผิวที่มีความมันเงาที่แตกต่างกัน

2.2.3 ข้อดีและข้อจำกัด

ตามตารางที่ 4 สรุปข้อดีและข้อจำกัดโดยสังเขปของวิธีตรวจสอบโดยใช้เทคนิครังสีอินฟราเรด

รูปที่ 3 ตัวอย่างเครื่องมืออินฟราเรดที่ใช้สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีต

ตารางที่ 4 สรุปข้อดีและข้อจำกัดของวิธีตรวจสอบโดยใช้เทคนิครังสีอินฟราเรด

ข้อดี	ข้อจำกัด
- เป็นการตรวจสอบที่รวดเร็วได้ภาพกว้าง ตรวจสอบได้บริเวณกว้าง และมีค่าใช้จ่ายต่ำ - สามารถนำผลไปใช้ประมาณการพื้นที่ที่มีความบกพร่องหรือเสียหายได้	- เครื่องมือมีราคาแพง - ต้องการสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพอากาศที่เหมาะสมในเวลาตรวจสอบ - การตรวจสอบในสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพอากาศที่แตกต่างกัน อาจแสดงผลเป็นแผนภาพที่แตกต่างกันได้ - หากความบกพร่องอยู่ในตำแหน่งที่ลึกมากจากผิวคอนกรีต อาจไม่สามารถตรวจพบได้ - ผู้ตรวจสอบจำเป็นต้องได้รับการฝึกอบรมเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลผลการตรวจสอบที่ถูกต้อง และมีประโยชน์ - ไม่สามารถใช้ประเมินความลึกของความบกพร่องจากผิวคอนกรีตได้ - ความเปียกชื้น และการมีอยู่ของน้ำ เช่น ในบริเวณที่หลุดร่อน อาจทำให้ไม่สามารถตรวจพบความบกพร่อง เนื่องจากไม่เห็นความแตกต่างของอุณหภูมิ

2.2.4 การประเมินผลการตรวจสอบโดยใช้เทคนิครังสีอินฟราเรด

ผลของวิธีการตรวจสอบโดยใช้เทคนิครังสีอินฟราเรดยังไม่สามารถใช้ประเมินวิเคราะห์ผลในเชิงปริมาณในการตรวจสอบความเสียหาย และการเสื่อมสภาพของโครงสร้างคอนกรีตได้ การตีความผลการตรวจสอบเพื่อการประเมินต้องอาศัยประสบการณ์ และ การประเมินในเชิงปริมาณมักจำเป็นต้องใช้ผลการตรวจสอบจากวิธีอื่นร่วมกันด้วย

2.3 การประเมินกำลังอัดของคอนกรีตโดยวิธีตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

ในบางกรณีมีความจำเป็นที่จะต้องทราบกำลังอัดของคอนกรีตในองค์อาคาร หรือโครงสร้าง เช่น กรณีที่เกิดข้อสงสัยในเรื่องกำลังการรับน้ำหนักขององค์อาคาร หรือโครงสร้างที่ได้รับความเสียหาย หรือเสื่อมสภาพ การประเมินกำลังอัดของคอนกรีตโดยวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายจึงมีประโยชน์ โดยมีวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

1) เพื่อประเมินกำลังอัดของคอนกรีตโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อสมรรถนะขององค์อาคาร หรือโครงสร้างที่ตรวจสอบ

2) เพื่อประเมินค่ากำลังของคอนกรีตในองค์อาคาร หรือโครงสร้างคอนกรีตในเชิงปริมาณให้แม่นยำมากที่สุดเท่าที่ทำได้ เพื่อนำไปใช้ประกอบการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคาร หรือโครงสร้างนั้น หรือเมื่อต้องการทราบถึงการเสื่อมสภาพขององค์อาคารและโครงสร้าง หรือก่อนทำการเปลี่ยนแปลงการใช้งาน ก่อนการดัดแปลง หรือขยายโครงสร้างเดิม หรือนำไปใช้ประกอบการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคารและโครงสร้างที่มีความเสียหายอันเนื่องมาจากไฟไหม้ เป็นต้น

3) เพื่อใช้พิจารณาในการเจาะเก็บตัวอย่าง และวิธีการสุ่มตัวอย่าง เนื่องจากการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตจากคาน แผ่นพื้น เสาหรือองค์อาคารอื่น ๆ ของโครงสร้างเพื่อทำการตรวจสอบกำลังอัด ความหนาแน่น การซึมผ่านของคอนกรีตในห้องปฏิบัติการเป็นการทดสอบแบบกึ่งทำลายที่ใช้เวลานาน ดังนั้น จึงควรมีการเลือกใช้ร่วมกับการทดสอบเชิงคุณภาพแบบอื่น ๆ ประกอบด้วย

จุดประสงค์ของหัวข้อนี้คือการอธิบายหลักการพื้นฐานของวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่ใช้สำหรับการประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย และเพื่อระบุปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากการประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีต ข้อมูลพื้นฐานเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีทดสอบต่าง ๆ เหล่านี้มีอยู่ในเอกสารอ้างอิงโดย Malhotra (1976), Bungey (1989) และ Malhotra และ Carino (1991) โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

2.3.1 วิธีการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีค้อนกระแทก (rebound number, ASTM C 805, มยผ. 1502-51)

ค้อนกระแทก (เรียกอีกอย่างว่า ค้อนชมิดท์ (Schmidt hammer) หรือค้อนสวิส (Swiss hammer)) เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย 1) ตัวกระบอกอุปกรณ์ 2) ลูกสูบ 3) ค้อน และ 4) สปริง ในการทำการทดสอบแท่งลูกสูบจะยื่นออกมาจากตัวเครื่องเพื่อใช้กดเข้ากับพื้นผิวคอนกรีตในแนวตั้งฉาก เมื่อแท่งลูกสูบที่ยื่นออกมาถูกกดกลับเข้าไปในตัวกระบอกอุปกรณ์ กลไกภายในจะทำการล็อคค้อนไว้ที่ปลายด้านบนบนสุดของลูกสูบ จากนั้นเครื่องมือจะทำการปลดล็อคและค้อนจะถูกสปริงผลักไปกระแทกผิว

ของคอนกรีต ในขณะเดียวกันที่ตำแหน่งของตัวค้อนจะมีตัววัดระยะสะท้อนกลับ ซึ่งระยะการสะท้อนกลับจะวัดจากสเกลที่มีค่าตั้งแต่ 10 ถึง 100 และจะถูกนำไปแปรผลเป็นค่ากำลังอัดของคอนกรีต

ความสำคัญในการทดสอบเพื่อประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีนี้ คือต้องเข้าใจข้อจำกัดและปัจจัยที่ส่งผลต่อผลการทดสอบ ซึ่งระยะการสะท้อนกลับขึ้นอยู่กับพลังงานจลน์ในค้อน ก่อนกระแทกกับผิวคอนกรีตและปริมาณของพลังงานที่ถูกดูดซับในระหว่างการกระแทกที่ผิวคอนกรีต พลังงานบางส่วนจะถูกดูดซับโดยแรงเสียดทานทางกลในเครื่องมือซึ่งมีค่าคงที่ และอีกส่วนของพลังงาน จะถูกดูดซับโดยการกระแทกของแท่งลูกสูบกับคอนกรีตซึ่งขึ้นกับสมบัติของคอนกรีต ดังนั้น ตัวเลขการสะท้อนกลับเป็นตัวบ่งชี้สมบัติของคอนกรีต พลังงานที่ถูกดูดซับโดยคอนกรีตนั้นขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีต พลังงานที่ถูกดูดซับดังกล่าวเกี่ยวข้องกับกำลัง (strength) และสติฟเนส (stiffness) ของคอนกรีต คอนกรีตที่มีกำลังอัดและสติฟเนสต่ำจะดูดซับพลังงานได้มากกว่าคอนกรีตที่มีกำลังอัดและสติฟเนสสูง ดังนั้น คอนกรีตที่มีกำลังอัดและสติฟเนสต่ำจะส่งผลให้ค่าการสะท้อนกลับลดลง

อย่างไรก็ตามมีความเป็นไปได้ที่ส่วนผสมคอนกรีตสองส่วนผสมที่มีกำลังอัดเท่ากันจะมีสติฟเนสต่างกัน จึงอาจมีค่าการสะท้อนกลับที่แตกต่างกัน ในทางตรงกันข้ามเป็นไปได้ที่คอนกรีตสองส่วนผสมที่มีกำลังอัดแตกต่างกันจะมีค่าการสะท้อนกลับที่เท่ากันหากสติฟเนสของคอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำกว่ามีค่ามากกว่าสติฟเนสของคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า นอกจากนี้ชนิดของมวลรวมส่งผลต่อสติฟเนสของคอนกรีตด้วย จึงจำเป็นที่จะต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับกับกำลังอัดของคอนกรีตที่ทำด้วยวัสดุชนิดเดียวกันกับคอนกรีตที่ใช้ในโครงสร้างจริงประกอบการประเมินด้วยเพื่อให้ได้มา ซึ่งการประเมินที่แม่นยำมากขึ้น

ตำแหน่งของการทดสอบค้อนกระแทกจะมีผลต่อค่าการสะท้อนกลับ เนื่องจากเงื่อนไข ณ จุดที่ทำการทดสอบมีผลต่อผลการทดสอบด้วย เช่น ถ้าตำแหน่งที่ทดสอบอยู่เหนืออนุภาคมวลรวมแข็งจะมีผลให้ค่าการสะท้อนกลับสูงผิดปกติ ในทางตรงกันข้าม ถ้าตำแหน่งที่ทดสอบอยู่เหนือโพรงอากาศขนาดใหญ่หรือเหนืออนุภาคมวลรวมที่อ่อนนุ่ม จะได้ค่าการสะท้อนกลับที่ต่ำที่ตำแหน่งของเสริมเหล็กที่มีระยะหุ้มคอนกรีตน้อยอาจส่งผลให้ค่าการสะท้อนกลับสูงเช่นกัน ทำให้ค่าที่ได้ไม่เป็นค่าตัวแทนที่แท้จริงของคอนกรีต จากความเป็นไปได้เหล่านี้ ASTM C 805 จึงได้กำหนดให้ทำการทดสอบจำนวน 10 ตำแหน่ง หากค่าการสะท้อนกลับที่วัดได้ค่าใดค่าหนึ่งในสิบตำแหน่งแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของทั้งสิบตำแหน่งมากกว่า 6 หน่วย ค่านั้นควรตัดออก โดยคำนวณค่าเฉลี่ยใหม่จากค่าที่เหลือ และหากได้ค่าการสะท้อนกลับ 2 ครั้งหรือมากกว่า ที่มีค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยมากกว่า 6 หน่วย ก็ควรยกเลิกการอ่านทั้งชุด แล้วทำการวัดค่าใหม่

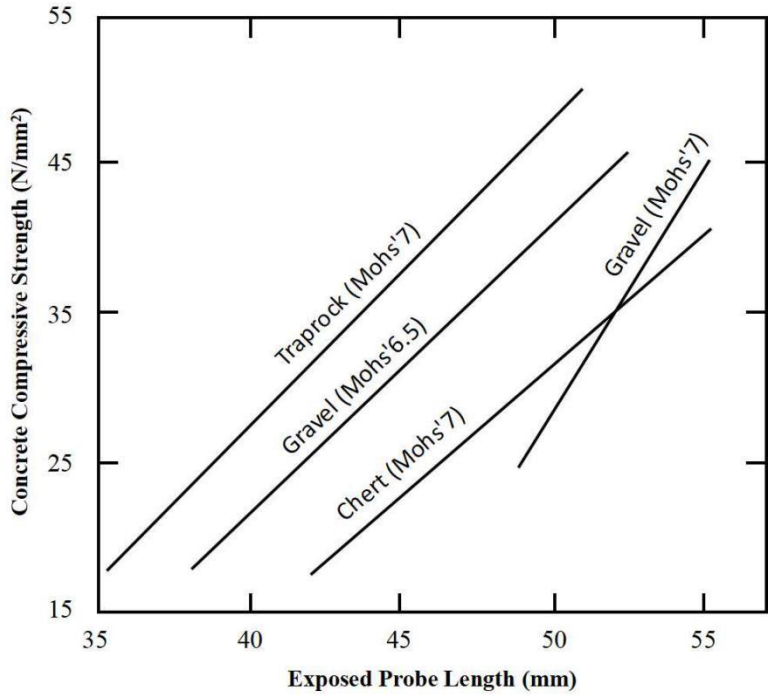
เนื่องจากค่าการสะท้อนกลับได้รับผลกระทบจากชั้นที่อยู่ใกล้กับพื้นผิวเป็นหลัก ค่าการสะท้อนกลับอาจไม่สามารถเป็นตัวแทนของคอนกรีตภายในได้เสมอไป การเกิดคาร์บอเนชันที่พื้นผิว อาจส่งผลให้ค่าการสะท้อนกลับสูงขึ้น ซึ่งไม่ได้บ่งบอกถึงคุณภาพจริงของคอนกรีตภายใต้พื้นผิว พื้นผิวที่แห้ง จะส่งผลให้ตัวเลขค่าการสะท้อนกลับสูงกว่าคอนกรีตที่ชื้น ในทำนองเดียวกันสภาพการบ่มคอนกรีตส่งผล ต่อกำลังอัด

และสติฟเนสของคอนกรีตใกล้พื้นผิวมากกว่าที่บริเวณภายในคอนกรีต สภาพพื้นผิวอาจมีผลต่อระยะการสะท้อนกลับ พื้นผิวที่ขรุขระควรมีการทำให้เรียบก่อนการทดสอบ พื้นผิวที่แข็งและเรียบ เช่นพื้นผิวที่เกิดจากการตกแต่งโดยเกรียงสามารถส่งผลให้ค่าการสะท้อนกลับสูงขึ้น โดยสรุปการทดสอบโดยค้อนกระแทกกลับ มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ากำลังอัดที่ประเมินได้ของคอนกรีต จึงอาจทำให้วิธีนี้เป็นการประเมินที่มีความน่าเชื่อถือน้อยกว่าวิธีการทดสอบอื่น ๆ ที่จะกล่าวถึงต่อไป

ขั้นตอนการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตโดยวิธีค้อนกระแทกสามารถปฏิบัติตาม มยผ. 1502-51

2.3.2 วิธีการประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบวินเซอร์ (Windsor probe) (ASTM C 803/C 803M, มยผ.1503-51)

วิธีการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบวินเซอร์ เป็นการทดสอบเพื่อประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตอีกรูปแบบ แต่ไม่ค่อยเป็นที่นิยมในประเทศไทย เนื่องจากอุปกรณ์มีรูปลักษณะคล้ายอาวุธปืน การประเมินค่ากำลังอัดจะทำโดยการวัดความลึกของการเจาะทะลวงของแท่งหัววัด (probe) หรือเข็มที่บังคับให้เคลื่อนเข้าสู่เนื้อคอนกรีต ซึ่งเทคนิคการเจาะทะลวงนี้เป็นการใช้ปืนที่ออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อขับเคลื่อนหัววัดเข้าไปในเนื้อคอนกรีต ระบบการทดสอบนี้เรียกว่า Windsor Probe ความลึกของการเจาะของแท่งหัววัดใช้เป็นดัชนีบ่งชี้กำลังอัดของคอนกรีต วิธีนี้คล้ายกับการทดสอบค้อนกระแทก แต่มีความแตกต่างที่แท่งหัววัดส่งผลกระทบต่อคอนกรีตเนื่องจากมีพลังงานสูงมาก โดยแท่งหัววัดจะเจาะทะลวงเข้าไปในเนื้อคอนกรีต ในขณะที่การทดสอบค้อนกระแทกอาจจะทำให้เกิดรอยเว้าเพียงเล็กน้อยที่ตำแหน่งทดสอบบนผิวคอนกรีตเท่านั้น การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีของการทดสอบด้วยหัวหยั่งทดสอบวินเซอร์นี้มีความซับซ้อนมากกว่าการทดสอบค้อนกระแทก แต่สาระสำคัญของการทดสอบนั้นเกี่ยวข้องกับพลังงานจลน์เริ่มต้นของแท่งหัววัดและการดูดซับพลังงานของคอนกรีต แท่งหัววัดจะทะลวงเข้าไปในเนื้อคอนกรีตจนกว่าจะมีการดูดซับพลังงานจลน์เริ่มต้นจนหมด พลังงานจลน์เริ่มต้นถูกควบคุมโดยดินปืนที่ใช้ในการขับเคลื่อน เมื่อแท่งหัววัดทะลวงเข้าไปในคอนกรีต พลังงานบางส่วนถูกดูดซับโดยแรงเสียดทานระหว่างแท่งหัววัดกับเนื้อคอนกรีต และบางส่วนถูกดูดซับ โดยการบดและการแตกหักของคอนกรีต การประเมินทำได้ด้วยการแปรระยะการเจาะทะลวงของแท่งหัววัดเข้าไปในเนื้อคอนกรีตเป็นค่ากำลังอัดของคอนกรีตนั้น



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและระยะความลึกของการเจาะทะลวงของคอนกรีตที่ทำจากมวลรวมที่แตกต่างกัน (Bungey (1996))

แท่งหัววัดสามารถเจาะทะลวงผ่านมอร์ตาร์และมวลรวมได้ ดังนั้น กำลังอัดของทั้งเพสต์และมวลรวมหยาบจึงมีผลต่อระยะการเจาะทะลวง ในการทดสอบคอนกรีตกำลังสูง กำลังอัดของเพสต์มีอิทธิพลอย่างมากต่อค่ากำลังอัดที่ประเมินได้ ดังนั้น ลักษณะสำคัญของการทดสอบด้วยวิธีนี้คือ ชนิดของมวลรวมหยาบมีผลอย่างมากต่อความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตและความลึกของการเจาะทะลวง ตัวอย่างเช่น รูปที่ 4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและระยะความลึกของการเจาะทะลวงสำหรับคอนกรีตที่ทำด้วยมวลรวมต่างชนิดกัน หากเปรียบเทียบที่กำลังอัดเท่ากันคอนกรีตที่มีมวลรวมที่อ่อนกว่าจะสามารถถูกเจาะทะลวงได้ดีกว่าคอนกรีตที่มีมวลรวมแบบแข็ง ข้อมูลรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับอิทธิพลของชนิดมวลรวมที่มีต่อความสัมพันธ์เชิงกำลังสามารถหาเพิ่มเติมได้ใน Malhotra (1976), Bungey (1989) และ Malhotra และ Carino (1991)

เนื่องจากหัววัดระยะจะเจาะทะลวงเข้าไปในเนื้อคอนกรีต จึงไม่ได้รับผลกระทบจากสภาพพื้นผิวหรือทิศทางที่ใช้ในการทดสอบหากตัวอุปกรณ์ทดสอบได้ตั้งฉากกับพื้นผิวในขณะทำการทดสอบ อย่างไรก็ตามเหล็กเสริมที่อยู่ภายในคอนกรีตมีผลต่อการทดสอบด้วยวิธีนี้ ดังนั้นควรหาตำแหน่งของเหล็กเสริมก่อนและเลือกทดสอบในตำแหน่งที่ไม่มีเหล็กเสริมผ่าน ซึ่งการหาตำแหน่งเหล็กเสริมสามารถใช้อุปกรณ์หาตำแหน่งและระยะหุ้มเหล็กเสริม (cover meter or reinforcing bar locator) ได้

โดยสรุปกำลังอัดของคอนกรีตสามารถประเมินได้จากวิธีการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบวินเซอร์ โดยการวัดความลึกการเจาะทะลวงของแท่งหัววัดที่ถูกขับเข้าไปในคอนกรีตด้วยพลังงานคงที่โดยใช้ดินปืน สภาพพื้นผิวของคอนกรีตมีผลกระทบต่อค่าที่ทดสอบได้น้อยกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดสอบค้อนกระแทก อย่างไรก็ตามมวลรวมหยาบมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการแปรผลค่ากำลังอัดของคอนกรีต

ขั้นตอนการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตโดยวิธีการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบวินเซอร์สามารถปฏิบัติตามมยผ. 1503-51

2.3.3 วิธีการประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (ASTM C 597 มยผ. 1504-51)

การทดสอบเพื่อประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่กำหนดใน ASTM C 597 ประเมินจากค่าความเร็วการแพร่กระจายของพลังงานสั่นสะเทือนผ่านเนื้อคอนกรีต หลักการทำงานของอุปกรณ์ทดสอบเริ่มจากหัวส่งสัญญาณจะส่งคลื่นสัญญาณแรงดันสูงระยะเวลาสั้น (pulse) ไปที่หัวรับสัญญาณ แล้วจับเวลาการเคลื่อนที่ของคลื่นดังกล่าวจากหัวส่งสัญญาณไปยังหัวรับสัญญาณ ลักษณะการเดินทางของคลื่นจะเป็นการสั่นสะเทือนของตัวแปลงสัญญาณที่ถูกถ่ายโอนจากหัวส่งสัญญาณไปยังคอนกรีต โดยสั่นสะเทือนเคลื่อนที่ผ่านเนื้อคอนกรีต เมื่อหัวรับได้รับสัญญาณแล้ว อุปกรณ์ในตัวเครื่องจะทำการประมวลระยะเวลาเดินทางของคลื่นจากหัวส่งไปยังหัวรับ และเนื่องจากทราบระยะทางจากหัวส่งสัญญาณไปยังหัวรับสัญญาณ จึงสามารถคำนวณความเร็วคลื่นที่วิ่งผ่านเนื้อคอนกรีตได้จากระยะทางตรงระหว่างหัวส่งและหัวรับสัญญาณหารด้วยเวลาเดินทาง หัวรับส่งสัญญาณที่เหมาะสำหรับการใช้งานคอนกรีตทั่วไปจะมีความถี่ประมาณ 50 kHz ในบางครั้งอาจปรับใช้หัวรับส่งสัญญาณที่มีความถี่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสม เช่นประมาณ 20 kHz สำหรับใช้กับคอนกรีตหลา หรือมากกว่า 100 kHz เพื่อใช้กับองค์อาคารที่บาง เป็นต้น

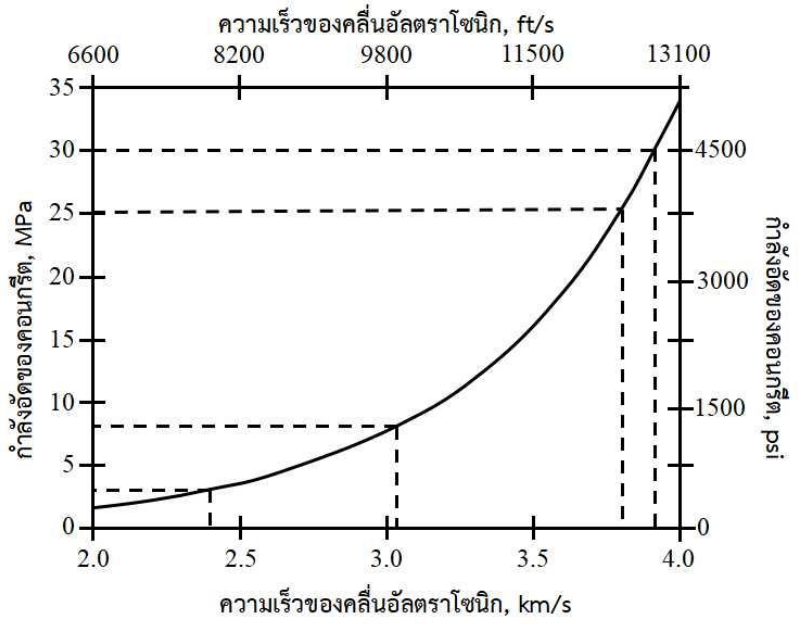
โมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังอัดของคอนกรีตมีผลต่อความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก จากหลักการของความเร็วการเคลื่อนที่ของคลื่นยืดหยุ่น (elastic wave propagation) ที่เป็นสัดส่วนกับราก ที่สองของโมดูลัสยืดหยุ่น (ACI 228.2R) โดยทั่วไปคอนกรีตมีอัตราการพัฒนาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังอัดที่ต่างกัน ในระยะเริ่มต้นค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่ากำลังอัด และในระยะต่อมาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่ากำลังอัด เป็นผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตและความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกนั้นไม่เป็นเชิงเส้นตรงดังแสดงใน รูปที่ 5

รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดของคอนกรีตและความเร็ว ของคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งความสัมพันธ์ลักษณะนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสมคอนกรีตด้วย ในช่วงอายุเริ่มต้นการเพิ่ม ของกำลังอัดของคอนกรีตส่งผลให้ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกเพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก ในขณะที่เมื่ออายุของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น อัตราการเพิ่มของความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกเทียบกับอัตราการเพิ่มของค่ากำลังอัดของคอนกรีตจะน้อยลง ตัวอย่างเช่นการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตจาก 3 เป็น 8 MPa อาจส่งผลให้ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกเพิ่มขึ้นจากประมาณ 2,400 ถึง 3,040 m/s (ผลต่างที่ 640 m/s) ในทางกลับกัน

การเพิ่มกำลังอัดจาก 25 เป็น 30 MPa อาจส่งผลให้ความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 3,800 เป็น 3,920 m/s (ผลต่างเพียง 120 m/s) เท่านั้น

อีกปัจจัยที่มีสำคัญคือความชื้น เมื่อความชื้นของคอนกรีตเพิ่มขึ้นจากสภาพแห้งในอากาศถึงสภาวะอิ่มตัว มีรายงานว่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกอาจเปลี่ยนแปลงได้ถึงร้อยละ 5 (Bungey, 1989) ดังนั้นหากไม่ได้พิจารณาผลกระทบของความชื้นในคอนกรีต อาจได้ข้อสรุปที่ผิดพลาดเกี่ยวกับการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตโดยเฉพาะในคอนกรีตที่มีอายุมาก และผลการศึกษาถึงกระบวนการบ่มบ่งชี้ว่าการบ่มส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตและความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกด้วย (Teodoru, 1986)

ปริมาณและทิศทางของเหล็กเสริมในคอนกรีตมีผลต่อความความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก เนื่องจากความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกที่วิ่งผ่านเหล็กเสริมสูงกว่าที่วิ่งผ่านคอนกรีตประมาณร้อยละ 40 โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีเหล็กเสริมในแนวขนานกับทิศทางการกระจายของคลื่นอัลตราโซนิก สัญญาณของคลื่นอัลตราโซนิกอาจจะหักเหเข้าไปในเหล็กเสริมและเดินทางไปยังเครื่องรับที่ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกในเหล็กเสริม ความเร็วที่วัดได้อาจจะมีค่าสูงกว่าความเร็วแท้จริงที่วิ่งผ่านเนื้อคอนกรีต อย่างไรก็ตามปัญหาที่มักพบคือการที่ไม่ได้ตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมก่อนการทำการทดสอบคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งอาจนำไปสู่ข้อสรุปที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับการประเมินกำลังอัดของคอนกรีต มีการเสนอค่าสัมประสิทธิ์สำหรับปรับแก้ค่าความเร็วคลื่นในกรณีที่มีเหล็กเสริมเข้ามาเกี่ยวข้องในเอกสารของ Malhotra (1976) และ Bungey (1989) แต่ก็ยังไม่ได้รับการพิสูจน์อย่างชัดเจนว่าสามารถช่วยในการประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีนี้ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ



รูปที่ 5 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตและความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก (ASTM C 597)

ปัจจัยต่อมาที่ส่งผลต่อค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกที่วัดได้คือ รอยแตก หรือช่องว่างในเนื้อคอนกรีตที่อยู่ระหว่างเส้นทางการเดินทางของคลื่นจากเครื่องส่งสัญญาณไปยังเครื่องรับสัญญาณ ส่งผลให้สัญญาณที่ได้มีการกระจายไปรอบ ๆ รอยแตกหรือช่องว่างเหล่านั้นอาจขาดความต่อเนื่อง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มระยะทางและเวลาในการเดินทางของคลื่น หากไม่มีข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับสภาพภายในของคอนกรีต อาจได้ค่าเวลาเดินทางที่ยาวและความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกที่ลดลงจากเนื้อคอนกรีตปกติ อีกทั้งยังมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกเช่นกัน โดยสามารถตรวจสอบข้อมูลเพิ่มได้จากมยผ. 1504-51

โดยสรุปแล้ววิธีการนี้เหมาะกับการประเมินกำลังอัดในการก่อสร้างโครงสร้างใหม่และในโครงสร้างเก่า อย่างไรก็ตามมีความจำเป็นต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกกับค่ากำลังอัดของคอนกรีตเพื่อใช้ในการประเมินกำลังอัด ทั้งนี้เนื่องจากโมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังอัดไม่ได้มีความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรงกับความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ต้องพิจารณาร่วมกัน เช่น ปริมาณและประเภทของมวลรวมมีอิทธิพลอย่างมากต่อความเร็วของคลื่น จึงมีผลกับความสัมพันธ์ของกำลังอัดและความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก นอกจากนี้ความชื้นในคอนกรีตและเหล็กเสริมยังส่งผลกระทบอย่างมากเช่นกัน สามารถหาข้อมูลเพิ่มได้จากมยผ. 1504-51

2.4 การเจาะแท่งตัวอย่างและการทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต (BS 1881 : Part 4, ASTM C 42-77)

การประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีค้อนกระแทก วิธีการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบวินเซอร์ หรือโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก เป็นการหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตทางอ้อม นอกจากนี้ยังมีอีกหนึ่งวิธีที่ใช้ในการประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตโดยตรง ได้แก่ การเจาะเก็บตัวอย่างจากองค์อาคารจริง และนำตัวอย่างคอนกรีตที่ได้ไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการเจาะเก็บตัวอย่างจะทำให้ทราบข้อมูลอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วย เช่น สีของมวลรวม การเกิดโพรงช่องว่าง ขนาดเหล็กเสริม ความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนัก ความลึกของคาร์บอเนชัน หรือระยะการซึมผ่านของคลอไรด์เข้าไปในคอนกรีต หรือการนำแท่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ทางเคมี เป็นต้น มาตรฐานต่างประเทศที่สามารถอ้างอิงได้แก่ BS 1881: Part 4 หรือ ASTM C 42-77

กำลังอัดของคอนกรีตที่วัดได้จากการเจาะแท่งตัวอย่างจะขึ้นอยู่กับรูปทรงและอัตราส่วนระหว่างความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลาง (H/D) ของรูปทรงกระบอก ในมาตรฐานของ BS 1881 : Part 4 หรือ ASTM C 42-77 ได้กำหนดไว้ให้มี H/D เท่ากับ 2 ในการที่จะทำให้ผลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างได้ค่าใกล้เคียงกับกำลังอัดของโครงสร้างจริง อย่างไรก็ตามมีความเป็นไปได้ในการทำงานจริงที่ไม่สามารถเจาะเก็บตัวอย่างให้ได้ H/D เท่ากับ 2 ในกรณีดังกล่าว มาตรฐานได้กำหนดสมการที่ใช้สำหรับคูณปรับแก้ค่าของตัวอย่างที่มีค่า H/D ต่างไปจาก 2 แต่ใช้ได้กับเฉพาะแท่งตัวอย่างที่มีอัตราส่วน H/D อยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 เท่านั้น กรณีที่แท่งตัวอย่างมีอัตราส่วนของ H/D น้อยกว่า 1 กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบ

จะไม่มีความน่าเชื่อถือ ในส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง ได้กำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 150 มม. หรือ 100 มม. อย่างไรก็ตามเป็นเรื่องที่ควบคุมได้ยากในการเจาะเก็บตัวอย่างให้ได้ขนาดตามที่กำหนด เช่น ในกรณีที่มีเหล็กเสริมกีดขวางอยู่ภายในองค์อาคารจำเป็นต้องใช้กระบอกเจาะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 มม. เพื่อหลบเหล็กเสริม แต่อย่างไรก็ตามต้องมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 3 เท่าของขนาดโตสุดของมวลรวมของคอนกรีตนั้น

ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ควรนำมาพิจารณา มีดังต่อไปนี้

(1) ขนาดของมวลรวมหยาบ หากอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างคอนกรีตต่อขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบน้อยกว่า 3 เท่า มีรายงานการวิจัยว่าค่ากำลังอัดที่ทดสอบได้ จะต่ำกว่าความเป็นจริง การทดสอบแท่งคอนกรีตที่มีมวลรวมหยาบขนาด 20 มม. โดยที่แท่งตัวอย่างคอนกรีตมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. จะได้ค่าการทดสอบที่ต่ำลงประมาณร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากแท่งตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม.

(2) การมีเหล็กเสริมอยู่ในแท่งตัวอย่างคอนกรีต จากผลการศึกษาพบว่า การมีเหล็กเสริมตามขวางทำให้ค่ากำลังอัดที่ทดสอบได้ลดลงร้อยละ 5 ถึง 15 ส่วนการมีเหล็กเสริมตามแนวยาว (แนวแกน) จะทำให้ค่ากำลังอัดที่ทดสอบได้เพิ่มขึ้นอย่างมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเหล็กเสริม อย่างไรก็ตามในการเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีต ควรหลีกเลี่ยงแนวเหล็กเสริมโดยอาศัยอุปกรณ์หาตำแหน่งเหล็กเสริมช่วย โดยสามารถปฏิบัติตามมยผ. 1505-51

(3) อายุของคอนกรีตในองค์อาคาร หรือโครงสร้างที่ต้องการเจาะทดสอบควรมากกว่า 28 วัน

(4) อุปกรณ์ที่ใช้ในการเจาะ ควรทำการวัดการสั่นสะเทือนและการได้ระนาบของกระบอกที่ใช้ในการเจาะแท่งตัวอย่าง เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อรูปทรงของตัวอย่างซึ่งอาจทำให้ไม่ได้รูปทรงกระบอกและค่ากำลังอัดที่ทดสอบที่ได้อาจต่ำกว่าความเป็นจริง

2.5 วิธีการทดสอบแบบรวม (combined method)

วิธีการทดสอบแบบรวมหมายถึง การใช้วิธีการทดสอบตั้งแต่สองวิธีขึ้นไปเพื่อประเมินกำลังอัดของคอนกรีตให้มีประสิทธิภาพ โดยการรวมผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบมากกว่าหนึ่งวิธีเข้าด้วยกันและสร้างความสัมพันธ์หลายตัวแปรเพื่อใช้ในการประเมินกำลังอัดของคอนกรีต มีผลการศึกษารายงานว่าวิธีการทดสอบแบบรวมสามารถช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือในการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตได้ แนวคิดพื้นฐานดังกล่าวคือ หากการทดสอบทั้งสองวิธีมีอิทธิพลต่อกำลังอัดในรูปแบบที่แตกต่างกันเมื่อพิจารณาปัจจัยเดียวกัน การใช้งานร่วมกันจะช่วยเพิ่มความแม่นยำของการประเมินกำลังอัดได้ ตัวอย่างเช่น การเพิ่มขึ้นของความชื้นบริเวณผิวคอนกรีตจะให้ค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกคงที่ แต่ค่าที่ได้จากค้อนกระแทกจะต่ำ เหตุการณ์ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ผู้ตรวจสอบได้ทราบว่าควรดำเนินอย่างไรต่อไป วิธีการแบบรวมได้

มีการพัฒนาและนำมาใช้อย่างมากเพื่อทำให้ผลการทดสอบที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ทั้งในประเทศและต่างประเทศก็ยังไม่มีมาตรฐานหรือคู่มือที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบแบบรวมสำหรับการประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งวิธีการดังกล่าวขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ประเมินและสภาพของโครงสร้างที่จะทำการทดสอบ

2.6 การเลือกตำแหน่งและจำนวนการทดสอบ

วิธีการทดสอบด้วยค้อนกระแทกและคลื่นอัลตราโซนิกสำหรับประเมินคุณภาพของคอนกรีตเป็นที่นิยมมากกว่าวิธีการอื่น ๆ เช่น การทดสอบด้วยวิธีการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบวินเซอร์ หรือการเจาะแท่งตัวอย่าง ซึ่งมีกระบวนการและใช้เวลาในการทดสอบนาน อีกทั้งยังต้องทำลายโครงสร้างบางส่วน

ตารางที่ 5 ระบุจำนวนตัวอย่างขั้นต่ำสำหรับการทดสอบที่ใช้ทั่วไป ร้อยละของระดับความเชื่อมั่น ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทดสอบ ความเสียหายต่อโครงสร้าง ความน่าเชื่อถือในการประเมินกำลังอัดของคอนกรีต และค่าใช้จ่ายสำหรับการทดสอบ การใช้วิธีการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตควรใช้ร่วมกันอย่างน้อยมากกว่าหนึ่งวิธีเพื่อหาความสัมพันธ์ที่เป็นรูปธรรม

ตารางที่ 5 จำนวนและวิธีทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต (Bungey, 1989)

วิธีทดสอบ	จำนวนตัวอย่าง	95% ระดับความเชื่อมั่น	ค่าใช้จ่าย	ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ	ความเสียหายที่เกิดกับโครงสร้าง	ความน่าเชื่อถือของผลทดสอบ
วิธีค้อนกระแทก	12	±25%	ต่ำ	เร็วมาก	ไม่มี	เฉพาะที่ผิวเท่านั้น
วิธีการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบวินเซอร์	3	±20%	สูง	ช้า	น้อย	ดี
วิธีคลื่นอัลตราโซนิก	3	±20%	ต่ำ	เร็ว	ไม่มี	ต่ำ
วิธีเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตจากโครงสร้างจริง	3	10%	สูงมาก	ช้ามาก	มาก	ดี

2.7 การตรวจสอบความแปรปรวนที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย

1) ความแปรปรวนของผลการทดสอบขึ้นอยู่กับวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายและจะแตกต่างกันไปตามวิธีการแต่ละประเภทตามที่ระบุในตารางที่ 5

2) ควรทำการศึกษาความแปรปรวนของผลการทดสอบเพื่อประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งการใช้เพียงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายอาจนำไปสู่การสรุปผล การทดสอบที่คลาดเคลื่อนได้

3) การทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่คนละตำแหน่งในองค์อาคารเดียวกัน อาจจะได้ผลลัพธ์ที่แปรปรวน

4) การแสดงผลความแปรปรวนของค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายสามารถใช้เป็นข้อมูลให้ผู้ประเมินโครงสร้างพิจารณาในการตัดสินใจต่อกระบวนการในอนาคตได้ดีขึ้น

2.8 การวิเคราะห์ผลลัพธ์

1) แผนภูมิมาตรฐานของผู้ผลิต (ผลที่ได้จากการทดสอบจากต่างประเทศ) หรือที่มีอยู่ในเอกสารอาจไม่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างที่มีอยู่ในประเทศไทย ควรมีการสอบเทียบอุปกรณ์โดยการทดสอบกับวัสดุที่ใช้ภายในประเทศก่อนทำการทดสอบในภาคสนาม

2) ควรจัดทำกราฟการสอบเทียบหรือหาความสัมพันธ์ของค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายกับค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ได้จากวิธีการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีต

2.9 ข้อจำกัด

วิธีการทดสอบที่กล่าวมาข้างต้นส่วนใหญ่มีข้อจำกัด บางวิธีใช้ได้ดีเฉพาะกับช่วงกำลังอัดของคอนกรีตที่กำหนด บางกรณีเครื่องมือทดสอบไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับการทดสอบคอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำหรือสูงมาก และบางกรณีจำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์ ช่วงกำลังอัดของคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับวิธีทดสอบแต่ละวิธีได้ทำการสรุปไว้ในตารางที่ 6 ซึ่งเป็นค่าประมาณจากการศึกษาวิจัยจากต่างประเทศ

ตารางที่ 6 ช่วงกำลังอัดของคอนกรีตที่เหมาะสมกับการทดสอบแบบไม่ทำลาย (ACI 228.1R)

วิธีทดสอบ	ช่วงกำลังอัดของคอนกรีต (MPa)
วิธีค้อนกระแทก	10-40
วิธีการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบวินเซอร์	10-120
วิธีคลื่นอัลตราโซนิก	1-70
วิธีเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตจากโครงสร้างจริง	ไม่จำกัด

ส่วนที่ 3 การตรวจสอบทางเคมี

การทดสอบทางเคมีของคอนกรีตมีวัตถุประสงค์หลักในการตรวจสอบเพื่อยืนยันการหาสาเหตุหรือการประเมินความเสียหายและการเสื่อมสภาพของคอนกรีต เช่น การทำลายทางเคมี การกัดกร่อน และการเสื่อมสภาพเนื่องจากปัญหาความคงทนอื่น ๆ ซึ่งการตรวจสอบทางเคมีนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งนี้ ในการเลือกวิธีการทดสอบควรพิจารณาถึงความเหมาะสมกับชนิดและระดับการเสื่อมสภาพของคอนกรีต ซึ่งบางวิธีการทดสอบอาจมีความซับซ้อน มีค่าใช้จ่ายสูง และในการวิเคราะห์ผลต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญเฉพาะ

ในคู่มือฉบับนี้ นำเสนอรายละเอียดวิธีการตรวจสอบทางเคมี ได้แก่ การทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต การตรวจสอบความลึกคาร์บอเนชันโดยสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน และการตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวมด้วยวิธีต่าง ๆ ซึ่งเป็นวิธีที่มีการอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ เช่น ASTM เป็นต้น

3.1 การทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต

คลอไรด์เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมได้ ซึ่งคลอไรด์อาจมีอยู่ในคอนกรีตเองในขณะที่ผสมคอนกรีต เช่น คลอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต หิน ทราย และน้ำยาผสมคอนกรีตบางชนิด หรือซึมผ่านเข้ามาในคอนกรีตจากสิ่งแวดล้อมในขณะใช้งานโครงสร้าง โดยเฉพาะ โครงสร้างในสิ่งแวดล้อมทางทะเล หากปริมาณคลอไรด์บริเวณเหล็กเสริมถึงระดับวิกฤตแล้ว ถ้ามีน้ำและออกซิเจนเพียงพอก็จะทำให้เหล็กเสริมเกิดสนิมได้

3.1.1 วิธีการทดสอบ

การทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตจะใช้วิธีการทดสอบทางเคมี โดยการเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C42 แล้วนำมาบดเป็นผงหรือการเก็บฝุ่นผงคอนกรีตที่ได้จากการเจาะคอนกรีตด้วยสว่านที่ระดับความลึกต่าง ๆ จากผิวหน้าแล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์รวมที่ละลายในกรดได้ด้วยวิธีการไตเตรชัน (tritration) ตามมาตรฐาน ASTM C1152 ซึ่งปริมาณคลอไรด์ที่ละลายในกรดได้ (acid-soluble chloride) จะถือว่าเท่ากับปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในคอนกรีต (total chloride)

1) การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

เจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตด้วยเครื่องเจาะคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C42 แล้วนำแท่งตัวอย่างคอนกรีตนั้นมาตัดแบ่งเป็นชิ้นความหนา 12 มม. เพื่อเป็นตัวแทนตัวอย่างคอนกรีตที่ระดับความลึกต่าง ๆ แล้วนำมาบดเป็นผง นำตัวอย่างผงคอนกรีตที่ได้จากการบดมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ก่อนนำไปทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมด สำหรับการเก็บฝุ่นผงคอนกรีตโดยการเจาะคอนกรีตด้วยสว่าน

ให้เจาะเก็บผงคอนกรีตให้มีปริมาณอย่างน้อย 20 กรัมต่อระดับความลึก แล้วนำไปทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมด

2) ขั้นตอนการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมด (total chloride)

- นำผงคอนกรีตจำนวน 10 กรัม โดยชั่งละเอียดถึง 0.01 กรัม มาใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปปริมาณ 75 มล. แล้วค่อย ๆ เติมกรดไนตริกที่ทำให้เจือจางด้วยอัตราส่วน 1:1 ลงไป 25 มล. แล้วคนด้วยแท่งแก้วโดยไม่ให้ผงคอนกรีตจับตัวเป็นก้อน

- ปิดฝาบีกเกอร์ที่มีสารละลายตัวอย่างเพื่อป้องกันการระเหยของคลอไรด์ แล้วนำไปต้มให้เดือดอย่างรวดเร็ว แต่อย่าให้เดือดเกิน 10 วินาที

- กรองสารละลายตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง โดยวิธีกรองแบบสูญญากาศ ล้างบีกเกอร์และกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่นจำนวนเล็กน้อย แล้วถ่ายสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการกรองจากขวดสูญญากาศไปยังบีกเกอร์ขนาด 250 มล. และล้างขวดสูญญากาศด้วยน้ำกลั่นวางสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการกรองไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยปริมาตรสารละลายตัวอย่างต้องไม่เกิน 175 มล.

- วางบีกเกอร์ลงบนเครื่องกวนแม่เหล็กและใส่แท่งแม่เหล็กที่เคลือบด้วย TFE-fluorocarbon ลงไป จุ่มอิเล็กโทรด (electrode) ลงในสารละลายตัวอย่างโดยระวัง อย่าให้แท่งแม่เหล็กไปชนกับอิเล็กโทรด แล้วเริ่มกวนสารละลายช้าๆ วางปลายส่งของบิวเรต 10 มล. ที่มีสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทที่มีความเข้มข้น 0.5 โมล (0.05 N $AgNO_3$) ลงในหรืออยู่เหนือสารละลายตัวอย่าง

- เริ่มทำการไตเตรทโดยใช้เครื่องไตเตรทอัตโนมัติ

- บันทึกค่าที่ได้จากเครื่องไตเตรทอัตโนมัติ และคำนวณปริมาณคลอไรด์ตามมาตรฐาน ASTM C1152 หรือคำนวณปริมาณคลอไรด์โดยร้อยละของน้ำหนักวัสดุประสานเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าปริมาณคลอไรด์วิกฤติตามมยผ. 1332-55

3.1.2 เกณฑ์การประเมินปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตสด

สำหรับการควบคุมปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตสดตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตคอนกรีต ได้มีการกำหนดปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตสด ก่อนที่คลอไรด์จากภายนอกจะเข้าสู่คอนกรีต ซึ่งต้องไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 7 ตามมยผ. 1332-55

3.1.3 เกณฑ์การประเมินปริมาณคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีต

ในการพิจารณาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ของโครงสร้างคอนกรีต สามารถทำได้โดยการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตบริเวณผิวของเหล็กเสริมเปรียบเทียบกับปริมาณคลอไรด์วิกฤติที่ทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมตามมยผ. 1332-55 (ตารางที่ 8) โดยหากปริมาณคลอไรด์ที่วัดได้มีค่าสูงกว่าปริมาณคลอไรด์วิกฤติที่ก่อให้เกิดสนิมของเหล็กเสริมให้ถือว่าเหล็กเสริมสามารถเกิดสนิมได้ นอกจากนี้การทดสอบปริมาณคลอไรด์ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของโครงสร้าง สามารถนำมาพิจารณาได้ว่าปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตนั้นเป็นคลอไรด์ที่มีอยู่แล้วในคอนกรีตสดตั้งแต่ขณะที่ผสมคอนกรีต หรือเป็นคลอไรด์

ที่ซึมผ่านเข้ามาจากสิ่งแวดล้อม หากเป็นคลอไรด์ที่มีอยู่แล้วในคอนกรีต ผลจากการทดสอบจะพบว่าปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตจะมีค่าสูงตลอดระยะความลึกจากผิวคอนกรีตในขณะที่ในกรณีของคลอไรด์ที่ซึมเข้าไปจากภายนอกจะพบว่าปริมาณคลอไรด์บริเวณผิวคอนกรีตจะมีค่าสูงและลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 7 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดที่ยอมให้ในส่วนผสมคอนกรีต (มยผ. 1332-55)

ลักษณะงานก่อสร้าง	ปริมาณคลอไรด์ที่ละลายในกรด ที่ยอมให้ในส่วนผสมคอนกรีต (ร้อยละของน้ำหนักวัสดุประสาน)
(1) คอนกรีตอัดแรง	0.08
(2) คอนกรีตเสริมเหล็กที่ขณะใช้งานมีการสัมผัสกับคลอไรด์ เช่น กำแพงกันคลื่น (sea-retaining walls)	0.20
(3) คอนกรีตเสริมเหล็กที่มีสภาพแห้ง หรือขณะใช้งานมีการป้องกันความชื้น	1.00
(4) คอนกรีตเสริมเหล็กอื่น	0.30
หมายเหตุ การทดสอบเพื่อหาปริมาณคลอไรด์รวมที่ละลายในกรดได้ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 1152/C 1152M : Standard Test Method for Acid-soluble Chloride in Mortar and Concrete	

ตารางที่ 8 ปริมาณคลอไรด์วิกฤติของคอนกรีต (มยผ. 1332-55)

ประเภทของวัสดุประสาน	ปริมาณคลอไรด์วิกฤติ (ร้อยละของน้ำหนักวัสดุประสาน)
ปูนซีเมนต์ล้วน	0.45
ปูนซีเมนต์ผสมผงหินปูน - ที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ผงหินปูนต่อวัสดุประสานไม่เกิน 0.15	0.45
ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอย - เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนัก เถ้าลอยต่อวัสดุประสานน้อยกว่า 0.15 - เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนัก เถ้าลอยต่อวัสดุประสานตั้งแต่ 0.15 แต่ไม่ถึง 0.35 - เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนัก เถ้าลอยต่อวัสดุประสานตั้งแต่ 0.35 ถึง 0.50	 0.45 0.35 0.30
หมายเหตุ สำหรับปูนซีเมนต์ผสมทั้งผงหินปูนและเถ้าลอย โดยที่มีผงหินปูนต่อวัสดุประสานไม่เกิน 0.15 ให้ใช้ตามค่าปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอย	

3.2 การตรวจสอบความลึกคาร์บอเนชันโดยสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน

คาร์บอเนชัน (carbonation) คือ ปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากสิ่งแวดล้อมกับสารละลายไฮดรอกไซด์ในเพสต์ มอร์ต้าร์ หรือคอนกรีต ได้ผลลัพธ์จากปฏิกิริยาเป็นสารประกอบคาร์บอเนต ปฏิกิริยาคาร์บอเนชันของคอนกรีต เกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างคอนกรีตอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ต้องเผชิญกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น โครงสร้างในที่จอดรถ โครงสร้างริมถนนหรือใต้สะพานบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น โครงสร้างใต้สะพานที่เผชิญกับเขม่าควันต่าง ๆ ตลอดจนในอาคารที่มีผู้คนอยู่มาก โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะแพร่เข้าไปในคอนกรีต และทำปฏิกิริยาคาร์บอเนชัน ซึ่งการเกิดคาร์บอเนชันของคอนกรีตทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตลดลง และส่งผลให้ความสามารถของคอนกรีตในการป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมลดลงด้วย ดังนั้นการตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชันหรือการตรวจสอบความลึกคาร์บอเนชัน (carbonation depth) จึงมีความจำเป็นในการประเมินอายุและความคงทนของโครงสร้างคอนกรีตต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอเนชัน ซึ่งหากความลึกคาร์บอเนชันไปถึงตำแหน่งเหล็กเสริม จะทำให้เหล็กเสริมเริ่มเกิดสนิมได้ ทั้งนี้ โครงสร้างคอนกรีตที่มียังความคงทนต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอเนชัน จะมีค่าความลึกคาร์บอเนชันน้อยกว่าระยะหุ้มเหล็กเสริม

3.2.1 วิธีการทดสอบ

ความลึกคาร์บอเนชัน (carbonation depth) หมายถึง ระยะที่วัดจากผิวของคอนกรีตเข้าไปข้างในเนื้อคอนกรีตจนถึงแนวแบ่งแยกระหว่างส่วนที่เกิดคาร์บอเนตและยังไม่เกิดคาร์บอเนตจากปฏิกิริยาคาร์บอเนชัน สามารถตรวจสอบโดยใช้วิธีการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของคอนกรีตด้วยสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ซึ่งสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) เป็นสารที่ใช้บ่งชี้ความเป็นกรดด่าง ซึ่งจะเปลี่ยนจากสีใสเป็นสีม่วงแดงที่ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ต่ำกว่า 10 โดยประมาณ ทดสอบตามมาตรฐาน BS EN 14630, RILEM Committee TC56, JIS A1152 และ NDIS 3419

การทดสอบหาความลึกคาร์บอเนชันของโครงสร้างคอนกรีตจริง สามารถทำได้โดยเก็บตัวอย่างคอนกรีตโดยวิธีเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตตามมาตรฐาน JIS A1152 หรือเก็บฝุ่นผงคอนกรีตที่ได้จากการเจาะคอนกรีตตามมาตรฐาน NDIS 3419 แล้วนำมาวิเคราะห์หาความลึกของการเกิดคาร์บอเนชันโดยการใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ความเข้มข้น 1%

1) การเตรียมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein Solution)

สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ความเข้มข้น 1% เตรียมได้โดยการละลายผงฟีนอล์ฟทาลีนจำนวน 1 กรัมต่อเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 50 มล. คนจนฟีนอล์ฟทาลีนละลายหมดแล้วจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มล.

2) การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

เก็บตัวอย่างคอนกรีตโดยวิธีเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตตามมาตรฐาน JIS A1152 หรือเก็บฝุ่นผงคอนกรีตที่ได้จากการเจาะคอนกรีต ตามมาตรฐาน NDIS 3419 แล้วนำมาวิเคราะห์หาความลึกของการเกิดคาร์บอเนชัน

3) ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ในกรณีที่ใช้วิธีเก็บตัวอย่างโดยการเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีต ทดสอบความลึกคาร์บอเนชันโดยฉีดพ่นสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนลงบนผิวหน้าคอนกรีตที่ผ่าซีก แล้วจึงวัดระยะจากผิวของคอนกรีตเข้าไปจนถึงแนวแบ่งแยกระหว่างส่วนที่เป็นสีใสและสีม่วงแดง (ความลึกคาร์บอเนชัน) แล้วบันทึกข้อมูลค่าความลึกคาร์บอเนชัน

ในกรณีที่ใช้วิธีเก็บฝุ่นผงคอนกรีตที่ได้จากการเจาะคอนกรีต ทดสอบความลึกคาร์บอเนชันโดยการใช้สว่านเจาะรูคอนกรีต โดยให้ผงคอนกรีตจากการเจาะตกลงบนกระดาษกรองที่ชุบสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน พร้อมทั้งหมุนกระดาษกรองให้ผงคอนกรีตตกลงตรงตำแหน่งที่ยังไม่มีผงคอนกรีตบนกระดาษกรอง หยุดเจาะเมื่อผงคอนกรีตที่ตกบนกระดาษกรองเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง ซึ่งความลึกของการเจาะในขณะนั้นจะเท่ากับความลึกของการเกิดคาร์บอเนชัน แล้วบันทึกข้อมูลค่าความลึกคาร์บอเนชัน

3.2.2 เกณฑ์การประเมินการเริ่มเกิดสนิมจากคาร์บอเนชัน

ประเมินโดยใช้เกณฑ์ที่ว่าหากความลึกคาร์บอเนชันไปถึงตำแหน่งเหล็กเสริม หรือค่าความลึกคาร์บอเนชันเท่ากับระยะหุ้ม จะทำให้เหล็กเสริมเริ่มเกิดสนิมได้

3.3 การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม

ปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม หรือ Alkali-Aggregate Reaction (AAR) เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างด่างในสารละลายในช่องว่างของคอนกรีต (pore solution) กับแร่ธาตุบางชนิดในมวลรวมที่สามารถทำปฏิกิริยากับด่างได้ และเกิดผลผลิตเป็นเจล ซึ่งเจลนี้มีคุณสมบัติในการขยายตัวเมื่อมีความชื้น จนทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ โดยการเกิดแรงดึงขึ้นบริเวณเนื้อคอนกรีตที่อยู่รอบ ๆ บริเวณที่ขยายตัว หรือโดยการขยายตัวที่ไม่เท่ากันในมวลคอนกรีต ในกรณีที่มีความรุนแรง การขยายตัวของคอนกรีตเนื่องจาก AAR อาจทำให้เหล็กเสริมคลาก หรือขาดได้ ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวมนั้นมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ธาตุในมวลรวมที่ทำปฏิกิริยา ที่พบบ่อยได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างและแร่ซิลิกาในมวลรวม หรือ Alkali-Silica Reaction (ASR)

การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม นอกจากการตรวจพินิจเพื่อตรวจสอบลักษณะของรอยร้าวแล้ว ควรตรวจสอบแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวมตามมาตรฐาน ASTM ซึ่งมีอยู่หลายวิธี ทั้งวิธีที่ทดสอบเฉพาะกับมวลรวมอย่างเดียว เช่น ASTM C289 และ ASTM C295 และการทดสอบมวลรวมร่วมกับวัสดุประสาน โดยการหล่อเป็นแท่งมอร์ตาร์หรือคอนกรีต แล้ววัดการขยายตัว เช่น ASTM C1260 ASTM C1567 ASTM C227 และ ASTM C1293 หรือการตรวจสอบความเสียหาย

และผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวมในคอนกรีต เช่น ซิลิกาเจล (Silica gel) ตามมาตรฐาน ASTM C856 โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) ประเภทต่างๆ หรือการตรวจสอบด้วยสารยูเรนิลอะซิเตท (Uranyl Acetate)

นอกจากนี้ ควรทดสอบการขยายตัวคงเหลือของคอนกรีต (residual expansion) ซึ่งประยุกต์การทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C1293 เพื่อประเมินโอกาสในการขยายตัวเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวมที่จะมีผลต่อความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตในอนาคต ซึ่งรายละเอียดการตรวจสอบแบบต่าง ๆ มีดังนี้

3.3.1 การตรวจสอบแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาของมวลรวมตามวิธี ASTM C289 : Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method)

เป็นการทดสอบความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา ASR ของมวลรวมหยาบ โดยจะทำการทดสอบโดยตรงกับมวลรวมหยาบที่สกัดออกมาจากแท่งคอนกรีตที่ได้จากการเจาะเก็บแท่งตัวอย่าง (coring) โดยมีวิธีการ ดังนี้

1) วิธีทดสอบ

ในการทดสอบจะบดมวลรวมหยาบที่ทดสอบให้มีขนาดอนุภาคระหว่าง 150-300 ไมครอน แล้วเก็บตัวอย่างปริมาณ 25 กรัม เพื่อนำมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 1 โมล ปริมาตร 25 มล. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำสารละลายไปกรอง แล้วนำสารละลายนั้นมาวิเคราะห์หาปริมาณซิลิกาที่ละลายอยู่ในสารละลายและปริมาณไฮดรอกซิลอิออน (OH^-) ที่ลดลง ซึ่งปริมาณซิลิกาที่ละลายอยู่ในสารละลายสามารถวิเคราะห์โดยวิธี Gravimetric Method หรือวิธี Photometric Method และปริมาณไฮดรอกซิลอิออนที่ลดลง (OH^-) สามารถวิเคราะห์โดยวิธีไตรเตรท (Titration Method)

2) การประเมินผล

ตัวอย่างการประเมินการเกิดปฏิกิริยา ASR ของมวลรวมหยาบจากผลการวิเคราะห์ปริมาณซิลิกาที่อยู่ในสารละลายและปริมาณความเป็นด่างที่ลดลง (OH^-) แสดงอยู่ในรูปที่ 6 ซึ่งสามารถประเมินการเกิดปฏิกิริยา ASR ของมวลรวมหยาบได้ดังนี้

- ถ้าค่าปริมาณซิลิกาในสารละลายและความเป็นด่างที่ลดลงของมวลรวมที่ได้ อยู่เหนือเส้นทึบ สามารถบ่งชี้ว่ามวลรวมนั้นไม่มีแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยา ASR

- ถ้าค่าปริมาณซิลิกาในสารละลายและความเป็นด่างที่ลดลงของมวลรวมที่ได้ อยู่ใต้เส้นทึบแต่อยู่เหนือเส้นประ สามารถบ่งชี้ว่ามวลรวมนั้นมีแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยา ASR

- ถ้าค่าปริมาณซิลิกาในสารละลายและความเป็นด่างที่ลดลงของมวลรวมที่ได้ อยู่ใต้ทั้งเส้นทึบและเส้นประ สามารถบ่งชี้ว่ามวลรวมนั้นมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา ASR

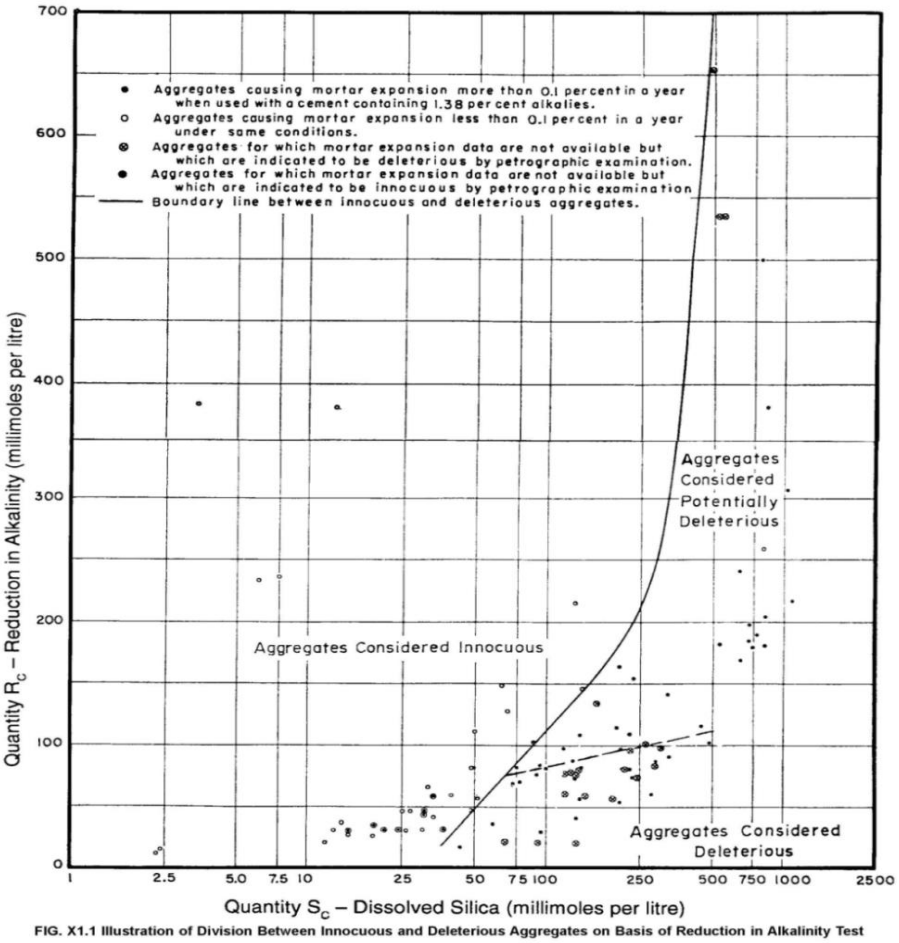


FIG. X1.1 Illustration of Division Between Innocuous and Deleterious Aggregates on Basis of Reduction in Alkalinity Test

รูปที่ 6 ตัวอย่างการประเมินแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยา AAR ของมวลรวมหยาบจากปริมาณซิลิกาในสารละลายและความเป็นด่างที่ลดลง (ASTM C289)

3) ข้อเด่นและข้อด้อย

ใช้เวลาในการทดสอบสั้นกว่าวิธีอื่น แต่อาจให้ผลการทดสอบที่ไม่ค่อยน่าเชื่อถือ เนื่องจากมวลรวมบางชนิด มีปริมาณซิลิกาสูง แต่ก็มีการขยายตัวที่ต่ำ ทั้งนี้ จึงควรทำการทดสอบการขยายตัวโดยวิธีการทดสอบอื่นร่วมด้วย

3.3.2 การตรวจสอบแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาของมวลรวมตามวิธี ASTM C295 : Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete

เป็นการทดสอบเพื่อหาคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของมวลรวม รวมถึงการตรวจสอบชนิดและองค์ประกอบแร่ที่มีอยู่ในมวลรวมที่อาจทำให้เกิดปฏิกิริยา ASR โดยมีวิธีการ ดังนี้

1) วิธีทดสอบ

การทดสอบทำได้หลายวิธี ตั้งแต่การดูด้วยตาเปล่าหรือใช้กล้อง Microscope รวมถึงการวิเคราะห์ด้วย X-ray Diffraction (XRD) Analysis, Differential Thermal Analysis (DTA),

Infrared Spectroscopy, Scanning Electron Microscopy (SEM) และ Energy Dispersive X-ray Analysis (EDX) เป็นต้น

2) การประเมินผล

การประเมินต้องอาศัยทักษะและประสบการณ์ของผู้ประเมินเท่านั้น ไม่สามารถประเมินในเชิงปริมาณได้อย่างชัดเจน

3) ข้อเด่นและข้อด้อย

ใช้เวลาในการทดสอบไม่นาน แต่บางการทดสอบมีความยุ่งยากและซับซ้อนในการเตรียมตัวอย่างและการใช้เครื่องมือ มีค่าใช้จ่ายสูง และในการวิเคราะห์ผลต้องอาศัยความรู้ ความเชี่ยวชาญด้านธรณีวิทยา

3.3.3 การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวมตามวิธี ASTM C1260 : Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)

เป็นการทดสอบแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยา ASR ของมวลรวมหยาบในแท่งมอร์ตาร์ โดยใช้วิธีการวัดการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ ที่อยู่ในสภาวะที่ช่วยเร่งปฏิกิริยา ASR

1) วิธีทดสอบ

ในการทดสอบจะต้องทำการแยกมวลรวมหยาบออกมาจากคอนกรีตที่ได้จากการเจาะเก็บแท่งตัวอย่าง (Coring) แล้วนำมวลรวมหยาบมาบดและคัดขนาดให้ได้ขนาดและปริมาณดังแสดงในตารางที่ 9 จากนั้นนำมวลรวมหยาบที่ทำการจัดขนาดคละแล้วไปใช้ในการหล่อแท่งมอร์ตาร์ขนาด 25x25x285 มม. โดยใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วนต่อมวลรวมหยาบที่คัดขนาดแล้ว 2.25 ส่วน จากนั้นทำการแกะแบบหล่อที่อายุ 1 วัน และวัดความยาวเริ่มต้น แล้วนำแท่งตัวอย่างไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้ววัดค่าความยาวเริ่มต้น (zero reading) หลังจากนั้น แช่แท่งตัวอย่างในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 โมล ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และวัดความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นระยะ ๆ เป็นระยะเวลา 14 วันโดยใช้เครื่องวัดความยาว (length comparator) (รูปที่ 7) แล้วคำนวณค่าการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์เป็นร้อยละเทียบกับความยาวเริ่มต้น

2) เกณฑ์การประเมิณผล

- หากค่าการขยายตัวที่อายุ 16 วัน น้อยกว่า 0.1% ไม่มีแนวโน้มการเกิด ASR
- หากค่าการขยายตัวที่อายุ 16 วัน 0.1% ถึง 0.2% ยังไม่สามารถสรุปได้ ควรทดสอบจนถึงอายุ 28 วัน
- หากค่าการขยายตัวที่อายุ 16 วัน มากกว่า 0.2% มีแนวโน้มการเกิด ASR

3) ข้อเด่นและข้อด้อย

ใช้เวลาในการทดสอบ 16 วัน ซึ่งค่อนข้างเร็วมากเมื่อเทียบกับการทดสอบแบบ ASTM C227 วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะกับการทดสอบมวลรวมที่ทำปฏิกิริยาช้าและมีอัตราการขยายตัวต่ำ

รูปที่ 7 แท่งมอร์ตาร์และเครื่องมือวัดความยาวของแท่งตัวอย่างทดสอบ (length comparator)

ตารางที่ 9 ขนาดคละของมวลรวมที่ใช้ในการทดสอบตามวิธี ASTM C1260

Sieve Size		Mass, %
Passing	Retained on	
4.75 mm (No. 4)	42.36 mm (No. 8)	10
2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	25
1.18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

3.3.4 การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวมตามวิธี ASTM C227 : Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)

เป็นการทดสอบแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยา ASR ของมวลรวมโดยการทดสอบในแท่งมอร์ตาร์ โดยมีวิธีการ ดังนี้

1) วิธีทดสอบ

ใช้วิธีการวัดการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ ในการทดสอบจะทำการเตรียมตัวอย่างทดสอบคล้ายกับการทดสอบตาม ASTM C1260 แล้วนำแท่งตัวอย่างทดสอบไปวางเหนือน้ำที่มีอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ในภาชนะปิดที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง แล้วทำการวัดความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นระยะ ๆ โดยใช้เครื่องวัดความยาว (length comparator) แล้วคำนวณค่าการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ ที่ระยะเวลา 14 วัน และที่อายุ 1 2 3 4 6 และ 12 เดือน และหากจำเป็น หลังจากนี้ควรทำการวัดการขยายตัวทุก 6 เดือน

2) เกณฑ์การประเมินผล

มวลรวมจะมีแนวโน้มการเกิด ASR เมื่อค่าการขยายตัว มากกว่า 0.1% ภายในระยะเวลา 6 เดือน หรือ มากกว่า 0.05% ภายในระยะเวลา 3 เดือน

3) ข้อเด่นและข้อด้อย

ใช้เวลาในการทดสอบนาน และแท่งตัวอย่างอาจมีการขยายตัวไม่มากนัก และเป็นไปได้ว่าการขยายตัวนั้นอาจจะไม่ได้เกิดจาก ASR เพียงอย่างเดียว แต่อาจรวมการขยายตัวเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของ SO_3 และ MgO ที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์หรือวัสดุประสานอื่นด้วย เป็นต้น

3.3.5 การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวมตามวิธี ASTM C1293 : Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete due Toa-Silica Reaction

เป็นการทดสอบการขยายตัวของแท่งคอนกรีตเนื่องจากการเกิด ASR

1) วิธีทดสอบ

ทำการทดสอบกับแท่งคอนกรีตขนาด 75x75x285 มม. ซึ่งจะมีการเติม NaOH ในน้ำขณะผสมคอนกรีตเพื่อเพิ่มปริมาณด่างในส่วนผสม แล้วทำการทดสอบคล้ายกับการทดสอบตาม ASTM C227 โดยนำแท่งตัวอย่างทดสอบไปวางเหนือน้ำที่มีอุณหภูมิ 38 ºC ในภาชนะปิดที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง แล้วทำการวัดความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นระยะๆ โดยใช้เครื่องวัดความยาวแล้วคำนวณค่าการขยายตัวของแท่งคอนกรีต ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน และที่อายุ 3 6 และ 12 เดือน และหากจำเป็น หลังจากนี้ควรทำการวัดการขยายตัวทุก 6 เดือน

2) เกณฑ์การประเมินผล

มวลรวมจะมีแนวโน้มการเกิด ASR เมื่อค่าการขยายตัว มากกว่า 0.04% ภายในระยะเวลา 1 ปี

3) ข้อเด่นและข้อด้อย

เนื่องจากผลการทดสอบจะใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ใช้งานจริงมากที่สุด จึงเป็นวิธีที่ควรทำการทดสอบ แต่ก็ใช้ระยะเวลาในการทดสอบนานถึงจะเห็นผลชัดเจน

3.3.6 การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวมตามวิธี ASTM C1567: Standard Test Method for Determining the Potential Alkali-Silica Reactivity of Combinations of Cementitious Materials and Aggregate (Accelerated Mortar-Bar Method)

เป็นการทดสอบแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยา ASR ของส่วนผสมที่มีการใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ร่วมด้วย โดยมีวิธีการ ดังนี้

1) วิธีทดสอบ

ใช้วิธีการวัดการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ ที่อยู่ในสภาวะที่ช่วยเร่งปฏิกิริยา ASR เช่นเดียวกับการทดสอบตาม ASTM 1260 แต่จะแตกต่างกันที่วิธีนี้จะมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ด้วย เช่น เถ้าลอย ในอัตราส่วนตามที่ต้องการจะทดสอบ

2) เกณฑ์การประเมินผล

จะพิจารณาว่าวัสดุผสมปูนซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับมวลรวมมีแนวโน้มการเกิด ASR เมื่อค่าการขยายตัวที่อายุ 16 วัน มากกว่า 0.1%

3) ข้อเด่นและข้อด้อย

ใช้เวลาในการทดสอบที่ไม่ยาวนานมาก คือ 16 วัน เป็นวิธีที่ใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพการลดการขยายตัวเนื่องจาก ASR ของวัสดุประสานที่มีการใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ด้วย เช่น เถ้าลอย และตะกรันเตาถลุงเหล็ก (slag)

3.3.7 การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวมตามวิธี ASTM C856 : Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete

เป็นการวิเคราะห์สภาพความเสียหายของคอนกรีตโดยการใช้ตาเปล่า ซึ่งวิธี petrographic methods จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์การเกิด ASR ได้ด้วยการตรวจสอบหาผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวม (ASR gel) ที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ซึ่งส่วนมากจะพบ ASR gel บริเวณรอบ ๆ มวลรวม ในช่องว่าง และในรอยแตกร้าวของเพสต์และมวลรวม โดยมีวิธีการ ดังนี้

1) วิธีทดสอบ

วิธีการตรวจสอบนั้นสามารถทำได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า และการส่องด้วยกล้อง Microscope ที่มีกำลังขยายสูงแบบต่างๆ รวมไปถึงการวิเคราะห์ด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือต่าง ๆ นั้น ก็จะต้องมีการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างก่อน ทำการทดสอบให้เหมาะสมกับเครื่องมือที่ใช้ทดสอบด้วย รูปที่ 8 เป็นตัวอย่างการวิเคราะห์ด้วย SEM โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพแบบ Backscattered electron image (BSE) ของคอนกรีตที่เกิดความเสียหายจากปฏิกิริยา ASR ซึ่งสามารถสังเกตเห็นรอยแตกร้าวในคอนกรีตและผลิตผลจากปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวมอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างอนุภาคของมวลรวมหยาบและเนื้อมอร์ตาร์

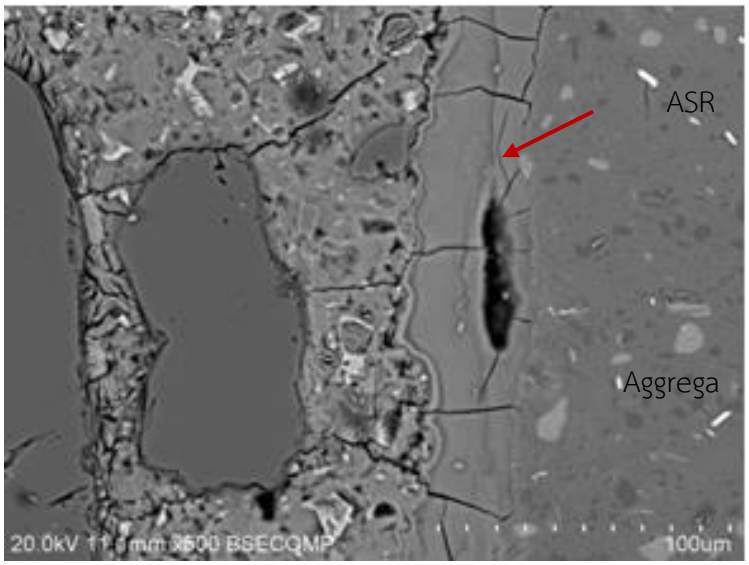
นอกจากนี้ การวิเคราะห์ด้วย SEM ร่วมกับ EDX (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) สามารถใช้ตรวจหาผลผลิตจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวมที่เกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีตได้ โดยทั่วไปจะเกิดเป็น Silica gel หรือผลึก (Crystalline ASR product) โดย EDX จะใช้เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของ Silica gel หรือผลึก (Crystalline ASR product) ที่เกิดขึ้นจากการเกิด ASR ซึ่งจะพบได้ว่ามีปริมาณของธาตุ Si Na และ K ค่อนข้างสูง และธาตุ Si มีปริมาณมากกว่า Ca ซึ่งแตกต่างกับผลผลิตจากปฏิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ เช่น C-S-H gel ที่มี Ca สูงกว่า Si ดังแสดงในรูปที่ 9

2) การประเมินผล

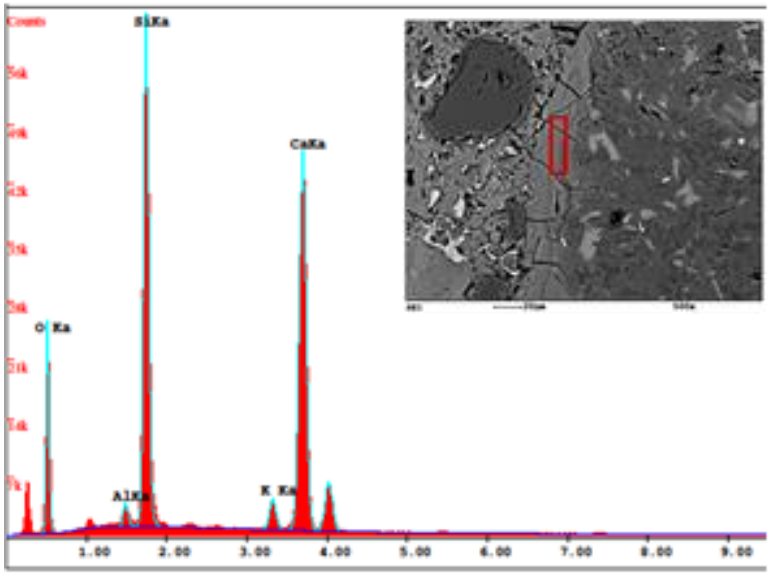
การประเมินต้องอาศัยทักษะและประสบการณ์ของผู้ประเมินเท่านั้น มักใช้ประเมินผลในเชิงเปรียบเทียบการประเมินในเชิงปริมาณทำได้ไม่ง่าย

3) ข้อเด่นและข้อด้อย

เป็นวิธีที่ยืนยันการเกิด ASR ได้อย่างชัดเจน แต่การทดสอบมีความยุ่งยากและซับซ้อนในการเตรียมตัวอย่างและการใช้เครื่องมือ มีค่าใช้จ่ายสูง และในการวิเคราะห์ผลต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญ การประเมินผลในเชิงปริมาณทำได้ไม่ง่าย อาจสามารถทำได้ในเชิงเปรียบเทียบ



รูปที่ 8 ตัวอย่างภาพถ่ายแบบ BSE (Backscattered electron image) ของคอนกรีตที่เกิดความเสียหายจาก ASR



รูปที่ 9 ตัวอย่างภาพถ่ายแบบ BSE (Backscattered electron image) ของคอนกรีตที่เกิดความเสียหายจาก ASR และผลการวิเคราะห์ด้วย EDX

3.3.8 การตรวจสอบด้วยการใช้สารยูเรนิลอะซิเตท (Uranyl Acetate) ตามวิธี ASTM C856 - ANNEX เป็นการตรวจสอบหา ASR gel ในเนื้อคอนกรีต โดยมีวิธีการ ดังนี้

1) วิธีทดสอบ

ใช้สารละลาย Uranyl Acetate ย้อมสีผิวคอนกรีตแล้วส่องภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต (UV) ส่วนที่เกิด ASR จะเรืองแสงภายใต้แสงแสงอัลตราไวโอเลต เป็นแสงสีเขียวเหลือง ซึ่งปกติจะพบบริเวณรอบ ๆ มวลรวมในช่องว่าง (void) และในรอยแตกร้าวของคอนกรีต

2) การประเมินผล

การประเมินต้องอาศัยทักษะและประสบการณ์ของผู้ตรวจสอบ

3) ข้อเด่นและข้อด้อย

สามารถทราบผลการตรวจสอบได้ทันที แต่ก็มีข้อจำกัด เช่น ส่วนที่เรืองแสงอาจจะไม่ได้เกิดจาก ASR ทั้งหมด เนื่องจากผลผลิตอื่นที่ไม่ใช่ ASR gel ก็สามารถเรืองแสงได้เช่นกัน เช่น Ettringite และคอนกรีตที่เกิดการคาร์บอเนต ดังนั้นควรจะมีการทดสอบด้วยวิธีอื่นเพิ่มเติมด้วย เช่นการวิเคราะห์ด้วย Petrographic Methods และการทดสอบการขยายตัวของคอนกรีต นอกจากนี้ Uranyl Acetate เป็นสารที่เป็นอันตราย จึงต้องมีความระมัดระวังในการใช้งาน

3.3.9 การทดสอบการขยายตัวคงเหลือของคอนกรีต (residual expansion of concrete)

เป็นการทดสอบการขยายตัวคงเหลือ (residual expansion) เนื่องจากปฏิกิริยา ASR ของแท่งตัวอย่างคอนกรีตจากโครงสร้าง โดยมีวิธีการ ดังนี้

1) วิธีทดสอบ

วิธีทดสอบประยุกต์จากการทดสอบตามวิธี ASTM 1293 ทั้งนี้ เพื่อเป็นการประเมินแนวโน้มการขยายตัวของคอนกรีตที่สามารถเกิดขึ้นได้ในอนาคต โดยทำการทดสอบการขยายตัวภายใต้สภาวะเร่งในห้องปฏิบัติการ โดยวางแท่งคอนกรีตที่ได้จากการเจาะเก็บตัวอย่างทดสอบ (cored sample) (รูปที่ 10) ไปวางเหนือน้ำที่มีอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ในภาชนะปิดที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง หรือในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส แล้วทำการวัดความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นระยะ ๆ โดยใช้เครื่องมือวัดความยาวแบบ contact gauge (รูปที่ 11) หรือถ้าตัวอย่างทดสอบมีความยาวมากพอ (285 มม.) ก็สามารถใช้เครื่องวัดความยาวแบบ Length Comparator ได้เช่นกัน ซึ่งในการวัดด้วยวิธีนี้ ต้องมีการติดหมุดบริเวณหัวและท้ายของแท่งตัวอย่างคอนกรีตให้ได้ระนาบเดียวกันเพื่อให้สามารถใช้วัดกับเครื่อง Length Comparator แล้วคำนวณค่าการขยายตัวของแท่งคอนกรีตเป็นร้อยละเทียบกับความยาวเริ่มต้น

2) การประเมินผล

ข้อมูลการขยายตัวที่เหลืออยู่จะใช้ในการประเมินผลของการขยายตัวที่เหลือต่อสมรรถนะขององค์อาคารและโครงสร้างนั้นในอนาคต การประเมินต้องอาศัยการวิเคราะห์เชิงโครงสร้างประกอบด้วย

3) ข้อเด่นและข้อด้อย

สามารถใช้ในการประเมินแนวโน้มการขยายตัวของคอนกรีตที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต แต่ยังไม่สามารถบอกได้ว่าคอนกรีตเกิดการขยายตัวมาแล้วมากน้อยเพียงใดในอดีต

รูปที่ 10 ตัวอย่างแท่งทดสอบที่เจาะมาจากโครงสร้างจริง

รูปที่ 11 เครื่องมือวัดความยาวแบบ Contact gauge

ส่วนที่ 4 การเผชิญกับอุณหภูมิสูงและไฟไหม้

ความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากการเผชิญกับอุณหภูมิสูง สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่

1) อุณหภูมิในช่วงที่ไม่ก่อให้เกิดการกลายเป็นไอของน้ำในคอนกรีต (ไม่เกิน 100ºC) เช่น คอนกรีตหลาการเผชิญวัฏจักรอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามเนื่องจากการกระจายตัวของอุณหภูมิในชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการยืดรั้งและหน่วยแรงขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง ก่อให้เกิดการแตกร้าวของคอนกรีตได้ในบริเวณที่มีหน่วยแรงดึงสูง

2) อุณหภูมิในช่วงที่ไม่ก่อให้เกิดการสลายตัวของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ จะไม่มีผลกระทบกับกำลังและสมบัติทางกลของคอนกรีต แต่อาจเกิดการแตกร้าว หรือระเบิด ของผิวคอนกรีต (ไม่เกิน 290ºC) หากคอนกรีตมีความทึบน้ำมาก เช่น โครงสร้างที่เผชิญไฟไหม้ในระยะสั้น ทำให้น้ำในเนื้อคอนกรีตเกิดการระเหยกลายเป็นไอที่ระบายออกมาข้างนอกไม่ได้ จึงสร้างแรงดันในบริเวณใกล้ผิวหน้าคอนกรีตจนเกิดการแตกร้าว หรือระเบิดออกได้

3) อุณหภูมิในช่วงที่เกิดการสลายตัวของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ และมีผลกระทบกับกำลังและสมบัติทางกลของคอนกรีต (เกิน 290ºC) ไฟไหม้ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของคอนกรีตและเหล็กเสริม และเกิดการสลายตัวของผลิตภัณฑ์บางชนิดในคอนกรีตจากการถูกเผาไหม้ ซึ่งส่งผลต่อการลดลงของกำลังและสมบัติทางกลของวัสดุ และกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง

การตรวจสอบโครงสร้างที่เผชิญอุณหภูมิสูง ควรตรวจสอบลักษณะของรอยร้าว เช่นรูปแบบ ตำแหน่ง ความกว้าง ความลึก ความยาว การขยายตัวของรอยร้าว ความสม่ำเสมอของระดับผิวรอยร้าว และลักษณะโดยรอบรอยร้าวตามรายละเอียดในมยผ. 1501-51

การตรวจสอบโครงสร้างที่เผชิญอุณหภูมิสูง ควรตรวจสอบอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นส่วนโครงสร้างจริง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันของอุณหภูมิที่ผิวของโครงสร้าง ช่วงอุณหภูมิที่โครงสร้างต้องเผชิญเพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิในชิ้นส่วนโครงสร้าง และหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากการยืดรั้งภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง

การตรวจสอบโครงสร้างที่เกิดอัคคีภัยควรตรวจสอบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ ได้แก่ ต้นเพลิง ระยะเวลาการเกิดอัคคีภัย ชนิดของเชื้อเพลิง ลักษณะของอาคารบริเวณที่ถูกเพลิงไหม้ เพื่อประกอบการประเมินอุณหภูมิที่โครงสร้างต้องเผชิญ ดังแสดงในตารางที่ 10

การตรวจสอบสภาพโครงสร้าง ได้แก่ การตรวจสอบการหลอมเหลว หรือการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของวัสดุต่าง ๆ ในโครงสร้าง และการตรวจสอบสภาพความเสียหายของโครงสร้าง

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

ลักษณะความเสียหายของโครงสร้างที่ถูกไฟไหม้ที่มักพบ เช่น การเปลี่ยนสีของคอนกรีตเมื่อเผชิญอุณหภูมิสูง การแยกชั้นของคอนกรีตผิวหน้าหรือวัสดุปิดผิว การระเบิดออกของผิวหน้าคอนกรีตเนื่องจากแรงดันไอน้ำ การแอ่นตัว การเสียรูป หรือแตกร้าวของชิ้นส่วนโครงสร้างเนื่องจากสูญเสียกำลังของวัสดุ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

การตรวจสอบความลึกของการเสื่อมสภาพของผิวหน้าคอนกรีตเนื่องจากอุณหภูมิสูงสามารถตรวจสอบได้จากการวัดความเร็วคลื่นอัลตร้าโซนิกตามรายละเอียดในมยผ. 1504-51

ในบางกรณีการแยกชั้นของคอนกรีตบริเวณผิวหน้าก่อนที่จะเกิดการหลุดร่อนสามารถตรวจพบได้จาก การตรวจสอบความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณผิวของคอนกรีตด้วยกล้องอินฟราเรด หรือการตรวจสอบด้วยการเคาะฟังเสียง

การตรวจสอบระยะหุ้มคอนกรีตสามารถใช้ประเมินอุณหภูมิที่เหล็กเสริมต้องเผชิญได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาการถูกไฟไหม้ และระยะหุ้มคอนกรีต

การเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตเพื่อประเมินกำลังอัดของคอนกรีตที่ลดลงเนื่องจากเผชิญกับอุณหภูมิสูง รวมทั้งความลึกของคอนกรีตที่เกิดการเสื่อมสภาพด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เช่น วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามความลึก เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะสลายตัวเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงเกินกว่า 420°C โดยประมาณ การตรวจสอบอาจพิจารณาเปรียบเทียบตัวอย่างที่เก็บในบริเวณที่เกิดไฟไหม้ และบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากไฟไหม้

การตรวจสอบสมบัติทางกลของเหล็กเสริมโดยการตัดชิ้นตัวอย่าง สามารถทำได้ดังแสดงรายละเอียดใน ASTM C496

การประเมินกำลังดึงของเหล็กเสริมด้วยการทดสอบ Hardness value สามารถอ้างอิงวิธีการตาม ASTM A370 โดยในการทดสอบควรคำนึงถึงความแข็งของผิวเหล็กเสริมที่จะแตกต่างกันตามกระบวนการผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (heat treatment) ของเหล็กเสริม อย่างไรก็ตามการทดสอบ Hardness value เหมาะสำหรับการตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบความสม่ำเสมอของสมบัติเหล็กเสริมในบริเวณต่าง ๆ กัน เช่น ใช้ในการประเมินว่าเหล็กเสริมในบริเวณที่ถูกไฟไหม้มีค่า Hardness value ต่างไปจากเหล็กเสริมในบริเวณที่ไม่ถูกไฟไหม้หรือไม่

กำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างสามารถตรวจสอบได้โดยการตรวจสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างตาม ACI 318

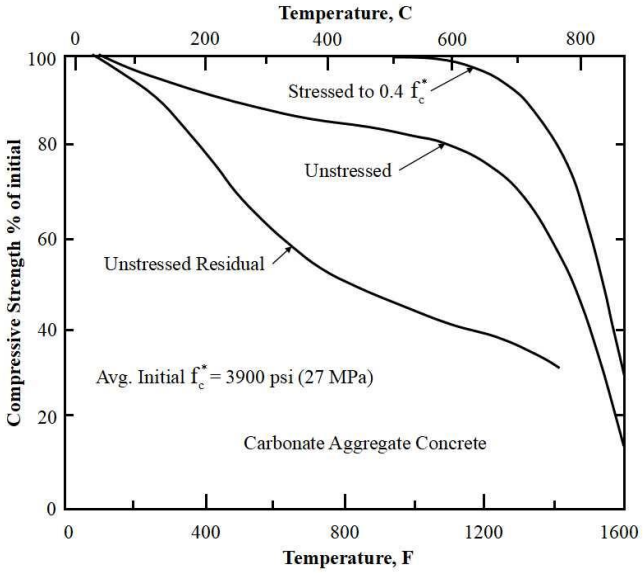
ตารางที่ 10 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของวัสดุแต่ละชนิด (FIB No.46)

ชนิดของวัสดุ	ตัวอย่าง	ลักษณะการเปลี่ยนแปลง	อุณหภูมิที่เผชิญ โดยประมาณ (°C)
พอลิสไตรีน	กล่องโฟม, ฝาครอบโคมไฟ, 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 ไหม้เกรียม	100 150 200 400 – 500
เซลลูโลส	ไม้, กระดาษ, สำลี	เปลี่ยนเป็นสีเข้มหรือดำ	200 – 300
รอยบัดกรี	รอยต่อของท่อน้ำ	หลอมเหลว	250
ตะกั่ว	ท่อน้ำ, อุปกรณ์ห้องน้ำ, ของเล่น	หลอมเหลว ย้อยตัว ขอบที่มีความคมเปลี่ยนเป็นกลมมน	300 – 350

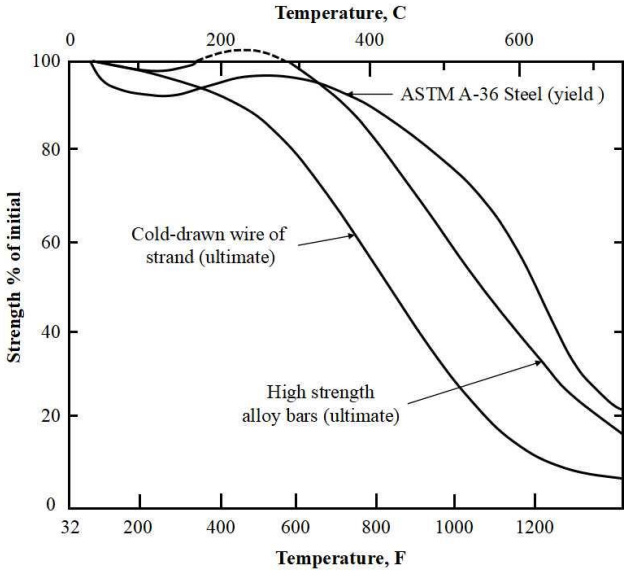
ตารางที่ 10 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของวัสดุแต่ละชนิด (FIB No.46) (ต่อ)

ชนิดของวัสดุ	ตัวอย่าง	ลักษณะการเปลี่ยนแปลง	อุณหภูมิที่เผชิญโดยประมาณ (°C)
อลูมิเนียม และโลหะผสมเบา	อุปกรณ์จับยึดต่างๆ, ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า	อ่อนตัว หลอมเหลว ย้อยตัว	400 650
กระจก	วัสดุตกแต่ง, ขวดแก้ว	อ่อนตัว ขอบที่มีความคม เปลี่ยนเป็นกลมมน ไหลตัว	500 – 600 800
โลหะเงิน	เครื่องประดับ, ช้อนส้อม	หลอมเหลว ย้อยตัว	 950
ทองเหลือง	กลอนประตู, ท่อน้ำประปา, ลูกบิด	หลอมเหลว ย้อยตัว	 900 - 1000

การประเมินความรุนแรงของการเสื่อมสภาพของโครงสร้างเนื่องจากไฟไหม้ จำเป็นต้องประเมินอุณหภูมิสูงสุดที่โครงสร้างเผชิญ เนื่องจากสมบัติทางกลของคอนกรีต และเหล็กเสริมจะลดลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 12 และรูปที่ 13



รูปที่ 12 การลดลงของกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประเภทคาร์บอเนตเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น (ACI 216)



รูปที่ 13 การลดลงของกำลังดึงของเหล็กเสริมเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น (ACI 216)

ข้อมูลการหลอมเหลว หรือการเปลี่ยนคุณลักษณะของวัสดุต่าง ๆ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของโครงสร้าง สามารถใช้ประเมินอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้น ณ ชิ้นส่วนโครงสร้างใกล้เคียงได้

รูปที่ 12 แสดงค่าที่ลดลงของกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประเภทคาร์บอเนตเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นของคอนกรีตเมื่อเผชิญอุณหภูมิสูงจะมีการเปลี่ยนสี การเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตตามแนวตั้งฉากกับผิวคอนกรีตที่เผชิญอุณหภูมิสูงจะช่วยให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของสีคอนกรีตตามความลึกได้ชัดเจนมากขึ้น

จากผลการตรวจสอบการเคาะบริเวณผิวชิ้นส่วนโครงสร้างเพื่อฟังเสียง สามารถประเมินพื้นที่เสียหายที่มีโอกาสเกิดการหลุดร่อนและร่วงหล่นของผิวคอนกรีต เพื่อกำหนดขอบเขตของการบำรุงรักษา

การประเมินความลึกของคอนกรีตที่เกิดการเสื่อมสภาพ เพื่อกำหนดขอบเขตการบำรุงรักษา สามารถประเมินได้จากผลการตรวจสอบสีที่เปลี่ยนแปลง ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียม ไฮดรอกไซด์ ผลการทดสอบกำลังอัดของแท่งเจาะตัวอย่างคอนกรีต

ในกรณีที่ตรวจพบการเคลื่อนตัว การแอ่นตัว หรือการแตกร้าวของโครงสร้าง ต้องประเมินความเครียดและการคลากของเหล็กเสริมประกอบด้วย เนื่องจากพฤติกรรมที่กล่าวมามีผลต่อการออกแบบ และวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อการบำรุงรักษา หรือเสริมกำลังต่อไป

ตารางที่ 11 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	การหลุดร่อนและร่วงหล่นของผิวหน้า	กำลังลดลงอย่างมีนัยสำคัญ
900		การกลายเป็นฝุ่นผง	
มากกว่า 950	สีน้ำตาลอมเหลือง (Buff)	การร่วงหล่นของผิวหน้าเป็นบริเวณกว้าง	

ส่วนที่ 5 เกณฑ์การประเมินระดับความเสียหาย

การประเมินระดับความเสียหายของโครงสร้างที่ได้รับความเสียหายหรือเสื่อมสภาพมีจุดประสงค์เพื่อจัดระดับความรุนแรงของความเสียหายของโครงสร้างที่อาจเกิดจากน้ำหนักบรรทุก หรือจากการทำลายของสิ่งแวดล้อม หรือการเสื่อมสภาพในลักษณะอื่น ๆ เพื่อประโยชน์ในการพิจารณาวิธีการและแผนการบำรุงรักษา การซ่อมแซม และการเสริมกำลัง ตลอดจนประเมินค่าใช้จ่าย หรือวางแผนงบประมาณที่เกี่ยวข้อง สำหรับคู่มือนี้จะกำหนดเกณฑ์แนะนำในการแบ่งระดับความเสียหายออกเป็น 5 ระดับ โดยขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของความเสียหายหรือเสื่อมสภาพโดยระบุการดำเนินการที่ควรปฏิบัติในแต่ละระดับความเสียหาย เพื่อประโยชน์ในการพิจารณาวางแผนขั้นตอนการดำเนินงานต่อไป ตามรายละเอียดในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ระดับความเสียหายของโครงสร้างที่ได้รับความเสียหายหรือเสื่อมสภาพ

ระดับความเสียหาย	การดำเนินการ	เกณฑ์การตัดสิน
ระดับ 1	ตรวจสอบตามระยะเวลา	ยังไม่พบความเสียหาย และไม่พบสัญญาณของกระบวนการเสื่อมสภาพ
ระดับ 2	ดำเนินกระบวนการป้องกัน	ยังไม่พบความเสียหาย แต่ตรวจพบสัญญาณของกระบวนการเสื่อมสภาพ
ระดับ 3	ซ่อมแซมโดยไม่ต้องเสริมกำลัง	เกิดความเสียหายของโครงสร้าง แต่ประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกแล้ว ยังมีความปลอดภัยเพียงพอ
ระดับ 4	ซ่อมแซมแบบเสริมกำลัง	โครงสร้างสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกจนอาจเป็นอันตรายหากใช้งานต่อไปโดยไม่ได้รับการเสริมกำลัง การประเมินค่าซ่อมแซมและค่าเสียโอกาสอื่น ๆ แล้วคุ้มค่า เมื่อเปรียบเทียบกับการทุบทำลายแล้วสร้างใหม่
ระดับ 5	ทุบทำลาย และ สร้างใหม่	โครงสร้างสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกอย่างรุนแรง และเป็นอันตรายหากใช้งานต่อไปโดยไม่ได้รับการเสริมกำลัง แต่ประเมินค่าซ่อมแซมและค่าเสียโอกาสอื่นๆแล้วไม่คุ้มค่า เมื่อเปรียบเทียบกับการทุบทำลายแล้วสร้างใหม่

5.1 การแบ่งระดับความเสียหายสำหรับโครงสร้างที่เผชิญปัญหาเหล็กเสริมเกิดสนิมเนื่องจากคลอไรด์

ตัวอย่างการแบ่งระดับความเสียหายสำหรับโครงสร้างที่เผชิญปัญหาเหล็กเสริมเกิดสนิมเนื่องจากคลอไรด์แสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ระดับความเสียหายสำหรับโครงสร้างที่เผชิญปัญหาเหล็กเสริมเกิดสนิมเนื่องจากคลอไรด์

ระดับความเสียหาย	เกณฑ์ตัดสิน	วิธีการวิเคราะห์ ทดสอบ
ระดับ 1	ปริมาณคลอไรด์ที่บริเวณผิวเหล็กเสริมยังมีค่าต่ำกว่าค่าคลอไรด์วิกฤตตาม มยผ. 1332	เจาะผงตัวอย่างแล้ววิเคราะห์ทางเคมี (หัวข้อ 4 ในคู่มือนี้ หรือ ASTM C1152)
ระดับ 2	ปริมาณคลอไรด์ที่บริเวณผิวเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับหรือสูงกว่าค่าคลอไรด์วิกฤตตาม มยผ. 1332 แต่ค่าความเป็นไปได้ในการเกิดสนิมของเหล็กเสริมยังต่ำ เช่น ศักย์ไฟฟ้ากึ่งเซลล์ยังไม่ติดลบต่ำกว่า -350 mV	(1) เจาะผงตัวอย่างแล้ววิเคราะห์ทางเคมี (หัวข้อ 4 ในคู่มือนี้ หรือ ASTM C1152) (2) ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (ASTM C876 หรือ มยผ. 1506)
ระดับ 3	ค่าความเป็นไปได้ในการเกิดสนิมของเหล็กเสริมสูง เช่น ศักย์ไฟฟ้ากึ่งเซลล์ติดลบต่ำกว่า -350 mV เหล็กเสริมเกิดสนิมแล้วแต่ยังไม่ได้สูญเสียหน้าตัดจนเป็นปัญหาในการรับน้ำหนักบรรทุก อาจมีรอยแตกร้าว และ หลุดร่อนของผิวคอนกรีตบ้าง	(1) ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (ASTM C876 หรือ มยผ. 1506) (2) วิเคราะห์การรับน้ำหนักบรรทุก
ระดับ 4	เหล็กเสริมเกิดสนิม และสูญเสียหน้าตัดจนเป็นปัญหาในการรับน้ำหนักบรรทุก เกิดรอยแตกร้าว และ หลุดร่อนของผิวคอนกรีตค่อนข้างรุนแรง	วิเคราะห์การรับน้ำหนักบรรทุก และประเมินค่าซ่อมแซมและค่าเสียโอกาสอื่นๆ
ระดับ 5	เหล็กเสริมเกิดสนิม และสูญเสียหน้าตัดอย่างรุนแรงในบริเวณกว้าง จนเป็นอันตรายต่อการรับน้ำหนักบรรทุก เกิดรอยแตกร้าว และ หลุดร่อนของผิวคอนกรีตอย่างรุนแรง ประเมินค่าซ่อมแซมและค่าเสียโอกาสอื่น ๆ แล้วไม่คุ้มค่า เมื่อเปรียบเทียบกับการทุบทำลายแล้วสร้างใหม่	วิเคราะห์การรับน้ำหนักบรรทุก และประเมินค่าซ่อมแซมและค่าเสียโอกาสอื่นๆ

5.2 การแบ่งระดับความเสียหายสำหรับโครงสร้างที่เผชิญปัญหาเหล็กเสริมเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชัน

ตัวอย่างการแบ่งระดับความเสียหายสำหรับโครงสร้างที่มีปัญหาเหล็กเสริมเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชันแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ระดับความเสียหายสำหรับโครงสร้างที่เผชิญปัญหาเหล็กเสริมเกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอเนชัน

ระดับความเสียหาย	เกณฑ์ตัดสิน	วิธีการวิเคราะห์ ทดสอบ
ระดับ 1	ความลึกคาร์บอเนชันยังไม่ถึงบริเวณผิวเหล็กเสริม	เจาะผงตัวอย่างแล้ววิเคราะห์โดยสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (หัวข้อ 4 ในคู่มือนี้ หรือ JIS A1152 หรือ NDIS 3419)
ระดับ 2	ความลึกคาร์บอเนชันถึงบริเวณผิวเหล็กเสริมแล้ว	เจาะผงตัวอย่างแล้ววิเคราะห์โดยสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (หัวข้อ 4 ในคู่มือนี้ หรือ JIS A1152 หรือ NDIS 3419)
ระดับ 3	ความลึกคาร์บอเนชันถึงบริเวณผิวเหล็กเสริมแล้วและเริ่มสังเกตุเห็นสัญญานการกระเทาะของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมเกิดสนิมแล้วแต่ยังไม่ได้สูญเสียหน้าตัดจนเป็นปัญหาในการรับน้ำหนักบรรทุก อาจมีรอยแตกร้าว และ หลุดร่อนของผิวคอนกรีตบ้าง	(1) เจาะผงตัวอย่างแล้ววิเคราะห์โดยสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (หัวข้อ 4 ในคู่มือนี้ หรือ JIS A1152 หรือ NDIS 3419) (2) เคาะฟังเสียงการกะเทาะของคอนกรีตหุ้ม (3) วิเคราะห์การรับน้ำหนัก
ระดับ 4	เหล็กเสริมเกิดสนิม และสูญเสียหน้าตัดจนเป็นปัญหาในการรับน้ำหนักบรรทุก เกิดรอยแตกร้าว และ หลุดร่อนของผิวคอนกรีตค่อนข้างรุนแรง	วิเคราะห์การรับน้ำหนักบรรทุก และประเมินค่าซ่อมแซมและค่าเสียโอกาสอื่น ๆ
ระดับ 5	เหล็กเสริมเกิดสนิม และสูญเสียหน้าตัดอย่างรุนแรงในบริเวณกว้าง จนเป็นอันตรายต่อการรับน้ำหนักบรรทุก เกิดรอยแตกร้าว และ หลุดร่อนของผิวคอนกรีตอย่างรุนแรง ประเมินค่าซ่อมแซมแล้วไม่คุ้มค่า เมื่อเปรียบเทียบกับการทุบทำลายแล้วสร้างใหม่	วิเคราะห์การรับน้ำหนักบรรทุก และประเมินค่าซ่อมแซมและค่าเสียโอกาสอื่น ๆ

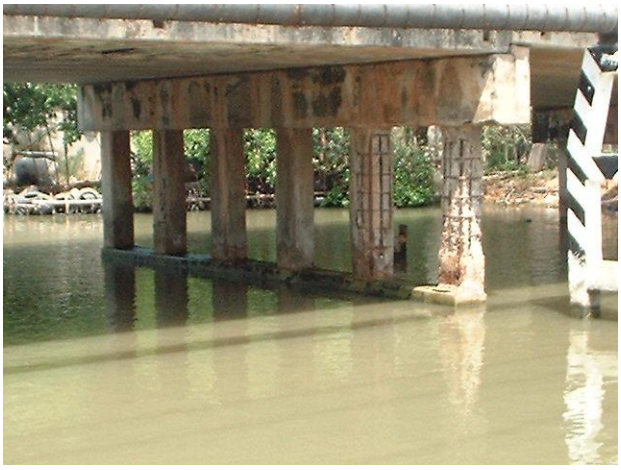
5.3 ตัวอย่างการแบ่งระดับความเสียหายสำหรับโครงสร้างที่เผชิญปัญหาเหล็กเสริม

ตัวอย่างโครงสร้างที่มีระดับความเสียหายเนื่องจากการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในระดับ 1 ถึง 5 แสดงในรูปที่ 14 ถึง 18 ตามลำดับ

รูปที่ 14 ตัวอย่างความเสียหายระดับ 1 (ความลึกคาร์บอเนชันยังเข้าไปไม่ถึงตำแหน่งเหล็กเสริม)

รูปที่ 15 ตัวอย่างความเสียหายระดับ 2 (ความลึกคาร์บอเนชันถึงตำแหน่งเหล็กเสริมแล้ว แต่ยังไม่ปรากฏความเสียหายที่ผิว)

รูปที่ 16 ตัวอย่างความเสียหายระดับ 3 (บริเวณเสาเกิดการกะเทาะของคอนกรีตหุ้มเนื่องจากการเป็นสนิมของเหล็กเสริม)



รูปที่ 17 ตัวอย่างความเสียหายระดับ 4 (เหล็กเสริมเกิดสนิมจนสูญเสียหน้าตัดบางส่วนจนเป็นปัญหาในการรับน้ำหนักบรรทุก เกิดรอยแตกร้าว และหลุดร่อนของผิวคอนกรีตค่อนข้างรุนแรง)

รูปที่ 18 ตัวอย่างความเสียหายระดับ 5 (เหล็กเสริมเกิดสนิม และสูญเสียหน้าตัดอย่างรุนแรงในบริเวณกว้าง จนเป็นอันตรายต่อการรับน้ำหนักบรรทุก เกิดรอยแตกร้าว และหลุดร่อนของผิวคอนกรีตอย่างรุนแรง ประเมินค่าซ่อมแซมแล้วไม่คุ้มค่า เมื่อเปรียบเทียบกับการหล่อเสาใหม่)

ส่วนที่ 6 การตรวจสอบโครงสร้างเหล็ก

การตรวจสอบต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งานอาคาร และผู้ตรวจสอบ รวมทั้งบุคคลอื่น ๆ ในบริเวณนั้น การตรวจสอบโครงสร้างสามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การตรวจสอบเบื้องต้น และการตรวจสอบโดยละเอียด

การตรวจสอบโครงสร้างควรดำเนินการเป็นระยะ ๆ ซึ่งกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบอาคารได้กำหนดให้มีการตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงของอาคารโดยผู้ตรวจสอบอาคารที่ขึ้นทะเบียนทุกระยะเวลาห้าปี และการตรวจสอบอาคารตามแผนการตรวจสอบอาคารประจำปี

6.1 การตรวจสอบเบื้องต้น

การตรวจสอบเบื้องต้นประกอบไปด้วย

1) การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเป้าหมาย ควรจะมีตรวจสอบเอกสารการออกแบบสำหรับก่อสร้าง และเอกสารการออกแบบสำหรับการซ่อมแซม และงานติดตั้งเพิ่มเติม (ถ้ามี) รวมไปถึงข้อกำหนดและมาตรฐานการออกแบบ เอกสารการคำนวณโครงสร้าง แบบรายละเอียดโครงสร้าง ข้อกำหนดการก่อสร้าง ข้อมูลการทดสอบวัสดุระหว่างการก่อสร้าง ประวัติการใช้งานและประวัติการบำรุงรักษาโครงสร้าง และผลของการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจ

2) การตรวจสอบสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบัน ควรจะตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องตามที่กล่าวไว้ในข้อ 1) และสภาพภายนอกที่ปรากฏ รวมไปถึงลักษณะภายนอกของพื้นที่และสภาพแวดล้อมโดยรอบของโครงสร้าง

สำหรับสมบัติของวัสดุให้พิจารณาจากเอกสารข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น แบบการก่อสร้าง ข้อกำหนดการก่อสร้าง หากไม่มีข้อมูลดังกล่าวให้ใช้ข้อมูลตามตารางที่แนะนำตามช่วงอายุการก่อสร้างอาคารนั้น ๆ

การตรวจสอบสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบันด้วยวิธีตรวจพินิจ ได้แก่ การตรวจสอบความสอดคล้องของลักษณะโครงสร้างจริง และข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง เช่น รูปแบบโครงสร้าง ตำแหน่ง จำนวน และขนาดชิ้นส่วนโครงสร้าง ลักษณะการใช้งานโครงสร้าง การตรวจสอบควรมีการบันทึกลักษณะทางกายภาพของโครงสร้าง รวมทั้งตำแหน่งการเกิดการเสื่อมสภาพ การถ่ายแรงในชิ้นส่วนโครงสร้างแต่ละชิ้นส่วน ข้อจำกัดอื่น ๆ ในการบำรุงรักษา เพื่อเป็นการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการประเมินและวิเคราะห์โครงสร้าง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบโครงสร้างในรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก) ลักษณะทางกายภาพของชิ้นส่วนโครงสร้าง ความเสียหาย และการเสื่อมสภาพ ตามตารางที่ 15

ข) ความมั่นคงแข็งแรงและปลอดภัยของการถ่ายแรงไปยังชิ้นส่วนโครงสร้างหลักในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง

ค) ข้อมูลเอกสารต่าง ๆ ที่จำเป็นในการประเมินค่ากำลังของวัสดุ และตัวคูณลดค่าต่าง ๆ ในขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้าง หรือการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเพิ่มเติม

ง) การเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนโครงสร้าง หรือตำแหน่งของชิ้นส่วนโครงสร้างที่ผิดไปจากปกติ ข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้อง เช่น ระยะห่างจากโครงสร้างข้างเคียง ข้อจำกัดในการพิจารณาวิธีการบำรุงรักษา การประเมินแรงต้านทานแผ่นดินไหวของโครงสร้าง สภาพของฐานรองรับชิ้นส่วนโครงสร้าง รูปแบบทางสถาปัตยกรรม

จ) การเปลี่ยนแปลงระบบของโครงสร้าง เช่น รูปแบบของจุดรองรับโครงสร้างแบบยึดรั้ง หรือไม่ยึดรั้ง

ฉ) ลักษณะการใช้งานโครงสร้างที่ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ในเอกสารการออกแบบโครงสร้าง

ช) การตรวจสอบต้องมีการคำนึงถึงผลของการเสื่อมสภาพของวัสดุต่อสมรรถนะของโครงสร้าง โดยหากไม่มีข้อมูลดังกล่าว จำเป็นต้องมีการตรวจสอบสมบัติของวัสดุของโครงสร้างจริงโดยละเอียดเพิ่มเติม เพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง

ในกรณีที่มีข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบโครงสร้างโดยละเอียดในขั้นตอนต่อไป

6.2 การตรวจสอบโดยละเอียด

ในกรณีที่การตรวจสอบเบื้องต้นให้ข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง จำเป็นต้องดำเนินการตรวจสอบโดยละเอียดเพิ่มเติม ได้แก่ การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม การตรวจสอบสมบัติของวัสดุที่เกิดการเสื่อมสภาพ และรายการการตรวจสอบโครงสร้างเหล็กในคู่มือการตรวจสอบโครงสร้างเหล็กที่ประกอบสำเร็จรูปของสมาคมเหล็กโครงสร้างไทย

ในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างจริงที่เกิดการเสื่อมสภาพแล้ว จำเป็นต้องคำนึงถึงสมบัติของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเสื่อมสภาพ

ตารางที่ 15 ความเสียหายในลักษณะอื่น ๆ ที่เกิดจากการทำลายจากสิ่งแวดล้อมหรือการเสื่อมสภาพ

ประเภทความเสียหาย	ลักษณะและบริเวณที่พบในองค์อาคาร	ชนิดองค์อาคารที่มักพบ	สาเหตุ	ช่วงอายุที่มักจะเริ่มพบ (ขึ้นกับความรุนแรงของการทำลาย)
ประเภทความเสียหายทางกายภาพ				
1) รอยเชื่อม	- บริเวณข้อต่อของโครงสร้าง - บริเวณที่มีการเปลี่ยนความหนาขององค์อาคาร	ทุกชนิดองค์อาคาร	เกิดจากช่างเชื่อมไม่มีทักษะ	ทุกช่วงอายุ
2) สลักเกลียว (bolt) แหวน (rivet) และน็อต (nut)	- บริเวณข้อต่อของโครงสร้าง - ฐานราก	ทุกชนิดองค์อาคาร	เกิดจากคุณภาพของวัสดุ	ทุกช่วงอายุ
ประเภทความเสียหายลักษณะอื่น				
3) การเกิดสนิมของโครงสร้าง	เสา และ คาน	ทุกชนิดองค์อาคาร	สิ่งแวดล้อม	มากกว่าสองปีขึ้นไป ขึ้นอยู่กับสีที่ทาและสภาพแวดล้อม

6.2.1 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนักบรรทุก

การประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนักบรรทุก แม้ว่าจะมีข้อมูลด้านสมบัติของโครงสร้างเหล็กจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง หรือข้อมูลสมบัติของวัสดุในช่วงเวลาการก่อสร้างอาคาร แต่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบสมบัติของวัสดุของโครงสร้างจริงเพิ่มเติมด้วย โดยให้วิศวกรใช้ข้อมูลดังกล่าวในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง

1) การตรวจสอบรอยต่อของโครงสร้างเหล็ก

รอยต่อของโครงสร้างเหล็กแบ่งออกได้เป็นสองชนิด คือ รอยเชื่อม (welding) และสลักเกลียว (Bolting) ในที่นี้จะกล่าวถึงข้อควรปฏิบัติสำหรับการตรวจสอบรอยเชื่อมและสลักเกลียวในโครงสร้างเหล็ก

ก.) การตรวจสอบรอยเชื่อม

การตรวจสอบรอยเชื่อมควรจะมีการตรวจสอบคุณสมบัติของผู้ตรวจสอบรอยเชื่อม และผู้ตรวจสอบด้วยวิธีไม่ทำลายก่อนการตรวจสอบรอยเชื่อม โดยคุณสมบัติของผู้ตรวจสอบรอยเชื่อมจะต้องมีคุณสมบัติตามแบบแผนการควบคุมคุณภาพของผู้ผลิตหรือช่างผู้สร้างตามคู่มือการตรวจสอบโครงสร้างเหล็กที่ประกอบสำเร็จรูปของสมาคมเหล็กโครงสร้างไทย

สำหรับคุณสมบัติของผู้ตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (NDT) บุคลากรที่ตรวจสอบแบบไม่ทำลายนอกเหนือจากการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจจะต้องมีคุณสมบัติตามการปฏิบัติเป็นลายลักษณ์อักษรของนายจ้างซึ่งจะต้องผ่านเกณฑ์หรือสูงกว่าเกณฑ์ของ AWS D1.1/D1.1M ข้อ 6.14.6

การตรวจสอบรอยเชื่อมโครงสร้างเหล็กด้วยวิธีการตรวจด้วยวิธีพินิจ และการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย และการประเมิน สามารถอ้างอิงจาก มยผ. 1561-51 ถึง 1565-51 หรือคู่มือการตรวจสอบโครงสร้างเหล็กที่ประกอบสำเร็จรูปของสมาคมเหล็กโครงสร้างไทย

ข.) การตรวจสอบสลักเกลียว (bolting)

การตรวจสอบวัสดุของสลักเกลียวเป็นวิธีการหลักที่ใช้เพื่อยืนยันว่าวัสดุ ขั้นตอนและการติดตั้ง สอดคล้องกับเอกสารก่อสร้างและข้อกำหนดของ The Research Council on Structural Connections (RCSC) สำหรับการตรวจสอบสลักเกลียว โดยดูที่เกลียวของสลักเกลียวว่าเกิดสนิมหรือไม่

เกณฑ์การประเมินจะแบ่งระดับออกเป็น 2 ระดับ คือ ปรกติ และรุนแรง โดยขึ้นอยู่กับดุลพินิจของวิศวกรผู้ตรวจสอบในการจัดระดับสำหรับการตรวจสอบสลักเกลียว อย่างน้อยที่สุดการตรวจสอบสลักเกลียวต้องเป็นไปตามตารางที่ 16 ในตารางเหล่านี้งานตรวจสอบมีดังต่อไปนี้

การตรวจสอบกำลังดึงของสลักเกลียวกำลังสูง ตัวอย่างของสลักเกลียวจะต้องได้รับการตรวจสอบเพื่อค้นหาเครื่องหมายที่ถูกกำหนดไว้ และการจำแนกประเภทเมื่อสลักเกลียวนั้นไม่สามารถระบุได้ วิศวกรจะต้องระบุตัวอย่างที่ใช้และทดสอบเพื่อหาค่ากำลังดึงตาม ASTM F606/F606M หรือเทียบเท่า โดยสมมติให้สลักเกลียวเป็น ASTM A307 และแหวน (rivets) จะถือว่าเป็น ASTM A502 Grade 1 เว้นแต่จะมีสลักเกลียวหรือแหวนที่มีมาตรฐานสูงกว่าถูกจัดตั้งขึ้นผ่านเอกสารหรือการทดสอบของ ASTM

2) การตรวจสอบน้ำหนักบรรทุก

ก) การตรวจสอบสภาพการใช้งาน และน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างจริงมีความจำเป็นหากพบว่าลักษณะการใช้งานอาคารมีความแตกต่างจากรายละเอียดในเอกสารที่เกี่ยวข้อง การตรวจสอบน้ำหนักบรรทุกของอาคารสามารถอ้างอิงได้จาก AISC 360 และ ASCE 7

ข) การประเมินสามารถอ้างอิงได้จาก AISC 360 และ ASCE 7

6.2.2 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านความสามารถในการใช้งาน

ในการประเมินสมรรถนะด้านความสามารถในการใช้งานของโครงสร้าง ควรพิจารณาการแอ่นตัว การเสียรูป การสั่นสะเทือน หรือข้อกำหนดเฉพาะของอาคารนั้น ๆ โดยข้อกำหนดด้านการใช้งานของโครงสร้างอาจแตกต่างกันไปในแต่ละอาคาร

การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อการประเมินการแอ่นตัว และการเคลื่อนตัวของโครงสร้างดังแสดงสำหรับรายละเอียดใน ASCE 7

การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อการประเมินการสั่นสะเทือน ควรตรวจสอบความถี่ และความเร่งของการสั่นสะเทือนดังแสดงรายละเอียดใน Design Guide 3 และ Design Guide 11 ของ AISC

6.2.3 การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างด้านอายุการใช้งาน และความคงทน

การตรวจสอบมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสาเหตุการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบัน ความรุนแรงของการเสื่อมสภาพ คาดการณ์การเสื่อมสภาพในอนาคต เพื่อใช้พิจารณาประกอบการเลือกวิธีการบำรุงรักษาที่เหมาะสม โครงสร้างควรได้รับการตรวจสอบลักษณะการใช้งาน และสภาพแวดล้อมของโครงสร้างดังรายละเอียดตาม มยผ. 1333-61 เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการประเมินสมรรถนะด้านอายุการใช้งานและความคงทน ซึ่งพิจารณาการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของโครงสร้างในกรณีต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 16 การเกิดสนิมของสลักเกลียว

ระดับ	พื้นที่เป็นสนิม %
ปกติ	0
รุนแรง	40

1) การตรวจสอบข้อบกพร่องบนพื้นผิวของโครงสร้างเหล็ก

ISO 4628 ได้แนะนำรายละเอียด วิธีการ และขั้นตอนการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจรวมไปถึงการอ้างอิงจากภาพถ่ายของข้อบกพร่องต่าง ๆ บนพื้นผิวของโครงสร้างเหล็ก (ดูตัวอย่างในภาคผนวก ก) ซึ่งข้อมูลจะถูกบันทึกในรูปแบบของตารางและภาพถ่ายตามปริมาณและความรุนแรงของข้อบกพร่องและความเสียหายต่าง ๆ

มยผ. 1333 ได้แนะนำรายละเอียด วิธีการ และขั้นตอนการทำระบบป้องกันการกัดกร่อนของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ เพื่อให้อาคารมีความคงทนต่อสภาพแวดล้อม ตามระดับความสำคัญสำหรับการออกแบบโครงสร้างใหม่ ซึ่งอาจพิจารณาเป็นแนวทางในการประเมินอายุการใช้งานโครงสร้างอาคารเก่าและอาคารที่เสียหายได้

อย่างไรก็ตามสำหรับการกำหนดอายุการใช้งานเพื่อประเมินโครงสร้างอาคารเก่า หรืออาคารที่เสียหาย ควรคำนึงถึงความปลอดภัย ความสามารถในการใช้งานในอนาคต และความสามารถในการบำรุงรักษาได้ทั้งในทางวิศวกรรม และในทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละอาคารควบคู่กันไปด้วย

จากผลการตรวจสอบ ควรประเมินสาเหตุของการเสื่อมสภาพ ระดับความรุนแรง และระดับของความเสียหายของโครงสร้าง ณ ปัจจุบัน และแนวโน้มการพัฒนาของความเสียหายในอนาคต เพื่อพิจารณาแนวทางการบำรุงรักษาที่เหมาะสม การประเมินข้อบกพร่องบนพื้นผิวของโครงสร้างเหล็กสามารถอ้างอิงได้จาก ISO 4628

2) การล้าของโครงสร้างเหล็ก (fatigue)

การล้าของโครงสร้างเหล็กจะเกิดขึ้นและเป็นผลให้กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างเหล็กลดลงเมื่อจำนวนรอบของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำมากขึ้นเรื่อย ๆ ความล้าจะทำให้เกิดรอยร้าวในรอยเชื่อมหรือสลักเกลียว ซึ่งเป็นบริเวณที่มักจะพบรอยร้าวจากการตรวจสอบ การตรวจสอบรอยร้าวที่เกิดจากการล้าสามารถอ้างอิงได้จากคู่มือ Assessment of Existing Steel Structures : Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life, Kuhn et al. (2013)

การประเมินรอยร้าวที่เกิดจากการล้า สามารถอ้างอิงได้จากคู่มือ Assessment of Existing Steel Structures : Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life, Kuhn et al. (2013)

บรรณานุกรม

- American Concrete Institute (ACI), "Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements (ACI 216R)", 1989.
- American Concrete Institute (ACI), "Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies (ACI 216.1)", 2014.
- American Concrete Institute (ACI), "Guide for Evaluation of Concrete Structures before Rehabilitation (ACI 364.1R)", 2007.
- American Concrete Institute (ACI), "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318)", 2014.
- American Concrete Institute (ACI), "Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings (ACI 437R)", 2003.
- American Concrete Institute (ACI), "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI 440.2R)", 2017.
- American Concrete Institute (ACI), " Guide to Concrete Repair (ACI 546R)", 2014.
- American Concrete Institute (ACI) International, BRE, Concrete Society and ICRI, "Guide to the Maintenance, Repair and Monitoring of Reinforced Concrete Structures, Concrete Repair Manual", 2nd Edition, ISBN: 0-87031-105-0, 1: pp. 691-736.
- American Society of Civil Engineers (ASCE), "Guideline for Structural Condition Assessment of Existing Buildings (SEI-ASCE 11-99)", 2000.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete (ASTM C1152)", 2012.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method) (ASTM C1260)", 2014.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction (ASTM C1293)", 2018.

- American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Test Method for Determining the Potential Alkali-Silica Reactivity of Combinations of Cementitious Materials and Aggregate (Accelerated Mortar-Bar Method) (ASTM C1567)", 2013.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method) (ASTM C227)", 2010.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method) (ASTM C289)", 2007.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete (ASTM C295)", 2018.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete (ASTM C42)", 2018.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Practice for Determining Chemical Resistance of Thermosetting Resins Used in Glass-Fiber-Reinforced Structures Intended for Liquid Service (ASTM C581)", 2015.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete (ASTM C856)", 2018.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water (ASTM D1141)", 2013.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings in 100 % Relative Humidity (ASTM D2247)", 2015.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Practice for Heat Aging of Plastics Without Load (ASTM D3045)", 2018.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Practice for Maintaining Constant Relative Humidity by Means of Aqueous Solutions (ASTM E104)", 2012.

- American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials (ASTM E119)", 2007.
- BS EN 14630. "Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method." , 2006.
- Feliú, S., González, J.A. and Andrade, C., "Electrochemical methods for on-site determinations of corrosion rates of rebars". ASTM Special Technical Publication. 1996.
- Hnin, S.W., Sancharoen, P. and Tangtermsiriku, S., "Effects of Mix Proportion on Electrical Resistivity of Concrete with Fly Ash" ASEAN Engineering Journal, Vol. 7, No 2 , 2017, ISSN 2586-9159 p.65.
- ICC (ICBO) Evaluation Service (AC125) 2003, Interim criteria for concrete and reinforced and unreinforced masonry strengthening using fibre-reinforced polymer (FRP), composite system: 3-10: California: USA.
- International Concrete Repair Institute (ICRI), "Guide for Using In-Situ Tensile Pull Off Tests to Evaluate Bond of Concrete Surface Materials (ICRI 210.3R)", 2013
- International Concrete Repair Institute (ICRI), "Guideline for Surface Preparation for the Repair of Deteriorated Concrete Resulting from Reinforcing Steel Corrosion (ICRI 310.1R)", 2008.
- International Concrete Repair Institute (ICRI), "Selecting and Specifying Concrete Surface Preparation (ICRI 310.2R)", 2013.
- International Concrete Repair Institute (ICRI), "Guide for Selecting and Specifying Materials for Repair of Concrete Surfaces (ICRI 320.2R)", 2018.
- Japanese Industrial Standards Committee (JISC), "Method for Measuring Carbonation Depth of Concrete (JIS A1152)", 2018.
- Bungey, J. H., and Millard, S. G., "Testing of Concrete in Structures," 3rd Edition, Blackie Academic & Professional, London, 1996.

- Kasai, Y., “Method of Test for Neutralization Depth of Concrete in Structures with Drilling Powder (NDIS 3419-1999)”. JOURNAL OF JSNDI, V.50, No. 7, 2001, pp. 416-419.
- Post-Tensioning Institute (PTI), “Post-Tensioning Manual, Sixth Edition”, Phoenix, AZ, 1990.
- RILEM Committee TC56, “Measurement of hardened concrete carbonation depth”, Draft RILEM recommendation CPC-18, Material and Structure, Vol.21 (126), 1998, pp. 453.
- Wollman, G., and Wollman, C., “Anchorage Zone Design, Repair of Chapter V, III,” Post-Tensioning Manual, Sixth Edition, Post-Tensioning Institute, Phoenix, AZ, 2000.
- Zia, P., Preston, H., Scott, N. and Workman, E., “Estimating Prestress Losses”, Concrete International, V. 19, No. 6, 1979, pp. 32-38.
- กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานการประเมินและการเสริมความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1303-57)”
- กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทน และอายุการใช้งาน (มยผ. 1332-55)”
- กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานความคงทนของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ (มยผ. 1333-61)”
- กรมโยธาธิการและผังเมือง, “การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีตรวจพินิจ (มยผ. 1501-51)”
- กรมโยธาธิการและผังเมือง, “วิธีทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (มยผ. 1504-51)”
- กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย (มยผ. 1508-51)”
- กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต (มยผ. 1901-51)”

ภาคผนวก ก.
ภาพถ่ายมาตรฐานแสดงข้อบกพร่องบนพื้นผิวของโครงสร้างเหล็ก

หนาแน่นน้อย

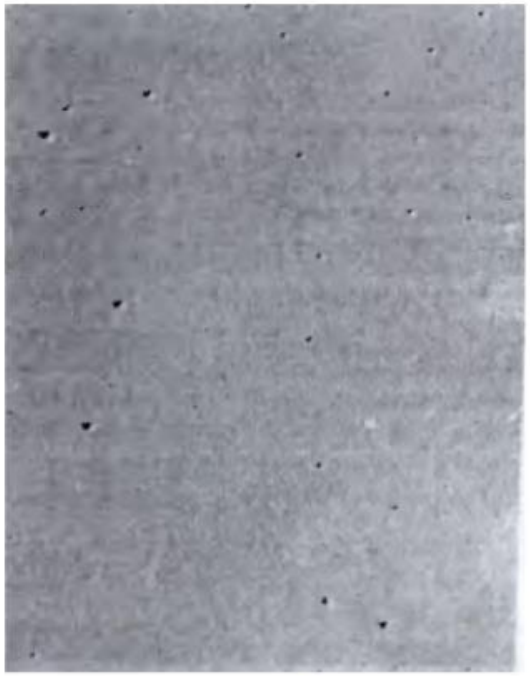
หนาแน่นปานกลาง

หนาแน่นปานกลางค่อนข้างมาก

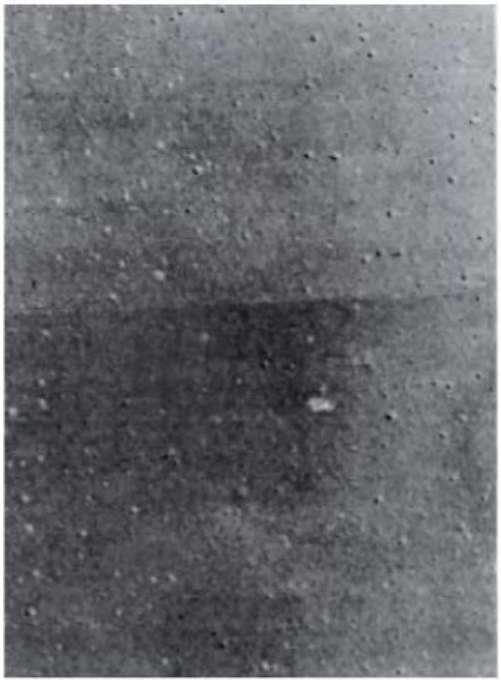
หนาแน่นมาก

(ก) การพองขนาด 2

รูปที่ ก1 ภาพถ่ายมาตรฐานแสดงระดับการพอง (ตาม ISO 4628)



หนาแน่นน้อย



หนาแน่นปานกลาง

หนาแน่นปานกลางค่อนข้างมาก

หนาแน่นมาก

(ข) การพองขนาด 3

รูปที่ ก1 ภาพถ่ายมาตรฐานแสดงระดับการพอง (ตาม ISO 4628) (ต่อ)

หนาแน่นน้อย

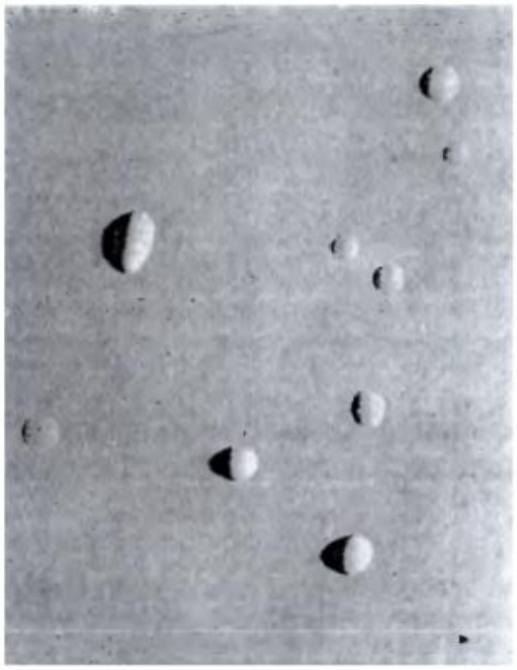
หนาแน่นปานกลาง

หนาแน่นปานกลางค่อนข้างมาก

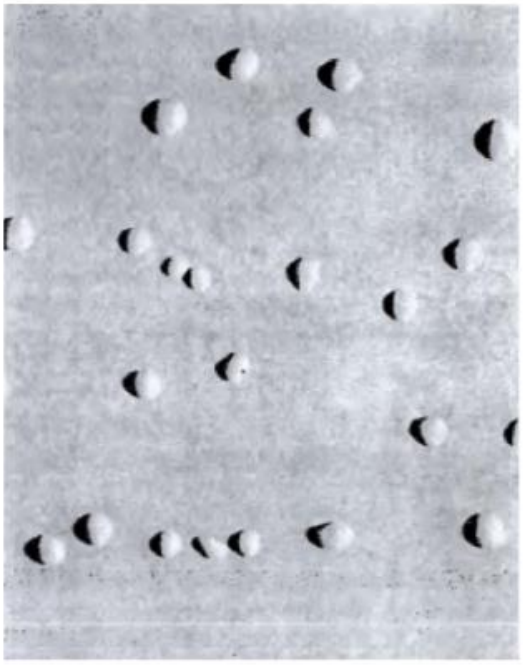
หนาแน่นมาก

(ค) การพองขนาด 4

รูปที่ ก1 ภาพถ่ายมาตรฐานแสดงระดับการพอง (ตาม ISO 4628) (ต่อ)



หนาแน่นน้อย (few)



หนาแน่นปานกลาง (medium)

หนาแน่นปานกลางค่อนข้างมาก (medium dense)

หนาแน่นมาก (dense)

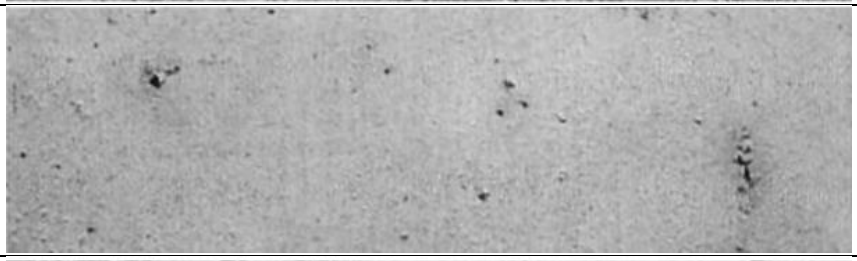
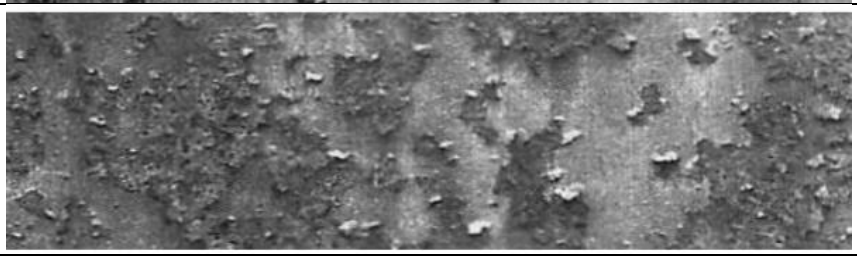
(ง) การพองขนาด 5

รูปที่ ก1 ภาพถ่ายมาตรฐานแสดงระดับการพอง (ตาม ISO 4628) (ต่อ)

ตารางที่ ก1 ระดับการพองบนพื้นผิวของโครงสร้างเหล็ก (ตาม ISO 4628)

ระดับการพอง	ขนาดของข้อบกพร่อง
0	มองไม่เห็นด้วยสายตา
1	มองเห็นด้วยสายตาผ่านแว่นขยายขนาด x 10
2	มองเห็นด้วยสายตา
3	0 มม. ถึง 0.5 มม.
4	0.5 มม. ถึง 5 มม.
5	มากกว่า 5 มม.

ตารางที่ ก2 ระดับการเกิดสนิมบนพื้นผิวของโครงสร้างเหล็ก (ตาม ISO 4628)

ระดับของการเป็นสนิม	ภาพถ่ายมาตรฐานแสดงระดับการเกิดสนิม	พื้นที่เป็นสนิม %
Ri 0		0
Ri 1		1
Ri 3		10
Ri 5		50

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการปฏิบัติงานการตรวจสอบโครงสร้าง

ตัวอย่างอาคารที่ 1

ข้อมูลทั่วไปของอาคาร

1. ข้อมูลสถานที่ตั้ง และเจ้าของอาคาร

1.1 ชื่ออาคาร และสถานที่ตั้ง

ชื่ออาคาร...**โรงงานผลิตปูนซีเมนต์**.....

ตั้งอยู่เลขที่.....ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด...**สระบุรี**.....

รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....โทรสาร.....

1.2 เจ้าของอาคาร

ชื่อ...**บริษัทผลิตปูนซีเมนต์แห่งหนึ่ง**.....

สถานที่ติดต่อเลขที่.....หมู่ที่.....ตรอก/ซอย.....

ถนน.....ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....

จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....

โทรสาร..... อีเมล..... .

2. ประเภทของอาคาร และข้อมูลด้านโครงสร้าง

2.1 ข้อมูลการขออนุญาตการก่อสร้าง และเปิดใช้อาคาร

ได้รับใบอนุญาตก่อสร้างจากเจ้าพนักงานท้องถิ่น เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

☑ มี แบบแปลนเดิม

☐ ไม่มี แบบแปลนเดิม (กรณีที่ไม่มีแบบแปลนหรือแผนผังรายการเกี่ยวกับการก่อสร้างอาคาร ให้เจ้าของอาคารจัดหาหรือจัดทำแบบแปลนการตรวจสอบอาคารและอุปกรณ์ประกอบของอาคารให้กับผู้ตรวจสอบอาคาร)

ได้รับใบอนุญาตเปิดใช้อาคารจากเจ้าพนักงานท้องถิ่น เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ตามที่ได้รับอนุญาตให้ใช้เป็น..... .....

การใช้งานปัจจุบันใช้เป็น..... .....

2.2 ข้อมูลด้านการออกแบบโครงสร้าง

2.2.1 วิธีการออกแบบ

☐ วิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Method, WSM)

☐ วิธีกำลัง (Strength Design Method, SDM)

☐ วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor Design, LRFD)

☑ ไม่มีข้อมูล

2.2.2 มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ

☐ มาตรฐาน วสท. 1007, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1008, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1009, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตอัดแรง”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1015, “มาตรฐานสำหรับอาคารเหล็กรูปพรรณ”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1020, “มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณ โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก”

ปีพ.ศ. .....

☐ อื่น ๆ ....

ปีพ.ศ.....

☑ ไม่มีข้อมูล

2.2 ประเภทอาคาร (กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522)

ประเภท	ประเภท และส่วนต่าง ๆ ของอาคาร	น้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำ (กก. ต่อ ตร.ม.)
	หลังคา	30
	กันสาด หรือหลังคาคอนกรีต	100
	ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
	ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรม และห้องคนไข้พิเศษของโรงพยาบาล	200
	สำนักงาน ธนาคาร	250
	อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน โรงพยาบาล	300
	ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม สำนักงาน และธนาคาร	300
	ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุด หรือหอสมุด ที่จอด หรือเก็บรถยนต์นั่ง และรถจักรยานยนต์	400
	ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย และโรงเรียน	400
X	คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
	ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุด หรือหอสมุด	500
	ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุด หรือหอสมุด	600
	ที่จอด หรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่า	700

2.3 รูปแบบโครงสร้างอาคาร (ระบุ)

โครงสร้าง	หัวข้อ	รายละเอียด
ฐานราก	วัสดุ	☐ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☐ ไม่มีฐานราก ☐ ฐานรากแผ่ ☐ เสาเข็ม
	อื่นๆ	ความหนาของฐานราก.....ม.
		ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)
เสา	วัสดุ	☑ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☑ หล่อในที่ ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ☐ กำแพงรับน้ำหนัก
	อื่นๆ	ลักษณะสภาพแวดล้อม .. 7, 8, 13.. (ตามตารางที่ 1) กลางแจ้ง ไกลทะเลได้รับความร้อนจากเตาเผา

โครงสร้าง	หัวข้อ	รายละเอียด
คาน	วัสดุ	☐ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☐ หล่อในที่ ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ☐ คานลึก ☐ คานต่อเนื่อง
	อื่นๆ	ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)
พื้น	วัสดุ	☐ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☐ หล่อในที่ ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป และหล่อในที่ประกอบกัน
	อื่นๆ	ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ลักษณะสภาพแวดล้อม (มยผ. 1332-55)

ลักษณะงานก่อสร้างและสภาพแวดล้อม	การออกแบบให้คำนึงถึงหัวข้อความคงทนต่อไปนี้เป็นหลัก
1. น้ำจืด	
ก) ใต้น้ำ	การสึกกร่อนของผิวคอนกรีต
ข) เผชิญวัฏจักรเปียกสลับแห้ง	การเกิดสนิมของเหล็กเสริม และ/หรือการสึกกร่อนของผิวคอนกรีต
ค) บรรยากาศบริเวณที่สัมผัสละอองน้ำได้	การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน และ/หรือการเกิดสนิมของเหล็กเสริมทั่วไป
2. น้ำกร่อย	
ก) ใต้น้ำ	การต้านทานซัลเฟต และ/หรือ การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จากน้ำทะเล และ/หรือ การสึกกร่อนของผิวคอนกรีต
ข) เผชิญวัฏจักรเปียกสลับแห้ง	การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จากน้ำทะเล และ/หรือการสึกกร่อนของผิวคอนกรีต
ค) บรรยากาศบริเวณที่สัมผัสละอองน้ำได้	การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน และ/หรือการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จากน้ำทะเล
3. น้ำทะเล	
ก) ใต้น้ำ	การต้านทานซัลเฟต และ/หรือ การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จากน้ำทะเล และ/หรือ การสึกกร่อนของผิวคอนกรีต
ข) เผชิญวัฏจักรเปียกสลับแห้ง	การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จากน้ำทะเล และ/หรือการสึกกร่อนของผิวคอนกรีต
ค) บรรยากาศบริเวณที่สัมผัสละอองน้ำได้	การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน และ/หรือการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จากน้ำทะเล

ตารางที่ 1 ลักษณะสภาพแวดล้อม (มยผ. 1332-55) (ต่อ)

ลักษณะงานก่อสร้างและสภาพแวดล้อม	การออกแบบให้คำนึงถึงหัวข้อความคงทนต่อไปนี้เป็นหลัก
4. น้ำเสีย	การต้านทานกรดซัลฟุริก และการต้านทานซัลเฟต หรือสารเคมีอื่นๆ
5. ใต้ดิน และใต้พื้นท้องทะเล ก) มีซัลเฟต ข) ไม่มีซัลเฟต	 การต้านทานซัลเฟต ไม่มี
6. ติดผิวดิน (เช่น ตอม่อ คานคอดิน โครงสร้างบริเวณติดผิวดิน) ก) สัมผัสคลอไรด์ ข) ไม่สัมผัสคลอไรด์	 การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ในดิน การเกิดสนิมของเหล็กเสริมทั่วไป
7. ในบรรยากาศที่ต้องสัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ใกล้โรงงาน ใกล้ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น อุโมงค์ทางลอด)	การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน
8. ในบรรยากาศที่ต้องคำนึงถึงการหดตัวแบบแห้ง (กลางแจ้ง หรือ มีลมพัดแรง)	การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง
9. โครงสร้างคอนกรีตหลา เช่น เขื่อน ฐานรากขนาดใหญ่ และโครงสร้างที่มีความหนามาก	การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ หรือการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว
10. ชิ้นส่วนบางต่อเนื่องที่มีการยึดรั้ง การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว	การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว
11. โครงสร้างคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ มีความทึบน้ำสูง	การหดตัวแบบออโตจีนัส
12. งานก่อสร้างที่สัมผัสสารเคมีอื่น	ความสามารถในการต้านทานสารเคมีที่เกี่ยวข้อง
13. เผชิญอุณหภูมิผิดปกติ - วัฏจักรอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งและสูงขึ้นกว่าจุดหลอมเหลว - วัฏจักรอุณหภูมิสูง และลดต่ำลงอย่างฉับพลัน	 การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากวัฏจักรอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งและสูงขึ้นกว่าจุดหลอมเหลวการแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากวัฏจักรอุณหภูมิสูง และลดต่ำลงอย่างฉับพลัน

3. การเก็บรักษาประเภทของวัตถุหรือเชื้อเพลิงที่อาจเป็นอันตราย

☐ วัตถุติดไฟ ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ วัตถุอันตราย ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ วัตถุเชื้อเพลิง ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ น้ำมันเชื้อเพลิง ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ ก๊าซ ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ สารเคมี ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ อื่น ๆ (ระบุ) .....

การตรวจสอบสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบันด้วยวิธีตรวจพินิจ

1. การใช้งาน การต่อเติม ดัดแปลง ปรับปรุงตัวอาคาร

ลำดับที่	รายการที่ตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	ตำแหน่งองค์อาคาร และรายละเอียดที่พบ	ความเห็นผู้ตรวจสอบ
1	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกที่มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
2	การต่อเติมหรือดัดแปลงโครงสร้างอาคารเพิ่มจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
3	การซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร	☑ มี ☐ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด	บริเวณที่เสียหาย ได้รับการซ่อมแบบ patching แต่ไม่ได้ผล กลับมาเสียหายอีก	
4	การเปลี่ยนสภาพหรือกิจกรรมการใช้ที่มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
5	การเปลี่ยนแปลงวัสดุที่มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
6	สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงจากแบบแปลน หรือข้อกำหนดการออกแบบ	☑ มี ☐ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด	อาจไม่ได้มีการคำนึงถึงอุณหภูมิสูงระหว่างการใช้งานในขั้นตอนออกแบบ	ส่วนที่เสียหายอยู่ใกล้เตาเผาที่มีอุณหภูมิสูง

2. การตรวจสอบความเสียหายของโครงสร้าง

2.1 จุดบกพร่องจากการก่อสร้าง (Construction Faults)

☐ มี ☑ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.2)

ความเสียหาย	ตำแหน่งความเสียหาย และรูปประกอบ	สาเหตุ	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
รอยต่อการเทคอนกรีต (Cold Joint)			
เหล็กเสริมที่ไม่มีคอนกรีตหุ้ม			
รูพรุนแบบรวงผึ้งในเนื้อคอนกรีต			
อื่นๆ			

2.2 รอยร้าว (Cracks)

☑ มี ☐ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.3)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
ข้อมูลการตรวจสอบรอยร้าว		
ตำแหน่ง และรูปความเสียหาย (แผนที่รอยร้าว)		บางแห่งมีการกะเทาะของผิวหน้าคอนกรีต
ทิศทางและลักษณะของรอยร้าว	☑ ตามแนวเหล็กเสริม ☑ กระจัดกระจายไร้ทิศทางแน่นอน ☐ ทแยงมุม หรือแนวเฉียง ☐ ขนานกันเป็นช่วง ๆ ☐ ม้วนเกลียว ☐ อื่นๆ.....	เสียหายบริเวณใกล้ผิว
ความกว้างสูงสุดของรอยร้าว	☐ < 0.1 มม. ☐ < 0.3 มม. ☐ < ความกว้างที่ยอมรับได้สูงสุดของรอยร้าวตามตารางที่ 3 ☑ กว้างกว่า 0.3 มม.	-
ความยาวรอยร้าว	☐ ตลอดความกว้างแผ่นพื้น (ตั้งฉากกับแนวเหล็กเสริม) ☑ เป็นช่วงๆ ☐ โดยรอบองค์อาคาร	-

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
ความลึกของรอยร้าว	☐ ตลอดความลึกของหน้าตัดองค์อาคาร ☑ พบเฉพาะใกล้ผิวหน้า ☐ ถึงระดับเหล็กเสริม ☐ เฉพาะวัสดุเคลือบผิว หรือปิดผิวคอนกรีต ☐ ไม่มีข้อมูล	-
ลักษณะพื้นผิว และสีคอนกรีตโดยรอบรอยร้าว	☐ ปกติ ☐ มีคราบน้ำที่แห้งตัว ☐ มีความชื้น ☐ คราบสีสนิม ☐ คราบหินปูน (Efflorescence) ☐ ไม่มีข้อมูล	มีการกะเทาะของผิวหน้าคอนกรีตบ้างบางแห่ง มีคราบสกปรก
การขยายตัวของรอยร้าวภายหลังการตรวจสอบครั้งแรก.....เดือน	☐ มี จำนวนรอยร้าวเพิ่มขึ้น ☐ มี ความกว้างขยายตัว ☐ มี ความยาวขยายตัว ☐ มี ความลึกขยายตัว ☐ ไม่มี	มีรายงานจากเจ้าของว่ามีความเสียหายเพิ่มขึ้นตามเวลา แต่ไม่ได้เก็บข้อมูลเชิงเอกสาร
อายุโครงสร้างที่ตรวจพบรอยร้าวครั้งแรก	ไม่มีข้อมูล	
สาเหตุของรอยร้าว		
สาเหตุของรอยร้าว (ตามตารางที่ 2)	ต้องการการตรวจสอบอย่างละเอียดเพิ่มเติม	
การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น	กำลังอัดโดยค้อนสะท้อน ความลึกคาร์บอเนชัน ปริมาณซัลเฟตและคลอไรด์ในคอนกรีต อุณหภูมิขณะใช้งาน และการวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดจากอุณหภูมิ	

2.3 การเสื่อมสภาพ หรือสลายตัวของคอนกรีต (Deterioration or Disintegration of Concrete)

☑ มี ☐ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.4)

หัวข้อ	ตำแหน่งความเสียหายและรูปประกอบ	อายุโครงสร้างที่ตรวจพบครั้งแรก	สาเหตุ (ตามตารางที่ 2)	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
การบวมตัว และผิวหน้าเสียหาย				
การสึกกร่อนของผิวหน้า				
ผิวหน้าถูกทำลายด้วยสารเคมี				
การหลุดร่อนของผิวคอนกรีต				กำลังอัดโดยค้อนกระแทก ความลึกคาร์บอเนชัน ปริมาณซัลเฟตและคลอไรด์ อุณหภูมิขณะใช้งาน และวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดจากอุณหภูมิ
การเกิดสนิมของมวลรวม				
การเปลี่ยนสีของคอนกรีต				
การแตกของคอนกรีตเนื่องจากการถูกกดอัด (Crushing)				

2.4 การบิดเบี้ยวหรือเคลื่อนตัวของโครงสร้าง (Distortion and Movement)

☐ มี ☑ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.5)

หัวข้อ	ตำแหน่งความเสียหาย และรูปประกอบ	อายุโครงสร้างที่ตรวจพบครั้งแรก	สาเหตุ (ตามตารางที่ 2)	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
การบิดเบี้ยวของโครงสร้าง				
การทรุดตัวไม่เท่ากันของโครงสร้าง				
การเคลื่อนตัวของโครงสร้าง				

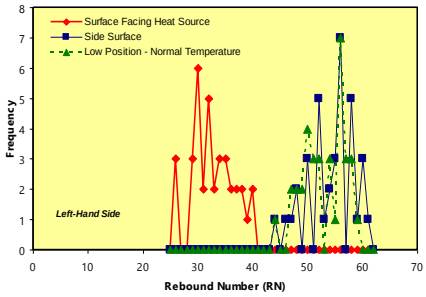
2.5 การรั่วซึมของน้ำ หรือของเหลว

☐ มี ☑ ไม่มี

หัวข้อ	ตำแหน่งความเสียหาย และรูปประกอบ	อายุโครงสร้างที่ตรวจพบครั้งแรก	สาเหตุ (ตามตารางที่ 2)	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
คราบความชื้น สนิม หรือตะไคร่น้ำ				
การบวมปูดของวัสดุเคลือบผิว				
การเสื่อมสภาพของวัสดุอุดปิดรอยต่อ				
คราบหินปูนที่ผิวคอนกรีต				

การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด

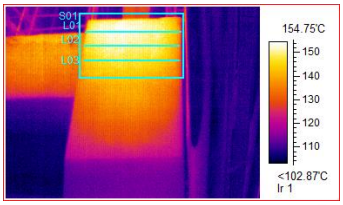
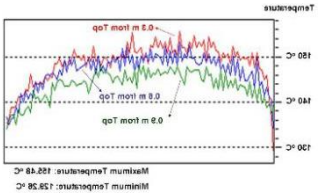
1. การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนัก

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	จำนวนตัวอย่าง	ผลการทดสอบ
กำลังอัดคอนกรีต	ค้อนสะท้อน	ต้องการทราบความแตกต่างของกำลังอัดบริเวณที่ได้รับความร้อนต่างกัน	ข้อมูลการทดสอบค้อนกระแทกแสดงว่าคอนกรีตบริเวณที่ถูกความร้อนสูงจะมีกำลังต่ำกว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 
กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม			
กำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง			

2. การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านความสามารถในการใช้งาน

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	จำนวนตัวอย่าง	ผลการทดสอบ
ค่าการทรุดตัวที่ยอมรับได้ ในรูปของการเสียรูปเชิงมุม(Angular Distortion: β)			
การแอ่นตัวขององค์อาคาร			
ปริมาณการรั่วซึมของของเหลวเก็บกัก			
การตรวจสอบความถี่ และความเร่งของการสั่นสะเทือน			

3. การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านอายุการใช้งาน และความคงทน

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	จำนวนตัวอย่าง	ผลการทดสอบ
การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบพลาสติก			
การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ	Infrared spectrometer	ต้องการทราบอุณหภูมิผิวคอนกรีตขณะใช้งาน	  อุณหภูมิบริเวณผิวคอนกรีตบริเวณใกล้แหล่งความร้อนมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 170 องศาซึ่งน่าจะมีผลต่อคอนกรีต
การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัส			
การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง			
การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์			
การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน	ฉีดพ่นแท่งเจาะตัวอย่างคอนกรีตด้วยสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน		ผลทดสอบความลึกคาร์บอเนชันแสดงว่าคอนกรีตบริเวณอุณหภูมิสูงมีความลึกคาร์บอเนชัน (เฉลี่ย 50 มม.) มากกว่าคอนกรีตในบริเวณอุณหภูมิต่ำกว่า (เฉลี่ย 25 มม.) แต่ไม่พบปัญหาการเป็นสนิมของเหล็ก

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	จำนวนตัวอย่าง	ผลการทดสอบ
			เสริม
ปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม			
การเกิด Delayed Ettringite Formation			
การสึกกร่อน			
การเผชิญกับซัลเฟตและกรด			
ปริมาณซัลเฟต และคลอไรด์	วิธี Titration		มีปริมาณซัลเฟต 0.148%ของน้ำหนักคอนกรีต ซึ่งต่ำมาก โดยหากแปลงเป็นร้อยละต่อน้ำหนักปูนซีเมนต์จะมีค่า 1.186% ซึ่งต่ำกว่าขีดจำกัดที่ยอมให้ในปูนซีเมนต์ที่ 3% มาก (ตาม มอก.15)
ปริมาณคลอไรด์	วิธี Titration		มีปริมาณคลอไรด์ 0.01%ของน้ำหนักคอนกรีต ซึ่งต่ำมาก โดยหากแปลงเป็นร้อยละต่อน้ำหนักปูนซีเมนต์จะมีค่า 0.033% ซึ่งต่ำกว่าขีดจำกัดที่ยอมให้ในปูนซีเมนต์ที่ 0.4% มาก
ไฟไหม้			
การเกิดสนิมของมวลรวม			

จากการวิเคราะห์อย่างละเอียดโดยวิธี FEM โดยใช้ข้อมูลที่ทดสอบมาได้ พบว่า โครงสร้างดังกล่าว โดยเฉพาะในบริเวณที่ได้รับความร้อนและมีอุณหภูมิสูง เนื่องจากโครงสร้างดังกล่าวไม่ได้อยู่ในบริเวณที่มีการป้องกันฝน หากฝนตก ผิวคอนกรีตในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะลดอุณหภูมิลงเฉียบพลัน (เกิด Thermal shock) ทำให้เกิดหน่วยแรงดึงที่เกินกำลังดึงที่บริเวณดังกล่าว ทำให้เกิดการแตกร้าวและกะเทาะได้ จึงสามารถสรุปสาเหตุของความเสียหายได้

การประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้าง

ประสิทธิภาพของโครงสร้าง	ระดับความเสียหาย	กระบวนการที่แนะนำ	ระยะเวลาการดำเนินการ	ตัวอย่างวิธีการซ่อมแซม
ความคงทน, ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย **ผ่าน**	ระดับ 1	ไม่ต้องซ่อมแซม ตรวจสอบ หรือตรวจติดตามต่อไปตามระยะเวลาในแผนบำรุงรักษา	พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	ตรวจสอบด้วยตาเปล่า ตรวจสอบด้วยเครื่องมือแบบไม่ทำลาย
ความคงทน และความสามารถใช้งานได้ **ไม่ผ่าน** แต่ความปลอดภัย **ผ่าน**	ระดับ 2 X	ตรวจติดตามต่อไปตามระยะเวลาในแผนบำรุงรักษา หรือซ่อมความเสียหายที่ไม่ใช่ปัญหาของการรับน้ำหนัก	พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	ทาสีเคลือบผิว (coating) ซ่อมปะ (patching) ซ่อมโดยระบบไฟฟ้าเคมี การใช้สารเคมีต่างๆ
ความคงทน และความสามารถใช้งานได้ **ไม่ผ่าน** แต่ความปลอดภัย **ผ่าน**	ระดับ 3	ซ่อมความเสียหายที่เป็นปัญหาของการรับน้ำหนัก	พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	เสริมหน้าตัด เพิ่มเหล็กเสริม jacketing เสริมด้วยวัสดุเส้นใย หรือ เส้นใยต่อเนื่อง เสริมด้วยระบบอัดแรงภายใน หรือภายนอก
ความคงทน, ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย **ไม่ผ่าน**	ระดับ 4	ระงับการใช้อาคาร และซ่อมความเสียหายที่เป็นปัญหาของการรับน้ำหนัก	ทันที	เสริมหน้าตัด เพิ่มเหล็กเสริม jacketing เสริมด้วยวัสดุเส้นใย หรือ เส้นใยต่อเนื่อง เสริมด้วยระบบอัดแรงภายใน หรือภายนอก
ความคงทน, ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย **ไม่ผ่าน**	ระดับ 5	ระงับการใช้อาคาร และทุบทำลาย สร้างใหม่	-	-

ตัวอย่างอาคารที่ 2

ข้อมูลทั่วไปของอาคาร

1. ข้อมูลสถานที่ตั้ง และเจ้าของอาคาร

1.1 ชื่ออาคาร และสถานที่ตั้ง

ชื่ออาคาร...**อาคารชุดพักอาศัย** .....

ตั้งอยู่เลขที่.....ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....

จังหวัด.....

รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....โทรสาร.....

1.2 เจ้าของอาคาร

ชื่อ.....เอกชน.....

สถานที่ติดต่อเลขที่.....หมู่ที่.....ตรอก/ซอย.....

ถนน.....ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....

จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....

โทรสาร..... อีเมล.....

2. ประเภทของอาคาร และข้อมูลด้านโครงสร้าง

2.1 ข้อมูลการขออนุญาตการก่อสร้าง และเปิดใช้อาคาร

ได้รับใบอนุญาตก่อสร้างจากเจ้าพนักงานท้องถิ่น เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

☐ มี แบบแปลนเดิม

☑ ไม่มี แบบแปลนเดิม (กรณีที่ไม่มีแบบแปลนหรือแผนผังรายการเกี่ยวกับการก่อสร้างอาคาร ให้เจ้าของอาคารจัดหาหรือจัดทำแบบแปลนการตรวจสอบอาคารและอุปกรณ์ประกอบของอาคารให้กับผู้ตรวจสอบอาคาร)

ได้รับใบอนุญาตเปิดใช้อาคารจากเจ้าพนักงานท้องถิ่น เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ...2540.....

ตามที่ได้รับอนุญาตให้ใช้เป็น..... .....

การใช้งานปัจจุบันใช้เป็น.....

2.2 ข้อมูลด้านการออกแบบโครงสร้าง

2.2.1 วิธีการออกแบบ

☐ วิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Method, WSM)

☐ วิธีกำลัง (Strength Design Method, SDM)

☐ วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor Design, LRFD)

☑ ไม่มีข้อมูล

2.2.2 มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ

☐ มาตรฐาน วสท. 1007, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1008, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1009, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตอัดแรง”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1015, “มาตรฐานสำหรับอาคารเหล็กรูปพรรณ”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1020, “มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณ โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก”

ปีพ.ศ. .....

☐ อื่น ๆ ....

ปีพ.ศ.....

☑ ไม่มีข้อมูล

2.2 ประเภทอาคาร (กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522)

ประเภท	ประเภท และส่วนต่าง ๆ ของอาคาร	น้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำ (กก. ต่อ ตร.ม.)
	หลังคา	30
	กันสาด หรือหลังคาคอนกรีต	100
	ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
X	ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรม และห้องคนไข้พิเศษของโรงพยาบาล	200
	สำนักงาน ธนาคาร	250
	อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน โรงพยาบาล	300
	ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม สำนักงาน และธนาคาร	300
	ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุด หรือหอสมุด ที่จอด หรือเก็บรถยนต์นั่ง และรถจักรยานยนต์	400
	ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย และโรงเรียน	400
	คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
	ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุด หรือหอสมุด	500
	ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุด หรือหอสมุด	600
	ที่จอด หรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่า	700

2.3 รูปแบบโครงสร้างอาคาร (ระบุ)

โครงสร้าง	หัวข้อ	รายละเอียด
ฐานราก	วัสดุ	☐ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☐ ไม่มีฐานราก ☐ ฐานรากแผ่ ☑ เสาเข็ม
	อื่นๆ	ความหนาของฐานราก.....ม.
		ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)
เสา	วัสดุ	☑ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☑ หล่อในที่ ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ☐ กำแพงรับน้ำหนัก
	อื่นๆ	ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)
คาน	วัสดุ	☑ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☑ หล่อในที่ ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ☐ คานลึก ☐ คานต่อเนื่อง
	อื่นๆ	ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)

โครงสร้าง	หัวข้อ	รายละเอียด
พื้น	วัสดุ	☑ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☑ หล่อในที่ ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป และหล่อในที่ประกอบกัน
	อื่นๆ	ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)

3. การเก็บรักษาประเภทของวัตถุหรือเชื้อเพลิงที่อาจเป็นอันตราย

☐ วัตถุติดไฟ ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ วัตถุอันตราย ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ วัตถุเชื้อเพลิง ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ น้ำมันเชื้อเพลิง ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ ก๊าซ ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ สารเคมี ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ อื่น ๆ (ระบุ) .....

การตรวจสอบสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบันด้วยวิธีตรวจพินิจ

1. การใช้งาน การต่อเติม ดัดแปลง ปรับปรุงตัวอาคาร

ลำดับที่	รายการที่ตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	ตำแหน่งองค์อาคารและรายละเอียดที่พบ	ความเห็นผู้ตรวจสอบ
1	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกที่มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
2	การต่อเติมหรือดัดแปลงโครงสร้างอาคารเพิ่มจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
3	การซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
4	การเปลี่ยนสภาพหรือกิจกรรมการใช้ที่มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
5	การเปลี่ยนแปลงวัสดุที่มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
6	สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงจากแบบแปลน หรือข้อกำหนดการออกแบบ	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		

2. การตรวจสอบความเสียหายของโครงสร้าง

2.1 จุดบกพร่องจากการก่อสร้าง (Construction Faults)

☐ มี ☑ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.2)

ความเสียหาย	ตำแหน่งความเสียหายและรูปประกอบ	สาเหตุ	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
รอยต่อการเทคอนกรีต (Cold Joint)			
เหล็กเสริมที่ไม่มีคอนกรีตหุ้ม			
รูพรุนแบบรวงผึ้งในเนื้อคอนกรีต			
อื่นๆ			

2.2 รอยร้าว (Cracks)

☑ มี ☐ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.3)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
ข้อมูลการตรวจสอบรอยร้าว		
ตำแหน่ง และ รูปความเสียหาย (แผนที่รอยร้าว)	 รอยร้าวที่ผิวคอนกรีต	
ทิศทางและลักษณะของรอยร้าว	☑ ตามแนวเหล็กเสริม ☐ แตกลายงา กระจัดกระจายไร้ทิศทางแน่นอน ☐ ทแยงมุม หรือแนวเฉียง ☐ ขนานกันเป็นช่วง ๆ ☐ ม้วนเกลียว ☐ อื่นๆ.....	
ความกว้างสูงสุดของรอยร้าว	☐ < 0.1 มม. ☐ < 0.3 มม. ☐ < ความกว้างที่ยอมรับได้สูงสุดของรอยร้าว ตามตารางที่ 3	
ความยาวรอยร้าว	☐ ตลอดความกว้างแผ่นพื้น (ตั้งฉากกับแนวเหล็กเสริม) ☑ เป็นช่วงๆ ☐ โดยรอบองค์อาคาร	

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
ความลึกของรอยร้าว	☐ ตลอดความลึกของหน้าตัดองค์อาคาร ☐ พบเฉพาะด้านที่รับแรงดึง ☑ ถึงระดับเหล็กเสริม ☐ เฉพาะวัสดุเคลือบผิว หรือปิดผิวคอนกรีต ☐ไม่มีข้อมูล	
ลักษณะพื้นผิวและสีคอนกรีตโดยรอบรอยร้าว	☐ มีคราบน้ำที่แห้งตัว ☐ มีความชื้น ☑ คราบสีสนิม ☐ คราบหินปูน (Efflorescence) ☐ ไม่มีข้อมูล	
การขยายตัวของรอยร้าว ภายหลังการตรวจสอบครั้งแรก .....0..... เดือน	☐ มี จำนวนรอยร้าวเพิ่มขึ้น ☐ มี ความกว้างขยายตัว ☐ มี ความยาวขยายตัว ☐ มี ความลึกขยายตัว ☑ ไม่มี	
อายุโครงสร้างที่ตรวจพบรอยร้าวครั้งแรก		
สาเหตุของรอยร้าว		
สาเหตุของรอยร้าว (ตามตารางที่ 2)	การเกิดสนิมของเหล็กเสริม	
การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น	สาเหตุการเกิดสนิม	

2.3 การเสื่อมสภาพ หรือสลายตัวของคอนกรีต (Deterioration or Disintegration of Concrete)

☑ มี ☐ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.4)

หัวข้อ	ตำแหน่งความเสียหาย และรูปประกอบ	อายุโครงสร้างที่ตรวจพบครั้งแรก	สาเหตุ (ตามตารางที่ 2)	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
การบวมตัว และผิวหน้าเสียหาย				
การสึกกร่อนของผิวหน้า				
ผิวหน้าถูกทำลายด้วยสารเคมี				
การหลุดร่อนของผิวคอนกรีต		3 ปี	การเกิดสนิมของเหล็กเสริม	
การเกิดสนิมของมวลรวม				
การเปลี่ยนสีของคอนกรีต				
การแตกของคอนกรีตเนื่องจากการถูกกดอัด (Crushing)				

2.4 การบิดเบี้ยวหรือเคลื่อนตัวของโครงสร้าง (Distortion and Movement)

☐ มี ☑ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.5)

หัวข้อ	ตำแหน่งความเสียหายและรูปประกอบ	อายุโครงสร้างที่ตรวจพบครั้งแรก	สาเหตุ (ตามตารางที่ 2)	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
การบิดเบี้ยวของโครงสร้าง				
การทรุดตัวไม่เท่ากันของโครงสร้าง				
การเคลื่อนตัวของโครงสร้าง				

2.5 การรั่วซึมของน้ำ หรือของเหลว

☐ มี ☑ ไม่มี

หัวข้อ	ตำแหน่งความเสียหายและรูปประกอบ	อายุโครงสร้างที่ตรวจพบครั้งแรก	สาเหตุ (ตามตารางที่ 2)	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
คราบความชื้น สนิม หรือตะไคร่น้ำ				
การบวมปูดของวัสดุเคลือบผิว				
การเสื่อมสภาพของวัสดุอุดปิดรอยต่อ				
คราบหินปูนที่ผิวคอนกรีต				

การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด

1. การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนัก

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
กำลังอัดคอนกรีต	ทดสอบค่าการสะท้อนของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก มยผ. 1502-51 ทดสอบค่าการสะท้อนด้วยค้อนกระแทก	ประเมินกำลังอัดของคอนกรีตขององค์อาคารต่างๆ	ค่าการสะท้อนมีค่าในช่วง 45 – 60
กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม			
กำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง			

2. การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านความสามารถในการใช้งาน

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
ค่าการทรุดตัวที่ยอมรับได้ ในรูปของการเสียรูปเชิงมุม (Angular Distortion: β)			
การแอ่นตัวขององค์อาคาร			
ปริมาณการรั่วซึมของของเหลวเก็บกัก			
การตรวจสอบความถี่ และความเร่งของการสั่นสะเทือน			

3. การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านอายุการใช้งาน และความคงทน

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบพลาสติก			
การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ			
การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัส			
การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง			
การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์	ตรวจสอบระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม และตำแหน่งเหล็กเสริม การทตรวจสอบด้วยเครื่อง Covermeter	ตรวจสอบระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมเป็นไปตามค่าที่กำหนดในแบบการก่อสร้าง และหาตำแหน่งเหล็กเสริมเพื่อการเจาะเก็บผงตัวอย่างคอนกรีต	ผลการทดสอบปริมาณระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม และตำแหน่งเหล็กเสริม ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมมีค่าในช่วง 20 - 40 มม.
	ทดสอบปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต ณ ความลึกต่างๆ เจาะเก็บผงคอนกรีตทุกระยะความลึก 1 ซม. จากผิวคอนกรีต	ตรวจสอบปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต ณ ความลึกต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริม ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวคอนกรีต และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ เพื่อวิเคราะห์การเกิดสนิมของเหล็กเสริม และอายุการ	ผลการทดสอบปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต ณ ความลึกต่างๆ ปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต ณ ความลึกต่างๆ

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
	จนถึงความลึก 5 ซม. โดยเจาะเก็บอย่างน้อย 5 รูเจาะในแต่ละความลึก	ใช้งาน	<table><tr><th>ตำแหน่ง</th><th>ความลึก</th><th>ปริมาณคลอไรด์ (ร้อยล ครั้งที่ 1</th><th>ค</th></tr><tr><td rowspan="3">ท่องพื้นของโถงลิฟท์ชั้นที่ 2</td><td>ผิวหน้าของคอนกรีต</td><td>0.44</td><td></td></tr><tr><td>ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม</td><td>0.78</td><td></td></tr><tr><td>ผิวเหล็กเสริม</td><td>0.6</td><td></td></tr><tr><td rowspan="5">ท่องพื้นอาคารจอดรถชั้น 2 ตำแหน่ง A-2</td><td>0-1 cm</td><td>0.01</td><td></td></tr><tr><td>1-2 cm</td><td>0.01</td><td></td></tr><tr><td>2-3 cm</td><td>0.07</td><td></td></tr><tr><td>3-4 cm</td><td>0.02</td><td></td></tr><tr><td>4-5 cm</td><td>0.01</td><td></td></tr><tr><td rowspan="5">ท่องพื้นอาคารจอดรถชั้น 2 ตำแหน่ง A-4</td><td>0-1 cm</td><td>0.01</td><td></td></tr><tr><td>1-2 cm</td><td>0.01</td><td></td></tr><tr><td>2-3 cm</td><td>0.01</td><td></td></tr><tr><td>3-4 cm</td><td>0.01</td><td></td></tr><tr><td>4-5 cm</td><td>0.02</td><td></td></tr><tr><td rowspan="5">ท่องพื้นอาคารจอดรถชั้น 4 ตำแหน่ง A-2</td><td>0-1 cm</td><td>0.02</td><td></td></tr><tr><td>1-2 cm</td><td>0.01</td><td></td></tr><tr><td>2-3 cm</td><td>0.01</td><td></td></tr><tr><td>3-4 cm</td><td>0.10</td><td></td></tr><tr><td>4-5 cm</td><td>0.12</td><td></td></tr><tr><td rowspan="5">ท่องพื้นอาคารจอดรถชั้น 4 ตำแหน่ง A-4</td><td>0-1 cm</td><td>0.01</td><td></td></tr><tr><td>1-2 cm</td><td>0.02</td><td></td></tr><tr><td>2-3 cm</td><td>0.01</td><td></td></tr><tr><td>3-4 cm</td><td>0.00</td><td></td></tr><tr><td>4-5 cm</td><td>0.00</td><td></td></tr></table> ผลการทดสอบแสดงว่า ณ ความลึกของเหล็กเสริม ปริมาณคลอไรด์สูงกว่าค่าคลอไรด์วิกฤติ และปริมาณคลอไรด์ในระดับที่ลึกมีค่าสูงกว่าที่ผิวคอนกรีต แสดงว่าคลอไรด์อาจปนเปื้อนในขั้นตอนการผสมคอนกรีต และการก่อสร้าง
การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน	 การทดสอบความลึกการเกิดคาร์บอเนชัน	ตรวจสอบความลึกการเกิดคาร์บอเนชันเทียบกับความลึกของเหล็กเสริม	โดยรอบเหล็กเสริมคอนกรีตยังมีความเป็นด่างสูง คาร์บอเนชันไม่เป็นสาเหตุการเกิดสนิมของเหล็กเสริม
ปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม			
การเกิด Delayed Ettringite Formation			
การสึกกร่อน			
การเผชิญกับซัลเฟตและกรด			
ไฟไหม้			
การเกิดสนิมของมวลรวม			

การประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้าง

ประสิทธิภาพของโครงสร้าง	ระดับความเสียหาย	กระบวนการที่แนะนำ	ระยะเวลาการดำเนินการ	ตัวอย่างวิธีการซ่อมแซม
ความคงทน, ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย **ผ่าน**	ระดับ 1	ไม่ต้องซ่อมแซม ตรวจสอบ หรือ ตรวจติดตามต่อไปตามระยะเวลาในแผนบำรุงรักษา	พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	ตรวจสอบด้วยตาเปล่า ตรวจสอบด้วยเครื่องมือแบบไม่ทำลาย
ความคงทน และความสามารถใช้งานได้ **ไม่ผ่าน** แต่ความปลอดภัย **ผ่าน**	ระดับ 2 X	ตรวจติดตามต่อไปตามระยะเวลาในแผนบำรุงรักษา หรือซ่อมความเสียหายที่ไม่ใช่ปัญหาของการรับน้ำหนัก	พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	ทาสี เคลือบผิว (coating) ซ่อมปะ (patching) ซ่อมโดยระบบไฟฟ้าเคมี การใช้สารเคมีต่างๆ
ความคงทน และความสามารถใช้งานได้ **ไม่ผ่าน** แต่ความปลอดภัย **ผ่าน**	ระดับ 3	ซ่อมความเสียหายที่เป็นปัญหาของการรับน้ำหนัก	พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	เสริมหน้าตัด เพิ่มเหล็กเสริม jacketing เสริมด้วยวัสดุเส้นใย หรือ เส้นใยต่อเนื่อง เสริมด้วยระบบอัดแรงภายใน หรือ ภายนอก
ความคงทน, ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย **ไม่ผ่าน**	ระดับ 4	ระงับการใช้อาคาร และซ่อมความเสียหายที่เป็นปัญหาของการรับน้ำหนัก	ทันที	เสริมหน้าตัด เพิ่มเหล็กเสริม jacketing เสริมด้วยวัสดุเส้นใย หรือ เส้นใยต่อเนื่อง เสริมด้วยระบบอัดแรงภายใน หรือ ภายนอก
ความคงทน, ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย **ไม่ผ่าน**	ระดับ 5	ระงับการใช้อาคาร และทุบทำลาย สร้างใหม่	-	-

ตัวอย่างอาคารที่ 3

ข้อมูลทั่วไปของอาคาร

1. ข้อมูลสถานที่ตั้ง และเจ้าของอาคาร

1.1 ชื่ออาคาร และสถานที่ตั้ง

ชื่ออาคาร...**เสาส่งไฟฟ้าแรงสูง** .....

ตั้งอยู่เลขที่.....ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....

จังหวัด.....**ระยอง**.....

รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....โทรสาร.....

1.2 เจ้าของอาคาร

ชื่อ...**บริษัท ผลิตไฟฟ้าแห่งหนึ่ง**.....

สถานที่ติดต่อเลขที่.....หมู่ที่.....ตรอก/ซอย.....

ถนน.....ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....

จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....

โทรสาร..... อีเมล.....

2. ประเภทของอาคาร และข้อมูลด้านโครงสร้าง

2.1 ข้อมูลการขออนุญาตการก่อสร้าง และเปิดใช้อาคาร

ได้รับใบอนุญาตก่อสร้างจากเจ้าพนักงานท้องถิ่น เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

☑ มี แบบแปลนเดิม

☐ ไม่มี แบบแปลนเดิม (กรณีที่ไม่มีแบบแปลนหรือแผนผังรายการเกี่ยวกับการก่อสร้างอาคาร ให้เจ้าของอาคารจัดหาหรือจัดทำแบบแปลนการตรวจสอบอาคารและอุปกรณ์ประกอบของอาคารให้กับผู้ตรวจสอบอาคาร)

ได้รับใบอนุญาตเปิดใช้อาคารจากเจ้าพนักงานท้องถิ่น เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ...2553.....

ตามที่ได้รับอนุญาตให้ใช้เป็น..... .....

การใช้งานปัจจุบันใช้เป็น.....

2.2 ข้อมูลด้านการออกแบบโครงสร้าง

2.2.1 วิธีการออกแบบ

☐ วิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Method, WSM)

☐ วิธีกำลัง (Strength Design Method, SDM)

☐ วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor Design, LRFD)

☑ ไม่มีข้อมูล

2.2.2 มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ

☐ มาตรฐาน วสท. 1007, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1008, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1009, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตอัดแรง”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1015, “มาตรฐานสำหรับอาคารเหล็กรูปพรรณ”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1020, “มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณ โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก”

ปีพ.ศ. .....

☐ อื่น ๆ ....

ปีพ.ศ.....

☑ ไม่มีข้อมูล

2.2 ประเภทอาคาร (กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522)

ประเภท	ประเภท และส่วนต่าง ๆ ของอาคาร	น้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำ (กก. ต่อ ตร.ม.)
	หลังคา	30
	กันสาด หรือหลังคาคอนกรีต	100
	ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
	ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรม และห้องคนไข้พิเศษของโรงพยาบาล	200
	สำนักงาน ธนาคาร	250
	อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน โรงพยาบาล	300
	ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม สำนักงาน และธนาคาร	300
	ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุด หรือหอสมุด ที่จอด หรือเก็บรถยนต์นั่ง และรถจักรยานยนต์	400
	ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย และโรงเรียน	400
	คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
	ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุด หรือหอสมุด	500
	ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุด หรือหอสมุด	600
	ที่จอด หรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่า	700

2.3 รูปแบบโครงสร้างอาคาร (ระบุ)

โครงสร้าง	หัวข้อ	รายละเอียด
ฐานราก	วัสดุ	☑ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☑ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☐ ไม่มีฐานราก ☐ ฐานรากแผ่ ☑ เสาเข็ม
	อื่นๆ	ความหนาของฐานราก.....ม.
		ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)
เสา	วัสดุ	☐ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☑ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☐ หล่อในที่ ☑ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ☐ กำแพงรับน้ำหนัก
	อื่นๆ	ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)
คาน	วัสดุ	☐ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☑ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☐ หล่อในที่ ☑ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ☐ คานลึก ☐ คานต่อเนื่อง
	อื่นๆ	ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)

โครงสร้าง	หัวข้อ	รายละเอียด
พื้น	วัสดุ	☐ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☐ หล่อในที่ ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป และหล่อในที่ประกอบกัน
	อื่นๆ	ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ลักษณะสภาพแวดล้อม (มยผ. 1332-55)

ลักษณะงานก่อสร้างและสภาพแวดล้อม	การออกแบบให้คำนึงถึงหัวข้อความคงทนต่อไปนี้เป็นหลัก
1. น้ำจืด ก) ใต้น้ำ ข) เผชิญวัฏจักรเปียกสลับแห้ง ค) บรรยากาศบริเวณที่สัมผัสละอองน้ำได้	การสึกกร่อนของผิวคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริม และ/หรือการสึกกร่อนของผิวคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน และ/หรือ การเกิดสนิมของ เหล็กเสริมทั่วไป
2. น้ำกร่อย ก) ใต้น้ำ ข) เผชิญวัฏจักรเปียกสลับแห้ง ค) บรรยากาศบริเวณที่สัมผัสละอองน้ำได้	การต้านทานซัลเฟต และ/หรือ การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ จากน้ำทะเล และ/หรือ การสึกกร่อนของผิวคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จากน้ำทะเล และ/หรือ การสึกกร่อนของผิวคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน และ/หรือ การเกิดสนิมของ เหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จากน้ำทะเล
3. น้ำทะเล ก) ใต้น้ำ ข) เผชิญวัฏจักรเปียกสลับแห้ง ค) บรรยากาศบริเวณที่สัมผัสละอองน้ำได้	การต้านทานซัลเฟต และ/หรือ การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจาก คลอไรด์จากน้ำทะเล และ/หรือ การสึกกร่อนของผิวคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จากน้ำทะเล และ/หรือ การสึกกร่อนของผิวคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน และ/หรือ การเกิดสนิม ของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จากน้ำทะเล
4. น้ำเสีย	การต้านทานกรดซัลฟุริก และ การต้านทานซัลเฟต หรือสารเคมีอื่นๆ

ตารางที่ 1 ลักษณะสภาพแวดล้อม (มยผ. 1332-55) (ต่อ)

ลักษณะงานก่อสร้างและสภาพแวดล้อม	การออกแบบให้คำนึงถึงหัวข้อความคงทนต่อไปนี้เป็นหลัก
5. ใต้ดิน และใต้พื้นท้องทะเล ก) มีซัลเฟต ข) ไม่มีซัลเฟต	การต้านทานซัลเฟต ไม่มี
6. ติดผิวดิน (เช่น ตอม่อ คานคอดิน โครงสร้างบริเวณติดผิวดิน) ก) สัมผัสคลอไรด์ ข) ไม่สัมผัสคลอไรด์	การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ในดิน การเกิดสนิมของเหล็กเสริมทั่วไป
7. ในบรรยากาศที่ต้องสัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ใกล้โรงงาน ใกล้ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น อุโมงค์ทางลอด)	การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน
8. ในบรรยากาศที่ต้องคำนึงถึงการหดตัวแบบแห้ง (กลางแจ้ง หรือ มีลมพัดแรง)	การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง
9. โครงสร้างคอนกรีตหลา เช่น เขื่อน ฐานรากขนาดใหญ่ และโครงสร้างที่มีความหนามาก	การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ หรือ การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว
10. ชิ้นส่วนบางต่อเนื่องที่มีการยึดรั้ง การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว	การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว
11. โครงสร้างคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ มีความทึบน้ำสูง	การหดตัวแบบออโตจีนัส
12. งานก่อสร้างที่สัมผัสสารเคมีอื่น	ความสามารถในการต้านทานสารเคมีที่เกี่ยวข้อง
13. เผชิญอุณหภูมิผิดปกติ วัฏจักรอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง และสูงขึ้นกว่าจุดหลอมเหลว วัฏจักรอุณหภูมิสูง และลดต่ำลงอย่างฉับพลัน	การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากวัฏจักรอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง และสูงขึ้นกว่าจุดหลอมเหลว การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากวัฏจักรอุณหภูมิสูง และลดต่ำลงอย่างฉับพลัน

3. การเก็บรักษาประเภทของวัตถุหรือเชื้อเพลิงที่อาจเป็นอันตราย

☐ วัตถุติดไฟ ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ วัตถุอันตราย ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ วัตถุเชื้อเพลิง ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ น้ำมันเชื้อเพลิง ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ ก๊าซ ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ สารเคมี ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ อื่น ๆ (ระบุ) .....

การตรวจสอบสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบันด้วยวิธีตรวจพินิจ

1. การใช้งาน การต่อเติม ดัดแปลง ปรับปรุงตัวอาคาร

ลำดับที่	รายการที่ตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	ตำแหน่งองค์อาคาร และรายละเอียดที่พบ	ความเห็นผู้ตรวจสอบ
1	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกที่มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
2	การต่อเติมหรือดัดแปลงโครงสร้างอาคารเพิ่มจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
3	การซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
4	การเปลี่ยนสภาพหรือกิจกรรมการใช้ที่มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
5	การเปลี่ยนแปลงวัสดุที่มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
6	สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงจากแบบแปลน หรือข้อกำหนดการออกแบบ	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		

2. การตรวจสอบความเสียหายของโครงสร้าง

2.1 จุดบกพร่องจากการก่อสร้าง (Construction Faults)

☑ มี ☐ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.2)

ความเสียหาย	ตำแหน่งความเสียหาย และรูปประกอบ	สาเหตุ	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
รอยต่อการเทคอนกรีต (Cold Joint)			
เหล็กเสริมที่ไม่มีคอนกรีตหุ้ม			
รูพรุนแบบรวงผึ้งในเนื้อคอนกรีต			
อื่นๆ		วัสดุเคลือบผิวเสียหายระหว่างการก่อสร้าง	

2.2 รอยร้าว (Cracks)

☐ มี ☑ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.3)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
ข้อมูลการตรวจสอบรอยร้าว		
ตำแหน่ง และ รูปความเสียหาย (แผนที่รอยร้าว)		
ทิศทางและลักษณะของรอยร้าว	☐ ตามแนวเหล็กเสริม ☐ แตกลายงา กระจัดกระจายไร้ทิศทางแน่นอน ☐ ทแยงมุม หรือแนวเฉียง ☐ ขนานกันเป็นช่วง ๆ ☐ ม้วนเกลียว ☐ อื่นๆ.....	
ความกว้างสูงสุดของรอยร้าว	☐ < 0.1 มม. ☐ < 0.3 มม. ☐ < ความกว้างที่ยอมรับได้สูงสุดของรอยร้าวตามตารางที่ 3	
ความยาวรอยร้าว	☐ ตลอดความกว้างแผ่นพื้น (ตั้งฉากกับแนวเหล็กเสริม) ☐ เป็นช่วงๆ ☐ โดยรอบองค์อาคาร	
ความลึกของรอยร้าว	☐ ตลอดความลึกของหน้าตัดองค์อาคาร ☐ พบเฉพาะด้านที่รับแรงดึง ☐ ถึงระดับเหล็กเสริม ☐ เฉพาะวัสดุเคลือบผิว หรือปิดผิวคอนกรีต ☐ไม่มีข้อมูล	

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
ลักษณะพื้นผิว และสีคอนกรีตโดยรอบรอยร้าว	☐ มีคราบน้ำที่แห้งตัว ☐ มีความชื้น ☐ คราบสีสนิม ☐ คราบหินปูน (Efflorescence) ☐ ไม่มีข้อมูล	
การขยายตัวของรอยร้าว ภายหลังการตรวจสอบครั้งแรก .....0.....เดือน	☐ มี จำนวนรอยร้าวเพิ่มขึ้น ☐ มี ความกว้างขยายตัว ☐ มี ความยาวขยายตัว ☐ มี ความลึกขยายตัว ☐ ไม่มี	
อายุโครงสร้างที่ตรวจพบรอยร้าวครั้งแรก		
สาเหตุของรอยร้าว		
สาเหตุของรอยร้าว (ตามตารางที่ 2)		
การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น		

2.3 การเสื่อมสภาพ หรือสลายตัวของคอนกรีต (Deterioration or Disintegration of Concrete)

☐ มี ☑ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.4)

หัวข้อ	ตำแหน่งความเสียหาย และรูปประกอบ	อายุโครงสร้างที่ตรวจพบครั้งแรก	สาเหตุ (ตามตารางที่ 2)	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
การบวมตัว และผิวหน้าเสียหาย				
การสึกกร่อนของผิวหน้า				
ผิวหน้าถูกทำลายด้วยสารเคมี				
การหลุดร่อนของผิวคอนกรีต				
การเกิดสนิมของมวลรวม				
การเปลี่ยนสีของคอนกรีต				
การแตกของคอนกรีตเนื่องจากการถูกกดอัด (Crushing)				

2.4 การบิดเบี้ยวหรือเคลื่อนตัวของโครงสร้าง (Distortion and Movement)

☐ มี ☑ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.5)

หัวข้อ	ตำแหน่งความเสียหาย และรูปประกอบ	อายุโครงสร้างที่ตรวจพบครั้งแรก	สาเหตุ (ตามตารางที่ 2)	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
การบิดเบี้ยวของโครงสร้าง				
การทรุดตัวไม่เท่ากันของโครงสร้าง				
การเคลื่อนตัวของโครงสร้าง				

2.5 การรั่วซึมของน้ำ หรือของเหลว

☐ มี ☑ ไม่มี

หัวข้อ	ตำแหน่งความเสียหาย และรูปประกอบ	อายุโครงสร้างที่ตรวจพบครั้งแรก	สาเหตุ (ตามตารางที่ 2)	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
คราบความชื้น สนิม หรือตะไคร่น้ำ				
การบวมปูดของวัสดุเคลือบผิว				
การเสื่อมสภาพของวัสดุอุดปิดรอยต่อ				
คราบหินปูนที่ผิวคอนกรีต				

การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด

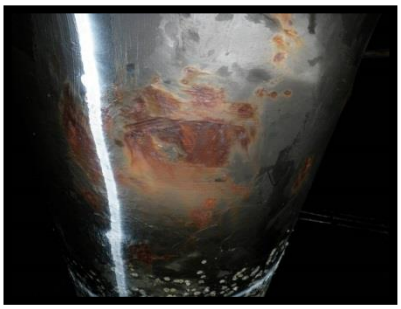
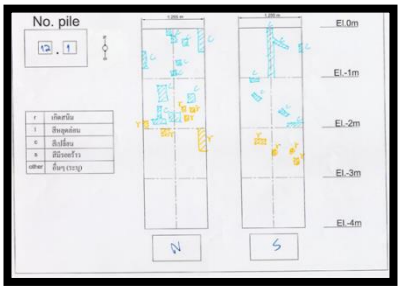
1. การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนัก

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
กำลังอัดคอนกรีต			
กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม			
กำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง			

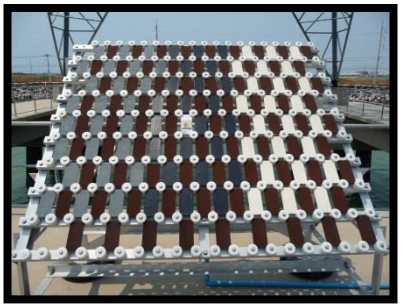
2. การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านความสามารถในการใช้งาน

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
ค่าการทรุดตัวที่ยอมรับได้ ในรูปของการเสียรูปเชิงมุม (Angular Distortion: β)			
การแอ่นตัวขององค์อาคาร			
ปริมาณการรั่วซึมของของเหลวเก็บกัก			
การตรวจสอบความถี่ และความเร่งของการสั่นสะเทือน			

3. การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านอายุการใช้งาน และความคงทน

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
การเกิดสนิม	ISO 4628 Paints and varnishes – Evaluation of degradation of coatings – Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance	ตรวจสอบความรุนแรงของการเกิดสนิม	 
ความหนาของวัสดุเคลือบผิว	ASTM D7091 Standard Practice for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied to Ferrous Metals and Nonmagnetic, Nonconductive Coatings Applied to Non- Ferrous Metals	ความหนาของวัสดุเคลือบผิว	

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
			<table><tr><th rowspan="2">เสาต้นที่</th><th rowspan="2">ชนิดของชั้นสี</th><th colspan="5">ข้อมูลความหนาชั้นสี</th></tr><tr><th>จำนวนข้อมูล</th><th>ค่าเฉลี่ย (ไมครอน)</th><th>ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ไมครอน)</th><th>ค่าความแปรปรวน (%)</th><th>ข้อมูลที่น้อยกว่าข้อกำหนด (%) (Epoxy 400 microns) (Galvanized 120 microns)</th></tr><tr><td rowspan="3">3</td><td>สีเดิม</td><td>528</td><td>540</td><td>79.2</td><td>14.95</td><td>3.03</td></tr><tr><td>สีซ่อมแซม</td><td>432</td><td>874</td><td>265.6</td><td>30.37</td><td>0.69</td></tr><tr><td>สีกัลวไนซ์</td><td>416</td><td>178</td><td>29.5</td><td>16.54</td><td>1.68</td></tr></table>
ความหนาของเหล็กภายหลังการเกิดสนิม	ASTM E797 Standard Practice for Measuring Thickness by Manual Ultrasonic Pulse-Echo Contact Method	วัดความหนาของเหล็กภายหลังการเกิดสนิม	 <table><tr><th rowspan="2">เสาต้นที่</th><th colspan="5">ข้อมูลความหนาของเข็มเหล็ก</th></tr><tr><th>จำนวนข้อมูล</th><th>ค่าเฉลี่ย (มม.)</th><th>ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มม.)</th><th>ค่าความแปรปรวน (%)</th><th>ข้อมูลที่น้อยกว่าข้อกำหนด (%) (Thickness loss > 0.03mm/year)</th></tr><tr><td>3</td><td>239</td><td>13.97</td><td>0.12</td><td>0.83</td><td>7.11</td></tr><tr><td>4</td><td>276</td><td>13.91</td><td>0.11</td><td>0.78</td><td>9.42</td></tr><tr><td>7</td><td>84</td><td>14.2</td><td>0.07</td><td>0.51</td><td>0.00</td></tr><tr><td>7 (Severe)</td><td>21</td><td>13.9</td><td>0.44</td><td>3.17</td><td>33.33</td></tr><tr><td>12A</td><td>97</td><td>14.04</td><td>0.22</td><td>1.58</td><td>5.15</td></tr></table>
แรงยึดเกาะของวัสดุเคลือบผิว	ASTM D4541 Standard Test Method for Pull- off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers	แรงยึดเกาะของวัสดุเคลือบผิว	

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
			<table><tr><th>เสาต้นที่</th><th>ชนิดของชั้นสี</th><th colspan="9">ข้อมูลแรงยึดเหนี่ยวของชั้นสี (kN)</th></tr><tr><td rowspan="2">3</td><td>สีเดิม</td><td>2.1 (B)</td><td>1.3 (B)</td><td>1.48 (B)</td><td>2.1 (B)</td><td>1.58 (B)</td><td>1.01 (B)</td><td>1.58 (B)</td><td>1.76 (B)</td><td>1.66 (B)</td></tr><tr><td>สีซ่อมแซม</td><td>1.35 (B/C)</td><td>0.49 (Y/Z)</td><td>0.52 (Y/Z)</td><td>1.35 (Y/Z)</td><td>1.09 (Y/Z)</td><td>1.35 (Y/Z)</td><td>0.83 (C)</td><td>1.25 (C)</td><td>1.56 (C)</td></tr><tr><td rowspan="2">4</td><td>สีเดิม</td><td>1.87 (C/Y)</td><td>2.98 (C/Y)</td><td>0.96 (C/Y)</td><td>2.62 (B)</td><td>1.92 (B)</td><td>1.82 (B)</td><td>1.45 (B)</td><td>2.83 (B)</td><td>1.58 (B)</td></tr><tr><td>สีซ่อมแซม</td><td>1.30 (C)</td><td>1.92 (Y/Z)</td><td>0.96 (Y/Z)</td><td>0.34 (C/Y)</td><td>0.54 (C/Y)</td><td>0.31 (C/Y)</td><td>2.65 (C/Y)</td><td>0.96 (C/Y)</td><td>1.06 (C/Y)</td></tr></table> *โดยที่ B = ชั้นสีเดิม C = ชั้นสีใหม่ Y = กาวอีพ็อกซี่ และ Z = ดอลลี่* *X/X = การเสียหายแบบ Adhesive และ X = การเสียหายแบบ Cohesive*
อัตราการเกิดสนิมของเหล็ก	ISO 8565 Metals and alloys. Atmospheric corrosion testing. General requirements		

การประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้าง

ประสิทธิภาพของโครงสร้าง	ระดับความเสียหาย	กระบวนการที่แนะนำ	ระยะเวลาการดำเนินการ	ตัวอย่างวิธีการซ่อมแซม
ความคงทน, ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย **ผ่าน**	ระดับ 1	ไม่ต้องซ่อมแซม ตรวจสอบ หรือ ตรวจติดตามต่อไปตามระยะเวลาในแผนบำรุงรักษา	พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	ตรวจสอบด้วยตาเปล่า ตรวจสอบด้วยเครื่องมือแบบไม่ทำลาย
ความคงทน และความสามารถใช้งานได้ **ไม่ผ่าน** แต่ความปลอดภัย **ผ่าน**	ระดับ 2 X	ตรวจติดตามต่อไปตามระยะเวลาในแผนบำรุงรักษา หรือซ่อมความเสียหายที่ไม่ใช่ปัญหาของการรับน้ำหนัก	พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	ทาสี เคลือบผิว (coating) ซ่อมปะ (patching) ซ่อมโดยระบบไฟฟ้าเคมี การใช้สารเคมีต่างๆ
ความคงทน และความสามารถใช้งานได้ **ไม่ผ่าน** แต่ความปลอดภัย **ผ่าน**	ระดับ 3	ซ่อมความเสียหายที่เป็นปัญหาของการรับน้ำหนัก	พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	เสริมหน้าตัด เพิ่มเหล็กเสริม jacketing เสริมด้วยวัสดุเส้นใย หรือ เส้นใยต่อเนื่อง เสริมด้วยระบบอัดแรงภายในหรือ ภายนอก
ความคงทน, ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย **ไม่ผ่าน**	ระดับ 4	ระงับการใช้อาคารและซ่อมความเสียหายที่เป็นปัญหาของการรับน้ำหนัก	ทันที	เสริมหน้าตัด เพิ่มเหล็กเสริม jacketing เสริมด้วยวัสดุเส้นใย หรือ เส้นใยต่อเนื่อง เสริมด้วยระบบอัดแรงภายในหรือ ภายนอก
ความคงทน, ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย **ไม่ผ่าน**	ระดับ 5	ระงับการใช้อาคารและทุบทำลายสร้างใหม่	-	-

ตัวอย่างอาคารที่ 4

ข้อมูลทั่วไปของอาคาร

1. ข้อมูลสถานที่ตั้ง และเจ้าของอาคาร

1.1 ชื่ออาคาร และสถานที่ตั้ง

ชื่ออาคาร... **โรงพยาบาล** .....

ตั้งอยู่เลขที่.....ตรอก/ซอย.....ถนน... .....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....เมือง.....

จังหวัด.....**สมุทรสาคร**.....

รหัสไปรษณีย์...74000.....โทรศัพท์.....โทรสาร.....

1.2 เจ้าของอาคาร

ชื่อ.....โรงพยาบาลแห่งหนึ่ง .....

สถานที่ติดต่อเลขที่.....หมู่ที่.....ตรอก/ซอย.....

ถนน.....ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....

จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....

โทรสาร..... อีเมล..... .

2. ประเภทของอาคาร และข้อมูลด้านโครงสร้าง

2.1 ข้อมูลการขออนุญาตการก่อสร้าง และเปิดใช้อาคาร

ได้รับใบอนุญาตก่อสร้างจากเจ้าพนักงานท้องถิ่น เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

☑ มี แบบแปลนเดิม

☐ ไม่มี แบบแปลนเดิม (กรณีที่ไม่มีแบบแปลนหรือแผนผังรายการเกี่ยวกับการก่อสร้างอาคาร ให้เจ้าของอาคารจัดหาหรือจัดทำแบบแปลนการตรวจสอบอาคารและอุปกรณ์ประกอบของอาคารให้กับผู้ตรวจสอบอาคาร)

ได้รับใบอนุญาตเปิดใช้อาคารจากเจ้าพนักงานท้องถิ่น เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ...2553.....

ตามที่ได้รับอนุญาตให้ใช้เป็น..... .....

การใช้งานปัจจุบันใช้เป็น..... .

2.2 ข้อมูลด้านการออกแบบโครงสร้าง

2.2.1 วิธีการออกแบบ

☐ วิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Method, WSM)

☐ วิธีกำลัง (Strength Design Method, SDM)

☐ วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor Design, LRFD)

☑ ไม่มีข้อมูล

2.2.2 มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ

☐ มาตรฐาน วสท. 1007, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1008, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1009, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตอัดแรง”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1015, “มาตรฐานสำหรับอาคารเหล็กรูปพรรณ”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1020, “มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณ โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก”

ปีพ.ศ. .....

☐ อื่น ๆ .....

ปีพ.ศ.....

☑ ไม่มีข้อมูล

2.2 ประเภทอาคาร (กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522)

ประเภท	ประเภท และส่วนต่าง ๆ ของอาคาร	น้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำ (กก. ต่อ ตร.ม.)
	หลังคา	30
	กันสาด หรือหลังคาคอนกรีต	100
	ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
	ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรม และห้องคนไข้พิเศษของโรงพยาบาล	200
	สำนักงาน ธนาคาร	250
	อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน โรงพยาบาล	300
	ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม สำนักงาน และธนาคาร	300
	ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุด หรือหอสมุด ที่จอด หรือเก็บรถยนต์นั่ง และรถจักรยานยนต์	400
	ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย และโรงเรียน	400
	คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
	ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุด หรือหอสมุด	500
	ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุด หรือหอสมุด	600
	ที่จอด หรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่า	700

2.3 รูปแบบโครงสร้างอาคาร (ระบุ)

โครงสร้าง	หัวข้อ	รายละเอียด
ฐานราก	วัสดุ	☑ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☐ ไม่มีฐานราก ☐ ฐานรากแผ่ ☑ เสาเข็ม
	อื่นๆ	ความหนาของฐานราก.....ม.
		ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)
เสา	วัสดุ	☑ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☑ หล่อในที่ ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ☐ กำแพงรับน้ำหนัก
	อื่นๆ	ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)
คาน	วัสดุ	☐ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☑ อื่นๆ.....พื้นเรียบอัดแรงไร้คาน.....
	รูปแบบ	☑ หล่อในที่ ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ☐ คานลึก ☐ คานต่อเนื่อง
	อื่นๆ	ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)

โครงสร้าง	หัวข้อ	รายละเอียด
พื้น	วัสดุ	☐ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☑ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☑ หล่อในที่ ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป และหล่อในที่ประกอบกัน
	อื่นๆ	ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ลักษณะสภาพแวดล้อม (มยผ. 1332-55)

ลักษณะงานก่อสร้างและสภาพแวดล้อม	การออกแบบให้คำนึงถึงหัวข้อความคงทนต่อไปนี้เป็นหลัก
1. น้ำจืด ก) ใต้น้ำ ข) เผชิญวัฏจักรเปียกสลับแห้ง ค) บรรยากาศบริเวณที่สัมผัสละอองน้ำได้	การสึกกร่อนของผิวคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริม และ/หรือ การสึกกร่อนของผิวคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน และ/หรือ การเกิดสนิมของ เหล็กเสริมทั่วไป
2. น้ำกร่อย ก) ใต้น้ำ ข) เผชิญวัฏจักรเปียกสลับแห้ง ค) บรรยากาศบริเวณที่สัมผัสละอองน้ำได้	การต้านทานซัลเฟต และ/หรือ การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ จากน้ำทะเล และ/หรือ การสึกกร่อนของผิวคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จากน้ำทะเล และ/หรือ การสึกกร่อนของผิวคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน และ/หรือ การเกิดสนิมของ เหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จากน้ำทะเล
3. น้ำทะเล ก) ใต้น้ำ ข) เผชิญวัฏจักรเปียกสลับแห้ง ค) บรรยากาศบริเวณที่สัมผัสละอองน้ำได้	การต้านทานซัลเฟต และ/หรือ การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จากน้ำทะเล และ/หรือ การสึกกร่อนของผิวคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จากน้ำทะเล และ/หรือ การสึกกร่อนของผิวคอนกรีต การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน และ/หรือ การเกิดสนิม ของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์จากน้ำทะเล
4. น้ำเสีย	การต้านทานกรดซัลฟุริก และ การต้านทานซัลเฟต หรือสารเคมีอื่นๆ
5. ใต้ดิน และใต้พื้นท้องทะเล ก) มีซัลเฟต ข) ไม่มีซัลเฟต	การต้านทานซัลเฟต ไม่มี

ตารางที่ 1 ลักษณะสภาพแวดล้อม (มยผ. 1332-55) (ต่อ)

ลักษณะงานก่อสร้างและสภาพแวดล้อม	การออกแบบให้คำนึงถึงหัวข้อความคงทนต่อไปนี้เป็นหลัก
6. ติดผิวดิน (เช่น ตอม่อ คานคอดิน โครงสร้างบริเวณติดผิวดิน) ก) สัมผัสคลอไรด์ ข) ไม่สัมผัสคลอไรด์	การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ในดิน การเกิดสนิมของเหล็กเสริมทั่วไป
7. ในบรรยากาศที่ต้องสัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ใกล้โรงงาน ใกล้ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น อุโมงค์ทางลอด)	การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน
8. ในบรรยากาศที่ต้องคำนึงถึงการหดตัวแบบแห้ง (กลางแจ้ง หรือ มีลมพัดแรง)	การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง
9. โครงสร้างคอนกรีตหลา เช่น เขื่อน ฐานรากขนาดใหญ่ และโครงสร้างที่มีความหนามาก	การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ หรือ การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว
10. ชิ้นส่วนบางต่อเนื่องที่มีการยึดรั้ง การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว	การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว
11. โครงสร้างคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ มีความทึบน้ำสูง	การหดตัวแบบออโตจีนัส
12. งานก่อสร้างที่สัมผัสสารเคมีอื่น	ความสามารถในการต้านทานสารเคมีที่เกี่ยวข้อง
13. เผชิญอุณหภูมิผิดปกติ วัฏจักรอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง และสูงขึ้นกว่าจุดหลอมเหลว วัฏจักรอุณหภูมิสูง และลดต่ำลงอย่างฉับพลัน	การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากวัฏจักรอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งและสูงขึ้นกว่าจุดหลอมเหลว การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากวัฏจักรอุณหภูมิสูง และลดต่ำลงอย่างฉับพลัน

3. การเก็บรักษาประเภทของวัตถุหรือเชื้อเพลิงที่อาจเป็นอันตราย

☐ วัตถุติดไฟ ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ วัตถุอันตราย ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ วัตถุเชื้อเพลิง ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ น้ำมันเชื้อเพลิง ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ ก๊าซ ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ สารเคมี ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ อื่น ๆ (ระบุ) .....

การตรวจสอบสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบันด้วยวิธีตรวจพินิจ

1. การใช้งาน การต่อเติม ดัดแปลง ปรับปรุงตัวอาคาร

ลำดับที่	รายการที่ตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	ตำแหน่งองค์อาคารและรายละเอียดที่พบ	ความเห็นผู้ตรวจสอบ
1	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกที่มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
2	การต่อเติมหรือดัดแปลงโครงสร้างอาคารเพิ่มจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
3	การซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
4	การเปลี่ยนสภาพหรือกิจกรรมการใช้ที่มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
5	การเปลี่ยนแปลงวัสดุที่มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารจากแบบแปลน	☑ มี ☐ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด	เผชิญอุณหภูมิสูงจากไฟไหม้	ไฟไหม้ประมาณ 30 นาที เชื้อเพลิงเป็นไม้ และเสื้อผ้า
6	สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงจากแบบแปลน หรือข้อกำหนดการออกแบบ	☑ มี ☐ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด	เผชิญอุณหภูมิสูงจากไฟไหม้	ไฟไหม้ประมาณ 30 นาที เชื้อเพลิงเป็นไม้ และเสื้อผ้า

2. การตรวจสอบความเสียหายของโครงสร้าง

2.1 จุดบกพร่องจากการก่อสร้าง (Construction Faults)

☐ มี ☑ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.2)

ความเสียหาย	ตำแหน่งความเสียหายและรูปประกอบ	สาเหตุ	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
รอยต่อการเทคอนกรีต (Cold Joint)			
เหล็กเสริมที่ไม่มีคอนกรีตหุ้ม			
รูพรุนแบบรวงผึ้งในเนื้อคอนกรีต			
อื่นๆ			

2.2 รอยร้าว (Cracks)

☑ มี ☐ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.3)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
ข้อมูลการตรวจสอบรอยร้าว		
ตำแหน่ง และรูปความเสียหาย (แผนที่รอยร้าว)	รอยร้าวบริเวณท้องพื้น	
ทิศทางและลักษณะของรอยร้าว	☐ ตามแนวเหล็กเสริม ☐ แตกลายงา กระจัดกระจายไร้ทิศทางแน่นอน ☑ ทแยงมุม หรือแนวเฉียง ☐ ขนานกันเป็นช่วง ๆ ☐ ม้วนเกลียว ☐ อื่นๆ.....	
ความกว้างสูงสุดของรอยร้าว	☑ < 0.1 มม. ☐ < 0.3 มม. ☐ < ความกว้างที่ยอมรับได้สูงสุดของรอยร้าว ตามตารางที่ 3	
ความยาวรอยร้าว	☐ ตลอดความกว้างแผ่นพื้น (ตั้งฉากกับแนวเหล็กเสริม) ☐ เป็นช่วงๆ ☐ โดยรอบองค์อาคาร	

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
ความลึกของรอยร้าว	☐ ตลอดความลึกของหน้าตัดองค์อาคาร ☐ พบเฉพาะด้านที่รับแรงดึง ☐ ถึงระดับเหล็กเสริม ☐ เฉพาะวัสดุเคลือบผิว หรือปิดผิวคอนกรีต ☑ไม่มีข้อมูล	
ลักษณะพื้นผิว และสีคอนกรีตโดยรอบรอยร้าว	☐ มีคราบน้ำที่แห้งตัว ☐ มีความชื้น ☐ คราบสีสนิม ☐ คราบหินปูน (Efflorescence) ☑ ไม่มีข้อมูล	
การขยายตัวของรอยร้าว ภายหลังการตรวจสอบครั้งแรก .....0.....เดือน	☐ มี จำนวนรอยร้าวเพิ่มขึ้น ☐ มี ความกว้างขยายตัว ☐ มี ความยาวขยายตัว ☐ มี ความลึกขยายตัว ☑ ไม่มี	
อายุโครงสร้างที่ตรวจพบรอยร้าวครั้งแรก	ไม่แน่ชัด	
สาเหตุของรอยร้าว		
สาเหตุของรอยร้าว (ตามตารางที่ 2)	ไม่แน่ชัด	
การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น	ประเมินความรุนแรงของการเผชิญอุณหภูมิสูง	

2.3 การเสื่อมสภาพ หรือสลายตัวของคอนกรีต (Deterioration or Disintegration of Concrete)

☐ มี ☑ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.4)

หัวข้อ	ตำแหน่งความเสียหาย และรูปประกอบ	อายุโครงสร้างที่ตรวจพบครั้งแรก	สาเหตุ (ตามตารางที่ 2)	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
การบวมตัว และผิวหน้าเสียหาย				
การสึกกร่อนของผิวหน้า				
ผิวหน้าถูกทำลายด้วยสารเคมี				
การหลุดร่อนของผิวคอนกรีต				
การเกิดสนิมของมวลรวม				
การเปลี่ยนสีของคอนกรีต				
การแตกของคอนกรีตเนื่องจากการถูกกดอัด (Crushing)				

2.4 การบิดเบี้ยวหรือเคลื่อนตัวของโครงสร้าง (Distortion and Movement)

☐ มี ☑ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.5)

หัวข้อ	ตำแหน่งความเสียหายและรูปประกอบ	อายุโครงสร้างที่ตรวจพบครั้งแรก	สาเหตุ (ตามตารางที่ 2)	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
การบิดเบี้ยวของโครงสร้าง				
การทรุดตัวไม่เท่ากันของโครงสร้าง				
การเคลื่อนตัวของโครงสร้าง				

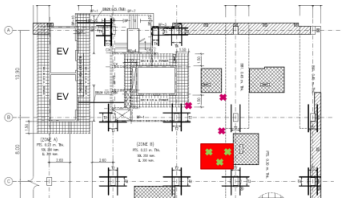
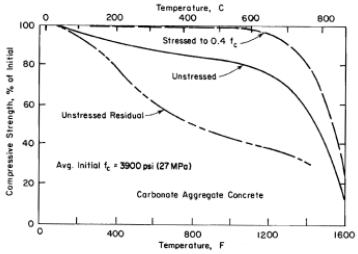
2.5 การรั่วซึมของน้ำ หรือของเหลว

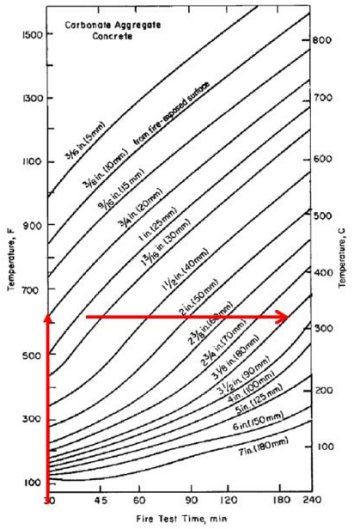
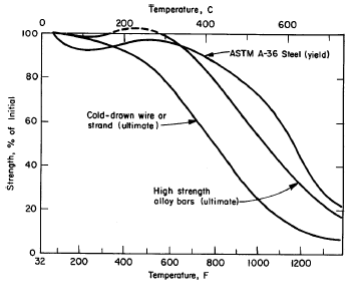
☐ มี ☑ ไม่มี

หัวข้อ	ตำแหน่งความเสียหาย และรูปประกอบ	อายุโครงสร้างที่ตรวจพบครั้งแรก	สาเหตุ (ตามตารางที่ 2)	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
คราบความชื้น สนิม หรือตะไคร่น้ำ				
การบวมปูดของวัสดุเคลือบผิว				
การเสื่อมสภาพของวัสดุอุดปิดรอยต่อ				
คราบหินปูนที่ผิวคอนกรีต				

การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด

1. การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนัก

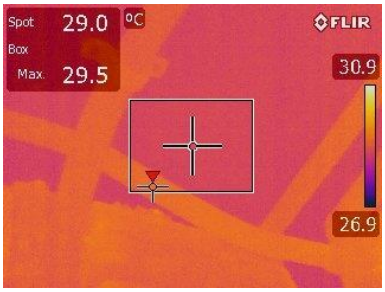
คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
กำลังอัดคอนกรีต	ทดสอบค่าการสะท้อนของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก มยผ. 1502-51  ทดสอบตำแหน่งท้องพื้นเพดานของชั้นที่เกิดไฟไหม้บริเวณที่เกิดไฟไหม้ และบริเวณที่ไม่เกิดไฟไหม้ ตำแหน่งต้นเพลิง ตำแหน่งที่ไม่เกิดไฟไหม้	เปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตระหว่างบริเวณที่เกิดไฟไหม้รุนแรงและบริเวณที่ได้รับผลกระทบน้อย	ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบค่าการสะท้อนของคอนกรีตมีความต่างกันเพียงร้อยละ 0.83 แสดงว่ากำลังอัดของคอนกรีตได้รับผลกระทบจากไฟไหม้น้อยมาก
	 *Fig. 2.10 (b)—Compressive strength of carbonate aggregate concrete at high temperatures and after cooling* ประเมินการลดลงของกำลังอัดคอนกรีตเมื่อเผชิญอุณหภูมิสูง	ประเมินการลดลงของกำลังอัดคอนกรีต	คอนกรีตเผชิญอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 600 °ซ มีผลกระทบต่อกำลังอัดคอนกรีตเพียงเล็กน้อย สอดคล้องกับผลการทดสอบค่าการสะท้อน

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม	 ประเมินอุณหภูมิของเหล็กเสริมที่ความลึกต่าง ๆ ตามระยะเวลาการเผชิญไฟไหม้ และอุณหภูมิของไฟไหม้  *Fig. 2.9—Strength of flexural reinforcement steel bar and strand at high temperatures* ประเมินการลดลงของกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมเมื่อเผชิญอุณหภูมิสูง	ประเมินการลดลงของกำลังดึงของเหล็กเสริม	เหล็กเสริมเผชิญอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 320 °ซ มีผลกระทบต่อกำลังดึงเพียงเล็กน้อย
กำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง			

2. การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านความสามารถในการใช้งาน

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
ค่าการทรุดตัวที่ยอมรับได้ ในรูปของการเสียรูปเชิงมุม (Angular Distortion: β)			
การแอ่นตัวขององค์อาคาร			
ปริมาณการรั่วซึมของของเหลวเก็บกัก			
การตรวจสอบความถี่ และความเร่งของการสั่นสะเทือน			

3. การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านอายุการใช้งาน และความคงทน

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบพลาสติก			
การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ	ภาพถ่ายความร้อน	ตรวจสอบรอยร้าวว่าร้าวทะลุหรือไม่	ไม่มีการรั่วไหลของอากาศเย็น แสดงว่ารอยร้าวไม่ทะลุ 
การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัส			
การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง			
การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์			
การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน			

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
ปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม			
การเกิด Delayed Ettringite Formation			
การสึกกร่อน			
การเผชิญกับซัลเฟตและกรด			
ไฟไหม้	การหลอมเหลวของวัสดุต่าง ๆ	ประเมินอุณหภูมิที่โครงสร้างเผชิญระหว่างไฟไหม้	 กรอบหน้าต่างอลูมิเนียมหลอมเหลว แสดงว่าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึงประมาณ 600 °ซ หน้ากากพลาสติกหลอมเหลว แสดงว่าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึงประมาณ 400 °ซ
การเกิดสนิมของมวลรวม			

การประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้าง

ประสิทธิภาพของโครงสร้าง	ระดับความเสียหาย	กระบวนการที่แนะนำ	ระยะเวลาการดำเนินการ	ตัวอย่างวิธีการซ่อมแซม
ความคงทน, ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย **ผ่าน**	ระดับ 1	ไม่ต้องซ่อมแซม ตรวจสอบ หรือ ตรวจติดตามต่อไปตามระยะเวลาในแผนบำรุงรักษา	พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	ตรวจสอบด้วยตาเปล่า ตรวจสอบด้วยเครื่องมือแบบไม่ทำลาย
ความคงทน และความสามารถใช้งานได้ **ไม่ผ่าน** แต่ความปลอดภัย **ผ่าน**	ระดับ 2 x	ตรวจติดตามต่อไปตามระยะเวลาในแผนบำรุงรักษา หรือซ่อมความเสียหายที่ไม่ใช่ปัญหาของการรับน้ำหนัก	พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	ทาสี เคลือบผิว (coating) ซ่อมปะ (patching) ซ่อมโดยระบบไฟฟ้าเคมี การใช้สารเคมีต่างๆ
ความคงทน และความสามารถใช้งานได้ **ไม่ผ่าน** แต่ความปลอดภัย **ผ่าน**	ระดับ 3	ซ่อมความเสียหายที่เป็นปัญหาของการรับน้ำหนัก	พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	เสริมหน้าตัด เพิ่มเหล็กเสริม jacketing เสริมด้วยวัสดุเส้นใย หรือ เส้นใยต่อเนื่อง เสริมด้วยระบบอัดแรงภายใน หรือ ภายนอก
ความคงทน, ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย **ไม่ผ่าน**	ระดับ 4	ระงับการใช้อาคาร และซ่อมความเสียหายที่เป็นปัญหาของการรับน้ำหนัก	ทันที	เสริมหน้าตัด เพิ่มเหล็กเสริม jacketing เสริมด้วยวัสดุเส้นใย หรือ เส้นใยต่อเนื่อง เสริมด้วยระบบอัดแรงภายใน หรือ ภายนอก
ความคงทน, ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย **ไม่ผ่าน**	ระดับ 5	ระงับการใช้อาคาร และทุบทำลาย สร้างใหม่	-	-

ตัวอย่างอาคารที่ 5

ข้อมูลทั่วไปของอาคาร

1. ข้อมูลสถานที่ตั้ง และเจ้าของอาคาร

1.1 ชื่ออาคาร และสถานที่ตั้ง

ชื่ออาคาร...**อาคารหอหล่อเย็น** .....

ตั้งอยู่เลขที่.....ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....

จังหวัด.....**ระยอง**.....

รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....โทรสาร.....

1.2 เจ้าของอาคาร

ชื่อ.....

สถานที่ติดต่อเลขที่.....หมู่ที่.....ตรอก/ซอย.....

ถนน.....ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....

จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....

โทรสาร..... อีเมล.....

2. ประเภทของอาคาร และข้อมูลด้านโครงสร้าง

2.1 ข้อมูลการขออนุญาตการก่อสร้าง และเปิดใช้อาคาร

ได้รับใบอนุญาตก่อสร้างจากเจ้าพนักงานท้องถิ่น เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

☑ มี แบบแปลนเดิม

☐ ไม่มี แบบแปลนเดิม (กรณีที่ไม่มีแบบแปลนหรือแผนผังรายการเกี่ยวกับการก่อสร้างอาคาร ให้เจ้าของอาคารจัดหาหรือจัดทำแบบแปลนการตรวจสอบอาคารและอุปกรณ์ประกอบของอาคารให้กับผู้ตรวจสอบอาคาร)

ได้รับใบอนุญาตเปิดใช้อาคารจากเจ้าพนักงานท้องถิ่น เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ...2540.....

ตามที่ได้รับอนุญาตให้ใช้เป็น..... .....

การใช้งานปัจจุบันใช้เป็น..... .....

2.2 ข้อมูลด้านการออกแบบโครงสร้าง

2.2.1 วิธีการออกแบบ

☐ วิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Method, WSM)

☐ วิธีกำลัง (Strength Design Method, SDM)

☐ วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor Design, LRFD)

☑ ไม่มีข้อมูล

2.2.2 มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ

☐ มาตรฐาน วสท. 1007, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1008, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1009, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตอัดแรง”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1015, “มาตรฐานสำหรับอาคารเหล็กรูปพรรณ”

ปีพ.ศ. .....

☐ มาตรฐาน วสท. 1020, “มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณ โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก”

ปีพ.ศ. .....

☐ อื่น ๆ ....

ปีพ.ศ.....

☑ ไม่มีข้อมูล

2.2 ประเภทอาคาร (กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522)

ประเภท	ประเภท และส่วนต่าง ๆ ของอาคาร	น้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำ (กก. ต่อ ตร.ม.)
	หลังคา	30
	กันสาด หรือหลังคาคอนกรีต	100
	ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
	ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรม และห้องคนไข้พิเศษของโรงพยาบาล	200
	สำนักงาน ธนาคาร	250
	อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน โรงพยาบาล	300
	ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม สำนักงาน และธนาคาร	300
	ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุด หรือหอสมุด ที่จอด หรือเก็บรถยนต์นั่ง และรถจักรยานยนต์	400
	ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย และโรงเรียน	400
	คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
	ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุด หรือหอสมุด	500
	ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุด หรือหอสมุด	600
	ที่จอด หรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่า	700

2.3 รูปแบบโครงสร้างอาคาร (ระบุ)

โครงสร้าง	หัวข้อ	รายละเอียด
ฐานราก	วัสดุ	☐ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☐ ไม่มีฐานราก ☐ ฐานรากแผ่ ☐ เสาเข็ม
	อื่นๆ	ความหนาของฐานราก.....ม.
		ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)
เสา	วัสดุ	☑ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☑ หล่อในที่ ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ☐ กำแพงรับน้ำหนัก
	อื่นๆ	ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)
คาน	วัสดุ	☑ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☑ หล่อในที่ ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ☐ คานลึก ☐ คานต่อเนื่อง
	อื่นๆ	ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)

โครงสร้าง	หัวข้อ	รายละเอียด
พื้น	วัสดุ	☑ คอนกรีตเสริมเหล็ก ☐ คอนกรีตอัดแรง ☐ เหล็ก ☐ อื่นๆ.....
	รูปแบบ	☑ หล่อในที่ ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ☐ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป และหล่อในที่ประกอบกัน
	อื่นๆ	ลักษณะสภาพแวดล้อม ..... (ตามตารางที่ 1)

3. การเก็บรักษาประเภทของวัตถุหรือเชื้อเพลิงที่อาจเป็นอันตราย

☐ วัตถุติดไฟ ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ วัตถุอันตราย ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ วัตถุเชื้อเพลิง ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ น้ำมันเชื้อเพลิง ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ ก๊าซ ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ สารเคมี ประเภท.....ปริมาณ.....สถานที่เก็บ.....

☐ อื่น ๆ (ระบุ) .....

การตรวจสอบสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบันด้วยวิธีตรวจพินิจ

1. การใช้งาน การต่อเติม ดัดแปลง ปรับปรุงตัวอาคาร

ลำดับที่	รายการที่ตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	ตำแหน่งองค์อาคาร และรายละเอียดที่พบ	ความเห็นผู้ตรวจสอบ
1	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกที่มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
2	การต่อเติมหรือดัดแปลงโครงสร้างอาคารเพิ่มจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
3	การซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร	☑ มี ☐ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด	 ตัวอย่างการซ่อมแซมความเสียหายที่ดำเนินการแล้ว	
4	การเปลี่ยนสภาพหรือกิจกรรมการใช้ที่มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
5	การเปลี่ยนแปลงวัสดุที่มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารจากแบบแปลน	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		
6	สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงจากแบบแปลน หรือข้อกำหนดการออกแบบ	☐ มี ☑ ไม่มี ☐ ไม่แน่ชัด		

2. การตรวจสอบความเสียหายของโครงสร้าง

2.1 จุดบกพร่องจากการก่อสร้าง (Construction Faults)

☐ มี ☑ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.2)

ความเสียหาย	ตำแหน่งความเสียหายและรูปประกอบ	สาเหตุ	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
รอยต่อการเทคอนกรีต (Cold Joint)			
เหล็กเสริมที่ไม่มีคอนกรีตหุ้ม			
รูพรุนแบบรวงผึ้งในเนื้อคอนกรีต			
อื่นๆ			

2.2 รอยร้าว (Cracks)

☑ มี ☐ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.3)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
ข้อมูลการตรวจสอบรอยร้าว		
ตำแหน่ง และรูปความเสียหาย (แผนที่รอยร้าว)	รอยร้าวตามแนวเหล็กเสริม	
ทิศทางและลักษณะของรอยร้าว	☑ ตามแนวเหล็กเสริม ☐ แตกลายงา กระจัดกระจายไร้ทิศทางแน่นอน ☐ ทแยงมุม หรือแนวเฉียง ☐ ขนานกันเป็นช่วง ๆ ☐ ม้วนเกลียว ☐ อื่นๆ.....	
ความกว้างสูงสุดของรอยร้าว	☐ < 0.1 มม. ☑ < 0.3 มม. ☐ < ความกว้างที่ยอมรับได้สูงสุดของรอยร้าว ตามตารางที่ 3	
ความยาวรอยร้าว	☐ ตลอดความกว้างแผ่นพื้น (ตั้งฉากกับแนวเหล็กเสริม) ☑ เป็นช่วงๆ ☐ โดยรอบองค์อาคาร	
ความลึกของรอยร้าว	☐ ตลอดความลึกของหน้าตัดองค์อาคาร ☐ พบเฉพาะด้านที่รับแรงดึง ☐ ถึงระดับเหล็กเสริม ☐ เฉพาะวัสดุเคลือบผิว หรือปิดผิวคอนกรีต ☑ไม่มีข้อมูล	

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
ลักษณะพื้นผิว และสีคอนกรีตโดยรอบรอยร้าว	☐ มีคราบน้ำที่แห้งตัว ☐ มีความชื้น ☑ คราบสีสนิม ☐ คราบหินปูน (Efflorescence) ☐ ไม่มีข้อมูล	
การขยายตัวของรอยร้าวภายหลังการตรวจสอบครั้งแรก .....0.....เดือน	☐ มี จำนวนรอยร้าวเพิ่มขึ้น ☐ มี ความกว้างขยายตัว ☐ มี ความยาวขยายตัว ☐ มี ความลึกขยายตัว ☑ ไม่มี	
อายุโครงสร้างที่ตรวจพบรอยร้าวครั้งแรก	ไม่มีข้อมูล	
สาเหตุของรอยร้าว		
สาเหตุของรอยร้าว (ตามตารางที่ 2)	การเกิดสนิมของเหล็กเสริม	
การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น	ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริม ความลึกการเกิดคาร์บอเนชัน	

2.3 การเสื่อมสภาพ หรือสลายตัวของคอนกรีต (Deterioration or Disintegration of Concrete)

☐ มี ☑ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.4)

หัวข้อ	ตำแหน่งความเสียหาย และรูปประกอบ	อายุโครงสร้างที่ตรวจพบครั้งแรก	สาเหตุ (ตามตารางที่ 2)	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
การบวมตัว และผิวหน้าเสียหาย				
การสึกกร่อนของผิวหน้า				
ผิวหน้าถูกทำลายด้วยสารเคมี				
การหลุดร่อนของผิวคอนกรีต				
การเกิดสนิมของมวลรวม				
การเปลี่ยนสีของคอนกรีต				
การแตกของคอนกรีตเนื่องจากการถูกกดอัด (Crushing)				

2.4 การบิดเบี้ยวหรือเคลื่อนตัวของโครงสร้าง (Distortion and Movement)

☐ มี ☑ ไม่มี (ข้ามไปหัวข้อ 2.5)

หัวข้อ	ตำแหน่งความเสียหาย และรูปประกอบ	อายุโครงสร้างที่ตรวจพบครั้งแรก	สาเหตุ (ตามตารางที่ 2)	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
การบิดเบี้ยวของโครงสร้าง				
การทรุดตัวไม่เท่ากันของโครงสร้าง				
การเคลื่อนตัวของโครงสร้าง				

2.5 การรั่วซึมของน้ำ หรือของเหลว

☐ มี ☑ ไม่มี

หัวข้อ	ตำแหน่งความเสียหายและรูปประกอบ	อายุโครงสร้างที่ตรวจพบครั้งแรก	สาเหตุ (ตามตารางที่ 2)	การตรวจสอบโดยละเอียดที่จำเป็น
คราบความชื้น สนิม หรือตะไคร่น้ำ				
การบวมปูดของวัสดุเคลือบผิว				
การเสื่อมสภาพของวัสดุอุดปิดรอยต่อ				
คราบหินปูนที่ผิวคอนกรีต				

การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด

1. การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านกำลังการรับน้ำหนัก

<table>
<tr><th>คุณสมบัติ</th><th>วิธีการทดสอบ</th><th>วัตถุประสงค์</th><th>ผลการทดสอบ</th></tr>
<tr>
<td>กำลังอัดคอนกรีต</td>
<td>ทดสอบค่าการสะท้อนของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก มยผ. 1502-51

การสอบเทียบเครื่องมือ

ขัดผิวคอนกรีตบริเวณที่จะทดสอบให้เรียบ

กำหนดจุดทดสอบไม่น้อยกว่า 12 จุด ต่อ 1 ตำแหน่งทดสอบ</td>
<td>ประเมินกำลังอัดของคอนกรีตขององค์อาคารต่างๆ</td>
<td>
<table>
<tr><th>Members</th><th>No. of Sample</th><th>Distribution</th><th>Mean (MPa)</th><th>5th PCTL (MPa)</th><th>COV (%)</th></tr>
<tr><td>A-Beam</td><td>96</td><td>Weibull</td><td>53.04</td><td>45.50</td><td>6.83</td></tr>
<tr><td>A-Col</td><td>228</td><td>Logistic</td><td>47.41</td><td>16.93</td><td>18.02</td></tr>
<tr><td>A-HB</td><td>144</td><td>BetaGeneral</td><td>50.62</td><td>40.42</td><td>8.14</td></tr>
<tr><td>A-Wall</td><td>132</td><td>Logistic</td><td>47.33</td><td>27.09</td><td>12.50</td></tr>
<tr><td>B-Beam</td><td>156</td><td>BetaGeneral</td><td>47.63</td><td>36.61</td><td>9.62</td></tr>
<tr><td>B-Col</td><td>180</td><td>BetaGeneral</td><td>48.57</td><td>32.80</td><td>12.61</td></tr>
<tr><td>B-Wall</td><td>84</td><td>BetaGeneral</td><td>46.14</td><td>32.80</td><td>10.85</td></tr>
</table>
ค่าการสะท้อนในแต่ละองค์อาคารมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากคอนกรีตที่ใช้มีสัดส่วนผสมแตกต่างกัน
ควรระวังในการประเมินกำลังอัดคอนกรีตจากค่าการสะท้อน ต้องมีการสอบเทียบค่าด้วยการทดสอบกำลังอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตจริง
</td>
</tr>
</table>

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
	 ทดสอบค่าการสะท้อนด้วยค้อนกระแทก		
กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม			
กำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง			

2. การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านความสามารถในการใช้งาน

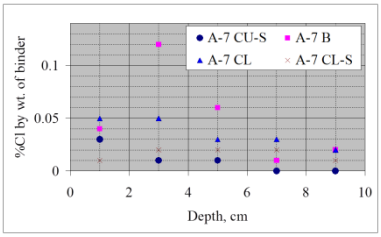
คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
ค่าการทรุดตัวที่ยอมรับได้ในรูปของการเสียรูปเชิงมุม (Angular Distortion: β)			
การแอ่นตัวขององค์อาคาร			
ปริมาณการรั่วซึมของของเหลวเก็บกัก			
การตรวจสอบความถี่ และความเร่งของการสั่นสะเทือน			

3. การตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านอายุการใช้งาน และความคงทน

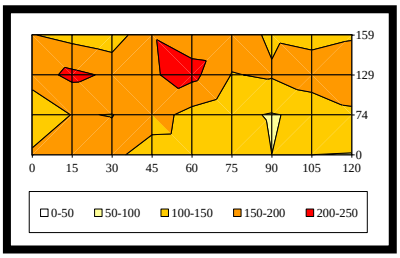
คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบพลาสติก			
การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ			
การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัส			
การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง			
การเป็นสนิม	ทดสอบระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก	ตรวจสอบระยะ	ผลการทดสอบปริมาณระยะคอนกรีต

<table>
<tr><th>คุณสมบัติ</th><th>วิธีการทดสอบ</th><th>วัตถุประสงค์</th><th>ผลการทดสอบ</th></tr>
<tr>
<td>ของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์</td>
<td>เสริม และตำแหน่งเหล็กเสริม

การทดสอบด้วยเครื่อง Covermeter</td>
<td>คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมเป็นไปตามค่าที่กำหนดในแบบการก่อสร้าง และหาตำแหน่งเหล็กเสริมเพื่อการเจาะเก็บผงตัวอย่างคอนกรีต</td>
<td>หุ้มเหล็กเสริม และตำแหน่งเหล็กเสริม
<table>
<tr><th>Members</th><th>No. of Sample</th><th>Distribution</th><th>Mean (mm)</th><th>5th PCTL (mm)</th><th>COV (%)</th></tr>
<tr><td>A-Beam</td><td>72</td><td>BetaGeneral</td><td>36.19</td><td>21</td><td>27.77</td></tr>
<tr><td>A-Col</td><td>116</td><td>Normal</td><td>46.14</td><td>29</td><td>24.19</td></tr>
<tr><td>A-HB</td><td>75</td><td>Weibull</td><td>37.17</td><td>16</td><td>30.97</td></tr>
<tr><td>A-Wall</td><td>60</td><td>BetaGeneral</td><td>41.53</td><td>17</td><td>38.45</td></tr>
<tr><td>B-Beam</td><td>103</td><td>Triangle</td><td>35.91</td><td>20</td><td>33.78</td></tr>
<tr><td>B-Col</td><td>105</td><td>ExtValue</td><td>42.10</td><td>27</td><td>32.14</td></tr>
<tr><td>B-Wall</td><td>51</td><td>BetaGeneral</td><td>44.36</td><td>25</td><td>21.60</td></tr>
</table>
ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมมีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 35 มม. อย่างไรก็ตามความแปรปรวนของข้อมูลมีค่าสูง ดังนั้นระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมในบางตำแหน่งอาจมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดได้ ซึ่งส่งผลต่อความคงทนของโครงสร้าง</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>ทดสอบปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต ณ ความลึกต่างๆ

เจาะเก็บผงคอนกรีตทุกระยะความลึก 1 ซม. จากผิวคอนกรีตจนถึงความลึก 5 ซม. โดยเจาะเก็บอย่างน้อย 5 รูเจาะในแต่ละความลึก</td>
<td>ตรวจสอบปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต ณ ความลึกต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริม ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวคอนกรีต และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ เพื่อวิเคราะห์การเกิดสนิมของเหล็กเสริม และอายุการใช้งาน</td>
<td>ผลการทดสอบปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต ณ ความลึกต่างๆ
 

ปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต ณ ความลึกต่าง ๆ
ผลการทดสอบแสดงว่า ณ ความลึกของเหล็กเสริม ปริมาณคลอไรด์สูงกว่าค่าคลอไรด์วิกฤติ ในบางตำแหน่งทดสอบ แสดงว่าเหล็กเสริมเกิดสนิมแล้ว</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>การทดสอบค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์</td>
<td>ตรวจสอบการเกิด</td>
<td>ผลการทดสอบค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์</td>
</tr>
</table>

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
	ของเหล็กเสริม 	สนิมของเหล็กเสริม	ของเหล็กเสริม  ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์เทียบกับ $Cu/CuSO_4$ ของเหล็กเสริมในโครงสร้างเดิม ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์เทียบกับ $Cu/CuSO_4$ ของเหล็กเสริมในโครงสร้างที่ได้รับการซ่อมแซมแล้ว ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ายังไม่มีพื้นที่ที่เหล็กเสริมในโครงสร้างที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าติดลบถึง -350 mV แสดงว่าเหล็กเสริมยังมีโอกาสเกิดสนิมต่ำ
การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอเนชัน	 การทดสอบความลึกการเกิดคาร์บอเนชันด้วยการเจาะผงคอนกรีตให้ตกบนกระดาษกรองที่พ่นสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน	ตรวจสอบความลึกการเกิดคาร์บอเนชันเทียบกับความลึกของเหล็กเสริม	ความลึกการเกิดคาร์บอเนชันน้อยกว่า 10 มม.
ปฏิกิริยา			

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์	ผลการทดสอบ
ระหว่างด่างกับมวลรวม			
การเกิด Delayed Ettringite Formation			
การสึกกร่อน			
การเผชิญกับซัลเฟต และกรด			
ไฟไหม้			
การเกิดสนิมของมวลรวม			

การประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้าง

ประสิทธิภาพของโครงสร้าง	ระดับความเสียหาย	กระบวนการที่แนะนำ	ระยะเวลาการดำเนินการ	ตัวอย่างวิธีการซ่อมแซม
ความคงทน, ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย **ผ่าน**	ระดับ 1	ไม่ต้องซ่อมแซม ตรวจสอบ หรือ ตรวจติดตามต่อไปตามระยะเวลาในแผนบำรุงรักษา	พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	ตรวจสอบด้วยตาเปล่า ตรวจสอบด้วยเครื่องมือแบบไม่ทำลาย
ความคงทน และความสามารถใช้งานได้ **ไม่ผ่าน** แต่ความปลอดภัย **ผ่าน**	ระดับ 2 X	ตรวจติดตามต่อไปตามระยะเวลาในแผนบำรุงรักษา หรือซ่อมความเสียหายที่ไม่ใช่ปัญหาของการรับน้ำหนัก	พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	ทาสี เคลือบผิว (coating) ซ่อมปะ (patching) ซ่อมโดยระบบไฟฟ้าเคมี การใช้สารเคมีต่างๆ
ความคงทน และความสามารถใช้งานได้ **ไม่ผ่าน** แต่ความปลอดภัย **ผ่าน**	ระดับ 3	ซ่อมความเสียหายที่เป็นปัญหาของการรับน้ำหนัก	พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	เสริมหน้าตัด เพิ่มเหล็กเสริม jacketing เสริมด้วยวัสดุเส้นใย หรือ เส้นใยต่อเนื่อง เสริมด้วยระบบอัดแรงภายใน หรือ ภายนอก
ความคงทน, ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย **ไม่ผ่าน**	ระดับ 4	ระงับการใช้อาคาร และซ่อมความเสียหายที่เป็นปัญหาของการรับน้ำหนัก	ทันที	เสริมหน้าตัด เพิ่มเหล็กเสริม jacketing เสริมด้วยวัสดุเส้นใย หรือ เส้นใยต่อเนื่อง เสริมด้วยระบบอัดแรงภายใน หรือ ภายนอก
ความคงทน, ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย **ไม่ผ่าน**	ระดับ 5	ระงับการใช้อาคาร และทุบทำลาย สร้างใหม่	-	-