<u>รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร</u>

โครงการพัฒนามาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน และซ่อมแซม โครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย

เสนอ

กรมโยธาธิการและผังเมือง

โดย

สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พฤษภาคม 2562

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณกรมโยธาธิการและผังเมือง ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร 1

1. ที่มาของโครงการ 1

2. วิธีดำเนินการ 1

3. ผลการศึกษา และวิเคราะห์ข้อบังคับ และมาตรฐานของประเทศไทย 3

3.1 กฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร 3

3.1.1 พระราชบัญญัติ ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 3

3.1.2 กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) 3

3.1.3 กฎกระทรวงเกี่ยวข้องกับการตรวจสอบอาคาร 3

3.1.4 กฎกระทรวงกำหนดชนิดหรือประเภทของอาคาร หลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขในการตรวจสอบงานออกแบบและคำนวณส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างอาคาร 3

3.1.5 กฎกระทรวงกำหนดหลักเกณฑ์การออกใบอนุญาตก่อสร้างอาคารหรือดัดแปลงอาคารสำหรับอาคารที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาทางเศรษฐกิจของประเทศซึ่งยังก่อสร้างไม่แล้วเสร็จ 3

3.1.6 กฎกระทรวงว่าด้วยการควบคุมป้ายหรือสิ่งที่สร้างขึ้นสำหรับติดหรือตั้งป้าย ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร 3

3.1.7 กฎกระทรวงฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2528) 3

3.1.8 กฎกระทรวงกำหนดหลักเกณฑ์การอนุญาตดัดแปลงอาคารเพื่อเสริมความมั่นคงแข็งแรงของอาคารให้สามารถต้านแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว 3

3.2 มาตรฐานกรมโยธาธิการ และผังเมือง 3

3.2.1 มาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทนและอายุการใช้งาน (มยผ. 1332-50) 3

3.2.2 มาตรฐานการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอาคาร (มยผ. 1552-51) 3

3.2.3 มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (มยผ. 1501-51 ถึง 1507-51) 3

3.2.4 มาตรฐานการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ Dynamic Load Test (มยผ. 1252-51) 4

3.2.5 มาตรฐานการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธี Seismic Test (มยผ. 1551-51) 4

3.2.6 มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต (มยผ. 1901-51) 4

3.2.7 มาตรฐานการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย (มยผ. 1508-51) 4

3.2.8 มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการแบบไม่ทำลาย (มยผ. 1561-51 ถึง 1565-51)....4

3.2.9 การตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (มยผ. 1562-51)....4

3.2.10 การตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบด้วยสารแทรกซึม (มยผ. 1564-51) 4

3.2.11 การตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบด้วยรังสี (มยผ. 1565-51)....4

3.3 มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 4

3.3.1 มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (EIT 1008-38)....4

3.3.2 คู่มือเทคนิคการตรวจสอบอาคาร เพื่อความปลอดภัย....4

3.3.3 คู่มือตรวจสอบรอยร้าว สาเหตุ และการแก้ไข....4

3.3.4 การวิบัติของอาคารสาเหตุ และการแก้ไข....4

3.4 คู่มือสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย....4

3.4.1 คู่มือการตรวจสอบ และประเมินความสามารถเชิงโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก....4

3.4.2 เอกสารการอบรมการบำรุงรักษา และซ่อมแซมอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก....4

3.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม....5

3.5.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีรองพื้นกันสนิม (มอก. 2387-2555)....5

4. ผลการศึกษา และวิเคราะห์ข้อบังคับ และมาตรฐานสากล (โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก) 5

4.1 ประเทศสหรัฐอเมริกา (United State of America) 5

4.1.1 International Code Council (ICC)....5

4.1.2 American Concrete Institute (ACI)....5

4.1.3 American Society of Civil Engineers (ASCE)....7

4.1.4 International Concrete Repair Institute (ICRI)....7

4.1.5 NACE International 7

4.2 International Standard Organization (ISO)....8

4.2.1 Technical Committee 71....8

4.2.2 Technical Committee 98....9

4.2.3 Technical Committee 135....9

4.3 ประเทศญี่ปุ่น (Japan)....9

4.3.1 Building Standard Law (BSL) *9*
4.3.2 Mansion Aptitude Management Law *9*
4.3.3 Japan Society of Civil Engineers *9*
4.3.4 Japan Concrete Institute *9*
4.3.5 Architectural Institute of Japan *10*
4.4 The International Federation for Structural Concrete (FIB) 10
4.4.1 FIB Bulletins No.3: Textbook on Behavior, Design and Performance Volume 3: Durability - Design for Fire Resistance - Member Design - Maintenance, Assessment and Repair - Practical Aspects *10*
4.4.2 FIB Bulletins No.14: Externally bonded FRP reinforcement for RC structures ... *10*
4.4.3 FIB Bulletins No.17: Management, maintenance and strengthening of concrete structures Technical *10*
4.4.4 FIB Bulletins No.22: Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures *10*
4.4.5 FIB Bulletins No. 46: Fire design of concrete structures - structural behavior and assessment *10*
4.5 สหภาพยุโรป (European Union) 10
4.5.1 EN 1504-1 Part 1: Definitions *11*
4.5.2 EN 1504-2 Part 2: Surface protection systems *11*
4.5.3 EN 1504-3 Part 3: Structural and non-structural repair *11*
4.5.4 EN 1504-4 Part 4: Structural bonding *11*
4.5.5 EN 1504-5 Part 5: Concrete injection *11*
4.5.6 EN 1504-6 Part 6: Anchoring products *11*
4.5.7 EN 1504-7 Part 7: Reinforcement corrosion protection: coatings for reinforcement *11*
4.5.8 EN 1504-8 Part 8: Quality control and evaluation of conformity *11*
4.5.9 EN 1504-9 Part 9: General principles for the use of repair materials and systems *11*
4.5.10 EN 1504-10 Part 10: Site application of products and systems, and quality control of the Works *11*

4.6 สมาพันธ์คอนกรีตแห่งเอเชีย (Asian Concrete Federation หรือ ACF) 11
5. ผลการศึกษา และวิเคราะห์ข้อบังคับ และมาตรฐานสากล (โครงสร้างเหล็ก) 12
5.1 ประเทศสหรัฐอเมริกา (United State of America) 12
5.1.1 American Welding Society (AWS) 12
5.2 สหภาพยุโรป (European Union) 12
5.2.1 EN ISO 12944-2 Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Part 2: Classification of environments (ISO 12944-2: 1998) 12
5.3 ประเทศญี่ปุ่น (Japan) 12
5.3.1 Japanese Architectural Standard Specification (JASS) 13
5.3.2 Road bridge periodic inspection procedure Ministry of Land, Infrastructure and Transport Road Bureau 13
5.4 องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Standardization and Organization หรือ ISO) 13
5.4.1 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 13
5.5 ประเทศออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ (Australia and New Zealand) 13
5.5.1 Australia Standard (AS) และ New Zealand Standard (NZS) 13
5.6 Assessment of existing steel structure: Recommendations for estimation of remaining fatigue life (JRC European Commission) 14
6. สรุปผลการรวบรวมมาตรฐานสากล 14
7. ข้อมูลอาคารตัวอย่างเพื่อทำการศึกษาเป็นกรณีศึกษา 17
8. การจัดทำข้อบังคับ และมาตรฐาน 34
9. การศึกษาผลกระทบจากการปฏิบัติตามข้อบังคับ และมาตรฐาน 35
9.1 ความเห็นต่อการดำเนินการข้อบังคับฯ 35
9.2 ความเห็นต่อการดำเนินการมาตรฐานฯ 36
9.3 สรุปความเห็นต่อการดำเนินการต่อไป 37
10. การทำเทคนิคพิจารณ์ข้อบังคับ และมาตรฐาน 37
11. การจัดทำคู่มือประกอบมาตรฐาน 38

สารบัญตาราง

ตารางที่ 6.1 รายชื่อมาตรฐานสากลที่ได้ทำการศึกษา (โครงสร้างคอนกรีต) 14
ตารางที่ 6.2 รายชื่อมาตรฐานสากลที่ได้ทำการศึกษา (โครงสร้างเหล็ก)..... 16
ตารางที่ 7.1 สรุปข้อมูลตัวอย่างที่ได้จากการตรวจสอบและประเมินโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ จำนวน 22 อาคาร 19
ตารางที่ 7.2 สรุปข้อมูลตัวอย่างอาคารที่ได้รับการซ่อมแซม และเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ จำนวน 20 อาคาร 29

รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร
(Executive Summary)

1. ที่มาของโครงการ

ปัจจุบันอาคารที่ก่อสร้างแล้วเสร็จและใช้งานอยู่เป็นเวลานาน อาคารที่ก่อสร้างไม่เสร็จและปล่อยทิ้งร้างขาดการดูแล รวมไปถึงอาคารที่ประสบอุบัติภัยหรือภัยธรรมชาติต่างๆ อาจมีองค์อาคารที่เสียหายจากการเสื่อมสภาพหรือความเสียหายของวัสดุ มีปัญหาความล้าของวัสดุในองค์อาคารเนื่องจากการรับน้ำหนักเป็นเวลานาน หรือรับแรงกระทำในลักษณะที่ไม่ได้ถูกออกแบบไว้ ปัญหาการทรุดและแอ่นตัว ปัญหาการแตกร้าว ปัญหาการผุกร่อน ปัญหาความเสียหายจากเหตุเพลิงไหม้ตลอดจนปัญหาความเสียหายของอาคารอันเนื่องมาจากการดัดแปลงหรือเปลี่ยนลักษณะการใช้อาคาร ซึ่งอาคารดังกล่าวมีความจำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบ ประเมินความเสียหาย และซ่อมแซม เสริมกำลัง หรือ แม้แต่ทุบทำลายแล้วสร้างทดแทน แต่เนื่องจากปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานหรือหลักเกณฑ์สำหรับการปฏิบัติงานบำรุงรักษาอย่างครบถ้วนชัดเจน ทำให้การตรวจสอบและประเมินความเสียหายอาคารด้วยวิศวกรไม่เป็นไปในแนวทางเดียวกัน หรือไม่ได้มาตรฐาน ส่งผลต่อความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน การเลือกใช้วัสดุ และวิธีการ ราคาค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงซ่อมแซมก็อาจไม่สอดคล้องกับสภาพความเสียหายที่แท้จริง ซึ่งการจัดทำมาตรฐานนี้จะทำให้มีแนวทางชัดเจนในการตรวจสอบ ประเมิน ซ่อมแซม และเสริมกำลังโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย อันเป็นการเพิ่มความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน และประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาซ่อมแซมเสริมกำลังมากยิ่งขึ้น

2. วิธีดำเนินการ

ในการดำเนินการโครงการได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินการออกดังรายละเอียด ต่อไปนี้

- ศึกษาและวิเคราะห์หลักเกณฑ์ ข้อบังคับ กฎหมาย มาตรฐาน หรือบทความทางวิชาการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่าและอาคารที่เสียหายจากการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานและจากอุบัติภัยต่างๆในประเทศไทย
- ศึกษาและวิเคราะห์หลักเกณฑ์ ข้อบังคับ กฎหมายหรือบทความทางวิชาการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซมและเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคาร

เก่าและอาคารที่เสียหายจากการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานและจากอุบัติภัยต่างๆของประเทศที่เป็นสากล ไม่น้อยกว่า 5 ประเทศ

- รวบรวมตัวอย่างการดำเนินการตรวจสอบ ประเมิน และ ตัวอย่างการการซ่อมแซมและเสริมความมั่นคงแข็งแรงของอาคารตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้
  - รวบรวมข้อมูลการตรวจสอบและประเมินอาคารเก่าหรืออาคารที่เสียหาย กรณีอาคารตัวอย่างเป็นจำนวนไม่น้อยกว่า 20 อาคาร
  - รวบรวมข้อมูลการซ่อมแซมและเสริมความมั่นคงแข็งแรงอาคารเก่าหรืออาคารที่เสียหาย กรณีอาคารตัวอย่างเป็นจำนวนไม่น้อยกว่า 20 อาคาร
- รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องตามที่เสนอในข้อข้างต้น แล้วศึกษา วิเคราะห์ ประเมินและพัฒนาข้อมูลที่ได้รวบรวม
- จัดทำร่างข้อบังคับและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องและรับฟังข้อคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิหรือผู้แทนหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และแก้ไขร่างข้อบังคับและมาตรฐานตามความเหมาะสม ทั้งนี้มาตรฐานจะต้องครอบคลุมถึงข้อกำหนดเกี่ยวกับการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซมและการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคาร
- จัดทำคู่มือการตรวจสอบ และการประเมิน คู่มือการซ่อมแซมและคู่มือการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคาร
- ศึกษาผลกระทบและปัญหาในด้านต่างๆ จากการปฏิบัติตามร่างข้อบังคับมาตรฐานและคู่มือและให้ข้อเสนอแนะในการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคดังกล่าว
- จัดประชุมรับฟังความเห็นเกี่ยวกับการปฏิบัติตามร่างข้อบังคับหรือมาตรฐาน ทั้งนี้ จะต้องมีผู้เข้าร่วมให้ความคิดเห็นไม่น้อยกว่า 100 คน แล้วดำเนินการแก้ไขตามที่กรมโยธาธิการและผังเมืองเห็นสมควร
- จัดทำสรุปผลการศึกษาและเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

หมายเหตุ

(1) การศึกษาโครงการนี้ ครอบคลุมถึงชนิดของวัสดุโครงสร้างหลักที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก คอนกรีตอัดแรง และเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

(2) การศึกษาโครงการนี้ไม่ครอบคลุมถึงการประเมินและการเสริมความมั่นคงแข็งแรงอาคารที่มีอยู่แล้วให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้

สรุปรายละเอียดและผลการดำเนินการแยกเป็นข้อๆ ดังต่อไปนี้

3. ผลการศึกษา และวิเคราะห์ข้อบังคับ และมาตรฐานของประเทศไทย

ได้ศึกษากฎหมาย ข้อบังคับ มาตรฐาน และคู่มือต่างๆ ของประเทศไทย ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบ ประเมิน และซ่อมแซม เสริมกำลังโครงสร้าง ดังต่อไปนี้

3.1 กฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

แบ่งออกเป็น พระราชบัญญัติ กฎกระทรวง ประกาศกระทรวงมหาดไทย และข้อบัญญัติท้องถิ่นที่ทำการศึกษา มีดังต่อไปนี้

3.1.1 พระราชบัญญัติ ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

3.1.2 กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527)

3.1.3 กฎกระทรวงเกี่ยวข้องกับการตรวจสอบอาคาร

3.1.4 กฎกระทรวงกำหนดชนิดหรือประเภทของอาคาร หลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขในการตรวจสอบงานออกแบบและคำนวณส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างอาคาร

3.1.5 กฎกระทรวงกำหนดหลักเกณฑ์การออกใบอนุญาตก่อสร้างอาคารหรือดัดแปลงอาคารสำหรับอาคารที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาทางเศรษฐกิจของประเทศซึ่งยังก่อสร้างไม่แล้วเสร็จ

3.1.6 กฎกระทรวงว่าด้วยการควบคุมป้ายหรือสิ่งที่สร้างขึ้นสำหรับติดหรือตั้งป้าย ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

3.1.7 กฎกระทรวงฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2528)

3.1.8 กฎกระทรวงกำหนดหลักเกณฑ์การอนุญาตดัดแปลงอาคารเพื่อเสริมความมั่นคงแข็งแรงของอาคารให้สามารถต้านแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

3.2 มาตรฐานกรมโยธาธิการ และผังเมือง

ได้ศึกษามาตรฐานกรมโยธาธิการ และผังเมืองที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบ การประเมิน และซ่อมแซม เสริมกำลังโครงสร้าง ได้แก่

3.2.1 มาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทนและอายุการใช้งาน (มยผ. 1332-50)

3.2.2 มาตรฐานการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอาคาร (มยผ. 1552-51)

3.2.3 มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (มยผ. 1501-51 ถึง 1507-51)

3.2.4 มาตรฐานการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ Dynamic Load Test (มยผ. 1252-51)

3.2.5 มาตรฐานการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธี Seismic Test (มยผ. 1551-51)

3.2.6 มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต (มยผ. 1901-51)

3.2.7 มาตรฐานการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย (มยผ. 1508-51)

3.2.8 มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการแบบไม่ทำลาย (มยผ. 1561-51 ถึง 1565-51)

3.2.9 การตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (มยผ. 1562-51)

3.2.10 การตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบด้วยสารแทรกซึม (มยผ. 1564-51)

3.2.11 การตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบด้วยรังสี (มยผ. 1565-51)

3.3 มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

ได้ศึกษามาตรฐาน และหนังสือคู่มือที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบ การประเมิน และซ่อมแซมเสริมกำลังโครงสร้างที่จัดทำโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ดังนี้

3.3.1 มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (EIT 1008-38)

3.3.2 คู่มือเทคนิคการตรวจสอบอาคาร เพื่อความปลอดภัย

3.3.3 คู่มือตรวจสอบรอยร้าว สาเหตุ และการแก้ไข

3.3.4 การวิบัติของอาคารสาเหตุ และการแก้ไข

3.4 คู่มือสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศได้จัดทำคู่มือการตรวจสอบ และประเมินความสามารถเชิงโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และมีเอกสารที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

3.4.1 คู่มือการตรวจสอบ และประเมินความสามารถเชิงโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.4.2 เอกสารการอบรมการบำรุงรักษา และซ่อมแซมอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ได้ศึกษามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหนึ่งมาตรฐาน ดังนี้

3.5.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีรองพื้นกันสนิม (มอก. 2387-2555)

4. ผลการศึกษา และวิเคราะห์ข้อบังคับ และมาตรฐานสากล (โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก)

4.1 ประเทศสหรัฐอเมริกา (United State of America)

ศึกษาข้อบังคับ และมาตรฐานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่จัดทำโดย International Code Council (ICC), American Concrete Institute (ACI), American Society of Civil Engineers (ASCE) และ International Concrete Repair Institute (ICRI) ดังนี้

4.1.1 International Code Council (ICC)

ปัจจุบัน ได้เผยแพร่มาตรฐานทั้งหมด 15 มาตรฐาน ที่เลือกมาศึกษาที่น่าจะมีความเกี่ยวข้องมีดังนี้

4.1.1.1 International Existing Building Code (IEBC) สำหรับการดำเนินงานกับโครงสร้างที่มีอยู่แล้ว

4.1.1.2 International Building Code (IBC) สำหรับการดำเนินงานกับโครงสร้างที่จะสร้างใหม่

4.1.2 American Concrete Institute (ACI)

Manual of Concrete Practice (MCP) เป็นหนึ่งในเอกสารที่จัดทำโดย ACI ซึ่งมีเนื้อหาครอบคลุมทั้งมาตรฐาน ข้อกำหนด คู่มือแนะนำ และรายงานผลต่างๆ โดยเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายของโครงสร้างทั้งการออกแบบ การตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมกำลัง และยังมีมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบ ประเมิน และซ่อมแซม เสริมกำลังโครงสร้าง ดังนี้

4.1.2.1 ACI 562-13 Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings (ACI 562-13) and Commentary

4.1.2.2 ACI214.4R-03 “Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results”

4.1.2.3 ACI 228.1R-03 “In-place methods to estimate compressive strength”

4.1.2.4 ACI 503R-93 (Reapproved 2008) — Use of Epoxy Compounds with Concrete

4.1.2.5 ACI 503.1-92 (Reapproved 2003) — Standard Specification for Bonding Hardened Concrete, Steel, Wood, Brick, and other Materials to Hardened Concrete with a Multi-Component Epoxy Adhesive

4.1.2.6 ACI 503.2-92 (Reapproved 2003) — Standard Specification for Bonding Plastic Concrete to Hardened Concrete with a Multi-Component Epoxy Adhesive

4.1.2.7 ACI 503.4-92 (Reapproved 2003) — Standard Specification for Repairing Concrete with Epoxy Mortars

4.1.2.8 ACI 503.5R-92 (Reapproved 2003) — Guide for the Selection of Polymer Adhesives with Concrete

4.1.2.9 ACI 503.6R-97 (Reapproved 2003) — Guide for the Application of Epoxy and Latex Adhesives for Bonding Freshly Mixed and Hardened Concretes

4.1.2.10 ACI 224.1R-07 - Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures

4.1.2.11 ACI 222R-01 - Protection of Metals in Concrete Against Corrosion

4.1.2.12 ACI 201.2R-08 - Guide to Durable Concrete

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

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

4.1.3 American Society of Civil Engineers (ASCE)

ASCE มีมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมแซมโครงสร้างได้แก่

4.1.3.1 ASCE/SEI 7-10—Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures

4.1.3.2 ASCE/SEI 11-99—Guideline for Structural Condition Assessment of Existing Buildings

4.1.4 International Concrete Repair Institute (ICRI)

ICRI เป็นสมาคมหลักที่ดำเนินการเกี่ยวข้องกับการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต ปัจจุบันมีคู่มือที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบ ประเมิน และซ่อมแซม เสริมกำลังโครงสร้างโครงสร้างคอนกรีต ดังนี้

4.1.4.1 ICRI No. 210.3-04—Guide for Using In-Situ Tensile Pull-Off Tests to Evaluate Bond of Concrete Surface Materials

4.1.4.2 ICRI No. 320.2R-09—Guide for Selecting and Specifying Materials for Repair of Concrete Surfaces

4.1.4.3 ICRI No. 340.1-06—Guideline for the Selection of Grouts to Control Leakage in Concrete Structures

4.1.5 NACE International

NACE International เป็นองค์กรระดับนานาชาติที่มีความเชี่ยวชาญด้านการเกิดสนิมของโลหะ โดยมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ทั้งการซ่อมแซม และการป้องกันมีดังนี้

4.1.5.1 NACE 01101—Electrochemical Chloride Extraction from Steel-Reinforced Concrete—A State-of-the-Art Report

4.1.5.2 NACE 01102-02—State-of-the-Art Report: Criteria for Cathodic Protection of Prestressed Concrete Structures

4.1.5.3 NACE 01104 Electrochemical Realkalization of Steel-Reinforced Concrete—A State-of-the-Art Report

4.1.5.4 NACE 01105-05—Sacrificial Cathodic Protection of Reinforced Concrete Elements—A State-of-the-Art Report

4.1.5.5 NACE RP0 2 9 0 - 0 0 —Standard Recommended Practice— Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures

4.1.5.6 NACE SP0107-07—Electrochemical Realkalization and Chloride Extraction for Reinforced Concrete

4.1.5.7 NACE SP0390-09 (formerly RP0390)—Maintenance and Rehabilitation Considerations for Corrosion Control of Atmospherically Exposed Existing Steel-Reinforced Concrete Structures

4.2 International Standard Organization (ISO)

4.2.1 Technical Committee 71

International Organization for Standardization (ISO) เป็นองค์กรระดับนานาชาติที่จัดทำมาตรฐานต่างๆ โดยคณะกรรมการเทคนิคกลุ่มที่ 71 (Technical committee 71, TC71) จะรับผิดชอบเกี่ยวกับงานคอนกรีต คอนกรีตเสริมเหล็ก และคอนกรีตอัดแรง ซึ่งคณะกรรมการย่อยกลุ่มที่ 7 (Sub-committee 7, SC7) จะเป็นผู้ดูแลมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษา และซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต ISO/TC 71/SC 7 ได้จัดทำมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษา และซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตดังนี้

4.2.1.1 ISO 16311-1:2014 Maintenance and repair of concrete structures -- Part 1: General principles

4.2.1.2 ISO 16311-2:2014 Maintenance and repair of concrete structures -- Part 2: Assessment of existing concrete structures

4.2.1.3 ISO 16311-3:2014 Maintenance and repair of concrete structures -- Part 3: Design of repairs and prevention

4.2.1.4 ISO 16311-4:2014 Maintenance and repair of concrete structures -- Part 4: Execution of repairs and prevention

4.2.1.5 ISO/TR 16475:2011 Guidelines for the repair of water-leakage cracks in concrete structures

4.2.1.6 ISO 16711:2015 Seismic assessment and retrofit of concrete structures

4.2.2 Technical Committee 98

ISO/TC 98 รับผิดชอบเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้าง โดย ISO/TC 98/SC 2 จะดูแลเรื่องความเชื่อมั่นของโครงสร้าง (Reliability) ซึ่งได้จัดทำมาตรฐานที่เกี่ยวข้องดังนี้

4.2.2.1 ISO 2394:2015 General principles on reliability for structures

4.2.2.2 ISO 13822:2010 Bases for design of structures -- Assessment of existing structures

4.2.2.3 ISO 13823:2008 General principles on the design of structures for durability

4.2.3 Technical Committee 135

ISO/TC 135 รับผิดชอบเกี่ยวกับมาตรฐานการทดสอบแบบไม่ทำลายวิธีต่างๆ

4.3 ประเทศญี่ปุ่น (Japan)

สำหรับประเทศญี่ปุ่น ได้ศึกษากฎหมายและวิธีการปฏิบัติ รวมถึงมาตรฐานที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

4.3.1 Building Standard Law (BSL)

4.3.2 Mansion Aptitude Management Law

4.3.3 Japan Society of Civil Engineers

Japan Society of Civil Engineers (JSCE) ได้ออกข้อกำหนดเกี่ยวกับการออกแบบ ก่อสร้างและบำรุงรักษาโครงสร้าง Standard Specification for Concrete Structures – “Maintenance” ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษา

4.3.4 Japan Concrete Institute

Japan Concrete Institute (JCI) ได้จัดทำคู่มือ จัดอบรมขึ้นทะเบียนวิศวกรที่เกี่ยวข้องกับงานคอนกรีต โดยการขึ้นทะเบียนมีสองประเภท คือวิศวกรคอนกรีต (Concrete Engineer) และวิศวกรตรวจสอบคอนกรีต (Concrete Diagnosis Engineer) สำหรับงานตรวจสอบจะมีการจัดสอบเพื่อทดสอบความรู้ของวิศวกรก่อนการขึ้นทะเบียนวิศวกรตรวจสอบ ซึ่งบางหน่วยงานได้บังคับให้การตรวจสอบโครงสร้างต้องดำเนินการโดยวิศวกรที่ได้รับการขึ้นทะเบียนเท่านั้น

4.3.5 Architectural Institute of Japan

Architectural Institute of Japan (AIJ) ได้จัดทำมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาอาคาร ได้แก่

4.3.5.1 Test Methods for Quality Control and Maintenance of Reinforced Concrete Buildings, 2007

4.3.5.2 Recommendations for Diagnosis and Repair Methods of Fire-damaged Buildings, 2010

4.3.5.3 Japanese Architectural Standard Specification for Reinforced Concrete Work JASS5, 2009

4.4 The International Federation for Structural Concrete (FIB)

มาตรฐานของ FIB ที่เกี่ยวกับการตรวจสอบ การประเมิน และซ่อมแซม โครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย มีดังต่อไปนี้

4.4.1 FIB Bulletins No.3: Textbook on Behavior, Design and Performance Volume 3: Durability - Design for Fire Resistance - Member Design - Maintenance, Assessment and Repair - Practical Aspects

4.4.2 FIB Bulletins No.14: Externally bonded FRP reinforcement for RC structures

4.4.3 FIB Bulletins No.17: Management, maintenance and strengthening of concrete structures Technical

4.4.4 FIB Bulletins No.22: Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures

4.4.5 FIB Bulletins No. 46: Fire design of concrete structures - structural behavior and assessment

4.5 สหภาพยุโรป (European Union)

EN 1504 เป็นชุดมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ และระบบสำหรับการป้องกัน และซ่อมแซม โครงสร้างคอนกรีต แบ่งเป็น 10 มาตรฐานย่อย ได้แก่

4.5.1 EN 1504-1 Part 1: Definitions

4.5.2 EN 1504-2 Part 2: Surface protection systems

4.5.3 EN 1504-3 Part 3: Structural and non-structural repair

4.5.4 EN 1504-4 Part 4: Structural bonding

4.5.5 EN 1504-5 Part 5: Concrete injection

4.5.6 EN 1504-6 Part 6: Anchoring products

4.5.7 EN 1504-7 Part 7: Reinforcement corrosion protection: coatings for reinforcement

4.5.8 EN 1504-8 Part 8: Quality control and evaluation of conformity

4.5.9 EN 1504-9 Part 9: General principles for the use of repair materials and systems

4.5.10 EN 1504-10 Part 10: Site application of products and systems, and quality control of the Works

4.6 สมาพันธ์คอนกรีตแห่งเอเซีย (Asian Concrete Federation หรือ ACF)

ปัจจุบัน Asian Concrete Federation (ACF) ได้จัดทำเอกสารมาตรฐาน และข้อแนะนำ 10 ฉบับ ได้แก่

4.6.1 An example of seismic performance examination for RC building design according to the Architectural Institute of Japan (AIJ) Guidelines, 2001

4.6.2 Vietnam National Standard TCXDVN 318:2004 - "Concrete and Concrete Reinforced Structures - Guide to Maintenance", 2004

4.6.3 Guidelines for maintenance and rehabilitation of concrete structures against chloride induced deterioration, 2004

4.6.4 Guidelines for materials and construction based on Japanese Standard Specifications, 2005

4.6.5 Guidelines for the design of reinforced concrete buildings against fire actions, 2007

4.6.6 Guidelines for designing transverse confinement reinforcement of reinforced concrete columns against seismic actions, 2009

4.6.7 Guidelines for the seismic assessment and retrofit of concrete structures, 2010

4.6.8 Guidelines for maintenance and rehabilitation of concrete structures subjected to carbonation-induced deterioration, 2011

4.6.9 Guidelines for materials and construction of concrete structures based on the Thai standard specifications, 2014

4.6.10 Guidelines for durability and service life design of concrete structures based on the Thai standard

5. ผลการศึกษา และวิเคราะห์ข้อบังคับ และมาตรฐานสากล (โครงสร้างเหล็ก)

5.1 ประเทศสหรัฐอเมริกา (United State of America)

5.1.1 American Welding Society (AWS)

มาตรฐานส่วนที่เกี่ยวกับการ การตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และเสริมความมั่นคงแข็งแรง สำหรับโครงสร้างเหล็ก ของประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ได้ถูกเลือกมาทำการทบทวนคือ มาตรฐาน AWS D1.1/D1.1M:2010 “Structural Welding Code – Steel” ซึ่งประกอบด้วย

5.1.1.1 มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อม

5.1.1.2 มาตรฐานการซ่อมแซมรอยเชื่อม (Welding Repair)

5.1.1.3 มาตรฐานการเสริมความมั่นคงและซ่อมแซมโครงสร้างที่มีอยู่แล้ว

5.1.1.4 มาตรฐานการให้ความร้อนก่อนกระบวนการเชื่อม

5.2 สหภาพยุโรป (European Union)

ได้ศึกษามาตรฐาน) เกี่ยวกับระบบสีกันสนิมที่ทาปกป้องในส่วนต่างๆของโครงสร้าง คือ

5.2.1 EN ISO 12944-2 Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Part 2: Classification of environments (ISO 12944-2: 1998)

5.3 ประเทศญี่ปุ่น (Japan)

สำหรับประเทศญี่ปุ่น ได้ศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

5.3.1 Japanese Architectural Standard Specification (JASS)

มาตรฐานที่ได้นำมาทบทวนคือมาตรฐาน JASS 6: 1993 “Japanese Architectural Standard Specification, JASS 6: Structural Steelwork Specification for building Construction” ซึ่งเป็นมาตรฐานข้อกำหนดการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างเหล็กของประเทศญี่ปุ่น มีเนื้อหาส่วนที่ที่เกี่ยวข้องกับการ ตรวจสอบ การประเมิน และการซ่อมแซมอยู่ด้วย

5.3.2 Road bridge periodic inspection procedure Ministry of Land, Infrastructure and Transport Road Bureau

5.4 องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Standardization and Organization หรือ ISO)

5.4.1 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

สำหรับการทบทวนมาตรฐานจากสหภาพยุโรป ทางคณะวิจัยได้เลือกมาตรฐาน ISO 4628 และมาตรฐาน ISO 4928 ที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับการตรวจสอบ และการประเมิน สีรองพื้น (Coating) กำหนดตามปริมาณ (Quantity) ขนาดของข้อบกพร่อง (Size of defect) และการเปลี่ยนแปลงของรูปลักษณ์ (Intensity of uniform change in appearance) ซึ่งแบ่งออกเป็น 9 ฉบับย่อย

5.5 ประเทศออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ (Australia and New Zealand)

5.5.1 Australia Standard (AS) และ New Zealand Standard (NZS)

มาตรฐานของประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ที่นำมาทบทวนจะมีการให้รายละเอียดเกี่ยวกับรอยเชื่อมและการเชื่อมเหล็กสำหรับโครงสร้างเหล็ก (Welding) ตามมาตรฐาน AS/NZS 1554.1:2014 “Structural steel welding. Part 1: Welding of steel structure” และมาตรฐานเกี่ยวกับรอยเชื่อมสำหรับโครงสร้างเหล็กที่รับภาระความล้าสูง AS/NZS 1554.5:2014 “Structural steel welding. Part 5: Welding of steel structures subjected to high levels of fatigue loading”

5.6 Assessment of existing steel structure: Recommendations for estimation of remaining fatigue life (JRC European Commission)

ในรายงานฉบับนี้ได้ระบุเอาไว้ว่าความล้าเป็นกรณีเฉพาะของการเสื่อมสภาพที่มีความสำคัญมากในการประเมินของสะพานเหล็กที่มีอยู่แล้ว

6. สรุปผลการรวบรวมมาตรฐานสากล

หัวข้อนี้สรุปมาตรฐานสากลที่ได้ทำการศึกษาสำหรับการตรวจสอบ การประเมิน ซ่อมแซม เสริมกำลังโครงสร้าง ทั้งโครงสร้างเก่าและโครงสร้างที่ได้รับความเสียหายจากกรณีต่างๆ ที่ได้ศึกษาในหัวข้อที่ 4 และ 5 โดยสรุปไว้ในตารางที่ 6.1 สำหรับโครงสร้างคอนกรีต และตารางที่ 6.2 สำหรับโครงสร้างเหล็ก

ตารางที่ 6.1 รายชื่อมาตรฐานสากลที่ได้ทำการศึกษา (โครงสร้างคอนกรีต)

ประเทศ	มาตรฐาน	ความสำคัญ
สหรัฐอเมริกา	International Code council (ICC)	สมาคมที่จัดทำมาตรฐานสำหรับการออกแบบก่อสร้างโครงสร้างต่างๆ และได้รับการยอมรับเพื่อนำไปบังคับใช้ในหลายรัฐ
	American Concrete Institute (ACI)	องค์กรวิชาชีพชั้นนำที่จัดทำ พัฒนา มาตรฐาน เอกสารทางเทคนิค การจัดอบรม ล่าสุดได้มีการจัดทำมาตรฐาน ACI 562-13 Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings เนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายของโครงสร้างทั้งการออกแบบ การตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมกำลัง
	American Society of Civil Engineering (ASCE)	องค์กรวิชาชีพที่จัดทำมาตรฐาน ทั้งการออกแบบ การตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมกำลัง
	International Concrete Repair Institute (ICRI)	สมาคมหลักที่ดำเนินการเกี่ยวข้องกับจัดทำคู่มือแนะนำการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต

ประเทศ	มาตรฐาน	ความสำคัญ
	NACE International	เป็นองค์กรระดับนานาชาติที่มีความเชี่ยวชาญด้านการเกิดสนิมของโลหะ มีการจัดทำมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกัดกร่อนของโลหะ
ระดับนานาชาติ	International Standard Organization (ISO)	องค์กรระดับนานาชาติที่จัดทำมาตรฐานต่างๆ โดยคณะกรรมการเทคนิคกลุ่มที่ 71 (Technical committee 71, TC71) จะรับผิดชอบเกี่ยวกับงานคอนกรีต คอนกรีตเสริมเหล็ก และคอนกรีตอัดแรง ซึ่งคณะกรรมการย่อยกลุ่มที่ 7 (Sub-committee 7, SC7) จะเป็นผู้ดูแลมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษา และซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต
ญี่ปุ่น	Building Standard Law (BSL)	กฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารของประเทศญี่ปุ่น
	Mansion Aptitude Management Law	ข้อบังคับเกี่ยวกับการวางแผนการบำรุงรักษาระยะยาวสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย
	Japan Society of Civil Engineering (JSCE)	องค์กรวิชาชีพด้านวิศวกรรมโยธา ได้ออกข้อกำหนดเกี่ยวกับการออกแบบ ก่อสร้าง และบำรุงรักษาโครงสร้าง
	Japan Concrete Institute (JCI)	องค์กรวิชาชีพด้านคอนกรีต ซึ่งได้จัดทำคู่มือ จัดอบรม ขึ้นทะเบียนวิศวกรที่เกี่ยวข้องกับงานคอนกรีต และให้การรับรองการขึ้นทะเบียนวิศวกรคอนกรีต (Concrete Engineer) และวิศวกรตรวจสอบคอนกรีต
ระดับนานาชาติ	The International Federation for	องค์กรที่เกิดจากการรวมตัวกันของ 24 ประเทศ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทางด้านเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของโครงสร้างคอนกรีตทั่วโลก

ประเทศ	มาตรฐาน	ความสำคัญ
	Structural Concrete (FIB)	
สหภาพยุโรป	European Union	สหภาพยุโรป โดยมี EN 1504 เป็นชุดมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ และระบบสำหรับการป้องกันและซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต
ภูมิภาคเอเชีย	Asian Concrete Federation (ACF)	เป็นสมาพันธ์ระดับนานาชาติในภูมิภาคเอเชีย ที่จัดทำคู่มือต่างๆ ที่เกี่ยวกับการการออกแบบ การก่อสร้าง และการบำรุงรักษา

ตารางที่ 6.2 รายชื่อมาตรฐานสากลที่ได้ทำการศึกษา (โครงสร้างเหล็ก)

ประเทศ	มาตรฐาน	ความสำคัญ
สหรัฐอเมริกา	American Wielding Society (AWS)	มาตรฐานส่วนที่เกี่ยวกับการ การตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และเสริมความมั่นคงแข็งแรงสำหรับโครงสร้างเหล็ก
สหภาพยุโรป	European Union	มาตรฐานส่วนที่นิยมใช้ในการตรวจสอบ การประเมินในสหภาพยุโรป
ญี่ปุ่น	Japanese Architectural Standard Specification	องค์ที่จัดทำมาตรฐานข้อกำหนดการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างเหล็กของประเทศญี่ปุ่น
	Road bridge periodic inspection procedure Ministry of Land, Infrastructure and Transport Road Bureau	มาตรฐานเกี่ยวกับการตรวจสอบและประเมินโคงสร้างสะพานเหล็ก
ระดับนานาชาติ	International Standard Organization (ISO)	องค์กรระดับนานาชาติที่จัดทำมาตรฐานต่างๆ

ประเทศ	มาตรฐาน	ความสำคัญ
ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์	Australia Standard (AS) / New Zealand Standard (NZS)	มาตรฐานเกี่ยวกับ การตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และเสริมความมั่นคงของโครงสร้างเหล็ก
สหภาพยุโรป	JRC European Commission	ศูนย์วิจัยของคณะกรรมาธิการยุโรป

จากการศึกษากฎหมาย ข้อบังคับ มาตรฐาน และ เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานตรวจสอบ ประเมิน ซ่อมแซม และเสริมกำลังโครงสร้างทั้งในประเทศไทย และในสากลพบข้อสังเกตุดังนี้

1) ประเทศไทยยังไม่มีกฎหมาย หรือ ข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานตรวจสอบ ประเมิน ซ่อมแซม และเสริมกำลังโครงสร้าง
2) ประเทศไทย แม้จะมีมาตรฐานเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานตรวจสอบ ประเมิน ซ่อมแซม และเสริมกำลังโครงสร้างอยู่บ้าง แต่ยังไม่มีมาตรฐานฉบับหลักที่ครอบคลุมครบวงจรสำหรับการปฏิบัติงานตรวจสอบ ประเมิน ซ่อมแซม และเสริมกำลังโครงสร้าง
3) ประเทศไทย แม้จะมีมาตรฐานเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานตรวจสอบ ประเมิน ซ่อมแซม และเสริมกำลังโครงสร้างอยู่บ้าง แต่ยังขาดความสมบูรณ์ และขาดคู่มือ หรือ เอกสารแนะนำสำหรับการเลือกวัสดุ และ วิธีการปฏิบัติที่เหมาะสม
4) ข้อบังคับในสากลอาจมีปัญหาในการนำมาใช้โดยตรงในประเทศไทย
5) มาตรฐานสากลมีความหลากหลายในรูปแบบ และแนวคิด การอ้างอิงเพื่อใช้งานในประเทศไทยควรพิจารณาเลือกให้เหมาะสม โดยอาจไม่จำเป็นต้องอ้างอิงมาจากแหล่งเดียวทั้งหมด

จึงเป็นประโยชน์ในการจัดทำข้อบังคับ และจัดทำมาตรฐานเกี่ยวที่ข้องกับการปฏิบัติงานตรวจสอบ ประเมิน ซ่อมแซม และเสริมกำลังโครงสร้างของประเทศไทยเอง ที่ครอบคลุมครบวงจรสำหรับการปฏิบัติงานตรวจสอบ ประเมิน ซ่อมแซม และเสริมกำลังโครงสร้าง เพื่อให้การปฏิบัติ และ การอ้างอิงมีมาตรฐานไปในทิศทางเดียวกัน

7. ข้อมูลอาคารตัวอย่างเพื่อทำการศึกษาเป็นกรณีศึกษา

จากขอบเขตของโครงการที่ต้องมีการรวบรวมข้อมูลการตรวจสอบ และประเมินอาคารเก่าหรืออาคารที่เสียหายไม่น้อยกว่า 20 กรณีศึกษา และรวบรวมข้อมูลการซ่อมแซมและเสริมความมั่นคงแข็งแรงอาคารเก่าหรืออาคารที่เสียหาย ไม่น้อยกว่า 20 กรณีศึกษา ทางคณะทำงานได้พิจารณาเลือกกรณีศึกษา

ให้มีความหลากหลายตามสาเหตุการเสื่อมสภาพ และระดับความรุนแรงของความเสียหาย ดังแสดงในตารางที่ 7.1 และ 7.2

จากการรวบรวม ศึกษา และวิเคราะห์กรณีศึกษาในหัวข้อนี้ พบข้อสังเกตุดังต่อไปนี้

การปฏิบัติงานตรวจสอบ ประเมิน ซ่อมแซม และเสริมกำลังโครงสร้างในโครงการที่ศึกษาส่วนใหญ่ปฏิบัติตามที่เคยปฏิบัติกันมา มีการใช้งานวัสดุ และวิธีการที่ยังไม่หลากหลายมากนัก โดยหากมีการการอ้างอิงมาตรฐาน หรือข้อแนะนำ ส่วนใหญ่มักจะอ้างอิงมาตรฐานและข้อแนะนำต่างประเทศที่หลากหลาย

ดังนั้น จึงเป็นประโยชน์ในการจัดทำมาตรฐานเกี่ยวที่ข้องกับการปฏิบัติงานตรวจสอบ ประเมิน ซ่อมแซม และเสริมกำลังโครงสร้างที่ครอบคลุมครบวงจรสำหรับการปฏิบัติงานตรวจสอบ ประเมิน ซ่อมแซม และเสริมกำลังโครงสร้าง เพื่อให้การปฏิบัติ และ การอ้างอิงมีมาตรฐานไปในทิศทางเดียวกัน และจัดทำคู่มือการตรวจสอบ ประเมิน คู่มือการซ่อมแซม และคู่มือการเสริมกำลังโครงสร้าง เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถใช้อ้างอิง และเลือกวัสดุ และวิธีการที่ถูกต้อง เหมาะสม และหลากหลายมากขึ้นได้ อีกทั้งยังสามารถใช้ประโยชน์ในการเรียน การสอนนิสิต นักศึกษา และการอบรม หรือ การฝึกอบรบผู้ปฏิบัติงานได้

ตารางที่ 7.1 สรุปข้อมูลตัวอย่างที่ได้จากการตรวจสอบและประเมินโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ จำนวน 22 อาคาร

รายการ	สถานที่ตั้ง	ประเภทอาคาร	ชนิดโครงสร้าง	อายุ (ปี)	ชนิดองค์อาคารที่ทำการตรวจสอบ	รูปแบบความเสียหาย	วิธีการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด	ระดับความเสียหาย
ตัวอย่างอาคารที่ 1	สระบุรี	โรงงานอุตสาหกรรม	คอนกรีตเสริมเหล็ก	-	เสา	บริเวณที่เสียหาย ได้รับการซ่อมแบบ patching แต่ไม่ได้ผล กลับมาเสียหายอีก	กำลังอัดโดยค้อนสะท้อนความลึกคาร์บอเนชั่น ปริมาณซัลเฟตและคลอไรด์ในคอนกรีต อุณหภูมิขณะใช้งาน และการวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดจากอุณหภูมิ	ระดับ 2
ตัวอย่างอาคารที่ 2	-	อาคารชุดพักอาศัย	คอนกรีตเสริมเหล็ก	21	เสา คาน และพื้น	พบรอยร้าวและคราบสีสนิมตามแนวเหล็กเสริมของคาน	ทดสอบค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อน ทดสอบปริมาณระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมและตำแหน่งเหล็กเสริม ทดสอบปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต การทดสอบความลึกการเกิดคาร์บอเนชั่น	ระดับ 2

รายการ	สถานที่ตั้ง	ประเภทอาคาร	ชนิดโครงสร้าง	อายุ (ปี)	ชนิดองค์อาคารที่ทำการตรวจสอบ	รูปแบบความเสียหาย	วิธีการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด	ระดับความเสียหาย
ตัวอย่างอาคารที่ 3	ระยอง	เสาส่งไฟฟ้าแรงสูง	คอนกรีตเสริมเหล็ก	8	เสา	วัสดุเคลือบผิวเสียหายระหว่างการก่อสร้าง	ตรวจสอบความรุนแรงของการเกิดสนิม ISO4628 ตรวจสอบความหนาของวัสดุเคลือบผิว ASTM D7091 วัดความหนาของเหล็กภายหลังการเกิดสนิม	ระดับ 2
ตัวอย่างอาคารที่ 4	กทม.	โรงพยาบาล	คอนกรีตเสริมเหล็ก	-	พื้น	รอยร้าวที่ผิวคอนกรีตการหดตัวของคอนกรีต รอยร้าวตรวจพบตั้งแต่ยังไม่เปิดใช้งานอาคาร สาเหตุจากน้ำหนักบรรทุก และการเกิดสนิมจึงถูกตัดออกไป	การวิเคราะห์การหดตัวและแตกร้าวของคอนกรีต	ระดับ 2
ตัวอย่างอาคารที่ 5	สมุทรสาคร	โรงพยาบาล	คอนกรีตเสริมเหล็ก	7	พื้น	ไฟไหม้ พบรอยร้าวบริเวณท้องพื้น	ทดสอบค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก ภาพถ่ายความ	ระดับ 2

รายการ	สถานที่ตั้ง	ประเภทอาคาร	ชนิดโครงสร้าง	อายุ (ปี)	ชนิดองค์อาคารที่ทำการตรวจสอบ	รูปแบบความเสียหาย	วิธีการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด	ระดับความเสียหาย
							ร้อน การหลอมละลายของวัสดุต่างๆ	
ตัวอย่างอาคารที่ 6	กทม.	อาคารถังเก็บน้ำ	คอนกรีตเสริมเหล็ก	21	ถังเก็บน้ำ	รอยร้าวตามแนวเหล็กเสริมที่ใต้พื้น พบคราบสีสนิม และคราบหินปูน พบรอยร้าวตามแนวรัศมีรอบหัวเสา	ทดสอบค่าความแข็งแรงของคอนกรีต หาระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม หาปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริม การทดสอบค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของเหล็กเสริม	ระดับ 2
ตัวอย่างอาคารที่ 7	ราชบุรี	อาคารสำนักงาน	คอนกรีตเสริมเหล็ก	7	พื้น	พบรอยร้าวบริเวณท้องพื้น คาดว่าการหดตัวของคอนกรีต	ทดสอบค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก ทดสอบปริมาณระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม และตำแหน่งเหล็กเสริม ทดสอบการเกิดสนิมของเหล็กเสริมด้วยวิธีการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์	ระดับ 2

รายการ	สถานที่ตั้ง	ประเภทอาคาร	ชนิดโครงสร้าง	อายุ (ปี)	ชนิดองค์อาคารที่ทำการตรวจสอบ	รูปแบบความเสียหาย	วิธีการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด	ระดับความเสียหาย
ตัวอย่างอาคารที่ 8	ระยอง	อาคารหอหล่อเย็น	คอนกรีตเสริมเหล็ก	19	เสา	พบรอยร้าวตามแนวเหล็กเสริมที่เสา	ทดสอบค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริม ความลึกการเกิดคาร์บอเนชั่น	ระดับ 2
ตัวอย่างอาคารที่ 9	ชลบุรี	ห้องประชุมโรงแรม	คอนกรีตเสริมเหล็ก	7	พื้น	พบรอยร้าวบริเวณท้องพื้น	ทดสอบค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก ทดสอบการรับน้ำหนักของโครงสร้างตามมาตรฐาน	ระดับ 2
ตัวอย่างอาคารที่ 10	สมุทรปราการ	อาคารหอหล่อเย็น	คอนกรีตเสริมเหล็ก	18	พื้น	พบรอยร้าวที่ผิวฐานรากคอนกรีต แตกลายงา กระจัดกระจายไร้ทิศทางแน่นอน	ทดสอบค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก ทดสอบอุณหภูมิฐานรากคอนกรีตสูง	ระดับ 2

รายการ	สถานที่ตั้ง	ประเภทอาคาร	ชนิดโครงสร้าง	อายุ (ปี)	ชนิดองค์อาคารที่ทำการตรวจสอบ	รูปแบบความเสียหาย	วิธีการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด	ระดับความเสียหาย
							เนื่องจากความร้อนจาก อุโมงค์ไอน้ำเหนือฐานราก การเป็นสนิมของเหล็กเสริม เนื่องจากคลอไรด์ การเป็นสนิมของเหล็กเสริม เนื่องจากคาร์บอเนชั่น	
ตัวอย่างอาคารที่ 11	สมุทรปราการ	อาคารหอหล่อเย็น	คอนกรีตเสริมเหล็ก	18	เสา คาน	พบรอยร้าวตามแนวเหล็กเสริมที่เสา พบคราบสีสนิม	ทดสอบค่าความแข็งแรงของคอนกรีต หาระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม หาปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริม การทดสอบค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของเหล็กเสริม การตรวจสอบความถี่ และความเร่งของการสั่นสะเทือน	ระดับ 2

รายการ	สถานที่ตั้ง	ประเภทอาคาร	ชนิดโครงสร้าง	อายุ (ปี)	ชนิดองค์อาคารที่ทำการตรวจสอบ	รูปแบบความเสียหาย	วิธีการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด	ระดับความเสียหาย
ตัวอย่างอาคารที่ 12	ตรัง	อาคารเก็บสินค้า	คอนกรีตเสริมเหล็ก	30	เสา	ไฟไหม้ พบรอยร้าวคานรองรับพื้นของอาคาร มีการหลุดร่อนของผิวคอนกรีต เกิดการบิดเบี้ยวของโครงสร้าง	กำลังอัดคอนกรีต ประเมินระยะเวลา และอุณหภูมิสูงสุดที่โครงสร้างเผชิญ	ระดับ 4
ตัวอย่างอาคารที่ 13	กทม.	อาคารสำนักงาน	คอนกรีตเสริมเหล็ก	18	คาน พื้น	ไฟไหม้ พบรอยร้าวคานรองรับพื้นของอาคาร พบรอยร้าวจากแรงเฉือนเนื่องจากการลดลงของกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจากไฟไหม้ พบการหลุดร่อนของใต้พื้นผิวคอนกรีต มีการบิดเบี้ยวของคานเหล็กรับพื้นอาคาร	เจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตเพื่อทดสอบกำลังอัด หาการเปลี่ยนสีของคอนกรีตทำการทดสอบภายถ่ายแสดงโครงสร้างทางจุลภาค (SEM-BSE) ทดสอบ Thermogravimetric Analysis (TGA)	ระดับ 3

รายการ	สถานที่ตั้ง	ประเภทอาคาร	ชนิดโครงสร้าง	อายุ (ปี)	ชนิดองค์อาคารที่ทำการตรวจสอบ	รูปแบบความเสียหาย	วิธีการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด	ระดับความเสียหาย
ตัวอย่างอาคารที่ 14	ภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ	ฐานรากสำหรับกังหันลม	คอนกรีตเสริมเหล็ก	-	ฐานราก	พบรอยร้าวที่ตำแหน่งต่างๆ ของฐานราก ขนานกันเป็นช่วงๆ คาดว่าเกิดจากจากความแตกต่างของอุณหภูมิในคอนกรีตหลา (Thermal cracking)	การวิเคราะห์ทางความร้อนเปรียบเทียบสัดส่วนผสมคอนกรีตที่ออกแบบ และกรณีสัดส่วนผสมคอนกรีตที่มีการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์จากที่ออกแบบ 20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	ระดับ 1
ตัวอย่างอาคารที่ 15	กทม.	ฐานรากทางยกระดับ	คอนกรีตเสริมเหล็ก	11	ฐานราก	พบรอยร้าวที่ตำแหน่งต่างๆ ของฐานราก ขนานกันเป็นช่วงๆ	กำลังอัดคอนกรีต ความหนาแน่นของคอนกรีต การทดสอบหาคุณภาพของคอนกรีตด้วย Ultrasonic Pulse Velocity การทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่น	ระดับ 2

รายการ	**สถานที่ตั้ง**	**ประเภทอาคาร**	**ชนิดโครงสร้าง**	**อายุ (ปี)**	**ชนิดองค์อาคารที่ทำการตรวจสอบ**	**รูปแบบความเสียหาย**	**วิธีการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด**	**ระดับความเสียหาย**
							จำนวนและตำแหน่งของเหล็กเสริม ระยะหุ้มเหล็ก ความลึกของรอยร้าว กำลังการรับน้ำหนักจริงของโครงสร้าง SEM และ EDX	
ตัวอย่างอาคารที่ 16	สมุทรปราการ	อาคารสำนักงาน	คอนกรีตเสริมเหล็ก	-	คาน เสา พื้น	ไฟไหม้ และพบการเปลี่ยนสนของคอนกรีตและรอยร้าวตามแนวเฉือนที่คานเป็นจำนวนมาก	กำลังอัดคอนกรีต ทดสอบด้วยวิธีคลื่นอัลตราโซนิก	ระดับ 5
ตัวอย่างอาคารที่ 17	ชลบุรี	อาคารในโรงไฟฟ้า	เหล็กรูปพรรณ	-	คาน เสา	สนิมที่เกิดบริเวณโครงสร้างเหล็ก การพองเกิดบริเวณโครงสร้างเหล็ก	เครื่องวัดความหนาเหล็ก เครื่องวัดความหนาสี	ระดับ 4

รายการ	สถานที่ตั้ง	ประเภทอาคาร	ชนิดโครงสร้าง	อายุ (ปี)	ชนิดองค์อาคารที่ทำการตรวจสอบ	รูปแบบความเสียหาย	วิธีการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด	ระดับความเสียหาย
						การร่อนเกิดบริเวณโครงสร้างเหล็ก		
ตัวอย่างอาคารที่ 18	ปทุมธานี	ป้ายโฆษณา	เหล็กรูปพรรณ		เหล็กโครงสร้าง	เชื่อมไม่ได้คุณภาพสนิมที่เกิดบริเวณโครงสร้างเหล็ก การพองเกิดบริเวณโครงสร้างเหล็ก การร่อนเกิดบริเวณโครงสร้างเหล็ก	เครื่องวัดความหนาเหล็ก	ระดับ 2
ตัวอย่างอาคารที่ 19	ปทุมธานี	ป้ายโฆษณา	เหล็กรูปพรรณ	-	เหล็กโครงสร้าง	เชื่อมไม่ได้คุณภาพ ชิ้นส่วนของสลักเกลียว แหวน และ น็อต ไม่ครบ มีการสูญเสียหน้าตัดของโครงสร้าง	เครื่องวัดความหนาเหล็ก เครื่องวัดความหนาสี	ระดับ 2
ตัวอย่างอาคารที่ 20	ระยอง	ท่าเทียบเรือ	เหล็กรูปพรรณ	-	เสาเหล็ก	สนิมที่เกิดบริเวณโครงสร้างเหล็ก	-	ระดับ 3

รายการ	สถานที่ตั้ง	ประเภทอาคาร	ชนิดโครงสร้าง	อายุ (ปี)	ชนิดองค์อาคารที่ทำการตรวจสอบ	รูปแบบความเสียหาย	วิธีการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด	ระดับความเสียหาย
						การพองเกิดบริเวณโครงสร้างเหล็ก การร่อนเกิดบริเวณโครงสร้างเหล็ก		
ตัวอย่างอาคารที่ 21	-	อาคารสำนักงาน	คอนกรีตเสริมเหล็ก	-	เสา คาน พื้น	มีการแตกร้าว ทแยงมุมที่พนัง และรอยราวระหว่างเสากับพนัง	การสำรวจระนาบอาคาร การสำรวจรังวัดระนาบแนวดิ่งของเสา	ระดับ 1
ตัวอย่างอาคารที่ 22	-	โครงการศูนย์การค้า	คอนกรีตเสริมเหล็ก	-	เสา คาน	มีการทรุดที่เห็นได้ชัดเจน มรการแตกราวทแยงมุมที่พนัง และมีการพบการแตกที่หัวเสาและเหล็กเสริมเป็นสนิม	-	ระดับ 4

ตารางที่ 7.2 สรุปข้อมูลตัวอย่างอาคารที่ได้รับการซ่อมแซม และเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ จำนวน 20 อาคาร

รายการ	ประเภทอาคาร	ชนิดโครงสร้าง	อายุ	สาเหตุความเสียหาย	ระดับความเสียหาย	วิธีการซ่อมแซม	วิธีการเสริมกำลัง
ตัวอย่างอาคารที่ 23	อาคารหล่อเย็น โรงไฟฟ้า	เสา	10	การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์	ระดับ 3	Concrete Jacket	
ตัวอย่างอาคารที่ 24	อาคารหล่อเย็น โรงไฟฟ้า	เสา	10	ผลการตรวจวัดปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริมสูงเกินกว่าค่าคลอไรด์วิกฤติ	ระดับ 2	การฉีดน้ำยายับยั้งการเกิดสนิมของเหล็กเสริม	
ตัวอย่างอาคารที่ 25	อาคารหล่อเย็น โรงไฟฟ้า	เสา	10	ผลการตรวจวัดปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริมสูงเกินกว่าค่าคลอไรด์วิกฤติ	ระดับ 2	การป้องกันการเกิดสนิมด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี	
ตัวอย่างอาคารที่ 26	โครงสร้างกังหันลม	ฐานราก	เพิ่งก่อสร้างเสร็จ	Thermal cracking เนื่องจากมีการปรับเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ในสัดส่วนผสมคอนกรีตจากส่วนผสมที่ได้ออกแบบไว้ ทำให้ตอนกรีตมีอุณหภูมิสูงกว่าที่ได้ประเมินไว้	ระดับ 2	ไม่ต้องซ่อมแซมรอยร้าว	
ตัวอย่างอาคารที่ 27	จอดรถของอาคาร	พื้น	ไม่มีข้อมูล	- ผลการตรวจวัดการแอ่นตัวมากกว่ามาตฐาน - ผลการตรววัดด้วยอุปกรณ์วัดความเร่ง Accelerometer มีค่าสูง	ระดับ 4		External prestressing
ตัวอย่างอาคารที่ 28		ฐานราก	เพิ่งก่อสร้างเสร็จ	Thermal shock เนื่องจากฐานรากสัมผัสกับน้ำฝนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำอย่างเฉียบพลันในขณะที่กำลังบ่มฉนวน	ระดับ 2	Injection ด้วยวัสดุยืดหยุ่น	

รายการ	**ประเภทอาคาร**	**ชนิดโครงสร้าง**	**อายุ**	**สาเหตุความเสียหาย**	**ระดับความเสียหาย**	**วิธีการซ่อมแซม**	**วิธีการเสริมกำลัง**
ตัวอย่างอาคารที่ 29	ประภาคารปากน้ำ	เสา	40	การเป็นสนิมของท่อเหล็กหุ้มหินถม และแรงกระแทกจากคลื่น	ระดับ 3	ซ่อมโครงสร้างคอนกรีตใต้น้ำทะเล (เทคอนกรีตใหม่หุ้มโครงสร้างเดิมเพื่อป้องกันการเกิดสนิมเหล็กเสริม และการทำลายจากคลื่นทะเล)	
ตัวอย่างอาคารที่ 30	อาคารสำนักงาน	พื้น	20	พบความเสียหายระหว่างดำเนินการปรับปรุงระบบกันซึมก่อนช่วงฤดูฝน และพบการรั่วซึมที่ท้องพื้นในบางจุด (ลวดอัดแรงขาด)	ระดับ 4		เสริมกำลังโดย CFRP
ตัวอย่างอาคารที่ 31	อาคารจอดรถ	คาน	20	ต้องการเสริมกำลังโครงสร้างที่เสื่อมสภาพ เนื่องจากมีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี และให้ตัวโครงสร้างสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้น	ระดับ 2 ระดับ 3 (ความเสียหายจริงอยู่ในระดับ 2 แต่ต้องการเพิ่มการรับ		เสริมกำลังโดย CFRP

รายการ	ประเภทอาคาร	ชนิดโครงสร้าง	อายุ	สาเหตุความเสียหาย	ระดับความเสียหาย	วิธีการซ่อมแซม	วิธีการเสริมกำลัง
					น้ำหนักด้วย จึงอยู่ใน ระดับ 3 ด้วย)		
ตัวอย่างอาคารที่ 32	ท่าเทียบเรือ	เสา	10	เสาเข็มท่าเทียบเรือเกิดการแตกร้าวเนื่องจากเกิดอุบัติเหตุเรือบรรทุกสินค้าชนพื้นและดันให้เสาเข็มแตกร้าว	ระดับ 4		Concrete Jacketing
ตัวอย่างอาคารที่ 33	อาคารสำนักงาน	พื้น	1	ผลกระทบจากการตกกระแทกของวัสดุก่อสร้างชั้นดาดฟ้าและนั่งร้าน ต่อองค์อาคารที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ (คานชั้น 3) ทำให้ปรากฏรอยร้าวที่โครงสร้างคาน ค.ส.ล.	ระดับ 2	Crack Injection	
ตัวอย่างอาคารที่ 34	อาคารชุดที่พักอาศัย	พื้น เสา	45	การเกิดสนิมและสึกกร่อนของเหล็กเสริม	ระดับ 3	Ferrocement Jacketing	
ตัวอย่างอาคารที่ 35	อาคารชุดที่พักอาศัย	คาน พื้น	45	การเกิดสนิมและสึกกร่อนของเหล็กเสริม	ระดับ 3	Cement Jacket	
ตัวอย่างอาคารที่ 36	ท่าเทียบเรือ	เสา	30	เสาเข็มเหล็กของโครงสร้างสะพานท่าเทียบเรือ สาเหตุการเกิดสนิมกัดกร่อนผิวเสาเข็มเหล็กเกิดได้	ระดับ 2	งานซ่อมสีโครงสร้างเหล็ก	

รายการ	ประเภทอาคาร	ชนิดโครงสร้าง	อายุ	สาเหตุความเสียหาย	ระดับความเสียหาย	วิธีการซ่อมแซม	วิธีการเสริมกำลัง
				จากการขัดสีและการสึกกร่อนจากเม็ดทรายและคลื่นกระทำที่ผิวทำให้วัสดุเคลือบลอกเสียหายหรือบางลง			
ตัวอย่างอาคารที่ 37	อาคารโรงงาน	เสา	20	เปลี่ยนแปลงการใช้งานองค์อาคาร โดยการติดตั้งเครื่องจักรใหม่เพิ่มเติม	-		Steel Jacketing
ตัวอย่างอาคารที่ 38	ถังเก็บน้ำ	พนัง		โครงสร้างอาคารบำบัดน้ำ มีน้ำรั่วซึมบริเวณโครงสร้างกำแพงคอนกรีต	ระดับ 3	(ฉีดอัดน้ำยา Pu-Foam และ Epoxy	
ตัวอย่างอาคารที่ 39	อาคารหล่อเย็น	เสา	10	ผลการตรวจวัดปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริมสูงเกินกว่าค่าคลอไรด์วิกฤติ	ระดับ 2	การป้องกันการเกิดสนิมด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี ด้วยการติดตั้งโลหะที่เกิดสนิมแทนเหล็ก	
ตัวอย่างอาคารที่ 40	ท่าเทียบเรือ	เสาเหล็ก	-	เสาเข็มเหล็กเกิดสนิมเนื่องจากความเสียหายของวัสดุเคลือบผิวระหว่างการก่อสร้าง	ระดับ 2	ทาวัสดุเคลือบผิวเหล็ก	
ตัวอย่างอาคารที่ 41	อาคารโรงงาน	พื้น	5	การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตแบบแห้ง	ระดับ 1	ไม่ต้องซ่อมแซม	
ตัวอย่างอาคารที่ 42	อาคารหล่อเย็น	พนัง	15	ผลการตรวจวัดปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริมสูงเกินกว่าค่าคลอไรด์วิกฤติ	ระดับ 2	การเติมเต็มรอยร้าว (การอัดฉีดอีพ๊อกซี่เข้าไปในรอยร้าว เพื่ออุดปิดรอยร้าว	

รายการ	ประเภทอาคาร	ชนิดโครงสร้าง	อายุ	สาเหตุความเสียหาย	ระดับความเสียหาย	วิธีการซ่อมแซม	วิธีการเสริมกำลัง
						และลดการซึมผ่านของคลอไรด์ และน้ำ วิธีการนี้ไม่ได้หยุดการเกิดสนิม แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมต่ำ และใช้เวลาในการทำงานสั้น เพื่อวางแผนการซ่อมแซมใหญ่ในอนาคต)	

8. การจัดทำข้อบังคับ และมาตรฐาน

ข้อบังคับ และมาตรฐานฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นโดยอิงกฎหมาย ข้อบังคับ เอกสารวิชาการ และมาตรฐานเกี่ยวกับการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่า และอาคารที่เสียหายทั้งในประเทศ และต่างประเทศ เช่น กฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง, คู่มือการตรวจสอบและประเมินความสามารถเชิงโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, International Existing Building Code (2012), ACI 562: Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings, ASCE/SEI 11: Guideline for Structural Condition Assessment of Existing Buildings, EN 1504: Products and systems for the protection and repair of concrete structures, ACF (2004): Guidelines for maintenance and rehabilitation of concrete structures against chloride induced deterioration เนื้อหาของมาตรฐานฉบับนี้ได้อ้างอิงจากมาตรฐานดังกล่าว ซึ่งเป็นที่ยอมรับในระดับประเทศ และระดับสากล อย่างไรก็ตามคณะทำงานได้มีการพัฒนา และจัดทำมาตรฐานให้มีเนื้อหาเหมาะสมกับโครงสร้างอาคารในประเทศไทย รวมทั้งสภาพทางเศรษฐกิจ และสังคมในประเทศไทย

มาตรฐานถูกแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้

(1) ทั่วไป
(2) นิยามและสัญลักษณ์
(3) ภาพรวมของการตรวจสอบ การประเมิน และการบำรุงรักษาโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย
(4) การตรวจสอบโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย
(5) การประเมินโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย
(6) การบำรุงรักษาโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย

ทางคณะผู้วิจัยได้มีการจัดประชุมรับฟังความคิดเห็นต่อร่างข้อบังคับ และร่างมาตรฐานจากผู้ทรงคุณวุฒิ ประกอบด้วย รศ.เอนก ศิริพานิชกร ศ.ดร.ธัญวัฒน์ โพธิศิริ รศ.ดร.สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์ ผศ.ปิยะ รัตนสุวรรณ และคุณชูเลิศ จิตเจือจุน และการจัดทำเทคนิคพิจารณ์ ซึ่งมีผู้เข้าร่วมกว่า 134 ท่าน โดยทางคณะผู้วิจัยได้นำความคิดเห็นที่ได้รับ มาปรับปรุงข้อบังคับ และมาตรฐานให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น

9. การศึกษาผลกระทบจากการปฏิบัติตามข้อบังคับ และมาตรฐาน

จากความเห็นในเรื่องผลกระทบ และปัญหาด้านต่างๆจากการปฏิบัติตามร่างข้อบังคับ และมาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน และซ่อมแซมโครงสร้างอาคารเก่า และโครงสร้างอาคารที่เสียหายที่รวบรวมได้จากการจัดรับฟังความคิดเห็น ในวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2562 ณ สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ โดยมีผู้ร่วมการประชุมทั้งสิ้น 134 คน สามารถสรุปความเห็นจากผู้ออกความคิดเห็น และข้อแนะนำของคณะผู้ศึกษาได้ดังนี้

9.1 ความเห็นต่อการดำเนินการข้อบังคับฯ

ความเห็นในทางสนับสนุนมีเหตุผลหลักคือ เป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้อาคาร และ ทำให้การปฏิบัติงานบำรุงรักษา มีมาตรฐานไปในทิศทางเดียวกัน และถูกต้องตามหลักวิชาการ

ความเห็นในทางที่เป็นข้อห่วงใยหลักๆ สามประการคือ ความไม่พร้อมในด้านงบประมาณ ด้านบุคลากร และความเหมาะสมในการบังคับใช้

ด้านงบประมาณ ส่วนใหญ่เกรงว่าจะเป็นภาระเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกับหน่วยงานรัฐที่อาจมีปัญหาด้านงบประมาณ ปัญหานี้อาจเป็นจริงเพียงในระยะแรก ซึ่งการจัดการบำรุงรักษาที่ดีตั้งแต่แรกจะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในระยะยาว (ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำลง) ปัญหานี้จำเป็นต้องมีการทำความเข้าใจ ให้การศึกษาและฝึกอบรมให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในการปฏิบัติงานสามารถประเมินค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานได้ โดยอาศัยข้อมูลการตรวจสอบโครงสร้าง ทำให้วางแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสม สมเหตุผล และถูกต้องตามหลักวิชาการ

ด้านบุคลากรนั้น ในปัจจุบันยังขาดวิศวกรที่มีความรู้ ประสบการณ์ และความสามารถในงานตรวจสอบ ประเมินอยู่อย่างมาก และไม่เพียงพออย่างมาก ซึ่งเป็นสถานการณ์เช่นเดียวกันแม้ในประเทศที่พัฒนาไปมากแล้ว ปัญหานี้จำเป็นต้องได้รับการให้ความสำคัญเป็นอย่างสูง และน่าจะสำคัญมากกว่าปัญหาด้านค่าใช้จ่าย และงบประมาณเสียด้วยซ้ำ จึงควรดำเนินการดังต่อไปนี้

1) จัดหลักสูตรอบรม โดยเฉพาะการตรวจสอบที่มีภาคปฏิบัติด้วย โดยมีการประเมินผลและให้ใบรับรองการผ่านหลักสูตร เพื่อเพิ่มจำนวนวิศวกรที่มีความรู้ความสามารถที่สามารถทำงานในด้านนี้
2) ผลักดันให้มีการบรรจุวิชาการบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานเข้าไปในหลักสูตรวิศวกรรมโยธาตั้งแต่ระดับปริญญาตรี

ส่วนด้านปัญหาความเหมาะสมในการบังคับใช้นั้น น่าจะหมดไปหากสองปัญหาข้างต้นได้รับการแก้ไขแล้ว อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการแก้ปัญหาทั้งสองด้านข้างต้นจำเป็นต้องใช้เวลา มีข้อแนะนำที่น่าสนใจคือ การบังคับใช้ทีละขั้นตอน เช่น เฉพาะบางประเภทโครงสร้าง ลดความถี่ของการบังคับตรวจสอบโดยอาจปรับเปลี่ยนความถี่ไปตามความสำคัญของโครงสร้าง อายุของโครงสร้าง หรือ ผลการตรวจประเมินที่บ่งบอกสภาพของโครงสร้าง

โดยสรุป จากการวิเคราะห์ความเห็นทั้งหมดสำหรับการดำเนินการด้านข้อบังคับ ทางทีมศึกษามีความเห็นว่าการบังคับใช้ทันทียังน่าจะปฏิบัติได้ยากอยู่ ควรจะรอความพร้อมมากกว่านี้

9.2 ความเห็นต่อการดำเนินการมาตรฐานฯ

ความเห็นในทางสนับสนุนมีเหตุผลหลักคือ

1) เป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้อาคาร
2) ทำให้การปฏิบัติงานบำรุงรักษา มีมาตรฐานไปในทิศทางเดียวกัน ถูกต้องตามหลักวิชาการ
3) เป็นการยืดอายุการใช้งานโครงสร้าง คุ้มค่า และประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาในระยะยาว
4) เป็นการเพิ่มความรู้ โอกาสด้านอาชีพ สร้างงาน ให้กับสาขาวิศกรรมที่เกี่ยวข้อง และเป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจ

ความเห็นในทางที่เป็นข้อห่วงใยหลักๆ สองประการคือ ความไม่พร้อมในด้านงบประมาณ และความไม่พร้อมด้านบุคลากร ซึ่งความเห็นของทีมศึกษาต่อปัญหาทั้งสองนั้นเช่นเดียวกันกับที่ให้ไว้ในข้อ 9.1 ดังนี้

ด้านงบประมาณ ส่วนใหญ่เกรงว่าจะเป็นภาระเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกับหน่วยงานรัฐที่อาจมีปัญหาด้านงบประมาณ ปัญหานี้อาจเป็นจริงเพียงในระยะแรก ซึ่งการจัดการบำรุงรักษาที่ดีตั้งแต่แรกจะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในระยะยาว (ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำลง) ปัญหานี้จำเป็นต้องมีการทำความเข้าใจ ให้การศึกษาและฝึกอบรมให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในการปฏิบัติงานสามารถประเมินค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานได้ โดยอาศัยข้อมูลการตรวจสอบโครงสร้าง ทำให้วางแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสม สมเหตุผล และถูกต้องตามหลักวิชาการ

ด้านบุคลากรนั้น ในปัจจุบันยังขาดวิศวกรที่มีความรู้ ประสบการณ์ และความสามารถในงานตรวจสอบ ประเมินอยู่อย่างมาก และไม่เพียงพออย่างมาก ซึ่งเป็นสถานการณ์เช่นเดียวกันแม้ในประเทศที่พัฒนาไปมากแล้ว ปัญหานี้จำเป็นต้องได้รับการให้ความสำคัญเป็นอย่างสูง และน่าจะสำคัญมากกว่าปัญหาด้านค่าใช้จ่าย และงบประมาณเสียด้วยซ้ำ จึงควรดำเนินการดังต่อไปนี้

1) จัดหลักสูตรอบรม โดยเฉพาะการตรวจสอบที่มีภาคปฏิบัติด้วย โดยมีการประเมินผลและให้ใบรับรองการผ่านหลักสูตร เพื่อเพิ่มจำนวนวิศวกรที่มีความรู้ความสามารถที่สามารถทำงานในด้านนี้
2) ผลักดันให้มีการบรรจุวิชาการบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานเข้าไปในหลักสูตรวิศวกรรมโยธาตั้งแต่ระดับปริญญาตรี

โดยสรุป จากการวิเคราะห์ความเห็นทั้งหมดสำหรับการดำเนินการด้านมาตรฐาน ทางทีมศึกษามีความเห็นว่าการมีมาตรฐานไม่ได้มีผลเสียอย่างใด โดยน่าจะเป็นผลดีสำหรับการยกระดับการทำงานด้านบำรุงรักษา การเตรียมบุคลากร การศึกษา และฝึกอบรมเพื่อเตรียมความพร้อมในการบังคับใช้ในอนาคต

9.3 สรุปความเห็นต่อการดำเนินการต่อไป

โดยสรุปแล้ว ทางทีมศึกษาเห็นว่า ควรจัดพิมพ์มาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน และซ่อมแซมโครงสร้างอาคารเก่า และโครงสร้างอาคารที่เสียหายได้ทันที แต่การประกาศใช้ข้อบังคับควรรอเวลาที่เหมาะสม

10. การทำเทคนิคพิจารณ์ข้อบังคับ และมาตรฐาน

ทางคณะผู้วิจัยได้จัดการประชุมรับฟังความเห็นเทคนิคพิจารณ์เกี่ยวกับร่างข้อบังคับ และมาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหายขึ้น ในวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2562 ณ สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ โดยมีผู้ร่วมการประชุมทั้งสิ้น 134 คน จากหน่วยงานต่างๆ ทั้งส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ บริษัทเอกชน สถาบันการศึกษา องค์กรวิชาชีพ ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคาร

จากผู้เข้าประชุมทั้งหมด ได้มีผู้แสดงความคิดเห็นทั้งสิ้น 76 คน ผลการสอบถามความคิดเห็นต่อการมีข้อบังคับการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย มีผู้เห็นด้วยร้อยละ 92.1 ไม่เห็นด้วยร้อยละ 3.9 และอื่นๆ ร้อยละ 3.9

ผลการสอบถามต่อความจำเป็นของการมีมาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย มีผู้เห็นด้วยร้อยละ 98.7 ไม่เห็นด้วยร้อยละ 1.3 และอื่นๆ ร้อยละ 0.0

จากการทำเทคนิคพิจารณ์ มีความคิดเห็นที่สำคัญ ดังนี้

(1) สร้างความปลอดภัย และให้เจ้าของอาคารตระหนักถึงความปลอดภัย

(2) ควรมีมาตรการส่งเสริม หรือสนับสนุนให้เกิดแรงจูงใจในการปฏิบัติตามข้อบังคับ

(3) ควรพิจารณาความถี่ในการตรวจสอบให้มีความเหมาะสมตามอายุ หรือการเสื่อมสภาพของอาคาร

(4) มีการกำหนดเกณฑ์ผู้ตรวจสอบวิศวกรรมโครงสร้าง และผู้ประเมินวิศวกรรมโครงสร้างให้แน่ชัด และหลักสูตรในการอบรมเพื่อการขึ้นทะเบียน

(5) ยังขาดบุคลากรที่มีความรู้ ประสบการณ์ในการปฏิบัติตามข้อบังคับ และมาตรฐานจำเป็นต้องได้รับการแก้ไข สนับสนุน

(6) มีความกังวลในเรื่องงบประมาณที่ต้องใช้เพื่อดำเนินการตามข้อบังคับ และมาตรฐาน

11. การจัดทำคู่มือประกอบมาตรฐาน

คณะผู้ศึกษาได้จัดทำคู่มือ 3 ฉบับดังนี้

1) คู่มือการตรวจสอบและประเมินโครงสร้าง ซึ่งร่างขึ้นโดยการอ้างอิงมาตรฐานและข้อแนะนำหลายฉบับ เช่น มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (มยผ 1501-51 ถึง 1507-51) Report on Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures (ACI 228.2R-13) รวมถึงมาตรฐานวิธีทดสอบและประเมิน อีกหลายฉบับดังปรากฏในเอกสารอ้างอิงท้ายเล่มคู่มือ
2) คู่มือการซ่อมแซมโครงสร้าง ซึ่งรวมถึงวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม โดยปรับแก้ไขมาตรฐาน มยผ 1901-51ให้มีความถูกต้องมากขึ้น โดยการอ้างอิงบทที่ 3 ของ ACI 546 และเพิ่มเติมวัสดุที่มีการใช้งานในการซ่อม และที่มีศักยภาพในการใช้งานในประเทศไทยที่ไม่ได้มีการกล่าวถึงทั้งใน มยผ 1901-51 และ ACI 546 เช่น Self-compacting concrete, self-compacting mortar และ Anti-washout under water concrete เข้าไปด้วย
3) คู่มือการเสริมกำลังโครงสร้าง ซึ่งอ้างอิง ข้อแนะนำทางเทคนิคของ International Concrete Repair Institute (ICRI) Guideline No. 03742