Case Studies of Building Damaged Investigation according to the Standard of Inspection, Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Existing Building and Damaged Building Structures

1, 2 3

[1,3] ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาคาร สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง
[3] กองมาตรฐานความปลอดภัยและบำรุงทาง กรมการขนส่งทางราง
*Corresponding author; E-mail address: tience14@hotmail.com

กรมโยธาธิการและผังเมืองได้มีการจัดทำมาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรง โครงสร้างอาคารเก่า และโครงสร้างอาคารที่เสียหาย (มยผ. 1902-62) ขึ้น โดยบทความนี้จะเป็นกรณีศึกษาการตรวจสอบ การประเมิน และแนะนำวิธีการซ่อมแซมโครงสร้างอาคารที่เสียหายตามแนวทางของมาตรฐานดังกล่าว ซึ่งจะแสดงผลการดำเนินการตรวจสอบโครงสร้างอาคาร การประเมินระดับความเสียหายของโครงสร้างอาคารตามสมรรถนะโครงสร้าง และแนะนำวิธีการซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร สำหรับการดำเนินการดังกล่าวจะมีกรณีศึกษา 3 กรณี ได้แก่ โครงสร้างอาคารที่ทรุดตัว โครงสร้างอาคารที่ถูกเพลิงไหม้ และโครงสร้างที่เสียหายเนื่องจากคลอไรด์ โดย 3 กรณีศึกษาพบว่ากรณีโครงสร้างอาคารที่ทรุดตัว มีความปลอดภัยในการใช้งาน แต่ต้องดำเนินการซ่อมแซมและเสริมความมั่งคงแข็งแรง เพื่อให้สามารถใช้งานอาคารได้อย่างปลอดภัยยิ่งขึ้น กรณีโครงสร้างอาคารที่ถูกเพลิงไหม้ไม่สามารถใช้งานอาคารได้อย่างปลอดภัย ซึ่งจะต้องระงับการใช้งานอาคารเพื่อดำเนินการรื้อถอนต่อไป กรณีโครงสร้างที่เสียหายเนื่องจากคลอไรด์จะต้องระงับการใช้งานอาคาร เพื่อซ่อมแซมโครงสร้างส่วนที่เสียหาย โดยผลจากการตรวจสอบ การประเมิน และคำแนะนำในการซ่อมแซมสามารถใช้เป็นแนวทางให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถปฏิบัติได้ กรณีที่พบโครงสร้างที่เสียหายในลักษณะดังกล่าว

คำสำคัญ: การตรวจสอบ, การประเมิน, การซ่อมแซม, การเสริมความมั่นคงแข็งแรง, โครงสร้างอาคาร

Abstract

Department of Public Works and Town & Country Planning (DPT) has developed the standard of inspection, evaluation, repair, and rehabilitation of existing building and damaged building structures (DPT. 1902-62). This article aims at presenting case studies of inspection, evaluation, and recommendation for the repair of damaged building according to the standard based on performance and level of damage of building structures. There were 3 case studies investigated involving settlement of building structure, fire in building structure, and damage of building structure due to chloride. The result showed that for the case study of settlement, the building structure was safe to be used but subjected to repairing and retrofitting. For the case study of fire in building structure, the use of building was suspended and demolition was recommended. For the case study of damaged building structure due to chloride, the use of building was suspended for repairing. The results of these studies could be used as a guidance for future cases with similar damages.

Keywords Building Structure, Evaluation, Inspection, Rehabilitation, Repair

1.

ปัจจุบันอาคารที่ก่อสร้างแล้วเสร็จและมีอายุการใช้งานเป็นเวลานาน หรืออาคารที่ก่อสร้างไม่แล้วเสร็จแล้วถูกปล่อยทิ้งร้าง เนื่องจากได้รับผลกระทบจากปัญหาเศรษฐกิจ รวมไปถึงอาคารที่ประสบอุบัติภัย หรือภัยธรรมชาติต่าง ๆ เช่น อัคคีภัย วาตภัย อุทกภัย เป็นต้น อาจมีโครงสร้างที่ได้รับความเสียหายจากการเสื่อมสภาพหรือความเสียหายของวัสดุ หรือปัญหาการทรุดตัว การแอ่นตัว การแตกร้าว การผุกร่อน ความเสียหายจากเหตุเพลิงไหม้ตลอดจนปัญหาการปรับปรุงอาคารอันเนื่องมาจากการดัดแปลงหรือการเปลี่ยนการใช้ ซึ่งอาคารดังกล่าวมีความจำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบ และประเมินความเสียหาย แต่เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มี

มาตรฐานหรือหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนในการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหายที่ชัดเจน กรมโยธาธิการและผังเมืองจึงได้จัดทำมาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย (มยผ. 1902-62) [1] เพื่อให้มีมาตรฐานในการปฏิบัติเป็นไปตามมาตรฐานสากล โดยบทความนี้จะเป็นกรณีศึกษาที่เกิดขึ้นจริงสำหรับการตรวจสอบการประเมิน และแนะนำวิธีการซ่อมแซมโครงสร้างอาคารที่เสียหาย เพื่อให้สามารถใช้งานมาตรฐานดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง และสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

2.1 ความเสียหายที่เกิดขึ้นในอาคาร

2.1.1 การทรุดตัว [1]

การทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน หรือการเคลื่อนตัวของโครงสร้างสามารถทำให้เกิดความเสียหาย และการวิบัติของโครงสร้างได้ มักพบในคาน และผนัง โดยมีรอยแตกร้าวในทิศทางทแยงในผนัง หรือ ทิศเฉียงในคาน ทั้งนี้รอยร้าวในผนังจะเกิดง่าย และพบได้บ่อยกว่า หรืออาจตรวจพบการทรุดตัวของพื้นที่ไม่เท่ากัน

การตรวจสอบเพื่อยืนยันสาเหตุของการทรุดตัว การตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอาคารสามารถทำได้ตาม มยผ. 1552-51 [2] นอกจากนั้นอาจพิจารณาตรวจสอบความสมบูรณ์ของฐานรากโดยการขุดเปิดสำรวจหรือตรวจสอบความสมบูรณ์ของของเสาเข็มด้วยวิธี Seismic Test ตามมาตรฐานการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธี Seismic Test (มยผ. 1551-51) [3]

2.1.2 การเผชิญกับอุณหภูมิสูง [1]

ความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากอุณหภูมิสูงสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่

(1) อุณหภูมิในช่วงที่ไม่ก่อให้เกิดการกลายเป็นไอของน้ำในคอนกรีต (ไม่เกิน100°C) เช่น คอนกรีตหลา การเผชิญวัฏจักรของอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการกระจายตัวของอุณหภูมิในชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการยืดรั้งและหน่วยแรงขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีต ก่อให้เกิดการแตกร้าวของคอนกรีตได้ในบริเวณที่มีหน่วยแรงดึงสูง

(2) อุณหภูมิในช่วงที่ไม่ก่อให้เกิดการสลายตัวของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์จะไม่มีผลกระทบกับกำลังและสมบัติทางกลของคอนกรีต แต่อาจเกิดการแตกร้าว หรือการระเบิดของผิวคอนกรีต (ที่อุณหภูมิไม่เกิน 290°C) หากคอนกรีตมีความทึบน้ำมาก เช่น โครงสร้างที่เผชิญไฟไหม้ในระยะสั้น ทำให้น้ำในเนื้อคอนกรีตเกิดการระเหยกลายเป็นไอที่ระบายออกมาข้างนอกไม่ได้ จึงสร้างแรงดันในบริเวณใกล้ผิวหน้าคอนกรีตจนเกิดการแตกร้าว หรือเกิดระเบิดออกได้

(3) อุณหภูมิในช่วงที่เกิดการสลายตัวของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ และมีผลกระทบกับกำลังและสมบัติทางกลของคอนกรีต (ที่อุณหภูมิเกิน 290°C) อุณหภูมิสูงจากไฟไหม้ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของคอนกรีตและเหล็กเสริม และเกิดการสลายตัวของผลิตภัณฑ์บางชนิดในคอนกรีตจากการถูกเผาไหม้ ซึ่งส่งผลต่อการลดลงของกำลัง และสมบัติทางกลของวัสดุ รวมถึงกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง

การตรวจสอบโครงสร้างที่เผชิญอุณหภูมิสูง ควรตรวจสอบลักษณะของรอยร้าว เช่นรูปแบบ ตำแหน่ง ความกว้าง ความลึก ความยาว การขยายตัวของรอยร้าว ความสม่ำเสมอของระดับผิวรอยร้าว และลักษณะโดยรอบรอยร้าว ตามรายละเอียดใน มยผ. 1501-51 [4]

2.1.3 การเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีตเนื่องจากคลอไรด์ [1]

การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ เกิดจากการมีปริมาณคลอไรด์อิออนในคอนกรีตบริเวณผิวของเหล็กเสริมสูงเกินไป ซึ่งคลอไรด์อิออนอาจเกิดจากการปนเปื้อนในขั้นตอนการผลิตคอนกรีต การก่อสร้าง หรือซึมผ่านเข้าไปจากภายนอกขณะใช้งานโครงสร้าง

การตรวจสอบเพื่อยืนยันสาเหตุของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ ใช้วิธีการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์อิออนในคอนกรีตบริเวณผิวของเหล็กเสริม โดยหากปริมาณคลอไรด์ที่วัดได้มีค่าสูงกว่าปริมาณคลอไรด์วิกฤติที่จะก่อให้เกิดสนิมของเหล็กเสริมตาม มยผ. 1332-55 [5] ให้ถือว่าเหล็กเสริมสามารถเกิดสนิมได้แล้ว โดยวิธีการทดสอบปริมาณคลอไรด์สามารถอ้างอิงได้จาก ASTM C1152-03 [6]

การตรวจสอบความรุนแรงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ที่มีผลต่อสมรรถนะของโครงสร้าง นอกจากการตรวจสอบปริมาณคลอไรด์แล้ว ควรตรวจสอบระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้วยการสกัดเปิดผิวคอนกรีต หรือการใช้เครื่องหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีตตาม มยผ. 1505-51 [7] เพื่อการประเมินโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริม

นอกจากนั้นควรตรวจสอบสภาพของผิวของคอนกรีต เช่น รอยแตกร้าว คราบสนิม สัญญาณการหลุดร่อนของผิวคอนกรีตและคอนกรีตหุ้ม การหลุดร่อนของผิวคอนกรีตและคอนกรีตหุ้ม การเกิดสนิมของเหล็กเสริม

การตรวจสอบผลของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ต่อการเสื่อมสภาพในอนาคต ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ความเสียหายและคุณภาพของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม ณ ปัจจุบัน และความรุนแรงของสภาพแวดล้อม โดยแบ่งช่วงของการเสื่อมสภาพเป็น 4 ช่วง ได้แก่

(1) ช่วงเริ่มต้น (initiation) เป็นช่วงที่ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริมเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณคลอไรด์วิกฤติที่ทำให้เหล็กเสริมเริ่มเป็นสนิม ในช่วงนี้จำเป็นต้องตรวจสอบปริมาณคลอไรด์ที่ความลึกต่างๆ จากผิวคอนกรีตอย่างน้อย 5 ชั้นระดับความลึก ซึ่งสามารถเก็บตัวอย่างได้ตามคำแนะนำใน ASTM C1152-03 [6] เพื่อมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ และปริมาณคลอไรด์ที่ผิวคอนกรีต ตรวจสอบระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม และอายุของโครงสร้าง เพื่อประเมินระยะเวลาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมต่อไป

(2) ช่วงพัฒนา (propagation) เป็นช่วงที่เหล็กเสริมเกิดสนิมแล้วไปจนถึงเกิดการแตกร้าวของผิวคอนกรีตเนื่องจากสนิมของเหล็กเสริม โดยมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาการเกิดสนิม เช่น อัตราการเกิดสนิม

ตำแหน่งและขนาดของเหล็กเสริม สมบัติของคอนกรีต การตรวจสอบความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีตสามารถใช้ประเมินอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ซึ่งจะมีค่าสูงขึ้นถ้าคอนกรีตมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ นอกจากนี้ในช่วงนี้อาจพิจารณาการตรวจสอบโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในบริเวณอื่นๆ ของโครงสร้างด้วยวิธีวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ตาม มยผ. 1506-51 [8]

(3) ช่วงเร่ง (acceleration) การเกิดสนิมของเหล็กเสริมจะรุนแรงขึ้นเนื่องจากมีการแตกร้าวเกิดขึ้นแล้ว และจะนำไปสู่การหลุดร่อนของพื้นผิว ควรตรวจสอบความรุนแรงของการเกิดสนิมของเหล็กเสริม และโอกาสการหลุดร่วงของผิวคอนกรีตตาม สคท. 3201-52 [9] ในบางกรณีการแยกชั้นของคอนกรีตก่อนที่จะเกิดการหลุดร่วงสามารถตรวจพบได้จากการตรวจสอบความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณผิวของคอนกรีตด้วยกล้องอินฟราเรด หรือการตรวจสอบด้วยการเคาะฟังเสียง

(4) ช่วงเสื่อมสภาพ (deterioration) การเกิดสนิมของเหล็กเสริมจะพัฒนาต่อไปในระดับที่รุนแรง ซึ่งส่งผลต่อการลดลงของพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม ส่งผลต่อความปลอดภัยของโครงสร้าง ควรตรวจสอบความรุนแรงของการเกิดสนิม และสัญญาณความเสียหายทางโครงสร้างประกอบด้วย

2.1.4 ลักษณะของรอยร้าว [4]

รอยร้าวในโครงสร้างคอนกรีตสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุ และสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกช่วงอายุของโครงสร้าง การวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของรอยร้าวในโครงสร้างคอนกรีตนั้นมีส่วนช่วยให้ซ่อมแซมโครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ตรวจสอบต้องบันทึก จำนวนของรอยแตกร้าว ทิศทางและลักษณะของรอยแตกร้าว ความลึกของรอยแตกร้าว ความกว้างของรอยร้าว และอัตราการขยายตัวของรอยร้าวอย่างครบถ้วน

2.1.4.1 ทิศทางและลักษณะของรอยร้าว

ลักษณะของรอยร้าวที่สามารถสังเกตได้บนผิวโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นข้อมูลพื้นฐานที่บ่งบอกสาเหตุของการเกิดรอยร้าว เช่น รอยแตกลายงาเกิดจากการยืดรั้งคอนกรีตที่ผิวด้วยคอนกรีตด้านในโครงสร้าง หรือมีการขยายตัวของคอนกรีตที่อยู่ด้านในของโครงสร้าง รอยร้าวที่อยู่ในทิศทางเดียวจะเกิดจากแรงดึงในคอนกรีตโดยแรงดึงดังกล่าวอาจเกิดจากการทรุดตัวของโครงสร้างหรือ เกิดจากแรงดัดที่กระทำกับโครงสร้าง

2.1.4.2 ความลึกของรอยร้าว

ความลึกของรอยร้าวสามารถแยกออกกว้างๆ ได้เป็น 4 ระดับ คือ (1) รอยร้าวเฉพาะที่ผิว (2) รอยร้าวตื้น (3) รอยร้าวลึก และ (4) รอยร้าวทะลุโครงสร้าง รอยร้าวเฉพาะที่ผิวหมายถึงรอยร้าวที่ความลึกเข้าไปในโครงสร้างไม่มากหรือเกิดรอยร้าวในชั้นของปูนฉาบ รอยร้าวตื้น คือรอยร้าวที่เกิดในผิวคอนกรีตและมีความลึกที่ไม่มากนักเมื่อเทียบกับระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กของโครงสร้างรอยร้าวลึกคือรอยร้าวที่มีความลึกมากในระดับที่ทำให้เหล็กเสริมผุกร่อนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่รอยร้าวมีความลึกมากกว่าระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กซึ่งทำให้เหล็กเสริมเกิดการผุกร่อนได้อย่างรวดเร็ว และรอยร้าวทะลุคือรอยร้าวที่ทะลุโครงสร้างซึ่งบ่งบอกถึงความเสียหายที่ค่อนข้างรุนแรงและมีการกระจายตัวของแรงดึงที่กระทำในคอนกรีตที่ค่อนข้างคงที่

2.1.4.3 ความกว้างของรอยร้าว

ความกว้างของรอยแตกร้าวเป็นปัจจัยที่มีผลมากที่สุดต่อความคงทนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในการตรวจพินิจ ความกว้างของรอยแตกร้าวอาจถูกแบ่งได้ 3 ระดับ ได้แก่ (1) รอยร้าวขนาดเล็ก (2) รอยร้าวขนาดกลาง และ (3) รอยร้าวขนาดใหญ่

ข้อแนะนำ 2.1.4.3: ระดับความกว้างนั้นควรต้องถูกจำแนกโดยคำนึงถึงลักษณะการใช้งาน สภาวะแวดล้อม และอายุการใช้งานของแต่ละโครงสร้างประกอบกันไปด้วย ยกตัวอย่างเช่นรอยร้าวขนาด 0.1 มิลลิเมตร อาจจะถูกจำแนกเป็นรอยร้าวขนาดเล็กในโครงสร้างขนาดใหญ่ในสภาวะแวดล้อมธรรมดา ในขณะที่รอยร้าวขนาดเดียวกัน (0.1 มิลลิเมตร) ในโครงสร้างที่อยู่ชายฝั่งทะเลนั้นอาจจะถูกจำแนกเป็นรอยร้าวขนาดใหญ่

2.1.4.4 อัตราการขยายตัวของรอยร้าว

อัตราการขยายตัวของรอยร้าวเป็นข้อบ่งชี้ว่าสาเหตุของรอยแตกร้าวนั้นยังดำเนินอยู่อย่างต่อเนื่องหรือมีความรุนแรงมากขึ้นหรือไม่ ทั้งนี้ข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการขยายตัวของรอยร้าวนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการดำเนินการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต โดยทั่วไปสามารถแบ่งแยกประเภทรอยร้าวออกเป็นรอยร้าวที่มีความกว้างมากขึ้นเรื่อยๆ และรอยร้าวที่มีสภาพคงที่แล้ว

ข้อแนะนำ 2.1.4.4: รอยร้าวที่มีสภาพคงที่แล้ว หมายถึง รอยร้าวที่ไม่มีการขยายตัวมากพอที่อาจกระทบต่อการซ่อมแซมโครงสร้าง

2.1.4.5 การจำแนกรอยร้าวที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง

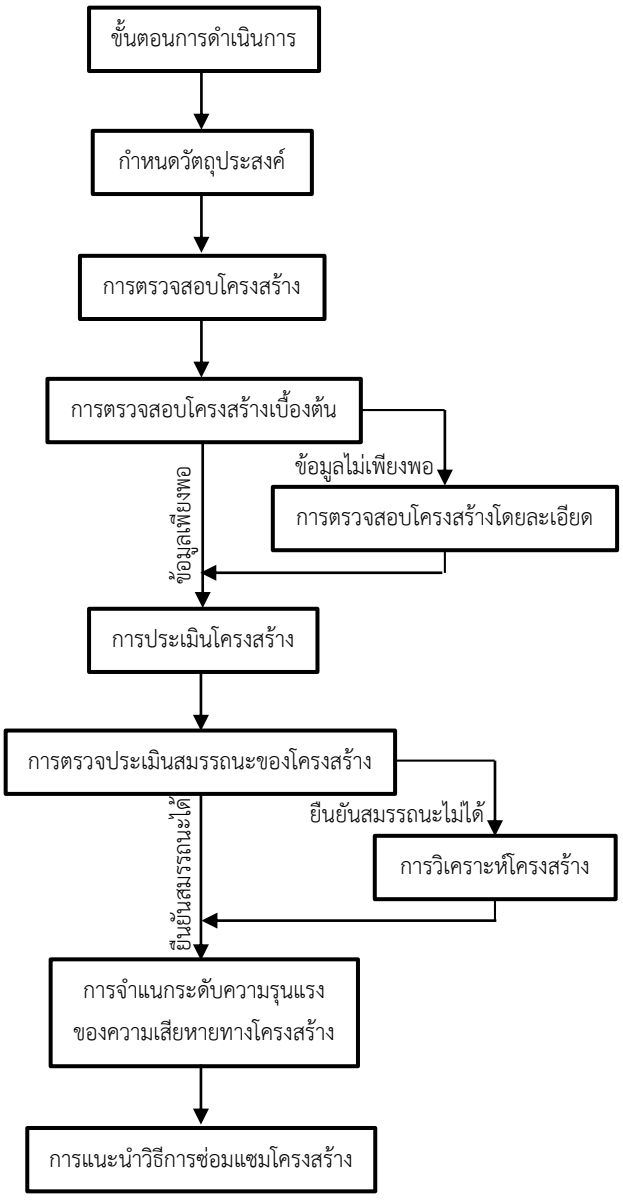
(1) การจำแนกรอยร้าวในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อระบุสาเหตุของการเกิดรอยร้าว ข้อมูลของช่วงอายุคอนกรีตระหว่างที่รอยร้าวเริ่มปรากฏเป็นข้อมูลสำคัญที่จะช่วยให้ผู้ตรวจสอบระบุสาเหตุของรอยแตกร้าวได้ถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเสียหายในโครงสร้างคอนกรีตในสภาวะคอนกรีตสด

(2) ผู้ตรวจสอบโครงสร้างอาจจะจำแนกรอยร้าวที่เกิดจากพฤติกรรมทางโครงสร้างและการรับแรงออกจากรอยร้าวที่เกิดจากพฤติกรรมของคอนกรีตเพื่อความชัดเจนในการวิเคราะห์รอยแตกร้าว โดยทั่วไปรอยร้าวที่เกิดจากพฤติกรรมทางโครงสร้างมักมีขนาดใหญ่และความกว้างของรอยร้าวอาจเพิ่มขึ้นเนื่องจากการล้าของคอนกรีต

การตรวจสอบทิศทางและลักษณะของรอยร้าว ความกว้างของรอยร้าว ความยาวของรอยร้าว ดำเนินการตามรายละเอียดใน มยผ. 1501-51 [4] สำหรับความลึกของรอยร้าวสามารถตรวจสอบได้ 3 วิธี ได้แก่ การตรวจสอบด้วยคลื่นอัลตราโซนิกตาม มยผ.1504-51 [10] วิธี Impact Echo ตาม ASTM C1383-98 [11] และวิธีการเจาะคอนกรีตและทำการตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจตาม ASTM C823-00 [12]

3.

ขั้นตอนการดำเนินการประกอบด้วยการกำหนดวัตถุประสงค์การตรวจสอบโครงสร้าง การประเมินโครงสร้าง และการแนะนำวิธีการซ่อมแซมโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 1



ขั้นตอนการดำเนินการ

3.1 การกำหนดวัตถุประสงค์

การกำหนดวัตถุประสงค์ของการบำรุงรักษา และกำหนดเกณฑ์การยอมรับได้ของสมรรถนะของโครงสร้างให้แน่ชัด และเป็นไปตามข้อบังคับ ข้อกำหนด มาตรฐานการออกแบบของอาคารนั้นๆ เช่น กำลังการรับน้ำหนักบรรทุก ความสามารถในการใช้งาน อายุการใช้งาน เพื่อสามารถกำหนดแนวทางในการดำเนินการตรวจสอบ การประเมิน และการซ่อมแซมโครงสร้างได้อย่างเหมาะสม

3.2 การตรวจสอบโครงสร้าง

การตรวจสอบโครงสร้างแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ การตรวจสอบโครงสร้างเบื้องต้น และการตรวจสอบโครงสร้างโดยละเอียด

(1) การตรวจสอบโครงสร้างเบื้องต้น ได้แก่ การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น แบบก่อสร้าง ข้อกำหนดการก่อสร้าง ข้อกำหนดและมาตรฐานการออกแบบ รายงานการก่อสร้าง ประวัติการใช้งาน และประวัติการบำรุงรักษาโครงสร้าง การตรวจสอบโครงสร้างและความเสียหายด้วยตาเปล่า โดยผู้ประเมินวิศวกรโครงสร้างมีหน้าที่ประเมินสมรรถนะของโครงสร้างว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ จากข้อมูลการตรวจสอบเบื้องต้น

ในกรณีที่มีข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบโครงสร้างโดยละเอียดในขั้นตอนต่อไป

(2) การตรวจสอบโครงสร้างโดยละเอียด ได้แก่ การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม การตรวจสอบด้วยเครื่องมือทดสอบแบบทำลาย ได้แก่ การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตโดยวิธี Coring Test หรือการตรวจสอบด้วยเครื่องมือทดสอบแบบไม่ทำลาย ได้แก่ วิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Hammer) [13] วิธีทดสอบประเมินค่ากำลังอัดคอนกรีตด้วยการยิงหัวหยั่งทดสอบ [14] วิธีทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity) [10] วิธีตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีต (Cover Meter) [7] วิธีทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม (Half Cell Potential) [8] และวิธีทดสอบเพื่อประเมินภาพสมบูรณ์ของเนื้อคอนกรีตด้วยคลื่นเรดาร์ (Radar) [15]

ในกรณีที่ต้องมีการตรวจสอบเพื่อวัตถุประสงค์การประเมินกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง หรือในการออกแบบการบำรุงรักษาโครงสร้าง ต้องมีการคำนึงถึงผลของการเสื่อมสภาพของวัสดุต่อกำลังของโครงสร้าง โดยหากไม่มีข้อมูลดังกล่าว จำเป็นต้องมีการตรวจสอบสมบัติของวัสดุของโครงสร้างจริงเพิ่มเติม โดยอย่างน้อยต้องมีการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต และกำลังดึงของเหล็กเสริม

3.3 การประเมินโครงสร้าง (structural evaluation)

การตรวจสอบโครงสร้าง หากพบว่าชิ้นส่วนโครงสร้างใด ๆ ส่วนของโครงสร้างใดๆ หรือโครงสร้างโดยรวม มีการเสื่อมสภาพ มีความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้าง หรือมีพฤติกรรมใด ๆ ที่ไม่สอดคล้องกับเอกสารที่เกี่ยวข้อง จำเป็นต้องมีการประเมินโครงสร้าง (structural evaluation) ซึ่งประกอบไปด้วย การตรวจประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง (structural assessment) และการวิเคราะห์โครงสร้าง (structural analysis) หรือทั้งสองวิธี โดยสมรรถนะของโครงสร้าง (structural performance) ที่ต้องพิจารณา ได้แก่ ความปลอดภัยเชิงโครงสร้าง (structural safety)

ความสามารถในการใช้งาน (serviceability) และอายุการใช้งานและความคงทน (service life and durability)

***3**.3.1 การตรวจประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง (structural assessment)*

การตรวจประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง ประกอบด้วยการตรวจประเมินเอกสาร การประเมินผลการตรวจสอบสภาพโครงสร้างด้วยตาเปล่า ผลการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย และผลการตรวจสอบแบบทำลาย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินข้อมูลดังกล่าวต่อสมรรถนะของโครงสร้าง

***3**.3.2 การวิเคราะห์โครงสร้าง (structural analysis)*

5

5.1 กรณีโครงสร้างอาคารที่ทรุดตัว

5.1.1 ข้อมูลทั่วไปของอาคาร

อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 2 ชั้น ใช้เพื่อเป็นพระอุโบสถมหาเจดีย์ ก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2538 ไม่มีข้อมูลด้านการออกแบบโครงสร้างและมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ โดยมีรูปแบบโครงสร้างอาคารที่ใช้ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กและมีเสาเข็ม เสาคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ คานคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ และพื้นเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่

5.1.2 การตรวจสอบสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบันด้วยวิธีตรวจพินิจ

โครงสร้างอาคารมีการต่อเติมหรือดัดแปลง ซึ่งมีการขยายพื้นที่ใช้สอย โดยใช้ฐานรากอาคารเป็นเสาเข็มเจาะ การตรวจสอบความเสียหายโครงสร้าง พบว่ามีรอยร้าวบริเวณพื้น และคาน ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 โดยทิศทางและลักษณะของรอยร้าวประกอบด้วยรูปแบบของการแตกลายงาและกระจัดกระจายไร้ทิศทางแน่นอนในพื้น และตามแนวยาวในคาน ซึ่งความกว้างสูงสุดของรอยร้าวมากกว่า 0.3 มม. มีความยาวรอยร้าวเป็นช่วง ๆ มีความลึกของรอยร้าวถึงระดับเหล็กเสริม การเสื่อมสภาพ หรือการสลายตัวของคอนกรีต พบการหลุดร่อนของผิวคอนกรีตบริเวณคานชั้น 2 ดังแสดงในรูปที่ 2 การบิดเบี้ยวหรือการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง พบว่าพื้นมีการทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 4 พบการรั่วซึมของน้ำหรือของเหลวพบคราบหินปูนบริเวณปูนปั้นของเสา ดังแสดงในรูปที่ 5

5.1.3 การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด

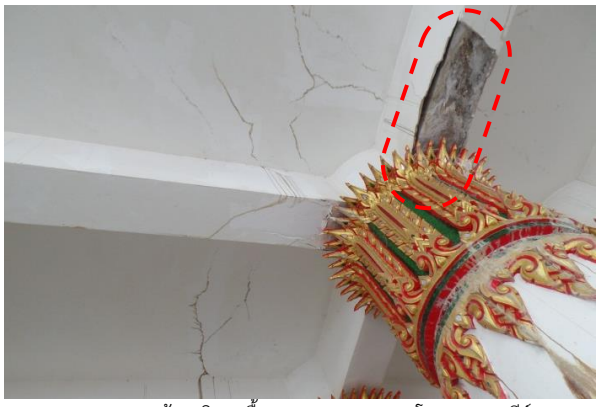
การตรวจสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างด้านความสามารถในการใช้งาน ในด้านการแอ่นตัวขององค์อาคาร ใช้วิธีการวัดการทรุดตัวด้วยกล้องระดับ เพื่อหาค่าระดับบริเวณต่าง ๆ ของพื้นอาคาร โดยมีตำแหน่งในการหาค่าระดับ ดังแสดงในรูปที่ 6 และมีค่าระดับบริเวณต่าง ๆ ของพื้นอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าระดับในแนวตัด A และ B ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ พบว่าบริเวณโดยรอบองค์พระเจดีย์มีค่าระดับต่ำกว่าบริเวณองค์พระเจดีย์

5.1.4 การประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้าง

พบว่าอาคารในกรณีนี้ความคงทนและความสามารถในการใช้งานได้ไม่ผ่าน แต่มีความปลอดภัยเพียงพอ ซึ่งมีความเสียหายในระดับที่ 3 เนื่องจากโครงสร้างหลักได้รับความเสียหาย เช่น คานมีรอยร้าว ประกอบกับการทรุดตัวไม่เท่ากันของโครงสร้างเดิมกับโครงสร้างที่ใหม่จากการต่อเติมอาคาร ส่งผลให้พื้นมีค่าระดับที่แตกต่างกัน โดยมีกระบวนการที่แนะนำ คือ การซ่อมแซมความเสียหายที่เป็นปัญหาของการรับน้ำหนัก

5.1.5 การแนะนำวิธีการซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร

ค่าระดับบริเวณต่าง ๆ ของอาคารควรมีการตรวจติดตามผล เพื่อให้แน่ใจว่าอาคารไม่มีการทรุดตัวเพิ่มขึ้น



รอยร้าวบริเวณพื้น และคานของพระอุโบสถมหาเจดีย์



รอยร้าวบริเวณคานของพระอุโบสถมหาเจดีย์



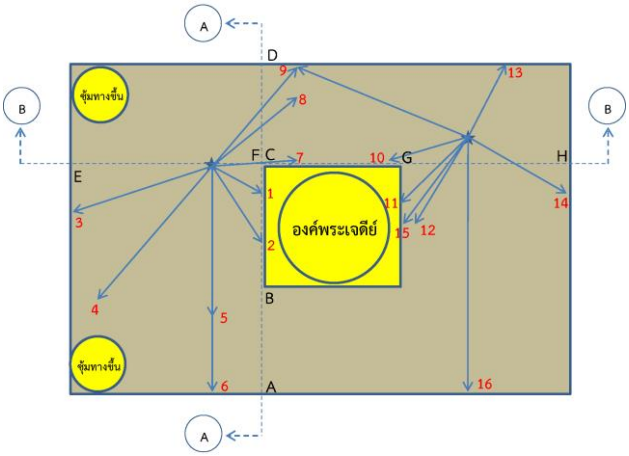
แนวเสาที่มีการทรุดตัว



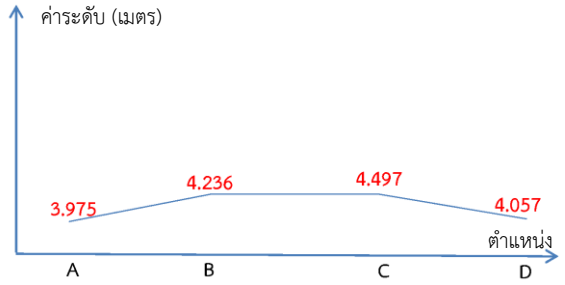
คราบหินปูนบริเวณปูนปั้นของเสา

ค่าระดับที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของพื้นอาคาร

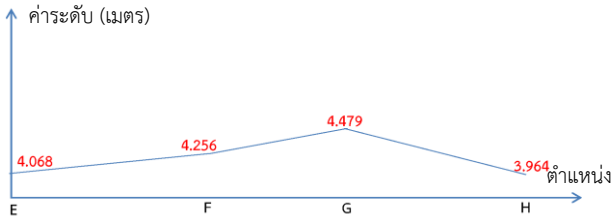
1	4.256	เสาเข็มตอก
2	4.236	เสาเข็มตอก
3	4.068	เสาเข็มเจาะ
4	3.970	เสาเข็มเจาะ
5	4.057	เสาเข็มเจาะ
6	3.975	เสาเข็มเจาะ
7	4.497	เสาเข็มตอก
8	4.322	เสาเข็มเจาะ
9	4.057	เสาเข็มเจาะ
10	4.479	เสาเข็มตอก
11	4.496	เสาเข็มตอก
12	4.417	เสาเข็มตอก
13	3.996	เสาเข็มเจาะ
14	3.964	เสาเข็มเจาะ
15	4.500	เสาเข็มตอก
16	3.983	เสาเข็มเจาะ



ตำแหน่งในการหาค่าระดับ



ค่าระดับในแนวตัด A



ค่าระดับในแนวตัด B

5.2 กรณีโครงสร้างอาคารที่ถูกเพลิงไหม้

5.2.1 ข้อมูลทั่วไปของอาคาร

อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก สูงสามชั้นครึ่ง ก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2536 เป็นอาคารพาณิชย์ โดยมีรูปแบบโครงสร้างอาคารที่ใช้เสาคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ คานคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ และพื้นมีทั้งคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ และแผ่นพื้นสำเร็จรูป ซึ่งโครงสร้างเสา คาน และพื้นผ่านการเผชิญอุณหภูมิสูงจากไฟไหม้

5.2.2 การตรวจสอบสภาพของโครงสร้าง ด้วยวิธีตรวจพินิจ

โครงสร้างได้เผชิญอุณหภูมิสูงจากไฟไหม้เป็นระยะเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง ในส่วนการตรวจสอบความเสียหายโครงสร้าง พบว่ามีรอยร้าวบริเวณผนัง และคานดังแสดงในรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ โดยทิศทางและลักษณะของรอยร้าวบริเวณผนัง และคานชั้น 2 จะเป็นรูปแบบทแยงมุมหรือแนวเฉียง มีความกว้างสูงสุดของรอยร้าวมากกว่า 0.3 มม. มีความยาวรอยร้าวเป็นช่วง ๆ มีความลึกของรอยร้าวถึงระดับเหล็กเสริม การเสื่อมสภาพ หรือการสลายตัวของคอนกรีต พบการหลุดร่อนของผิวคอนกรีตบริเวณพื้นจนเหล็กเสริมปรากฏ ดังแสดงในรูปที่ 11 นอกจากนี้ยังพบแผ่นพื้นชั้น 2 แอ่นตัวอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 12

5.2.3 การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด

อาคารนี้ไม่ได้ถูกดำเนินการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด เนื่องจากผลการตรวจสอบด้วยวิธีตรวจพินิจเพียงพอในการประเมินระดับความเสียหายของโครงสร้าง

5.2.4 การประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้าง

อาคารในกรณีนี้ไม่มีความคงทน ไม่มีความสามารถในการใช้งานได้ และไม่มีความปลอดภัย ซึ่งมีความเสียหายในระดับที่ 5 เนื่องจากโครงสร้างหลักได้รับความเสียหาย ได้แก่ คานมีรอยร้าวขนาดใหญ่ นอกจากนี้โครงสร้างที่เผชิญอุณหภูมิสูงจากไฟไหม้จะส่งผลต่อการลดลงของกำลังและสมบัติทางกลของวัสดุทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริม [1] ทำให้ไม่สามารถใช้งานอาคารได้อย่างปลอดภัย และอาจไม่มีความคุ้มค่าในการซ่อมแซม กระบวนการที่แนะนำ คือ การระงับการใช้อาคาร และดำเนินการรื้อถอนต่อไป

5.2.5 การแนะนำวิธีการซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร

อาคารควรถูกรื้อถอน เนื่องจากโครงสร้างไม่มีความมั่นคงแข็งแรง และเป็นอันตรายต่อการใช้งาน



รอยร้าวบริเวณผนังของอาคารที่ถูกเพลิงไหม้



รอยร้าวบริเวณคานของอาคารที่ถูกเพลิงไหม้



การหลุดร่อนของผิวคอนกรีตบริเวณพื้น



การแอ่นตัวของพื้น

5.3 กรณีโครงสร้างอาคารที่เสียหายเนื่องจากคลอไรด์

5.3.1 ข้อมูลทั่วไปของอาคาร

อาคารหอหล่อเย็นของโรงไฟฟ้า มีรูปแบบโครงสร้างอาคารที่ใช้เสา คอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ คานคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ และพื้นเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ ซึ่งโครงสร้างเสา คาน และพื้นอยู่ในสภาพแวดล้อมที่สัมผัสกับน้ำทะเล

5.3.2 การตรวจสอบสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบันด้วยวิธีตรวจพินิจ

โครงสร้างเสา คาน พื้น และผนัง ได้สัมผัสกับน้ำทะเลที่มีคลอไรด์ การตรวจสอบความเสียหายโครงสร้าง พบว่ามีรอยร้าวบริเวณเสา คาน และผนังดังแสดงในรูปที่ 13 14 และ 15 ตามลำดับ โดยทิศทางและลักษณะของรอยร้าวจะปรากฏตามแนวเหล็กเสริมในเสาและคาน และขนานกันเป็นช่วง ๆ ในผนัง ซึ่งความกว้างสูงสุดของรอยร้าวมากกว่า 0.3 มม. มีความยาวรอยร้าวเป็นช่วง ๆ มีความลึกของรอยร้าวถึงระดับเหล็กเสริม การเสื่อมสภาพหรือการสลายตัวของคอนกรีต พบการหลุดร่อนของผิวคอนกรีตบริเวณเสา คาน และผนัง ดังแสดงในรูปที่ 16 17 และ 18 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการซึมของของเหลว พบเป็นคราบสนิมซึมออกมาจากรอยร้าวของเสา ดังแสดงในรูปที่ 19

5.3.3 การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด

อาคารนี้ไม่ได้ถูกดำเนินการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างโดยละเอียด เนื่องจากผลการตรวจสอบด้วยวิธีตรวจพินิจเพียงพอในการประเมินระดับความเสียหายของโครงสร้าง

5.3.4 การประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้าง

พบว่าอาคารในกรณีนี้ไม่มีความคงทน ไม่มีความสามารถในการใช้งานได้ และไม่มีความปลอดภัย โดยเหล็กเสริมเกิดสนิม และสูญเสียหน้าตัดจนเป็นปัญหาในการรับน้ำหนักบรรทุก เกิดรอยแตกร้าว และ หลุดร่อนของผิวคอนกรีตค่อนข้างรุนแรง ซึ่งมีความเสียหายในระดับที่ 4 เนื่องจากโครงสร้างหลักได้รับความเสียหาย ได้แก่ เสา คาน และพื้นมีรอยร้าวขนาดและคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมกระเทาะออก เหล็กเสริมเกิดสนิม นอกจากนี้การรับกำลังโครงสร้างจะลดลง เนื่องจากการสูญเสียหน้าตัดของคอนกรีตและเหล็กเสริม ทำให้ไม่สามารถใช้งานอาคารได้อย่างปลอดภัย แต่สามารถดำเนินการซ่อมแซมได้ โดยมีกระบวนการที่แนะนำ คือ การระงับการใช้อาคาร และซ่อมแซมความเสียหายที่เป็นปัญหาของการรับน้ำหนักต่อไป

4.3.5 การแนะนำวิธีการซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร

การรื้อถอนคอนกรีตในส่วนที่เสื่อมสภาพดังแสดงในรูปที่ 20 และป้องกันสนิมให้แก่เหล็กเสริมด้วยวิธีการเคลือบผิวเหล็กหรือวิธีอื่น ๆ จากนั้นหล่อคอนกรีตใหม่ทดแทนคอนกรีตที่เสื่อมสภาพด้วยวิธีการทำแบบแล้วเทหล่อคอนกรีตใหม่



3 รอยร้าวบริเวณเสาของอาคารหอหล่อเย็น



4 รอยร้าวบริเวณคานของอาคารหอหล่อเย็น



5 รอยร้าวบริเวณผนังของอาคารหอหล่อเย็น



6 การหลุดร่อนของผิวคอนกรีตบริเวณเสา



7 การหลุดร่อนของผิวคอนกรีตบริเวณคาน



8 การหลุดร่อนของผิวคอนกรีตบริเวณผนัง



9 การรั่วซึมของคราบสนิมจากรอยร้าวบริเวณเสา



20 ตัวอย่างการรื้อผิวคอนกรีตที่เสื่อมสภาพ

6

6.1 กรณีศึกษาอาคารที่ทรุดตัว พบว่าเกิดรอยร้าวบริเวณคาน และพื้น มีการหลุดร่อนของคอนกรีต และการรั่วซึมของของเหลว และยังมีการทรุดตัวไม่เท่ากันของโครงสร้าง ความเสียหายอยู่ในระดับที่ 3 คือ ความคงทน ความสามารถใช้งานได้ ไม่ผ่าน และความปลอดภัย ผ่าน มีกระบวนการที่แนะนำ คือ การซ่อมแซมความเสียหายที่เป็นปัญหาของการรับน้ำหนัก และซ่อมแซมรอยร้าวและปูนฉาบที่กระเทาะด้วยวิธีการเคลือบผิว และซ่อมปะ

6.2 กรณีศึกษาอาคารที่ถูกเพลิงไหม้ พบว่าเกิดรอยร้าวบริเวณผนัง และคาน มีการหลุดร่อนของคอนกรีต และยังมีการแอ่นตัวอย่างมากของแผ่นพื้น โดยมีความเสียหายอยู่ในระดับที่ 5 คือ ความคงทน ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย ไม่ผ่าน และมีกระบวนการที่แนะนำ คือ การระงับการใช้อาคาร และดำเนินการรื้อถอนต่อไป

6.3 กรณีศึกษาอาคารที่เสียหายเนื่องจากคลอไรด์ พบว่าเกิดรอยร้าวและการหลุดร่อนของคอนกรีต บริเวณเสา คาน และผนัง และยังมีการรั่วซึมของของเหลว โดยมีความเสียหายอยู่ในระดับที่ 4 คือ ความคงทน ความสามารถใช้งานได้ และความปลอดภัย ไม่ผ่าน และมีกระบวนการที่แนะนำ คือ การระงับการใช้อาคาร และซ่อมแซมความเสียหายที่เป็นปัญหาของการรับน้ำหนักต่อไป

จากกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี ในการตรวจสอบ การประเมิน และการแนะนำวิธีการซ่อมแซมโครง สามารถใช้เป็นแนวทางให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถปฏิบัติได้ กรณีที่พบโครงสร้างที่เสียหายในลักษณะดังกล่าว

ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง ขอขอบคุณคณะกรรมการ และที่ปรึกษาทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการจัดทำมาตรฐานฉบับนี้

[1] มยผ.1902 (2562). มาตรฐานการตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย. กรมโยธาธิการและผังเมือง

[2] มยผ.1552 (2551). มาตรฐานการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอาคาร. กรมโยธาธิการและผังเมือง

[3] มยผ.1551 (2551). มาตรฐานการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธี Seismic Test. กรมโยธาธิการและผังเมือง

[4] มยผ.1501 (2551). มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย,การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีตรวจพินิจ (Visual Inspection Method). กรมโยธาธิการและผังเมือง

[5] มยผ.1332 (2555). มาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทนและอายุการใช้งาน. กรมโยธาธิการและผังเมือง

[6] ASTM C1152 (2003). Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA

[7] มยผ.1505 (2551). มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย,วิธีตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีต (Cover Meter). กรมโยธาธิการและผังเมือง

[8] มยผ.1506 (2551). มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย, วิธีทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม (Half Cell Potential). กรมโยธาธิการและผังเมือง

[9] สคท.3201 (2552). คู่มือการตรวจสอบและประเมินความสามารถเชิงโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก. สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

[10] มยผ.1504 (2551). มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย, วิธีทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity). กรมโยธาธิการและผังเมือง

[11] ASTM C1383 (1998). Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method. ASTM International, West Conshohocken, PA

[12] ASTM C823 (2000). Standard Practice for Examination and Sampling of Hardened Concrete in Constructions. ASTM International, West Conshohocken, PA

[13] มยผ.1502 (2551). มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย, วิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Hammer). กรมโยธาธิการและผังเมือง

[14] มยผ.1503 (2551). มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย, วิธีทดสอบประเมินค่ากำลังอัดคอนกรีตด้วยการยิงหัวหยั่งทดสอบ. กรมโยธาธิการและผังเมือง

[15] มยผ.1507 (2551). มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย, วิธีทดสอบเพื่อประเมินภาพสมบูรณ์ของเนื้อคอนกรีตด้วยคลื่นเรดาร์ (Radar).กรมโยธาธิการและผังเมือง