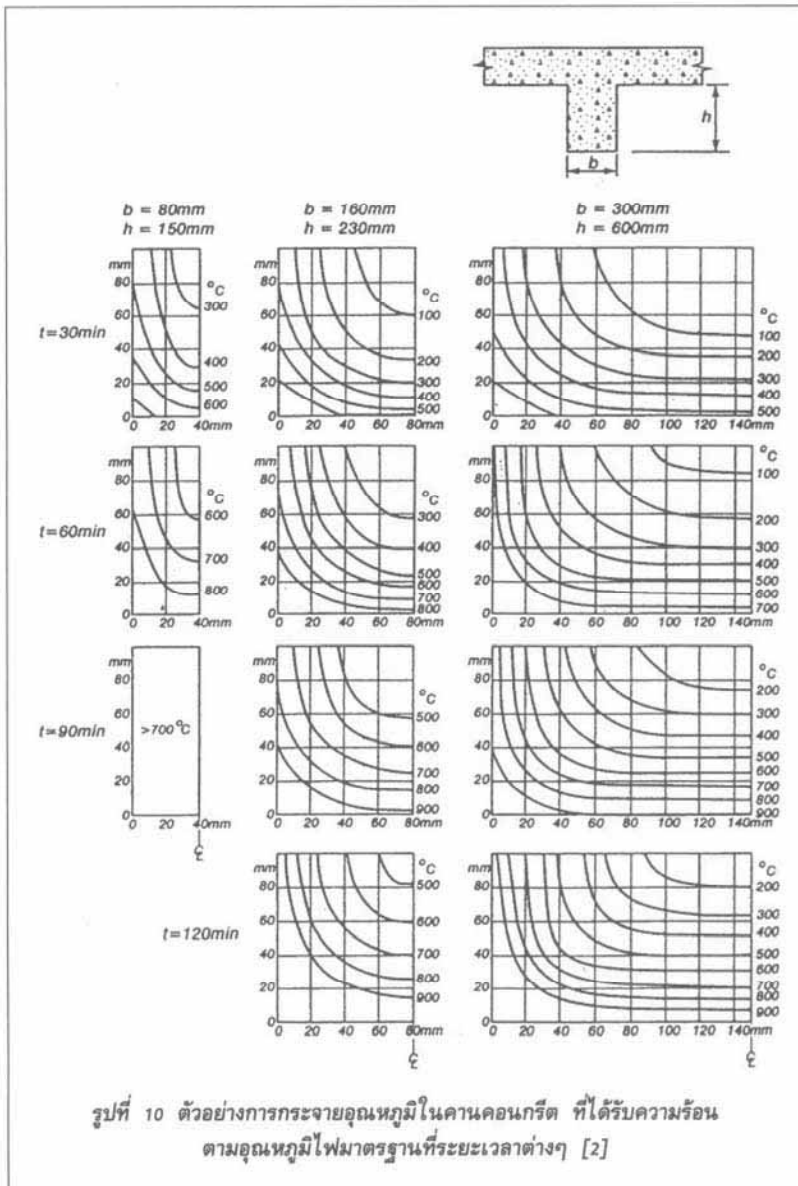


รูปที่ 9 ลักษณะคอนกรีตที่เกิดการ Spalling เมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิสูงอย่างกะทันหัน



รูปที่ 10 ตัวอย่างการกระจายอุณหภูมิในคานคอนกรีต ที่ได้รับความร้อนตามอุณหภูมิไฟมาตรฐานที่ระยะเวลาต่างๆ [2]

(รูปที่ 9) ซึ่งจะมีผลที่สำคัญต่อความสามารถในการป้องกันไฟให้เหล็กเสริม และอาจทำให้เหล็กเสริมสัมผัสกับเปลวไฟหรือความร้อนโดยตรง เนื่องจากคอนกรีตส่วนที่หุ้มเสริมเกิดการ Spalling และหลุดร่อนออกไป

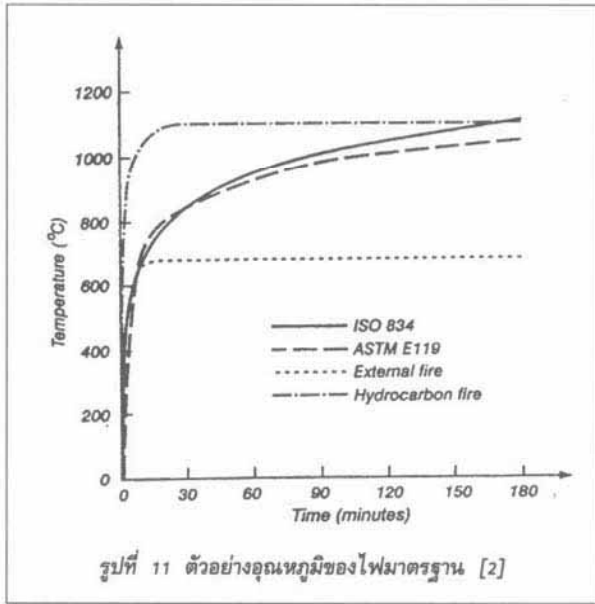
2) Cement Paste เปลี่ยนเป็น Quicklime ที่อุณหภูมิ 400°C ทำให้เนื้อคอนกรีตเกิดการเสียสภาพ

3) เหล็กเสริมเกิดการสูญเสียกำลังเมื่ออุณหภูมิขึ้นสูง

4) การที่เหล็กมีอุณหภูมิสูงมาก อาจทำให้เกิดการขยายตัว และสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีต รวมทั้งอาจทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากการเกิด Buckling ขึ้น

สำหรับความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากไฟไหม้นั้น นอกจากความเสียหายที่มีต่อกำลังของเหล็กและวัสดุโดยตรงนั้น ยังอาจมีความเสียหายในทางอ้อมที่อาจมีผลต่อพฤติกรรมของโครงสร้างในรูปแบบอื่น เช่น

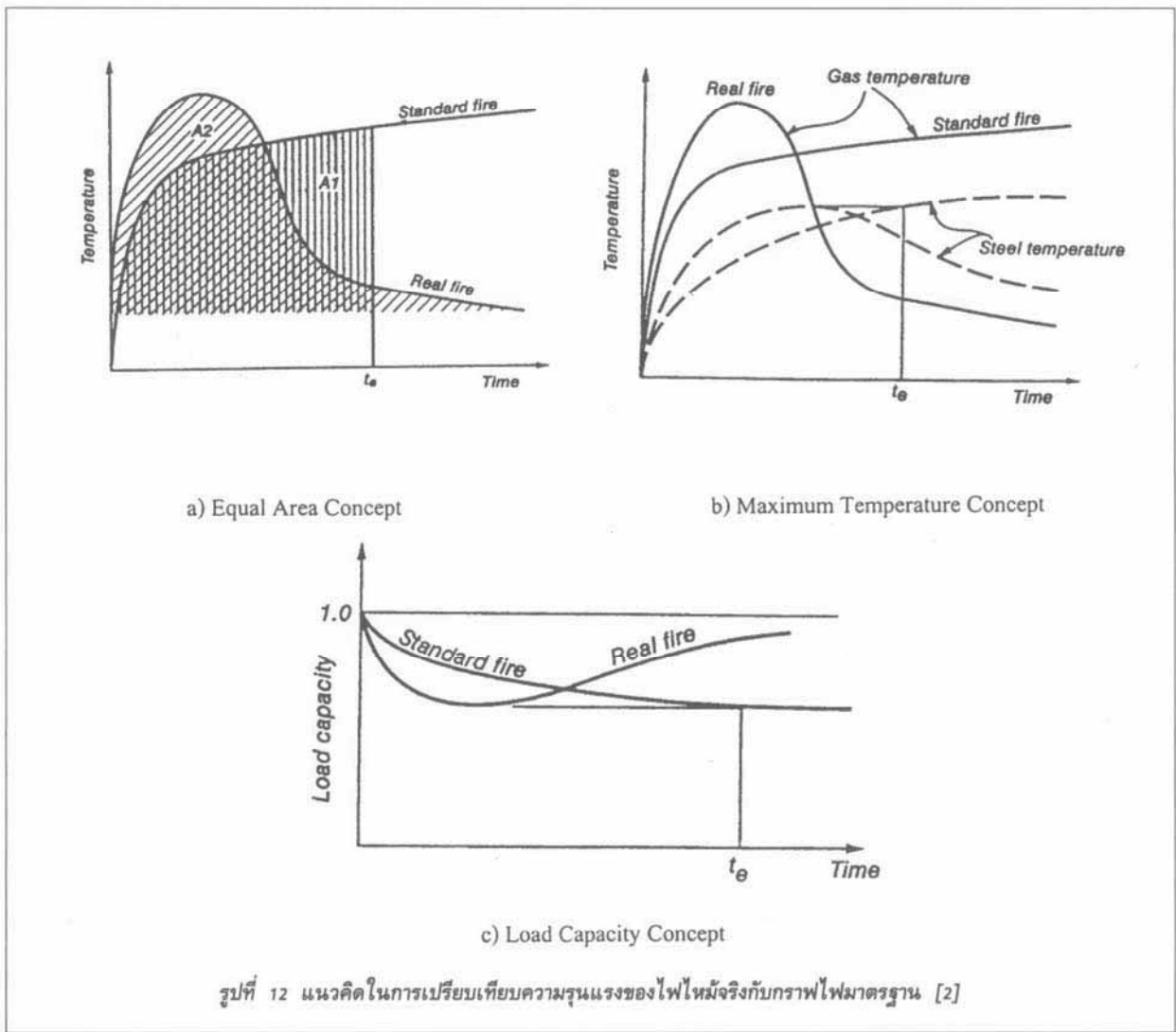
- การยึดหด หรือ การแอ่นตัวของโครงสร้างที่อุณหภูมิสูง อาจทำให้เกิดแรงกระทำเพิ่มกับโครงสร้างในกรณีนี้โครงสร้างมีการยึดตั้งไม่ให้อาณาการยึดหด หรือแอ่นตัวได้อย่างอิสระ ซึ่งแรง



ดังกล่าวอาจมีขนาดพอเพียงที่จะทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างได้

- การแอ่นตัวของโครงสร้าง เนื่องจากค่า Modulus of Elasticity (E) ของคอนกรีตจะลดลงอย่างมากที่อุณหภูมิสูง จึงอาจทำให้โครงสร้างมีความแข็ง (Stiffness) ที่ลดลง ทำให้โครงสร้างมีการแอ่นตัวที่สูงขึ้น โดยเฉพาะในกรณีของการแอ่นตัวระยะยาว เนื่องจากค่าความล้าของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากค่า E ของคอนกรีตที่ลดลง

- การเกิดการรุกร่อนของเหล็กเสริม เนื่องจากคอนกรีตที่ถูกความร้อนสูงจะมีการเสียด่างอย่างถาวร ทำให้คุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของน้ำหรือสารเคมีลดลง และในระยะยาวอาจเป็นสาเหตุสำคัญทำให้การรุกร่อนของเหล็กเสริมเกิดขึ้นได้เร็วกว่าปกติ โดยเฉพาะในโครงสร้างที่อยู่ใน



สภาพแวดล้อมที่อาจเกิดการลุกไหม้ได้ง่าย เช่น บริเวณที่สัมผัส น้ำทะเล เป็นต้น

ในการวิเคราะห์ความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจากไฟไหม้ นั้น สิ่งที่สำคัญคือ อุณหภูมิสูงสุดของแต่ละส่วนของโครงสร้างได้รับ ทั้งนี้อุณหภูมิที่สูงสุดจะอยู่ที่ผิวนอกของโครงสร้างที่สัมผัสกับความร้อนหรือไฟโดยตรง และอุณหภูมิภายในชิ้นคอนกรีตจะลดลงตามลักษณะของชิ้นส่วนของโครงสร้าง ขนาดพื้นที่ของบริเวณที่สัมผัสความร้อนและความรุนแรงของแหล่งให้ความร้อน

ดังนั้น แนวทางในการวิเคราะห์ความเสียหาย หรือความต้านทานไฟของโครงสร้างเหล็กนั้น ก็คือ การวิเคราะห์ว่าการแผ่กระจายของอุณหภูมิในเนื้อคอนกรีต และที่เหล็กเสริมเป็นอย่างไรที่อุณหภูมิต่างๆ แล้วก็ใช้คุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตและเหล็กที่อุณหภูมิสูงนั้นเป็นตัวประกอบการประเมินกำลังของโครงสร้างที่เปลี่ยนไป

รูปที่ 10 แสดงถึงการวิเคราะห์การแผ่กระจายของอุณหภูมิในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีขนาดต่างๆ กัน และสัมผัสกับอุณหภูมิภายนอกตามอุณหภูมิไฟมาตรฐาน โดยใช้วิธี Finite Element ในการวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนในสองมิติ จากลักษณะการวิเคราะห์ดังกล่าว ทำให้วิศวกรสามารถประเมินอุณหภูมิของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตำแหน่งเวลาต่างๆ อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์นี้ อยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่า คอนกรีตได้สัมผัสกับอุณหภูมิภายนอกตามอุณหภูมิไฟมาตรฐาน (Standard Fire Curve) ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าว อาจมีความแตกต่างจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นกับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากไฟไหม้จริงมากก็ได้

ความรุนแรงของไฟไหม้ (Fire Severity)

ความรุนแรงของไฟไหม้ นั้น จะเป็นตัวบ่งถึงความรุนแรงของไฟในการทำความเสียหายให้กับโครงสร้าง แต่ความรุนแรงของไฟไหม้แต่ละครั้งนั้นมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากความแตกต่างในตัวแปรที่ควบคุมการลุกไหม้ของไฟ เช่น ปริมาณเชื้อเพลิง ประเภทของเชื้อเพลิง ปริมาณออกซิเจนในพื้นที่ ลักษณะพื้นที่และปริมาตรของบริเวณที่เกิดไฟไหม้ จึงทำให้มีการใช้แนวคิดในการกำหนดอุณหภูมิของไฟมาตรฐาน (Standard Fire Curve) ขึ้น เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบพฤติกรรมของโครงสร้าง และเป็นแบบจำลองไฟมาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดอัตราการไหม้ของโครงสร้างแบบต่างๆ เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน และสามารถเปรียบเทียบ

กันได้ ตัวอย่างของอุณหภูมิไฟมาตรฐานตามมาตรฐาน ASTM E 119 และ ISO 834 แสดงไว้ในรูปที่ 11

ในการกำหนดอัตราการไหม้ของโครงสร้างหรืออุปกรณ์อื่นนั้น จะยึดอุณหภูมิไฟมาตรฐานเป็นแนวทางในการทดสอบ เช่น อัตราการไหม้ไฟ 1 ชั่วโมง หมายความว่า สามารถไหม้ตามอุณหภูมิมาตรฐานได้ไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง ใดๆก็ดี ความรุนแรงของไฟที่เกิดขึ้นจริงในเหตุการณ์ไฟไหม้ นั้นจะแตกต่างจากไฟไหม้ตามแบบจำลองมาตรฐาน ดังนั้น จึงต้องมีแนวทางในการเปรียบเทียบความรุนแรงของไฟไหม้จริงกับอุณหภูมิมาตรฐานไว้ โดยมีแนวคิดในการเปรียบเทียบความรุนแรงได้ 3 วิธี คือ (รูปที่ 12)

1) Equal Area Concept

เป็นการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของความสัมพัทธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา อาจเหมาะสมในกรณีที่กราฟของไฟจริงกับไฟมาตรฐานมีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่จะไม่เหมาะสมกรณีที่รูปร่างของกราฟต่างกันมาก

2) Maximum Temperature Concept

เป็นการเปรียบเทียบจากอุณหภูมิสูงสุดของโครงสร้าง ในจุดที่พิจารณา โดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากไฟไหม้จริงเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่อุณหภูมิเดียวกันนี้ จะเกิดขึ้นสำหรับโครงสร้างแบบเดียวกันในไฟมาตรฐาน

3) Minimum Load Capacity Concept

เป็นการเปรียบเทียบระหว่างกำลังรับแรงต่ำที่สุดของโครงสร้างที่เกิดจากไฟไหม้จริงกับระยะเวลาที่ความเสียหายเท่ากันนี้จะเกิดขึ้นกับโครงสร้างที่ทดสอบด้วยไฟมาตรฐาน สำหรับรายละเอียดในการคำนวณแต่ละประเภทนั้น เป็นหน้าที่ของวิศวกรผู้รับผิดชอบที่จะต้องตัดสินใจอัตราการไหม้ที่เหมาะสม โดยอาจพิจารณาจากมาตรฐาน หรือใช้การคำนวณเข้าช่วย

แนวทางการประเมินความเสียหายจากไฟไหม้

โครงสร้างที่ได้รับ ความเสียหายจากไฟไหม้แต่ยังไม่พังทลายนั้น ก่อนที่จะมีการใช้งานต่อไปต้องได้รับการประเมินถึงสภาพความเสียหายจากวิศวกรผู้รับผิดชอบก่อน สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกไฟไหม้ นั้น มีแนวทางในการประเมินความเสียหายดังนี้

1) ทำการคำนวณที่เหมาะสม

โครงสร้างที่ถูกไฟไหม้ นั้น โครงสร้างอาจอยู่ในสภาพที่ไม่เสถียรหรือใกล้จุดวิบัติ ดังนั้นก่อนที่จะเข้าทำการ

ตรวจสอบ ซ่อมแซมนั้น ควรมีการทำค้ำยันในจุดที่น่าจะได้รับ ความเสียหายและมีผลต่อกำลังโครงสร้างได้

2) ประเมินความรุนแรงของไฟไหม้

วิศวกรต้องทำการประเมินความรุนแรงของไฟไหม้ว่า ไฟไหม้รุนแรงมากน้อยเท่าไร ระยะเวลาที่ไฟไหม้นานแค่ไหน ส่วนของโครงสร้างที่ได้รับผลกระทบอยู่ในส่วนใดบ้าง โดยอาจ ใช้แนวทางต่อไปนี้ในการประเมิน

- สอบถามจากผู้ที่อยู่ในเหตุการณ์ถึงระยะเวลา ตำแหน่งของเหตุเพลิงไหม้

- ตรวจสอบชนิด และปริมาณของเชื้อเพลิงที่เกิดไฟไหม้ เพื่อนำไปคำนวณ Fire Load และประเมินอุณหภูมิที่ผิวของ โครงสร้างคอนกรีตขณะเกิดเพลิงไหม้

- ตรวจสอบสภาพโดยทั่วไป เช่น สีของคอนกรีต การหลอมของวัสดุอื่นที่อยู่ใกล้เคียง เพื่อใช้เป็นแนวทางการ ประมาณอุณหภูมิขณะเกิดเพลิงไหม้

3) ทำการวัดคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตและเหล็ก

เป็นการเก็บข้อมูลของคุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็ก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หากำลังที่เหลือของโครงสร้าง โดยการ เก็บข้อมูลอาจทำได้โดย

- การวัดกำลังของคอนกรีตแบบไม่ทำลาย เช่น Schmidt Hammer

- การวัดกำลังของคอนกรีตโดยใช้วิธีเจาะ (Coring)

- การทดสอบตัวอย่างของเหล็กเสริม

4) ทำการ Mapping พื้นที่เสียหายและขอบเขตความเสียหายทั้งหมด

เป็นการบันทึกรายละเอียดของความเสียหายใน โครงสร้างส่วนต่างๆ เพื่อให้เป็นภาพรวมของความเสียหายและ ใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

5) ทำการประเมินพฤติกรรมของโครงสร้าง : Strength and Serviceability

เป็นการวิเคราะห์เพื่อประเมินพฤติกรรมของโครงสร้าง โดยประเมินทั้งในส่วนหลักสองด้าน คือ

- ด้านกำลังของโครงสร้าง (Strength) เพื่อประมาณ กำลังของโครงสร้างที่ยังคงเหลืออยู่ โดยพิจารณาจากกำลัง ของวัสดุที่ลดลงในส่วนที่ได้รับผลกระทบจากไฟไหม้ ซึ่งอาจ ได้มาจากการวิเคราะห์หากำลังที่เหลือจากอุณหภูมิสูงสุด ที่โครงสร้างได้รับ หรือจากผลการทดสอบกำลังของโครงสร้าง จริงตามข้อ 3

- ด้านการใช้งานของโครงสร้าง (Serviceability)

เพื่อประมาณพฤติกรรมของโครงสร้างในสภาพการใช้งาน เช่น การแอ่นตัว การแอ่นตัวในระยะยาว การป้องกันการผกร่อน ของเหล็กเสริม

6) เสนอแนวทางในการซ่อมและเสริมกำลัง

จากการประเมินพฤติกรรมของโครงสร้างวิศวกรต้อง ทำการเสนอแนวทางในการซ่อมแซมโครงสร้าง รวมทั้งการเสริม กำลังในกรณีนี้ที่โครงสร้างเดิมไม่สามารถรับน้ำหนักในการใช้งาน ได้ โดยขั้นตอนในการซ่อมแซมนั้นมีโดยสรุปดังนี้

- เลือกวัสดุซ่อมที่เหมาะสม

โดยวัสดุที่ใช้จะเป็นวัสดุซ่อมที่เหมาะสม ทั้งด้านกำลัง แรงยึดเหนี่ยว วิธีการ Apply ที่เหมาะสมสำหรับสภาพการ ใช้งาน

- การเตรียมหรือคอนกรีตส่วนที่ได้รับความเสียหาย ออกและเตรียมผิว

ต้องทำการรื้อคอนกรีตที่เสียสภาพไฟไหม้ออกให้หมด และทำความสะอาดผิวคอนกรีตส่วนที่เหลือ เพื่อให้สามารถ ยึดเกาะกับวัสดุซ่อมได้อย่างดี

- ทำความสะอาดเหล็กเสริม หรือเปลี่ยนเหล็กเสริมที่ ได้รับความเสียหายมาก

ทำความสะอาดเหล็กเสริมเดิมเพื่อให้สามารถพัฒนา แรงยึดเกาะกับวัสดุซ่อมได้ ในกรณีที่เหล็กเสริมมีความเสียหาย จากไฟไหม้ เช่น การเสียสภาพ โกงงอ อาจต้องมีการเปลี่ยน หรือใส่เหล็กเสริมเพิ่ม

- ใส่วัสดุซ่อม

เป็นการนำวัสดุซ่อมใส่แทนคอนกรีตที่รื้อออกไป โดย ใช้วิธีที่เหมาะสมกับสภาพงาน เช่น ฉาบด้วยมือ ใช้แรงอัด ใช้แบบ Spray เป็นต้น

- การเสริมกำลัง

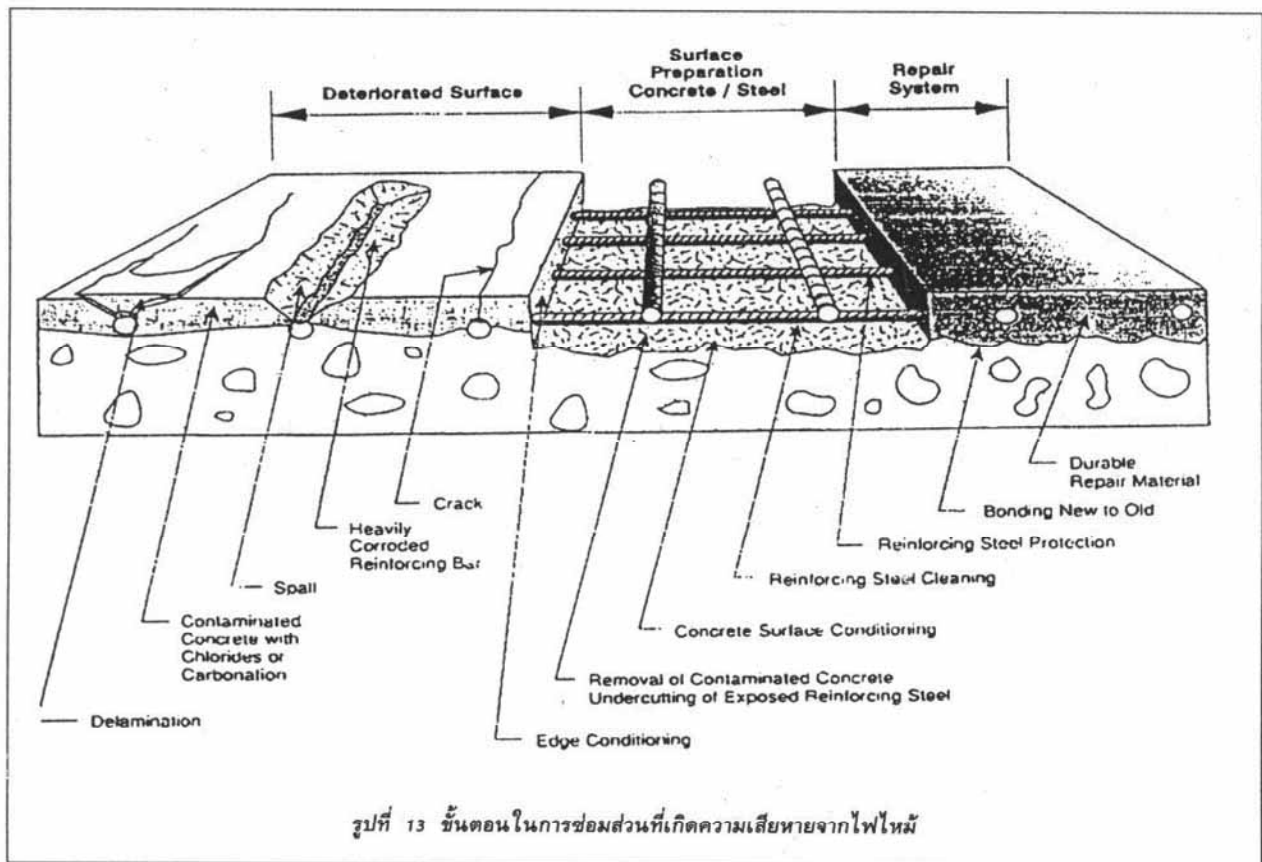
ในบางกรณีอาจต้องมีการเสริมกำลังเพิ่มให้โครงสร้าง ซึ่งอาจทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ External Reinforcement เช่น แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ระบบอัดแรง หรือการทำขนาดของ ชิ้นส่วนให้ใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตาม ต้องคำนึงถึงการป้องกันไฟ ให้อุปกรณ์ที่ใช้ในการเสริมกำลังเพิ่มเติมด้วย

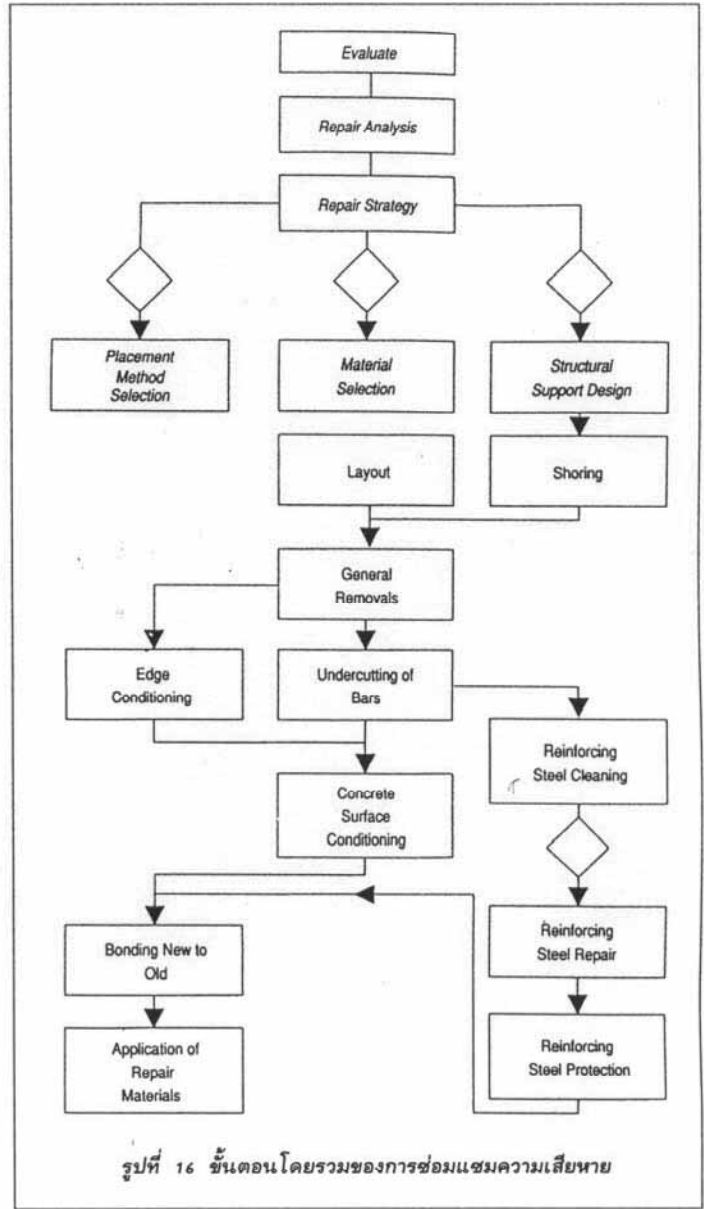
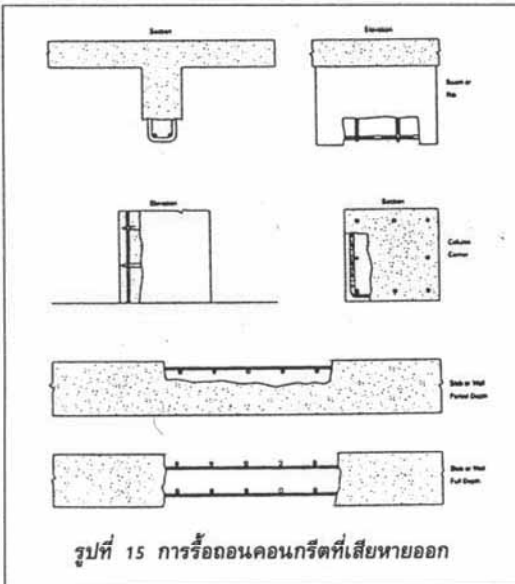
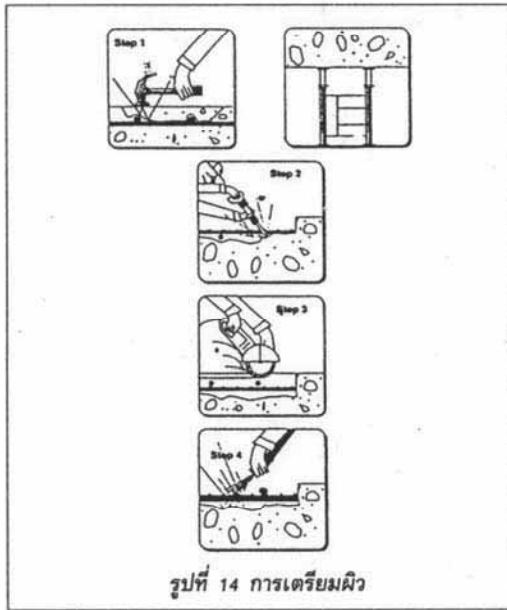
➤ อ่านต่อฉบับหน้า

พฤติกรรม การประเมิน และการซ่อม โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ถูกเพลิงไหม้ (ตอนจบ)

7) การประเมินสภาพหลังการซ่อม

ภายหลังการซ่อมแซม ต้องมีการประเมินสภาพและความปลอดภัยก่อนเปิดอาคารใช้งาน โดยอาจทำได้โดยการสำรวจสภาพโครงสร้าง หรือการใช้วิธี Load Test ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ACI





เอกสารอ้างอิง

1. ทรงเกียรติ ชาญสันติ, "พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหลังถูกไฟไหม้", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2544
2. Buchanan, A.H., "Structural Design for Fire Safety", John Wiley & Sons, Ltd., 2001.
3. Emmons, P.H., "Concrete Repair and Maintenance Illustrated", R.S. Means Company, Inc., 1993.
4. Harmathy, T.Z., "Fire Safety Design and Concrete", Longman Scientific and Technical, 1993.
5. Neville, A.M., "Properties of Concrete", Longman Scientific and Technical, 1981.
6. Prestressed Concrete Institute, "Design for Fire Resistance of Precast Prestressed Concrete", PCI, 2nd Edition, 1989.
7. Reynolds, C.E. and J.C. Steedman, "Reinforced Concrete Designer's Handbook", E & FN Spon, 1996.