มยผ. 1901-51

มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต

กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ.2551

มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต

มยผ. 1901-51

ISBN 978-974-16-5854-1

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2551 จำนวน 200 เล่ม

สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปพิมพ์จำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาต

คำนำ

กรมโยธาธิการและผังเมืองมีภารกิจเกี่ยวกับงานด้านการผังเมือง และด้านการโยธาธิการ ซึ่งงานด้านการโยธาธิการจะครอบคลุมถึง การออกแบบ การก่อสร้าง การควบคุมการก่อสร้างอาคาร การกำหนดคุณภาพและมาตรฐานการก่อสร้างด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม เพื่อให้เกิดมาตรฐานความปลอดภัยแก่สาธารณชน และเนื่องด้วยในปัจจุบันการก่อสร้างอาคารมีความก้าวหน้าทั้งทางด้านเทคโนโลยีในเรื่องของวัสดุ การออกแบบ และการก่อสร้างมากกว่าในอดีตมาก กรมโยธาธิการและผังเมือง จึงจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงและพัฒนามาตรฐานการออกแบบ การควบคุมงาน และการก่อสร้างให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีในปัจจุบัน

สำหรับมาตรฐานทางด้านวิศวกรรมฉบับนี้ กรมโยธาธิการและผังเมืองได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมืองและหน่วยงานต่างๆ สำหรับให้เป็นแนวทางในการปฏิบัติให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยกรมโยธาธิการและผังเมืองหวังเป็นอย่างยิ่งว่า มาตรฐานที่จัดทำขึ้นนี้จะมีประโยชน์และสามารถนำไปใช้อ้างอิงเพื่อทำให้งานก่อสร้างได้มาตรฐานและมีความปลอดภัยในการใช้งาน

(นายสมชาย ชุ่มรัตน์)
อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

สารบัญ

หน้า

มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต (มยผ. 1901-51)

1. ขอบข่าย 1
2. นิยาม 1
3. มาตรฐานอ้างถึง 3
4. ขั้นตอนการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต 6
5. การสกัดคอนกรีตที่เสียหาย และการเตรียมพื้นผิว 6
   - 5.1 การสกัดคอนกรีต 6
   - 5.2 วิธีการสกัดคอนกรีต 8
   - 5.3 การเตรียมผิว 16
   - 5.4 การซ่อมแซมเหล็กเสริม 17
   - 5.5 วิธีการยึดฝัง และวัสดุที่ใช้ 24
   - 5.6 เทคนิคการติดตั้งวัสดุซ่อมแซมประเภทต่างๆ 24
6. วัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม 31
   - 6.1 วัสดุประเภทที่มีส่วนประกอบของซีเมนต์ 31
   - 6.2 สารเคมีที่ใช้ในการอัดฉีด 37
   - 6.3 วัสดุโพลีเมอร์ 38
   - 6.4 สารเชื่อมประสาน 40
   - 6.5 วัสดุเคลือบผิวเหล็กเสริม 41
   - 6.6 วัสดุเสริมกำลัง 41
   - 6.7 การทดสอบการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตเก่ากับวัสดุซ่อมแซม 42
   - 6.8 ปัจจัยในการเลือกใช้วัสดุในงานซ่อม 44

7. วิธีการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตเพื่อให้รับน้ำหนักได้ดังเดิม 47
7.1 ประเภทของรอยร้าวและวิธีการซ่อมแซม 47
7.2 การอัดฉีดด้วยอีพอกซเรซิน 49
7.3 การอัดฉีดด้วยซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัว 53
7.4 การทำแนวและอุดแนวบริเวณรอยร้าว 55
7.5 การเททับด้วยปูนทรายสูตรพิเศษ 59
7.6 การเททับผิวหน้า และการซ่อมแซมผิวด้วยวัสดุประเภทโพลีเมอร์ 61
7.7 การเททับด้วยคอนกรีตธรรมดา 67
7.8 การเทด้วยคอนกรีตธรรมดา 69
7.9 การเย็บติด 72
7.10 การติดตั้งเหล็กเสริมเพิ่มเติม 74
7.11 การเจาะเพื่ออุดด้วยวัสดุซ่อมแซม 77
7.12 การซ่อมแซมคอนกรีตที่เป็นโพรงเนื่องจากการก่อสร้างที่ไม่ดี 79
ภาคผนวก 1 ตัวอย่างรายชื่อวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม 81
ภาคผนวก 2 การเสริมกำลังคอนกรีต 91
ภาคผนวก 3 ภาพแสดงขั้นตอนการสกัดคอนกรีตและการเตรียมพื้นผิว 103
ภาคผนวก 4 ถังที่ใช้ในการผสม และอุปกรณ์การอัดฉีด 111
ภาคผนวก 5 ขั้นตอนการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต 115

มยผ. 1901-51

มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานฉบับนี้ได้จัดทำเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้มีความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรมโยธานำไปใช้เป็นแนวทางการซ่อมแซมอาคารประเภทอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 23 เมตร

1.2 คำแนะนำในการซ่อมแซมคอนกรีตจะมีขอบเขตการให้คำแนะนำในการซ่อมแซมคอนกรีตที่เสียหายไม่รุนแรงหรือคอนกรีตที่ทำการซ่อมโดยไม่มีการเสริมกำลังคอนกรีตให้สามารถรับแรงหรือน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากเดิม

1.3 มาตรฐานฉบับนี้ประกอบด้วยหัวข้อที่เกี่ยวกับการสกัดคอนกรีตที่เสียหาย การเตรียมผิว วิธีการซ่อมแซม วัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม และการซ่อมแซมรอยร้าวที่พบในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยไม่มีการเสริมกำลัง หัวข้อต่างๆเหล่านี้จะกล่าวรายละเอียดต่อไป โดยหัวข้อที่ 5 จะอธิบายเรื่องการสกัดคอนกรีตที่เสียหายและการเตรียมผิว ส่วนหัวข้อที่ 6 กล่าวถึงวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมและหัวข้อสุดท้ายได้แก่หัวข้อที่ 7 ซึ่งจะกล่าวถึงเรื่องการซ่อมแซมรอยร้าวที่พบในโครงสร้างคอนกรีตเพื่อให้รับน้ำหนักได้ดังเดิม

1.4 มาตรฐานฉบับนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก และให้ใช้ค่าการแปลงหน่วยของแรง 1 กิโลกรัมแรง เท่ากับ 9.806 นิวตัน

2. นิยาม

"การกัดกร่อน (Corrosion)" หมายถึง การที่โลหะถูกทำลายโดยการกัดกร่อนทางเคมี ทางการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าในปฏิกริยาเคมี การเกิดปฏิกริยาทางไฟฟ้าในการแลกเปลี่ยนประจุกับสิ่งแวดล้อมรอบตัว

"การซ่อมแซม (Repair)" หมายถึง การเปลี่ยนหรือการแก้ไข ส่วนของโครงสร้างที่ถูกทำลายหรือเสียหาย

"การซ่อมแซมส่วนที่เป็นโครงสร้างหลัก (Structural Repair)" หมายถึง การซ่อมแซมโครงสร้างที่มีการทำขึ้นมาใหม่หรือการเสริมเพิ่มให้โครงสร้างมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

"การซ่อมแซมส่วนที่ไม่เป็นโครงสร้างหลัก (Non-Structural Repair)" หมายถึง การซ่อมแซมเฉพาะส่วนที่เสียหายที่ไม่มีผลกระทบกับความแข็งแรงของโครงสร้างหลัก

"การดาด (Lining)" หมายถึง การปรับปรุงผิวของโครงสร้างด้วยคอนกรีตหรือวัสดุอื่นๆ เพื่อให้เกิดผิวที่คงตัวแข็งแรงหรือสามารถทนการกัดกร่อนขัดสีจากการไหลผ่านของน้ำ

"การป้องกันความชื้น (Damp Proofing)" หมายถึง วิธีการป้องกันไม่ให้น้ำผ่านหรือซึมผ่านคอนกรีตหรือปูนมอร์ต้าร์ เช่น การผสมสารผสมเพิ่ม (Admixture) หรือปรับปรุงคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ การสร้างฟิล์มกันชื้นด้วยการใช้แผ่นพอลิเอทธิลีน (Polyethylene) ปูรองพื้นก่อนเทพื้นคอนกรีต

"การป้องกันความเสียหาย (Protection)" หมายถึง กระบวนการที่จะปิดบังไม่ให้โครงสร้างคอนกรีตได้รับความเสียหายจากสภาพแวดล้อมหรือจากสภาพที่ตั้งใจจะป้องกันเพื่อให้โครงสร้างคอนกรีตนั้นมีอายุใช้งานได้ยาวนาน

"การสกัดเปิดผิว (Excavation)" หมายถึง ขั้นตอนในการเปิดผิวคอนกรีตที่ถูกทำลายจนถึงเนื้อคอนกรีตที่ดีหรือจนถึงระดับที่กำหนด

"ความเสียหายคะวิเทชั่น (Cavitation Damage)" หมายถึง หลุมเล็กๆ บริเวณผิวคอนกรีตซึ่งเกิดจากการสลายตัวของละอองไอน้ำในน้ำซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณที่มีความดันต่ำ และสลายตัวเมื่อเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่มีความดันสูงกว่า

"พอลิเมอร์คอนกรีต (Polymer Concrete)" หมายถึง คอนกรีตที่ใช้พอลิเมอร์เพื่อเป็นวัสดุประสาน

"พอลิเมอร์ซีเมนต์คอนกรีตและมอร์ต้าร์ (Polymer Cement Concrete and Mortar)" หมายถึง คอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมของน้ำ ปูนซีเมนต์ มวลรวม และ โมโนเมอร์หรือพอลิเมอร์ ในกรณีที่ใช้โมโนเมอร์จะทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) หลังจากผสม

"ระบบการซ่อมแซม (Repair System)" หมายถึง การซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตโดยการเลือกใช้วัสดุพิเศษและวิธีการที่เหมาะสม

"รอยร้าวที่มีรูปแบบที่แน่นอน" หมายถึง รอยร้าวที่เกิดขึ้นที่มีลักษณะเป็นรูปแบบเดียวกันหรือซ้ำๆกันในหลายๆบริเวณของโครงสร้างคอนกรีต

"รอยร้าวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน" หมายถึง รอยร้าวที่เกิดขึ้นที่มีลักษณะแตกต่างกันไปไม่ซ้ำกันในหลายๆบริเวณของโครงสร้างคอนกรีต

"รอยร้าวที่ยังคงมีการขยายตัวอยู่ (Active Crack)" หมายถึง รอยร้าวที่เกิดขึ้นที่คอนกรีตที่ยังคงมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องเช่นรอยร้าวกว้างขึ้นหรือลึกขึ้น รวมถึงรอยร้าวใดๆก็ตามที่กลไกหรือปฏิกิริยาของการเกิดรอยร้าวยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่อง

"รอยร้าวที่หยุดการขยายตัวแล้ว (Dormant Crack)" หมายถึง รอยร้าวที่เกิดขึ้นที่คอนกรีตซึ่งไม่มีการเพิ่มขึ้นของทั้งความกว้างและความลึก หรืออาจกล่าวได้ว่ารอยร้าวดังกล่าวหยุดการขยายตัวแล้ว

"ลาเทกซ์แบบกระจายตัวใหม่ได้ (Redispersible Latex)" หมายถึง ลาเทกซ์ที่สามารถทาบนพื้นผิวที่จะซ่อมแซมได้หลายวันก่อนจะลงวัสดุซ่อม และมีหน่วยแรงยึดเกาะไม่น้อยกว่า 2.8 เมกาปาสกาลเมื่อแห้ง ลาเทกซ์ประเภทนี้ไม่ควรใช้กับบริเวณที่เปียกน้ำ ความชื้นสูง หรือกำลังใช้งาน

"ลาเทกซ์แบบกระจายตัวใหม่ไม่ได้ (Nonredispersible Latex)" หมายถึง ลาเทกซ์ที่เหมาะกับการยึดเกาะเมื่อใช้ผสม

"วัสดุคั่น (Bond Breakers)" หมายถึง วัสดุที่ใช้สำหรับกั้นรอยต่อต่างๆในการก่อสร้างเพื่อแยกวัสดุสองชนิดหรือหรือคอนกรีตที่เทในระยะเวลาที่แตกต่างกันออกจากกัน

"สารเชื่อมประสาน (Bonding Agent)" หมายถึง สารที่ใช้กับผิวชั้นหนึ่งๆ เพื่อสร้างการยึดเกาะหรือการเชื่อมประสานระหว่างตัวมันเองกับชั้นอื่นๆ

"อีพอกซีเรซิน (Epoxy Resin)" หมายถึง สารซึ่งประกอบด้วยสารละลายสองชนิดขึ้นไปที่ทำปฏิกิริยาแล้วทำให้เกิดเจลหรือตะกอนแข็ง ปฏิกิริยาในสารละลายอาจเป็นปฏิกิริยาทางเคมีหรือทางเคมีฟิสิกส์ระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ในสารละลาย หรือระหว่างส่วนประกอบในสารละลาย และสารอื่นๆในบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะลดความสามารถในการไหล และทำให้สารละลายแข็งตัวอุดช่องว่างที่มีในคอนกรีต

"ออโตจีเนียสฮีลลิ่ง (Autogeneous Healing)" หมายถึง พฤติกรรมของคอนกรีตที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอย่างต่อเนื่องของปูนซีเมนต์ ทำให้รอยแตกร้าวขนาดเล็กสามารถเชื่อมติดกันได้

3. มาตรฐานอ้างถึง

3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างถึงในส่วนนี้ประกอบด้วย

3.1.1 American Concrete Institute (ACI), "*ACI 224.1R – 93 Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structure*"

3.1.2 American Concrete Institute (ACI), "*ACI 304R – 00* Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete

3.1.3 American Concrete Institute (ACI), "*ACI 304.1R – 92* Guide for the Use of Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete Applications

3.1.4 American Concrete Institute (ACI), "*ACI 304.2R – 96* Placing Concrete by Pumping Methods

3.1.5 American Concrete Institute (ACI), "*ACI 304.6R – 91* Guide for the Use of Volumetric-Measuring and Continuous-Mixing Concrete Equipment

3.1.6 American Concrete Institute (ACI), "*ACI 318R-05 Building Code Requirement for Structural Concrete and Commentary*"

3.1.7 American Concrete Institute (ACI), "*ACI 504R-90 (Reapproved 1997) Guide to Sealing Joints in Concrete*"

3.1.8 American Concrete Institute (ACI), "*ACI 546R – 04 Concrete Repair Guide*"

3.1.9 American Concrete Institute (ACI), "*ACI 549.1R – 93* Guide for the Design, Construction and Repair of Ferrocement (Reapproved 1999)

3.1.10 American Concrete Institute (ACI), "*ACI 555R – 01 Removal and Reuse of Hardened Concrete*"

3.1.11 American Concrete Institute (ACI), RAP 4 Surface Repair Using Form-and-Pour Techniques

3.1.12 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM A 767-97/ A 767M-97 Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Steel Bars for Concrete Reinforcement

3.1.13 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM A 780 – 01 Standard Practice for Repair of Damaged and Uncoated Areas of Hot-Dip Galvanized Coatings

3.1.14 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM C 33 – 02 Standard Specification for Concrete Aggregates

3.1.15 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM C 94/C 94M – 00 Standard Specification for Ready-Mixed Concrete

3.1.16 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM C 387 – 00 Standard Specification for Packaged, Dry, Combined Materials for Mortar and Concrete

3.1.17 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM C 685/C 685M – 01 Standard Specification for Concrete Made by Volumetric Batching and Continuous Mixing

3.1.18 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM C 806 – 95 Standard Test Method for Restrained Expansion of Expansive Cement Mortar

3.1.19 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM C 845 – 96 Standard Specification for Expansive Hydraulic Cement

3.1.20 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM C 878/C 878M – 03 Standard Test Method for Restrained Expansion of Shrinkage-Compensating Concrete

3.1.21 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM C 881/C 881M – 02 Standard Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete

3.1.22 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM C 928 – 00 Standard Specification for Packaged, Dry, Rapid-Hardening Cementitious Materials for Concrete Repairs

3.1.23 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM C 1059 – 99 Standard Specification for Latex Agents for Bonding Fresh To Hardened Concrete

3.1.24 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM C 1107 – 02 Standard Specification for Packaged Dry, Hydraulic-Cement Grout (Nonshrink)

3.1.25 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM C 1116 – 02 Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete

3.1.26 American Society for Testing and Materials (ASTM), C1438 – 99 Standard Specification for Latex and Powder Polymer Modifiers for Hydraulic Cement Concrete and Mortar

3.1.27 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM C 1439 – 99 Standard Test Methods for Polymer-Modified Mortar and Concrete

3.1.28 American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM D 4541 – 02 Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers

3.1.29 Emmons, Peter H., "*Concrete Repair and Maintenance Illustrated*" Construction Publisher and Consultants, 1993

3.1.30 International Concrete Repair Institute (ICRI), "*ICRI Guideline No. 03730* Guide for Surface Preparation for the Repair of Deteriorated Concrete Resulting from Reinforcing Steel Corrosion"

3.1.31 International Concrete Repair Institute (ICRI), "*ICRI Guideline No. 03731 Guide for Selecting Application Methods for Repair of Concrete Surface*"

3.1.32 International Concrete Repair Institute (ICRI), " I*CRI Guideline No. 03732 Selecting and Specifying Concrete Surface Preparation for Sealers, Coatings, and Polymer Overlays*"

3.1.33 International Concrete Repair Institute (ICRI), "*ICRI Guideline No. 03733 Guide for Selecting and Specifying Materials for Repair of Concrete Surfaces*"

3.1.34 Japan Concrete Institute (JCI), "*Practical Guideline for Investigation, Repair and Strengthening of Cracked Concrete Structures*"

3.1.35 U.S. Army Corps of Engineers (USACE), "*EM 1110-1-3500 Chemical Grouting*"

3.1.36 U.S. Army Corps of Engineers (USACE), "*EM 1110-2-2002 Evaluation and Repair of Concrete Structures*"

3.1.37 United States Bureau of Reclamation (USBR), "*Guide to Concrete Repair*"

3.1.38 มยผ. 1201-50 มาตรฐานการทดสอบหาขนาดคละของมวลรวม

3.1.39 มยผ. 1202-50 มาตรฐานการทดสอบหาความต้านทานต่อการสึกกร่อนของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องทดสอบลอสแองเจลิส

3.1.40 มยผ. 1203-50 มาตรฐานการทดสอบหาสารอินทรีย์เจือปนในมวลรวมละเอียด

3.1.41 มยผ. 1204-50 มาตรฐานการทดสอบหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์และค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ

3.1.42 มยผ. 1205-50 มาตรฐานการทดสอบหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์และค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด

3.1.43 มยผ. 1206-50 มาตรฐานการทดสอบหาค่าความชื้นของมวลรวม

3.1.44 มยผ. 1207-50 มาตรฐานการทดสอบหาดินเหนียวและวัสดุร่วนในมวลรวม

3.1.45 มยผ. 1208-50 มาตรฐานการเก็บตัวอย่างคอนกรีตในหน้างานและการเก็บรักษา

3.1.46 มยผ. 1209-50 มาตรฐานการทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต

3.1.47 มยผ. 1210-50 มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต

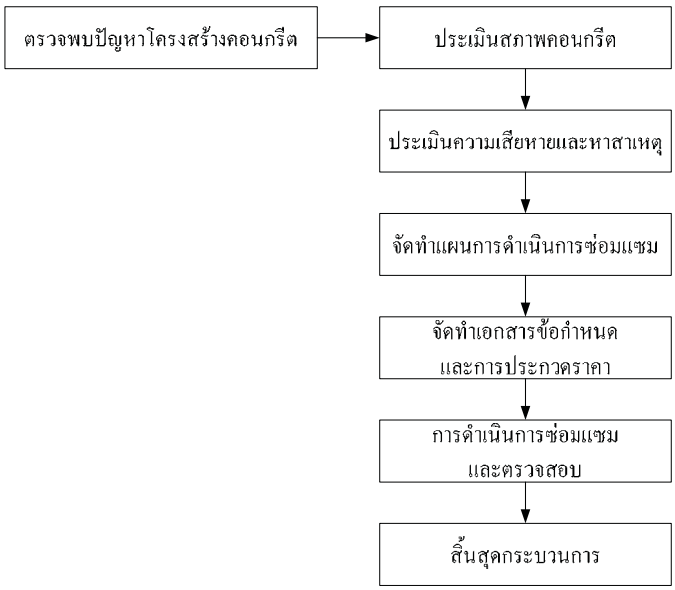
3.1.48 มยผ. 1211-50 มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีต

3.1.49 มยผ. 1212-50 มาตรฐานการทดสอบน้ำหรับผสมคอนกรีต

3.2 หากข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีความขัดแย้งกับมาตรฐานที่อ้างถึงในแต่ละส่วน ให้ถือข้อกำหนดในมาตรฐานนี้เป็นสำคัญ

4. ขั้นตอนการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต

ขั้นตอนการซ่อมแซมที่เหมาะสมสามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต

(ข้อ 4)

รายละเอียดคำอธิบายในแต่ละขั้นตอนระบุไว้ในภาคผนวกที่ 5

5. การสกัดคอนกรีตที่เสียหาย และการเตรียมพื้นผิว

5.1 การสกัดคอนกรีต (Concrete Removal)

5.1.1 การซ่อมแซมคอนกรีตจำเป็นต้องสกัดคอนกรีตเดิมที่เสียหายออก เพื่อให้การซ่อมแซมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยปกติแล้วจะต้องกำจัดคอนกรีตที่ไม่ดีออกให้หมดจนถึงเนื้อคอนกรีตที่แกร่ง ซึ่งบางครั้งอาจต้องสกัดคอนกรีตจนถึงแนวเหล็กเสริมคอนกรีตหรือเลยแนวเหล็กเสริมคอนกรีตก็ได้

5.1.2 การสกัดคอนกรีตที่ใช้วัตถุระเบิดหรือวิธีการทำลายที่รุนแรง (การสกัดโดยใช้เครื่องมือสกัดที่มีน้ำหนักเกิน 12 กิโลกรัม) จะทำให้เกิดรอยร้าวเล็กๆ ภายหลังจากการสกัดได้ จึงควรกำหนดบริเวณที่อนุญาตให้ใช้เครื่องมือสกัดที่รุนแรงได้และบริเวณที่ต้องสกัดด้วยวิธีที่ไม่รุนแรง ได้แก่ การสกัดด้วยมือ เป็นต้น การสกัดคอนกรีตต้องมีการตรวจสอบและเฝ้าระวังไม่ให้ผิวคอนกรีตที่สกัดแตกร้าวก่อนจะเทคอนกรีตซ่อมแซมโดยสังเกตจากผิวคอนกรีตที่เปียกน้ำหมาดๆ จะเห็นรอยร้าวได้ชัดเจน กรณีพบรอยร้าวที่ผิวคอนกรีตต้องมีการเตรียมผิวให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้งานต่อไป ก่อนซ่อมแซมต้องกำหนดให้มีการทดสอบผิวคอนกรีตโดยวิธีทดสอบแรงดึงบริเวณผิวคอนกรีต (Pull-Off Test) เพื่อหาความสามารถในการยึดเกาะของผิวคอนกรีตเดิมกับวัสดุที่จะใช้ซ่อมแซม

5.1.3 ข้อควรพิจารณาในการสกัดคอนกรีต

5.1.3.1 ต้องเลือกวิธีการสกัดคอนกรีตที่สามารถกำจัดคอนกรีตที่เสียหายออกได้หมด และต้องไม่ทำลายเนื้อคอนกรีตที่ดี วิธีการที่ใช้ต้องมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว ปลอดภัยในการทำงาน ประหยัด เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และทำลายคอนกรีตที่เหลือให้น้อยที่สุด เมื่อสกัดถึงคอนกรีตที่ดีแล้วอาจใช้การทดสอบแรงดึงผิวคอนกรีต หรือการเคาะฟังเสียงเพื่อยืนยันความแกร่งของผิวคอนกรีตที่จะซ่อมแซมต่อไป

5.1.3.2 วิศวกรที่มีหน้าที่ออกแบบซ่อมแซมคอนกรีตต้องระบุวัตถุประสงค์ในการสกัดคอนกรีตให้ชัดเจน และผู้รับเหมาที่ทำหน้าที่ซ่อมแซมต้องเลือกวิธีการที่ประหยัดที่สุดที่ตอบสนองความต้องการของวิศวกร วิศวกรผู้กำหนดวิธีการซ่อมแซมคอนกรีตต้องพิจารณาข้อมูลเกี่ยวกับ คุณสมบัติของคอนกรีต ได้แก่ ประเภทของปูนซีเมนต์ ขนาดของวัสดุมวลรวม เพื่อจะใช้ในการเลือกวิธีการสกัดคอนกรีต และประมาณราคาค่าใช้จ่ายต่อไป

5.1.3.3 วิศวกร หรือ ผู้ควบคุมงาน ต้องประเมินความมั่นคงปลอดภัยของโครงสร้างในขณะดำเนินการสกัดหรือเตรียมพื้นผิว ในกรณีที่จำเป็นต้องมีการติดตั้งนั่งร้านหรือทำค้ำยัน ให้โครงสร้างมีความมั่นคงปลอดภัยเป็นไปตามหลักวิศวกรรม

5.1.4 การเฝ้าระวังพฤติกรรมโครงสร้างและการรักษาแนวการสกัดในระหว่างการสกัดคอนกรีต

5.1.4.1 ก่อนที่จะดำเนินการสกัดคอนกรีตที่เสียหายออกจะต้องมีการประเมินการรับน้ำหนักของโครงสร้างอาคารในระหว่างการสกัดคอนกรีต ได้แก่ ขนาดหน้าตัดโครงสร้างที่เล็กลง น้ำหนักของเครื่องมือ และเศษวัสดุที่เกิดจากการสกัด การขนย้ายวัสดุ การขนย้ายเครื่องมือ เป็นต้น

5.1.4.2 การเฝ้าระวังในการสกัดทำได้โดยการสังเกตด้วยสายตา การเคาะฟังเสียง การวัดโดยเครื่องมือตรวจวัดตำแหน่งเหล็กเสริม เพื่อไม่ให้สกัดเกินความต้องการของวิศวกร

5.1.4.3 เมื่อสกัดคอนกรีตจนได้ระดับที่ต้องการแล้วให้ตรวจสอบผิวคอนกรีตตามข้อกำหนดของวิศวกร

5.1.5 ควรประเมินปริมาณคอนกรีตที่ต้องสกัดก่อนดำเนินการสกัดคอนกรีต และเมื่อสกัดคอนกรีตแล้วควรตรวจสอบปริมาณอีกครั้งเพื่อใช้ในการเตรียมวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม

5.1.6 การตรวจสอบความเสียหายของผิวคอนกรีตภายหลังการสกัด ให้ตรวจสอบโดยการเคาะด้วยค้อน (Hammer Sounding) เป็นต้น ในกรณีตรวจพบรอยร้าวหรือความเสียหาย หรือ มีข้อสงสัยเกี่ยวกับคุณภาพของการสกัด ต้องตรวจสอบเนื้อคอนกรีตด้วยวิธีทดสอบแรงดึง (Pull-Off Test)

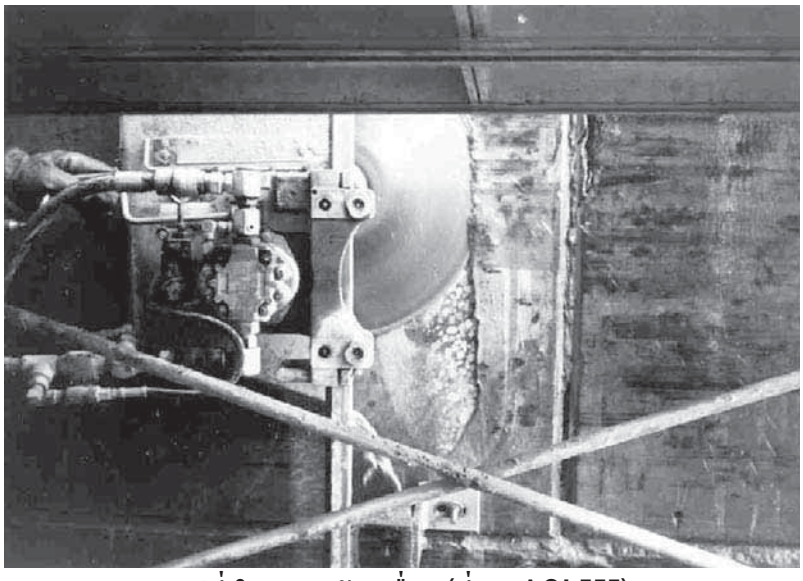
5.2 วิธีการสกัดคอนกรีต (Concrete Removal)

5.2.1 การตัดคอนกรีต (Cutting Method)

การตัดคอนกรีตมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้น้ำที่มีความดันสูง การใช้สายตัดเพชร เครื่องเฉือน เป็นต้น การตัดคอนกรีตต้องคำนึงถึงขอบเขตที่จะต้องตัดคอนกรีต วิธีการยกหรือขนเศษวัสดุออกจากบริเวณที่ตัดคอนกรีต และการตรวจสอบคอนกรีตที่ตัดแล้วว่าถึงคอนกรีตเนื้อเดิมที่แกร่งแข็งแรงตามที่วิศวกรกำหนดในแบบหรือไม่ เครื่องมือที่ใช้ในการตัดคอนกรีตมีดังนี้

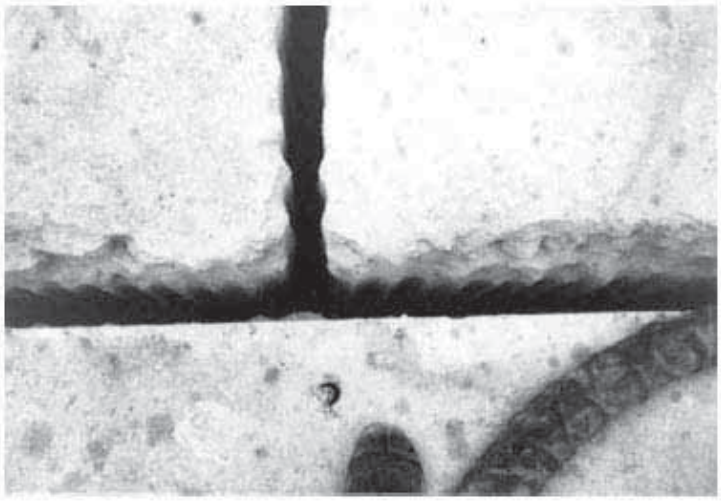
5.2.1.1 เครื่องตัดด้วยน้ำแรงดันสูง (High-Pressure Water Jet) เป็นเครื่องมือที่ฉีดน้ำให้เป็นลำเล็กๆ ด้วยแรงดันประมาณ 69 ถึง 310 เมกาปาสกาล เหมาะสำหรับใช้ตัดแผ่นพื้นหรือโครงสร้างอาคาร มีข้อดี คือ สามารถตัดคอนกรีตได้แม่นยำ ไม่ก่อให้เกิดฝุ่น ไม่ก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนที่จะทำโครงสร้างอาคารเสียหาย คอนกรีตที่ตัดออกจะเป็นชิ้นใหญ่ ข้อเสีย คือ ต้องเก็บกวาดตะกอนฝุ่นที่เกิดจากการตัด และตัดได้เฉพาะส่วนโครงสร้างที่บาง การตัดทำได้ช้า ค่าใช้จ่ายสูง และมีเสียงดัง ต้องมีการควบคุมความปลอดภัยในการใช้งานน้ำที่มีแรงดันสูง

5.2.1.2 การตัดด้วยเลื่อย (Saw Cutting) ดังรูปที่ 2 เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมาก เหมาะสำหรับใช้ตัด แผ่นพื้น หรือโครงสร้างอาคาร มีข้อดี คือ สามารถตัดคอนกรีตได้แม่นยำ ไม่ก่อให้เกิดฝุ่น ไม่ก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนที่จะทำให้โครงสร้างอาคารเสียหาย คอนกรีตที่ตัดออกจะเป็นชิ้นใหญ่ ข้อเสีย คือ ตัดได้เฉพาะส่วนโครงสร้างที่บาง มีเสียงดัง ต้องมีการควบคุมน้ำที่ใช้ในการตัดถ้ามีการใช้น้ำในการตัด



รูปที่ 2 การตัดด้วยเลื่อย (ที่มา: ACI 555)
(ข้อ 5.2.1.2)

5.2.1.3 การซอยคอนกรีตด้วยการเจาะ (Stitch Drilling) ดังรูปที่ 3 เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันในการซ่อมแซม โดยใช้สว่านหรือเครื่องเจาะคอนกรีตเจาะรูในบริเวณที่ต้องการสกัดเป็นรูต่อเนื่องกันแล้วสกัดด้วยมือช่วยเพื่อเอาเนื้อคอนกรีตออก วิธีนี้เหมาะกับการสกัดคอนกรีตที่สามารถสกัดได้ด้านเดียว คอนกรีตที่ได้จะเป็นชิ้นใหญ่ ข้อเสียอาจทำให้เกิดฝุ่นในระหว่างการทำงาน



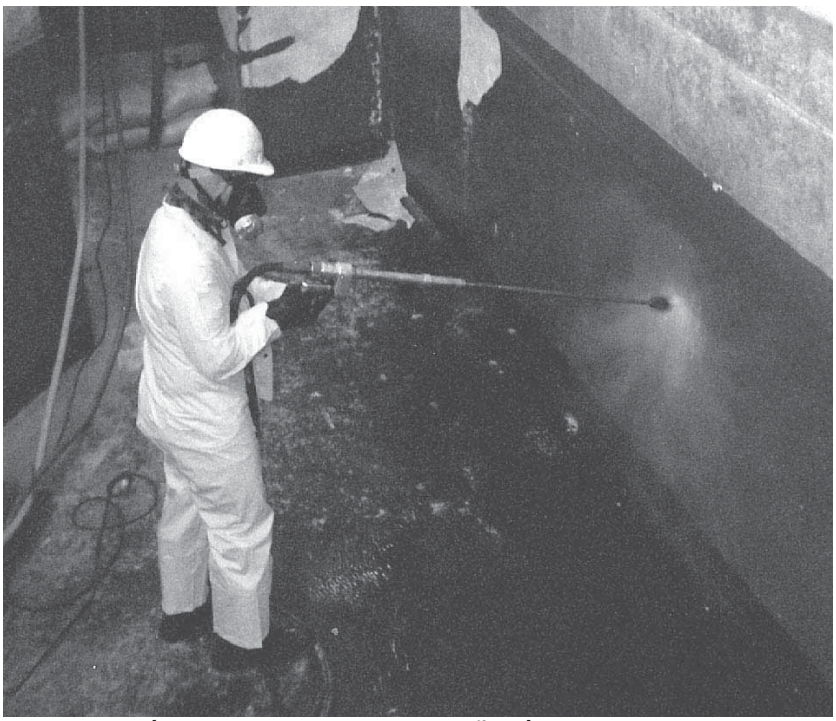
รูปที่ 3 การซอยคอนกรีตด้วยการเจาะ (ที่มา: ACI 555)
(ข้อ 5.2.1.3)

5.2.2 การสกัดโดยวิธีใช้แรงกระแทก

การสกัดคอนกรีตด้วยวิธีกระแทกเป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไป การสกัดด้วยการใช้แรงกระแทกจะทำให้คอนกรีตแตกเป็นก้อนใหญ่และมีรอยร้าวในเนื้อคอนกรีตมาก และไม่สามารถควบคุมการแตกร้าวได้ ต้องใช้วิธีการสกัดด้วยมือ หรือ การสกัดโดยใช้เครื่องมือสกัดที่มีน้ำหนักไม่เกิน 12 กิโลกรัม ช่วยแต่งผิวที่เกิดรอยร้าวเล็กๆ (Micro Cracking) ในกรณีพบรอยร้าวหรือความเสียหายเกิดขึ้นต้องตรวจสอบเนื้อคอนกรีตด้วยวิธีทดสอบแรงดึง (Pull-Off Test)

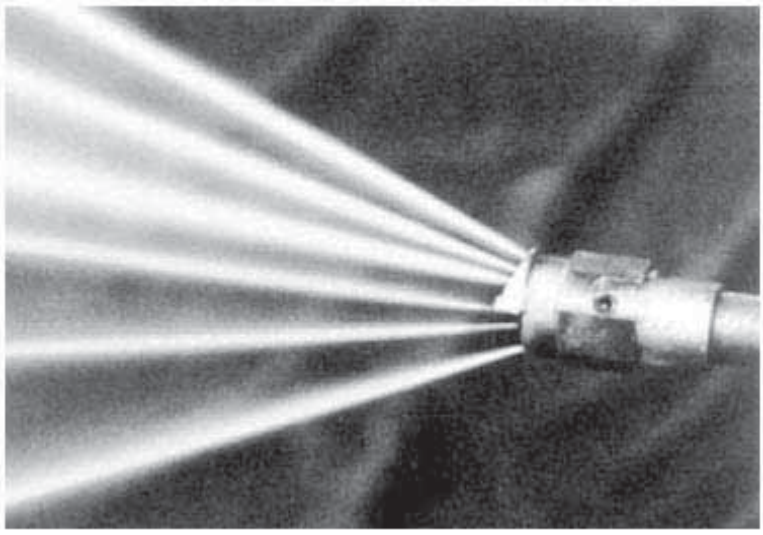
5.2.2.1 การสกัดโดยวิธีใช้แรงดันน้ำ

การสกัดโดยการฉีดน้ำแรงดันสูง ดังรูปที่ 5 6 และ 7 เป็นวิธีที่ไม่ทำให้เกิดรอยร้าวเล็กๆ ภายหลังจากการสกัด การฉีดน้ำทำให้ได้ทำความสะอาดพื้นผิวและเหล็กเสริมคอนกรีตไปพร้อมกัน ไม่ควรใช้วิธีฉีดน้ำด้วยแรงดันสูงกับพื้นโครงสร้างอาคารคอนกรีตอัดแรงที่ใช้ลวดดึงชนิด Unbonded หากจำเป็นต้องใช้วิธีการนี้ให้อยู่ภายใต้การควบคุมดูแลของวิศวกร แรงดันน้ำที่ใช้ในการสกัดควรมีแรงดันตั้งแต่ 70 ถึง 140 เมกาปาสกาล ใช้ปริมาณน้ำ 75 ถึง 150 ลิตรต่อนาที (ICRI 03732)



รูปที่ 4 การสกัดโดยวิธีใช้แรงดันน้ำ (ที่มา: ICRI 03732)
(ข้อ 5.2.2.1)

รูปที่ 5 การสกัดโดยวิธีใช้แรงดันน้ำ (ต่อ) (ที่มา: ACI 555)
(ข้อ 5.2.2.1)

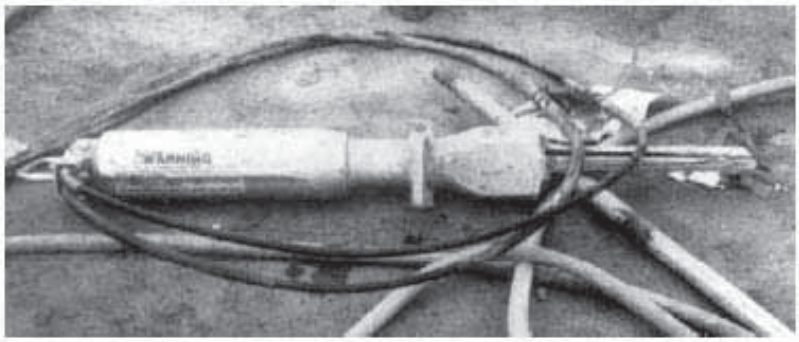


รูปที่ 6 หัวฉีดที่ใช้ในการสกัดโดยวิธีใช้แรงดันน้ำ (ที่มา: ACI 555)
(ข้อ 5.2.2.1)

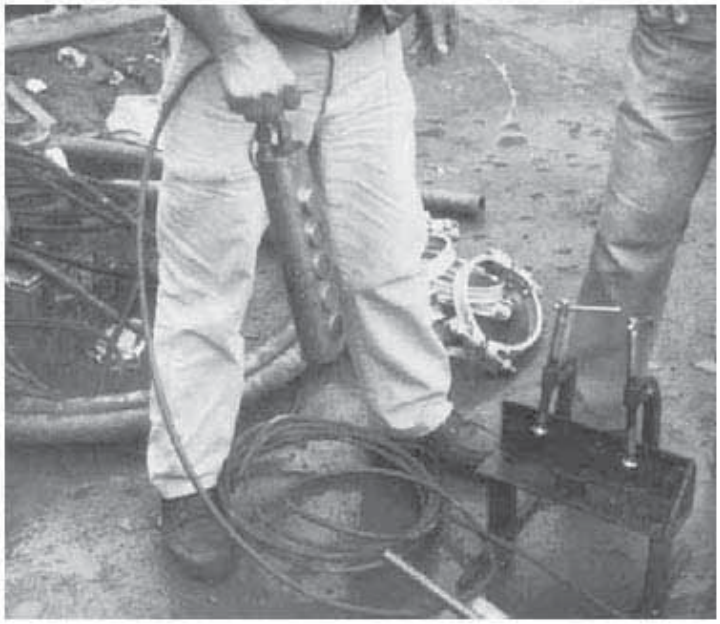
รูปที่ 7 สภาพของคอนกรีตภายหลังจากการสกัดโดยวิธีใช้แรงดันน้ำ (ที่มา: ACI 555)
(ข้อ 5.2.2.1)

5.2.2.2 Presplitting Methods

การสกัดคอนกรีตด้วยการใช้อุปกรณ์ Hydraulic Splitter นี้ เป็นวิธีการเบื้องต้นเพื่อทำให้คอนกรีตแตกเป็นชิ้นใหญ่ๆ ก่อนการสกัดด้วยวิธีอื่น นิยมใช้กันมากในโครงสร้างคอนกรีตหลา หรือคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็ก ตัวอย่างของอุปกรณ์ประเภทนี้แสดงไว้ในรูปที่ 8 และ 9



รูปที่ 8 Mechanical Splitter (ที่มา: ACI 555)
(ข้อ 5.2.2.2)



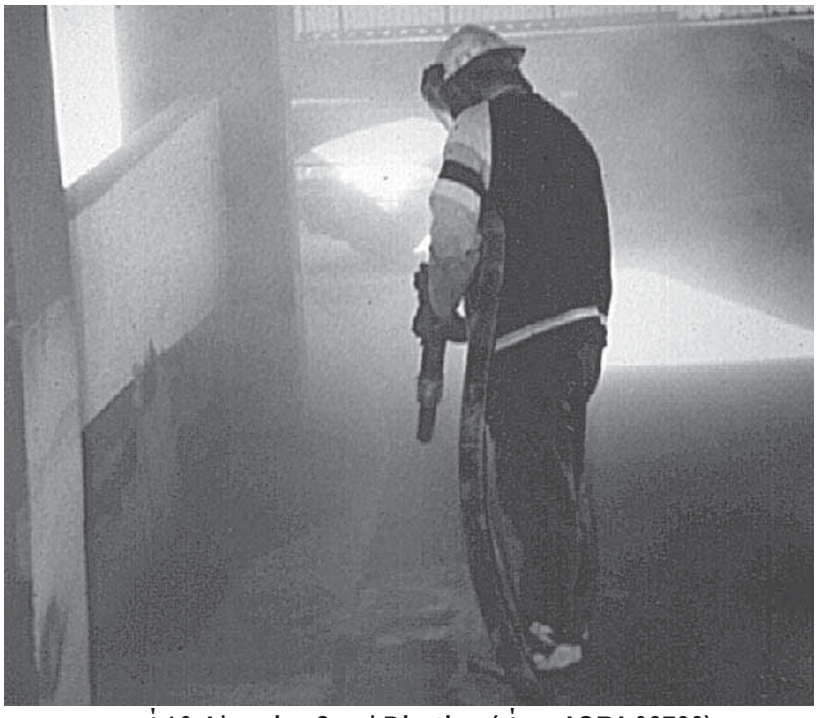
รูปที่ 9 Piston-Jack Mechanical Splitter (**ที่มา**: ACI 555)
(ข้อ 5.2.2.2)

5.2.2.3 การสกัดโดยวิธีพ่นทราย (Sandblasting)

การพ่นทรายเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปเพื่อทำความสะอาดผิวคอนกรีตหรือเหล็กเสริมคอนกรีตภายหลังจากการสกัดด้วยวิธีอื่น ทรายที่ใช้ควรมีขนาด 2.12 ถึง 4.75 มิลลิเมตร แรงดันลมที่ใช้พ่นทรายประมาณ 860 กิโลปาสกาล ใช้กำจัดผิวคอนกรีตหนาไม่เกิน 6 มิลลิเมตร (ACI 546R-04) การพ่นด้วยทรายแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ การพ่นทรายแบบแห้ง การพ่นทรายแบบเปียก และการพ่นทรายแบบเปียกด้วยแรงดันสูง

(1) การพ่นทรายแบบแห้ง (Dry Sandblasting)

วิธีการนี้ทรายแห้งจะถูกพ่นออกมาด้วยแรงดันสูง โดยขนาดของเม็ดทรายที่ถูกพ่นออกมามีขนาดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 70 จนถึงตะแกรงเบอร์ 4 (ตะแกรงขนาด 212 มิลลิเมตร จนถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร) ยิ่งต้องการผิวที่มีความหยาบมากก็ยิ่งต้องใช้เม็ดทรายที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย โดยแรงดันที่ใช้ในการฉีดเม็ดทรายนั้นมีค่าไม่น้อยกว่า 860 กิโลปาสคาล รูปที่ 10 แสดงตัวอย่างของการพ่นทรายแบบแห้ง



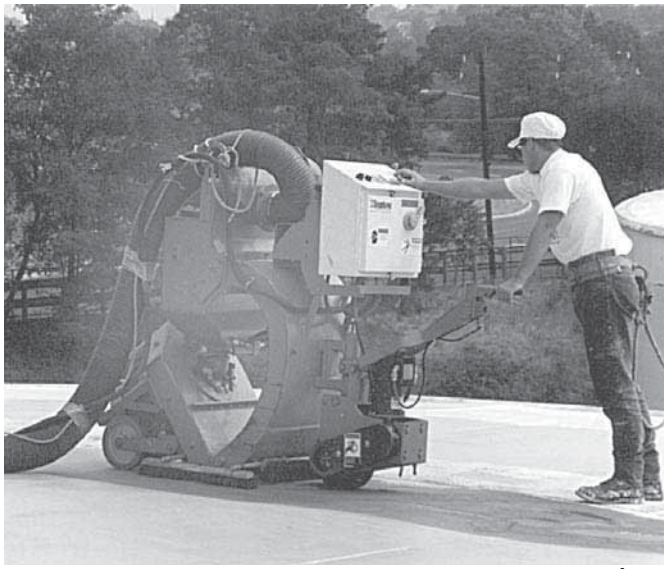
รูปที่ 10 Abrasive Sand Blasting (**ที่มา**: ICRI 03732)
(ข้อ 5.2.2.3)

(2) การพ่นทรายแบบเปียก (Wet Sandblasting)
วิธีการนี้เม็ดทรายจะถูกพ่นออกมาพร้อมกับน้ำ วิธีการนี้มีข้อดีตรงที่จะไม่มีฝุ่นละออง แต่จะมีข้อด้อยตรงที่ว่าน้ำที่ปนออกมากับเม็ดทรายนั้นจะลดประสิทธิภาพ ของเม็ดทรายในการสกัดพื้นผิวคอนกรีตที่ต้องการ

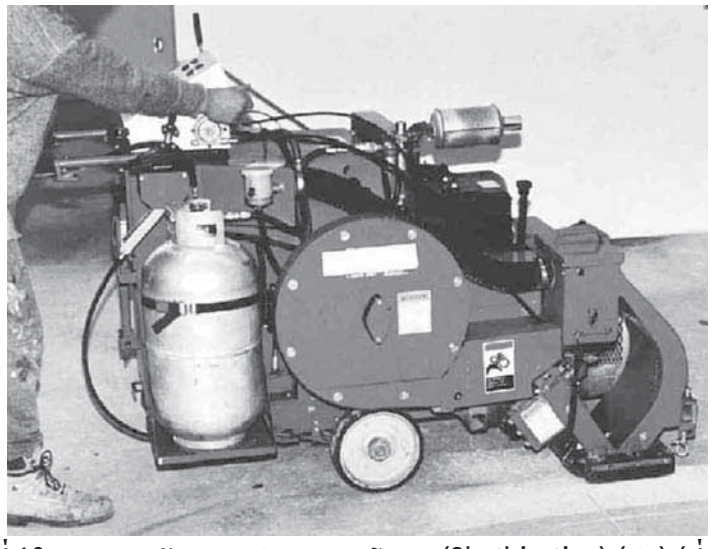
(3) การพ่นทรายแบบเปียกด้วยแรงดันสูง (High-Pressure Wet Sandblasting)
วิธีการนี้แก้ไขข้อบกพร่องของการพ่นทรายแบบเปียก โดยแรงดันที่ใช้ในการพ่นเม็ดทรายร่วมกับน้ำจะอยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 เมกาปาสคาล

5.2.2.4 การสกัดด้วยการพ่นอนุภาคโลหะ (Shotblasting)

การพ่นอนุภาคโลหะด้วยแรงดันสูงเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปเพื่อทำความสะอาดผิวคอนกรีตซึ่งสามารถที่จะขจัดส่วนของคอนกรีตที่ไม่แน่นออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการนี้เหมาะที่จะใช้ในบริเวณที่ความหนาของคอนกรีตที่ต้องการสกัดน้อยกว่า 20 มิลลิเมตร ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะสามารถที่จะสกัดคอนกรีตออกได้ถึง 40 มิลลิเมตรก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นสูงมากเมื่อความหนาของคอนกรีตที่ต้องการสกัดออกเกินกว่า 20 มิลลิเมตร รูปที่ 11 และ 12 แสดงตัวอย่างของการสกัดด้วยการพ่นอนุภาคโลหะ



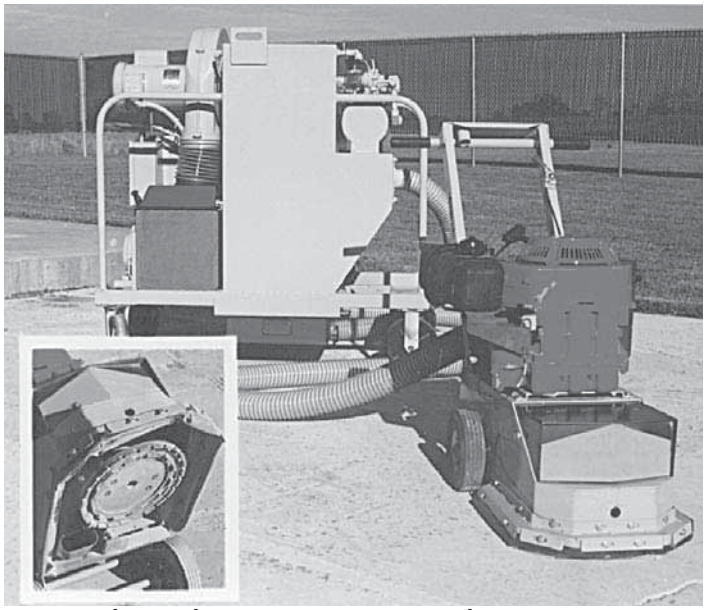
รูปที่ 11 การสกัดด้วยการพ่นอนุภาคโลหะ (Shotblasting) **(ที่มา: ICRI** 03732)
(ข้อ 5.2.2.4)



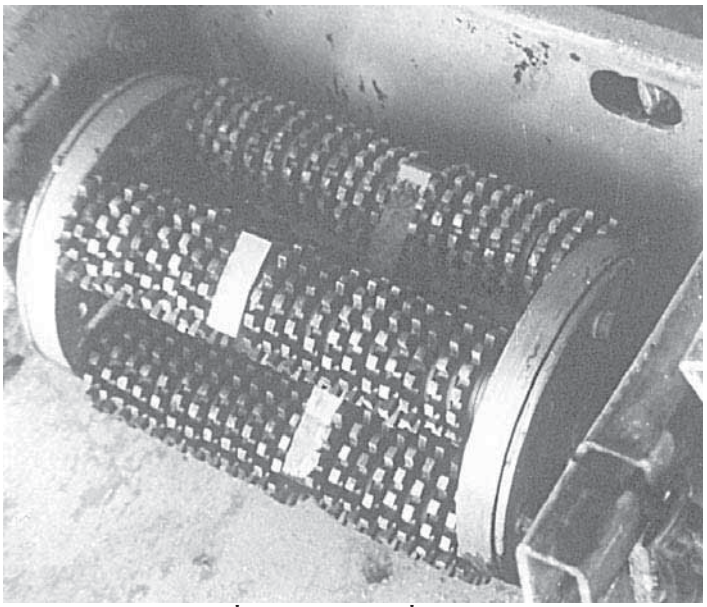
รูปที่ 12 **การสกัดด้วยการพ่นอนุภาคโลหะ** (Shotblasting) **(ต่อ) (ที่มา:ACI** 555)
(ข้อ 5.2.2.4)

5.3 การเตรียมผิว

การเตรียมผิวเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการซ่อมแซมคอนกรีตเพื่อให้พื้นผิวคอนกรีตเดิมมีความหยาบพอเหมาะและมีความสะอาดเพียงพอต่อการซ่อมแซมในขั้นตอนต่อไป โดยทั่วไปสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องมือสกัด หรือ การใช้เครื่องมือขัด ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันเนื่องจากมีความสะดวกและรวดเร็ว ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมผิว เช่น เครื่องมือขัด (Grinding) ดังรูปที่ 13 หรือ Scrifyer ดังรูปที่ 14 หรือ Scabbler ดังรูปที่ 15 เป็นต้น



รูปที่ 13 เครื่องมือขัด (Grinding) (**ที่มา**: ICRI 03732)
(ข้อ 5.3)



รูปที่ 14 Scrifyer (**ที่มา**: ICRI 03732)
(ข้อ 5.3)

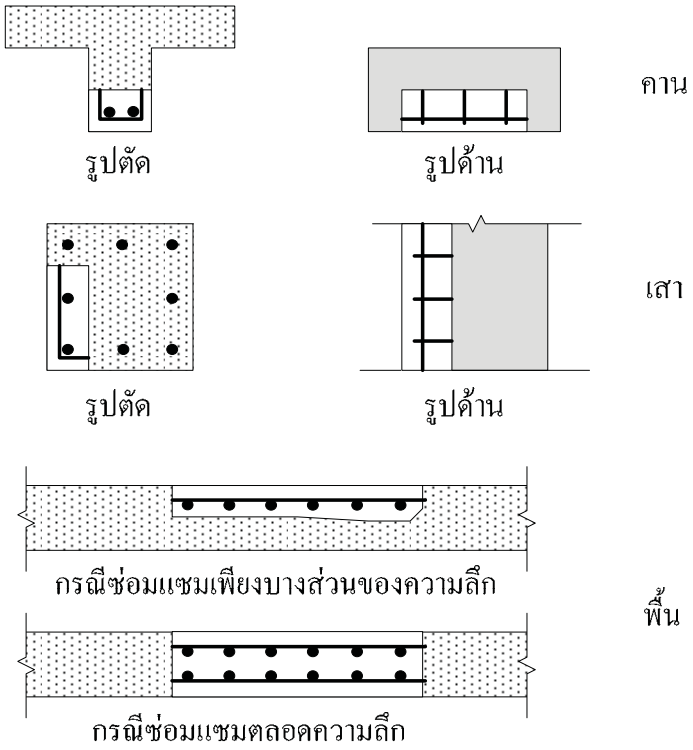
รูปที่ 15 Scabbler (**ที่มา:** ICRI 03732)
(ข้อ 5.3)

5.4 การซ่อมแซมเหล็กเสริม

5.4.1 การสกัดคอนกรีตรอบเหล็กเสริม

การสกัดคอนกรีตรอบเหล็กเสริมคอนกรีตเป็นขั้นตอนแรกในการซ่อมแซมเหล็กเสริม การสกัดคอนกรีตต้องระมัดระวังไม่ให้เหล็กเสริมเสียหายโดยเฉพาะอย่างยิ่งเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง ก่อนสกัดควรตรวจสอบขนาดและตำแหน่งของเหล็กเสริมเทียบกับแบบก่อสร้างจริง หรือ จากการทดสอบโดยวิธีไม่ทำลาย เครื่องมือที่ใช้ในการสกัดได้แก่ สว่านหัวกระแทก การสกัดด้วยมือ เป็นต้น รูปร่างของคอนกรีตที่เหมาะสมภายหลังเมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนการสกัดออกในกรณีที่ต้องการซ่อมแซมเหล็กเสริมแสดงไว้ในรูปที่ 16

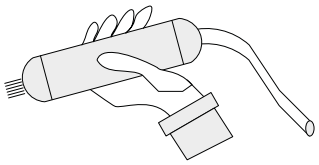
5.4.2 ปริมาณคอนกรีตที่ต้องสกัดออก ต้องสกัดเนื้อคอนกรีตรอบเหล็กเสริมที่เป็นสนิมออกทั้งหมด โดยทั่วไปจะสกัดคอนกรีตโดยรอบเหล็กเสริมให้มีระยะช่วงว่างไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร หรือ ขนาดมวลรวมที่ใหญ่ที่สุดของวัสดุซ่อมแซมบวกด้วย 6 มิลลิเมตร ค่าใดค่าหนึ่งที่มากกว่า หรือ สกัดจนถึงคอนกรีตที่แกร่งให้หมดรวมทั้งคอนกรีตที่แตกเนื่องจากการบวมตัวของสนิม



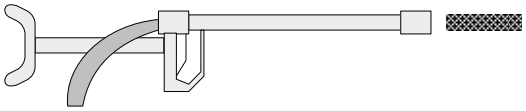
รูปที่ 16 รูปร่างของคอนกรีตที่ถูกสกัดออกเมื่อต้องการซ่อมแซมเหล็กเสริม
(ที่มา: ICRI 03730)
(ข้อ 5.4.1)

5.4.3 การตรวจสอบสภาพเหล็กเสริมคอนกรีต เมื่อสกัดคอนกรีตจนเห็นเหล็กเสริมได้ชัดเจนแล้ว ให้ตรวจสภาพอย่างระมัดระวัง วัดขนาดเหล็กเสริมเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบก่อสร้างเพื่อประเมินความรุนแรงของการเกิดสนิม และควรส่งข้อมูลให้วิศวกรประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างเพื่อกำหนดวิธีการซ่อมแซม

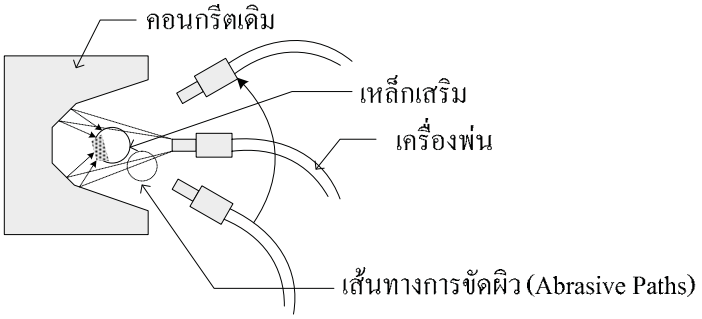
5.4.4 การทำความสะอาดเหล็กเสริม การทำความสะอาดเหล็กเสริมคอนกรีตมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดกับเหล็กเสริม ได้แก่ คราบน้ำมัน สนิม เป็นต้น ให้ทำความสะอาด ด้วยวิธีการที่เหมาะสม เช่น การขัดด้วยมือโดยใช้แปรงหรือเครื่องขัด วิธีพ่นด้วยทราย หรือ ฉีดด้วยน้ำแรงดันสูง (แรงดันน้ำไม่เกิน 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) เป็นต้น



(ก) เครื่องขัด



(ข) เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง



(ค) เครื่องพ่น

รูปที่ 17 เครื่องมือที่นิยมใช้ในการทำความสะอาดเหล็กเสริม
(ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)
(ข้อ 5.4.4)

5.4.5 การปรับปรุงเหล็กเสริมคอนกรีต เมื่อพบว่าเหล็กเสริมเป็นสนิมที่ผิวเหล็กให้ซ่อมแซมโดยวิธีการขัดด้วยแปรงแล้วเคลือบผิวเหล็กเสริมด้วยวัสดุป้องกันสนิมชนิดที่สามารถยึดเกาะกับวัสดุซ่อมและเหล็กเสริมได้ดี หากพบว่าเหล็กเสริมคอนกรีตเป็นสนิมทำให้พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมลดลงเกินร้อยละ 10 ควรเปลี่ยนเหล็กเสริมนั้นหรือดามเสริมความแข็งแรง ทั้งนี้ให้เป็นไปตามดุลยพินิจของวิศวกร หรือ ผู้ควบคุมงาน

5.4.5.1 การเปลี่ยนเหล็กเสริม วิธีการที่นิยมใช้ในการเปลี่ยนเหล็กเสริมได้แก่ การตัดเหล็กเสริมส่วนที่เสียหายออกแล้วทาบต่อด้วยเหล็กใหม่โดยให้มีระยะทาบเป็นไปตามตารางที่ 1 หรือ คำนวณระยะทาบตามข้อกำหนดใน วสท 1007-34 หรือ วสท 1008-38 หรือ ACI 318 ถ้าใช้การทาบต่อด้วยวิธีการเชื่อมให้อ้างอิงตารางที่ 2 หรือจากข้อกำหนดที่ระบุไว้ใน วสท 1007-34 หรือ วสท 1008-38 หรือ ACI 318 หรือ AWS หัวข้อ D1.4 การเชื่อมและการตัดเหล็กเสริมควรกระทำโดยช่างที่มี

ประสบการณ์ ควรหลีกเลี่ยงวิธีการเชื่อมแบบชน (Butt Welding) เนื่องจากต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญสูง และ ยุ่งยากในการทำงานและการควบคุมคุณภาพ การต่อทาบด้วยการเชื่อมสำหรับเหล็กเสริมที่ขนาดใหญ่กว่า 25 มิลลิเมตร อาจมีปัญหาเนื่องจากความร้อนในการเชื่อมซึ่งทำให้เหล็กเสริมเกิดการขยายตัวและอาจทำให้คอนกรีตรอบเหล็กเสริมแตกร้าว การทาบต่อเหล็กเสริมอาจใช้การต่อชนด้วยวิธีกล (Mechanical Butt Splice)

ตารางที่ 1 ระยะทาบเหล็กเสริมโดยประมาณ

(ข้อ 5.4.5.1)

ประเภท	กำลังรับแรงดึงที่จุดคลาก (กก./ตร.ซม.)	ระยะทาบสำหรับเหล็กเสริม (มิลลิเมตร)		
		รับแรงดึง	รับแรงอัด ($f'_c \geq$ 200 กก/ตร.ซม.)	รับแรงอัด ($f'_c <$ 200 กก/ตร.ซม.)
เหล็กเส้นกลม	2,400	48 d_b	40 d_b	54 d_b
เหล็กข้ออ้อย	3,000	24 d_b	20 d_b	27 d_b
เหล็กข้ออ้อย	4,000	30 d_b	24 d_b	32 d_b
เหล็กข้ออ้อย	5,000	36 d_b	30 d_b	40 d_b

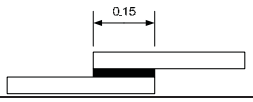
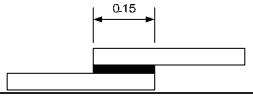
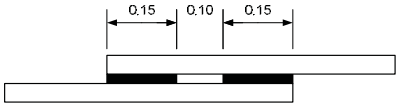
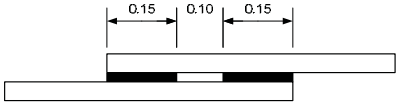
หมายเหตุ: 1. d_b = เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม (มิลลิเมตร)

2. f'_c = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน

3. ระยะทาบจริงที่ใช้ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ระบุไว้ตามตารางข้างต้น

ตารางที่ 2 ระยะทาบเหล็กเสริมด้วยวิธีการเชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อม E70

(ข้อ 5.4.5.1)

เส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม (มม.)	ขนาดขาเชื่อม (มม.)	ความยาวของการเชื่อม	รูปแบบการเชื่อม	ระยะทาบเหล็ก (ซม.)
12	7	15		15
16	7	15		15
20	10	30		40
25	10	30		40

หมายเหตุ: 1. ระยะเชื่อมทาบจริงที่ใช้ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ระบุไว้ตามตารางข้างต้น

2. ลวดเชื่อมที่ใช้ต้องเป็นลวดเชื่อมชนิด E70 เท่านั้น

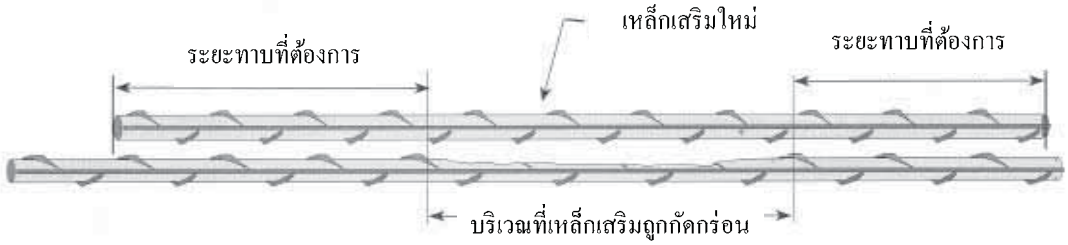
3. ระยะการเชื่อมข้างต้นใช้ได้กับเหล็กเสริมที่มีกำลังรับแรงดึงที่จุดคลากไม่เกิน 4000 กก/ตร.ซม.

5.4.5.2 การใส่เหล็กเสริมเพิ่มเติม วิธีการนี้อาจจำเป็นเมื่อเหล็กเสริมเดิมสูญเสียหน้าตัดเป็นปริมาณมากจนทำให้ปริมาณเหล็กเสริมที่เหลือไม่เพียงพอ โดยเริ่มจากการทำความสะอาดเหล็กเสริมที่เป็นสนิมด้วยวิธีการที่เหมาะสม สกัดคอนกรีตบริเวณรอบๆ ออกจนมีพื้นที่พอในการวางเหล็กเสริมใหม่ข้างเหล็กเสริมเดิมที่มีอยู่ตามหัวข้อ 5.5.2 ความยาวของเหล็กใหม่ที่ใส่เข้าไปใหม่นั้นควรเท่ากับความยาวเหล็กเสริมเดิมในช่วงที่มีความเสียหายบวกกับระยะทาบทั้ง 2 ด้านตามตารางที่ 1 หรือ คำนวณระยะทาบตามข้อกำหนดใน วสท. 1007-34 หรือ วสท. 1008-38 หรือ ACI 318

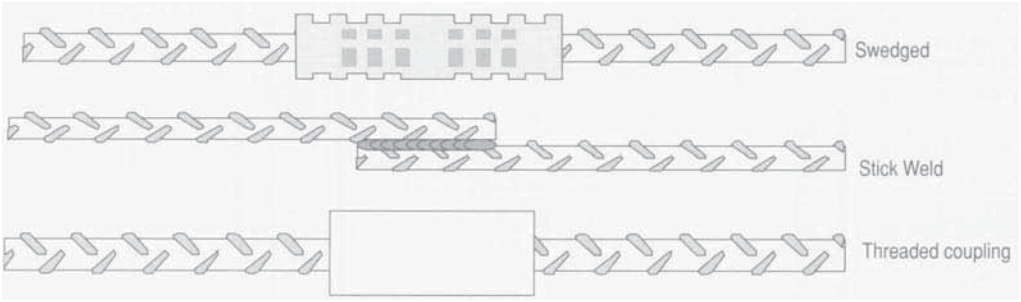
5.4.5.3 การเคลือบเหล็กเสริม เหล็กเสริมใหม่ที่ติดตั้งเพิ่มรวมถึงเหล็กเสริมเดิมภายหลังทำความสะอาด ให้เคลือบด้วยสารต่างๆ เช่น อีพอกซีเรซิน สารประเภทพอลิเมอร์ซีเมนต์ หรือสารประกอบที่มีส่วนผสมของสังกะสี เพื่อป้องกันการเกิดสนิมขึ้นใหม่ในอนาคต การทาเคลือบควรมีชั้นความหนาไม่เกิน 0.3 มิลลิเมตร (ACI 546R-04) เพื่อป้องกันการสูญเสียการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริม และในระหว่างการทาเคลือบเหล็กเสริม ต้องระวังมิให้วัสดุทาเคลือบนี้เปื้อนผิวคอนกรีตรอบๆเหล็ก

เสริมเนื่องจากวัสดุทาเคลือบผิวบางประเภท เช่น อีพอกซีเรซิน หรือสารประกอบที่มีส่วนผสมของสังกะสีนั้น อาจทำให้การยึดเกาะระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่สูญเสียไป อย่างไรก็ตามการเลือกใช้สารเคลือบเหล็กเสริมให้ขึ้นอยู่ดุลยพินิจของวิศวกร หรือผู้ควบคุมงาน

รูปที่ 18 บริเวณเหล็กเสริมที่มีการกัดกร่อนเป็นสนิม (ที่มา: ICRI 03730)
(ข้อ 5.4.5)



รูปที่ 19 บริเวณเหล็กเสริมที่มีการกัดกร่อนเป็นสนิมที่ควรได้รับการซ่อมแซม (ที่มา: ICRI 03730)
(ข้อ 5.4.5)



รูปที่ 20 การต่อเหล็กเสริมที่ใช้กับอยู่ทั่วไป (ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)
(ข้อ 5.4.5.1 และ 5.4.5.2)

5.4.6 ขั้นตอนการซ่อมแซมเหล็กเสริมสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 21 ถึง รูปที่ 24

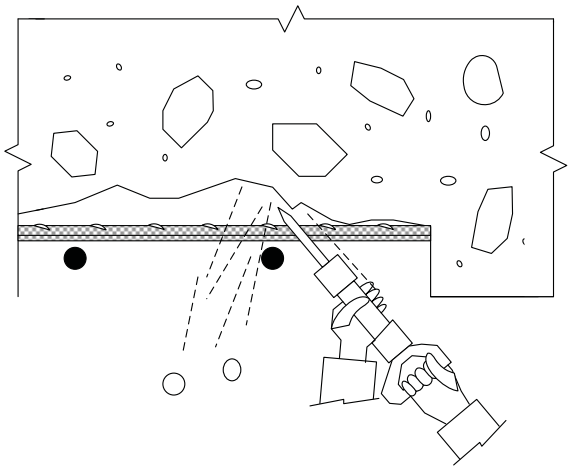
5.4.6.1 การติดตั้งค้ำยันชั่วคราว (ถ้าจำเป็นโดยให้อยู่ในดุลยพินิจของวิศวกร)

5.4.6.2 การสกัดคอนกรีตที่เสียหายออก ดังรูปที่ 21

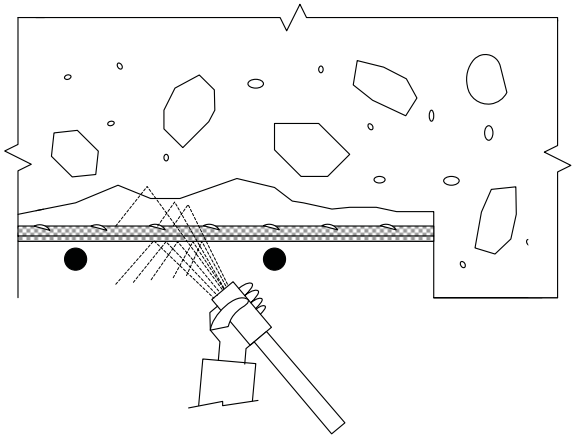
5.4.6.3 การทำความสะอาดเหล็กเสริม ดังรูปที่ 22

5.4.6.4 การปรับปรุงเหล็กเสริม ดังรูปที่ 23

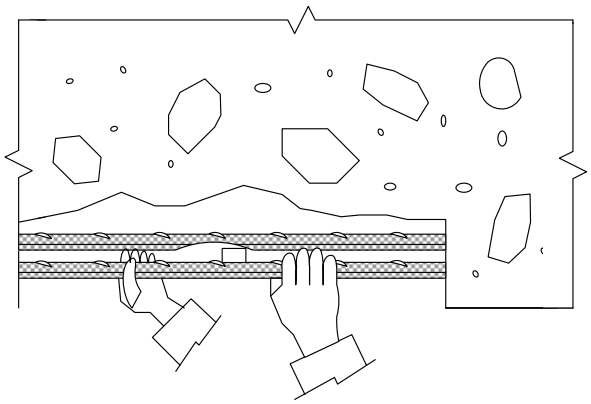
5.4.6.5 การทาผิวเคลือบเหล็กเสริม (ถ้าจำเป็น) ดังรูปที่ 24



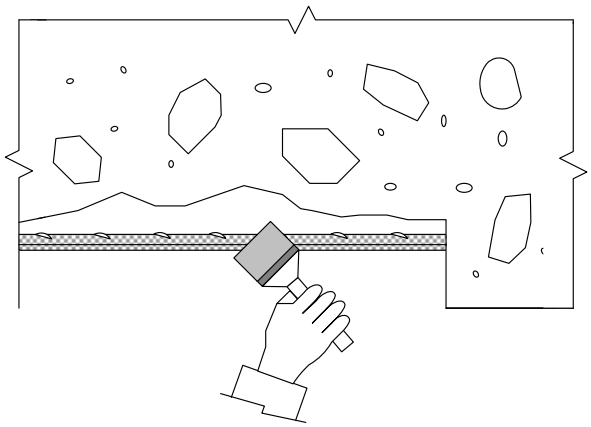
รูปที่ 21 การสกัดคอนกรีตที่เสียหายออก (ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)
(ข้อ 5.4.6.2)



รูปที่ 22 การทำความสะอาดเหล็กเสริม (ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)
(ข้อ 5.4.6.3)



รูปที่ 23 การปรับปรุงเหล็กเสริม (ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)
(ข้อ 5.4.6.4)



รูปที่ 24 การทาเคลือบผิวเหล็กเสริม (ถ้าจำเป็น) (ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)
(ข้อ 5.4.6.5)

5.5 วิธีการยึดฝัง และวัสดุที่ใช้ (Anchorage Methods and Materials)

การยึดฝังจะใช้เพื่อยึดเหล็กเสริมคอนกรีตใหม่ให้สามารถอยู่ในตำแหน่งที่กำหนด และทำให้สามารถถ่ายแรงการยึดเกาะได้ดีขึ้น วิธีการยึดฝังมี 2 วิธีคือ

5.5.1 วิธีเจาะติดตั้งภายหลัง (Post-Installed) เป็นระบบในการติดตั้งเหล็กเสริมคอนกรีตโดยวิธีการเจาะรูในคอนกรีตแล้วติดตั้งสลักเกลียว (Bolt) ในรูที่เจาะไว้แล้วด้วยน้ำยาประสานคอนกรีต หรือระบบแบ่งตัวของสลักเกลียว (Expansion Bolt) การเลือกระบบการติดตั้งควรให้วิศวกรเป็นผู้เลือกให้เหมาะสมกับระดับการใช้งาน ได้แก่ การใช้งานหนัก การใช้งานปานกลาง การใช้งานที่ไม่รับน้ำหนัก เป็นต้น[1]

5.5.2 วิธีการหล่อในที่ (Cast-in-Place) เป็นระบบในการติดตั้งสลักเกลียวหรือเหล็กเสริมในเนื้อคอนกรีตโดยการสกัดคอนกรีต และเทคอนกรีตฝังสลักเกลียวหรือเหล็กเสริมดังกล่าวไว้

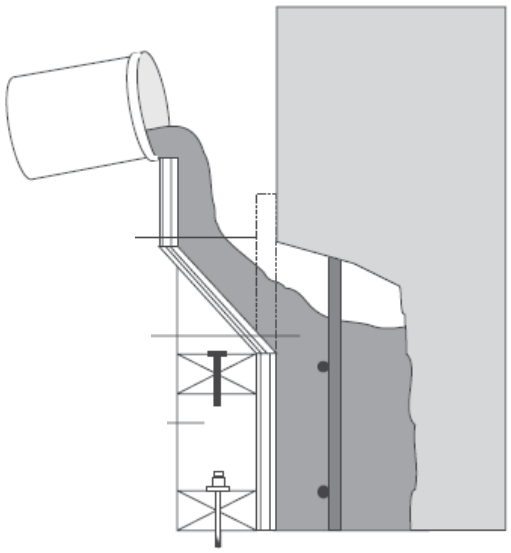
5.6 เทคนิคการติดตั้งวัสดุซ่อมแซมประเภทต่างๆ (Material Placement for Various Repair Techniques)

เทคนิคในการเทวัสดุในการซ่อมแซมมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับการเลือกเครื่องมือให้เหมาะสมในการทำงาน โดยมีแนวทางดังนี้

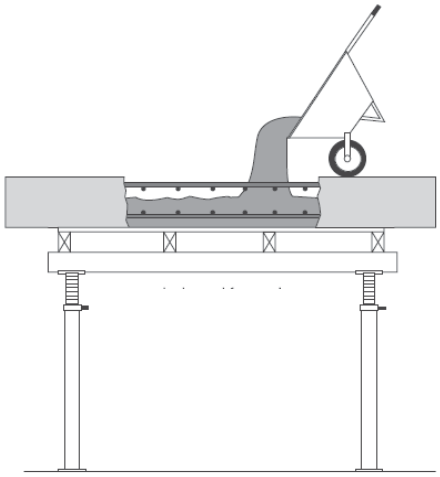
5.6.1 การเทคอนกรีตในที่

การซ่อมแซมคอนกรีตที่เสียหายด้วยการเทคอนกรีตใหม่แทนที่เป็นวิธีการที่ประหยัดที่สุด เหมาะสำหรับพื้นที่ซ่อมเป็นบริเวณกว้าง วิธีการนี้ไม่เหมาะกับบริเวณที่มีการกัดกร่อนของคอนกรีตที่รุนแรงซึ่งจะต้องมีการป้องกันการกัดกร่อนก่อนที่จะดำเนินการซ่อมแซม

[1] อาจพิจารณาใช้ตะปูเพื่อยึดฝังคอนกรีต เป็นระยะกริดทุกๆ 500 มิลลิเมตร และใช้ลวดกรงไก่เพื่อเสถียรภาพของคอนกรีตที่ซ่อมได้ ในกรณีความหนาของคอนกรีตที่จะทำการซ่อมแซมน้อยกว่า 50 มิลลิเมตร



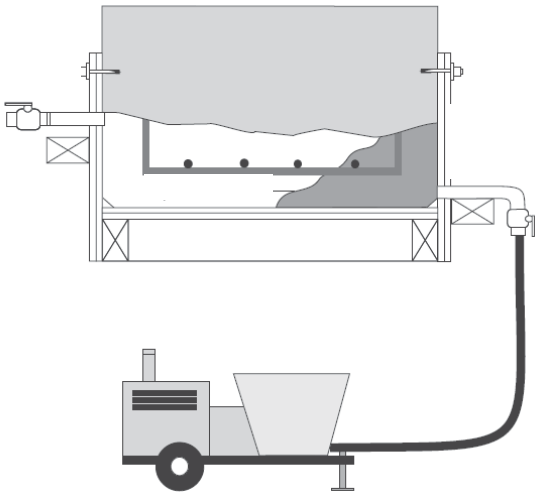
รูปที่ 25 การซ่อมแซมเพียงบางส่วนของความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้าง (ที่มา: ICRI 03731)
(ข้อ 5.6.1)



รูปที่ 26 การซ่อมแซมตลอดความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้าง (ที่มา: ICRI 03731)
(ข้อ 5.6.1)

5.6.2 การใช้ไม้แบบและการเทโดยการใช้เครื่องสูบคอนกรีต

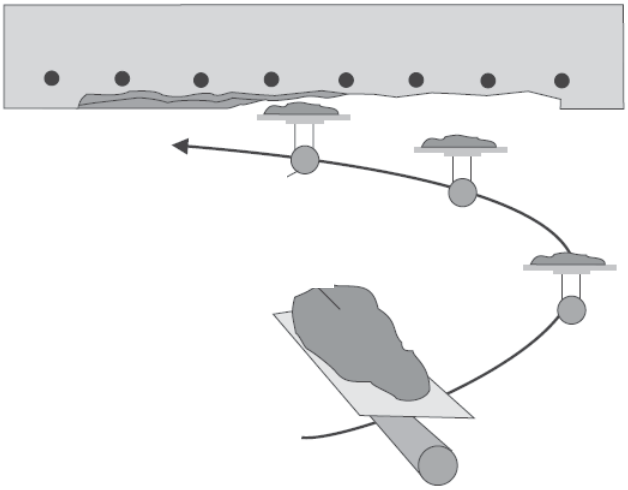
การซ่อมแซมคอนกรีตโดยการติดตั้งไม้แบบแล้วเทคอนกรีตด้วยการใช้เครื่องสูบคอนกรีตเข้าไปในไม้แบบเหมาะกับการซ่อมแซมผนังหรือบริเวณของโครงสร้างที่มีพื้นที่จำกัดไม่สามารถเทคอนกรีตด้วยวิธีปกติได้ การติดตั้งไม้แบบต้องมีความแข็งแรงพอเพียงที่จะรับแรงดันคอนกรีตได้ คอนกรีตที่ใช้จะต้องมีความเหลวสามารถไหลตัวได้ดีในที่แคบ การเขย่าหรือการกระทุ้งคอนกรีต ให้ใช้ค้อนยางทุบเบาๆ ที่ไม้แบบหรือใช้เครื่องสั่นไม้แบบ



รูปที่ 27 การซ่อมแซมโดยตั้งแบบแล้วใช้เครื่องสูบคอนกรีตเข้าไป (ที่มา: ICRI 03731)
(ข้อ 5.6.2)

5.6.3 การฉาบคอนกรีต (Troweling)

การซ่อมแซมโดยการฉาบเหมาะสำหรับการซ่อมผิวคอนกรีตที่ตื้นหรือมีพื้นที่เล็กๆ ใช้ไม้เกรียงฉาบปูนเป็นเครื่องมือ วัสดุที่ใช้ในการฉาบ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ที่มีสารประกอบพอลิเมอร์ผสม เป็นต้น[2] ไม่ควรใช้วิธีการฉาบในบริเวณที่มีเหล็กเสริมเนื่องจากอาจทำให้เนื้อปูนเข้าไม่เต็มช่องว่างหลังเหล็กเสริมได้ และให้ฉาบอย่างต่อเนื่องและต้องระวังมิให้มีช่องว่างระหว่างเนื้อคอนกรีตเดิม เนื้อคอนกรีตที่ฉาบชั้นก่อนหน้า และเนื้อคอนกรีตที่ฉาบใหม่



รูปที่ 28 การซ่อมแซมโดยการฉาบคอนกรีต (ที่มา: ICRI 03731)
(ข้อ 5.6.3)

[2] การฉาบควรทำเป็นชั้นๆ ความหนาชั้นละไม่เกิน 25 มิลลิเมตร โดยมีความหนารวมไม่เกิน 50 มิลลิเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุฉาบซ่อม

5.6.4 การใช้เครื่องมืออัดฉีดน้ำปูนหรือวัสดุเคมีภัณฑ์

การซ่อมแซมคอนกรีตโดยวิธีอัดฉีดน้ำปูนหรือวัสดุเคมีภัณฑ์ เหมาะสำหรับการซ่อมแซมรอยร้าว รอยแยก รูเปิด หรือ ผิวคอนกรีตที่เป็นรวงผึ้ง (Honeycomb) วัสดุที่ใช้ในการอัดฉีดเข้าในเนื้อคอนกรีตได้แก่ ปูนซีเมนต์ หรืออีพอกซีเรซิน เป็นต้น

5.6.4.1 การอัดฉีดด้วยน้ำปูนซีเมนต์ หรือ มอร์ต้าร์

โดยทั่วไปคอนกรีตที่ใช้ในการอัดฉีดจะประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ โดยอาจใส่หรือไม่ใส่มวลรวมละเอียด นอกจากนี้อาจมีส่วนผสมของสารผสมเพิ่ม (Adhesive) คุณสมบัติพิเศษอื่นๆ เช่น สารป้องกันการหดตัว เป็นต้น นำมาผสมรวมกัน เพื่อให้สามารถอัดฉีดเข้าไปในรอยร้าวได้โดยไม่มีการแยกตัว กระบวนการในการอัดฉีดโดยทั่วไปสามารถแยกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การอัดฉีดจากทางผิวด้านนอก และการอัดฉีดจากภายใน โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) การอัดฉีดจากทางผิวด้านนอก (Grouting from Surface) ทำโดยเจาะรูที่ผิวนอกเพื่อฝังท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อยประมาณ 25 มิลลิเมตร และลึกอย่างน้อย 50 มิลลิเมตร จำนวน 2 รูตามแนวของรอยร้าว โดยรูแรกใช้ในการอัดฉีด ส่วนรูที่สองใช้เป็นรูควบคุม รอยร้าวที่อยู่ระหว่างท่อทั้งสองท่อจะถูกอุดด้วยน้ำปูนหรือปิดด้วยสารที่มีส่วนผสมของเรซิน แรงดันหรือแรงอัดที่ใช้ในการอัดฉีดเป็นปัจจัยหลักข้อหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับวิธีการนี้ ในบางกรณีการใช้เครื่องมือแบบอัดฉีดขนาดเล็กที่มีหัวฉีดเป็นรูปโคนอาจเพียงพอสำหรับการอัดฉีดที่ต้องการแรงดันประมาณ 350 กิโลปาสกาล ถ้าในกรณีที่รอยร้าวหรือรูเปิดมีลักษณะเป็นแบบร้าวทะลุไปตามโครงสร้าง เช่น กำแพง จะต้องเจาะรูเพื่อฝังท่อที่อีกด้านของผนังหรือโครงสร้างด้วย ในกรณีที่ความสวยงามภายนอกมิใช่ปัจจัยหลัก การปิดหรืออุดแนวรูเปิดรวมทั้งรอยร้าวต่างๆ ที่ผิวอาจใช้ผ้าหรือวัสดุประเภทเส้นใยที่ยอมให้น้ำผ่านแต่กั้นอนุภาคของแข็งไว้ ระยะระหว่างท่ออัดฉีดจะกำหนดเป็นการเฉพาะในแต่ละงาน โดยทั่วไประยะห่างระหว่างท่ออัดฉีดควรกว้างกว่าความลึกที่ต้องการอัดฉีด ก่อนเริ่มการอัดฉีดให้ทำความสะอาดรอยร้าวหรือรูเปิดต่าง ๆ ด้วยการฉีดน้ำเข้าไปผ่านท่อที่ได้ฝังไว้แล้ว การฉีดด้วยน้ำเป็นขั้นตอนสำคัญโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อ (1) ทำให้ผิวคอนกรีตมีความชื้นพอเหมาะเพื่อช่วยให้วัสดุที่อัดฉีดมีการไหลที่ดีขึ้น (2) ตรวจสอบประสิทธิภาพของท่ออัดฉีดและรอยที่ถูกปิดว่ามีการรั่วซึมหรือไม่ (3) ตรวจสอบรูปแบบการไหลของวัสดุที่ถูกอัดหรือพิจารณาผลที่ไม่พึงประสงค์ต่างๆที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการอัดฉีดจริง การเริ่มการอัดฉีดอาจจะเริ่มจากฝั่งหนึ่งของรูเปิดในกรณีที่รอย

ร้าวอยู่ในแนวนอน หรือด้านล่างสุดของรูเปิดในกรณีที่รอยร้าวหรือรูเปิดอยู่ในแนวดิ่งไปจนกระทั่งวัสดุที่อัดฉีดวิ่งผ่านท่ออีกท่อหนึ่งที่ติดตั้งเพื่อควบคุม

(2) การอัดฉีดภายใน (Interior Grouting) เป็นการอัดฉีดรอยร้าว รอยต่อหรือโพรงที่มีอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตโดยการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ในทิศทางที่วิ่งผ่านช่องว่างหรือโพรง โดยพยายามเจาะเข้าไปที่ส่วนลึกที่สุดของโพรง หัวเจาะที่เหมาะสมในการเจาะ ได้แก่ หัวเจาะที่ทำจากเพชร (Diamond Core) หรือหัวเจาะคาร์ไบด์ (Carbide Bits) หัวเจาะที่ทำจากเพชรเหมาะกับรอยร้าวหรือโพรงที่มีลักษณะแคบ การเจาะด้วยหัวเจาะประเภทนี้จะเกิดเศษวัสดุน้อยมากซึ่งทำให้โอกาสที่เศษวัสดุที่แตกจะเข้าไปอุดรูหรือโพรงมีน้อยตามไปด้วย และเมื่อเสร็จสิ้นการเจาะแล้วให้ใช้ลมดูดเศษวัสดุที่ตกค้างจากการเจาะออกมาเพื่อมิให้ไปอุดรอยร้าว สำหรับรอยร้าวหรือรูเปิดที่มีขนาดกว้างประมาณ 12 มิลลิเมตรหรือมากกว่า การเจาะแบบตัด (Drill Cutting) จะเหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามควรทำความสะอาดโดยการฉีดน้ำเข้าไปก่อนการอัดฉีดจริงทุกครั้งภายหลังการเจาะแล้วเสร็จไม่ว่าจะใช้วิธีการใดในการเจาะก็ตาม

(3) ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการอัดฉีดด้วยน้ำปูนซีเมนต์ หรือมอร์ต้าร์ ได้แก่ วิธีการนี้สามารถใช้งานได้ดีเมื่อขนาดรอยร้าวกว้างพอที่จะรับสารแขวนลอยของแข็งที่ใช้ การอัดฉีดด้วยปูนซีเมนต์หรือมอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมของลาเทกซ์ (โดยอาจจะมีหรือไม่มีวัสดุปอซโซลานก็ได้) ในอัตราส่วนน้ำ 83 ลิตรต่ออนุภาคของแข็ง (ปริมาณซีเมนต์รวมกับสารผสมเพิ่ม) 10 กิโลกรัม โดยกำหนดอัตราส่วนน้ำต่ออนุภาคของแข็งประมาณ 0.8 : 1 จะสามารถใช้งานได้ดีเมื่อความกว้างของรอยร้าวมากกว่า 3 มิลลิเมตร และเมื่อขนาดความกว้างของรอยร้าวเพิ่มขึ้นเป็น 6 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมอาจลดลงเหลือเพียง 42 ถึง 50 ลิตรต่อปริมาณอนุภาคของแข็ง 100 กิโลกรัม โดยกำหนดอัตราส่วนน้ำต่ออนุภาคของแข็งประมาณ 0.5 ถึง 0.4 สำหรับรอยร้าวขนาด 12 มิลลิเมตร การอัดฉีดด้วยน้ำปูนซีเมนต์ผสมมวลรวมละเอียดอาจทำได้โดยมวลรวมละเอียดที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM C33 การอัดฉีดด้วยน้ำปูนซีเมนต์หรือมอร์ต้าร์ซึ่งมีส่วนผสมของสารผสมเพิ่มพิเศษอื่นๆ เหมาะกับงานซ่อมแซมรอยร้าวที่ตอม่อของสะพาน หรือกำแพง หรือบริเวณอื่นใดที่ต้องการให้มีความสามารถในการรับแรงอัดและแรงเฉือน การอัดฉีดด้วยคอนกรีตที่มีสารผสมเพิ่มพิเศษสามารถใช้ในบริเวณที่ต้องการรับแรงดึงได้บ้างแต่ต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับแรงดึงซึ่งต่ำมากสำหรับวัสดุประเภทนี้ สำหรับการอัดฉีดเพื่ออุดรอยร้าว

ในองค์อาคารที่ต้องการเก็บน้ำ อาจใช้การอัดฉีดด้วยน้ำปูนซีเมนต์หรือมอร์ต้าร์ที่ผสมจากปูนซีเมนต์ที่ขยายตัวได้ (Expansive Cement)

5.6.4.2 การอัดฉีดด้วยสารเคมี

(1) การอัดฉีดด้วยสารเคมีที่ใช้ในมาตรฐานนี้ หมายถึง การอัดฉีดด้วยวัสดุเหลวทุกชนิดที่มิได้อาศัยของแข็งแขวนลอยในการทำปฏิกิริยา และภายหลังจากการอัดฉีดวัสดุที่ใช้ควรจะแข็งตัวได้โดยที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายหรือผลกระทบต่อเหล็กเสริมและคอนกรีตที่อยู่รอบๆบริเวณที่ถูกอัดฉีด โดยทั่วไปสารเคมีที่ใช้ในการอัดฉีดจะประกอบด้วยวัสดุ 2 ประเภท ซึ่งนำมาผสมกันหน้างาน หรืออาจเป็นการผสมกันระหว่างสารเคมีกับน้ำ หรือ สารเคมีกับความชื้นที่มีอยู่ภายในรูเปิดหรือรอยร้าวซึ่งอาจเกิดจากการฉีดน้ำเข้าไป สารเคมีที่ใช้อัดฉีดอาจประกอบด้วยวัสดุหลายประเภท เพื่อให้การอัดฉีดมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด การอัดฉีดสารเคมีสามารถใช้ได้ทั้งแบบอัดฉีดจากทางผิวด้านนอก (Grouting from Surface) และอัดฉีดภายใน (Interior Grouting) เช่นเดียวกับการอัดฉีดด้วยน้ำปูนหรือซีเมนต์ แตกต่างกันเพียงแค่ขนาดของท่ออัดฉีดสารเคมีจะมีขนาดเพียง 3 ถึง 6 มิลลิเมตร และติดตั้งโดยการยึดฝังทางกลหรือใช้ปูนทายึดไว้กับคอนกรีตเดิม

(2) ปัจจัยที่ควรพิจารณาสำหรับวิธีการนี้ ได้แก่ การพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุอัดฉีดภายหลังจากการก่อตัวแล้วว่าต้องการให้มีลักษณะแข็งตัว หรือต้องการให้มีลักษณะเป็นโฟมหรือเจลที่ยืดหยุ่นได้ วัสดุประเภทอีพอกซีเป็นตัวอย่างของวัสดุอัดฉีดประเภทแข็งตัว ส่วนพอลิยูเรเทนเป็นตัวอย่างของสารเคมีประเภทโฟมหรือเจลที่มีลักษณะยืดหยุ่น

(3) สารเคมีประเภทที่แข็งตัวจะยึดเกาะได้ดีกับผิวคอนกรีตที่แห้งสนิท และอาจยึดเกาะได้บ้างกับผิวที่มีความชื้นเล็กน้อย วัสดุประเภทนี้สามารถช่วยให้คอนกรีตมีกำลังรับน้ำหนักได้ดีเหมือนเดิม และสามารถป้องกันการขยับตัวหรือขยายตัวของรอยร้าว แต่ถ้าในอนาคตบริเวณดังกล่าวต้องต้านทานแรงดึงหรือแรงเฉือน รอยร้าวใหม่ก็อาจเกิดขึ้นได้อีกในบริเวณใกล้ๆ รอยร้าวเดิม การอัดฉีดด้วยสารเคมีประเภทแข็งตัวนี้สามารถใช้กับรอยร้าวที่มีขนาดกว้าง 0.05 มิลลิเมตรขึ้นไป (ACI 546-04)[3] ซึ่งความสามารถในการซึมผ่านของสารเคมีประเภทโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับ ความหนืด แรงอัดที่ใช้ อุณหภูมิ รวมถึงระยะเวลาในการแข็งตัว

[3] โดยทั่วไปในประเทศไทย การอัดฉีดรอยร้าวด้วยสารเคมีประเภทแข็งตัวใช้งานกับรอยร้าวที่มีความกว้างอยู่ในช่วง 0.3 ถึง 2 มิลลิเมตร

(4) วัสดุที่เป็นโฟมหรือเจลที่มีความยืดหยุ่นนั้น ใช้เพื่อให้คอนกรีตมีความทึบหรือป้องกันมิให้น้ำผ่าน วัสดุประเภทนี้ไม่ช่วยให้โครงสร้างคืนกำลังรับน้ำหนักได้เหมือนเดิม แต่จะช่วยให้รอยร้าวดังกล่าวทึบน้ำเท่านั้น ดังนั้นวัสดุประเภทโฟมหรือเจลที่ยืดหยุ่นนี้จึงมีส่วนผสมของน้ำ และอาจมีการหดตัวหากทิ้งไว้ให้แห้งสนิท แต่อย่างไรก็ตามจะมีการคืนสภาพและขยายตัวหากได้รับความชื้นอีกครั้ง สารเคมีประเภทนี้บางชนิดสามารถผสมในลักษณะที่เหลวคล้ายน้ำ และสามารถอัดฉีดในลักษณะที่เหมือนกับการฉีดน้ำได้ สารเคมีประเภทนี้สามารถใช้กับรอยร้าวที่มีความกว้าง 100 มิลลิเมตรได้ด้วย

5.6.4.3 การเลือกประเภทของการอัดฉีด ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(1) รอยร้าวที่มีอยู่ภายหลังจากอัดฉีดเสร็จแล้วต้องรับแรงประเภทใดบ้าง เช่น แรงอัด แรงกด แรงดึง แรงเฉือน หรือร่วมกัน

(2) รอยร้าวดังกล่าวยังสามารถขยายตัวได้อีกหรือไม่ รวมทั้งโอกาสที่รอยร้าวดังกล่าวจะแตกเพิ่มเติมในอนาคต

(3) รอยร้าวดังกล่าวต้องป้องกันไม่ให้อากาศผ่านหรือต้องมีคุณสมบัติทึบน้ำหรือไม่

(4) ความกว้างของรอยร้าวดังกล่าวเหมาะกับประเภทของการอัดฉีดที่เลือกหรือไม่

(5) แรงดันที่ใช้ในการอัดฉีดมีค่ามากกว่ากำลังรับแรงของโครงสร้างหรือไม่

(6) อัตราในการอัดฉีดมีความเหมาะสมกับสภาพรอยร้าวที่มีอยู่หรือไม่

(7) ความร้อนที่เกิดจากกระบวนการก่อตัวโดยเฉพาะการอัดฉีดด้วยสารเคมีมีมากเกินไปหรือไม่

(8) ค่าใช้จ่ายในการอัดฉีดมีความเหมาะสมคุ้มค่าหรือไม่

(9) อัตราการหดตัว การคืบตัว หรือการการดูดซึมความชื้นของวัสดุอัดฉีดเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของโครงการหรือไม่

(10) ระยะเวลาใช้งานภายหลังการผสม (Pot Life) ของวัสดุอัดฉีดเหมาะสมกับระยะเวลาที่ใช้ในการอัดฉีดหรือไม่

(11) สภาพความชื้นที่มีอยู่ในพื้นผิวคอนกรีตเดิมจะมีผลกระทบต่อการยึดเกาะของวัสดุอัดฉีดหรือไม่

(12) วัสดุอัดฉีดโดยเฉพาะอีพอกซีเรซินสามารถก่อตัวหรือแข็งตัวภายใต้สภาพความชื้นที่มีอยู่ในรอยร้าวได้หรือไม่

6. วัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงวัสดุซ่อมแซมประเภทต่างๆที่ใช้ในการซ่อมแซมหรือเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีต คุณสมบัติทั่วไป ประโยชน์ ข้อจำกัด การใช้งาน และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องในวัสดุซ่อมแซมแต่ละประเภท รวมทั้งข้อเสนอแนะในการเลือกใช้วัสดุซ่อมแซมแต่ละประเภทด้วย สำหรับตัวอย่างของคุณสมบัติของวัสดุที่กล่าวถึงในบทนี้ได้รวบรวมไว้ในภาคผนวกที่ 1

6.1 วัสดุประเภทที่มีส่วนประกอบของซีเมนต์ (Cementitious)

คอนกรีต ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนทราย หรือวัสดุซีเมนต์ประสานอื่นๆที่มีส่วนประกอบคล้ายกับคอนกรีตดั้งเดิมที่จะซ่อมแซม เป็นทางเลือกของวัสดุซ่อมแซมที่ดีที่สุด เพราะมีคุณสมบัติเหมือนกับคอนกรีตดั้งเดิม วัสดุซ่อมใหม่อื่นๆ ที่เลือกใช้ต้องเข้ากันได้กับคอนกรีตเดิมด้วย

6.1.1 คอนกรีตธรรมดา (Conventional Concrete)

คอนกรีตธรรมดาทั่วไปที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวมและน้ำ และสารผสมเพิ่มประเภทต่างๆ เช่น สารกระจายกักฟองอากาศ สารเร่งหรือหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่น สารเพิ่มความสามารถในการเทได้ สารลดน้ำ สารเพิ่มกำลังหรือเปลี่ยนคุณสมบัติอื่นๆของคอนกรีต เป็นต้น รวมถึงวัสดุปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย หรือซิลิกาฟูม อาจใช้ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อความประหยัด หรือเพื่อคุณสมบัติพิเศษบางประการ เช่น ลดความร้อนเริ่มต้นในปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เพิ่มกำลังอัด ลดการซึมผ่านของน้ำ หรือเพิ่มความต้านทานต่อปฏิกิริยาระหว่างอัลคาไลกับมวลรวม (Alkaline-Aggregate Reaction: AAR) หรือเพิ่มความต้านทานต่อสารซัลเฟต ส่วนผสมของคอนกรีตที่ดีต้องทำให้เกิดความสามารถในการเทได้สูง มีความหนาแน่น ความแข็งแรง และความทนทานเหมาะแก่ความต้องการใช้งาน เพื่อลดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว คอนกรีตที่ใช้เป็นวัสดุซ่อมควรมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำเท่าที่จะทำได้ และมีปริมาณมวลรวมหยาบสูงเท่าที่จะทำได้ การผสม การขนส่ง และการเทคอนกรีตควรทำตามข้อแนะนำในมาตรฐานนี้ตามหัวข้อ 7.8

6.1.1.1 ประโยชน์

(1) คอนกรีตธรรมดาสามารถหาได้ง่าย ประหยัด และมีคุณสมบัติเหมือนคอนกรีตดั้งเดิมที่จะซ่อมแซม

(2) สามารถผลิต เท ตกแต่งและบ่มได้ง่าย คอนกรีตธรรมดาสามารถเทใต้น้ำได้ง่าย โดยอาศัยวิธีที่เป็นที่รู้จักกันกว้างขวาง แต่ต้องระมัดระวังให้คอนกรีตเป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอด วิธีการเทคอนกรีตใต้น้ำที่นิยมใช้ คือ ใช้ท่อเทคอนกรีตใต้น้ำ (Trimie) หรือใช้เครื่องสูบ

6.1.1.2 ข้อจำกัด

(1) ไม่ควรใช้คอนกรีตธรรมดาในการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตที่เสียหายจากสภาพแวดล้อม ถ้าสภาพแวดล้อมเดิมนั้นยังคงอยู่เพราะจะทำให้คอนกรีตใหม่เสียหายในลักษณะเช่นเดิมอีก

(2) เมื่อใช้คอนกรีตธรรมดาเททับหน้าเพื่อซ่อมแซมคอนกรีตเดิมที่เสียหาย จะเกิดปัญหาการหดตัวที่มากกว่าเมื่อเทียบกับคอนกรีตเดิมที่มีการหดตัวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการพิจารณาถึงคุณสมบัติของการหดตัว และการบ่มที่เหมาะสมจึงเป็นเรื่องที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ

6.1.1.3 การใช้งาน

การซ่อมแซมด้วยคอนกรีตธรรมดานิยมใช้ในการซ่อมแซมที่มีความหนามากหรือมีปริมาตรของวัสดุซ่อมสูง ถ้าเป็นกรณีของการเททับหน้าต้องมีความหนามากกว่า 50 มิลลิเมตร คอนกรีตธรรมดานี้เหมาะกับการซ่อมพื้น ผนัง เสา และตอม่อ

6.1.1.4 มาตรฐาน

มาตรฐาน มยผ 1201 ถึง มยผ 1212 ASTM C94 ACI 304R ACI 304.1R ACI 304.2R และ ACI 304.6R กล่าวถึงการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ และการขนส่งไปยังผู้ซื้อในสภาพคอนกรีตสดที่ยังไม่แข็งตัว

6.1.2 ปูนทรายธรรมดา (Conventional Mortar)

ปูนทรายหรือมอร์ต้าร์เป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวมละเอียด น้ำ และสารผสมเพิ่มอื่นๆ เพื่อลดน้ำและลดการหดตัว

6.1.2.1 ประโยชน์

ประโยชน์ของปูนทรายเหมือนกับการใช้คอนกรีต นอกจากนี้ปูนทรายยังสามารถใช้กับหน้าตัดที่บางกว่าได้ และมีการใช้ปูนทรายสำเร็จรูปกันอย่างกว้างขวางซึ่งเหมาะกับการซ่อมโครงสร้างที่มีความเสียหายเล็กน้อย

6.1.2.2 ข้อจำกัด

ปูนทรายจะเกิดการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าคอนกรีต เนื่องจากมีสัดส่วนของน้ำต่อปริมาณซีเมนต์และอัตราส่วนของซีเมนต์เพสต์ต่อมวลรวมสูงกว่าคอนกรีต รวมถึงการไม่มีมวลรวมหยาบด้วย

6.1.2.3 การใช้งาน

ปูนทรายสามารถใช้ได้ดีเมื่อต้องการซ่อมแซมหน้าตัดที่บางๆ (ความหนาอยู่ในช่วงประมาณ 10 ถึง 50 มิลลิเมตร) การใช้ซ่อมผิวจราจรซึ่งมีแรงกระทำเป็นวัฏจักร

(Cyclic Loading) จำเป็นต้องมีการพิจารณาเป็นพิเศษ และต้องมีการทดสอบภายใต้สภาพการใช้งานจริงเพื่อยืนยันประสิทธิภาพของวัสดุและการติดตั้ง

6.1.2.4 มาตรฐาน

มาตรฐาน มยผ. 1201 ถึง มยผ. 1212 และ ASTM C387 ได้กล่าวถึงผลิตภัณฑ์ คุณสมบัติ การบรรจุและการทดสอบวัสดุผสมคอนกรีตและปูนทราย นอกจากนี้ควรให้ความสนใจคุณสมบัติอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง เช่น การหดตัว และความทนทานเป็นพิเศษด้วย

6.1.3 ปูนทรายสูตรพิเศษ (Proprietary Repair Mortar)

ปูนทรายสูตรพิเศษคือปูนทรายสำเร็จรูปที่เป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หรือปูนซีเมนต์พิเศษอื่นๆ สารผสมเพิ่ม สารลดน้ำ สารเพิ่มการขยายตัว สารทำให้แน่นตัว สารเร่ง พอลิเมอร์ หรือมวลรวมละเอียด

6.1.3.1 ประโยชน์

ความสะดวกในการใช้ที่หน้างาน และมีผลิตภัณฑ์ให้เลือกใช้ได้หลายประเภทซึ่งเหมาะกับลักษณะทางกายภาพหรือลักษณะทางกลที่ต้องการของแต่ละงาน เช่น การซ่อมแซมพื้นผิวในแนวดิ่งและเหนือหัวของโครงสร้างที่มีความหนาปานกลาง โดยไม่ต้องใช้ไม้แบบ ซึ่งต้องการเวลาในการก่อตัวและการบ่มที่น้อยกว่าปกติ เป็นต้น

6.1.3.2 ข้อจำกัด

ปูนทรายสูตรพิเศษมีคุณสมบัติทางกลที่แตกต่างกันมากกว่าคอนกรีต เพราะอาจผสมด้วยปริมาณปูนซีเมนต์ที่สูงกว่าและสารปรับคุณสมบัติอื่นๆ จึงทำให้หดตัวมากกว่าคอนกรีตธรรมดาทั่วไป การใช้งานปูนทรายสูตรพิเศษต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด

6.1.3.3 การใช้งาน

ปูนทรายพิเศษบางสูตรสามารถใช้ซ่อมกับความหนาตั้งแต่ 3 มิลลิเมตรขึ้นไป (ACI 546R-04) การใช้ซ่อมผิวจราจรซึ่งมีแรงกระทำเป็นวัฏจักรจำเป็นต้องมีการพิจารณาเป็นพิเศษ และต้องมีการทดสอบภายใต้สภาพการใช้งานจริงเพื่อยืนยันประสิทธิภาพของวัสดุและการติดตั้ง

6.1.3.4 มาตรฐาน

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับปูนทรายสูตรพิเศษคือมาตรฐาน ASTM C928

6.1.4 คอนกรีตเสริมเส้นใย (Fiber-Reinforced Concrete)

โดยทั่วไปแล้ว คอนกรีตเสริมเส้นใยจะใช้เส้นใยโลหะหรือเส้นใยพอลิเมอร์เพื่อต้านทานการหดตัวแบบพลาสติก (Plastic Shrinkage) และการหดตัวเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage) และการ

ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการแตกร้าว โดยส่วนใหญ่การเสริมเส้นใยจะไม่ใช้เพื่อเสริมกำลังให้คอนกรีต เส้นใยที่ใช้อาจเป็นเส้นใยเหล็ก เส้นใยแก้ว เส้นใยสังเคราะห์ หรือเส้นใยธรรมชาติ คอนกรีตเสริมเส้นใยสามารถใช้ในการซ่อมทั้งโดยวิธีเทคอนกรีตปกติ และวิธีดาดคอนกรีต ข้อมูลเกี่ยวกับการดาดคอนกรีตอ้างอิงได้ตามเอกสาร ACI 544.3R ACI 544.4R และ ACI 506.1R

6.1.4.1 ประโยชน์

การผสมเส้นใยเข้าไปในคอนกรีตระหว่างกระบวนการผลิตและอยู่ในคอนกรีตในระหว่างที่เท สามารถใช้เพื่อเสริมกำลังในชั้นที่บางมากๆ ในขณะที่เหล็กเสริมทั่วไปไม่สามารถใช้ได้ การใช้เส้นใยจะเพิ่มความทนทานและลดการหดตัวแบบพลาสติกในวัสดุซ่อมแซมได้

6.1.4.2 ข้อจำกัด

การเพิ่มเส้นใยในคอนกรีตจะเป็นการเพิ่มความหนืด ทำให้เกิดปัญหาในการเทสำหรับผู้ไม่มีประสบการณ์ นอกจากนี้อาจมีปัญหาสนิมเหล็กเกิดขึ้นบนพื้นผิวในกรณีที่ใช้คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก การใช้งานคอนกรีตเสริมเส้นใยต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด

6.1.4.3 การใช้งาน

คอนกรีตเสริมเส้นใยสามารถใช้ในงานพื้นคอนกรีต คอนกรีตทับหน้า งานเสถียรภาพเชิงลาด และการเสริมกำลังของโครงสร้าง เช่น คานโค้ง และหลังคาโค้ง นอกจากนี้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถซ่อมแซมด้วยการดาดโดยคอนกรีตเสริมเส้นใย การพิจารณาเลือกวัสดุให้อยู่ในดุลยพินิจของวิศวกร

6.1.4.4 มาตรฐาน

มาตรฐาน ASTM C1116 อธิบายถึงคุณสมบัติของวัสดุ การผสม การขนส่ง และการทดสอบคอนกรีตเสริมเส้นใยและคอนกรีตดาด

6.1.5 คอนกรีตชดเชยการหดตัว (Shrinkage Compensating Concrete)

คอนกรีตชดเชยการหดตัว คือ คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ที่มีการขยายตัวเพื่อช่วยชดเชยการหดตัวของคอนกรีตเมื่อแห้ง วัสดุและวิธีการพื้นฐานคล้ายคลึงกับที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สำหรับคอนกรีตคุณภาพสูง

6.1.5.1 ประโยชน์

การขยายตัวของคอนกรีตชดเชยการหดตัวจะจำกัดโดยเหล็กเสริมคอนกรีต หรือ การยึดรั้งจากภายนอก ผลจากการหดตัวเมื่อแห้งอาจทำให้หน่วยการขยายตัวลดลงด้วย

อย่างไรก็ดีการขยายตัวที่เหลืออยู่ของคอนกรีตชนิดนี้จะช่วยลดการแตกร้าวจากการหดตัวของคอนกรีตได้

6.1.5.2 ข้อจำกัด

(1) วัสดุ สัดส่วนการผสม การเทและการบ่ม ควรทำให้เกิดการขยายตัว และหน่วยแรงอัดที่พอเพียงเพื่อชดเชยการหดตัวที่จะเกิดขึ้น ในเอกสาร ACI 223 ได้กล่าวถึงเกณฑ์และวิธีปฏิบัติที่จำเป็นเพื่อทำให้เกิดการขยายตัวขึ้นในเวลาและขนาดที่ต้องการ การบ่มที่อุณหภูมิต่ำอาจทำให้การขยายตัวลดลงได้

(2) คอนกรีตชดเชยการหดตัว อาจไม่เหมาะในการเททับหน้าคอนกรีตปอร์ตแลนด์ธรรมดาเดิม เพราะจะเกิดการยึดรั้งที่ผิวมากเกินไป แรงที่เกิดจากการขยายตัวอาจสามารถดันผนังหรือทำลายแบบหล่อที่ล้อมรอบบริเวณที่เทได้

6.1.5.3 การใช้งาน

เหมาะที่จะใช้ซ่อมผิวพื้น ทางเท้า หรือโครงสร้างคอนกรีต เพื่อลดรอยร้าวจากการหดตัว โดยทั่วไปใช้ในงานซ่อมแซมที่มีพื้นที่จำกัดซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าการใช้ซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัว

6.1.5.4 มาตรฐาน

(1) มาตรฐาน ASTM C845 ได้กล่าวถึงคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกส์ขยายตัว (Expansive Hydraulic Cement) และข้อจำกัดรวมถึงกำลัง ระยะเวลาก่อตัว และการขยายตัวของปูนซีเมนต์ด้วย

(2) มาตรฐาน ASTM C806 กล่าวถึงคุณสมบัติการขยายตัวของมอร์ต้าร์

(3) มาตรฐาน ASTM C878 กล่าวถึงคุณสมบัติการขยายตัวของคอนกรีต

6.1.6 ซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัว (Nonshrink Cement Grout)

ซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัว เป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกส์ มวลรวมละเอียด และสารผสมเพิ่ม ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำแล้ว จะได้เป็นสารละลายที่มีความเป็นพลาสติก ไหลได้ดีหรือมีความข้นเหลวคงที่ ซึ่งส่วนผสมจะไม่แยกตัว สารผสมเพิ่มที่ใช้ผสมในน้ำยาอัดฉีดอาจจะเป็นสารเร่งหรือหน่วงการก่อตัว สารลดการหดตัว สารเพิ่มความสามารถในการใช้เครื่องสูบหรือสารเพิ่มความสามารถในการเทได้ หรือสารเพิ่มความทนทานในบางกรณีอาจใช้เถ้าลอยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกรณีที่ต้องมีการอัดฉีดซีเมนต์เกราท์ชนิดไม่หดตัวเป็นปริมาณมาก[4]

[4] นอกจากนี้ก็อาจจะใช้ซิลิกาฟูมเพื่อเพิ่มความต้านทานต่อสารเคมี เพิ่มความหนาแน่น เพิ่มความทนทาน เพิ่มกำลัง และลดความสามารถในการดูดซึมได้

6.1.6.1 ประโยชน์

ซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัว มีความประหยัด ใช้งานง่าย และเข้ากันได้ดีกับคอนกรีต สารผสมเพิ่มสามารถปรับปรุงซีเมนต์เกร้าท์ให้ได้คุณภาพตามลักษณะของงานที่ต้องการ

6.1.6.2 ข้อจำกัด

ซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวสามารถใช้ซ่อมโดยการอัดฉีดเท่านั้น และใช้ได้ในที่มีความกว้างพอที่จะรองรับอนุภาคของแข็งที่ผสมอยู่ในน้ำปูน โดยทั่วไปใช้กับรอยร้าวขนาดตั้งแต่ 3 มิลลิเมตรขึ้นไป (ACI 546R-04) หรือให้ขึ้นกับดุลยพินิจของวิศวกร

6.1.6.3 การใช้งาน

การใช้งานโดยทั่วไปของซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัว สามารถใช้เป็นสารเพิ่มความยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่ หรือเพื่อประสานรอยร้าวที่มีขนาดกว้างไปจนถึงการเติมช่องว่างภายนอกหรือภายใต้โครงสร้างคอนกรีต ซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวสามารถใช้ซ่อมรอยกะเทาะหรือรูพรุนแบบรวงผึ้งของคอนกรีต หรือใช้เพื่อติดตั้งสมอยึดในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

6.1.6.4 มาตรฐาน

ASTM C1107 กล่าวถึงซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพ สามารถใช้กับบริเวณที่รับแรงกระทำ และไม่ต้องการให้เกิดการหดตัวในขณะที่ติดตั้ง เช่น เพื่อรองรับโครงสร้างหรือเครื่องจักร เป็นต้น

6.1.7 ซีเมนต์ก่อตัวเร็ว (Rapid-Setting Cement)

ซีเมนต์ก่อตัวเร็ว คือ ปูนซีเมนต์ที่มีระยะเวลาก่อตัวสั้น ซีเมนต์ก่อตัวเร็วบางประเภทสามารถพัฒนากำลังอัดได้เร็วถึง 17 เมกาปาสกาล (170 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ภายใน 3 ชั่วโมง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 เป็นตัวอย่างซีเมนต์ก่อตัวเร็วที่นิยมใช้ในการซ่อมแซมคอนกรีตที่เสียหายทั้งหน้าตัดมากกว่าวัสดุอื่น

6.1.7.1 ประโยชน์

ซีเมนต์ก่อตัวเร็วให้กำลังสูงได้ในเวลาสั้น ทำให้โครงสร้างที่ได้รับการซ่อมแซมกลับมาใช้งานได้ใหม่อย่างรวดเร็ว

6.1.7.2 ข้อจำกัด

โดยส่วนใหญ่แล้วซีเมนต์ก่อตัวเร็วมีความทนทานเหมือนคอนกรีต แต่มีบางประเภทที่มีส่วนผสมซึ่งไม่เหมาะกับสภาพแวดล้อมบางลักษณะ ซีเมนต์ก่อตัวเร็วบางประเภทมีปริมาณอัลคาไลน์หรืออลูมิเนทสูงกว่าปกติเพื่อให้ขยายตัวขณะก่อตัว

การใช้ซีเมนต์ก่อตัวเร็วประเภทนี้ต้องหลีกเลี่ยงสารซัลเฟต และห้ามใช้กับมวลรวมที่ทำปฏิกิริยาได้ง่ายกับอัลคาไลน์

6.1.7.3 การใช้งาน

ซีเมนต์ก่อตัวเร็วมีประโยชน์อย่างยิ่งต่องานที่ต้องการให้โครงสร้างที่ซ่อมแซมกลับมารับน้ำหนักได้อย่างรวดเร็ว

6.1.7.4 มาตรฐาน

มาตรฐาน ASTM C928 กล่าวถึงวัสดุปูนทรายหรือคอนกรีตที่ใช้ในการซ่อมแซมทางเท้าหรือโครงสร้างคอนกรีตอย่างรวดเร็ว

6.2 สารเคมีที่ใช้ในการอัดฉีด

สารเคมีที่ใช้ในการอัดฉีดเป็นส่วนผสมทางเคมีที่อยู่ในรูปของเจล โฟม หรือสารตกตะกอน ซึ่งจะตรงกันข้ามกับซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวซึ่งมีการแขวนลอยของอนุภาคในสารอัดฉีด ปฏิกิริยาในสารอัดฉีดอาจจะเกิดขึ้นระหว่างส่วนผสมด้วยกันหรือกับสารอื่น เช่น น้ำที่ใช้ในกระบวนการอัดฉีด ปฏิกิริยาที่เกิดจะทำให้การไหลตัวลดลง และก่อตัวเติมเต็มช่องว่างในคอนกรีตที่ต้องการซ่อม

6.2.1 ประโยชน์

ประโยชน์ของการอัดฉีดด้วยสารเคมี คือสามารถใช้ได้ในสภาวะแวดล้อมที่มีความชื้นสูง และมีความหลากหลายของเจล ความหนืด และระยะเวลาการก่อตัว นอกจากนี้ยังสามารถใช้ซ่อมรอยร้าวในคอนกรีตที่มีความกว้างเพียง 0.05 มิลลิเมตรได้ (ACI 546R-04) สารเคมีอัดฉีดที่มีความแกร่งสูง เช่น อีพอกซีเรซิน มีคุณสมบัติการยึดเกาะที่ดีกับพื้นผิวที่แห้งและสะอาด หรือในบางกรณีอาจใช้กับพื้นผิวที่เปียกก็ได้ สารเคมีอัดฉีดในรูปของเจลหรือโฟม เช่น พอลิยูรีเทน เหมาะสำหรับการป้องกันน้ำในรอยแตกหรือจุดต่อต่างๆ สารเคมีอัดฉีดบางประเภทสามารถผสมให้มีความเหลวได้เหมือนน้ำ ทำให้สามารถใช้อัดฉีดผ่านรอยแตกใดๆ ก็ตามที่น้ำสามารถไหลซึมผ่านเข้าไปได้

6.2.2 ข้อจำกัด

สารเคมีที่ใช้อัดฉีดมีราคาแพงกว่าซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวและการทำงานต้องใช้ทักษะสูง นอกจากนี้อีพอกซีเรซินบางประเภทอาจจะไม่ยึดเกาะในความชื้นปกติ สารยึดเกาะประเภทอีพอกซีเรซินมักจะมีอายุการเก็บสั้น รวมทั้งมักจะแข็งตัวเร็วที่อุณหภูมิสูงทำให้มีระยะเวลาในการทำงานสั้น สารอัดฉีดประเภทเจลหรือโฟมไม่ควรใช้ซ่อมโครงสร้างที่ต้องรับกำลัง เนื่องจากส่วนใหญ่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ และจะเกิดการหดตัวได้เมื่อแห้ง

6.2.3 การใช้งาน

เหมาะสำหรับใช้ซ่อมรอยร้าวขนาดเล็ก[5] และป้องกันการซึมผ่านของน้ำหรือความชื้น การเลือกใช้อีพอกซีเรซินแต่ละประเภทเป็นดังนี้

(1) อีพอกซีเรซินที่ใช้ในงานอัดฉีดรอยแตกต้อง มีคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C-881 Type I หรือ IV, Grade 1, Class B หรือ C

(2) ในกรณีที่ต้องการอัดฉีดอีพอกซีเรซินเพื่อให้โครงสร้างคอนกรีตกลับมามีกำลังเท่าเดิม ควรใช้อีพอกซีเรซินที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C-881 Type IV

(3) ในกรณีซ่อมโดยไม่มีวัตถุประสงค์เพื่อคืนกำลังให้แก่คอนกรีต อีพอกซีเรซินที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C-881 Type I ก็สามารถใช้ได้อย่างเหมาะสม

(4) ไม่ควรทำการเจือจางอีพอกซีเรซินไม่ว่าจะด้วยวิธีใด

รายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติของอีพอกซีแต่ละประเภทระบุไว้ในภาคผนวกที่ 1

6.2.4 มาตรฐาน

มาตรฐาน ASTM C881 ได้กล่าวถึงสารยึดเกาะอีพอกซีเรซิน ที่ใช้กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และคอนกรีต ซึ่งสามารถบ่มตัวได้ภายใต้ความชื้นและยึดเกาะกับพื้นผิวที่เปียกได้

6.3 วัสดุพอลิเมอร์ (Polymer)

การเติมสารพอลิเมอร์ สามารถช่วยพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้วได้ เอกสาร ACI 548.1R กล่าวถึงข้อมูลของวัสดุพอลิเมอร์ต่างๆ การจัดเก็บ การจัดการ และการใช้ รวมถึงสูตรผสมคอนกรีต วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ ขั้นตอนการทำงาน และการใช้งาน วัสดุคอนกรีตที่ใช้พอลิเมอร์เป็นส่วนประกอบแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

6.3.1 **พอลิเมอร์ซีเมนต์คอนกรีตและมอร์ต้าร์** (Polymer Cement Concrete and Mortar) เป็นคอนกรีตที่ได้รับการพัฒนาคุณภาพโดยการเติมสารพอลิเมอร์เหลวร่วมกับปูนซีเมนต์และมวลรวมในขณะที่ทำการผสม โดยสารพอลิเมอร์ส่วนใหญ่เป็นของเหลวชนิดสไตลีน-บิวทะไดอีน (Styrene Butadiene) หรือ อะคริลิกลาเทกซ์ (Acrylic Latex)

6.3.1.1 ประโยชน์

(1) เพิ่มกำลังรับแรงดัดและกำลังแรงดึง จากการทดลองพบว่าการใช้อะคริลิก-ลาเทกซ์ และสไตลีนบิวทะไดอีน ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต โดยเฉพาะกรณีใช้อะคริลิกลาเทกซ์จะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงดัดขึ้นถึงร้อยละ 100

[5] โดยทั่วไปในประเทศไทย การอัดฉีดรอยร้าวด้วยอีพอกซีใช้งานกับรอยร้าวที่มีความกว้างอยู่ในช่วง 0.3 ถึง 2 มิลลิเมตร

(2) เพิ่มความทึบน้ำของคอนกรีต ลดการซึมผ่านของน้ำและสารต่างๆ ที่มากับน้ำ เหมาะกับการซ่อมโครงสร้างเกิดสนิมในเหล็กเสริมเนื่องจากช่วยลดการซึมผ่านของคลอไรด์และลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น

(3) เพิ่มความคงทนของคอนกรีต ซึ่งเป็นผลเนื่องจากคุณสมบัติที่ดีขึ้นดังข้อ 6.5.1.1(1) และ 6.5.1.1(2) ข้างต้น

(4) ทำงานได้ง่าย เมื่อมีพอลิเมอร์เป็นส่วนประกอบทำให้คอนกรีตประเภทนี้มีความลื่น สะดวกในการทำงาน

6.3.1.2 ข้อจำกัด

การผสมพอลิเมอร์เข้ากับคอนกรีตจะทำให้โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตลดลง [6]

6.3.1.3 การใช้งาน

การใช้งานวัสดุประเภทนี้ส่วนใหญ่จะใช้โดยวิธีการฉาบ เช่น เทเข้าแบบหรือปรับระดับ และสามารถใช้ฉาบแต่งผิวเรียบและบางได้โดยเลือกใช้ทรายที่มีความละเอียดมากขึ้น[7]

6.3.1.4 มาตรฐาน

ASTM C 685 ASTM C 1438 และ ASTM C 1439

6.32. **พอลิเมอร์คอนกรีต** (Polymer Concrete) เป็นคอนกรีตที่ใช้พอลิเมอร์ เช่น พอลิเอสเตอร์ หรืออีพอกซีเรซิน เป็นตัวประสานแทนซีเมนต์เพสต์ ในบางกรณีอาจใส่ผงปูนซีเมนต์เข้าไปเล็กน้อยเพื่อทำหน้าที่เป็นเป็นสารผสมเพิ่ม

6.3.2.1 ประโยชน์

วัสดุประเภทนี้เมื่อก่อตัวแล้วจะมีความทึบน้ำสูงมาก และไม่เกิดช่องว่างเหมือนคอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ที่อาศัยปฏิกริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ โดยทั่วไปแล้วพอลิเมอร์คอนกรีตจะมีคุณสมบัติเชิงกลสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา

6.3.2.2 ข้อจำกัด

วัสดุประเภทนี้มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำกว่าและมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา

---

[6] ACI 546R-04 แนะนำว่าอุณหภูมิระหว่างการเทและการบ่มควรอยู่ในช่วง 7 ถึง 30 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงควรทำตามข้อแนะนำของบริษัทผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด

[7] โดยปกติพอลิเมอร์ซีเมนต์คอนกรีตและมอร์ต้าร์สามารถใช้กับงานซ่อมที่มีขนาดความหนาไม่เกิน 20 มิลลิเมตร ทั้งนี้ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของผู้ผลิต

6.3.2.3 การใช้งาน

วัสดุประเภทนี้เหมาะกับงานซ่อมบริเวณที่ต้องการรับน้ำหนักสูง รับแรงกระแทก แรงสั่นสะเทือน งานซ่อมในบริเวณที่ต้องสัมผัสกับสารเคมี หรือมีระยะเวลาในการทำงานน้อย

6.3.2.4 มาตรฐาน

ASTM C 881

6.4 สารเชื่อมประสาน (Bonding Agent)

สารเชื่อมประสานใช้เพื่อยึดวัสดุซ่อมแซมเข้ากับพื้นผิวของคอนกรีตเดิม แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ (1) อีพอกซี (2) ลาเทกซ์ และ (3) ซีเมนต์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.4.1 อีพอกซี เป็นสารเชื่อมประสานที่มีวัสดุประเภทอีพอกซีเป็นส่วนประกอบหลัก

6.4.1.1 มาตรฐาน ASTM C881 กล่าวถึงระบบอีพอกซี ในขณะที่อากาศร้อนควรใช้สารเหล่านี้ด้วยความระมัดระวัง อุณหภูมิสูงอาจทำให้เกิดการบ่มตัวก่อนเวลา และทำให้เสียแรงยึดเกาะได้

6.4.1.2 วัสดุยึดเกาะพวกอีพอกซีเรซิน ส่วนใหญ่จะก่อให้เกิดชั้นกั้นความชื้นขึ้นระหว่างผิวของโครงสร้างเดิมกับวัสดุซ่อมแซม บางครั้งชั้นกั้นความชื้น อาจทำให้เกิดความเสียหายของส่วนที่ซ่อมแซมได้ ถ้าความชื้นถูกกักไว้ในคอนกรีตหลังชั้นกั้นความชื้นพอดีและเกิดการแข็งตัว ณ บริเวณนั้น

6.4.2 ลาเทกซ์ เป็นสารเชื่อมประสานที่มีวัสดุประเภทลาเทกซ์เป็นส่วนประกอบหลัก

6.4.2.1 มาตรฐาน ASTM C1059 กล่าวถึงระบบลาเทกซ์ สารยึดเกาะชนิดนี้ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ (1) แบบกระจายตัวใหม่ได้ (Redispersible) และ (2) แบบกระจายตัวใหม่ไม่ได้ (Nonredispersible)

6.4.2.2 สารยึดเกาะประเภทที่ 1 สามารถทาบนพื้นผิวที่จะซ่อมแซมได้หลายวันก่อนจะลงวัสดุซ่อม แต่จะมีกำลังยึดเกาะน้อยกว่าประเภทที่ 2 นอกจากนี้ลาเทกซ์ประเภทที่ 1 ไม่ควรใช้กับบริเวณที่เปียกน้ำ ความชื้นสูง หรือกำลังใช้งาน ลาเทกซ์ประเภทที่ 2 เหมาะกับการยึดเกาะเมื่อใช้ผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำ

6.4.2.3 ลาเทกซ์ประเภทที่ 1 มีหน่วยแรงยึดเกาะไม่น้อยกว่า 2.8 เมกาปาสกาลเมื่อแห้ง ส่วนลาเทกซ์ประเภทที่ 2 มีหน่วยแรงยึดเกาะไม่น้อยกว่า 8.6 เมกาปาสกาลเมื่อพื้นผิวชุ่มน้ำ

6.4.3 ซีเมนต์ เป็นสารเชื่อมประสานที่มีวัสดุประเภทซีเมนต์เป็นส่วนประกอบหลัก ระบบยึดเกาะโดยซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับมวลรวมละเอียดบดในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก และจะผสมน้ำเพื่อให้ได้ความข้นเหลวที่สม่ำเสมอและพอเหมาะ

6.5 วัสดุเคลือบผิวเหล็กเสริม (Coatings on Reinforcement)

สารเคลือบผิวเหล็กเสริมคือสารเคลือบผิวประเภทอีพอกซี ลาเทกซ์-ซีเมนต์ และสังกะสีซึ่งข้อจำกัดในการใช้งานสำหรับวัสดุเคลือบผิวเหล็กเสริมแต่ละชนิดมีแตกต่างกันไป[8]

6.6 วัสดุเสริมกำลัง (Reinforcement)

โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างคอนกรีตจำเป็นต้องใช้วัสดุเสริมกำลังเพื่อต้านทานหน่วยแรงดึงที่เกิดจากแรงดัด แรงเฉือน และแรงตามแนวแกน วัสดุเสริมกำลังที่ใช้ในงานซ่อมแซมมีหลากหลายประเภทดังนี้

6.6.1 เหล็กข้ออ้อยที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก. 24-2548 เหล็กเส้นกลมที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก 20-2543 ตะแกรงลวดผิวเรียบที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก 737-2531 มาตรฐานวสท. 1008-38 กล่าวถึงระยะหุ้มน้อยที่สุดในสภาวะแวดล้อมต่างๆ ปริมาณคลอไรด์สูงสุด อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม และข้อเสนอแนะอื่นเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีต ทั้งนี้เพื่อลดการเกิดสนิม หรือการกัดกร่อนในเหล็กเสริมให้น้อยที่สุด

6.6.2 เหล็กเสริมเคลือบอีพอกซี อีพอกซีที่ใช้เคลือบเหล็กเสริมจะทำหน้าที่เป็นชั้นปกป้องเหล็กเสริมจากปัจจัยที่ทำให้เกิดสนิม ได้แก่ ออกซิเจน ความชื้น และคลอไรด์ วิธีนี้เหมาะสมกับการป้องกันสนิมในเหล็กเสริมคอนกรีตใต้พื้นสะพาน แต่ในบริเวณที่มีการกัดเซาะของน้ำ ประสิทธิภาพการป้องกันของอีพอกซีเคลือบผิวจะขึ้นอยู่กับ คุณภาพของการเคลือบ ความเสียหายของผิวเคลือบระหว่างติดตั้ง ขนาดของรอยร้าว ความหนาของระยะหุ้ม การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุเคลือบผิวและเหล็กเสริม และระดับความเข้มข้นของคลอไรด์[9]

6.6.3 เหล็กเสริมกำลังเคลือบสังกะสี เหล็กเคลือบสังกะสีเป็นอีกวิธีที่ลดการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้ มาตรฐาน ASTM A767 และ ASTM A780 กล่าวถึงเหล็กเคลือบสังกะสีและวิธีการที่ใช้ในการซ่อมแซมตามลำดับ[10]

---

[8] มีผลงานวิจัยในห้องปฏิบัติการ แต่อยู่ในระหว่างการศึกษาประสิทธิภาพและศักยภาพในการใช้งานจริงและผลกระทบในระยะยาว นอกจากนี้เมื่อเคลือบผิวแล้วจะไม่สามารถตรวจสอบการกัดกร่อนของเหล็กเสริมภายในได้ด้วยวิธีมาตรฐานทั่วๆไป และเนื่องจากมีข้อจำกัดในการใช้งานสำหรับวัสดุเคลือบผิวเหล็กเสริมแต่ละชนิด ดังนั้นจึงควรปรึกษาผู้ผลิตวัสดุเคลือบผิวเหล็กเสริม

[9] การเคลือบเหล็กเสริมด้วยอีพอกซีจะต้องไม่ทำให้คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กเสริมด้อยลงไป

[10] การเคลือบเหล็กเสริมด้วยสังกะสีจะต้องไม่ทำให้คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กเสริมด้อยลงไป

6.6.4 เหล็กเสริมสแตนเลส เหล็กเสริมสแตนเลสต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีมาก ชนิดที่นิยมใช้กันแพร่หลายคือเกรด 304 และ 316 โดยเกรด 316 จะมีความต้านทานต่อคลอไรด์ดีกว่า เหล็กเสริมสแตนเลสสามารถประกอบใช้ที่หน้างานได้ และทนทานต่อความเสียหายของพื้นผิวในขณะทำงานและเทคอนกรีตได้ดี ข้อจำกัดหลักในการใช้เหล็กเสริมสแตนเลส คือ ราคาที่ค่อนข้างสูง

6.6.5 วัสดุเสริมกำลังประเภทสารประกอบที่ไม่ใช่โลหะ

วัสดุเสริมกำลังประเภทสารประกอบที่ไม่ใช่โลหะที่นิยมใช้ทั่วไป ได้แก่ พอลิเมอร์เสริมเส้นใย (Fiber Reinforced Plastic: FRP) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ผลิตขึ้นจากเส้นใยกำลังสูง โดยมีเรซินเป็นตัวประสาน โดยทั่วไปแล้วเรซินที่ใช้ คือ อีพอกซี ไวนิลเอสเตอร์ และพอลิเอสเตอร์ ประเภทของเส้นใยที่ใช้คือ เส้นใยคาร์บอน เส้นใยแก้ว และเส้นใยอารามิด ซึ่งมีคุณสมบัติ ความทนทานและราคาที่แตกต่างกัน

(1) มาตรฐาน มยผ. 1508-51 กล่าวถึง ข้อกำหนดสำหรับการก่อสร้าง เพื่อใช้กับการซ่อมแซมและเสริมกำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการติดตั้งวัสดุคอมโพสิตประเภทพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (Fiber Reinforced Polymer: FRP)

6.7 การทดสอบการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตเก่ากับวัสดุซ่อมแซม

6.7.1 ในการซ่อมแซมคอนกรีตสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตเก่ากับวัสดุซ่อมแซม ถ้าการยึดเกาะไม่ดีจะทำให้การซ่อมแซมไม่ประสบความสำเร็จ ดังนั้นก่อนติดตั้งวัสดุซ่อมแซมจึงจำเป็นต้องทาหรือเคลือบผิวคอนกรีตเก่าด้วยน้ำยาประสานคอนกรีต โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีการสั่นสะเทือนสูง พื้นที่ที่มีอากาศหรือของไหลผ่านด้วยความเร็วสูง เป็นต้น และภายหลังการซ่อมแซมแล้วเสร็จให้ทดสอบการยึดเกาะของคอนกรีต (Pull-Off test) ตามมาตรฐาน ASTM D-4541 ดังรูปที่ 29 ถึง รูปที่ 31 [11,12]

6.7.2 ขั้นตอนการทดสอบการยึดเกาะ มีรายละเอียดดังนี้

(1) สำรวจตำแหน่งของเหล็กเสริม และกำหนดตำแหน่งของการทดสอบมิให้อยู่กับตำแหน่งของเหล็กเสริม เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเหล็กเสริม

(2) เจาะผิวให้ทะลุผ่านชั้นของวัสดุซ่อมลึกลงไปถึงเนื้อคอนกรีตเดิม

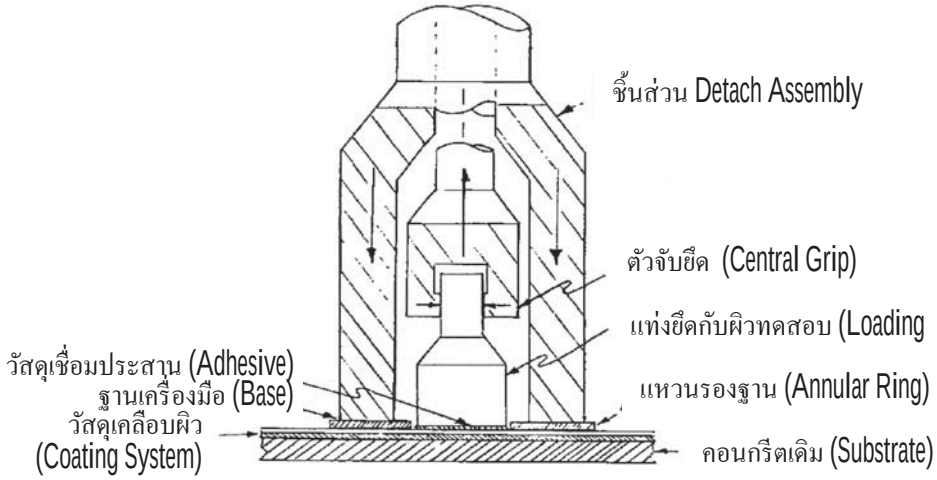
(3) ติดตั้งเครื่องมือทดสอบ ซึ่งจะต้องทำการยึดขาตัวของอุปกรณ์ให้แน่น

(4) ทำการทดสอบและบันทึกผล

[11] โดยปกติควรทดสอบไม่น้อยกว่า 1 จุด ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตรและอย่างน้อย 3 จุดต่องานซ่อม หรือขึ้นอยู่กับดุลพินิจของวิศวกรควบคุมงาน

[12] ค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุใหม่และวัสดุเก่าควรมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตเดิม

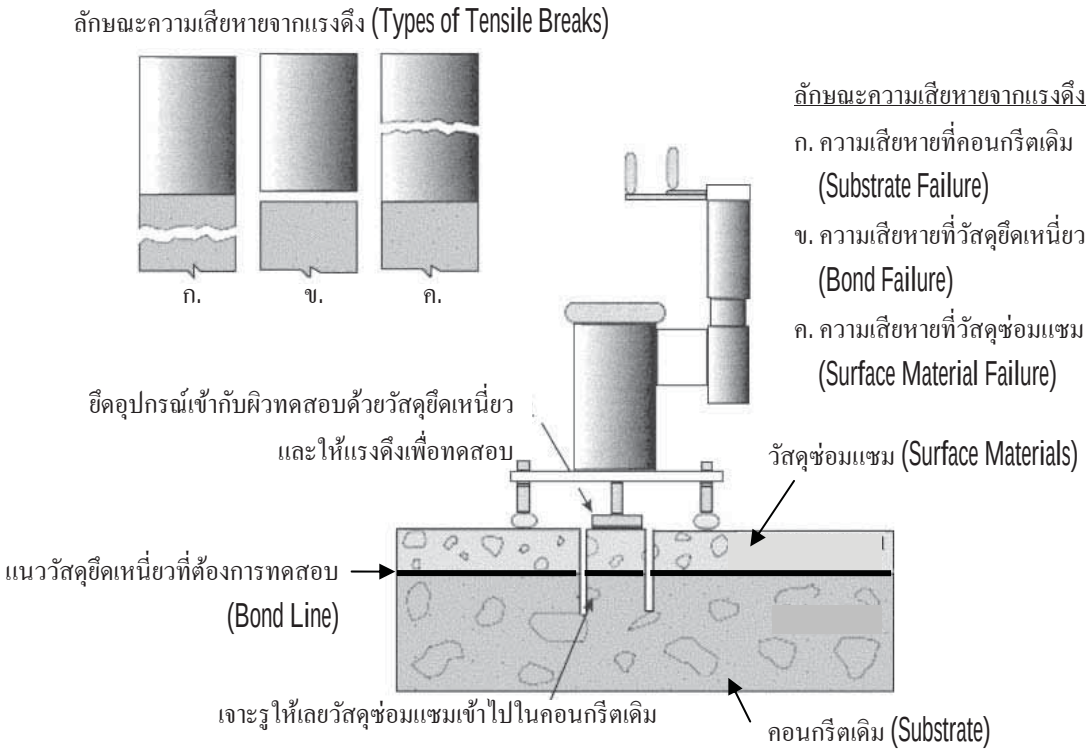
6.7.3 รูปแบบของความเสียหายที่พึงประสงค์ ได้แก่ ความเสียหายที่เกิดขึ้นที่ภายในเนื้อคอนกรีตเดิม (รูปที่ 30ก) หรือภายในเนื้อวัสดุซ่อมแซม (รูปที่ 30ค) ส่วนความเสียหายที่ไม่พึงประสงค์ ได้แก่ ความเสียหายที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างคอนกรีตเดิมและวัสดุซ่อมแซม (รูปที่ 30ข)



รูปที่ 29 การทดสอบการยึดเกาะของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM D4541 (Pull-Off Test)

(ที่มา: ACI 555)

(ข้อ 6.7.1)



รูปที่ 30 การทดสอบการยึดเกาะของคอนกรีตและการแปรผลตามมาตรฐาน ASTM D4541 (Bond Test)

(ที่มา: ACI-RAP 4)

(ข้อ 6.7.1, 6.7.3)

รูปที่ 31 แท่งคอนกรีตที่ผ่านการทดสอบการยึดเกาะของคอนกรีต (ที่มา: ACI 555)
(ข้อ 6.7.1)

6.8 ปัจจัยในการเลือกใช้วัสดุในงานซ่อม

6.8.1 ความมีเสถียรภาพด้านขนาด (Dimensional Stability)

นอกเหนือจากที่วัสดุในงานซ่อมจะต้องมีกำลังทางกล และความทึบแน่นตามที่ต้องการแล้ว จำเป็นที่จะต้องมีเสถียรภาพในด้านมิติด้วย ความสามารถในการยึดเกาะจะเป็นตัวทำให้วัสดุซ่อมและคอนกรีตมีสภาพเหมือนวัตถุเดียวกัน หากวัสดุซ่อมและคอนกรีตไม่สามารถรักษาสภาพความเป็นหนึ่งเดียวกันไว้ได้ย่อมเกิดการเสียหายขึ้นก่อนเวลาอันควร เนื่องจากวัสดุซ่อมที่ทำจากปูนซีเมนต์จะมีการหดตัวหลังจากใช้งานในขณะที่คอนกรีตซึ่งใช้งานมานานแล้วแทบจะไม่มีการหดตัวเกิดขึ้นอีก ดังนั้นวัสดุที่ใช้ซ่อมจึงจำเป็นต้องมีการหดตัวที่ต่ำมาก หรือต้องสามารถที่จะหดตัวได้ในขณะที่ไม่เสียการยึดเกาะ การหลีกเลี่ยงการสูญเสียการยึดเกาะเนื่องจากการหดตัวเกิดสามารถทำได้ 2 แนวทางด้วยกันคือ

6.8.1.1 ใช้วัสดุซ่อมที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ หรือใช้วิธีการซ่อมที่ทำให้เกิดการหดตัวต่ำที่สุด

6.8.1.2 ใช้วัสดุที่มีการขยายตัวในขณะที่ผสมและเท

6.8.2 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ (Coefficient of Thermal Expansion)

ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าว คือ การเปลี่ยนแปลงความยาวของวัสดุที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขนาดการยืดหรือหดตัวของวัสดุจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์นี้ เมื่อมีการซ่อมโดยการปะหรือการเททับที่มีพื้นที่ซ่อมขนาดใหญ่หรือลึก มีความจำเป็นมากที่ต้องพิจารณาเลือกใช้วัสดุซ่อมแซมที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวใกล้เคียง

กับค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีต[13] มิฉะนั้นจะทำให้เกิดการวิบัติขึ้นในวัสดุที่มีกำลังต่ำกว่าใกล้แนวการยึดเกาะ

6.8.3 การหดตัวเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage)

เนื่องด้วยการซ่อมแซมส่วนใหญ่จะกระทำบนคอนกรีตเดิมซึ่งมีอายุมากจนไม่เกิดการหดตัวอีกแล้ว ดังนั้นวัสดุซ่อมแซมควรมีการหดตัวต่ำเพื่อไม่ให้เกิดการเสียแรงยึดเหนี่ยว วิธีการควบคุมให้วัสดุซ่อมหดตัวน้อย คือ (1) ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ (กรณีสารยึดเกาะมีปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสมหลัก) (2) ใช้ขนาดและปริมาณของมวลรวมหยาบให้มากที่สุด (3) ใช้สารลดการหดตัว หรือ (4) ใช้วิธีการซ่อมแซมที่มีโอกาสเกิดการหดตัวได้น้อยที่สุด การซ่อมแซมที่มีความหนาน้อยกว่า 40 มิลลิเมตร (ACI 546R-04) ด้วยวัสดุซีเมนต์จะมีโอกาสเกิดการหดตัวได้สูงมาก ซึ่งโดยทั่วไปโอกาสในการหดตัวจะสูงขึ้นเมื่อความหนาของการซ่อมลดลง (ACI 546R-04)

6.8.4 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุเป็นการวัดค่าความแกร่ง (Stiffness) ของวัสดุ วัสดุที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำจะมีการเสียรูปมากกว่าวัสดุที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูง เมื่อวัสดุเชื่อมต่อกันและมีค่าโมดูลัสแตกต่างกันมากจะทำให้เกิดการเสียรูปที่แตกต่างกันมากโดยเฉพาะเมื่อเกิดแรงกระทำในทิศทางขนานกับแนวการยึดเกาะ การเสียรูปของวัสดุที่มีค่าโมดูลัสต่ำจะทำให้แรงกระทำถูกถ่ายไปยังวัสดุที่มีค่าโมดูลัสสูงกว่าและอาจก่อให้เกิดการสูญเสียกำลังยึดเกาะระหว่างวัสดุที่มีค่าโมดูลัสแตกต่างกันได้ นอกจากนี้การสูญเสียกำลังยึดเกาะระหว่างวัสดุที่มีค่าโมดูลัสแตกต่างกันอาจเกิดจากการหดตัวหรือการขยายตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังนั้นสำหรับการซ่อมแซมพื้นที่ที่ต้องรับแรงกระทำในลักษณะข้างต้นนั้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุซ่อมแซมควรใกล้เคียงกับของคอนกรีตเดิม

6.8.5 ความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) หมายถึง ความสามารถของวัสดุในการที่จะส่งผ่านของเหลวหรือไอ การใช้วัสดุที่มีความทึบน้ำสูงในงานซ่อมขนาดใหญ่ งานเททับหรืองานเคลือบไอของความชื้นซึ่งซึมผ่านคอนกรีตขึ้นมาจะถูกกักไว้ที่บริเวณผิวหน้าของคอนกรีตเดิม และทำให้เกิดการเสียหายขึ้นบริเวณแนวรอยต่อ คอนกรีตที่ดีต้องสามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำได้ดี (มีคุณสมบัติทึบน้ำ)

6.8.6 คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Compatibility) ในการเลือกวัสดุควรจะคำนึงถึงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างวัสดุซ่อมกับเหล็กหรือโลหะอื่นๆ ที่อยู่ในคอนกรีต หรือวัสดุเคลือบผิวกับวัสดุซ่อม วัสดุซ่อมที่มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ต่ำถึงปานกลางอาจจะป้องกันเหล็กเสริมที่เกิดสนิมแล้วได้เพียงเล็กน้อยบางกรณีวัสดุซ่อมอาจจะไม่สามารถยึดติดได้กับวัสดุกันซึมที่ติดตั้ง

[13] ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิของคอนกรีตมีค่าประมาณ 7×10^{-6} ถึง 11×10^{-6} ต่อองศาเซลเซียสต่อมิลลิเมตร

หลังจากซ่อม ดังนั้นจึงต้องพิจารณาผลของปฏิกิริยาข้างต้น สภาวะของคอนกรีตที่เหมาะแก่การป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมภายในนั้นคือสภาพเป็นด่าง หรือมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ใกล้กับ 12

6.8.7 คุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Properties) ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุซ่อมอาจมีผลต่อความคงทนของวัสดุซ่อมและคอนกรีตที่ได้รับการซ่อมแล้ว วัสดุที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูงหรือไม่นำไฟฟ้าจะพยายามแยกตัวเองออกจากบริเวณรอบๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อวัสดุข้างเคียงมีความทึบน้ำ และปริมาณคลอไรด์แตกต่างกันมาก เหล็กเสริมในบริเวณนี้จะเป็นสนิมอย่างรวดเร็ว และจะทำให้คอนกรีตและวัสดุซ่อมบริเวณรอบๆ เสียหายด้วย (ACI 546R-04)

6.8.8 สีและลักษณะของพื้นผิว สำหรับการซ่อมแซมงานสถาปัตยกรรม สีและลักษณะพื้นผิวของวัสดุไม่ควรแตกต่างจากพื้นผิวโดยรอบ ดังนั้นจึงควรทดลองทำในแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบที่หน้างานก่อนลงมือปฏิบัติในพื้นที่จริง

6.8.9 สำหรับการทำงานจริงในสนาม (Application of Service Conditions) แนวทางในการเลือกวัสดุนอกเหนือจากคุณสมบัติด้านต่างๆ ของวัสดุแล้ว ยังขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งานในขณะนั้นและสภาพการใช้งานอื่นที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำงานและสภาพการทำงานเป็นข้อมูลสำคัญ และรวมถึงรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจะต้องมีการประเมินเพื่อให้สามารถพิจารณาเลือกวัสดุได้อย่างเหมาะสม

6.8.9.1 พอลิเมอร์บางประเภทจะไม่สามารถพัฒนาการยึดเกาะได้ดีกับพื้นผิวที่มีความเปียกชื้น

6.8.9.2 อุณหภูมิขณะที่ทำงานมีผลต่อระยะเวลาการก่อตัวของวัสดุซ่อม ไม่ว่าจะเป็นวัสดุในกลุ่มซีเมนต์หรือวัสดุประเภทพอลิเมอร์

6.8.9.3 การระบายอากาศของพื้นที่ทำงาน เนื่องจากวัสดุบางประเภทจะมีสารที่ระเหยเป็นไอได้จึงต้องระวังเรื่องความปลอดภัย ของระบบทางเดินหายใจของผู้ปฏิบัติงาน และการวาบไฟของไอระเหย

6.8.9.4 การซ่อมที่ทำในแนวดิ่งต้องใช้วัสดุที่ไม่เกิดการย้อยตัว (Non Sag)

6.8.9.5 ระยะเวลาที่กลับมาใช้งาน โครงสร้างที่ต้องการนำกลับมาใช้งานใหม่ในระยะเวลาอันรวดเร็ว จำเป็นต้องใช้วัสดุที่สามารถพัฒนากำลังได้อย่างรวดเร็ว

6.8.9.6 การสัมผัสกับสารเคมี กรดและซัลเฟตจะทำอันตรายต่อวัสดุประเภทคอนกรีตส่วนตัวทำลายที่เข้มข้นจะทำให้วัสดุประเภทพอลิเมอร์นิ่มขึ้น

6.8.9.7 ผิวจราจร วัสดุที่ใช้ในการซ่อมผิวจราจรจะต้องเป็นวัสดุที่ต้านทานการขัดสีสูง

6.8.9.8 ความสามารถในการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตกับเหล็ก

6.8.9.9 อุณหภูมิใช้งานสูงสุดและต่ำสุด ความเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงใช้งานจะบอกถึงการขยาย หรือ การหดตัว เนื่องจากความร้อนและขนาดของหน่วยแรงที่เกิดขึ้น

6.8.9.10 แรงสั่นสะเทือนจะทำให้วัสดุเปราะเกิดความเสียหายได้

6.8.9.11 สภาพภายนอกที่ต้องการให้สีและความเรียบของวัสดุซ่อมดูกลมกลืนกับคอนกรีตเดิม

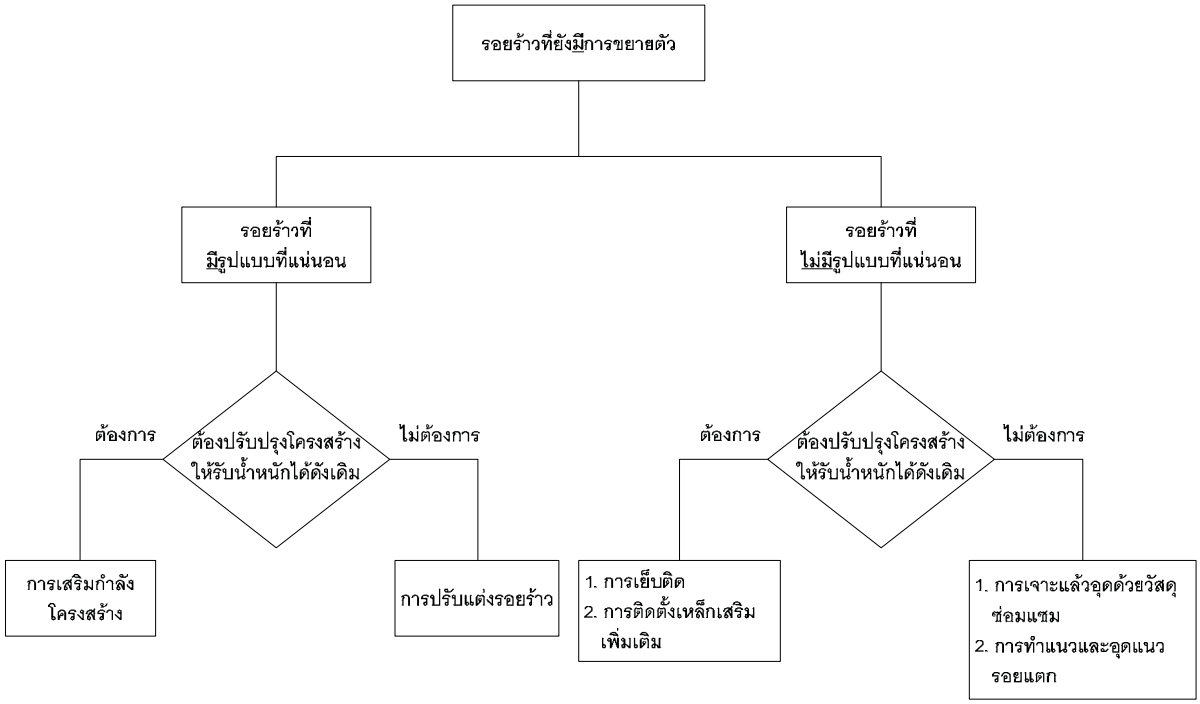
6.8.9.12 อายุของการซ่อมจะเป็นตัวกำหนดราคาและความซับซ้อนในการทำงานซ่อม

7 วิธีการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตเพื่อให้รับน้ำหนักได้ดังเดิม

7.1 ประเภทของรอยร้าวและวิธีการซ่อมแซม

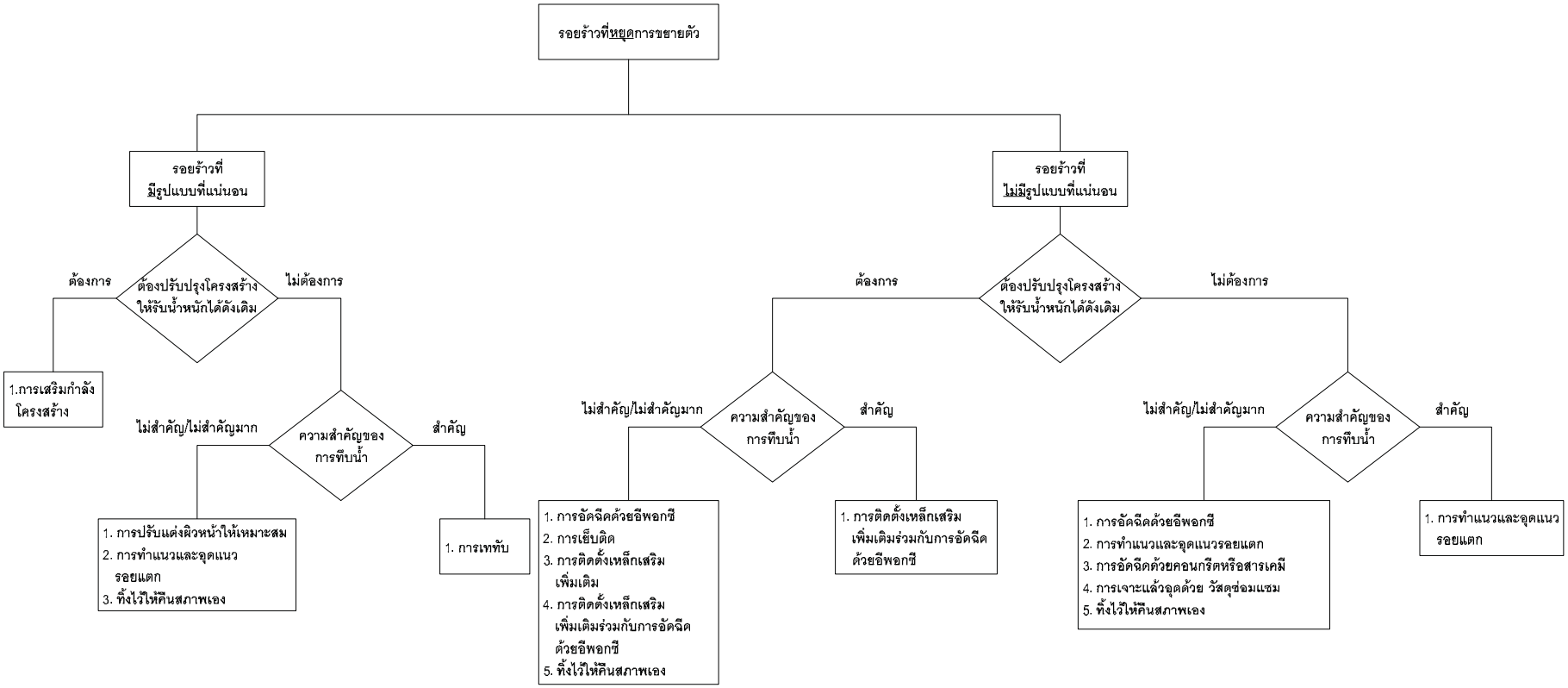
รอยร้าวโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ได้แก่ รอยร้าวที่ยังคงมีการขยายตัวอยู่ และรอยร้าวที่หยุดการขยายตัวแล้ว การเลือกวิธีการซ่อมแซมที่เหมาะสมสำหรับรอยร้าวแต่ละประเภทแสดงไว้ในรูปที่ 32 และ 33

อนึ่ง การตัดสินว่าโครงสร้างต้องมีการปรับปรุงให้รับน้ำหนักได้ดังเดิมหรือไม่ ให้อยู่ในดุลยพินิจของวิศวกร โดยให้เป็นไปตามหลักวิศวกรรม และให้มีความมั่นคงปลอดภัยเพียงพอในการใช้งาน



รูปที่ 32 การเลือกวิธีการซ่อมแซมที่เหมาะสมสำหรับรอยร้าวที่ยังคงมีการขยายตัวอยู่

(ข้อ 7.1)



รูปที่ 33 การเลือกวิธีการซ่อมแซมที่เหมาะสมสำหรับรอยร้าวที่หยุดการขยายตัวแล้ว
(ข้อ 7.1)

7.2 การอัดฉีดด้วยอีพอกซีเรซิน

7.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

สารอีพอกซีเรซิน เป็นสารซึ่งประกอบด้วยสารละลายสองชนิดขึ้นไปที่ทำปฏิกิริยาแล้วทำให้เกิดเจลหรือตะกอนแข็ง อีพอกซีเรซินเมื่อแข็งตัวแล้วจะมีกำลังรับน้ำหนักและค่าโมดูลัสสูง และยึดเกาะกับคอนกรีตเดิม

7.2.1.1 วัสดุ ให้เลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติตามหัวข้อ 6.2

7.2.1.2 อุปกรณ์ผสมสารอัดฉีด

อุปกรณ์ผสมสารอัดฉีดโดยทั่วไป ทำด้วยวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ใช้อัดฉีด หรือ สารละลายแต่ละชนิดที่ใช้ ส่วนประกอบของตัวถังสามารถเลือกใช้วัสดุอลูมิเนียม สแตนเลส หรือพลาสติกชนิดพิเศษได้ตามความเหมาะสม โดยทั่วไปความจุของถังที่ต้องการจะไม่มากนัก โดยขนาดและรูปร่างของถังจะขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนผสมและระบบการฉีดที่ใช้ โดยทั่วไปถังที่ใช้ในการผสมอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบหลัก ได้แก่ ระบบผสมรวม (Batch System) ระบบผสมแบบสองถัง (Two-Tank System) และระบบ Equal-Volume Method[14]

7.2.1.3 อุปกรณ์การอัดฉีด หรือเครื่องสูบ (Pump)

เครื่องสูบที่ใช้ในการอัดฉีดมีหลายประเภท เช่น เครื่องสูบแบบ Positive-Displacement หรือ เครื่องสูบแบบลูกสูบ (Piston Pump)[15]

7.2.1.4 อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ

อุปกรณ์ประกอบส่วนใหญ่สำหรับการอัดฉีดด้วยสารเคมี เช่น โฮส (Hose) วาล์ว (Valve) ฟิตติง (Fitting) ระบบสายอัดฉีด (Piping) วาล์วโบล์วออฟ (Blow-off Relief Valve) เฮดเดอร์ (Header) และแท่งเจาะมาตรฐาน (Standard Drill Rod) สามารถใช้แบบเดียวกันทั้งการอัดฉีดด้วยอีพอกซีเรซิน และ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยจุดเชื่อมต่อระหว่างเครื่องสูบ ถังผสมสารเคมี และสายหรือท่อฉีด สำหรับการอัดฉีดด้วยอีพอกซีเรซินควรจะสามารถปลดออกได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากการอัดฉีดด้วยสารเคมีบางชนิดจะทำให้เกิดเจลอย่างรวดเร็ว ซึ่งในบางกรณีอาจมีความจำเป็นต้องปลดการเชื่อมต่อและถอดอุปกรณ์ออกเพื่อทำความสะอาด และควรตรวจสอบระบบการฉีดทั้งหมดก่อนที่จะอัดฉีดในแต่ละครั้งเนื่องจากวัสดุที่ใช้สร้างเครื่องสูบและอุปกรณ์ประกอบอาจมีผลกระทบกับช่วงเวลาของการเกิดเจล

[14] รายละเอียดระบบของถังที่ใช้ในการผสม ให้ดูในภาคผนวก 4

[15] รายละเอียดระบบของอุปกรณ์การอัดฉีด ให้ดูในภาคผนวก 4

7.2.1.5 ระบบการสูบที่สามารถใช้ในการอัดฉีดด้วยสารเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีดังต่อไปนี้ Variable-Volume Pump System (Proportioning System) หรือ Two-Tank Gravity-Feed System หรือ Batch system หรือ Gravity-feed system เป็นต้น[16]

7.2.2 การใช้งานและข้อจำกัด

7.2.2.1 รอยร้าวที่จะอุดด้วยอีพอกซีเรซิน ควรกว้างระหว่าง 0.3 ถึง 3.0 มิลลิเมตร การอัดฉีดด้วยอีพอกซีเรซินสำหรับรอยร้าวที่เล็กกว่า 0.3 มิลลิเมตรหรือกว้างกว่า 3.0 มิลลิเมตร อาจทำได้ยาก [17]

7.2.2.2 เนื่องจากการมีค่าโมดูลัสการยืดหยุ่นสูง ทำให้การซ่อมด้วยอีพอกซีเรซินไม่เหมาะสำหรับการซ่อมคอนกรีตที่รอยร้าวยังมีการขยายตัว อีพอกซีเรซินที่แข็งตัวแล้วจะค่อนข้างเปราะ แต่มีกำลังยึดเหนี่ยวสูงกว่ากำลังรับแรงเฉือนและแรงดึงของคอนกรีต ดังนั้นถ้าใช้อีพอกซีเรซินซ่อมรอยร้าวซึ่งคอนกรีตยังอยู่ภายใต้แรงเฉือนหรือแรงดึงที่มีค่าสูงกว่ากำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตแล้ว อาจทำให้เกิดรอยร้าวใหม่ใกล้กับแนวที่ฉีดอีพอกซีเรซินไว้ หรืออีกนัยหนึ่งอาจกล่าวได้ว่าไม่ควรใช้อีพอกซีเรซิน ซ่อมรอยร้าวที่ยังเกิดไม่สมบูรณ์หรือที่กำลังขยายตัวอยู่

7.2.2.3 อีพอกซีเรซินสามารถใช้ซ่อมคอนกรีตเพื่ออุดรอยรั่วของน้ำได้ แต่อีพอกซีเรซินไม่ได้แข็งตัวในทันที โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิต่ำ อีพอกซีเรซินจึงไม่เหมาะกับการอุดรอยรั่วของน้ำขนาดใหญ่

7.2.2.4 ข้อได้เปรียบของการใช้วิธีนี้คือสามารถใช้ในสภาวะที่มีความชื้น ช่วงเวลาการแข็งตัวที่สูง และสามารถใช้ซ่อมรอยร้าวขนาดเล็กมากได้

7.2.2.5 ข้อด้อยคือจำเป็นต้องใช้ผู้ติดตั้งที่มีความชำนาญเพื่อให้ซ่อมได้อย่างมีคุณภาพ และสำหรับสารบางชนิดจำเป็นต้องระวังไม่ให้สารเคมีแข็งตัวระหว่างการทำงาน นอกจากนี้สารเคมีบางชนิดยังติดไฟได้ง่ายและไม่อาจใช้ได้ในบริเวณที่อากาศไม่มีการถ่ายเท

7.2.2.6 การอัดฉีดด้วยอีพอกซีเรซินไม่นิยมใช้กับการซ่อมรอยร้าวที่ตื้น

7.2.3 ขั้นตอนการซ่อม

7.2.3.1 การเตรียมการ

(1) การทำความสะอาดรอยร้าว

รอยร้าวหรือรอยแยกที่จะอัดฉีดด้วยอีพอกซีเรซิน ต้องสะอาดปราศจากเศษฝุ่นผง หรือสารอินทรีย์ใดๆ ให้ทำความสะอาดรอยร้าวโดยใช้ลมและน้ำ

[16] รายละเอียดระบบสูบที่สามารถใช้ในการอัดฉีด ให้ดูได้ในภาคผนวก 4

[17] ตามมาตรฐาน USBR แนะนำให้อัดฉีดอีพอกซีเรซินสำหรับรอยร้าวที่มีความกว้างอยู่ระหว่าง 0.125 ถึง 6.25 มิลลิเมตร

แรงดันสูงอัดฉีดสลับกันหลายรอบ และต้องทำให้พื้นที่รอยร้าวที่จะอัดฉีดอีพอกซีเรซินแห้งสนิทก่อนดำเนินการต่อไป

(2) การทำความสะอาดผิวคอนกรีตโดยรอบ

ทำความสะอาดผิวคอนกรีตบริเวณรอยร้าวและโดยรอบของคอนกรีตที่ชำรุดอย่างทั่วถึง จากนั้นให้สำรวจพื้นที่ที่จะอัดฉีดและเตรียมช่องอัดฉีด

(3) การเตรียมช่องอัดฉีด[18]

อาจเตรียมช่องอัดฉีดได้ 2 ลักษณะ ได้แก่

ก. เจาะช่องอัดฉีดบนผิวคอนกรีต

กรณีรอยร้าวเห็นได้ชัดและค่อนข้างเปิด สามารถเจาะช่องอัดฉีดบนผิวคอนกรีต โดยตรงเป็นระยะตามความเหมาะสมได้ ควรระวังไม่ให้เศษฝุ่นผงไปอุดรอยร้าวขณะเจาะช่องอัดฉีด และควรใช้เครื่องเจาะแบบพิเศษที่สามารถดูดฝุ่นผงในขณะเจาะได้ พื้นผิวตามแนวรอยร้าวระหว่างรูเจาะจะถูกยาแนวด้วยอีพอกซีเรซินและทิ้งไว้จนแห้ง

ข. เจาะช่องอัดฉีดด้านข้างรอยร้าว

การเจาะรูทางด้านข้างทั้งสองด้านของรอยร้าวให้เอียงไปทะลุตัดกับระนาบของรอยร้าว ทำให้ช่องอัดฉีดผ่านระนาบของรอยร้าวไม่ว่าระนาบของรอยร้าวจะเอียงหรือลาดเทไปในทิศทางใด จากนั้นผิวบนของรอยร้าวจะถูกยาแนวปิดด้วยอีพอกซีเรซินตลอดแนว

(4) การทำความสะอาดรอยร้าวและช่องอัดฉีด

รอยร้าวหรือรอยแยกช่องอัดฉีด ต้องสะอาดปราศจากเศษฝุ่นผง หรือสารอินทรีย์ใดๆ เมื่อเจาะรูเพื่อเตรียมอัดฉีดเรียบร้อยแล้วให้ทำความสะอาดรอยร้าวและช่องอัดฉีดโดยใช้ลมและน้ำแรงดันสูงอัดฉีดสลับกันหลายรอบ และต้องทำให้พื้นที่รอยร้าวที่จะอัดฉีดอีพอกซีเรซินแห้งสนิทก่อนดำเนินการต่อไป

7.2.3.2 การอัดฉีด

การอัดฉีดสามารถทำได้ 2 ลักษณะตามลักษณะการเตรียมช่องอัดฉีดตามข้อ 7.2.3.1 (3) ดังนี้

---

[18] ระยะระหว่างช่องอัดฉีดที่ใช้ ต้องได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับระบบอุปกรณ์อัดฉีด ความดันที่ใช้ และสารเคมีอัดฉีดที่ใช้ ทั้งนี้ต้องสามารถเติมเต็มรอยร้าวได้อย่างทั่วถึง และให้อยู่ในดุลยพินิจของวิศวกร

(1) การอัดฉีดบนผิวคอนกรีต

ใช้ในกรณีรอยร้าวเห็นได้ชัดและค่อนข้างเปิด ภายหลังจากเตรียมช่องอัดฉีดตามข้อ 7.2.3.1 (3) ก ให้อัดฉีดอีพอกซีเรซินโดยเริ่มจากรูอัดฉีดที่อยู่ต่ำที่สุดก่อน และค่อยขยับสูงขึ้นตามแนวรอยร้าวจนถึงรูอัดฉีดสูงสุด

(2) การอัดฉีดด้านข้างรอยร้าว

ภายหลังจากเตรียมช่องอัดฉีดตามข้อ 7.2.3.1 (3)ข ให้อัดฉีดอีพอกซีเรซินโดยเริ่มจากรูอัดฉีดที่อยู่ต่ำที่สุดก่อน และค่อยขยับสูงขึ้นตามแนวรอยร้าวจนถึงรูอัดฉีดสูงสุด ควรอัดฉีดอีพอกซีเรซินด้วยแรงดันต่ำถึงปานกลาง และให้เวลาอีพอกซีเรซินไหลไปจนเต็มช่องว่างในคอนกรีต ไม่ควรอัดฉีดด้วยแรงดันสูงเพราะอาจทำให้เกิดการอุดตันการไหลของอีพอกซีเรซินและทำให้ช่องว่างไม่ได้เติมเต็มอย่างสมบูรณ์

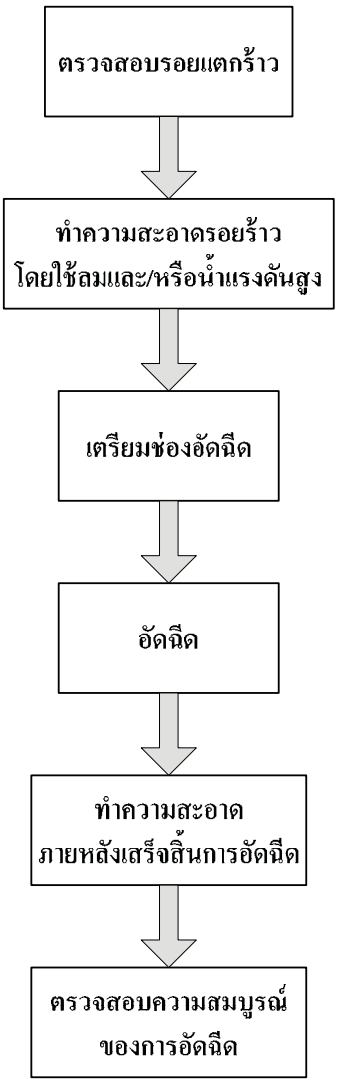
7.2.3.3 การทำความสะอาดภายหลังการอัดฉีด

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการอัดฉีดแล้ว จะต้องนำท่ออัดฉีด เรซินส่วนเกิน และวัสดุอุดรอยร้าวออกจากผิวคอนกรีตให้หมด ซึ่งทำได้โดยการขูดออก ชะล้างด้วยน้ำแรงดันสูง หรือขัดออก (Grinding) และซ่อมปิดรูอัดฉีดให้เต็มด้วยปูนทรายแห้งหรือวัสดุซ่อมแซมอื่นๆ ให้เรียบร้อยและควรระบุไว้ในข้อกำหนดของงานด้วย

7.2.3.4 การตรวจสอบความสมบูรณ์ในการอัดฉีด

ให้พิจารณาตรวจสอบกระบวนการทำงานหากพบว่ารอยร้าวที่ซ่อมไม่สมบูรณ์ ให้เจาะตัวอย่างขนาดเล็กจากคอนกรีตที่ซ่อมแล้วเพื่อตรวจสอบผล ถ้าช่องว่างในตัวอย่างที่เจาะพิสูจน์ถูกเติมเต็มด้วยอีพอกซีเรซินที่แข็งตัวดีมากกว่าร้อยละ 90 ให้ถือว่าการซ่อมแซมนั้นสมบูรณ์ ในกรณีที่ผลการเจาะแสดงให้เห็นว่าการซ่อมแซมไม่สมบูรณ์จะต้องอัดฉีดใหม่ และเจาะเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบอีกครั้ง

7.2.3.5 ขั้นตอนในการอัดฉีดสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 44



รูปที่ 44 ขั้นตอนการอัดฉีดด้วยอีพอกซีเรซิน
(ข้อ 7.2.3.5)

7.3 การอัดฉีดด้วยซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัว (Nonshrink Cement for Grouting)

7.3.1 วัสดุและอุปกรณ์การอัดฉีด

7.3.1.1 วัสดุ ให้เลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติตามหัวข้อ 6.1.6

7.3.1.2 อุปกรณ์การอัดฉีด หรือเครื่องสูบ (Pump)

เครื่องสูบที่ใช้ในการอัดฉีดมีหลายประเภท เช่น เครื่องสูบแบบ Positive-Displacement หรือ เครื่องสูบแบบลูกสูบ (Piston Pump)[19]

[19] รายละเอียดระบบของอุปกรณ์การอัดฉีด ให้ดูได้ในภาคผนวก 4

7.3.2 การใช้งานและข้อจำกัด

7.3.2.1 ซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวอาจใช้เพื่อซ่อมรอยร้าวที่หยุดขยายตัว หรือเพื่อยึดคอนกรีตที่เทแต่ละครั้ง และหรือเพื่อเติมช่องว่างบริเวณรอบ ๆ หรือใต้โครงสร้างคอนกรีต ซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวมักจะมีราคาถูกกว่าสารเคมีสำหรับการเทซ่อมและเหมาะสำหรับการใช้งานในปริมาณมาก

7.3.2.2 การใช้ซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวเทซ่อมอาจแยกตัวจากคอนกรีตเดิมหากรับแรงกระทำดังนั้นจึงอาจเติมเต็มรอยร้าวได้ไม่สมบูรณ์

7.3.3.3 โดยทั่วไปรอยร้าวที่เหมาะสำหรับการใช้น้ำปูนเหลวนี้ควรจะมีขนาดกว้างตั้งแต่ 3 มิลลิเมตรขึ้นไป หากไม่สามารถปิดหรือจำกัดแนวรอยร้าวทุกด้าน การซ่อมอาจไม่ได้ผลเต็มที่ ซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวนี้ยังนำไปใช้อย่างกว้างขวางในการเติมปิดช่องว่างหรือซ่อมแท่นคอนกรีตระหว่างการก่อสร้าง

7.3.3.4 การซ่อมแซมคอนกรีตโดยวิธีอัดฉีดซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวเหมาะสำหรับการซ่อมแซมรอยร้าว รอยแยก รูเปิด หรือแม้แต่ ผิวคอนกรีตที่เป็นรวงผึ้ง (Honeycomb)

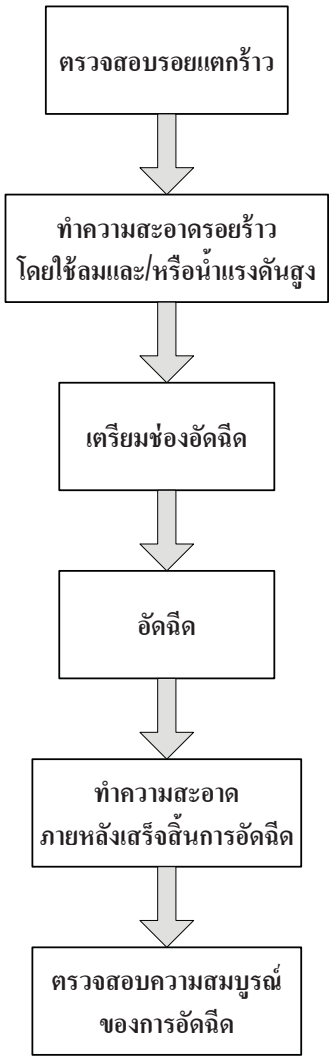
7.3.3 ขั้นตอนการซ่อม

7.3.3.1 การทำความสะอาดคอนกรีตตามแนวรอยร้าว ติดตั้งท่อสำหรับอัดซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวเป็นช่วง ๆ ตามแนวคอนกรีต

7.3.3.2 ทำความสะอาดด้วยน้ำ ทดสอบแนวที่ปิดไว้ และอัดซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวให้ทั่วแนวรอยร้าว ส่วนผสมที่ใช้อาจแตกต่างกันไปตามสภาพการใช้งานโดยอาจใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างน้ำต่อซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวอยู่ในช่วง 1:5 ถึง 1:1 ขึ้นอยู่กับความกว้างของรอยร้าว ควรใช้อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวที่ต่ำที่สุดที่จะใช้ได้เพื่อให้ได้ความแข็งแรงสูงสุดและให้มีการหดตัวน้อยที่สุด

7.3.3.3 อาจใช้ปืนอัดในการซ่อมปริมาณน้อย แต่ถ้ามีปริมาณมากขึ้นควรใช้เครื่องสูบในการซ่อม เมื่อเติมรอยร้าวจนเต็มแล้วควรรักษาแรงดันไว้ระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้มั่นใจว่าได้เติมรอยร้าวจนเต็มจริง ๆ

7.3.3.4 ขั้นตอนวิธีการอัดฉีดด้วยซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 45



รูปที่ 45 ขั้นตอนวิธีการอัดฉีดด้วยซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัว
(ข้อ 7.3.3.4)

7.4 การทำแนวและอุดแนวบริเวณรอยร้าว (Routing และ Sealing)

วิธีการนี้ประกอบด้วยการทำแนวตามรอยร้าวให้มีขนาดใหญ่กว่ารอยร้าวที่ปรากฏอยู่และอุดแนวนั้นด้วยวัสดุที่เหมาะสมดังรูปที่ 46 หากไม่ทำแนวอาจทำให้การซ่อมได้ผลไม่ถาวร วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดและใช้มากสำหรับการซ่อมรอยร้าวที่หยุดขยายตัวแล้ว และรอยร้าวที่อยู่ระดับตื้น (รอยร้าวลึกไม่ถึงระดับเหล็กเสริม)

7.4.1 วัสดุ

7.4.1.1 วัสดุ ให้เลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติตามหัวข้อ 6.2 (อีพอกซีเรซิน) หรือ ตามหัวข้อ 6.1.6 (ซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัว)

7.4.1.2 วัสดุปิดแนวที่ใช้อาจเลือกใช้ประเภทไหนก็ได้ขึ้นอยู่กับความแน่นหรือความคงทนถาวรที่ต้องการ ประเภทที่นิยมใช้คือส่วนประกอบของ อีพอกซีเรซิน

7.4.1.3 วัสดุปิดแนวแบบเทขณะร้อนเหมาะที่สุดสำหรับกรณีที่ไม่จำเป็นต้องซ่อมแนวรอยแตกเพื่อให้ทึบน้ำหรือให้มีความสวยงาม

7.4.1.4 การใช้สารประเภทยูเรเทน พบว่าเหมาะสำหรับรอยร้าวขนาดกว้างถึง 19 มิลลิเมตร (EM 1110-2-2002) และลึกพอสมควร เพราะเป็นวัสดุที่คงความยืดหยุ่นอยู่ได้ในช่วงอุณหภูมิที่ต่างกันมาก

7.4.2 การใช้งานและข้อจำกัด

7.4.2.1 วิธีการนี้ใช้ได้เหมาะสมสำหรับรอยร้าวที่หยุดขยายตัว และอยู่ในโครงสร้างที่ไม่มีความสำคัญมากนัก

7.4.2.2 วิธีการนี้สามารถใช้ได้ทั้งกับรอยร้าวขนาดเล็กที่มีจำนวนมากและรอยร้าวขนาดใหญ่ที่อยู่แยกห่างจากกัน

7.4.2.3 ไม่ควรใช้ซ่อมรอยร้าวที่ยังไม่หยุดขยายตัวหรือรอยแตกที่อยู่บนโครงสร้างที่รับแรงดันน้ำ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้สามารถใช้ชะลอการไหลของน้ำในการซ่อมรอยร้าวของโครงสร้างด้านที่รับแรงดันน้ำ

7.4.2.4 การปิดรอยร้าวด้วยวัสดุปิดแนว มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปถึงเหล็กเสริม (2) ป้องกันไม่ให้เกิดแรงดันน้ำที่แนวรอยร้าว (3) ป้องกันไม่ให้ผิวคอนกรีตเกิดรอยสกปรก หรือ (4) ป้องกันไม่ให้ความชื้นจากอีกด้านของโครงสร้างซึมผ่านรอยร้าวเข้ามาได้ วิธีการติดตั้งวัสดุปิดแนวขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุที่ใช้ ทั้งนี้ควรติดตั้งตามวิธีการที่แนะนำใน ACI 504R

7.4.3 ขั้นตอนการซ่อม

7.4.3.1 การทำแนวสำหรับการซ่อม

ตัดคอนกรีตตามแนวรอยร้าวด้วยเลื่อยหรือเครื่องมือที่เหมาะสมอื่น ๆ เพื่อเปิดรอยร้าวให้มีพื้นที่เพียงพอสำหรับการอุดปิดด้วยวัสดุปิดแนว (Sealant) อย่างน้อยควรกว้าง 6 มิลลิเมตร เพราะหากแคบกว่านี้อาจไม่สามารถเติมวัสดุปิดแนวได้สะดวก ควรทำความสะอาดผิวหน้าของแนวรอยร้าวและปล่อยให้แห้งก่อนการซ่อม

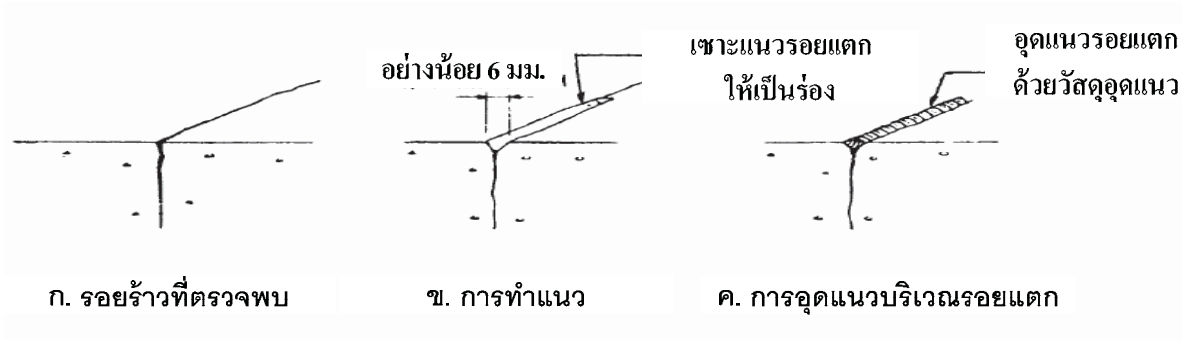
7.4.3.2 การเตรียมผิวรอยร้าว

(1) ผิวรอยร้าวต้องสะอาดและปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่อาจส่งผลเสียต่อความสามารถในการยึดติดระหว่างวัสดุปิดแนวกับผิวรอยร้าว หรืออาจทำให้การยึดติดไม่ต่อเนื่องสม่ำเสมอ วิธีการเตรียมแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

ก. การเตรียมผิวโดยทั่วไป เป็นการกำจัดสิ่งแปลกปลอมซึ่งรวมถึงการล้างทำความสะอาดเศษสิ่งสกปรกที่เกิดจากการตัด และการปัดทำความสะอาดผิวคอนกรีตด้วยแปรงลวด หรือการทำแนวรอยต่อโดยใช้น้ำและเป่าด้วยลมให้แห้ง

ข. การเตรียมผิวโดยวิธีพิเศษ ทำโดยการพ่นด้วยทราย เพื่อขจัดสิ่งแปลกปลอมออก แม้การพ่นด้วยทรายจะมีราคาแพง แต่ก็เป็นวิธีการที่ใช้ได้ผลดีและควรใช้โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องใช้วัสดุปิดแนวราคาสูงประเภทแข็งตัวด้วยอุณหภูมิหรือการบ่มด้วยสารเคมีที่ติดตั้งหน้างาน

(2) ต้องซ่อมแซมความผิดปกติที่ผิวรอยต่อคอนกรีตเนื่องจากมวลรวมที่ใกล้หลุดร่อน สิ่งแปลกปลอมที่ฝังตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีต และเนื้อคอนกรีตที่หลุดร่อนจากการรับแรงอัด ในการทำความสะอาดครั้งสุดท้ายอาจใช้แปรงขัดแต่ควรใช้ลมเป่า (ที่ปราศจากน้ำมันปนเปื้อน) หรือใช้เครื่องดูดฝุ่นจะให้ผลดีกว่า



รูปที่ 46 วิธีการซ่อมแซมแบบทำแนวและอุดแนวบริเวณรอยแตก (Routing และ Sealing)
(ที่มา: EM 1110-2-2002)
(ข้อ 7.4)

7.4.3.3 การตรวจสอบความเรียบร้อยก่อนการติดตั้ง

(1) ก่อนการติดตั้งวัสดุปิดแนวให้ตรวจสอบทุกแนวรอยร้าวเพื่อให้มั่นใจว่าแนวรอยร้าวนั้นสะอาดและแห้งก่อนการติดตั้งวัสดุสำหรับรองรับวัสดุปิดแนว การทารองพื้นหรือการติดตั้งวัสดุปิดแนว

(2) ควรวัดความกว้างของแนวรอยร้าวเพื่อหาปริมาณวัสดุที่ใช้ซ่อม และพิจารณาความเหมาะสมของวัสดุที่จะใช้

7.4.3.4 การทารองพื้นโดยใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติตามข้อ 6.4

(1) การทารองพื้นนั้นจำเป็นสำหรับการทำงานกับผิววัสดุที่มีความพรุนของผิว เช่น คอนกรีต ไม้ และพลาสติก เพื่อให้วัสดุปิดแนวที่ติดตั้งหน้างานยึดติดได้ดี

(2) การทาด้วยแปรงอาจต้องใช้ความระมัดระวังโดยต้องแปรงเอาวัสดุรองพื้นส่วนเกินออกเพื่อให้มั่นใจว่าวัสดุปิดแนวจะยึดเกาะผิวคอนกรีตได้อย่างสม่ำเสมอและทั่วถึง มิฉะนั้นการติดตั้งอาจไม่ประสบผลสำเร็จได้ สำหรับแนวรอยต่อแนวราบ การพ่นสารรองพื้นอาจเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า

(3) สารรองพื้นส่วนใหญ่ต้องใช้เวลาปล่อยให้แห้งก่อนการติดตั้งวัสดุปิดแนวหากไม่ปล่อยให้แห้งก่อนอาจทำให้วัสดุปิดแนวยึดติดได้ไม่ดี

(4) การติดตั้งวัสดุรองรับวัสดุปิดแนว หรือ วัสดุคั่น (Bond Breakers) ต้องมีการกำหนดตำแหน่งด้วยมือก่อนการติดตั้งวัสดุปิดแนวโดยต้องติดตั้งไว้ที่ความลึกที่เหมาะสมและป้องกันไม่ให้เกิดการบิดหรือไม่ให้แนวรอยร้าวที่เตรียมไว้สกปรก

7.4.3.5 การผสมและติดตั้งวัสดุปิดแนว

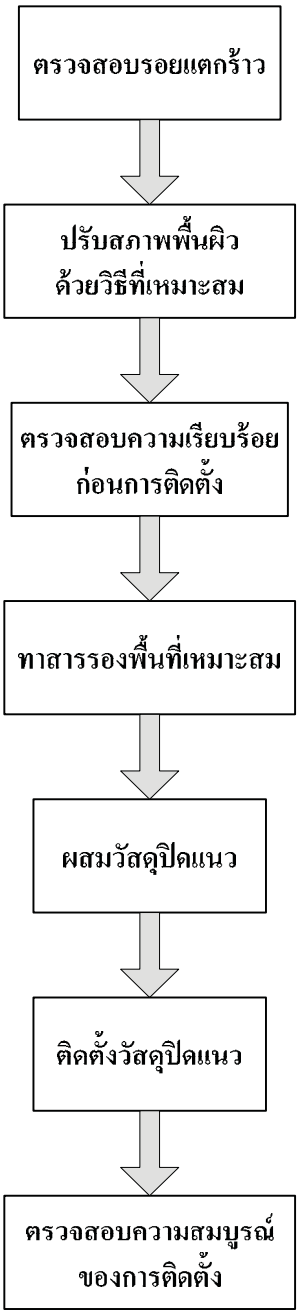
(1) การผสมวัสดุปิดแนว

การผสมวัสดุปิดแนว ต้องผสมวัสดุปิดแนวอย่างทั่วถึง หากมีปริมาณวัสดุปิดแนวมากพอสมควร อาจจำเป็นต้องใช้เครื่องมือผสมแบบใช้แรงกล แต่หากปริมาณไม่มากอาจใช้เครื่องปั่นไฟฟ้าแบบมือถือได้ หากมีปริมาณมากต้องใช้เครื่องมือผสมที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ เช่น โม่ เป็นต้น

(2) การติดตั้งวัสดุปิดแนวประเภทพอลิเมอร์

การติดตั้งวัสดุปิดแนวประเภทพอลิเมอร์ที่หน้างาน วัสดุปิดแนวจะถูกอัดด้วยแรงดันออกมาจากปลายหัวฉีดซึ่งมีขนาดและรูปร่างเหมาะสมในการอัดวัสดุปิดแนวในปริมาณที่พอดีลงในแนวรอยต่อ อุปกรณ์สำหรับการติดตั้ง คือ ปืนยิงวัสดุปิดแนวประกอบภาชนะใส่วัสดุปิดแนวที่บรรจุสำเร็จกับปืนยิงเมื่อต้องการใช้งาน หรือใช้วัสดุปิดแนวที่เตรียมไว้หรือที่ผสมไว้ (ในกรณีที่วัสดุปิดแนวมีส่วนผสมสองชนิด) ในภาชนะต่างหากและบรรจุในปืนสำหรับฉีดที่หน้างาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของงาน ซึ่งอาจเลือกใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อนกว่านี้ เช่น อุปกรณ์ที่ส่วนผสมสองชนิดผ่านท่อแยกกันสองสายและมาผสมกันบริเวณหัวฉีดซึ่งมีภาชนะขนาดเล็กบรรจุไว้ ก่อนที่จะถูกอัดฉีดเพื่อยาแนวรอยต่อ การฉีดอาจใช้แรงดันจากเครื่องสูบแบบอัดอากาศหรือก๊าซก็ได้

7.4.3.6 ขั้นตอนวิธีการซ่อมแซมแบบทำแนวและอุดแนวบริเวณรอยร้าว (Routing และ Sealing) สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 47



รูปที่ 47 **ขั้นตอนวิธีการซ่อมแซมแบบทำแนวและอุดแนวบริเวณรอยร้าว** (Routing และ Sealing)
(ข้อ 7.4.3.6)

7.5 การเททับด้วยปูนทรายสูตรพิเศษ

การเททับ หมายถึง การเพิ่มชั้นของปูนทรายสูตรพิเศษบนผิวคอนกรีตเดิมที่เตรียมสภาพดีแล้ว เพื่อแก้ไขการหลุดร่อนหรือแยกตัวของผิวคอนกรีตเดิม หรือเพิ่มความสามารถในการรับแรงของ

คอนกรีตเดิม ควรตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างว่าสามารถรับน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมเพิ่มเติมได้หรือไม่ก่อนการซ่อมแซม

7.5.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติตามข้อ 6.1.3

7.5.2 การใช้งานและข้อจำกัด

7.5.2.1 การเททับด้วยปูนทรายสูตรพิเศษเหมาะกับงานหลายลักษณะ เช่น การซ่อมผิวสะพานที่หลุดร่อนหรือแตกร้าว เพิ่มระยะหุ้มเหล็กเสริมหรือปรับพื้นคอนกรีตให้เรียบ การเททับโครงสร้างในลักษณะอื่นๆ รวมถึงการซ่อมผิวหน้าคอนกรีตซึ่งเสียหายจากการขัดสีและผิวถนนคอนกรีตที่เสียหาย

7.5.2.2 ความหนาของชั้นที่เททับมักอยู่ในช่วง 3 ถึง 25 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งาน

7.5.2.3 ไม่ควรใช้วิธีการเททับด้วยปูนทรายสูตรพิเศษ ในกรณีดังต่อไปนี้

(1) คอนกรีตเดิมเสียหายจากการกัดกร่อนของสารเคมี ซึ่งคาดว่ายังอาจสร้างความเสียหายให้โครงสร้างภายหลังการซ่อมแซม

(2) เททับคอนกรีตเดิมที่มีรอยร้าวซึ่งยังขยายตัวอยู่ หรือโครงสร้างยังคงมีการขยับตัว เนื่องจากรอยร้าวเดิมอาจขยายเข้ามาในส่วนที่เททับเพิ่ม

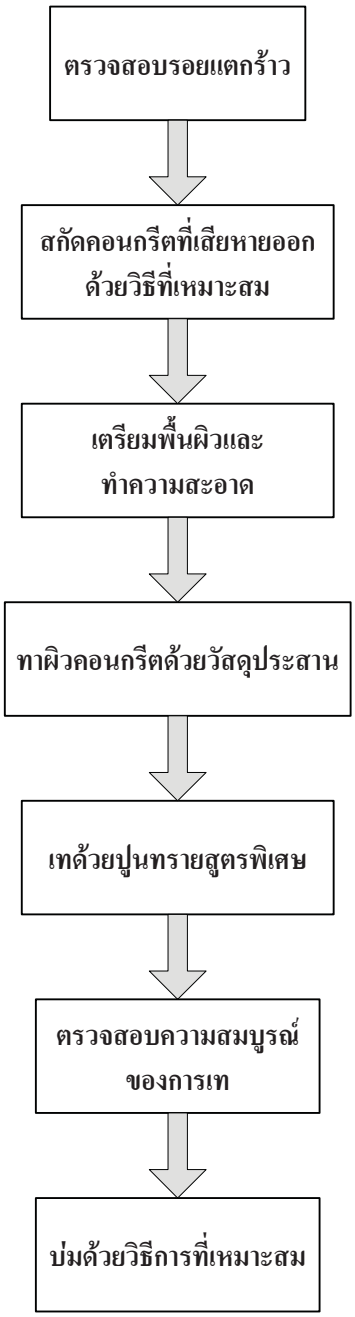
7.5.3 ขั้นตอนการซ่อม

7.5.3.1 กำจัดคอนกรีตที่เสียหายออกและเตรียมผิวคอนกรีตที่จะซ่อมแซมตามแนวทางในบทที่ 5 ผิวคอนกรีตเดิมต้องแห้ง สะอาด ผิวไม่เรียบและปราศจากฝุ่น เพื่อให้ปูนทรายสูตรพิเศษที่เททับยึดติดกับคอนกรีตเดิมได้ดี

7.5.3.2 ในกรณีที่จำเป็นให้ทาผิวคอนกรีตที่เตรียมไว้ด้วยสารเชื่อมประสานตามข้อ 6.4 เพื่อช่วยในการยึดเกาะ

7.5.3.3 การเททับด้วยปูนทรายสูตรพิเศษ เขย่า และบ่มตามวิธีการปฏิบัติสำหรับคอนกรีตธรรมดา ตามมาตรฐาน มยธ. 101

7.5.3.4 ขั้นตอนวิธีการเททับหน้า และการซ่อมแซมผิวด้วยปูนทรายสูตรพิเศษสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 48



รูปที่ 48 ขั้นตอนวิธีการเททับผิวหน้า และการซ่อมแซมผิวด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
(ข้อ 7.6)

7.6 การเททับผิวหน้าและการซ่อมแซมผิวด้วยวัสดุพอลิเมอร์ (EM 1110-2-2002)
การเททับผิวมักประกอบด้วยคอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ผสมลาเทกซ์ (Latex Modified) หรือคอนกรีต หรือมอร์ต้าร์ผสมอีพอกซีเรซิน (Epoxy-Resin Modified) และส่วนผสมของอีพอกซีเรซิน ควรตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างว่าสามารถรับน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมเพิ่มเติมได้หรือไม่ก่อนการซ่อมแซม

7.6.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติตามหัวข้อที่ 6.3

7.6.2 การใช้งานและข้อจำกัด

7.6.2.1 การเททับที่มีความหนาระหว่าง 25 ถึง 51 มิลลิเมตร มักใช้คอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ผสมอีพอกซีเรซิน ในขณะที่การเททับที่มีความหนาเกิน 51 มิลลิเมตรให้ใช้คอนกรีตธรรมดา

7.6.2.2 คอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ผสมอีพอกซีเรซินนั้นเหมาะที่สุดสำหรับการใช้งานในพื้นที่ที่คอนกรีตเสียหายเนื่องจากสารที่มีความสามารถในการกัดกร่อนสูง เช่น สารละลายกรดหรือสารเคมีอื่น ๆ การเททับด้วยวัสดุนี้ใช้ในกรณีที่ต้องการซ่อมรอยร้าวทันทีหลังจากเกิดโดยต้องรู้สาเหตุของการร้าวชัดเจนและมั่นใจว่ารอยร้าวจะไม่ขยายตัวเพิ่มขึ้นในอนาคต ทั้งนี้ต้องมั่นใจว่าวัสดุเททับชนิดนี้จะยึดติดได้ดีกับผิวโครงสร้างเดิม นอกจากนี้การซ่อมโครงสร้างที่อยู่ภายนอกจำเป็นต้องหาวัสดุที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งานด้วย

7.6.2.3 พื้นคอนกรีตบนดินหรือผนังคอนกรีตที่มีดินอยู่อีกด้าน ซึ่งอยู่ในสภาวะอุณหภูมิต่ำมาก ไม่ควรใช้วัสดุเททับผิวที่อาจจะป้องกันไม่ให้ไอน้ำจากดินระเหยผ่านออกไปภายนอกได้ เพราะอาจทำให้เกิดการรวมตัวของความชื้นในเนื้อโครงสร้างใต้หรือหลังชั้นเททับนั้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความเสียหายเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของน้ำจากการขยายและหดตัวได้ โครงสร้างประเภทนี้มีปัญหามากโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าโครงสร้างเดิมไม่ใช่คอนกรีตที่มีการใช้สารกักการกระจายของฟองอากาศ (Air-Entrained Concrete) และอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิที่แตกต่างตลอดเวลา

7.6.3 ขั้นตอนการซ่อม

7.6.3.1 คอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ผสมอีพอกซีเรซิน

(1) มวลรวมที่ใช้สำหรับคอนกรีตปอร์ตแลนด์สามารถใช้เป็นส่วนผสมในการซ่อมด้วยวิธีนี้ได้โดยผสมเพิ่มเข้าไปเพื่อลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มประสิทธิภาพในการซ่อมหรือทำผิวพื้น มวลรวมที่ใช้ต้องสะอาดและแห้งเมื่อนำมาใช้ ขนาดของมวลรวมที่ใช้ต้องมีขนาดคละที่ดีโดยขนาดที่เล็กที่สุดจะต้องสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 100 ได้และขนาดใหญ่สุดไม่เกินหนึ่งในสามของความลึกเฉลี่ยของผิวที่ซ่อมหรือช่องเปิดสำหรับเท อย่างไรก็ตามขนาดมวลรวมใหญ่สุดที่แนะนำสำหรับคอนกรีตผสมอีพอกซีเรซินคือ 25 มิลลิเมตร ในขณะที่ขนาดมวลรวมที่ใหญ่สุดที่นิยมใช้สำหรับมอร์ต้าร์ผสมอีพอกซีเรซิน คือ ขนาดที่สามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 8

(2) การผสมอีพอกซีเรซินต้องใช้เครื่องมือผสมยกเว้นกรณีปริมาตรต่ำกว่า 0.5 ลิตร ส่วนการผสมคอนกรีตหรือมอร์ต้าร์เข้ากับอีพอกซีเรซินนั้นอาจใช้เครื่องผสมหรือใช้มือผสมก็ได้ กรณีผสมคอนกรีตและอีพอกซีเรซินด้วยมือ ให้เริ่มผสมมอร์ต้าร์และอีพอกซีเรซินให้ทั่วถึงแล้วจึงนำส่วนผสมที่ได้ไปผสมมวลรวมเพิ่มทีละน้อยโดยใส่ขนาดเล็กก่อนตามด้วยมวลรวมหยาบ วิธีนี้จะช่วยให้ผิวหน้าของมวลรวมได้สัมผัสอีพอกซีเรซินอย่างทั่วถึง และได้ส่วนผสมที่ค่อนข้างเปียกเมื่อเติมมวลรวมหยาบลงไป

(3) ควรทาผิวโครงสร้างที่สะอาดด้วยอีพอกซีเรซินรองพื้นโดยใช้แปรงฉาบหรือวิธีอื่นให้ทั่วถึงก่อนการทาด้วยวัสดุซ่อมซึ่งต้องทำขณะที่วัสดุรองพื้นยังเหนียวอยู่ หากความลึกของชั้นที่ต้องการซ่อมมากกว่า 50 มิลลิเมตร ควรเทแต่ละชั้นให้หนาไม่เกิน 50 มิลลิเมตร โดยเว้นช่วงเวลาระหว่างการเทแต่ละชั้นเพื่อให้มีการระบายความร้อนออกมากที่สุด แต่ไม่ควรเกินระยะเวลาที่อีพอกซีเรซินเริ่มแข็งตัว

(4) วัสดุที่เหลือไม่ควรปล่อยให้ติดอยู่ที่บริเวณอื่นของโครงสร้างเพราะจะทำความสะอาดได้ยาก ควรตกแต่งผิวให้เรียบสวย และให้ทำความสะอาดอีพอกซีเรซินที่เหลือค้างบนเครื่องมือด้วยสารละลายที่เหมาะสมภายหลังกานผสม หลังการทำความสะอาดต้องเช็ดสารละลายออกจากเครื่องมือให้หมด

(5) วัสดุที่ใช้สำหรับงานซ่อมและทำความสะอาดมักจะไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพยกเว้นคนที่มีความไวต่อสารเคมี อย่างไรก็ตามควรระมัดระวังระหว่างการใช้สารเคมีระหว่างการใช้งาน

7.6.3.2 คอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ผสมลาเทกซ์ ที่นิยมใช้ผสมในคอนกรีตที่ใช้เทบนผิวโครงสร้างเดิม คือ สไตรีน-บิวทะไดอีน (Styrene-Butadiene)

(1) วัสดุและขั้นตอนการผสมมอร์ต้าร์และคอนกรีตกับลาเทกซ์คล้ายกับการผสมคอนกรีตธรรมดาหรือมอร์ต้าร์ โดยปกติต้องใช้ลาเทกซ์ในปริมาณที่มากกว่าสารผสมเพิ่มประเภทอื่น ขั้นตอนในการก่อสร้างสำหรับคอนกรีตผสมลาเทกซ์แตกต่างจากการผสมคอนกรีตธรรมดา ดังนี้

(1.1) เครื่องมือผสมต้องมีวิธีการเก็บและเติมลาเทกซ์ลงไปในส่วนผสม

(1.2) คอนกรีตนี้มีค่าการยุบตัวสูง (ปกติอยู่ที่ประมาณ 125 $\pm$25 มิลลิเมตร) และไม่ใส่สารกักการกระจายของฟองอากาศ (Air-Entrainment) และ

(1.3) ต้องมีการผสมผสานระหว่างการบ่มเปียกและบ่มแห้ง

(2) การผลิตคอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ผสมลาเทกซ์ ทำในเครื่องผสมเคลื่อนที่ได้ที่มีถังสำหรับเก็บลาเทกซ์ เพิ่มขึ้นต่างหาก ซึ่งควรควบคุมให้อยู่ในอุณหภูมิระหว่าง 7 ถึง 30 องศาเซลเซียส (45 ถึง 85 องศาฟาเรนไฮต์) หรือเป็นไปตามที่ผู้ผลิตกำหนด

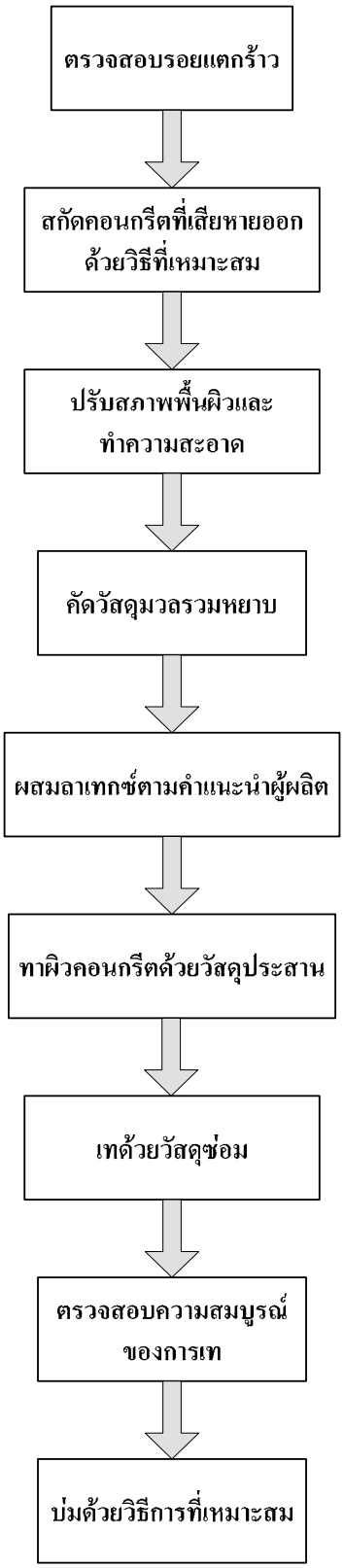
(3) วัสดุเชื่อมประสานช่วยในการยึดเกาะนั้นทำมาจากมอร์ต้าร์ผสมลาเทกซ์ ซึ่งไม่มีมวลรวมหยาบในส่วนผสมให้นำไปทาบนผิวของคอนกรีตที่จะซ่อม

(4) การเททำได้ง่ายและใช้อุปกรณ์เหมือนกับการเทคอนกรีตธรรมดา

(5) ในกรณีที่ไม่ได้กำหนดวิธีการบ่มไว้โดยผู้ผลิตวัสดุ ควรคลุมผิวหน้าด้วยกระสอบเปียกทันทีที่เริ่มรับแรงได้เป็นเวลา 1 ถึง 2 วัน เอากระสอบออกและปล่อยให้แห้งไม่น้อยกว่า 72 ชั่วโมง

7.6.3.3 ขั้นตอนวิธีการเททับผิวหน้า และการซ่อมแซมผิว ด้วยวัสดุพอลิเมอร์ประเภทคอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ผสมอีพอกซีเรซิน และคอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ผสมลาเทกซ์ สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 49 และ 50 ตามลำดับ

รูปที่ 49 ขั้นตอนวิธีการเททับผิวหน้าและการซ่อมแซมผิว
ด้วยวัสดุพอลิเมอร์ประเภทคอนกรีตผสมอีพอกซีเรซิน
(ข้อ 7.6.3.3)



รูปที่ 50 ขั้นตอนวิธีการเททับผิวหน้า และการซ่อมแซมผิว
ด้วยวัสดุพอลิเมอร์ประเภทคอนกรีตผสมลาเทกซ์
(ข้อ 7.6.3.3)

7.7 การเททับด้วยคอนกรีตธรรมดา

การเททับด้วยคอนกรีตธรรมดา คือ การเพิ่มชั้นของคอนกรีตใหม่ บนผิวคอนกรีตเดิมที่เตรียมสภาพดีแล้ว เพื่อแก้ไขการหลุดร่อนหรือแยกตัวของผิวคอนกรีตเดิมหรือเพิ่มความสามารถในการรับแรงของคอนกรีตเดิม ควรตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างว่าสามารถรับน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมเพิ่มเติมได้หรือไม่ก่อนการซ่อมแซม

7.7.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติตามข้อ 6.1.1

7.7.2 การใช้งานและข้อจำกัด

7.7.2.1 การเททับด้วยคอนกรีตธรรมดาอาจเหมาะกับงานหลายลักษณะ เช่น การซ่อมผิวสะพานที่หลุดร่อนหรือแตกร้าว เพิ่มระยะหุ้มเหล็กเสริมหรือปรับพื้นคอนกรีตให้เรียบ วิธีการเททับสำหรับการใช้งานอื่นๆ รวมถึงการซ่อมผิวหน้าคอนกรีตซึ่งเสียหายจากการขัดสีและผิวถนนลาดคอนกรีตที่เสียหาย

7.7.2.2 ความหนาของชั้นที่เททับมักอยู่ในช่วง 100 ถึง 600 มิลลิเมตรขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งาน

7.7.2.3 ไม่ควรใช้วิธีการเททับด้วยคอนกรีต ในกรณีดังต่อไปนี้

(1) คอนกรีตเดิมเสียหายจากการกัดกร่อนของสารเคมี ซึ่งคาดว่ายังอาจสร้างความเสียหายให้โครงสร้างภายหลังการซ่อมแซม

(2) เททับคอนกรีตเดิมที่มีรอยร้าวซึ่งยังขยายตัวอยู่ หรือโครงสร้างยังคงมีการขยับตัว เนื่องจากรอยร้าวเดิมอาจขยายเข้ามาในส่วนที่เททับเพิ่ม

7.7.2.4 ต้องคำนึงถึงแนวโน้มที่คอนกรีตที่เททับอาจแตกร้าวจากการยึดรั้ง และควรพิจารณาใช้ทุกวิธีที่เพื่อช่วยลดการหดตัวหรือลดความแตกต่างของอุณหภูมิในเนื้อคอนกรีต ไม่ว่าจะด้วยการเปลี่ยนวัสดุ ส่วนผสมหรือวิธีการก่อสร้าง การทำงานปรับปรุงผิวหน้าให้มีรอยร้าวน้อยลงเป็นผลจากการใช้ปูนซีเมนต์ปริมาณน้อย มวลรวมหยาบขนาดใหญ่ อุณหภูมิระหว่างการเทและการบ่มที่ต่ำ การเทแต่ละครั้งเป็นปริมาณน้อยและการบ่มที่ดี การทำแนวรอยต่อที่ห่างกันประมาณ 1.5 เมตร พบว่าสามารถช่วยลดการแตกร้าวในชั้นเททับทั้งแนวตั้งและแนวระนาบ ไม่ควรใช้วิธีการตัดแนวรอยต่อกับโครงสร้างที่มีการเทคอนกรีตทับหน้า

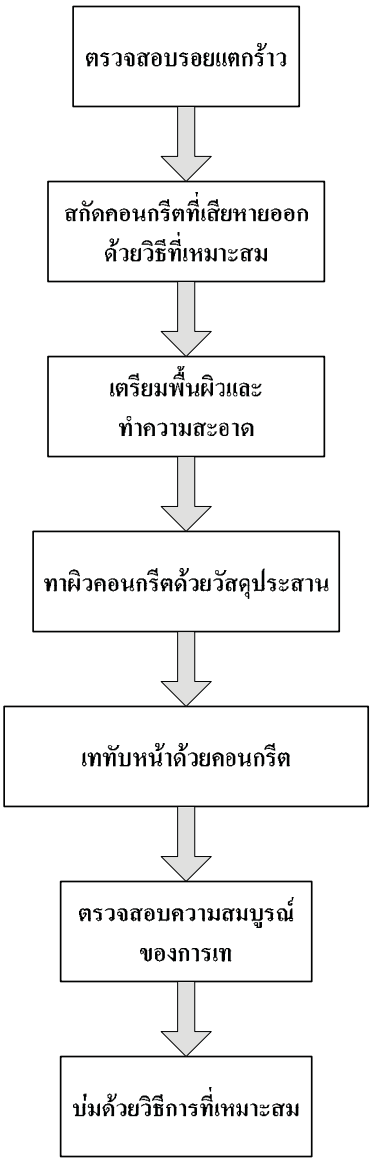
7.7.3 ขั้นตอนการซ่อม

7.7.3.1 กำจัดคอนกรีตที่เสียหายออกและเตรียมผิวคอนกรีตที่จะซ่อมแซมตามแนวทางในบทที่ 5 ผิวคอนกรีตเดิมต้องแห้ง สะอาด ผิวไม่เรียบและปราศจากฝุ่น เพื่อให้คอนกรีตที่เททับยึดติดกับคอนกรีตเดิมได้ดี

7.7.3.2 ในกรณีที่จำเป็นให้ทาผิวคอนกรีตที่เตรียมไว้ด้วยสารเชื่อมประสานตามข้อ 6.4 เพื่อช่วยในการยึดเกาะ

7.7.3.3 การเททับด้วยคอนกรีต เขย่า และบ่มตามวิธีการปฏิบัติสำหรับคอนกรีตธรรมดาตามมาตรฐาน มยธ. 101

7.7.3.4 ขั้นตอนวิธีการเททับผิวหน้า และการซ่อมแซมผิวด้วยเททับหน้าด้วยคอนกรีตธรรมดาสามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 51 ดังนี้



รูปที่ 51 ขั้นตอนวิธีการเททับผิวหน้า และการซ่อมแซมผิวด้วยคอนกรีตธรรมดา
(ข้อ 7.7.3.7)

7.8 การเทด้วยคอนกรีตธรรมดา (Conventional Concrete Placement)

วิธีการนี้ประกอบด้วยการเททับคอนกรีตที่แตกร้าวด้วยส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสม ซึ่งจะกลายเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างคอนกรีตเดิม (รูปที่ 52) ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ควรเป็นส่วนผสมที่ไหลได้ดี ให้กำลังอัดและความคงทนที่เหมาะสม ควรมีอัตราส่วนน้ำต่อคอนกรีตต่ำ (w/c) และปริมาณมวลรวมหยาบสูง เพื่อลดการเกิดรอยร้าวจากการหดตัว (Shrinkage Cracking) ในภายหลัง ควรตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างว่าสามารถรับน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมเพิ่มเติมได้หรือไม่ก่อนการซ่อมแซม

7.8.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติตามข้อ 6.1.1

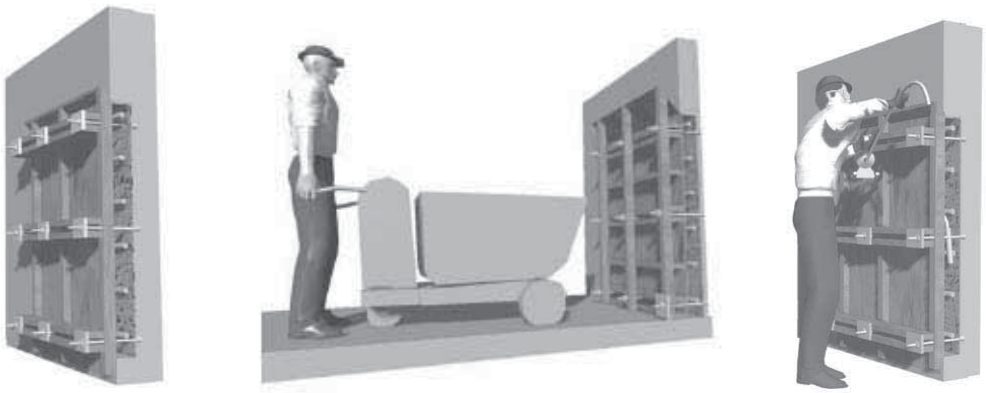
7.8.2 การใช้งานและข้อจำกัด

7.8.2.1 วิธีการนี้เหมาะสมกับรอยร้าวทะลุตลอดความลึกของผนังคอนกรีต หรือ คอนกรีตที่ร้าวผ่านเหล็กเสริมและบริเวณที่เกิดรอยร้าวมีขนาดใหญ่

7.8.2.2 วิธีการนี้เหมาะสมกับบริเวณที่เสียหายจากการเกิดโพรงเป็นบริเวณกว้างในโครงสร้างใหม่ ไม่ควรใช้คอนกรีตแบบธรรมดาในกรณีที่ยังคงมีปัจจัยที่เป็นสาเหตุของความเสียหายอยู่ในบริเวณนั้น เช่น หากความเสียหายเกิดจากการกัดกร่อนของกรดหรือสารละลายในน้ำอื่นหรือการขัดสี (Abrasion Erosion) การใช้คอนกรีตธรรมดาในการซ่อมแซมอาจไม่เพียงพอและไม่ประสบผลสำเร็จ นอกจากสาเหตุของปัญหาจะได้รับการแก้ไขแล้ว

7.8.3 ขั้นตอนการซ่อม

7.8.3.1 กำจัดคอนกรีตที่เสียหายออกและเตรียมผิวคอนกรีตที่จะซ่อมแซมตามแนวทางในบทที่ 5 ผิวคอนกรีตเดิมต้องแห้ง สะอาด ผิวไม่เรียบและปราศจากฝุ่น เพื่อให้คอนกรีตที่เททับยึดติดกับคอนกรีตเดิมได้ดี



รูปที่ 52 วิธีการซ่อมแซมโดยวิธีการเทด้วยคอนกรีตธรรมดา (ที่มา: ACI-RAP 4)
(ข้อ 7.8)

และบริเวณโพรงที่จะซ่อมแซมควรจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

(1) มีบริเวณที่กะเทาะหรือขอบที่ขรุขระไม่เรียบ (Featheredging) น้อยที่สุด

(2) ผิวที่ระดับเท่าผิวจริงที่ต้องการทั้งด้านข้างและด้านบน

(3) ผิวด้านในที่ตั้งฉากกับแบบ ยกเว้นด้านบนสุดควรทำให้ลาดเอียงมาทางด้านหน้าโดยมีความลาดชัน ประมาณ 1:3

(4) ทำลิ่มตามความเหมาะสมเพื่อรั้งส่วนที่ซ่อมแซมเข้ากับโครงสร้าง

(5) สกัดคอนกรีตหลังแนวเหล็กเสริมออกให้ได้ตามข้อ 5.4.2

(6) มุมภายในควรลบเหลี่ยมให้มนโดยให้มีรัศมีความโค้งประมาณ 25 มิลลิเมตร

7.8.3.2 ผิวที่ซ่อมควรทำความสะอาดให้ทั่วถึงด้วยวิธีพ่นด้วยทรายแบบเปียกหรือแบบแห้ง หรือวิธีพ่นอนุภาคโลหะ หรือวิธีการอื่นที่ให้ผลเทียบเท่า และทำความสะอาดครั้งสุดท้ายด้วยลมหรือน้ำโดยใช้แรงดัน การพ่นทรายควรจำกัดให้ทำเฉพาะบนผิวที่จะถูกเททับด้วยคอนกรีตใหม่ ส่วนใหญ่จะมีการติดตั้งเหล็กเดือย (Dowel) และเหล็กเสริมเพื่อให้คอนกรีตที่เทเพิ่มคงสภาพอยู่ได้ด้วยตัวเองและยึดติดกับคอนกรีตเดิมได้

7.8.3.3 การซ่อมบนผิวแนวตั้งในโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่มักจำเป็นต้องใช้แบบด้านหน้าและด้านหลังควรสร้างให้มั่นคงแข็งแรงเพียงพอและป้องกันไม่ให้น้ำปูนรั่วซึมผ่านได้ แบบด้านหลังอาจเป็นชิ้นเดียว แต่แบบด้านหน้าควรสร้างขึ้นให้แยกติดตั้งตามระยะทำงานได้ เพื่อให้สามารถเทคอนกรีตหลายครั้งได้ ผิวคอนกรีตเดิมควรแห้งสนิทขณะซ่อม ผิวซ่อมแซมที่มีความหนาน้อยกว่า 50 มิลลิเมตร ควรทาผิวด้วยวัสดุเชื่อมประสานเพื่อช่วยในการยึดเกาะ ในขณะที่ผิวซ่อมแซมที่หนามากกว่านั้นมักไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุเชื่อมประสานช่วยในการยึดเกาะ ในขั้นแรกให้ทาผิวคอนกรีตที่จะซ่อมด้วยปูนทรายชั้นบางๆ ที่หนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร แล้วเทราดด้วยน้ำปูน หรืออาจใช้อีพอกซีเรซิน ที่มีคุณสมบัติตาม ASTM C881, Type II หรือ Type V แทนได้ โดย ACI 503.2 ได้กำหนดขั้นตอนการติดตั้งคอนกรีตสดให้ยึดเกาะกับผิวคอนกรีตเดิมโดยใช้สารเชื่อมประสานประเภทอีพอกซีเรซิน

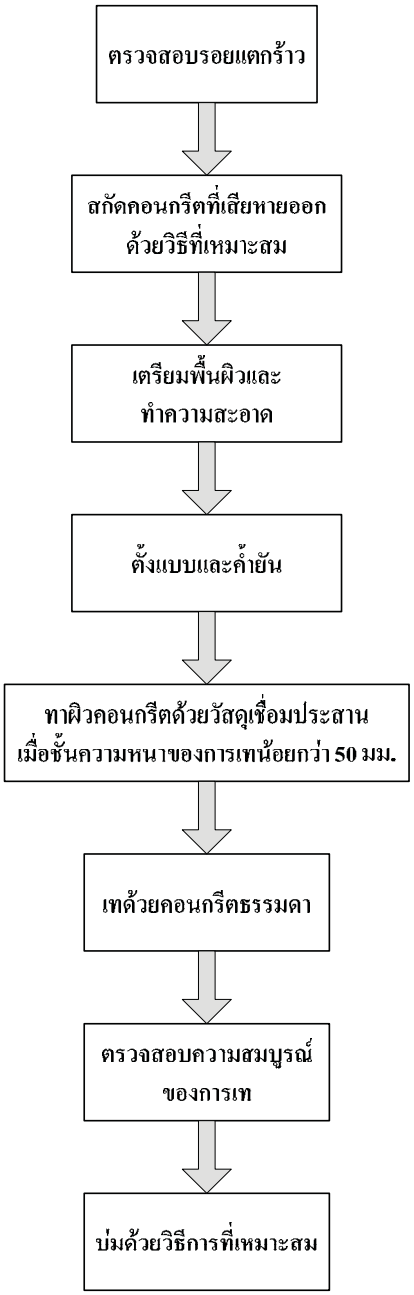
7.8.3.4 คอนกรีตที่ใช้สำหรับซ่อมแซมควรมีคุณสมบัติเหมือนกับคอนกรีตเดิมทั้งในส่วนของขนาดวัสดุมวลรวมและสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ควรใช้เครื่องสั่นคอนกรีตในการเทแต่ละครั้ง วิธีการเทและการทำให้คอนกรีตแน่น ให้เป็นไปตามมาตรฐาน มยธ. 101

7.8.3.4 ในการเทคอนกรีตธรรมดาในแนวดิ่งหรือเทจากด้านบน มักนิยมใช้เครื่องสูบ โดยใช้เครื่องที่มีขนาดเหมาะสมและสามารถปรับความแรงในการสูบคอนกรีต ในกรณีที่มีแบบควรป้องกันฟองอากาศที่อาจติดอยู่ใต้ผิวคอนกรีตด้วยการสกัดเอาคอนกรีตใน

โครงสร้างเดิมที่อาจกักอากาศได้ออกไป แบบที่ใช้ควรเป็นแบบที่ป้องกันน้ำรั่วซึมได้เกือบทั้งหมด และมีการยึดรั้งไว้อย่างดี เพื่อให้แรงดันจากการสูบคอนกรีตช่วยในการยึดคอนกรีตใหม่กับคอนกรีตเดิม

7.8.3.5 บ่มคอนกรีตที่ทำการเทซ่อมแซมด้วยวิธีการที่เหมาะสม ตามตามมาตรฐาน มยธ. 101

7.8.3.6 วิธีการซ่อมแซมโดยวิธีการเทด้วยคอนกรีตธรรมดาสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 53



รูปที่ 53 วิธีการซ่อมแซมโดยวิธีการเทด้วยคอนกรีตธรรมดา
(ข้อ 7.8.3.6)

7.9 การเย็บติด (Stitching)

วิธีการนี้ประกอบไปด้วยการเจาะรูทั้งสองฝั่งของรอยร้าว ติดตั้งเหล็กเสริมหรือลวดเหล็กรูปตัวยู (U) ขาสั้น (Stitching Dog) และอัดด้วยวัสดุเชื่อมประสาน เช่น อีพอกซีเรซิน เป็นต้น โดยให้เหล็กเสริมหรือลวดเหล็กพาดข้ามความกว้างของรอยร้าว ดังแสดงในรูปที่ 54

7.9.1 วัสดุ

7.9.1.1 เหล็กเสริม ต้องมีคุณสมบัติตามหัวข้อ 6.6.1

7.9.1.2 อีพอกซีเรซิน ต้องมีคุณสมบัติตามหัวข้อ 6.4.1

7.9.2 การนำไปใช้และข้อจำกัด

7.9.2.1 วิธีการนี้สามารถใช้ได้ในกรณีที่ต้องการรักษากำลังดึงของคอนกรีตในแนวตั้งฉากกับรอยร้าว

7.9.2.2 วิธีการนี้จะส่งผลในการเพิ่มการยึดรั้งในโครงสร้างคอนกรีตซึ่งอาจทำให้เกิดรอยร้าวในบริเวณอื่น ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องเสริมความแข็งแรงของคอนกรีตในบริเวณใกล้เคียงด้วยการใช้เหล็กเสริมภายนอกที่ฝังอยู่ในคอนกรีตทับหน้า

7.9.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

7.9.3.1 เจาะรูทั้งสองฝั่งของแนวรอยร้าว

7.9.3.2 ทำความสะอาดรูที่เจาะด้วยวิธีการในหัวข้อที่ 5

7.9.3.3 ติดตั้งเหล็กเสริมหรือลวดเหล็กรูปตัวยู โดยให้ขาของตัวยูอยู่ในรูที่เจาะแล้วจึงยึดไว้ด้วยซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัว หรือวัสดุประเภทอีพอกซีเรซินที่ใช้เสริมการยึดเกาะ เหล็กเสริมหรือลวดเหล็กที่ใช้ควรมีความยาวและทิศทางแตกต่างกัน และควรติดตั้งโดยให้ตำแหน่งที่รับแรงดึงของลวดแต่ละเส้นกระจายตัวและไม่อยู่บนแนวเดียวกัน

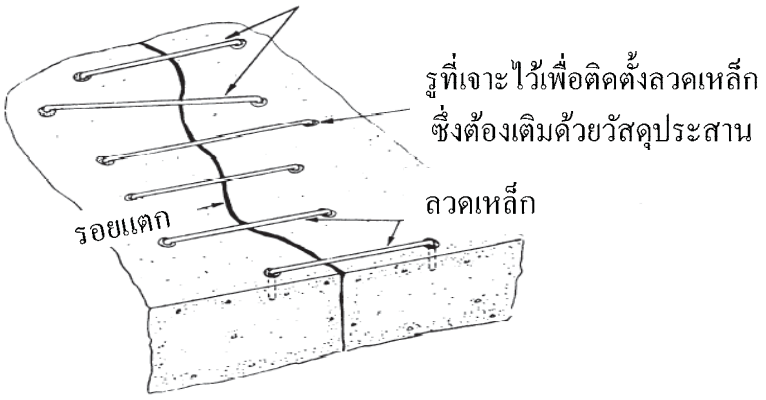
7.9.3.4 การจัดระยะของลวดโลหะรูปตัวยู ควรน้อยลงเมื่อเข้าใกล้ปลายของรอยร้าว นอกจากนี้ควรเจาะรูที่ปลายรอยร้าวทุกปลายเพื่อหยุดการร้าวและเพื่อกระจายความเข้มของแรงในบริเวณปลายรอยร้าว

7.9.3.5 หากเป็นไปได้ ควรเย็บรอยร้าวทั้งสองด้านของคอนกรีตที่ร้าวเพื่อป้องกันไม่ให้เหล็กเสริมหรือลวดเหล็กงอตัวหรือหลุดออกหากมีการเคลื่อนไหวของคอนกรีตส่วนนั้น ในโครงสร้างคอนกรีตที่รับแรงดัดอาจเย็บคอนกรีตเพียงด้านเดียวได้โดยการเย็บด้านที่เกิดรอยร้าวเพราะรับแรงดึง หากรอยร้าวเกิดขึ้นจากแรงดึงตามแนวแกนควรติดตั้งลวดโลหะให้สมมาตรกันทุกด้าน ถึงแม้จำเป็นต้องขุดหรือทำลายโครงสร้างบางส่วนเพื่อให้สามารถเข้าไปติดตั้งเหล็กเสริมหรือลวดเหล็กอีกด้านหนึ่งของโครงสร้างได้

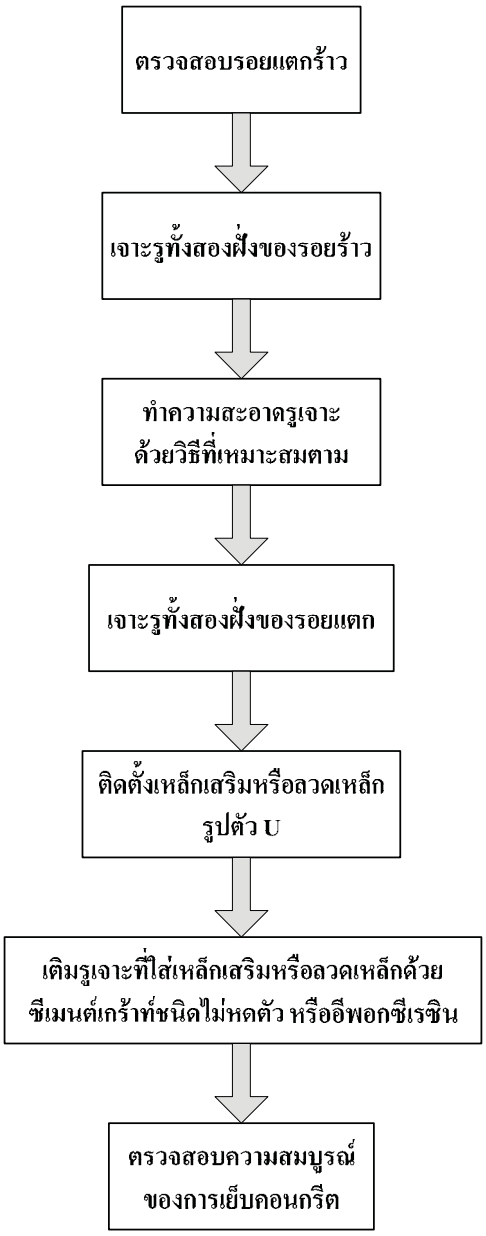
7.9.3.6 การเย็บคอนกรีตไม่สามารถปิดรอยร้าวแต่จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดรอยร้าวมากขึ้นได้ ในกรณีที่มีน้ำ ควรอุดป้องกันน้ำบริเวณรอยร้าวเพื่อไม่ให้เหล็กเสริมหรือลวดเหล็กเป็นสนิมในภายหลัง การป้องกันน้ำนี้ควรทำก่อนเย็บคอนกรีต หากระหว่างการซ่อมยังมีการร้าวเพิ่มอยู่ อาจใช้การปิดแนวรอยร้าวด้วยวัสดุยืดหยุ่น ร่วมกับการเย็บรอยร้าว

7.9.3.7 เนื่องจากในบางกรณีเหล็กเสริมหรือลวดเหล็กมีขนาดบางและยาวและไม่สามารถรับแรงอัดได้มากนัก ดังนั้นหากมีกรณีที่รอยร้าวอาจปิดหรือแยกตัวเพิ่มเติมได้ ควรเสริมความแข็งแรงของเหล็กเสริมหรือลวดเหล็ก เช่น การเทคอนกรีตทับหน้า

7.9.3.8 ขั้นตอนวิธีการซ่อมแซมด้วยวิธีการเย็บติดสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 55



รูปที่ 54 วิธีการซ่อมแซมด้วยวิธีการเย็บติด (ที่มา: EM 1110-2-2002)
(ข้อ 7.9)



รูปที่ 55 ขั้นตอนวิธีการซ่อมแซมด้วยวิธีการเย็บติด
(ข้อ 7.9, 7.9.3.6)

7.10 การติดตั้งเหล็กเสริมเพิ่มเติม (Additional Reinforcement)

การเพิ่มเหล็กเสริมอาจทำได้ด้วยการเสริมเหล็กธรรมดาที่ใช้อยู่ทั่วไป เพื่อซ่อมแซมหน้าตัดคอนกรีตที่แตกร้าว เหล็กที่เสริมเพิ่มขึ้นจะทำหน้าที่รับแรงดึงที่ก่อให้เกิดการแตกร้าว

7.10.1 วัสดุ

7.10.1.1 เหล็กเสริม ต้องมีคุณสมบัติตามหัวข้อ 6.6.1

7.10.1.2 วัสดุเชื่อมประสาน ต้องมีคุณสมบัติตามหัวข้อ 6.4

7.10.2 การนำไปใช้และข้อจำกัด

ที่ผ่านมาการซ่อมแซมคานสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มเหล็กเสริมธรรมดา ดังรูปที่ 56

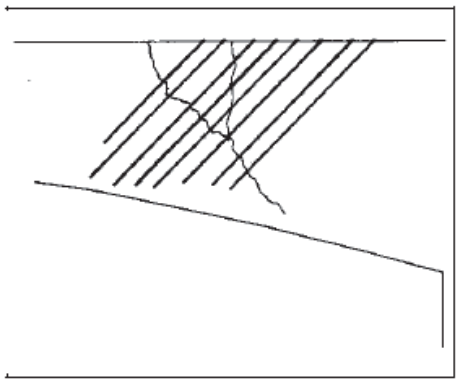
7.10.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

7.10.3.1 เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 มิลลิเมตร ทำมุม 90 องศา กับแนวรอยร้าว ทำความสะอาดเพื่อกำจัดฝุ่นออกจากรูที่เจาะและแนวรอยร้าวโดยการอัดลมที่แรงดันระหว่าง 344 ถึง 552 กิโลปาสกาล (50 ถึง 80 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) และใส่เหล็กเสริมลงไปในรูที่เจาะโดยปกติจะใช้เหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ถึง 16 มิลลิเมตร โดยใส่ให้เหล็กมีความยาวอย่างน้อย 500 มิลลิเมตร จากทั้งสองด้านของรอยร้าว ปริมาณเหล็กเสริม ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม และความยาวของเหล็กเสริมให้เป็นไปตามรายการคำนวณของวิศวกร หลังจากนั้นให้ใช้วัสดุเชื่อมประสานยึดผิวคอนกรีตที่ร้าวไว้ด้วยกัน

7.10.3.2 การใช้วัสดุยึดรอยร้าวที่มีความยืดหยุ่นแบบชั่วคราวจะช่วยเสริมให้การซ่อมแซมได้ผลดียิ่งขึ้น วัสดุปิดรอยร้าวแบบเจลมีประสิทธิภาพดีในช่วงความยืดหยุ่นที่จำกัด วัสดุปิดรอยร้าวแบบซิลิโคน (Silicone) หรืออีลาสโตเมอร์ (Elastomer) ให้ผลที่ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภูมิอากาศที่หนาวเย็น หรือในการทำงานที่จำกัดระยะเวลา โดยควรทาวัสดุปิดรอยร้าวเป็นชั้นที่สม่ำเสมอหนาประมาณ 1.6 ถึง 2.4 มิลลิเมตร และยึดเกินออกมาทางด้านข้างของรอยร้าวทั้งสองด้านอย่างน้อย 20 มิลลิเมตร

7.10.3.3 วัสดุอัดฉีดรอยร้าวประเภทอีพอกซีเรซิน ที่ใช้ในการซ่อมรอยร้าวควรมีคุณสมบัติตรงตามที่กำหนดใน ASTM C881 Type I Low-Viscosity Grade

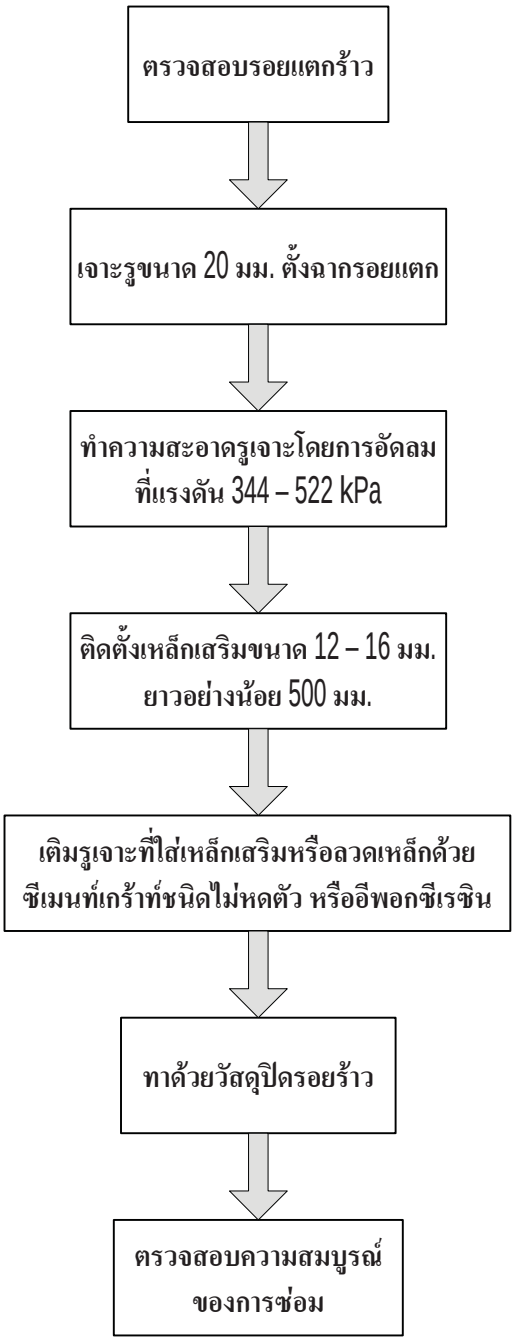
7.10.3.4 เหล็กเสริมควรจัดวางให้เหมาะสมกับการซ่อมแซมแต่ละกรณี ในรูปแบบที่เหมาะสมกับแนวทางการออกแบบและตำแหน่งของเหล็กเสริม



รูปที่ 56 ตัวอย่างวิธีการซ่อมแซมโดยใส่เหล็กเสริมเพิ่มเติม (ที่มา: EM 1110-2-2002)

(ข้อ 7.10)

7.10.3.5 วิธีการซ่อมแซมโดยใส่เหล็กเสริมเพิ่มเติมสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 57



รูปที่ 57 วิธีการซ่อมแซมโดยใส่เหล็กเสริมเพิ่มเติม
(ข้อ 7.10, 7.10.3.5)

7.11 การเจาะเพื่ออุดด้วยวัสดุซ่อมแซม (Drilling and Plugging)

711.1 ที่มา

7.11.1.1 วิธีการนี้ประกอบไปด้วยการเจาะโครงสร้างตลอดแนวความยาวของรอยร้าวแล้วอัดฉีดด้วยน้ำปูนหรือวัสดุซ่อมแซมอื่นๆเพื่อให้เกิดลิ่ม (Key) ดังรูปที่ 58

7.11.2 การใช้งานและข้อจำกัด

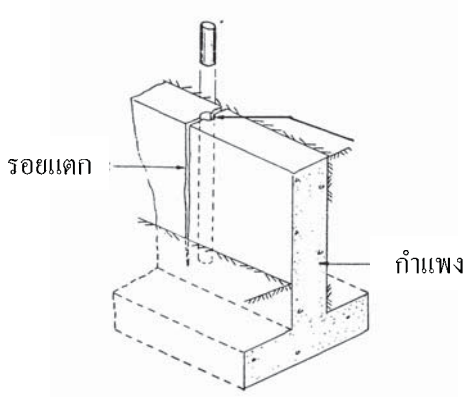
7.11.2.1 วิธีการนี้ใช้ได้ผลดีเฉพาะกับกรณีที่รอยร้าวเป็นเส้นตรงยาวและสามารถเข้าถึงปลายข้างหนึ่งของรอยร้าวได้

7.11.2.2 เป็นวิธีการที่นิยมใช้ซ่อมรอยร้าวแนวดิ่งของผนังคอนกรีต

7.11.3 ขั้นตอนการซ่อม

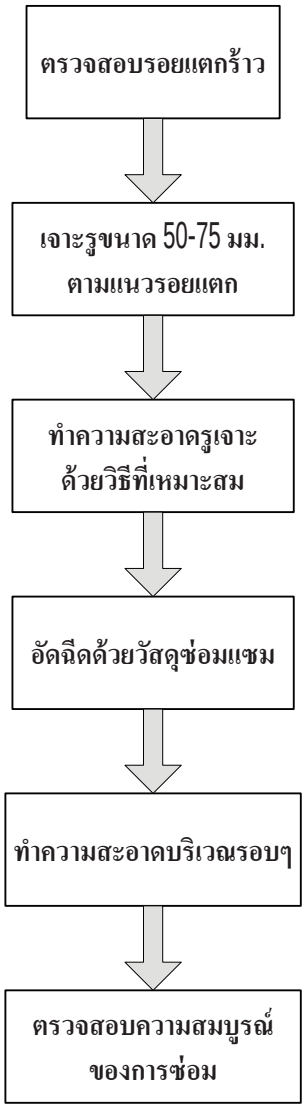
7.11.3.1 เจาะรูให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 ถึง 75 มิลลิเมตร (EM 1110-2-2002) ตามแนวรอยร้าวโดยให้ศูนย์กลางของรูอยู่ใกล้เคียงกับแนวรอยร้าวมากที่สุด รูที่เจาะควรมีขนาดใหญ่พอที่จะครอบคลุมรอยร้าวตลอดทั้งแนว และให้พื้นที่หน้าตัดสำหรับใส่วัสดุซ่อมแซมมากพอที่จะรับแรงกระทำบนลิ่มได้ หลังจากนั้นให้ทำความสะอาดรูที่เจาะและทำการอัดฉีดวัสดุซ่อมแซมให้เต็ม ลิ่มจะเป็นส่วนที่ช่วยป้องกันการเคลื่อนที่ตามแนวขวางของหน้าตัดโครงสร้างคอนกรีตบริเวณใกล้เคียงกับรอยร้าว ทั้งยังช่วยป้องกันการรั่วผ่านรอยร้าวและการเสียมวลวัสดุ เช่น ดิน ที่อยู่ด้านหลังกำแพงผ่านรอยร้าวนี้ได้

7.11.3.2 กรณีซ่อมแซมเพื่อเพิ่มความทึบน้ำควรใส่วัสดุซ่อมแซมที่มีความยืดหยุ่น เช่น แอสฟัลต์ (Asphalt) หรือ พอลิยูเรเทนโฟม (Polyurethane Foam) แทนการใช้ซีเมนต์เพื่อเติมรูที่เจาะ ถ้าหากว่าลิ่มที่ติดตั้งเป็นตำแหน่งสำคัญซึ่งมีผลต่อความมั่นคงทางโครงสร้าง สามารถเจาะรูเพิ่มเติมและใส่วัสดุที่มีความยืดหยุ่นในรูที่สองที่เจาะเพิ่มเติมหลังจากที่อัดฉีดรูแรกด้วยซีเมนต์เกร้าท์



รูปที่ 58 วิธีการเจาะเพื่ออุดด้วยวัสดุซ่อมแซม (ที่มา: EM 1110-2-2002)
(ข้อ 7.11)

7.11.3.3 วิธีการเจาะเพื่ออุดด้วยวัสดุซ่อมแซมสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 59



รูปที่ 59 วิธีการเจาะเพื่ออุดด้วยวัสดุซ่อมแซม
(ข้อ 7.11, 7.11.3.3)

7.12 การซ่อมแซมคอนกรีตที่เป็นโพรงเนื่องจากการก่อสร้างที่ไม่ดี

(1) คอนกรีตที่เป็นโพรงเป็นความเสียหายที่มักพบในงานก่อสร้างที่ไม่มีคุณภาพ ขาดการควบคุมงานที่ดีหรือขั้นตอนการทำงานไม่ถูกต้อง โพรงที่เกิดขึ้นเกิดจากการที่มอร์ต้าร์ไม่สามารถเข้าไปเติมในช่องว่างระหว่างมวลรวมหยาบได้ทั้งหมด

(2) กรณีรูโพรงที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก และทำการซ่อมแซมภายใน 24 ชั่วโมงหลังการถอดแบบหล่อคอนกรีต ก็สามารถใช้วิธีการฉาบด้วยปูนทรายละเอียด (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 5.6.3) หรือการอัดฉีดด้วยซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัว (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 5.6.4.1 และ หัวข้อ 7.3)

(3) กรณีการซ่อมแซมดำเนินการเกินกว่า 24 ชั่วโมงหลังจากการถอดแบบหล่อคอนกรีตถึงแม้ว่ารูโพรงที่เกิดขึ้นนั้นมีขนาดเล็ก หรือ มีขนาดใหญ่ จะต้องทำสกัดคอนกรีตที่เสียหายออก (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 5.2) และต้องทำการเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีการที่เหมาะสม (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 5.3) และการซ่อมแซมในกรณีนี้สามารถทำได้โดยการอัดฉีดด้วยซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัว (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 5.6.4.1 และ หัวข้อ 7.3) หรือการเทคอนกรีตในที่ (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 5.7.1 และหัวข้อ 7.8)

ภาคผนวก 1 ตัวอย่างรายชื่อวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม

รายชื่อวัสดุที่รวบรวมไว้ในภาคผนวกนี้ เป็นตัวอย่างของวัสดุที่ใช้ในงานซ่อมแซมคอนกรีตโดยทั่วไปซึ่งได้อ้างถึงในมาตรฐาน โดยรวบรวมขึ้นเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณา

ผ1.1 วัสดุประเภทที่มีส่วนประกอบของซีเมนต์ (Cementitious) ตามหัวข้อ 6.1

ผ1.1.1 ปูนทรายสูตรพิเศษ (Proprietary Repair Mortar) หัวข้อ 6.1.3

คุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐาน ASTM C928 มีรายละเอียดดังตาราง ผ1

ตาราง ผ1 คุณสมบัติทางกายภาพของปูนทรายสูตรพิเศษ

(ข้อ ผ1.1.1)

คุณสมบัติ	อายุ			
	3 ชั่วโมง	1 วัน	7 วัน	28 วัน
1. กำลังรับแรงอัดต่ำสุด (เมกาปาสกาล)				
1.1 คอนกรีตหรือปูนทราย R1	3.5	14	28	หมายเหตุ 1)
1.2 คอนกรีตหรือปูนทราย R2	7.0	21	28	หมายเหตุ 1)
1.3 คอนกรีตหรือปูนทราย R3	21	35	35	หมายเหตุ 1)
2. กำลังยึดเหนี่ยวต่ำสุด (เมกาปาสกาล)				
คอนกรีตหรือปูนทราย R1, R2, R3	-	7	10	-

หมายเหตุ 1) กำลังรับแรงอัดต่ำสุดที่อายุ 28 วัน ต้องไม่น้อยกว่าที่อายุ 7 วัน

ผ1.1.2 **คอนกรีตชดเชยการหดตัว** (Shrinkage Compensating Concrete) ตามหัวข้อ 6.1.5

คุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐาน ASTM C845 มีรายละเอียดดังตาราง ผ2

ตาราง ผ2 คุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตชดเชยการหดตัว

(ข้อ ผ1.1.2)

คุณสมบัติ	ค่าที่ยอมให้
1. ระยะเวลาก่อตัวต่ำสุด (นาที)	75
2. ปริมาณอากาศสูงสุด (ร้อยละโดยปริมาตร)	12.0
3. การยึดรั้งการขยายตัวของปูนทราย	
3.1 การขยายตัวที่ 7 วัน:	
ค่าสูงสุด (ร้อยละ)	0.04
ค่าต่ำสุด (ร้อยละ)	0.10
3.2 การขยายตัวที่ 28 วัน:	
ร้อยละของการขยายตัวที่ 7 วันสูงสุด	115
4. กำลังรับแรงอัดต่ำสุด (เมกาปาสกาล)	
4.1 ที่อายุ 7 วัน	14.7
4.2 ที่อายุ 28 วัน	24.5

ผ1.1.3 **ซีเมนต์เกร้าท์แบบไม่หดตัว** (Nonshrink Cement Grout) ตามหัวข้อ 6.1.6 คุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐาน ASTM C1107 มีรายละเอียดดังตาราง ผ3

ตาราง ผ3 คุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์เกร้าท์แบบไม่หดตัว

(ข้อ ผ1.1.4)

อายุของซีเมนต์เกร้าท์แบบไม่หดตัว	กำลังรับแรงอัดต่ำสุด (เมกาปาสกาล)
1 วัน	7.0
3 วัน	17.0
7 วัน	24.0
28 วัน	34.0

ผ1.1.4 **ซีเมนต์ก่อตัวเร็ว** (Rapid-Setting Cement) ตามหัวข้อ 6.1.7

คุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐาน ASTM C928 มีรายละเอียดดังตาราง ผ4

ตาราง ผ4 คุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์ก่อตัวเร็ว

(ข้อ ผ1.1.4)

คุณสมบัติ	อายุ			
	3 ชั่วโมง	1 วัน	7 วัน	28 วัน
1. กำลังรับแรงอัดต่ำสุด (เมกาปาสกาล)				
1.1 คอนกรีตหรือปูนทราย R1	3.5	14	28	หมายเหตุ 1)
1.2 คอนกรีตหรือปูนทราย R2	7.0	21	28	หมายเหตุ 1)
1.3 คอนกรีตหรือปูนทราย R3	21	35	35	หมายเหตุ 1)
2. กำลังยึดเหนี่ยวต่ำสุด (เมกาปาสกาล)				
คอนกรีตหรือปูนทราย R1, R2, R3	-	7	10	-

หมายเหตุ 1) กำลังรับแรงอัดต่ำสุดที่อายุ 28 วัน ต้องไม่น้อยกว่าที่อายุ 7 วัน

ผ1.2 **สารเคมีที่ใช้ในการอัดฉีด** ตามหัวข้อ 6.2

การอัดฉีดด้วยวัสดุอีพอกซีประเภทแข็งตัวให้มีคุณสมบัติทางกายภาพของระบบยึดเหนี่ยวตามมาตรฐาน ASTM C881/ C881M มีรายละเอียดดังตาราง ผ5

ตาราง ผ5 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอีพอกซี

(ข้อ ผ1.2, ผ1.3.2, ผ1.4.1)

คุณสมบัติ	ประเภท[1]						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1. ความหนืด (Viscosity, P) (ปาสกาล-วินาที)							
1.1 เกรด 1 [2], ค่าสูงสุด	2	2	2	2	2	-	-
1.2 เกรด 2 [2], ค่าสูงสุด	2	2	2	2	2	-	-
ค่าต่ำสุด	10	10	10	10	10	-	-
2. ความข้นเหลว (Consistency) (มิลลิเมตร)							
เกรด 3 [2], ค่าสูงสุด	6	6	6	6	6	6	6
3. ระยะเวลาทำงานในสภาพเจล (นาที)	30	30	30	30	30	30	30
4. กำลังยึดเหนี่ยวต่ำสุด (เมกาปาสกาล)							
4.1 อายุ 2 วัน (กรณีบ่มชื้น)	7	-	-	7	-	7	-
4.2 อายุ 14 วัน (กรณีบ่มชื้น)	10	10	10	10	10	-	7
5. การดูดซึมสูงสุดที่ 24 ชั่วโมง (ร้อยละ)	1	1	1	1	1	-	-
6. กำลังรับแรงอัดต่ำสุดที่จุดคลาก (เมกาปาสกาล)							
6.1 อายุ 24 ชั่วโมง	-	-	-	-	-	14	-
6.2 อายุ 36 ชั่วโมง	-	-	-	-	-	-	7
6.3 อายุ 48 ชั่วโมง	-	-	-	-	-	40	-
6.4 อายุ 72 ชั่วโมง	-	-	-	-	-	-	14
6.5 อายุ 7 วัน	55	35	-	70	55	-	-
7. ค่าโมดูลัสด้านแรงอัด (เมกาปาสกาล)							
7.1 ค่าต่ำสุด	1000	600	-	1400	1000	-	-
7.2 ค่าสูงสุด	-	-	896	-	-	-	-
8. กำลังรับแรงดึงต่ำสุดที่อายุ 7 วัน (เมกาปาสกาล)	35	14	-	50	40	-	-
9. การยืดตัวต่ำสุดที่จุดแตกหัก (ร้อยละ)	1	1	30	1	1	-	-

ตาราง ผ5 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอีพอกซี (ต่อ)

(ข้อ ผ1.2, ผ1.3.2, ผ1.4.1)

หมายเหตุ

1) *วัสดุอีพอกซี แบ่งออกเป็น 7 ประเภท (Types) ตามลักษณะการใช้งาน (Application) ได้แก่*

   ประเภท I ใช้สำหรับประสานรอยต่อที่ไม่รับน้ำหนักบรรทุก (Non-load Bearing) ระหว่างคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วกับคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วหรือวัสดุอื่นๆ หรือใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานของอีพอกซีมอร์ต้าร์ หรือ อีพอกซีคอนกรีต

   ประเภท II ใช้สำหรับประสานรอยต่อที่ไม่รับน้ำหนักบรรทุก (Non-load Bearing) ระหว่างคอนกรีตสดกับคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

   ประเภท III ใช้สำหรับประสานระหว่างวัสดุกันลื่น (Skid-Resistant Materials) กับคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว หรือใช้เป็นสารประสานวัสดุอื่นๆ หรือใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานของอีพอกซีมอร์ต้าร์ หรือ อีพอกซีคอนกรีตซึ่งใช้ในงานพื้นผิวจราจร (หรือพื้นผิวที่ได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนตัวจากอุณหภูมิหรือการเคลื่อนตัวทางกล)

   ประเภท IV ใช้สำหรับประสานรอยต่อที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุก (Load Bearing) ระหว่างคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วหรือวัสดุอื่นๆ หรือใช้เป็นวัสดุประสานของอีพอกซีมอร์ต้าร์ หรืออีพอกซีคอนกรีต

   ประเภท V ใช้สำหรับประสานรอยต่อที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุก (Load Bearing) ระหว่างคอนกรีตสดกับคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

   ประเภท VI ใช้สำหรับประสานและอุดแนว (Sealing) ระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปซึ่งยึดกันด้วยกลุ่มลวดอัดแรง (Segmental Precast Elements with Internal Tendon) และสำหรับการติดตั้งแบบช่วงต่อช่วง (Span-to-Span Erection) แบบมีการอัดแรงชั่วคราว (Temporary Post Tensioning)

   ประเภท VII ใช้เป็นวัสดุอุดแนว (Sealer) สำหรับรอยต่อที่ไม่รับแรงระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Segmental Precast Elements) ในกรณีที่มีการติดตั้งแบบช่วงต่อช่วงแบบไม่มีการอัดแรงชั่วคราว

2) *วัสดุอีพอกซี แบ่งออกเป็น 3 เกรดตามคุณสมบัติความหนืดและความข้นเหลว (Viscosity and Consistency) ได้แก่*

   เกรด 1 ชนิดความหนืดต่ำ (Low Viscosity)

   เกรด 2 ชนิดความหนืดปานกลาง (Medium Viscosity)

   เกรด 3 ชนิดความข้นเหลวสูงมาก (Non-sagging Consistency)

3) *วัสดุอีพอกซีแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม (Class) ตามช่วงอุณหภูมิใช้งาน ได้แก่ Class A, B, C สำหรับประเภท I ถึง V และ Class D, E, F สำหรับประเภท VI และ VII ดังรายละเอียดต่อไปนี้*

   Class A สำหรับอุณหภูมิต่ำกว่า 4.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดให้เป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิต

   Class B สำหรับอุณหภูมิระหว่าง 4.0 ถึง 15.0 องศาเซลเซียส

   Class C สำหรับอุณหภูมิเกิน 15.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดให้เป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิต

   Class D สำหรับอุณหภูมิระหว่าง 4.0 ถึง 18.0 องศาเซลเซียส

   Class E สำหรับอุณหภูมิระหว่าง 15.0 ถึง 30.0 องศาเซลเซียส

   Class F สำหรับอุณหภูมิระหว่าง 25.0 ถึง 30.0 องศาเซลเซียส

ผ1.3 วัสดุโพลีเมอร์ ตามหัวข้อ 6.3

ผ1.3.1 โพลีเมอร์ซีเมนต์คอนกรีตและมอร์ต้าร์ (Polymer Cement Concrete and Mortar)

ตามหัวข้อ 6.3.1

สารผสมเพิ่มประเภทโพลีเมอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

ประเภท 1 ใช้สำหรับบริเวณที่ไม่สัมผัสกับความชื้น

ประเภท 2 ใช้สำหรับใช้ทั่วไป

คุณสมบัติทางกายภาพของโพลีเมอร์ซีเมนต์คอนกรีตและมอร์ต้าร์ตามมาตรฐาน ASTM C1438 มีรายละเอียดดังตาราง ผ6 โดยมีส่วนผสมอ้างอิงสำหรับคอนกรีตและมอร์ต้าร์ตามมาตรฐาน ASTM C1439 ดังตารางที่ ผ7

ตาราง ผ6 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุโพลีเมอร์ซีเมนต์คอนกรีตและมอร์ต้า

(ข้อ ผ1.3.1)

คุณสมบัติ	โพลีเมอร์-ซีเมนต์มอร์ต้าร์		โพลีเมอร์-ซีเมนต์คอนกรีต
	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 2
1. ปริมาณอากาศสูงสุด (ร้อยละ)	12.0	12.0	7.0
2. กำลังรับแรงอัดต่ำสุด (เมกาปาสกาล)			
2.1 ร้อยละของส่วนผสมอ้างอิง	70	70	80
2.2 ร้อยละของส่วนผสมอ้างอิง	140	140	140

ตาราง ผ7 ส่วนผสมอ้างอิงสำหรับคอนกรีตและมอร์ต้าร์

(ข้อ ผ1.3.1)

วัสดุ	องค์ประกอบ	ส่วนผสมอ้างอิง
คอนกรีต	1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	390 ± 3 กิโลกรัม
	2. มวลรวมละเอียด	975 ± 6 กิโลกรัม
	3. มวลรวมหยาบ	780 ± 6 กิโลกรัม
	4. สารกักการกระจายของฟองอากาศ	ใส่ในปริมาณที่ทำให้เกิดปริมาณอากาศ (Air Content) ร้อยละ 2-7
	5. น้ำ	ใส่ในปริมาณที่ทำให้ได้ค่าการยุบตัว 90 ± 15 มิลลิเมตร
มอร์ต้าร์	1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	100 ± 2 กิโลกรัม
	2. ทรายคละ	275 ± 10 กิโลกรัม
	3. สารกักการกระจายของฟองอากาศ	ใส่ในปริมาณที่ทำให้เกิดปริมาณอากาศ (Air Content) ร้อยละ 2-12
	4. น้ำ	ใส่ในปริมาณที่ทำให้ได้ค่าการไหลร้อยละ 105-115

ผ1.3.2 โพลีเมอร์คอนกรีต (Polymer Concrete) ตามหัวข้อ 6.3.2

คุณสมบัติทางกายภาพของโพลีเมอร์คอนกรีตและมอร์ต้าร์ตามมาตรฐาน ASTM C881/C881M มีรายละเอียดดังตาราง ผ5

ผ1.4 สารเชื่อมประสานที่ทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตเก่าและวัสดุซ่อมแซม ตามหัวข้อ 6.4

ผ1.4.1 อีพอกซี ตามหัวข้อ 6.4.1

คุณสมบัติทางกายภาพของอีพอกซีตามมาตรฐาน ASTM C881/C881M มีรายละเอียดดังตาราง ผ5

ผ1.4.2 ลาเทกซ์ ตามหัวข้อ 6.4.2

คุณสมบัติทางกายภาพของลาเทกซ์ตามมาตรฐาน ASTM C1059 มีรายละเอียดดังตาราง ผ8

ตาราง ผ8 คุณสมบัติทางกายภาพของลาเทกซ์

(ข้อ ผ1.4.2)

ประเภทของลาเทกซ์ [1)]	**หน่วยแรงยึดเกาะ (กก/ตร.ซม.)**
ประเภท 1	28 (ที่สภาวะแห้ง)
ประเภท 2	86 (ที่สภาวะเปียก)

หมายเหตุ:

1) ลาเทกซ์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่

ก. ประเภท 1 แบบกระจายตัวใหม่ได้ (Redispersible) เหมาะสำหรับใช้งานภายในอาคารเท่านั้น ไม่ให้ใช้ในที่น้ำท่วมถึง หรือความชื้นสูง

ข. ประเภท 2 แบบกระจายตัวใหม่ไม่ได้ (Non-redispersible) สามารถใช้งานได้ในพื้นที่ที่มีความชื้นสูง หรือที่น้ำท่วมถึง และเหมาะกับการใช้งานในพื้นที่ลักษณะอื่นๆ

ผ1.5 วัสดุเคลือบผิวเหล็กเสริม (Coatings on Reinforcement) ตามหัวข้อ 6.5

คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบผิวเหล็กเสริมโดยทั่วไป มีรายละเอียดดังตาราง ผ9

ตาราง ผ9 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบผิวเหล็กเสริม

(ข้อ ผ1.5)

คุณสมบัติ	ค่าโดยประมาณ
1. ความถ่วงจำเพาะ	2.5
2. ความหนาต่อชั้นที่แนะนำ (ไมครอน)	40 (ที่สภาวะแห้ง)
3. ความหนาต่อชั้นขณะทา (ไมครอน)	135 (ที่สภาวะเปียก)
4. ระยะเวลาแห้ง (ทดสอบตาม BS 4652 หรือเทียบเท่า)	< 1 ชั่วโมง
5. ความยืดหยุ่น (ทดสอบตาม BS 4652 หรือเทียบเท่า)	ต้องพิจารณา[1)]
6. การทดสอบพ่นเกลือ (ตาม BS 4652 หรือเทียบเท่า)	ต้องพิจารณา[2)]

หมายเหตุ

1), 2) ทดสอบตามมาตรฐาน BS 4652 หรือเทียบเท่า

ผ1.6 วัสดุอุดแนว (Sealants) ตามหัวข้อ 7.4

คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอุดแนวมีรายละเอียดดังตาราง ผ10 ผ11 และ ผ12 ดังนี้

ผ1.6.1 วัสดุอุดแนวแบบร้อนประเภทบิทูเมน (Bituminous Sealants)

มีคุณสมบัติทางกายภาพดังตาราง ผ10

ตาราง ผ10 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอุดแนวประเภทบิทูเมน

(ข้อ ผ1.6.1)

คุณสมบัติ	ค่าโดยประมาณ
1. รูปแบบ	ของแข็งกึ่งพลาสติก
2. จุดวาบไฟ (Flash Point)	มากกว่า 65 องศาเซลเซียส
3. ความหนาแน่น	1.14 กิโลกรัมต่อลิตร
4. อุณหภูมิที่สามารถปฏิบัติงานได้	มากกว่า 5 องศาเซลเซียส

ผ1.6.2 วัสดุอุดแนวแบบเย็นประเภทโพลียูเรเทน (Polyurethane Sealants)

มีคุณสมบัติทางกายภาพดังตาราง ผ11

ตาราง ผ11 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอุดแนวประเภทโพลียูเรเทน

(ข้อ ผ1.6.2)

คุณสมบัติ	ค่าโดยประมาณ
1. Movement Accommodation Factor (MAF) (ตาม BS 6093 หรือเทียบเท่า) 1.1 กรณีต่อชน 1.2 กรณีต่อทาบ	 ร้อยละ 25 ร้อยละ 50
2. ช่วงอุณหภูมิที่สามารถปฏิบัติงานได้	5 ถึง 35 องศาเซลเซียส
3. ช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานได้	- 30 ถึง 80 องศาเซลเซียส
4. ความหนาแน่น	1.25 กิโลกรัมต่อลิตร
5. จุดวาบไฟ (Flash Point)	มากกว่า 65 องศาเซลเซียส

ผ1.6.3 วัสดุอุดแนวแบบเย็นประเภทสองส่วนผสมโพลีซัลไฟด์ (Polysulphide Sealants)

มีคุณสมบัติทางกายภาพดังตาราง ผ12

ตาราง ผ12 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอุดแนวประเภทสองส่วนผสมโพลีซัลไฟด์

(ข้อ ผ1.6.3)

คุณสมบัติ	ค่าโดยประมาณ
1. Movement Accommodation Factor (MAF) (ตาม BS 6093 หรือเทียบเท่า)	
1.1 กรณีต่อชน	ร้อยละ 25
1.2 กรณีต่อทาบ	ร้อยละ 50
2. ระยะเวลาทำงานได้หลังผสม	
2.1 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	2 ชั่วโมง
2.2 ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	1 ชั่วโมง
3. ระยะเวลาก่อตัว	
3.1 ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส	36 ชั่วโมง
3.2 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	18 ชั่วโมง
3.3 ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	12 ชั่วโมง
4. ระยะเวลาบ่ม	
4.1 ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส	2 สัปดาห์
4.2 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	1 สัปดาห์
4.3 ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	4 วัน

ภาคผนวก 2 การเสริมกำลังโครงสร้าง

ผ2.1 บทนำ

ก่อนการซ่อมแซมเพื่อเสริมกำลังโครงสร้างควรได้ทำการวิเคราะห์องค์อาคารนั้นว่าใช้งานเกินพิกัดหรือออกแบบมาแข็งแรงไม่พอที่จะรองรับน้ำหนักใช้งานตามปกติ การวิเคราะห์สามารถกระทำได้ทั้งวิธีหน่วยแรงใช้งาน หรือวิธีกำลังประลัย พร้อมทั้งควรหาสาเหตุที่ทำให้โครงสร้างวิบัติหรือเสื่อมสภาพ จากผลการวิเคราะห์วิศวกรควรประเมินว่าสมควรจะดำเนินการเฉพาะการซ่อมหรือทั้งซ่อมและเสริมกำลังโครงสร้าง โดยทุกๆกรณีมีวัตถุประสงค์ที่จะเสริมวัสดุเสริมกำลังใหม่เพื่อต้านทานแรงดึงอันเนื่องมาจากแรงดัด แรงเฉือน แรงบิด และแรงตามแนวแกน เพื่อให้โครงสร้างที่เสริมกำลังแล้วได้มาตรฐานในเรื่องของกำลังและสภาพการใช้งานตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ มาตรฐาน ACI 318 และมาตรฐานอาคารอื่นๆ

ผ2.2 แนวทางเบื้องต้นและปัจจัยที่ควรพิจารณาในการซ่อมแซมและ/หรือเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

ผ2.2.1 การซ่อมแซมภายในโครงสร้างเพื่อคืนกำลังให้เท่ากับสภาพปกติ (Internal Structural Repair)

ผ2.2.1.1 หลักการ

การอัดฉีดอีพอกซีเรซินเป็นที่นิยมในการซ่อมเพื่อคืนกำลังให้โครงสร้าง โดยหลักการแล้วการฉีดอีพอกซีเรซินเข้าในรอยร้าวจะทำให้คอนกรีตกลับสู่สภาพเหมือนก่อนเกิดการร้าว กำลังยึดเหนี่ยวของอีพอกซีเรซินกับเนื้อคอนกรีตแข็งแรงกว่ากำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีต ดังนั้นคอนกรีตก็จะวิบัติที่กำลังต้านทานเท่ากับของหน้าตัดเดิมที่ไม่แตกร้าว จะเห็นได้ว่าการใช้อีพอกซีเรซินอัดฉีดไม่ใช่วิธีเพิ่มกำลังให้สูงขึ้นแต่เป็นวิธีคืนกำลังเท่าเดิมให้กับโครงสร้าง

ผ2.2.1.2 ประโยชน์และรูปแบบของการใช้

การอัดฉีดเข้าสู่รอยแตกร้าวสามารถกระทำได้กับรอยร้าวที่แคบถึง 0.125 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความกว้างน้อยที่สุดที่อีพอกซี่เรซินสามารถอัดฉีดเข้าไปได้ ถ้ารอยแตกร้าวแคบกว่านี้ต้องใช้อีพอกซี่หรือโพลีเมอร์อื่นที่มีความหนืดต่ำ

ผ2.2.1.3 ข้อจำกัด

จะต้องพิจารณาถึงกำลังยึดเหนี่ยวเป็นพิเศษเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพราะอีพอกซีเรซินหรือสารเรซินอื่นๆจะสูญเสียกำลังเมื่อถูกไฟไหม้หรือคงความร้อนเป็นเวลานาน ดังนั้นการป้องกันไฟจึงจำเป็นในโครงสร้างที่ซ่อมด้วยอีพอกซี

ผ2.2.2 การเสริมกำลังภายใน (Interior Reinforcement)

ผ2.2.2.1 หลักการ

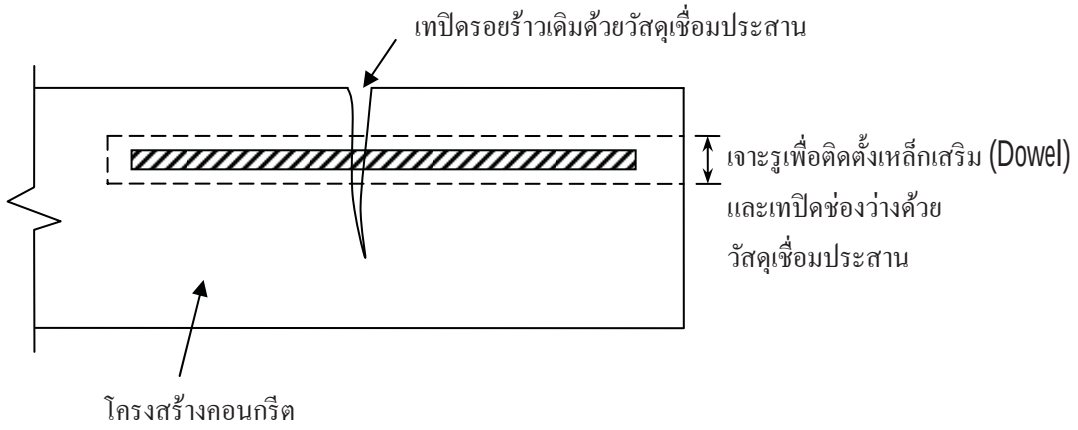
วิธีการโดยทั่วไป คือ การติดตั้งวัสดุเสริมกำลังให้พาดผ่านรอยแตก เช่น การติดตั้งสลักเดือยในรูที่เจาะตั้งฉากกับพื้นผิวของรอยร้าว เหล็กเดือยจะถูกยึดติดกับคอนกรีตตลอดความยาวด้วยอีพอกซีเรซินหรือสารที่ช่วยในการยึดเกาะตัวอื่น รูป ผ2-1 ถึง ผ2-3 แสดงตัวอย่างการซ่อมแซมด้วยวิธีนี้ ระหว่างการซ่อมแซมโครงสร้างควรติดตั้งค้ำยันโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่ต้องการลดหน่วยแรงจากน้ำหนักของตัวองค์อาคารเอง เพื่อไม่ให้วัสดุเสริมกำลังใหม่รับน้ำหนักของโครงสร้างตั้งแต่ต้น มีวัสดุยึดเกาะหลายประเภทให้เลือกใช้ได้ เช่น น้ำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ อีพอกซีเรซิน อีพ็อกซีมอร์ตาร์ หรือสารยึดเกาะเคมีต่างๆ สลักเดือยที่ใช้อาจเป็นเหล็กข้ออ้อยหรือเหล็กกลม คาร์บอนไฟเบอร์หรือสลักเกลียวก็ได้

ผ2.2.2.2 ประโยชน์และรูปแบบของการใช้

การเสริมกำลังภายในสามารถใช้เสริมกำลังคอนกรีตที่เกิดการแตกร้าวจากหน่วยแรงดัด หน่วยแรงเฉือนหรือการยึดรั้งต่อการขยายตัว การซ่อมแซมทำได้ง่ายโดยอุปกรณ์ที่หาได้ทั่วไป

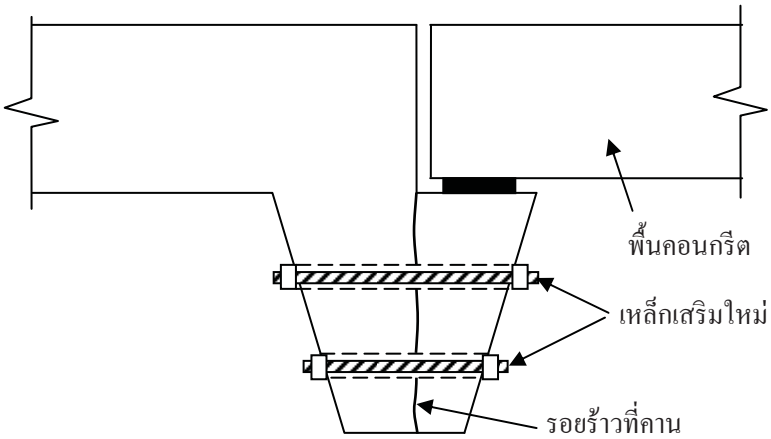
ผ2.2.2.3 ข้อจำกัด

ต้องหลีกเลี่ยงการตัดหรือการทำให้เหล็กเสริมกำลังภายในคอนกรีตเสียหายในขณะเจาะรูเพื่อเสริมเดือย การหาตำแหน่งของเหล็กเสริมภายในอาจกระทำได้โดยใช้การทดสอบแบบไม่ทำลาย ในโครงสร้างที่เสริมเหล็กอย่างหนาแน่นอาจทำให้ไม่สามารถเจาะติดตั้งสลักเดือยได้ต้องใช้วิธีเสริมกำลังจากภายนอกแทน การเสริมกำลังวิธีนี้จะไม่เกิดประสิทธิผลถ้าแรงยึดเหนี่ยวพัฒนาได้ไม่เต็มที่ นอกจากนี้ควรตรวจสอบกำลังของคอนกรีตที่จะเสริมกำลังด้วย และต้องทำความสะอาดรูเจาะในคอนกรีตให้ปราศจากฝุ่นก่อนการติดตั้งสลักเดือยและสารเชื่อมประสาน เพราะถ้ารูเจาะไม่สะอาดฝุ่นจะจับตัวกับสารเชื่อมประสานทำให้กำลังยึดเหนี่ยวลดลง



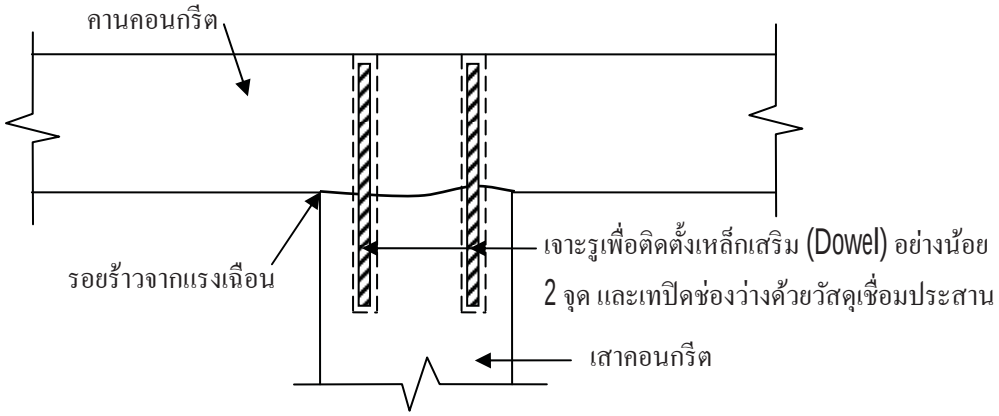
รูปที่ ผ2-1 การเสริมกำลังภายในเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงดึงบริเวณที่มีรอยแตกร้าว (ที่มา: ACI 546)

(ข้อ ผ2.2.2)



รูปที่ ผ2-2 การเสริมกำลังภายในเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงดัด (ที่มา: ACI 546)

(ข้อ ผ2.2.2)



รูปที่ ผ2-3 การเสริมกำลังภายในเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงเฉือน (ที่มา: ACI 546)

(ข้อ ผ2.2.2)

ผ2.2.3 การเสริมกำลังจากภายนอก (Exterior Reinforcement)

ผ2.2.3.1 หลักการ

การเสริมกำลังจากภายนอกอาจกระทำได้โดยใช้แผ่นเหล็ก คอนกรีตเสริมเหล็ก หรือวัสดุอื่น เช่น คาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) หรือเส้นใยแก้ว (GFRP) ปะกับผิวภายนอกของโครงสร้างคอนกรีตเดิม วัสดุเสริมกำลังที่เพิ่มเข้าไปนี้อาจถูกหุ้มอีกทีด้วยคอนกรีต คอนกรีตดาด ปูนทราย ปูนพลาสเตอร์ สารกันไฟ สารกันน้ำ หรือไม่หุ้มด้วยวัสดุอื่นแต่ทาสารเคลือบผิวเพื่อป้องกันการกัดกร่อนก็ได้ วัสดุเสริมกำลังอาจจะเป็นเหล็กข้ออ้อย ตะแกรงลวด แผ่นเหล็ก หรือวัสดุประกอบอื่น ๆ ในองค์อาคารที่เสียหายจากการรับน้ำหนักเกินพิกัด การกัดกร่อน การขัดสี หรือปฏิกิริยาเคมี คอนกรีตส่วนที่ชำรุดเสียหายหรือเสื่อมสภาพควรถูกสกัดออกและวัสดุเสริมกำลังใหม่จะถูกติดตั้งโดยรอบแนบติดกับเนื้อคอนกรีตเดิม วัสดุที่เสริมเพิ่มขึ้นนี้จะถูกหล่อให้รวมเป็นเนื้อเดียวกับคอนกรีตเดิมโดยการเทหุ้มด้วยคอนกรีตหรือคอนกรีตดาด ในกรณีที่ผิวคอนกรีตเดิมอยู่ในสภาพดีวัสดุเสริมกำลังใหม่อาจถูกยึดเข้ากับผิวคอนกรีตโดยตรงหลังจากมีการเตรียมพื้นผิวดังอธิบายในบทที่ 5ได้ วัสดุเชื่อมประสานที่ใช้ยึดวัสดุเสริมกำลังเข้ากับคอนกรีตเดิม เช่น อีพอกซีเรซิน หรือสารเชื่อมประสานอื่น และคอนกรีตปอร์ตแลนด์ นอกจากนี้อาจจะใช้การยึดทางกล เช่น สลักเกลียว ก็ได้

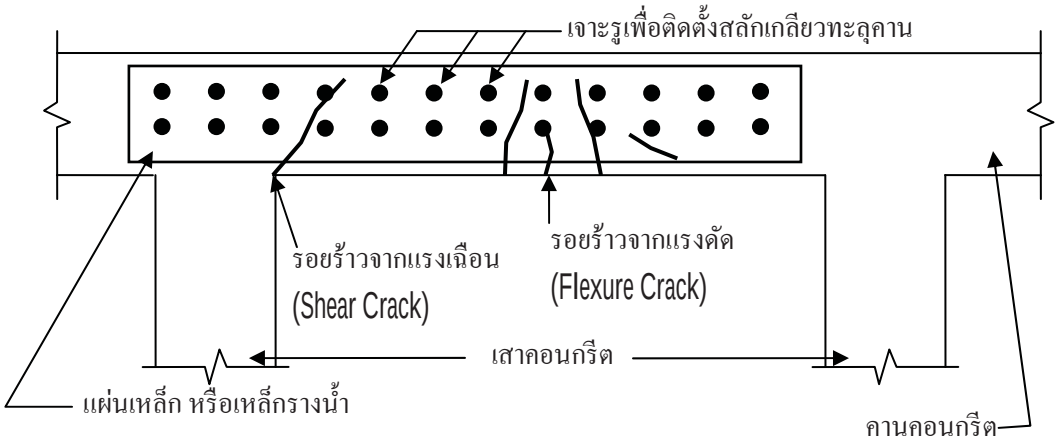
ผ2.2.3.2 ประโยชน์และการใช้งาน

วัสดุเสริมกำลังภายนอกที่ใช้กับคานเพื่อเพิ่มกำลังรับแรงดัด แรงเฉือน หรือแรงบิด อาจจะมีลักษณะเป็นเส้นหรือแผ่นที่ยึดติดกับผิวคานด้วยอีพอกซีเรซิน คอนกรีตดาด หรือคอนกรีตหล่อในที่ การเจาะยึดอาจจำเป็นเพื่อให้หน้าตัดประกอบทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ แผ่นเหล็กอาจใช้ปะกับกับคานได้ด้วยสลักเกลียวดังแสดงในรูป ผ2-4 ในกรณีที่จะยึดเหล็กเสริมกำลังด้วยแรงยึดเหนี่ยว การเตรียมพื้นผิวทั้งของเหล็กเสริมกำลังและผิวคอนกรีตเดิม และการเลือกใช้วัสดุเชื่อมประสานที่ทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตเก่าและวัสดุซ่อมแซมที่เหมาะสมเป็นเรื่องสำคัญ การพ่นผิวด้วยทรายทั้งบนแผ่นเหล็กและผิวคอนกรีตเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามการทำความสะอาดผิวด้วยกระบวนการทางกลหรือฉีดด้วยน้ำแรงดันสูงก็อาจที่เพียงพอ ในหลายกรณีคาน เสา และผนัง อาจเสริมกำลังได้โดยการเสริมเหล็กเสริมตามยาวหรือเพิ่มเหล็กปลอกภายนอกแล้วหล่อให้เป็นเนื้อเดียวกันกับคอนกรีตเดิมด้วยคอนกรีตดาดหรือคอนกรีตหล่อในที่ ในกรณีนี้ขนาดขององค์อาคารจะใหญ่ขึ้นซึ่งจะส่งผลให้องค์อาคารมีกำลัง ความแข็งแรง

และน้ำหนักมากขึ้น ผนังอิฐและคอนกรีตเสริมเหล็กจะเสริมกำลังได้โดยเพิ่มชั้นของเหล็กเสริมหรือตะแกรงลวดแล้วดาดคอนกรีตให้เป็นเนื้อเดียวกัน คอนกรีตดาดจะยึดเหนี่ยววัสดุเสริมกำลังใหม่เข้ากับผนังเดิม เสา คาน และผนังอาจจะถูกเสริมกำลังด้วยเส้นใยคาร์บอน เส้นใยแก้ว หรือโพลีเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน/ใยแก้ว หรือวัสดุประกอบอื่น โดยยึดด้วยสารประเภทเรซินหรือ วัสดุเชื่อมประสานที่ทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตเก่าและวัสดุซ่อมแซมอื่นๆ

ผ2.2.3.3 ข้อจำกัด

เมื่อเสริมกำลังด้วยวิธีนี้แล้ว องค์อาคารส่วนใหญ่จะมีค่าความแข็งเกร็ง (Stiffness) เพิ่มขึ้น ดังนั้นการกระจายของแรงในโครงสร้างจะเปลี่ยนไปจึงควรพิจารณาผลกระทบนี้ด้วยทุกครั้ง นอกจากนี้การเสริมกำลังด้วยวัสดุประกอบพวกโพลิเมอร์เสริมเส้นใย ถึงแม้จะได้กำลังตามต้องการแต่เนื่องจากการขาดความยืดหยุ่นในโพลีเมอร์เสริมเส้นใย พฤติกรรม ณ จุดประลัยของวัสดุเสริมกำลังประเภทนี้ควรได้พิจารณาอย่างรอบคอบด้วย ขนาดที่ใหญ่ขึ้นขององค์อาคารที่เสริมกำลังภายนอกจะทำให้พื้นที่ใช้สอยลดลง การเตรียมพื้นผิวของทั้งเหล็กและคอนกรีตนั้นสำคัญมากในกรณีที่ใช้แรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดหน้าตัดประกอบ วิธีการเตรียมพื้นผิวได้กล่าวไว้โดยละเอียดในบทที่ 5 ในกรณีที่ใช้สารยึดเกาะในการเสริมกำลังโดยเฉพาะอีพอกซี่ จำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการใช้เนื่องจากคุณสมบัติการอ่อนตัวและสูญเสียกำลังที่อุณหภูมิใกล้เคียงหรือสูงกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนแก้ว (Glass Transition Temperature) ซึ่งอาจจะต่ำเพียงแค่ 50 องศาเซลเซียส ในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อไฟไหม้ จึงอาจจำเป็นต้องใช้สารกันไฟ



รูปที่ ผ2-4 การติดตั้งแผ่นเหล็กปะกับภายนอกเพื่อเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของคาน คสล. (ที่มา: ACI 546)
(ข้อ ผ2.2.3)

ผ2.2.4 การใส่ปลอก (Jackets and Collars)

ผ2.2.4.1 หลักการ

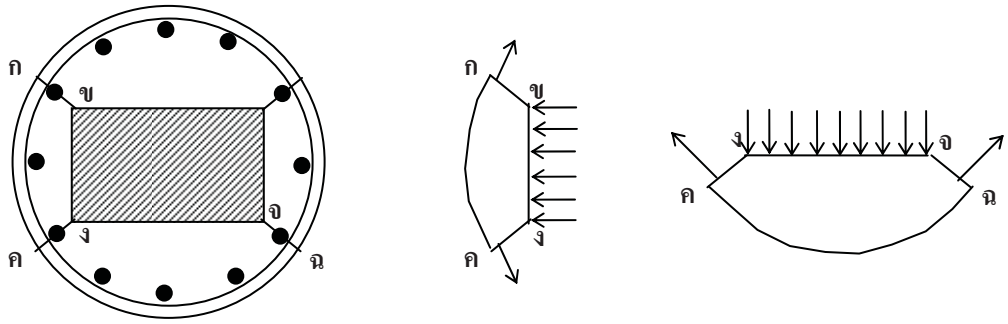
การเสริมกำลังด้วยการใส่ปลอกคือวิธีการเสริมกำลังแก่โครงสร้างดั้งเดิมด้วยการทำให้กลับมีขนาดเท่าเดิมหรือใหญ่ขึ้นโดยการหุ้มด้วยวัสดุประเภทต่างๆ ปลอกเหล็กหรือวัสดุประกอบอื่นๆ ที่ประกอบขึ้นรอบองค์อาคารที่เสียหาย ช่องว่างระหว่างผิวองค์อาคารกับวัสดุเสริมกำลังจะเติมเต็มด้วยคอนกรีตดาดหรือคอนกรีตหล่อในที่ ปลอกกลมใส่สำหรับหุ้มบางส่วนของเสาหรือตอม่อ มักจะใช้เสริมบริเวณส่วนบนของเสาเพื่อเพิ่มความสามารถในการรองรับคานหรือพื้น รูปแบบของปลอกอาจเป็นไปได้ทั้งแบบถาวรหรือชั่วคราว อาจทำขึ้นจากไม้ โลหะขึ้นรูป คอนกรีตสำเร็จรูป ยาง ไฟเบอร์กลาส หรือเส้นใยพิเศษอื่นๆตามแต่สภาพของสิ่งแวดล้อมและการใช้งาน ปลอกจะถูกติดตั้งโดยรอบองค์อาคารที่จะซ่อมแซมและถูกจัดให้เกิดช่องว่างขึ้นกับองค์อาคารเดิมอย่างเหมาะสมและสม่ำเสมอ วัสดุที่ใช้เติมเต็มช่องว่างมีหลายประเภทเช่น คอนกรีตธรรมดาทั่วไป ปูนทราย มอร์ต้าร์ผสมอีพอกซีเรซิน หรือซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัว เป็นต้น เทคนิคในการเทประกอบด้วยการใช้เครื่องสูบ หรือ ท่อทริมมี่ หรือการใช้คอนกรีตประเภทที่วางมวลรวมล่วงหน้า

ผ2.2.4.2 ประโยชน์และการใช้งาน

การใช้ปลอกเป็นวิธีที่เหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการซ่อมแซมเสาตอม่อหรือเสาเข็มที่ชำรุดเสียหายเมื่อบางส่วนหรือทั้งหมดของพื้นที่ซ่อมแซมอยู่ใต้น้ำ วิธีนี้สามารถใช้ป้องกันการเสื่อมสภาพเพิ่มเติมหรือเสริมกำลังของทั้งองค์อาคารคอนกรีต เหล็ก และไม้ ปลอกแบบถาวรมีประโยชน์ต่อโครงสร้างใต้น้ำเมื่อต้องการความต้านทานต่อการกัดกร่อน การขัดสี หรือมลภาวะทางเคมี ปลอกกลมช่วยเพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนให้แก่พื้นและลดความยาวประสิทธิผลของเสา

ผ2.2.4.3 ข้อจำกัด

การใช้ปลอกหุ้มจำเป็นต้องสกัดคอนกรีตส่วนที่ชำรุดหรือเสื่อมสภาพออกก่อน ต้องซ่อมรอยแตกร้าวทำความสะอาดเหล็กเสริมเดิม และเตรียมสภาพพื้นผิวให้พร้อมเพื่อให้วัสดุที่หล่อหรือเทเติมเต็มในปลอกได้มีการเกาะยึดที่สมบูรณ์กับองค์อาคารเดิม และเนื่องจากการเสริมกำลังด้วยปลอกมักนิยมใช้ซ่อมแซมงานใต้น้ำ การเตรียมงานจึงยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูง ในกรณีของการซ่อมในน้ำอาจใช้พลาสติกหุ้มในบริเวณระดับน้ำเพื่อลดการกัดเซาะให้เกิดน้อยที่สุด



รูปที่ ผ2-5 การเสริมกำลังแบบใส่ปลอก

(ข้อ ผ2.2.4)

ผ2.2.5 องค์อาคารเสริมกำลัง (Supplemental Members)

ผ2.2.5.1 หลักการ

องค์อาคารเสริมกำลังคือ เสา คาน ค้ำยัน หรือแผ่นผนังใหม่ที่ติดตั้งเพื่อรองรับโครงสร้างที่ชำรุดเสียหายดังแสดงในรูปที่ ผ2-6 องค์อาคารเสริมกำลังโดยทั่วไปแล้วจะใช้เสริมข้างใต้บริเวณที่วิบัติหรือแอ่นตัวเพื่อให้เกิดความมั่นคงแก่ระบบโครงสร้าง

ผ2.2.5.2 ประโยชน์และการใช้งาน

การซ่อมแซมด้วยวิธีนี้จะเป็นทางเลือกหนึ่งในกรณีที่การเสริมกำลังด้วยวิธีอื่นไม่เพียงพอที่จะทำให้โครงสร้างแข็งแรงตามต้องการได้ องค์อาคารเสริมกำลังสามารถติดตั้งได้ในเวลาอันรวดเร็ว จึงเป็นทางเลือกในการซ่อมแซมฉุกเฉินชั่วคราวได้ โดยทั่วไปแล้วองค์อาคารใหม่จะถูกติดตั้งเพื่อรองรับคานที่แตกร้าวเสียหาย และแอ่นตัวมาก มีบ่อยครั้งที่การใช้องค์อาคารเสริมกำลังเป็นทางเลือกที่ประหยัดที่สุด

ผ2.2.5.3 ข้อจำกัด

การติดตั้งคานหรือเสาใหม่ อาจทำให้เสียพื้นที่ใช้งานในช่วงเสาที่ซ่อมแซม เสาใหม่จะกีดขวางทางสัญจรขณะที่คานใหม่จะลดความสูงของชั้น ในแง่ความสวยงาม คานใหม่หรือเสาใหม่มักจะสะดุดตาและไม่น่าดูเท่าใดนัก ในกรณีที่โครงสร้างดั้งเดิมมีกำลังต้านทานแรงด้านข้างไม่เพียงพอ การใช้ค้ำยันทแยง หรือการเติมเต็มช่องผนัง สามารถเพิ่มกำลังตามต้องการได้ ซึ่งการเสริมกำลังด้วยวิธีดังกล่าวจะจำกัดการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ภายในอาคาร นอกจากนี้หน่วยแรงและ

แรงภายในองค์อาคารเดิมอาจไม่ลดลงจนกว่าจะได้ใช้วิธีการถ่ายแรงไปสู่องค์อาคารอื่นๆ

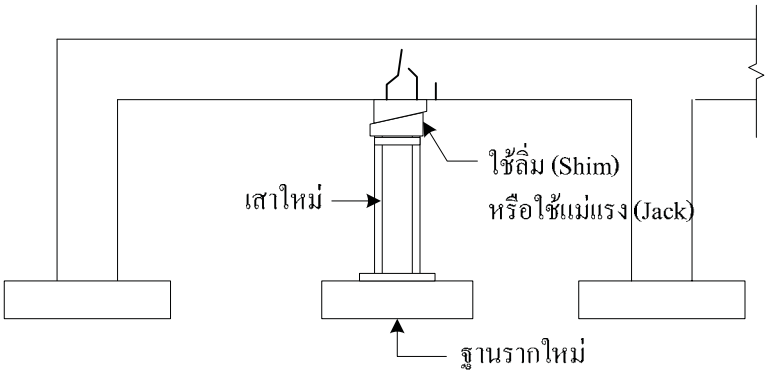
ผ.2.2.5.4 ตัวอย่างของการเสริมกำลังแบบการเพิ่มองค์อาคารแสดงไว้ในรูปที่ ผ2-6

(1) ในรูป ผ2-6 (ก) เสาใหม่ถูกใช้เพื่อรองรับคานที่ขาดกำลังรับแรงดัด เสาใหม่ต้องการฐานรากใหม่ที่แข็งแรงเพียงพอด้วย คานช่วงเดียวจะกลายเป็นคานต่อเนื่องและเกิดการสลับด้านของโมเมนต์บวก-โมเมนต์ลบ ในกรณีที่เกิดการแตกร้าวในพื้นที่ของโมเมนต์ลบใหม่ ต้องตรวจสอบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ด้วย

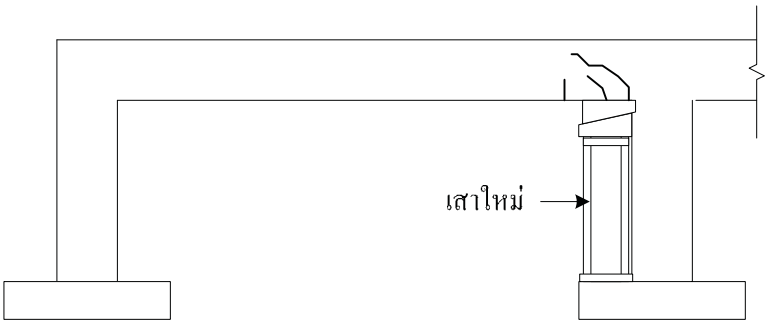
(2) รูป ผ2-6 (ข) แสดงการเพิ่มเสาใหม่ เพื่อเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนและลดช่วงความยาวของคานเดิม บ่อยครั้งพบว่าการเสริมเสาใหม่ติดกับเสาเดิมในลักษณะนี้ ประหยัดกว่าการใช้ปลอก ในกรณีที่เสาใหม่วางเยื้องศูนย์อยู่บนฐานรากเดิม จะต้องทำการตรวจสอบว่าจำเป็นต้องเพิ่มขนาดหรือกำลังของฐานรากเดิมหรือไม่

(3) ในการใช้เสาเป็นองค์อาคารเสริมกำลังตามข้อ ผ.2.2.5.4(1) หรือ ผ.2.2.5.4(2) อาจต้องใช้แม่แรงหรืออุปกรณ์เสริมให้เกิดการถ่ายแรงแบบถาวรด้วย วิศวกรควรจำเป็นต้องตรวจสอบประสิทธิภาพของการถ่ายแรงไปยังเสาใหม่ด้วย

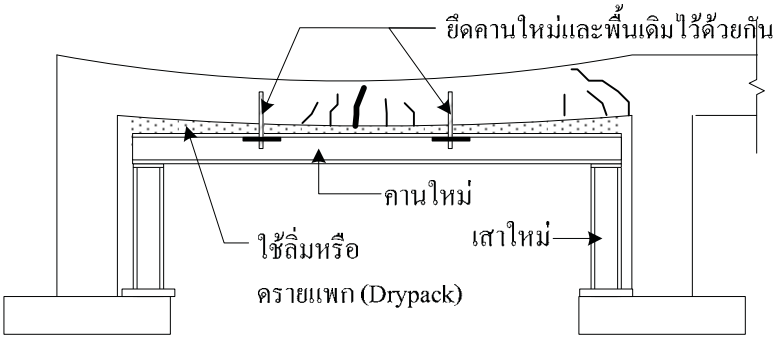
(4) รูป ผ2-6 (ค) แสดงการติดตั้งคานเสริมกำลังใต้พื้นเดิมที่แอ่นตัว ช่องว่างระหว่างคานใหม่กับพื้นเดิมต้องถูกเติมให้เต็มด้วยวัสดุที่เหมาะสมหรืออัดให้แน่น ชุดคานเสริมกำลังอาจถูกยึดติดกับพื้นหรือเสาเดิมหรือทั้งคู่เพื่อเพิ่มเสถียรภาพต่อการเคลื่อนที่ด้านข้าง



(ก) การติดตั้งเสาใหม่และฐานรากใหม่เพื่อรองรับคานที่กำลังรับแรงดัดไม่เพียงพอ



(ข) การติดตั้งเสาใหม่และฐานรากใหม่เพื่อรองรับคานที่กำลังรับแรงเฉือนไม่เพียงพอ



(ค) การติดตั้งคานเสริมกำลังใต้พื้นเดิมที่แอ่นตัว

รูป ผ2-6 รูปแบบองค์อาคารเสริมกำลัง

(ข้อ ผ2.2.5)

ผ2.3 การซ่อมเสาคอนกรีต (Repair of Concrete Columns)

ในการซ่อมเสาคอนกรีตควรคำนึงถึงแรงกดที่กระทำต่อเสานั้น โดยทั่วไปแล้วแรงกระทำในเสาจะประกอบด้วย แรงในแนวดิ่ง แรงทางด้านข้าง และแรงที่เกิดจากโมเมนต์ นอกจากนี้ยังจะต้องพิจารณาทั้งน้ำหนักคงที่ของตัวโครงสร้างเอง และน้ำหนักบรรทุกจร

ผ2.3.1 ประเภทของการซ่อมเสาคอนกรีต

การซ่อมเสาคอนกรีตแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ (1) การซ่อมผิวหรือการซ่อมเพื่อความสวยงามใช้เพื่อจัดการกับความเสียหายเฉพาะจุด และ (2) การซ่อมเพื่อเพิ่มกำลังใช้เพื่อเสริมหรือคืนกำลังการรับน้ำหนักให้แก่เสาที่เสียหาย ในกรณีที่ความเสียหายหรือผุกร่อนไม่ได้ทำให้พื้นที่หน้าตัดเสาลดลงไปมากนัก การซ่อมโครงสร้างคอนกรีตโดยวิธีทั่วไปก็สามารถใช้จัดการกับความเสียหายนี้ได้ แต่ในกรณีที่เสาชำรุดเสียหายอย่างมาก การถ่ายโอนน้ำหนักออกจากเสาเป็นเรื่องจำเป็นเพื่อหน้าตัดทั้งหมดของเสาจะสามารถรับน้ำหนักได้ตามต้องการภายหลังการซ่อมแซมเสาเสร็จสมบูรณ์แล้ว

ผ2.3.2 วิธีการซ่อมแซมเสา การซ่อมแซมเสามีด้วยกันหลายวิธี ขึ้นอยู่กับลักษณะของความเสียหาย เช่น

ผ2.3.2.1 ขยายหน้าตัดเสาให้ใหญ่ขึ้น

ผ2.3.2.2 เพิ่มการโอบรัดด้วยแผ่นเหล็ก เส้นใยคาร์บอนหรือเส้นใยแก้ว

ผ2.3.2.3 เพิ่มปลอกรับแรงเฉือน เพื่อเพิ่มกำลังรับแรงเฉือน

ผ2.3.2.4 ปะกับด้วยแผ่นเหล็ก เพื่อเพิ่มกำลังรับโมเมนต์ดัด

ผ2.3.2.5 เพิ่มจำนวนเสา หรือ

ผ2.3.2.6 ใช้ระบบป้องกันต่างๆ เพื่อไม่ให้เกิดการกัดกร่อนเพิ่มเติมในอนาคต

ผ2.4 ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการซ่อมเสา (Column Repair Parameters)

ผ2.4.1 การถ่ายโอนน้ำหนักออกจากเสา ปกติแล้วถ้าไม่ได้ถ่ายโอนน้ำหนักออกจากเสาที่ซ่อมแซมก่อนทำการซ่อมนั้น ส่วนที่ซ่อมแซมใหม่ในเสานี้แทบจะไม่ได้รับน้ำหนักใดๆ เลย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อส่วนที่ซ่อมเกิดการหดตัวภายหลัง อย่างไรก็ตามการถ่ายน้ำหนักออกจากเสามีความยุ่งยากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากโดยเฉพาะเสาในอาคารสูง

ผ2.4.2 การกระจายตัวใหม่ของหน่วยแรงภายใน

การกระจายตัวใหม่ของหน่วยแรงภายใน เกิดขึ้นอยู่แล้ว ในบริเวณโดยรอบเหล็กเสริมที่ผุกร่อน ซึ่งทำให้เกิดการแยกตัวก่อนการลงมือซ่อมแซม ผู้ออกแบบจึงควรตระหนักถึงข้อนี้และประเมินหน้าตัดที่เหลืออยู่ด้วยความรอบคอบว่าจะเกิดหน่วยแรงภายในที่มากเกินไปเฉพาะจุดหรือไม่ (Stress Concentration) ซึ่งถ้าเป็นเช่นนั้น จะมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องถ่ายโอนน้ำหนักออกจากเสาบางส่วนหรือทั้งหมดก่อนการซ่อมแซม

ผ2.4.3 การเพิ่มเหล็กเสริมแนวตั้ง เหล็กเสริมแนวตั้งเพิ่มเติมตามทฤษฎีควรจะอยู่ภายในเหล็กปลอกของเสา แต่เป็นเรื่องที่ทำได้ยากถ้าไม่ตัดเหล็กปลอกออกก่อน แต่ในทางปฏิบัติไม่ควรตัดเหล็กปลอกเพราะจะเสี่ยงต่อการเกิดการโก่งเดาะของเหล็กเสริมยืน จึงเป็นเรื่องที่ยอมรับได้ถ้าจะวางเหล็กเสริมแนวตั้งเพิ่มเติมภายนอกเหล็กปลอก

ผ2.4.4 การสกัดคอนกรีต การสกัดคอนกรีตภายในวงรอบเหล็กปลอกออก โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามแนวเหล็กเสริมยืนเป็นเรื่องสำคัญ เพราะเมื่อคอนกรีตในบริเวณดังกล่าวถูกสกัดออกมาก เหล็กยืนจะเกิดการโก่งเดาะได้ ถึงแม้จะมีเหล็กปลอกรัดอยู่ก็ตาม นอกจากนี้การสกัดคอนกรีตในเสาที่กำลังรับน้ำหนักในระหว่างกระบวนการซ่อมแซมนั้น จะทำให้คอนกรีตส่วนที่เหลืออยู่และเหล็กเสริมรับน้ำหนักมากขึ้น ซึ่งถ้าไม่กระทำด้วยความระมัดระวังแล้ว เหล็กยืนจะโก่งเดาะและส่งผลให้เสาวิบัติภายใต้แรงอัดได้

ผ2.4.5 การผุกร่อนเป็นสนิมของเหล็กเสริม ในกรณีที่มีการเสริมเหล็กเพิ่มเพื่อชดเชยหน้าตัดที่สูญเสียไปจากการผุกร่อน ไม่มีความจำเป็นต้องตัดเหล็กที่เสียหายออก ในการนี้จะนับระยะต่อทาบจากจุดที่เหล็กเสริมมีหน้าตัดเต็มสมบูรณ์ออกไปทั้งสองด้านจากส่วนที่ผุกร่อนเสียหาย เหล็กที่เสียหายจากการผุกร่อนที่คงไว้ในเสา จะต้องทำความสะอาด ขจัดสนิมด้วยการพ่นทราย จนเห็นเนื้อเหล็กที่สะอาดด้วย วิธีการซ่อมแซมเหล็กเสริมที่เป็นสนิมได้กล่าวไว้โดยละเอียดในหัวข้อที่ 5.4

ผ2.4.6 การผุกร่อนของเหล็กปลอก ถ้าจำเป็นต้องซ่อมเสาเนื่องจากการผุกร่อนของเหล็กปลอก การจัดเตรียมให้มีการยึดรั้งทางข้างสำหรับเหล็กยืนเป็นเรื่องสำคัญ สามารถกระทำได้โดยยึดด้วยเหล็กปลอกซึ่งเจาะยึดติดกับคอนกรีตเดิม และในกรณีนี้จำเป็นต้องขยายหน้าตัดเสาให้ใหญ่ขึ้น เพื่อให้เหล็กปลอกใหม่มีระยะหุ้มที่เหมาะสมวิธีการซ่อมแซมเหล็กเสริมที่เป็นสนิมได้กล่าวไว้โดยละเอียดในหัวข้อที่ 5.4

ผ2.4.6 กำลังรับแรงอัดที่ต่ำของคอนกรีต ในกรณีที่คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดต่ำ ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักไม่พอเพียง มีหลายวิธีที่พิจารณาใช้ได้

ผ2.4.6.1 เพิ่มค้ำยันเพื่อรับน้ำหนักแทนเสา จากนั้นสกัดคอนกรีตออกแล้วหล่อคอนกรีตในที่เพื่อทดแทน

ผ2.4.6.2 เพิ่มค้ำยันเพื่อรับน้ำหนักแทนเสา แล้วขยายขนาดของเสาให้ใหญ่ขึ้น

ผ2.4.6.3 เพิ่มการโอบรัดให้เสา โดยการพันด้วยโพลีเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน หรือเส้นใยแก้ว

ผ2.4.6.4 ติดตั้งเสาเพิ่มเพื่อช่วยรับกำลัง

ภาคผนวก 3 ภาพแสดงขั้นตอนการสกัดคอนกรีตและการเตรียมพื้นผิว

ผ3.1 การติดตั้งค้ำยันชั่วคราว โดยให้อยู่ในดุลยพินิจของวิศวกร ดังรูปที่ ผ3-1

ผ3.2 การสกัดคอนกรีตที่เสียหายออก ดังรูปที่ ผ3-2

ผ3.3 การตรวจสอบเบื้องต้นภายหลังจากการสกัดคอนกรีตที่เสียหายออก ดังรูปที่ ผ3-3

ผ3.4 การสกัดเพิ่มเติมหากพบว่ายังมีคอนกรีตที่เสียหายหลงเหลืออยู่ ดังรูปที่ ผ3-4

ผ3.5 การตรวจสอบสภาพพื้นผิวอีกครั้งภายหลังจากการสกัดคอนกรีตที่เสียหายออกครั้งที่สอง ดังรูปที่ ผ3-5

ผ3.6 ตรวจสอบสภาพพื้นผิวรวมทั้ง Pore Space ของเนื้อคอนกรีต ดังรูปที่ ผ3-6

ผ3.7 การเตรียมและปรับสภาพพื้นผิว ดังรูปที่ ผ3-7

ผ3.8 การตรวจสอบสภาพของพื้นผิวคอนกรีตอีกครั้งภายหลังจากการปรับปรุง ดังรูปที่ ผ3-8

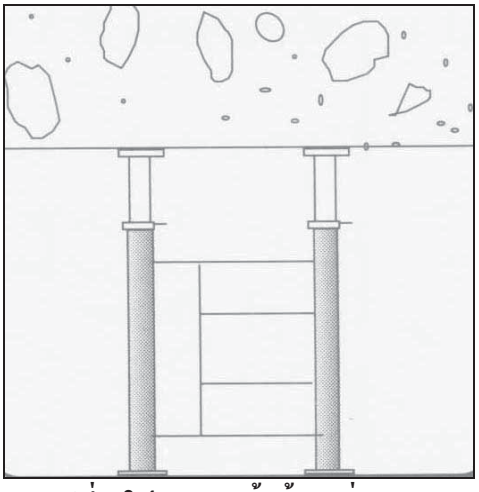
ผ3.9 การปรับสภาพความชื้นของพื้นผิวคอนกรีตก่อนการใช้วัสดุปรับปรุงพื้นผิว (ถ้าจำเป็น) ดังรูปที่ ผ3-9

ผ3.10 การใช้วัสดุปรับปรุงพื้นผิว ดังรูปที่ ผ3-10

ผ3.11 การตรวจสอบสภาพของพื้นผิวคอนกรีตภายหลังจากที่ใช้วัสดุปรับปรุงพื้นผิว ดังรูปที่ ผ3-11

ผ3.12 การทิ้งให้พื้นผิวคอนกรีตที่ผ่านการปรับปรุงสภาพมีการก่อตัว ดังรูปที่ ผ3-12

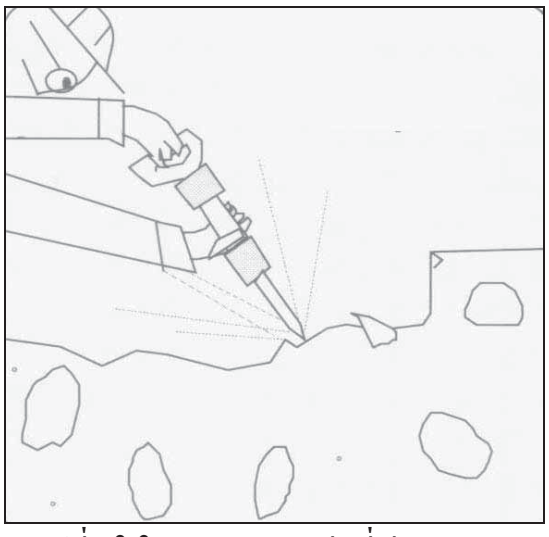
ผ3.13 การทดสอบการยึดเกาะของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM D4541 ดังรูปที่ ผ3-13



รูปที่ ผ3-1 การติดตั้งค้ำยันชั่วคราว

(**ที่มา**: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)

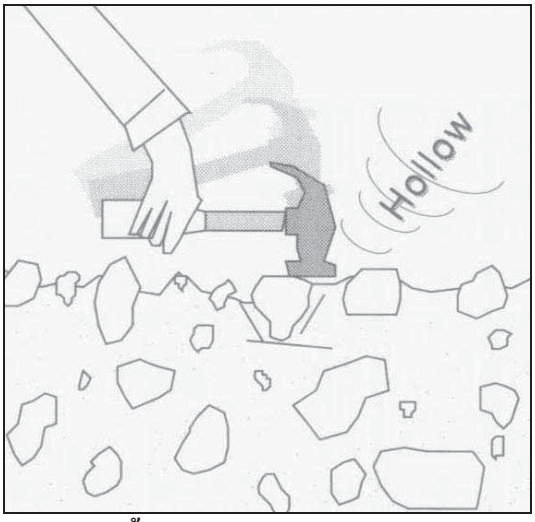
(ข้อ ผ3.1)



รูปที่ ผ3-2 การสกัดคอนกรีตที่เสียหายออก

(ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)

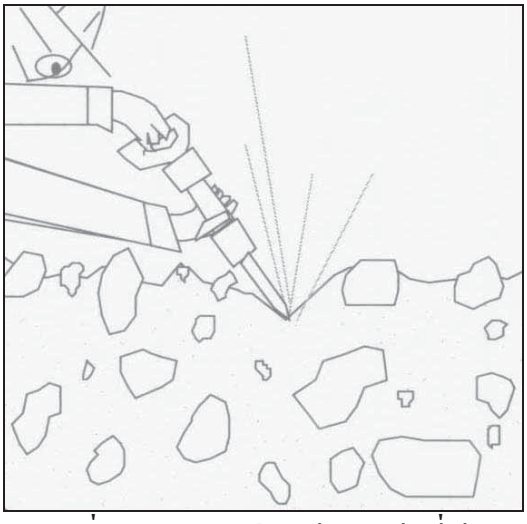
(ข้อ ผ3.2)



รูปที่ ผ3-3 การตรวจสอบเบื้องต้นภายหลังจากการสกัดคอนกรีตที่เสียหายออก

(ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)

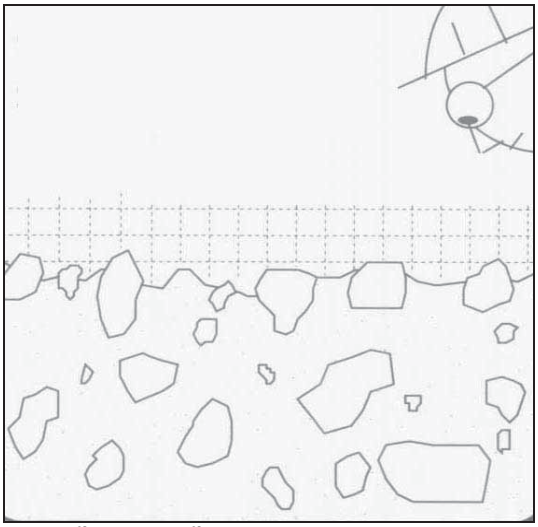
(ข้อ ผ3.3)



รูปที่ ผ3-4 การสกัดเพิ่มเติมหากพบว่ายังมีคอนกรีตที่เสียหายหลงเหลืออยู่

(ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)

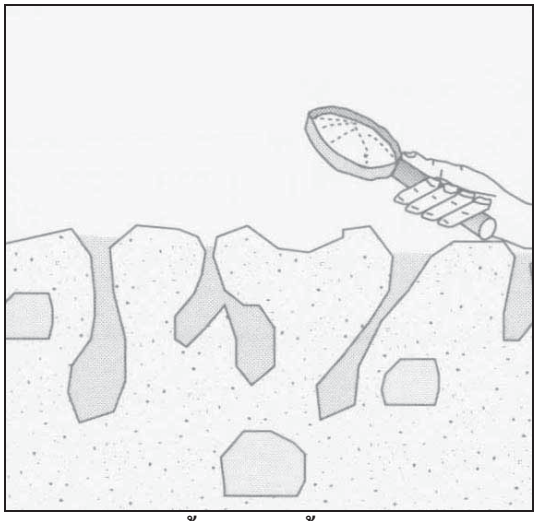
(ข้อ ผ3.4)



รูปที่ ผ3-5 การตรวจสอบสภาพพื้นผิวอีกครั้งภายหลังจากการสกัดคอนกรีตที่เสียหายออกครั้งที่สอง

(ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)

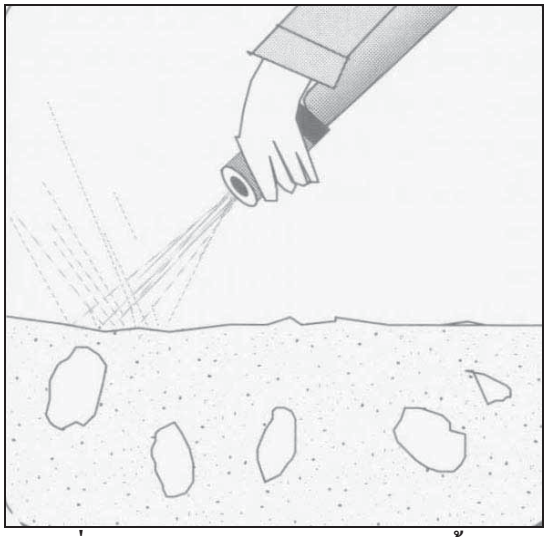
(ข้อ ผ3.5)



รูปที่ ผ3-6 ตรวจสอบสภาพพื้นผิวรวมทั้ง Pore Space ของเนื้อคอนกรีต

(ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)

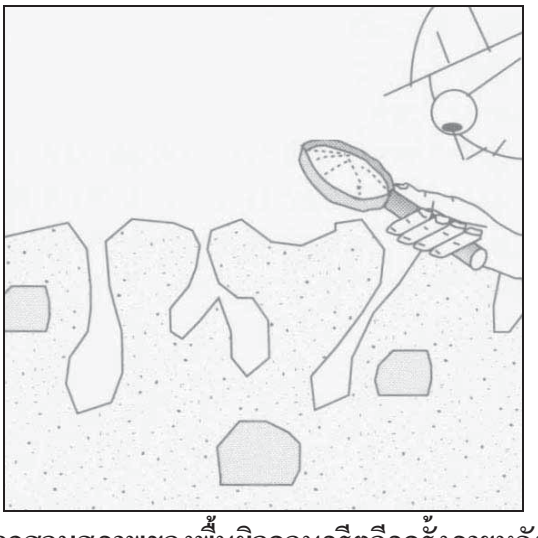
(ข้อ ผ3.6)



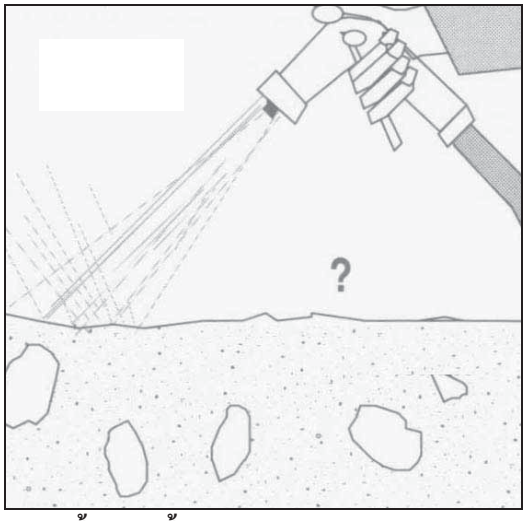
รูปที่ ผ3-7 การเตรียมและปรับสภาพพื้นผิว

(ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)

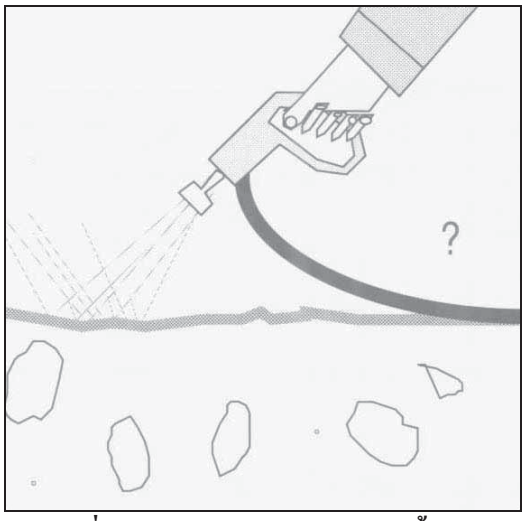
(ข้อ ผ3.7)



รูปที่ ผ3-8 การตรวจสอบสภาพของพื้นผิวคอนกรีตอีกครั้งภายหลังจากการปรับปรุง
(ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)
(ข้อ ผ3.8)



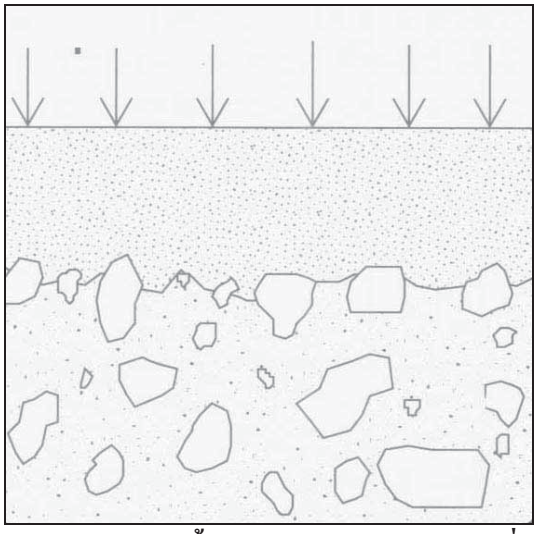
รูปที่ ผ3-9 การปรับสภาพความชื้นของพื้นผิวคอนกรีตก่อนการใช้วัสดุปรับปรุงพื้นผิว (ถ้าจำเป็น)
(ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)
(ข้อ ผ3.9)



รูปที่ ผ3-10 การใช้วัสดุปรับปรุงพื้นผิว

(ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)

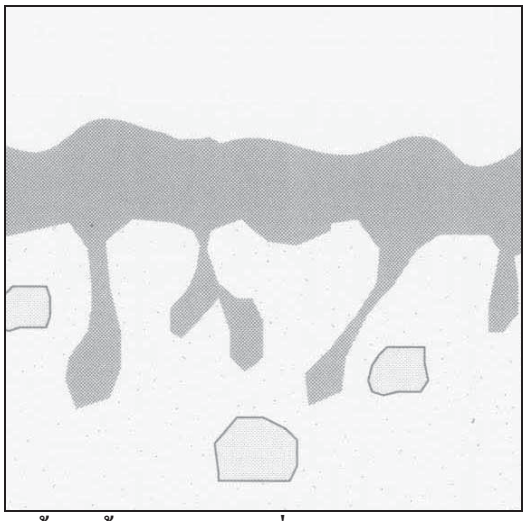
(ข้อ ผ3.10)



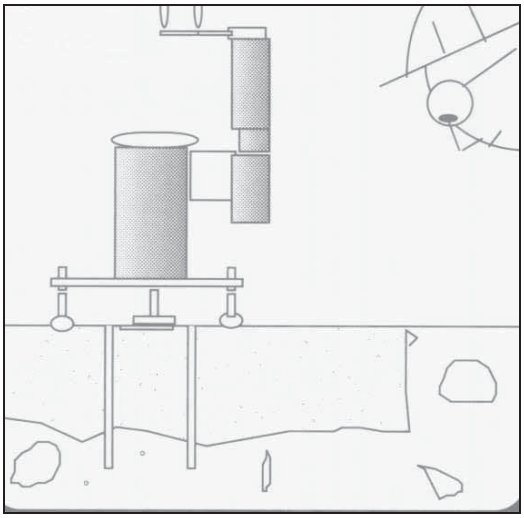
รูปที่ ผ3-11 การตรวจสอบสภาพของพื้นผิวคอนกรีตภายหลังจากที่ใช้วัสดุปรับปรุงพื้นผิว

(ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)

(ข้อ ผ3.11)



รูปที่ ผ3-12 การทิ้งให้พื้นผิวคอนกรีตที่ผ่านการปรับปรุงสภาพมีการก่อตัว
(ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)
(ข้อ ผ3.12)



รูปที่ ผ3-13 การทดสอบการยึดเกาะของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM D4541
(ที่มา: Concrete Repair and Maintenance Illustrated)
(ข้อ ผ3.13)

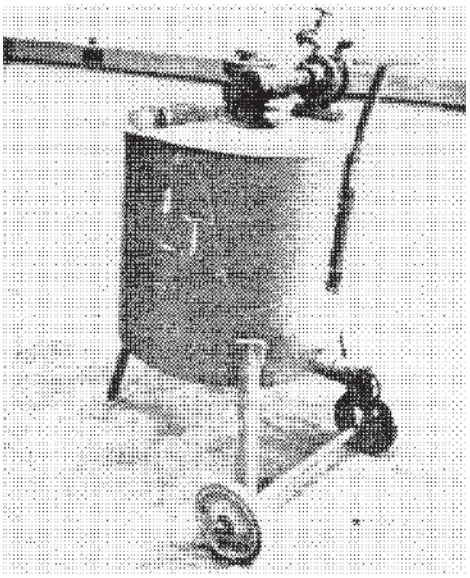
ภาคผนวก 4 ถังที่ใช้ในการผสม และอุปกรณ์การอัดฉีด

ผ4.1 ถังที่ใช้ในการผสม (Mixing and Blending Tank)

ถังที่ใช้สำหรับผสมสารอัดฉีด ดังรูปที่ ผ4-1 ควรทำด้วยวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ใช้อัดฉีด หรือ สารละลายแต่ละชนิดที่ใช้ ส่วนประกอบของตัวถังสามารถเลือกใช้วัสดุอลูมิเนียม สแตนเลส หรือพลาสติกชนิดพิเศษได้ตามความเหมาะสม โดยทั่วไปความจุของถังที่ต้องการจะไม่มากนัก โดยขนาดและรูปร่างของถังจะขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนผสมและระบบการฉีดที่ใช้ โดยทั่วไปถังที่ใช้ในการผสมอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบหลัก ได้แก่ ระบบผสมรวม (Batch System) ระบบผสมแบบสองถัง (Two-Tank System) และระบบ Equal-Volume Method

ผ4.1.1 ระบบผสมรวม (Batch System)

ระบบผสมรวม เป็นระบบผสมสารที่ง่ายที่สุด ซึ่งใช้มากในกรณีอัดฉีดด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยส่วนประกอบทั้งหมด รวมทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาจะผสมรวมกันในถังเดียว ณ เวลาเดียวกัน ระบบนี้มีข้อเสีย คือ ระยะเวลาการอัดฉีดจะจำกัดด้วยช่วงเวลาการก่อตัวของเจล ถ้ามีการก่อตัวของเจลก่อนที่การอัดฉีดจะเสร็จสิ้น เครื่องสูบ ท่อ และช่องทางการไหลอาจเกิดการอุดตันได้

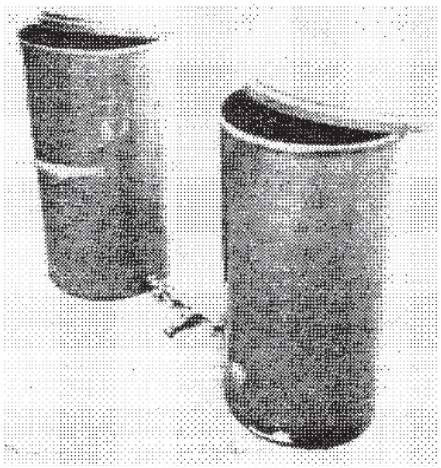


รูปที่ ผ4-1 ถังที่ใช้สำหรับผสมสารของการอัดฉีด (ที่มา: EM 1110-1-3500)

[ข้อ ผ4.1.1]

ผ4.1.2 ระบบผสมแบบสองถัง (Two-Tank System)

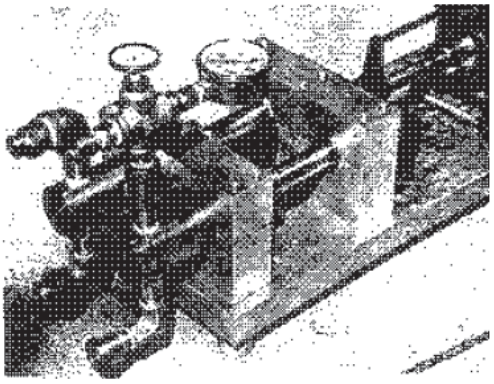
ระบบผสมแบบสองถัง ประกอบด้วย ถังผสม 2 ใบ โดยถังใบที่ 1 ใช้บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยา และถังใบที่ 2 ใช้บรรจุส่วนประกอบอื่นๆ รวมไว้ด้วยกัน ดังรูปที่ ผ4-2 วัสดุจากแต่ละถังจะส่งเข้าสู่เครื่องสูบ ซึ่งเป็นตำแหน่งเริ่มต้นปฏิกิริยาเคมี จากนั้นสารผสมจะถูกฉีดผ่านสายไปยังจุดที่ต้องการอัดฉีด โดยระยะเวลาการอัดฉีดจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของการเกิดเจลซึ่งจะเกิดภายหลังจากส่วนประกอบทั้งหมดถูกผสมเข้าด้วยกัน ระบบนี้จึงมีความเหมาะสมและสามารถควบคุมการอัดฉีดได้ดีกว่าระบบผสมรวม



รูปที่ ผ4-2 ระบบการผสมสารแบบสองถัง (ที่มา: EM 1110-1-3500)
[ข้อ ผ4.1.2]

ผ4.1.3 ระบบ Equal-Volume Method

ระบบ Equal-Volume Method เป็นการผสมสารแบบสองถัง ดังรูปที่ ผ4-3 โดยเครื่องอัดฉีดจะติดตั้งแยกไว้สำหรับถังแต่ละใบ ซึ่งทำงานด้วยตัวขับเคลื่อนเดียวกัน ส่วนประกอบในแต่ละถังจะผสมให้มีความเข้มข้นเป็นสองเท่าของปริมาณที่ออกแบบ ข้อดีของระบบนี้ คือ ความผิดพลาดในการตั้งค่าการวัดเครื่องอัดฉีดจะไม่เกิดขึ้น และความเข้มข้นของสารประกอบในการอัดฉีด สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยกระบวนการผลิต



รูปที่ ผ4-3 ระบบการผสมสารแบบ Equal-Volume Method (ที่มา: EM 1110-1-3500)
[ข้อ ผ4.1.3]

ผ4.2 อุปกรณ์การอัดฉีด หรือเครื่องสูบ (Pump)

เครื่องสูบที่ใช้ในการอัดฉีดมีหลายประเภท เช่น เครื่องสูบแบบ Positive-Displacement หรือเครื่องสูบแบบลูกสูบ (Piston Pump)

ผ4.2.1 เครื่องสูบแบบ Positive-Displacement

เครื่องสูบแบบนี้ที่นิยมใช้ได้แก่ชนิดสว่าน (Screw Pump) ซึ่งประกอบด้วยแกนหมุนกลับทำจากสแตนเลส อยู่ภายในท่อสเตเตอร์ (Stator) โดยอุปกรณ์ทั้งหมดต้องต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี สารอัดฉีดจะถูกส่งไปยังจุดระบายออกของเครื่องอัดฉีดด้วยอัตราคงที่ ดังรูปที่ ผ4-4 เครื่องสูบแบบนี้สร้างแรงสั่นสะเทือนเพียงเล็กน้อย ทำให้สามารถรักษาระดับแรงดันให้สม่ำเสมอได้มากกว่าเครื่องสูบแบบลูกสูบ (Piston Pump) โดยเฉพาะกรณีการอัดฉีดภายใต้แรงดันต่ำ

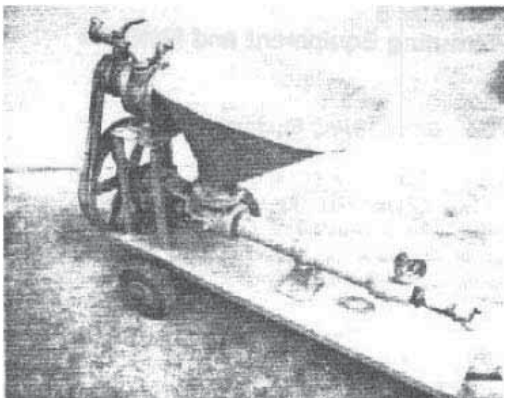
ผ4.2.2 เครื่องสูบแบบลูกสูบ (Piston Pump)

เครื่องสูบแบบลูกสูบให้ใช้แบบ Simplex Pump ดังรูปที่ ผ4-5 จะสามารถควบคุมปริมาตรและแรงดันในช่วงแคบๆ ได้ดีกว่า[1] โดยทั่วไปเครื่องสูบแบบลูกสูบ สามารถให้แรงดันสูงกว่าเครื่องสูบแบบ Positive Displacement และต้องมีการดูแลรักษาและการหล่อลื่นลูกสูบอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันความเสียหาย[2] และสามารถแยกส่วนประกอบเพื่อทำความสะอาดได้ และเครื่องสูบแบบลูกสูบสามารถให้ความดันถึง 70 เมกาปาสกาล (686 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) และมีปริมาณการสูบอยู่

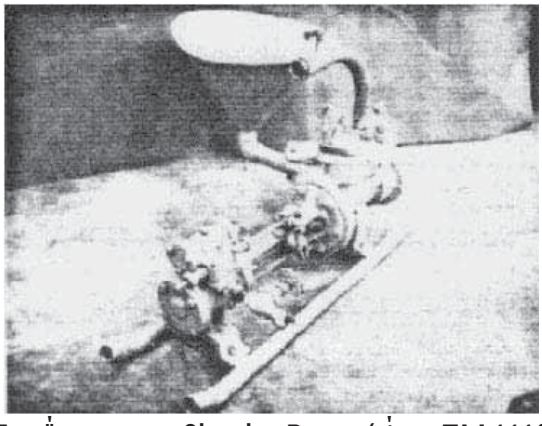
[1] เครื่องสูบแบบลูกสูบ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดได้แก่ ชนิด Simplex Pump และชนิด Duplex Pump ชนิด Simplex Pump ทำงานด้วยลูกสูบหนึ่งตัวขับเคลื่อนวาล์วของเหลว 4 ตัว ในขณะที่ Duplex Pump ทำงานด้วยลูกสูบสองตัวขับเคลื่อนวาล์วของเหลว 8 ตัว โดยทั่วไป Simplex Pump จะให้ปริมาณการไหลที่สม่ำเสมอและมีขนาดเล็กกว่า Duplex Pump จึงเหมาะสมกับการอัดฉีดในที่แคบๆ อาทิเช่น งานอุโมงค์ และงานท่อ เป็นต้น

[2] เครื่องสูบแบบลูกสูบ อาจมีการสัมผัสกันของโลหะ (ลูกสูบและห้องสูบ) ค่อนข้างมาก จึงอาจต้องมีการหล่อลื่นและต้องการการดูแลรักษาอย่างเหมาะสม มากกว่าเครื่องสูบแบบ Positive Displacement

ในช่วง 1 ถึง 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที (1 ถึง 100 ลิตรต่อนาที) และแหล่งพลังงานที่ใช้อาจเป็นน้ำมัน หรือไฟฟ้า



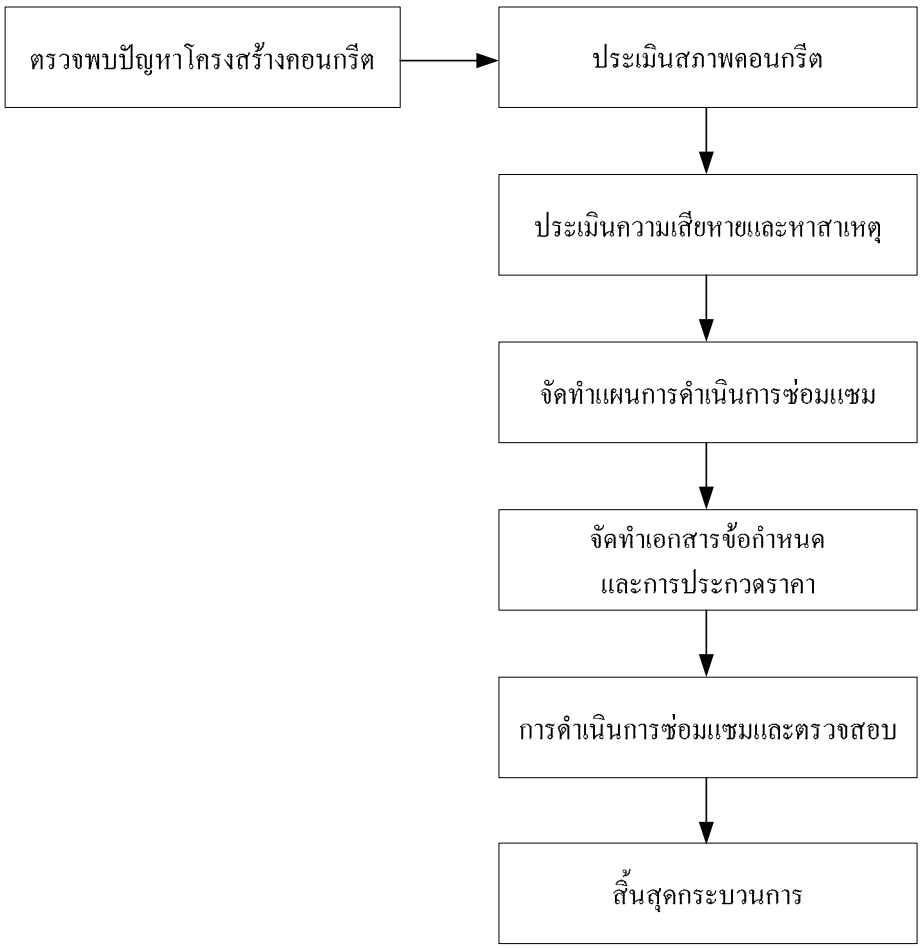
รูปที่ ผ4-4 เครื่องสูบแบบ Positive-Displacement (**ที่มา**: EM 1110-1-3500)
[ข้อ ผ4.2.1]



รูปที่ ผ4-5 เครื่องสูบแบบ Simplex Pump (**ที่มา**: EM 1110-1-3500)
[ข้อ ผ4.2.2]

ภาคผนวก 5 ขั้นตอนการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต

ความรู้พื้นฐานที่จำเป็น คือการประเมินสภาพคอนกรีตที่ถูกต้องและการซ่อมแซมที่ถูกต้องเหมาะสมกับสภาพที่เสียหาย เพื่อให้โครงสร้างคอนกรีตใช้งานต่อได้ยาวนาน เมื่อพบเห็นโครงสร้างคอนกรีตที่แสดงอาการเสียหายหรือพบข้อบกพร่องผู้ตรวจสอบจะต้องค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของข้อบกพร่องนั้น เนื่องจากอาการที่พบเห็นอาจไม่เกี่ยวข้องกับสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้น เช่น ถ้าพบรอยร้าวที่ผิวคอนกรีตซึ่งแสดงว่าคอนกรีตอยู่ในสภาพอันตรายหรือไม่ปกติ แต่สาเหตุที่ทำให้คอนกรีตแตกร้าวมีได้หลายสาเหตุเช่น การหดตัวจากผิวที่ขาดน้ำ (Drying Shrinkage) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างเป็นวัฏจักร (Thermal Cycling) การรับน้ำหนักบรรทุกเกินขีดจำกัด การกัดกร่อนของเหล็กเสริมภายในคอนกรีต การออกแบบและก่อสร้างที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน เป็นต้น ดังนั้นเมื่อได้มีการวิเคราะห์หาสาเหตุที่คอนกรีตเสียหายได้ถูกต้องแล้วจึงมีการเลือกระบบการซ่อมแซมที่เหมาะสมและทำการซ่อมแซมต่อไป ดังรูปที่ 1



รูปที่ ผ5-1 กระบวนการการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต
(ข้อ ผ5)

ผ5.1 การประเมินสภาพคอนกรีต

ขั้นตอนแรกในการซ่อมแซม คือ ประเมินสภาพปัจจุบันของโครงสร้างคอนกรีต ซึ่งประกอบด้วยการทบทวนข้อมูลเอกสารการออกแบบและการก่อสร้าง การวิเคราะห์โครงสร้างในสภาพที่เสียหาย การทบทวนผลการทดสอบวัสดุ การทบทวนบันทึกรายงานผลการซ่อมแซมในอดีต การทบทวนบันทึกประวัติการซ่อมแซม การตรวจสภาพโครงสร้างด้วยสายตา การประเมินผลการพัฒนาการกัดกร่อน การทบทวนผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการด้านเคมี และการวิเคราะห์ทางกายภาพจากแท่งตัวอย่างคอนกรีต นอกจากนี้ต้องทำความเข้าใจในสภาพของโครงสร้างคอนกรีตภายในเนื้อคอนกรีตที่เป็นสาเหตุให้คอนกรีตเสียหาย

ผ5.2 การหาสาเหตุของการเสื่อมสภาพหรือความเสียหายของคอนกรีต

เมื่อได้ตรวจประเมินสภาพโครงสร้างคอนกรีตแล้ว จะสามารถประเมินสาเหตุการเกิดกลไกการเสื่อมสภาพ (Deterioration Check) ที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องในคอนกรีตซึ่งอาจมีหลายสาเหตุก็ได้ การค้นหาสาเหตุของข้อบกพร่องให้พยายามตั้งคำถามว่าสาเหตุที่แท้จริงอะไรที่ทำให้โครงสร้างคอนกรีตเสียหายและทำไมจึงเป็นเช่นนั้น เมื่อประเมินสภาพคอนกรีตและค้นพบสาเหตุแล้วจึงทำการเลือกวัสดุและวิธีการซ่อมแซมแล้วกำหนดเป็นแผนปฏิบัติการในการซ่อมแซมต่อไป

ผ5.3 การเลือกวิธีการซ่อมแซมและวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม ให้พิจารณาตามข้อแนะนำดังต่อไปนี้

ผ5.3.1 วิศวกรต้องร่วมในการปรับปรุงหรือแก้ไขในงานแก้ไขความเสียหายของคอนกรีต เช่น แก้ไขรูปแบบการระบายน้ำ การประเมินบริเวณพื้นที่ที่เกิดความเสียหายคะวิเทชั่น การเผื่อการทรุดตัวที่แตกต่างกัน เป็นต้น วิศวกรต้องเข้าใจในปัจจัยที่มีผลทำให้คอนกรีตมีความคงทน ต้องเข้าใจในสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้คอนกรีตแตกร้าว

ผ5.3.2 วิศวกรต้องคำนึงถึงปัจจัยภายนอกที่เป็นข้อจำกัดในการดำเนินงาน เช่น การเข้าตรวจสอบโครงสร้างในพื้นที่จำกัด แผนการเดินเครื่องจักรที่โครงสร้างรองรับอยู่

ผ5.3.3 ปัญหาที่เกิดจากการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติไม่สามารถแก้ไขได้ การซ่อมแซมแก้ไขทำได้เพียงยืดอายุของโครงสร้างให้ยืนยาวขึ้นแต่จะไม่สามารถทำให้สาเหตุของปัญหาหมดไป

ผ5.3.4 ในบางโครงการจะต้องคำนึงถึงการใช้วัสดุที่ไม่ทำลายสุขภาพของคนงานและสิ่งแวดล้อม

ผ5.3.5 วิศวกรต้องตระหนักถึงข้อดีและข้อเสียของการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตชั่วคราวหรือถาวรเพื่อไม่ให้ค่าใช้จ่ายสูงเกินความเหมาะสม

ผ5.3.6 โครงสร้างที่ซ่อมแซมต้องมีความปลอดภัยในช่วงเวลา ก่อนการซ่อมแซม ระหว่างการซ่อมแซม และภายหลังการซ่อมแซม

ผ5.3.7 การซ่อมแซมต้องสามารถหาวัสดุและวิธีการซ่อมแซมได้ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่าย

ผ5.3.8 การซ่อมแซมเหล็กเสริมคอนกรีต ควรซ่อมให้เกินพื้นที่ที่เสียหายและให้พิจารณาใส่ค้ำยันไว้ในขณะดำเนินการซ่อมแซม

ผ5.3.9 ต้องใช้ผู้รับเหมาที่มีประสบการณ์และมีศักยภาพในการทำงาน

ผ5.4 ข้อควรพิจารณาในการออกแบบซ่อมแซม

วิศวกรควรคำนึงถึงเรื่องความปลอดภัยและความสามารถในการใช้งานของโครงสร้างระหว่างการซ่อมแซม วิศวกรควรคำนวณตรวจสอบกลไกของอาคารเบื้องต้นและต้องเข้าใจในคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ก่อสร้างโครงสร้างจึงจะสามารถประเมินสภาพของโครงสร้างและออกแบบซ่อมแซมได้ แนวทางพิจารณาเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบดังนี้

ผ5.4.1 การกระจายน้ำหนักในสภาพปัจจุบัน

ผ5.4.2 ความเหมาะสมของวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม ต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ใกล้เคียงกัน เช่น มีความยืดหยุ่นเหมือนกัน เป็นต้น

ผ5.4.3 การคืบและหดตัวคายน้ำ (Creep and Shrinkage) คุณสมบัติในการยืดหรือหดตัวของวัสดุใหม่กับวัสดุเดิมต้องเท่ากัน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยร้าวในบริเวณที่ทำการซ่อมแซม

ผ5.4.4 การสั่นสะเทือน (Vibration)

ผ5.4.5 น้ำหรือไอน้ำที่ซึมผ่านเนื้อคอนกรีตได้

ผ5.4.6 ความปลอดภัยในการทำงาน

ผ5.4.7 คุณสมบัติและวัตถุประสงค์ในการใช้งานของวัสดุที่นำมาซ่อมแซมต้องตรงตามข้อกำหนดของผู้ผลิต

คณะกรรมการกำกับดูแลการปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

เรื่อง มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต

1.	นายเอกวิทย์	ถิระพร	รองอธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง	ประธานกรรมการ
2.	นายศิริชัย	กิจจารึก	ผู้อำนวยการสำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ	กรรมการ
3.	นายมนต์ชัย	ศุภมาร์คภักดี	วิศวกรวิชาชีพ 9 วช (วิศวกรรมโยธา) สวค.	กรรมการ
4.	นายนพ	โรจนวานิช	วิศวกรวิชาชีพ 9 วช (วิศวกรรมโยธา) สวค.	กรรมการ
5.	นายวิเชียร	ธนสุกาญจน์	วิศวกรโยธา 8 สวค.	กรรมการ
6.	นายวิสุทธิ์	เรืองสุขวรรณา	วิศวกรวิชาชีพ 8 วช (วิศวกรรมโยธา) สวค.	กรรมการ
7.	นายเสถียร	เจริญเหรียญ	วิศวกรวิชาชีพ 8 วช (วิศวกรรมโยธา) สนอ.	กรรมการ
8.	นายสุธี	ปิ่นไพสิฐ	วิศวกรไฟฟ้า 8 วช สวค.	กรรมการ
9.	นางขนิษฐา	ส่งสกุลชัย	วิศวกรโยธา 8 วช สวค.	กรรมการ
10.	นายไพฑูรย์	นนทศุข	นักวิชาการพัสดุ 8 ว กค.	กรรมการ
11.	นางอภิญญา	จ่าวัง	วิศวกรวิชาชีพ 8 วช (วิศวกรรมโยธา) สวค.	กรรมการ
12.	นายครรชิต	ชิตสุริยวนิช	วิศวกรเครื่องกล 7 วช สวค.	กรรมการ
13.	นายกนก	สุจริตสัญชัย	วิศวกรวิชาชีพ 8 วช (วิศวกรรมโยธา) สวค.	กรรมการและเลขานุการ

คณะที่ปรึกษา เรื่อง มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต

บริษัท เอส ที เอส เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์ จำกัด

หัวหน้าคณะ:

นายวีรชัย ไชยสระแก้ว	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

คณะทำงาน:

ดร.นรินทร์ เผ่าวนิช	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ดร. ณัฐวัฒน์ จุฑารัตน์	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
นาย อรรถวิทย์ จงใจวาณิชย์กิจ	วิศวกรประจำบริษัทฯ

กรมโยธาธิการและผังเมือง

สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ

ถนนพระรามที่ 6 แขวงสามเสนใน

เขตพญาไท กรุงเทพ 10400

โทร. 0 - 2299 - 4813 โทรสาร 0 - 2299 - 4797