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

คู่มือการซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร

กรมโยธาธิการและผังเมือง

กระทรวงมหาดไทย

คู่มือการซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร

กรมโยธาธิการและผังเมือง

กระทรวงมหาดไทย

กรมโยธาธิการและผังเมือง

คู่มือการซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร

ISBN 978-974-458-668-1

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537

โดย สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

กรมโยธาธิการและผังเมือง

ถนนพระราม 6 แขวงพญาไท

เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

โทร. 0-2299-4321 โทรสาร 0-2299-4321

พิมพ์ที่ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง

อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2562 จำนวน 1,000 เล่ม

คำนำ

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

กรมโยธาธิการและผังเมืองหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้นำคู่มือไปใช้ปฏิบัติเพื่อให้การซ่อมแซมโครงสร้างอาคารเป็นไปอย่างเหมาะสมและถูกต้องตามหลักวิชาการ ซึ่งจะก่อให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิต และทรัพย์สินของประชาชนเพิ่มมากยิ่งขึ้น

(นายมณฑล สุดประเสริฐ)
อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

บทนำ

คู่มือการซ่อมแซมโครงสร้างอาคารฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นเอกสารอ้างอิงส่วนหนึ่งสำหรับประกอบมาตรฐาน การตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย (มยผ 1902-62) โดยมีเนื้อหาครอบคลุมการแนะนำวัสดุสำหรับการซ่อมแซม การใช้งาน ข้อดีและข้อด้อย รวมทั้งมาตรฐานอ้างอิงของวัสดุสำหรับการซ่อมแซมแต่ละชนิด ครอบคลุมวัสดุซ่อมแซมหลากหลายชนิด ตั้งแต่วัสดุประเภทซีเมต์ ประเภทพอลิเมอร์ เรซิน ประเภทผสม ทั้งที่เป็นคอนกรีต มอร์ตาร์ หรือปูนเกราท์ และวัสดุเสริมกำลังชนิดต่าง ๆ รวมถึงสมบัติที่จำเป็นต้องคำนึงถึงของวัสดุซ่อมแซม เพื่อให้เป็นประโยชน์สำหรับการตัดสินใจเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานซ่อมแซม และในภาคผนวกของคู่มือฉบับนี้ ได้ให้ตัวอย่างงานซ่อมแซมเพื่อเป็นตัวอย่างประกอบคู่มือไว้ด้วย

คณะทำงานจัดทำคู่มือการซ่อมแซมโครงสร้างอาคารฉบับนี้ ขอขอบคุณกรมโยธาธิการและผังเมือง ที่ได้จัดสรรงบประมาณสำหรับโครงการจัดทำมาตรฐานและคู่มือชุดนี้ รวมถึงร่วมตรวจสอบติดตามโครงการ ขอขอบคุณคณะทำงาน ตลอดจนผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการศึกษา และจัดทำคู่มือประกอบมาตรฐานฉบับนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และหวังว่าคู่มือฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับงานซ่อมแซมโครงสร้าง เพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไปอย่างถูกต้องตามหลักการทางวิชาการ รวมถึงเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาและผู้ที่สนใจศึกษางานที่เกี่ยวข้องกับคู่มือฉบับนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า การนำมาตรฐานและคู่มือดังกล่าวไปใช้ปฏิบัติ จะทำให้อาคารเก่า และอาคารที่เสียหายได้รับการซ่อมแซมอย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรม และมีสมรรถนะของโครงสร้างทั้งความปลอดภัย ความสามารถในการใช้งาน และความคงทนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตลอดอายุการใช้งาน

ศ. ดร. สมนึก ตั้งเติมสิริกุล
หัวหน้าคณะทำงานจัดทำคู่มือ

คณะทำงานจัดทำคู่มือการซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร

หัวหน้าคณะทำงาน

ศ.ดร.สมนึก ตั้งเติมสิริกุล	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร

คณะทำงานหลัก

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

คณะทำงานสนับสนุน

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

คณะกรรมการกำกับดูแลการปฏิบัติงานของที่ปรึกษา
คู่มือการซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร

ประธานกรรมการ

นายสินิทธิ์ บุญสิทธิ์
ผู้อำนวยการสำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

คณะกรรมการ

นายอนวัช บูรพาชน
วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

นายพรชัย สังข์ศรี
วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

นายสมโชค เล่งวงศ์
วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

นางสาวสุรีย์ ประเสริฐสุด
วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

ดร.ทยากร จันทรางศุ
วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

ดร.ธนิต ใจสอาด
วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
สำนักสนับสนุนและพัฒนาตามผังเมือง

กรรมการและเลขานุการ

นางณัฏกานต์ แสงสุวรรณ
วิศวกรโยธาปฏิบัติการ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวยุพิน พรมหล่อ
วิศวกรโยธาปฏิบัติการ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

ดร.สุวัฒน์ รามจันทร์
วิศวกรโยธาปฏิบัติการ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

สารบัญ

คำนำ i

บทนำ ii

ส่วนที่ 1 วัสดุประเภทที่มีส่วนประกอบของซีเมนต์ (cementitious) 1

1.1 คอนกรีตธรรมดา (conventional concrete) 1

1.1.1 ประโยชน์ 1

1.1.2 ข้อจำกัด 2

1.1.3 การใช้งาน 2

1.1.4 มาตรฐาน 2

1.2 ปูนทรายธรรมดา (conventional mortar) 2

1.2.1 ประโยชน์ 2

1.2.2 ข้อจำกัด 2

1.2.3 การใช้งาน 3

1.2.4 มาตรฐาน 3

1.3 ปูนทรายแห้ง (dry-pack mortar) 3

1.3.1 ประโยชน์ 3

1.3.2 ข้อจำกัด 3

1.3.3 การใช้งาน 3

1.3.4 มาตรฐาน 4

1.4 ปูนทรายสูตรพิเศษ (proprietary repair mortar) 4

1.4.1 ประโยชน์ 4

1.4.2 ข้อกำจัด 4

1.4.3 การใช้งาน 4

1.4.4 มาตรฐาน 4

1.5 เฟอร์โรซีเมนต์ (ferrocement) 4

1.5.1 ประโยชน์ 5

1.5.2 ข้อจำกัด 5

1.5.3 การใช้งาน 5

1.5.4 มาตรฐาน 5

1.6 ซีเมนต์เกราท์ชนิดไม่หดตัว (nonshrink cement grout) 5

1.6.1 ประโยชน์ 5
1.6.2 ข้อจำกัด 6
1.6.3 การใช้งาน 6
1.6.4 มาตรฐาน 6
1.7 สารเคมีที่ใช้ในการอัดฉีด 6
1.7.1 ประโยชน์ 6
1.7.2 ข้อจำกัด 7
1.7.3 การใช้งาน 7
1.7.4 มาตรฐาน 7
1.8 คอนกรีตเสริมเส้นใย (fiber-reinforced concrete; FRP) 7
1.8.1 ประโยชน์ 8
1.8.2 ข้อจำกัด 8
1.8.3 การใช้งาน 8
1.8.4 มาตรฐาน 8
1.9 คอนกรีตแน่นค่ายุบตัวต่ำ (low-slump dense concrete; LSDC) 8
1.9.1 ประโยชน์ 8
1.9.2 ข้อจำกัด 9
1.9.3 การใช้งาน 9
1.9.4 มาตรฐาน 9
1.10 แมกนีเซียมฟอสเฟตคอนกรีต และมอร์ตาร์ (magnesium phosphate concrete and mortar) 9
1.10.1 ประโยชน์ 9
1.10.2 ข้อจำกัด 10
1.10.3 การใช้งาน 11
1.10.4 มาตรฐาน 11
1.11 คอนกรีตจัดวางมวลรวมก่อน (preplaced-aggregate concrete) 11
1.11.1 ประโยชน์ 12
1.11.2 การใช้งาน 12
1.11.3 ข้อจำกัด 12
1.11.4 มาตรฐาน 13
1.12 ซีเมนต์ก่อตัวเร็ว (rapid-setting cement) 13

1.12.1 ประโยชน์ 13
1.12.2 ข้อจำกัด 13
1.12.3 การใช้งาน 13
1.12.4 มาตรฐาน 13
1.13 คอนกรีตพ่น (shotcrete) 13
1.13.1 ประโยชน์ 14
1.13.2 ข้อจำกัด 14
1.13.3 การใช้งาน 14
1.13.4 มาตรฐาน 14
1.14 คอนกรีตชดเชยการหดตัว (shrinkage compensating concrete) 15
1.14.1 ประโยชน์ 15
1.14.2 ข้อจำกัด 15
1.14.3 การใช้งาน 15
1.14.4 มาตรฐาน 15
1.15 คอนกรีตซิลิกาฟูม 16
1.15.1 ประโยชน์ 16
1.15.2 ข้อจำกัด 16
1.15.3 การใช้งาน 16
1.15.4 มาตรฐาน 17
1.16 คอนกรีตไหลเข้าแบบเอง (self-compacting concrete) 17
1.16.1 ประโยชน์ 17
1.16.2 ข้อจำกัด 17
1.16.3 การใช้งาน 18
1.16.4 มาตรฐาน 18
1.17 คอนกรีตใต้น้ำต้านทานการชะล้าง (anti-washout under water concrete) 18
1.17.1 ประโยชน์ 18
1.17.2 ข้อจำกัด 18
1.17.3 การใช้งาน 19
1.17.4 มาตรฐาน 19
ส่วนที่ 2 วัสดุพอลิเมอร์ (polymer) 20
2.1 พอลิเมอร์ซีเมนต์คอนกรีตและมอร์ตาร์ (polymer cement concrete and mortar) 20

2.1.1 ประโยชน์ 20
2.1.2 ข้อจำกัด 20
2.1.3 การใช้งาน 20
2.1.4 มาตรฐาน 20
2.2 พอลิเมอร์คอนกรีต (polymer concrete) 21
2.2.1 ประโยชน์ 21
2.2.2 ข้อจำกัด 21
2.2.3 การใช้งาน 21
2.2.4 มาตรฐาน 21
ส่วนที่ 3 สารเชื่อมประสาน (bonding agent) 22
3.1 อีพอกซี 22
3.1.1 มาตรฐาน ASTM C881 22
3.1.2 วัสดุยึดเกาะประเภทอีพอกซีเรซิน 22
3.2 ลาเทกซ์ 22
3.3 ซีเมนต์ 23
ส่วนที่ 4 วัสดุเคลือบผิวเหล็กเสริม (coatings on reinforcement) 24
ส่วนที่ 5 วัสดุเสริมกำลัง (reinforcement) 25
5.1 เหล็กตามมาตรฐาน มอก. 25
5.2 เหล็กเสริมเคลือบอีพอกซี (ตามมาตรฐาน ASTM A775) 25
5.3 เหล็กเสริมกัลวาไนซ์ 25
5.4 เหล็กเสริมสเตนเลส 25
5.5 เหล็กเสริมหุ้มสเตนเลส 26
5.6 วัสดุเสริมกำลังประเภทสารประกอบที่ไม่ใช่โลหะ 26
5.6.1 ประโยชน์ 26
5.6.2 ข้อจำกัด 26
5.6.4 มาตรฐาน 27
ส่วนที่ 6 ปัจจัยในการเลือกใช้วัสดุในงานซ่อมแซม 28
6.1 เสถียรภาพด้านขนาด (dimensional stability) 28
6.2 สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ (coefficient of thermal expansion) 28
6.3 การหดตัวแห้ง (drying shrinkage) 29
6.4 โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) 29

6.5 ความสามารถในการซึมผ่านได้ (permeability) 29
6.6 ความเข้ากันได้ของสมบัติทางเคมี (chemical compatibility) 30
6.7 สมบัติทางไฟฟ้า (electrical properties) 30
6.8 สีและลักษณะของพื้นผิว 30
6.9 สภาพการทำงานจริงในสนาม (application of service conditions) 31
บรรณานุกรม 32
ภาคผนวก 36
ตัวอย่างที่ 1 การเติมเต็มด้วยวัสดุยืดหยุ่น 37
ตัวอย่างที่ 2 การซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตใต้น้ำทะเล 41
ตัวอย่างที่ 3 การเติมเต็มรอยร้าว (crack Injection) 45
ตัวอย่างที่ 4 ทาวัสดุเคลือบผิวเหล็ก 49
ตัวอย่างที่ 5 การเติมเต็มรอยร้าว 52

คู่มือการซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร

ส่วนที่ 1 วัสดุประเภทที่มีส่วนประกอบของซีเมนต์ (cementitious)

คอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนทราย หรือวัสดุซีเมนต์ชนิดอื่น ที่มีส่วนผสมคล้ายกับคอนกรีตเดิม สามารถใช้เป็นวัสดุซ่อมแซมที่ดี เพราะมีสมบัติเหมือนกับคอนกรีตเดิม อย่างไรก็ตาม วัสดุซ่อมแซมชนิดอื่นที่นำมาใช้จะต้องเข้ากันได้กับคอนกรีตเดิม

1.1 คอนกรีตธรรมดา (conventional concrete)

คอนกรีตธรรมดาประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวม น้ำ และสารผสมเพิ่มประเภทต่าง ๆ เช่น สารกักกระจายฟองอากาศ สารเร่งหรือสารหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่น สารเพิ่มความสามารถในการเทได้ สารลดน้ำ สารเพิ่มกำลัง หรือเพิ่มสมบัติอื่น ๆ ของคอนกรีต เป็นต้น รวมถึงวัสดุปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย หรือซิลิกาฟูม ที่อาจใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต เพื่อเพิ่มสมบัติบางประการ เช่น ลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เพิ่มกำลังอัด ลดการซึมผ่านของน้ำ เพิ่มความต้านทานต่อปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม (alkaline-aggregate reaction; AAR) หรือเพิ่มความต้านทานต่อสารละลายซัลเฟต ส่วนผสมของคอนกรีตที่ดีต้องมีความสามารถในการเทได้สูง มีความแน่น ความแข็งแรง และความทนทานที่เหมาะสมต่อความต้องการใช้งาน เช่น ลดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว นอกจากนี้ คอนกรีตที่ใช้เป็นวัสดุซ่อมแซมควรมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ และมีปริมาณมวลรวมหยาบสูง การผสม การขนส่งและการเทคอนกรีตควรทำตามข้อแนะนำในมาตรฐาน ACI 304R, ACI 304.1R, ACI 304.2R, ACI 304.5R และ ACI 304.6R

1.1.1 ประโยชน์

1) คอนกรีตธรรมดาสามารถหาได้ง่าย ราคาถูก และมีสมบัติเหมือนคอนกรีตเดิมที่ต้องการการซ่อมแซม
2) คอนกรีตธรรมดาสามารถผลิต เท ตกแต่งและบ่มได้ง่าย นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นคอนกรีตสำหรับการเทใต้น้ำได้ แต่ควรระมัดระวังเรื่องความเป็นเนื้อเดียวกันของคอนกรีต และควรระวังมิให้วัสดุประสานถูกชะล้างออกไป วิธีการเทคอนกรีตใต้น้ำที่นิยมใช้ คือ การใช้ท่อเทคอนกรีตใต้น้ำ (tremie) หรือการใช้เครื่องสูบ

1.1.2 ข้อจำกัด

1) ไม่ควรใช้คอนกรีตธรรมดาในการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตที่เสียหายจากสภาพแวดล้อม ถ้าสภาพแวดล้อมเดิมนั้นยังคงอยู่ เพราะอาจทำให้คอนกรีตใหม่เสียหายในลักษณะเดิมได้
2) เมื่อใช้คอนกรีตธรรมดาเททับหน้าเพื่อซ่อมแซมคอนกรีตเดิมที่เสียหาย จะเกิดปัญหาการหดตัวที่มากกว่าคอนกรีตเดิม ดังนั้นจึงต้องพิจารณาสมบัติของการหดตัวและการบ่มที่เหมาะสมเป็นพิเศษ

1.1.3 การใช้งาน

คอนกรีตธรรมดานิยมใช้ในการซ่อมแซมโครงสร้างที่มีความหนามากหรือมีปริมาตรของวัสดุซ่อมแซมสูง ถ้าเป็นกรณีของการเททับหน้าต้องมีความหนามากกว่า 50 มม. คอนกรีตธรรมดานี้เหมาะกับการใช้ซ่อมแซมพื้น ผนัง เสาและตอม่อ

1.1.4 มาตรฐาน

มาตรฐาน มยผ. 1201-50 ถึง มยผ. 1212-50 ASTM C94 ACI 304R ACI 304.1R ACI 304.2R และ ACI 304.6R กล่าวถึงการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ และการขนส่งไปไปยังผู้ซื้อในสภาพคอนกรีตสดที่ยังไม่แข็งตัว

1.2 ปูนทรายธรรมดา (conventional mortar)

ปูนทรายหรือมอร์ตาร์มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวมละเอียด น้ำและสารผสมเพิ่มอื่น ๆ เพื่อลดปริมาณน้ำและลดการหดตัว

1.2.1 ประโยชน์

ประโยชน์ของปูนทรายเหมือนกับการใช้คอนกรีต นอกจากนี้ปูนทรายยังสามารถใช้กับชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีหน้าตัดที่บาง หรือมีความกว้างน้อยได้ โดยทั่วไปมีการใช้ปูนทรายสำเร็จรูปกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเหมาะกับการซ่อมแซมโครงสร้างที่มีความเสียหายเล็กน้อย

1.2.2 ข้อจำกัด

ปูนทรายจะเกิดการหดตัวมากกว่าคอนกรีต เนื่องจากมีสัดส่วนของน้ำต่อปริมาตร และอัตราส่วนของซีเมนต์เพสต์ต่อมวลรวมสูงกว่าคอนกรีต รวมถึงการไม่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบด้วย

1.2.3 การใช้งาน

ปูนทรายธรรมดาสามารถใช้ได้ดีสำหรับการซ่อมแซมหน้าตัดที่บาง (ความหนาอยู่ในช่วงประมาณ 10 ถึง 50 มม.) การใช้ซ่อมแซมผิวจราจรซึ่งมีแรงกระทำเป็นวัฏจักร (cyclic loading) ต้องมีการพิจารณาเป็นพิเศษ และต้องมีการทดสอบภายใต้สภาพการใช้งานจริงเพื่อยืนยันประสิทธิภาพของวัสดุ

1.2.4 มาตรฐาน

มาตรฐาน มยผ. 1201-50 ถึง มยผ. 1212-50 และ ASTM C387 ได้กล่าวถึงผลิตภัณฑ์ สมบัติ การบรรจุและการทดสอบวัสดุผสมคอนกรีตและปูนทราย นอกจากนี้ควรพิจารณาสมบัติอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวไว้ เช่น การหดตัว และความทนทาน เป็นต้น

1.3 ปูนทรายแห้ง (dry-pack mortar)

ปูนทรายแห้งประกอบด้วยปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อ ทราย 2.5 ถึง 3 ส่วน หรือปูนทรายสูตรพิเศษ และมีปริมาณน้ำเพียงพอที่ทำให้ปูนทรายเกาะตัวเป็นลูกบอลเมื่อออกแรงบีบอัดเบา ๆ ด้วยมือโดยที่ไม่มีน้ำไหลออกมา แต่มือสามารถสัมผัสความชื้นได้ เนื่องจากปูนทรายแห้งมีปริมาณน้ำเริ่มต้นที่ต่ำมาก การบ่มจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

1.3.1 ประโยชน์

เนื่องจากปูนทรายแห้งมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำจึงมีการหดตัวต่ำ ดังนั้นการซ่อมแซมโดยใช้ปูนทรายแห้งจึงให้ความแน่นและมีคุณภาพดี มีความแข็งแรงทนทานและมีความทึบน้ำ ถ้าต้องการให้การปะซ่อมแซมโดยใช้ปูนทรายแห้งมีสีที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตบริเวณรอบ ๆ สามารถใช้ปูนซีเมนต์เทาและปูนซีเมนต์ขาวผสมกันเพื่อปรับแต่งสี

1.3.2 ข้อจำกัด

การซ่อมแซมโดยใช้ปูนทรายแห้งอาจไม่เหมาะสมกับการซ่อมแซมที่ไม่สามารถบ่มได้ เนื่องจากจะทำให้ปูนทรายแห้งเกิดความเสียหาย เช่น งานซ่อมแซมในพื้นที่แคบและมีความลึก งานซ่อมแซมพื้นที่ที่ต้องมีการเติมเต็มหลังจากกการเสริมเหล็กเสริม พื้นที่ซ่อมแซมที่เป็นโพรงต่อเนื่องในเนื้อคอนกรีต หรือรอยแตกร้าวที่มีความกว้างเพิ่มขึ้น

1.3.3 การใช้งาน

การซ่อมแซมด้วยปูนทรายแห้งเหมาะกับการซ่อมแซมรูหรือโพรงที่สามารถอัดแน่นด้วยปูนทรายแห้งได้ การซ่อมแซมดังกล่าวสามารถทำได้บนพื้นผิวแนวตั้งและพื้นที่เหนือศีรษะ โดยไม่จำเป็นต้องใช้แบบหล่อ สามารถใช้ปูนทรายแห้งเติมลงในร่องที่ทำขึ้นสำหรับซ่อมแซมรอยแตกร้าว นอกจากนี้ปูนทรายแห้งยังเหมาะสม

สำหรับงานซ่อมแซมจุดถ่ายแรงและพื้นที่สัมผัสต่าง ๆ อย่างไรก็ตามปูนทรายแห้งไม่เหมาะกับงานซ่อมแซมรอยแตกร้าวที่ยังมีการพัฒนา หรือยังไม่เสถียร

1.3.4 มาตรฐาน

ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานรองรับสำหรับวัสดุซ่อมแซมประเภทปูนทรายแห้ง

1.4 ปูนทรายสูตรพิเศษ (proprietary repair mortar)

ปูนทรายสูตรพิเศษคือปูนทรายสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หรือปูนซีเมนต์ชนิดอื่น และมวลรวมละเอียด ซึ่งอาจมีสารผสมเพิ่ม เช่น สารลดน้ำ สารเพิ่มการขยายตัว สารทำให้แน่นตัว สารเร่งการก่อตัว พอลิเมอร์

1.4.1 ประโยชน์

ปูนทรายสูตรพิเศษเป็นวัสดุซ่อมแซมที่สะดวกต่อการนำไปใช้ และมีผลิตภัณฑ์ที่เหมาะกับงานแต่ละประเภท เช่น การซ่อมแซมพื้นผิวในแนวดิ่งหรือพื้นที่เหนือศีรษะที่มีความหนาของการซ่อมแซมปานกลาง โดยไม่ต้องใช้แบบ และต้องการระยะเวลาในการก่อตัวและการบ่มที่น้อยกว่าปกติ เป็นต้น

1.4.2 ข้อกำจัด

ปูนทรายสูตรพิเศษมีสมบัติทางกลที่แตกต่างกับคอนกรีตทั่วไปมาก เพราะอาจมีปริมาณปูนซีเมนต์ที่สูงกว่าและใช้สารปรับปรุงสมบัติอื่น ๆ จึงทำให้มีการหดตัวมากกว่าคอนกรีตทั่วไป ทั้งนี้ การใช้งานปูนทรายสูตรพิเศษต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด

1.4.3 การใช้งาน

ปูนทรายพิเศษบางสูตรสามารถใช้ซ่อมแซมงานที่มีความหนาตั้งแต่ 3 มม.ขึ้นไป (ACI 546R-04) การใช้ซ่อมแซมผิวจราจรที่มีแรงกระทำเป็นวัฏจักรจำเป็นต้องมีการพิจารณาเป็นพิเศษ และต้องมีการทดสอบภายใต้สภาพการใช้งานจริงเพื่อยืนยันประสิทธิภาพของวัสดุและการติดตั้ง

1.4.4 มาตรฐาน

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับปูนทรายสูตรพิเศษคือมาตรฐาน ASTM C928

1.5 เฟอร์โรซีเมนต์ (ferrocement)

เฟอร์โรซีเมนต์ เป็นคอนกรีตเสริมแรงประเภทหนึ่งซึ่งแตกต่างจากคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปหรือคอนกรีตอัดแรง โดยที่เฟอร์โรซีเมนต์ประกอบด้วยมอร์ตาร์ซีเมนต์ที่เสริมกำลังด้วยเหล็กตาข่าย

โดยมีขนาดหน้าตัดของเหล็กเสริมที่เล็ก มีระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมน้อย เหล็กตาข่ายอาจทำมาจากเหล็กหรือเหล็กสเตนเลส หรือวัสดุอื่น ๆ เช่น ลวดกรงไก่ เป็นต้น

1.5.1 ประโยชน์

เฟอร์โรซีเมนต์มีกำลังรับแรงดึงต่อน้ำหนักที่สูง ช่วยเพิ่มความคงทน มีความต้านทานการแตกร้าวสูงเมื่อเทียบกับคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไป สามารถใช้งานง่าย และใช้ในพื้นที่ที่จำกัดได้ โดยไม่ต้องใช้แบบหล่อ

1.5.2 ข้อจำกัด

การซ่อมแซมโดยใช้เฟอร์โรซีเมนต์เหมาะกับงานที่มีลักษณะเฉพาะ และต้องคำนึงถึงราคา ต้องการช่างที่มีทักษะ และความชำนาญเฉพาะในการทำงานซ่อมแซม

1.5.3 การใช้งาน

เนื่องจากไม่ต้องใช้แบบหล่อในการซ่อมแซม การใช้เฟอร์โรซีเมนต์จึงเหมาะกับการซ่อมแซมพื้นผิวที่มีลักษณะโค้งหรือรูปทรงอิสระ

1.5.4 มาตรฐาน

ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานรองรับสำหรับวัสดุซ่อมแซมประเภทเฟอร์โรซีเมนต์ ข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับเฟอร์โรซีเมนต์สามารถอ้างอิงได้จาก ACI 549R และ ACI 549.1R

1.6 ซีเมนต์เกราท์ชนิดไม่หดตัว (nonshrink cement grout)

ซีเมนต์เกราท์ชนิดไม่หดตัวมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ มวลรวมละเอียด และสารผสมเพิ่ม ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำแล้วจะได้เป็นส่วนผสมที่มีความเป็นพลาสติก มีความสามารถในการไหลได้ดีหรือมีความข้นเหลวคงที่ ซึ่งส่วนผสมจะไม่แยกตัว สารผสมเพิ่มที่ใช้ผสมในส่วนผสมซีเมนต์เกราท์อาจจะเป็นสารเร่งการก่อตัว สารหน่วงการก่อตัว สารลดการหดตัว สารเพิ่มความสามารถในการเทได้ หรือสารเพิ่มความทนทาน บางกรณีอาจใช้เถ้าลอยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอัดฉีดซีเมนต์เกราท์ชนิดไม่หดตัวเป็นปริมาณมาก

1.6.1 ประโยชน์

ซีเมนต์เกราท์ชนิดไม่หดตัว มีค่าใช้จ่ายไม่สูง ใช้งานง่าย และเข้ากันได้ดีกับคอนกรีตเดิม สามารถใช้สารผสมเพิ่มสมบัติต่าง ๆ และปรับปรุงสมบัติซีเมนต์เกราท์ให้ได้คุณภาพตามลักษณะของงานที่ต้องการ

1.6.2 ข้อจำกัด

ซีเมนต์เกราท์ชนิดไม่หดตัวสามารถใช้ซ่อมโดยการอัดฉีดเท่านั้น และใช้ได้ในพื้นที่ที่มีความกว้างพอที่จะให้อนุภาคของแข็งที่ผสมอยู่ในน้ำปูนเกราท์ผ่านเข้าไปได้ โดยทั่วไปสามารถใช้กับรอยร้าวขนาดตั้งแต่ 3 มม.ขึ้นไป (ACI 546R-04) หรือขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของวิศวกร

1.6.3 การใช้งาน

โดยทั่วไปซีเมนต์เกราท์ชนิดไม่หดตัวสามารถใช้เป็นสารเพิ่มการยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเดิมกับคอนกรีตใหม่ หรือเพื่อประสานรอยร้าวที่มีขนาดกว้างไปจนถึงการเติมช่องว่างภายนอกหรือภายใต้โครงสร้างคอนกรีต ซีเมนต์เกราท์ชนิดไม่หดตัวสามารถใช้ซ่อมแซมรอยกะเทาะหรือรูพรุนแบบรวงผึ้งของคอนกรีต หรือใช้เพื่อติดตั้งสมอยึดในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วได้

1.6.4 มาตรฐาน

ASTM C1107 กล่าวถึงซีเมนต์เกราท์ชนิดไม่หดตัว ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพ สามารถใช้กับบริเวณที่รับแรงกระทำ และไม่ต้องการให้เกิดการหดตัวในขณะที่ติดตั้ง เช่น เพื่อรองรับโครงสร้างหรือเครื่องจักร เป็นต้น

1.7 สารเคมีที่ใช้ในการอัดฉีด

สารเคมีที่ใช้ในการอัดฉีดเป็นส่วนผสมทางเคมีที่อยู่ในรูปของเจล โฟม หรือสารแขวนลอย ซึ่งจะตรงกันข้ามกับซีเมนต์เกราท์ชนิดไม่หดตัว ที่มีการแขวนลอยของอนุภาคในสารอัดฉีด ปฏิกิริยาในสารอัดฉีดอาจจะเกิดขึ้นระหว่างส่วนผสมด้วยกันหรือกับสารอื่น เช่น น้ำที่ใช้ในกระบวนการอัดฉีดอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่จะทำให้การไหลตัวลดลง และเป็นอุปสรรคต่อการเติมเต็มช่องว่างในคอนกรีตที่ต้องการซ่อมแซม

1.7.1 ประโยชน์

การอัดฉีดด้วยสารเคมีสามารถใช้ได้ในสภาวะแวดล้อมที่มีความชื้นสูง และสารเคมีที่ใช้ในการอัดฉีดมีความหลากหลายของเจล ความหนืด และระยะเวลาการก่อตัว นอกจากนี้ยังสามารถใช้ซ่อมแซมรอยร้าวในคอนกรีตที่มีความกว้างเพียง 0.05 มม.ได้ (ACI 546R-04) สารเคมีอัดฉีดที่มีสติฟเนสสูง เช่น สารประเภทอีพอกซีเรซิน มีสมบัติการยึดเกาะที่ดีกับพื้นผิวที่แห้งและสะอาด หรือในบางกรณีอาจใช้กับพื้นผิวที่เปียกได้ สารเคมีอัดฉีดในรูปของเจลหรือโฟม และบางประเภทสามารถผสมให้มีความเหลวได้เหมือนน้ำ เช่น พอลิยูรีเทน เหมาะสำหรับการป้องกันการรั่วซึมของน้ำในรอยแตกหรือจุดต่อ

1.7.2 ข้อจำกัด

สารเคมีที่ใช้อัดฉีดมีราคาแพงกว่าซีเมนต์เกราท์ชนิดไม่หดตัว และการทำงานต้องใช้ความชำนาญสูงนอกจากนี้อีพอกซีเรซินบางประเภทอาจจะไม่ยึดเกาะพื้นผิวที่มีความชื้นปกติ และมักจะมีอายุการเก็บสั้น รวมทั้งมักจะแข็งตัวเร็วที่อุณหภูมิสูง ทำให้มีระยะเวลาในการทำงานสั้น นอกจากนี้ ไม่ควรใช้สารอัดฉีดประเภทเจลหรือโฟมในการซ่อมแซมโครงสร้างที่ต้องรับกำลัง เนื่องจากส่วนใหญ่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ และเมื่อแห้งจะเกิดการหดตัวได้

1.7.3 การใช้งาน

เหมาะสำหรับใช้ซ่อมแซมรอยร้าวขนาดเล็ก และซ่อมแซมเพื่อป้องกันการซึมผ่านของน้ำหรือความชื้น การเลือกใช้อีพอกซีเรซินแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

1) อีพอกซีเรซินที่ใช้ในงานอัดฉีดรอยแตกร้าวต้องมีคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C881 Type I หรือ IV, Grade 1, Class B หรือ C

2) อีพอกซีเรซินที่ใช้ซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตให้มีกำลังเท่าเดิม ต้องมีคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C881 Type IV

3) อีพอกซีเรซินที่ใช้งานทั่วไปที่ไม่มีวัตถุประสงค์เพื่อคืนกำลังให้แก่คอนกรีต ต้องมีคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C881 Type I

4) ไม่ควรทำการเจือจางอีพอกซีเรซินไม่ว่าด้วยวิธีใดก็ตาม รายละเอียดเกี่ยวกับสมบัติของอีพอกซีแต่ละประเภทมีระบุไว้ในภาคผนวกที่ 1

1.7.4 มาตรฐาน

มาตรฐาน ASTM C881 ได้กล่าวถึงสารยึดเกาะประเภทอีพอกซีเรซิน ที่ใช้กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และคอนกรีต ซึ่งสามารถบ่มตัวได้ภายใต้ความชื้นและยึดเกาะกับพื้นผิวที่เปียกได้

1.8 คอนกรีตเสริมเส้นใย (fiber-reinforced concrete; FRP)

คอนกรีตเสริมเส้นใยจะมีส่วนผสมของเส้นใยต่าง ๆ เช่น เส้นใยเหล็ก เส้นใยแก้ว เส้นใยสังเคราะห์ หรือเส้นใยธรรมชาติ เป็นต้น เพื่อป้องกันการแตกร้าว และต้านทานการหดตัวแบบพลาสติก (plastic shrinkage) และการหดตัวแห้ง (drying shrinkage) โดยทั่วไปการเสริมเส้นใยจะไม่ใช้เพื่อเสริมกำลังอัดให้กับคอนกรีต ซึ่งคอนกรีตเสริมเส้นใยสามารถใช้ในการซ่อมแซมทั้งโดยวิธีเทคอนกรีตปกติ และวิธีดาดคอนกรีต ข้อมูลเกี่ยวกับการดาดคอนกรีตอ้างอิงได้ตามเอกสาร ACI 544.3R ACI 544.4R และ ACI 506.1R

1.8.1 ประโยชน์

คอนกรีตเสริมเส้นใยสามารถนำมาใช้งานเพื่อเสริมกำลังในชั้นที่บางมาก ๆ ซึ่งไม่สามารถใช้เหล็กเสริมทั่วไปได้ การใช้เส้นใยจะเพิ่มความทนทานและลดการแตกร้าวจากการหดตัวในวัสดุซ่อมแซมได้

1.8.2 ข้อจำกัด

การเพิ่มเส้นใยในคอนกรีตจะเป็นการเพิ่มความหนืด ทำให้เกิดปัญหาในการเทสำหรับผู้ไม่มีประสบการณ์ ในกรณีที่ใช้คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก อาจเกิดสนิมของเส้นใยเหล็กบริเวณผิวได้ ดังนั้น การใช้งานคอนกรีตเสริมเส้นใยจึงควรต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด

1.8.3 การใช้งาน

คอนกรีตเสริมเส้นใยสามารถใช้ในงานพื้นคอนกรีต คอนกรีตทับหน้า งานเสถียรภาพเชิงลาด และการเสริมกำลังของโครงสร้าง เช่น คานโค้ง และหลังคาโค้ง เป็นต้น นอกจากนี้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถซ่อมแซมด้วยการดาดโดยคอนกรีตเสริมเส้นใย ดังนั้น การพิจารณาเลือกวัสดุที่ใช้จึงให้อยู่ในดุลยพินิจของวิศวกร

1.8.4 มาตรฐาน

มาตรฐาน ASTM C1116 อธิบายถึงสมบัติของวัสดุ การผสม การขนส่ง และการทดสอบคอนกรีตเสริมเส้นใยและคอนกรีตดาด

1.9 คอนกรีตแน่นค่ายุบตัวต่ำ (low-slump dense concrete; LSDC)

คอนกรีตแน่นค่ายุบตัวต่ำเป็นคอนกรีตที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์น้อยกว่า 0.40 และมีค่าการยุบตัวไม่เกิน 50 มม. คอนกรีตแน่นค่ายุบตัวต่ำสามารถพัฒนากำลังอัดได้อย่างรวดเร็ว มีความหนาแน่นสูงและมีค่าการซึมผ่านของน้ำในระดับต่ำ

1.9.1 ประโยชน์

1) การเททับหน้าด้วยคอนกรีตแน่นค่ายุบตัวต่ำที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 40 มม. (1.5 นิ้ว) เมื่อติดตั้งอย่างถูกต้อง สามารถเพิ่มอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตได้มากถึง 20 ปี
2) การหล่อคอนกรีตแน่นค่ายุบตัวต่ำสามารถหล่อโดยใช้อุปกรณ์ทั่วไปที่ใช้กับคอนกรีตธรรมดาหรือมีการปรับเปลี่ยนเพียงเล็กน้อย
3) ความต้านทานต่อการซึมผ่านของคลอไรด์โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 1202 (Ozyildirim, 1993) ของคอนกรีตแน่นค่ายุบตัวต่ำดีกว่าคอนกรีตทั่วไปที่ใช้สำหรับงานโครงสร้าง

1.9.2 ข้อจำกัด

1) คอนกรีตแน่นค่ายุบตัวต่ำต้องได้รับการทำให้แน่นที่ดีเพื่อให้มีความหนาแน่นที่เหมาะสม หรือต้องใช้สารลดน้ำประสิทธิภาพสูง (high-range water-reduction admixture; HRWRA) เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานได้และสะดวกต่อการทำให้แน่น เพื่อทำให้เหล็กเสริมกับคอนกรีตยึดเกาะกันได้ดีหลังจากคอนกรีตแข็งแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับคอนกรีตที่อยู่ด้านล่างของเหล็กเสริม
2) ควรบ่มชื้นคอนกรีตแน่นค่ายุบตัวต่ำอย่างน้อย 7 วันเพื่อให้ได้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่สมบูรณ์
3) การกัดกร่อนของเหล็กเสริมทางไฟฟ้า (galvanic corrosion) สามารถเกิดขึ้นได้ ถึงแม้จะใช้คอนกรีตแน่นค่ายุบตัวต่ำที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำถึง 0.32 และระยะหุ้มเหล็กเสริม 25 มม. (Pfeifer, 1987).
4) การใช้คอนกรีตแน่นค่ายุบตัวต่ำอาจเกิดการหดตัวแบบแห้ง หากมีความกว้างและความลึกของรอยร้าวเพียงพอจะส่งผลให้เหล็กเสริมบริเวณผิวสะพานเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากคลอไรด์เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นวิศวกรต้องพิจารณาการนำไปใช้งานที่เหมาะสม

1.9.3 การใช้งาน

คอนกรีตแน่นค่ายุบตัวต่ำมักถูกใช้เป็นชั้นปูผิวทางเพราะมีความต้านทานการขัดสีที่ดี หรือใช้เป็นผิวชั้นสุดท้ายสำหรับการซ่อมแซมประเภทคอมโพสิต เพื่อให้ได้พื้นผิวคอนกรีตที่มีความคงทนและมีความต้านทานการขัดสี

1.9.4 มาตรฐาน

สามารถใช้มาตรฐานเดียวกันกับคอนกรีตธรรมดา

1.10แมกนีเซียมฟอสเฟตคอนกรีต และมอร์ตาร์ (magnesium phosphate concrete and mortar)

แมกนีเซียมฟอสเฟตคอนกรีตและมอร์ตาร์ มีความแตกต่างจากคอนกรีตและมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยสามารถบ่มในอากาศได้เช่นเดียวกับพวกอีพอกซีคอนกรีต เป็นวัสดุที่ให้กำลังได้เร็วและมีความร้อนในขณะที่เซ็ตตัว

1.10.1 ประโยชน์

1) แมกนีเซียมฟอสเฟตคอนกรีตและมอร์ตาร์มีเวลาก่อตัวอยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 นาที ในอุณหภูมิปกติ โดยทั่วไปสามารถให้กำลังอัดได้ถึง 14 MPa ภายในเวลา 2 ชม. ในบางกรณีสามารถหน่วงเวลาก่อตัวให้นานถึง 45 ถึง 60 นาทีโดยการปรึกษาผู้ผลิตให้ผลิตตามความต้องการ มีความ

ต้านทานการหลุดลอก (scale resistance) เทียบเท่ากับคอนกรีตทั่วไปที่ใช้สารกักกระจายฟองอากาศ เมื่อมีการใส่มวลรวมก็จะมีความต้านทานการขัดสีเมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C672 เทียบเท่ากับคอนกรีตทั่วไปเมื่อเทียบที่กำลังอัดเท่ากัน แมกนีเซียมฟอสเฟตซีเมนต์เพสต์จะมีความต้านทานการขัดสีต่ำ เช่นเดียวกับมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เมื่อเทียบที่กำลังเท่ากัน

2) แมกนีเซียมฟอสเฟตมอร์ตาร์ และคอนกรีต สามารถใช้เทที่อุณหภูมิต่ำมากจนถึง 0°C หรือต่ำกว่าหากได้มีการอุ่นน้ำที่ใช้ผสมและส่วนผสมอื่น ๆ ไว้ก่อน โดยปกติแมกนีเซียมฟอสเฟตมอร์ตาร์สามารถให้กำลังอัดได้สูงถึง 40 MPa ภายใน 48 ชม. และมีการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย วัสดุชนิดนี้สามารถยึดเกาะได้อย่างดีกับวัสดุที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และจะมีค่าการซึมน้ำต่ำ แมกนีเซียมฟอสเฟตมอร์ตาร์ สามารถใช้งานได้ดีกว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สำหรับการใช้ฉาบ หรือ ฉาบปะที่มีความหนาน้อย เนื่องจากไม่ต้องการการบ่มด้วยน้ำ หรือความชื้น

1.10.2 ข้อจำกัด

1) มวลรวมที่ใช้กับปูนซีเมนต์แมกนีเซียมฟอสเฟตต้องไม่มีแคลเซียมเป็นส่วนประกอบหลัก ควรใช้มวลรวมประเภทซิลิกา บะซอลต์ แกรนิต เป็นต้น มวลรวมประเภทที่มีสารประกอบแคลเซียมเป็นหลักจะทำปฏิกิริยากับกรดฟอสเฟอริก ที่เป็นผลิตผลของปฏิกิริยาในระยะเวลาแรกของปูนซีเมนต์แมกนีเซียมฟอสเฟต ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่บริเวณผิวมวลรวม ทำให้การยึดเกาะระหว่างเพสต์กับมวลรวมเสียหายได้ ดังนั้น การใช้วัสดุซ่อมแซมประเภทปูนซีเมนต์แมกนีเซียมฟอสเฟตบนพื้นผิวที่มีชั้นคาร์บอเนชั่นอยู่ จำเป็นต้องกำจัดชั้นคาร์บอเนชั่นออกก่อนในขั้นตอนการเตรียมพื้นผิวสำหรับการซ่อมแซม ซึ่งอาจทำได้โดยทางกลหรือใช้สารเคมีในการกำจัด

2) ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมฟอสเฟตสามารถทำปฏิกิริยากับผงฝุ่นจากการขัดเตรียมผิว หรือชั้นของคาร์บอเนชั่นทำให้การยึดเกาะกับผิวที่ซ่อมแซมเสียหายได้

3) หากมีการใช้แผ่นทึบน้ำบนวัสดุประเภทแมกนีเซียมฟอสเฟต ต้องระมัดระวังเกี่ยวกับการเตรียมผิวและระยะเวลาแห้งของวัสดุประเภทนี้ ดังนั้น จึงควรปรึกษาและรับคำแนะนำจากผู้ผลิตแผ่นทึบน้ำ

4) เนื่องจากระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาก่อตัวสุดท้ายใกล้กัน โดยทั่วไปจึงไม่จำเป็นต้องรอตกแต่งผิวในช่วงที่ใกล้แข็งตัว (hard trowel)

5) ปริมาณน้ำมีผลกระทบอย่างมากต่อส่วนผสมปูนซีเมนต์แมกนีเซียมฟอสเฟต จึงไม่สามารถปรับปริมาณน้ำโดยผู้ที่ปฏิบัติงานในสนาม ดังนั้น จึงไม่เหมาะในการเทแบบแห้ง แล้วปรับปริมาณน้ำในระหว่างการทำงาน ความแตกต่างที่ยอมให้ของปริมาณน้ำในส่วนผสมมักอยู่ในช่วงไม่เกินร้อยละ ±10 ของปริมาณที่ได้ออกแบบไว้ ความแตกต่างที่มากกว่านี้จะส่งผลต่อกำลังและความคงทนของคอนกรีต

6) เพสต์หรือมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์แมกนีเซียมฟอสเฟต จะมีการคายความร้อนจากปฏิกิริยาเร็วมากทำให้มีอุณหภูมิสูง ดังนั้น ไม่ควรเทในที่ที่มีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 27°C หรือภายใต้แสงแดดในอุณหภูมิระหว่าง 15°C ถึง 27 °C ยกเว้นจะใช้สูตรที่สามารถใช้กับอากาศร้อนได้ ควรปฏิบัติตามมาตรฐาน หรือปรึกษาผู้ผลิตหากต้องการเทหนาเกิน 100 มม. หรือในบริเวณช่องโพรงที่ถ่ายเทความร้อนได้ยาก การเพิ่มปริมาณมวลรวมหรือใช้น้ำเย็นผสมจะสามารถช่วยลดปัญหานี้ได้

7) วัสดุประเภทนี้จะพัฒนากำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตอย่างรวดเร็ว ทำให้ขาดความยืดหยุ่นและความเหนียว ซึ่งแตกต่างจากมอร์ตาร์ที่ใช้สารอินทรีย์ดัดแปลง (organic-modified mortars) และอาจแตกหักได้หากได้รับการกระแทก

8) ในกรณีที่ใช้ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมฟอสเฟตสูตรก่อตัวปกติมักเกิดความร้อนสูง หากอุณหภูมิของวัสดุสูงเกินกว่า 80°C ในระหว่างการใช้งาน กำลังอาจลดลง แต่โดยทั่วไปคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมฟอสเฟตจะมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตทั่วไป จึงอาจไม่เป็นปัญหา

1.10.3 การใช้งาน

การใช้แมกนีเซียมฟอสเฟตคอนกรีตและมอร์ตาร์เหมาะและคุ้มค่ากับการซ่อมแซมแบบเร่งด่วน มักนิยมใช้ฉาบปะ หรือต้องการใช้งานทันทีหลังงานซ่อมแซม เช่น การซ่อมแซมพื้นผิวทาง พื้นผิวสะพาน ผิวสนามบิน อุโมงค์ และการซ่อมแซมโรงงาน เป็นต้น ใช้ได้ดีกับงานซ่อมแซมในอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากปฏิกิริยาพัฒนาความร้อนได้เร็ว จึงไม่จำเป็นต้องอุ่นพื้นผิวซ่อมแซมก่อนการซ่อมแซม ยกเว้นอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

1.10.4 มาตรฐาน

ในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานสำหรับวัสดุประเภทนี้

1.11 คอนกรีตจัดวางมวลรวมก่อน (preplaced-aggregate concrete)

คอนกรีตชนิดนี้ทำได้โดยการจัดวางมวลรวมก่อน (มักเป็นมวลรวมหยาบ) แล้วจึงอัดหรือฉีด หรือเกราท์ด้วยส่วนผสมมอร์ตาร์เข้าไปเติมเต็มในโพรงช่องว่างระหว่างมวลรวมในภายหลัง คอนกรีตชนิดนี้แตกต่างจาก

คอนกรีตธรรมดาทั่วไปตรงที่มีปริมาณมวลรวมหยาบในส่วนผสมมากกว่า โดยการผสมและการทำงานคอนกรีตประเภทนี้สามารถปฏิบัติตาม ACI 304R และ ACI 304.1R

1.11.1 ประโยชน์

1) คอนกรีตชนิดนี้จะมีการหดตัวต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา เนื่องจากมีการสัมผัสกันโดยตรงของมวลรวม และจะไม่เกิดการแยกตัวของมวลรวมเนื่องจากวัสดุเกราท์สามารถแทนที่น้ำในช่องว่างระหว่างมวลรวมจึงทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานใต้น้ำ (ACI 304R, ACI 304.1R และ ACI 546.2R)
2) การใช้คอนกรีตจัดวางมวลรวมก่อนในการก่อสร้างใต้น้ำ สามารถลดระยะเวลาทำงานและค่าก่อสร้างได้ (ACI 304R, ACI 304.1R)

1.11.2 การใช้งาน

เหมาะกับงานซ่อมแซมขนาดใหญ่ และการเทคอนกรีตธรรมดาทำได้ยาก เช่น งานที่เสริมเหล็กหนาแน่น เป็นต้น เหมาะสำหรับงานที่ต้องการการถ่ายแรงทันทีหลังการซ่อมแซม รวมถึงการซ่อมแซมใต้น้ำที่มีลักษณะน้ำนิ่ง เขื่อน สะพาน ผนัง คาน เสา และ ฐานราก คานและเสาของโรงงาน แทงค์น้ำ และ งานเสริมฐานรากใต้ฐานเดิม เป็นต้น

1.11.3 ข้อจำกัด

1) วิธีการ และค่าใช้จ่าย ในการเตรียมแบบสำหรับคอนกรีตชนิดนี้จะใกล้เคียงกับคอนกรีตธรรมดา แต่ต้องคำนึงถึงวัสดุเกราท์ที่ถูกอัดฉีดด้วยแรงดันสูงเข้าไปเติมเต็มในช่องว่างระหว่างมวลรวม ที่อาจรั่วไหลออกจากรอยต่อของแบบ จึงจำเป็นต้องป้องกันการรั่วไหลด้วยการอุดรอยต่อแบบให้ดี และเนื่องจากวัสดุเกราท์มักจะมีปริมาณน้ำสูงเนื่องจากต้องการสมบัติการไหลเพื่อการเติมเต็มช่องว่างที่ดี จึงมักจะพรุนกว่ามอร์ตาร์ในคอนกรีตธรรมดา ทำให้อาจมีปัญหาด้านความคงทนหากต้องใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่รุนแรง การใช้วัสดุปอซโซลานหรือวัสดุผสมเพิ่ม เช่น ซิลิกาฟูม ในส่วนผสมของวัสดุเกราท์อาจช่วยลดผลกระทบนี้ได้ (Pan, 1996)
2) การปฏิบัติงานคอนกรีตจัดวางมวลรวมก่อนจำเป็นต้องปฏิบัติโดยผู้เชี่ยวชาญพิเศษ หรือผู้มีประสบการณ์

1.11.4 มาตรฐาน

ASTM C937 กำหนดสมบัติของสารช่วยเพิ่มการไหลสำหรับวัสดุเกราท์ที่ใช้สำหรับงานคอนกรีตจัดวางมวลรวมก่อน ASTM C938 อธิบายวิธีการเลือกส่วนผสมของวัสดุเกราท์ที่ใช้สำหรับงานคอนกรีตจัดงานมวลรวมก่อน

1.12ซีเมนต์ก่อตัวเร็ว (rapid-setting cement)

ซีเมนต์ก่อตัวเร็ว คือ ปูนซีเมนต์ที่มีระยะเวลาก่อตัวสั้น ซีเมนต์ก่อตัวเร็วบางประเภทสามารถพัฒนากำลังอัดได้เร็วถึง 17 MPa ภายใน3 ชั่วโมง ซึ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 เป็นตัวอย่างของซีเมนต์ก่อตัวเร็วที่นิยมใช้ในการซ่อมแซมคอนกรีตที่เสียหายทั้งหน้าตัดมากกว่าวัสดุอื่นเนื่องจากเหตุผลด้านราคา

1.12.1 ประโยชน์

ซีเมนต์ก่อตัวเร็วให้กำลังสูงได้ในเวลาสั้น ทำให้โครงสร้างที่ซ่อมแซมกลับมาใช้งานได้ใหม่อย่างรวดเร็ว

1.12.2 ข้อจำกัด

โดยทั่วไปซีเมนต์ก่อตัวเร็วจะมีความคงทนเหมือนคอนกรีต แต่มีบางประเภทที่มีส่วนผสมซึ่งไม่เหมาะกับสภาพแวดล้อมบางลักษณะ ซีเมนต์ก่อตัวเร็วบางประเภทมีปริมาณด่าง หรืออลูมิเนทสูงกว่าปกติเพื่อให้เกิดการขยายตัวในขณะก่อตัว การใช้ซีเมนต์ก่อตัวเร็วประเภทนี้ ต้องหลีกเลี่ยงสารประเภทซัลเฟต และห้ามใช้กับมวลรวมที่ไวต่อทำปฏิกิริยากับด่าง

1.12.3 การใช้งาน

ซีเมนต์ก่อตัวเหมาะสำหรับงานที่ต้องการให้โครงสร้างที่ซ่อมแซมกลับมารับน้ำหนักได้อย่างรวดเร็ว

1.12.4 มาตรฐาน

มาตรฐาน ASTM C928 กล่าวถึงมอร์ตาร์หรือคอนกรีตที่ใช้ในการซ่อมแซมทางเท้าหรือโครงสร้างคอนกรีต

1.13คอนกรีตพ่น (shotcrete)

คอนกรีตพ่นมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และน้ำ เป็นคอนกรีตที่ใช้ฉีดพ่นไปบนพื้นผิวโดยการอัดอากาศผ่านท่อพ่น คอนกรีตพ่นอาจผสม มวลรวมหยาบ เส้นใย และสารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ ได้อีก หากปฏิบัติงานอย่างถูกต้อง คอนกรีตพ่นจะมีกำลังและความคงทนเพียงพอสำหรับการใช้เป็นส่วนของโครงสร้างและเป็นวัสดุสำหรับซ่อมแซมที่ดี เนื่องจากสามารถยึดเกาะกับพื้นผิวคอนกรีต หรือพื้นผิวชนิดอื่นได้เป็นอย่างดี

1.13.1 ประโยชน์

1) คอนกรีตพ่นมีข้อดีมากกว่าคอนกรีตธรรมดาทั้งในด้านความสะดวกต่อการปฏิบัติงานและราคา เหมาะสำหรับการใช้งานที่มีความหนาน้อยกว่า 150 มม. โดยเฉพาะในงานที่ต้องการเทมีลักษณะของพื้นผิวที่ขรุขระไม่แน่นอน ไม่ราบเรียบ มีพื้นที่กว้างและมีรูปร่างยากต่อการประกอบแบบหล่อ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีแบบหล่อ
2) คอนกรีตพ่นสามารถใช้กับงานพื้นผิวเหนือศีรษะ และยังสามารถขนส่งคอนกรีตผ่านท่อไปได้ในระยะไกล มีข้อดีในด้านการลำเลียงคอนกรีตผ่านบริเวณแคบ ๆ นอกจากนี้ ยังสามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องมือ เครื่องจักรได้หลากหลาย (ACI 506R)

1.13.2 ข้อจำกัด

1) การทำงานคอนกรีตพ่นต้องการผู้ปฏิบัติงานที่ผ่านการฝึกทักษะและมีประสบการณ์ในการควบคุมอุปกรณ์พ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้หัวพ่น
2) การใช้คอนกรีตพ่นควรระมัดระวังปัญหาฝุ่น และเศษคอนกรีตที่สะท้อนตกลงมา โดยเฉพาะการทำงานคอนกรีตพ่นในสถานที่ปิดและอับอากาศ เช่น ในอุโมงค์ หรือ ห้องใต้ดิน

1.13.3 การใช้งาน

คอนกรีตพ่นสามารถใช้งานกับการซ่อมโครงสร้างที่เสื่อมสภาพ เช่น สะพาน อาคาร โครงสร้างจอดรถ เขื่อน ที่ลาดเชิงเขา และอุโมงค์ โดยทั่วไปคอนกรีตพ่นมักใช้ได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามสามารถพบกรณีที่มีประสิทธิภาพต่ำบ้าง ตัวอย่างเช่น ไม่มีการเตรียมพื้นผิวเดิมให้ดี หรือพ่นคอนกรีตไม่ได้มาตรฐาน ขาดทักษะ และไม่ได้คำนึงถึงการที่คอนกรีตพ่นมีการซึมน้ำที่ต่ำกว่าวัสดุของพื้นผิวเดิม ทำให้เกิดความเสียหาย เช่น การซ่อมแซมโครงสร้างกักเก็บน้ำโดยใช้คอนกรีตพ่นที่มีการซึมน้ำที่ต่ำกว่าคอนกรีตเดิมมาก ทำให้คอนกรีตอิ่มตัวด้วยน้ำและเกิดปัญหาการทำลายจากวัฏจักรของการเยือกแข็งและหลอมเหลวของน้ำได้ในระยะยาว (U.S. Army Corps of Engineers, 1995) อย่างไรก็ดีปัญหานี้ไม่เกิดขึ้นในประเทศเขตร้อน ดังนั้นคุณภาพของการซ่อมแซมโดยใช้คอนกรีตพ่นจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพการเตรียมพื้นผิวเดิมและทักษะการทำงานของผู้ปฏิบัติงานพ่นคอนกรีตพ่นเป็นหลัก

1.13.4 มาตรฐาน

ข้อแนะนำและข้อกำหนดสำหรับการก่อสร้างโดยใช้คอนกรีตพ่น และข้อกำหนดสำหรับใบรับรองผู้ปฏิบัติงานในการทำงานคอนกรีตพ่น (ACI 506R และ ACI 506.2)

1.14คอนกรีตชดเชยการหดตัว (shrinkage compensating concrete)

คอนกรีตชดเชยการหดตัว คือ คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ที่ขยายตัวเพื่อช่วยชดเชยการหดตัวของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว วัสดุและวิธีการผลิตพื้นฐานคล้ายคลึงกับที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตคุณภาพสูงที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คอนกรีตชดเชยการหดตัวยังสามารถผลิตได้โดยการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาผสมกับสารเพิ่มการขยายตัวก็ได้

1.14.1 ประโยชน์

การขยายตัวของคอนกรีตชดเชยการหดตัวจะถูกยึดรั้งโดยเหล็กเสริมคอนกรีต หรือการยึดรั้งภายนอกในลักษณะอื่น ผลจากการหดตัวเมื่อแห้งอาจทำให้ผลการขยายตัวลดลงด้วย อย่างไรก็ตาม การขยายตัวที่เหลืออยู่ของคอนกรีตชนิดนี้จะช่วยลดการแตกร้าวจากการหดตัวของคอนกรีตได้

1.14.2 ข้อจำกัด

1) วัสดุ สัดส่วนการผสม การเทและการบ่ม ควรเลือก ออกแบบ และปฏิบัติเพื่อให้เกิดการขยายตัวและเกิดหน่วยแรงอัดที่เพียงพอในการชดเชยหน่วยแรงดึงที่เกิดจากการหดตัวที่จะเกิดขึ้น ACI 223 ได้กล่าวถึงเกณฑ์และวิธีปฏิบัติที่จำเป็นเพื่อทำให้เกิดการขยายตัวขึ้นในเวลาและขนาดที่ต้องการ การบ่มที่อุณหภูมิต่ำอาจทำให้การขยายตัวลดลงได้
2) คอนกรีตชดเชยการหดตัว อาจไม่เหมาะในการใช้เททับหน้าคอนกรีตเดิมเพราะอาจจะเกิดการยึดรั้งที่มากเกินไป
3) แรงที่เกิดจากการขยายตัวอาจดันผนังหรือทำลายแบบหล่อที่ล้อมรอบบริเวณที่เทได้

1.14.3 การใช้งาน

เหมาะสำหรับใช้ซ่อมแซมผิวพื้น ทางเท้า หรือโครงสร้างคอนกรีต เพื่อลดรอยร้าวจากการหดตัว โดยทั่วไปใช้ในงานซ่อมแซมที่มีพื้นที่จำกัด ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการใช้ซีเมนต์เกราท์ชนิดไม่หดตัว

1.14.4 มาตรฐาน

1) มาตรฐาน ASTM C845 ได้กล่าวถึงสมบัติของปูนซีเมนต์ขยายตัว (expansive hydraulic cement) และข้อจำกัด รวมถึงกำลัง ระยะเวลาก่อตัว และการขยายตัวของปูนซีเมนต์ขยายตัวด้วย
2) มาตรฐาน ASTM C806 กล่าวถึงสมบัติการขยายตัวของมอร์ตาร์
3) มาตรฐาน ASTM C878 กล่าวถึงสมบัติการขยายตัวของคอนกรีต

1.15คอนกรีตซิลิกาฟูม

ซิลิกาฟูมเป็นสารปอซโซลานชนิดหนึ่งที่เป็นวัสดุผลพลอยได้จากการผลิตซิลิกอนหรือโลหะผสมซิลิกอน การใช้ซิลิกาฟูมร่วมกับสารลดน้ำระดับสูงสามารถเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตได้เป็นอย่างมาก อีกทั้งยังเพิ่มความทึบน้ำและความคงทนหลายอย่างของคอนกรีต (ACI 234R) โดยปกติปริมาณซิลิกาฟูมที่ใช้ในคอนกรีตจะอยู่ในช่วงร้อยละ 5 ถึง 15 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ซึ่งสามารถผลิตคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงถึง 85 ถึง 105 MPa

1.15.1 ประโยชน์

1) ประโยชน์ของการใช้ซิลิกาฟูมในคอนกรีตในระยะเริ่มแรกของการใช้งานเป็นการใช้เพื่อเพิ่มความต้านทานต่อสารเคมี ต่อมามีการใช้เพื่อเพิ่มความหนาแน่นและกำลังอัดของคอนกรีตให้มากขึ้น บางกรณีสามารถใช้แทนที่บางส่วนของปูนซีเมนต์เพื่อใช้ปรับปรุงคุณภาพอื่นของคอนกรีตได้ด้วย
2) การใช้และการปฏิบัติงานคอนกรีตซิลิกาฟูมไม่มีความแตกต่างจากคอนกรีตธรรมดา อย่างไรก็ตาม ส่วนผสมจะต้องใช้สารลดน้ำระดับสูง เพื่อเพิ่มความสามารถในการเทได้ ไม่ควรปรับปริมาณน้ำเพื่อเพิ่มความสามารถในการเท

1.15.2 ข้อจำกัด

1) การเพิ่มปริมาณซิลิกาฟูมในคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตเหนียวมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวพลาสติกได้ง่าย และทำให้ราคาคอนกรีตสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ผู้ปฏิบัติงานสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้หลายวิธี (Holland, 1987) คอนกรีตซิลิกาฟูมจะมีการเยิ้มน้ำต่ำหรือไม่มีเลย ซึ่งทำให้ยากต่อการแต่งผิวโดยใช้เกรียงเหล็ก
2) การบ่มคอนกรีตซิลิกาฟูมควรบ่มน้ำหรือบ่มชื้นทันทีเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 7 วัน และควรบ่มที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 4°C

1.15.3 การใช้งาน

1) การใช้งานในระยะแรกของคอนกรีตซิลิกาฟูมในสหรัฐอเมริกาเป็นการใช้ในการซ่อมแซมโครงสร้างสำหรับกักเก็บน้ำที่ต้องเผชิญกับการสึกกร่อนหรือขัดสี (Holland, 1987) กำลังที่สูงของคอนกรีตซิลิกาฟูมเป็นประโยชน์ต่อความต้านทานการสึกกร่อนและขัดสี โดยเฉพาะอย่างในยิ่งกรณีที่ไม่สามารถหามวลรวมที่มีความต้านทานการขัดสีสูงมาใช้ในการผลิตคอนกรีตได้

2) คอนกรีตซิลิกาฟูมมีการใช้อย่างมากในการปูซ่อมแซมผิวที่จอดรถ และพื้นผิวสะพานเพื่อลดการซึมผ่านของคลอไรด์เข้าไปในคอนกรีต

1.15.4 มาตรฐาน

ASTM C1240 เป็นข้อกำหนดสำหรับการใช้งานซิลิกาฟูม

1.16คอนกรีตไหลเข้าแบบเอง (self-compacting concrete)

คอนกรีตไหลเข้าแบบเอง เป็นคอนกรีตที่มีความสามารถในการไหลสูงโดยไม่แยกตัวในขณะไหลเข้าไปเติมเต็มแบบ และออกแบบให้สามารถไหลผ่านช่องแคบระหว่างเหล็กเสริมหรือช่องแคบต่าง ๆ ในแบบหล่อได้ โดยไม่ต้องการการกระทุ้งหรือจี้เขย่าคอนกรีต มีการควบคุมขนาดและปริมาณของมวลรวมหยาบ คอนกรีตประเภทนี้สามารถใช้ได้กับทั้งงานก่อสร้างใหม่และงานซ่อมแซมโครงสร้างเก่า

1.16.1 ประโยชน์

1) เหมาะสำหรับงานซ่อมแซมที่ต้องการให้คอนกรีตไหลเข้าไปเติมเต็มในบริเวณแคบ รูปร่างซับซ้อน เหล็กเสริมหนาแน่น ซึ่งยากหรือไม่สามารถกระทุ้งคอนกรีตได้ด้วยวิธีการปกติ ทำให้การเทคอนกรีตทำได้รวดเร็ว และต่อเนื่อง สามารถแก้ปัญหาในการเกิดโพรงเนื่องจากการเทไม่เต็มแบบได้
2) คอนกรีตประเภทนี้สามารถออกแบบให้มีกำลังสูงได้ ทำให้ลดขนาดหน้าตัด หรือความหนาของส่วนที่ซ่อมแซมได้

1.16.2 ข้อจำกัด

1) คอนกรีตไหลเข้าแบบเองจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุและปริมาณน้ำในส่วนผสมมากกว่าคอนกรีตธรรมดามาก การออกแบบส่วนผสมจะมีความซับซ้อนกว่าคอนกรีตธรรมดา จึงต้องการผู้มีทักษะและความเชี่ยวชาญทั้งในขั้นตอนการออกแบบส่วนผสม และการควบคุมคุณภาพวัสดุและการควบคุมคุณภาพคอนกรีตหลังผสมเสร็จแล้ว
2) คอนกรีตไหลเข้าแบบเองมักจะมีปริมาณเพสต์สูง จึงควรต้องคำนึงถึงการหดตัว อย่างไรก็ตามการใช้สารขยายตัวสามารถารลดปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวได้
3) การเทคอนกรีตไหลเข้าแบบเองอย่างต่อเนื่อง โดยแบบหล่อมีความสูง ต้องคำนึงถึงแรงดันด้านข้างของคอนกรีตเหลวที่มักจะมีค่าสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา
4) คอนกรีตไหลเข้าแบบเองมักจะสูญเสียความสามารถในการเทได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพอากาศร้อน เนื่องจากมักมีปริมาณน้ำในส่วนผสมน้อยและใช้สารลดน้ำในปริมาณสูง

5) ราคาของคอนกรีตไหลเข้าแบบเองจะสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาเนื่องจากต้องใช้สารลดน้ำระดับสูงและวัสดุประสานในปริมาณที่มากกว่าคอนกรีตธรรมดา และอาจมีการใช้สารเพิ่มเติมอื่น ๆ ด้วย เช่น สารเพิ่มการขยายตัวหรือสารเพิ่มความหนืด เป็นต้น

1.16.3 การใช้งาน

เหมาะกับงานในลักษณะเดียวกับงานซ่อมแซมด้วยคอนกรีตธรรมดา แต่ต้องการความสามารถในการเทที่ดีกว่า และงานที่การกระทุ้งคอนกรีตหรือการจี้เขย่าทำได้ยาก เช่น มีเหล็กเสริมหนาแน่น ช่องเปิดในแบบแคบ ความหนาของคอนกรีตที่จะเทน้อย หรือรูปร่างและแบบหล่อมีความซับซ้อน เป็นต้น

1.16.4 มาตรฐาน

ACI 237R ให้ข้อแนะนำสำหรับคอนกรีตไหลเข้าแบบเอง

1.17คอนกรีตใต้น้ำต้านทานการชะล้าง (anti-washout under water concrete)

คอนกรีตใต้น้ำต้านทานการชะล้างเป็นคอนกรีตธรรมดาที่มีการใช้สารผสมเพิ่มเพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานการถูกชะล้างโดยน้ำในขณะที่เทคอนกรีตสดใต้น้ำ โดยอนุภาควัสดุประสานจะไม่ถูกน้ำชะล้างออกไป ทั้งนี้การเทคอนกรีตใต้น้ำมักจะไม่สามารถหรือยากในการกระทุ้งหรือทำให้แน่นโดยวิธีปกติ จึงมักจะออกแบบส่วนผสมให้มีความสามารถในการไหลเติมเต็มด้วยตัวเองด้วย

1.17.1 ประโยชน์

1) คอนกรีตใต้น้ำต้านทานการชะล้างสามารถใช้งานได้ทั้งการก่อสร้างโครงสร้างใหม่และการซ่อมแซมโครงสร้างเดิมที่ต้องเทคอนกรีตใต้น้ำ ทั้งบริเวณน้ำนิ่งหรือมีกระแสน้ำไหล ทำให้ไม่จำเป็นต้องสูบน้ำในบริเวณที่จะเทคอนกรีตออกก่อน หรือทำโครงสร้างกั้นน้ำในบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ทำให้ลดขั้นตอนและราคาค่าก่อสร้างลงไปได้ ถึงแม้ราคาคอนกรีตประเภทนี้จะสูงมากกว่าคอนกรีตธรรมดาก็ตาม
2) คอนกรีตประเภทนี้มักถูกออกแบบและผลิตให้มีคุณภาพไม่แตกต่างกันระหว่างกรณีที่เทใต้น้ำหรือเทบนบก เช่น มีกำลังอัดไม่แตกต่างกัน

1.17.2 ข้อจำกัด

1) การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตใต้น้ำต้านทานการชะล้างมีความซับซ้อนและต้องการผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบส่วนผสม จำเป็นต้องมีการทดลองผสมและจำลองสภาพการก่อสร้างจริงซึ่งรวมถึงสภาพการเท สภาพแบบหล่อ สภาพการชะล้าง และสภาพอากาศที่หน้างาน เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเมื่อเทคอนกรีตที่หน้างานจริง จำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพวัสดุ

ส่วนผสม ปริมาณน้ำในส่วนผสม และบริมาณสารผสมเพิ่มต่าง ๆ ให้แม่นยำ เนื่องจากคอนกรีตประเภทนี้มักจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพวัสดุผสม และปริมาณส่วนผสม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำ และสารผสมเพิ่มเป็นอย่างมาก

2) คอนกรีตประเภทนี้มักจะสูญเสียความสามารถในการเทได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพอากาศร้อน เนื่องจากการใช้สารป้องกันการชะล้างมีสมบัติทำให้คอนกรีตมีความหนืดมากขึ้น การเลือกสารลดน้ำระดับสูงและสารป้องกันชะล้างจะต้องเลือกให้เหมาะสมกัน ไม่ก่อให้เกิดผลเสียที่เป็นการหักล้างประสิทธิภาพซึ่งกันละกัน
3) เนื่องจากความหนืดที่สูงกว่าคอนกรีตทั่วไป จึงต้องคำนึงถึงผลของความหนืดในการปฏิบัติงานด้วย เช่น ในการลำเลียงคอนกรีตผ่านท่อ (pump) หรือการไหลผ่านช่องแคบ ๆ
4) คอนกรีตใต้น้ำต้านทานการชะล้างมีราคาสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา จึงต้องมีการประเมินความคุ้มค่า

1.17.3 การใช้งาน

เหมาะกับงานเทคอนกรีตใต้น้ำที่ไม่ต้องการหรือไม่สามารถสูบน้ำออกให้บริเวณที่ต้องการเทคอนกรีตให้แห้งได้ ใช้ได้กับทั้งการก่อสร้างโครงสร้างใหม่และงานซ่อมแซมโครงสร้างใต้น้ำ เช่น โครงสร้างใต้ทะเลลึก โครงสร้างในแม่น้ำ คลอง ทะเลสาป หรือโครงสร้างใต้ดินที่เผชิญกับน้ำใต้ดิน เป็นต้น

1.17.4 มาตรฐาน

ในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานสำหรับคอนกรีตใต้น้ำต้านทานการชะล้าง ทำให้ต้องมีการทดลองผสมและทดสอบส่วนผสม และสภาพการเทก่อนการใช้งาน

ส่วนที่ 2 วัสดุพอลิเมอร์ (polymer)

การเติมสารพอลิเมอร์ สามารถช่วยพัฒนาสมบัติของคอนกรีตได้ ACI 548.1R กล่าวถึงข้อมูลของวัสดุพอลิเมอร์ต่าง ๆ การจัดเก็บ การจัดการ และการใช้ รวมถึงสูตรผสมคอนกรีต วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ ขั้นตอนการทำงาน และการใช้งาน วัสดุคอนกรีตที่ใช้พอลิเมอร์เป็นส่วนประกอบแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทพอลิเมอร์ซีเมนต์ และประเภทพอลิเมอร์ที่ไม่ผสมซีเมนต์

2.1 พอลิเมอร์ซีเมนต์คอนกรีตและมอร์ตาร์ (polymer cement concrete and mortar)

เป็นคอนกรีตที่ได้รับการพัฒนาคุณภาพโดยการเติมสารพอลิเมอร์เหลวร่วมกับปูนซีเมนต์และมวลรวมในขณะที่ทำการผสม โดยสารพอลิเมอร์ส่วนใหญ่เป็นของเหลวชนิดสไตลีนบิวทะไดอีน (styrene butadiene) หรือ อะคริลิกลาเทกซ์ (acrylic latex)

2.1.1 ประโยชน์

1) สามารถช่วยเพิ่มกำลังดัดและกำลังดึงของคอนกรีต จากการทดลองพบว่าการใช้อะคริลิกลาเทกซ์ และสไตลีนบิวทะไดอีนช่วยเพิ่มกำลังดัดของคอนกรีต โดยเฉพาะการใช้อะคริลิกลาเทกซ์อาจสามารถช่วยเพิ่มกำลังดัดขึ้นถึงร้อยละ 100
2) เพิ่มความทึบน้ำของคอนกรีต ลดการซึมผ่านของน้ำและสารต่าง ๆ ที่มากับน้ำ เหมาะกับการใช้ซ่อมโครงสร้างที่เกิดสนิมในเหล็กเสริม เนื่องจากช่วยลดการซึมผ่านของคลอไรด์และลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น
3) เพิ่มความคงทนของคอนกรีต ซึ่งเป็นผลเนื่องจากสมบัติที่ดีขึ้นดังข้อ 1) และ 2) ข้างต้น
4) ทำงานได้ง่าย เมื่อมีพอลิเมอร์เป็นส่วนประกอบ ทำให้คอนกรีตประเภทนี้มีความลื่น สะดวกในการทำงาน

2.1.2 ข้อจำกัด

การผสมพอลิเมอร์เข้ากับคอนกรีตจะทำให้โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตลดลง

2.1.3 การใช้งาน

การใช้งานวัสดุประเภทนี้ส่วนใหญ่จะใช้โดยวิธีการฉาบ เทเข้าแบบหรือปรับระดับ และสามารถใช้ฉาบแต่งผิวเรียบและบาง โดยเลือกใช้ทรายที่มีความละเอียดมากขึ้น

2.1.4 มาตรฐาน

สามารถอ้างอิง ASTM C685 ASTM C1438 และ ASTM C1439

2.2 พอลิเมอร์คอนกรีต (polymer concrete)

เป็นคอนกรีตที่ใช้พอลิเมอร์ เช่น พอลิเอสเตอร์ หรืออีพอกซีเรซิน เป็นตัวประสานแทนซีเมนต์เพสต์ ในบางกรณีอาจใส่ผงปูนซีเมนต์เข้าไปเล็กน้อยเพื่อเป็นสารผสมเพิ่ม

2.2.1 ประโยชน์

พอลิเมอร์คอนกรีตเมื่อก่อตัวแล้วจะมีความทึบน้ำสูงมาก และไม่เกิดช่องว่างเหมือนคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ที่อาศัยปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ โดยทั่วไปพอลิเมอร์คอนกรีตจะมีสมบัติเชิงกลสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา

2.2.2 ข้อจำกัด

วัสดุประเภทนี้มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำกว่าและมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา

2.2.3 การใช้งาน

วัสดุประเภทนี้เหมาะกับงานซ่อมแซมบริเวณที่ต้องการรับน้ำหนักสูง รับแรงกระแทก แรงสั่นสะเทือน งานซ่อมแซมในบริเวณที่ต้องสัมผัสกับสารเคมีหรือมีระยะเวลาในการทำงานน้อย

2.2.4 มาตรฐาน

สามารถอ้างอิง ASTM C 881

ส่วนที่ 3 สารเชื่อมประสาน (bonding agent)

สารเชื่อมประสานใช้เพื่อยึดวัสดุซ่อมแซมเข้ากับพื้นผิวของคอนกรีตเดิม สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ อีพอกซี ลาเทกซ์ และ ซีเมนต์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 อีพอกซี

เป็นสารเชื่อมประสานที่มีวัสดุประเภทอีพอกซีเป็นส่วนประกอบหลัก

3.1.1 มาตรฐาน ASTM C881

ASTM C881 กล่าวถึง การใช้ระบบอีพอกซีในขณะที่อากาศร้อน อุณหภูมิที่สูงอาจทำให้เกิดการบ่มตัวก่อนเวลา และทำให้เสียแรงยึดเกาะได้

3.1.2 วัสดุยึดเกาะประเภทอีพอกซีเรซิน

ส่วนใหญ่จะก่อให้เกิดชั้นกั้นความชื้นขึ้นระหว่างผิวของโครงสร้างเดิมกับวัสดุซ่อมแซม บางครั้งชั้นกั้นความชื้นอาจทำให้เกิดความเสียหายของส่วนที่ซ่อมแซมได้ ถ้าความชื้นถูกกักไว้ในคอนกรีตหลังชั้นกั้นความชื้นพอดี และเกิดการเยือกแข็งเป็นน้ำแข็งในบริเวณนั้น

3.2 ลาเทกซ์

เป็นสารเชื่อมประสานที่มีวัสดุประเภทลาเทกซ์เป็นส่วนประกอบหลัก มาตรฐาน ASTM C1059 กล่าวถึง ระบบลาเทกซ์ สารยึดเกาะชนิดนี้ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 แบบกระจายตัวใหม่ได้ (redispersible) สามารถทาบนพื้นผิวที่จะซ่อมแซมได้หลายวันก่อนจะลงวัสดุซ่อมแซม แต่จะมีกำลังยึดเกาะน้อยกว่าประเภทที่ 2 นอกจากนี้ลาเทกซ์ประเภทที่ 1 ไม่ควรใช้กับบริเวณที่เปียกน้ำ ความชื้นสูง หรือในเชิงโครงสร้าง โดยสารยึดเกาะประเภทที่ 1 มีหน่วยแรงยึดเกาะไม่น้อยกว่า 2.8 MPa

ประเภทที่ 2 แบบกระจายตัวใหม่ไม่ได้ (nonredispersible) จะมีลักษณะเป็น bond breaker เมื่อได้รับการฉาบเรียบ และบ่มแล้ว นั่นคือไม่สามารถยึดเกาะกับวัสดุซ่อมแซมอื่นที่ใช้เททับหรือฉาบทับบนสารยึดเกาะประเภทที่ 2 นั้นได้ สารยึดเกาะประเภทที่ 2 จะมีการยึดเกาะกับพื้นผิวเดิมได้ดีเมื่อผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในลักษณะของโคลน (slurry) สารยึดเกาะประเภทที่ 2 มีหน่วยแรงยึดเกาะไม่น้อยกว่า 8.6 MPa

3.3 ซีเมนต์

เป็นสารเชื่อมประสานที่มีวัสดุประเภทซีเมนต์เป็นส่วนประกอบหลัก ผสมกับมวลรวมละเอียดบดใน อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก และผสมน้ำเพื่อให้ได้ความข้นเหลวที่สม่ำเสมอและเหมาะสม

ส่วนที่ 4 วัสดุเคลือบผิวเหล็กเสริม (coatings on reinforcement)

สารเคลือบผิวเหล็กเสริม คือสารเคลือบผิวประเภทอีพอกซี ลาเทกซ์-ซีเมนต์ และสังกะสี ซึ่งข้อจำกัดในการใช้งานสำหรับวัสดุเคลือบผิวเหล็กเสริมแต่ละชนิดมีแตกต่างกันไป

ส่วนที่ 5 วัสดุเสริมกำลัง (reinforcement)

โดยทั่วไปโครงสร้างคอนกรีตจำเป็นต้องใช้วัสดุเสริมกำลังเพื่อต้านทานหน่วยแรงดึงที่เกิดจากแรงดัด แรงเฉือน และแรงตามแนวแกน วัสดุเสริมกำลังที่ใช้ในงานซ่อมแซมมีหลากหลายประเภท รวมทั้งเหล็กเสริมธรรมดา และประเภทที่ทนต่อการกัดกร่อน ดังนี้

5.1 เหล็กตามมาตรฐาน มอก.

เหล็กข้ออ้อยที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก. 24 เหล็กเส้นกลมที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก. 20 ตะแกรงลวดผิวเรียบที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก. 737 มาตรฐาน วสท.1008 กล่าวถึงระยะหุ้มน้อยที่สุดในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ปริมาณคลอไรด์สูงสุด อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสม และข้อเสนอแนะอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติของคอนกรีต ทั้งนี้เพื่อลดการเกิดสนิม หรือการกัดกร่อนในเหล็กเสริม

5.2 เหล็กเสริมเคลือบอีพอกซี (ตามมาตรฐาน ASTM A775)

เหล็กเสริมเคลือบอีพอกซีได้มีการนำมาใช้ครั้งแรกเมื่อประมาณกลางปี คศ. 1970 อีพอกซีที่ใช้เคลือบเหล็กเสริมจะทำหน้าที่เป็นชั้นปกป้องเหล็กเสริมจากปัจจัยที่ทำให้เกิดสนิม ได้แก่ ออกซิเจน ความชื้น และคลอไรด์ แม้ว่าวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพดีในการป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีตในแผ่นพื้นสะพาน แต่ในบริเวณที่เผชิญกับคลื่นทะเล หรือละอองคลื่นทะเลโดยตรง พบว่าประสิทธิภาพการป้องกันของอีพอกซีเคลือบผิวขึ้นอยู่กับคุณภาพของการเคลือบ ความเสียหายของผิวเคลือบระหว่างติดตั้ง ขนาดของรอยร้าว ความหนาของระยะหุ้ม การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุเคลือบผิวและเหล็กเสริม และระดับความเข้มข้นของคลอไรด์

5.3 เหล็กเสริมกัลวาไนซ์

เหล็กเสริมกัลวาไนซ์เป็นเหล็กเสริมที่เคลือบสังกะสี ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้ โดยใช้การเคลือบด้วยชั้นวัสดุกัลวาไนซ์ห่อหุ้มรอบ ๆ เหล็กเสริม เพื่อใช้เป็นชั้นกัดกร่อนแทนเหล็กเสริม มาตรฐาน ASTM A767 และ ASTM A780 กล่าวถึงข้อกำหนดสำหรับเหล็กเคลือบสังกะสี และวิธีการที่ใช้ในการซ่อมแซมตามลำดับ

5.4 เหล็กเสริมสเตนเลส

เหล็กเสริมสเตนเลสต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีมาก ชนิดที่นิยมใช้กันแพร่หลายคือเกรด 304 และ 316 โดยเกรด 316 จะมีความต้านทานต่อสิ่งแวดล้อมคลอไรด์ดีกว่าและได้รับผลกระทบน้อยจากรอยร้าวในองค์

อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก เหล็กเสริมสเตนเลสสามารถประกอบใช้ที่หน้างานได้ โดยไม่ได้รับผลกระทบจากการทำงานประกอบและติดตั้งเหล็กเสริมที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายของผิวเหล็ก เช่น จากการดัด การวางตำแหน่ง การผูกเหล็ก และการเทคอนกรีต ข้อจำกัดหลักในการใช้เหล็กเสริมสเตนเลส คือราคาที่ค่อนข้างสูง

5.5 เหล็กเสริมหุ้มสเตนเลส

เหล็กเสริมหุ้มสเตนเลสมีสมบัติเท่าเทียมกับเหล็กเสริมสเตนเลสแต่มีราคาที่ถูกลง สามารถประกอบ ตัด ดัดและเชื่อมที่หน้างานได้ อย่างไรก็ตามการซ่อมแซมที่ต้องตัดปลาย จำเป็นต้องมีการเคลือบผิวปลายที่ตัดอย่างเหมาะสม

5.6 วัสดุเสริมกำลังประเภทสารประกอบที่ไม่ใช่โลหะ

วัสดุเสริมกำลังประเภทสารประกอบที่ไม่ใช่โลหะที่นิยมใช้ทั่วไป ได้แก่ พอลิเมอร์เสริมเส้นใย (fiber reinforced plastic; FRP) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ผลิตขึ้นจากเส้นใยกำลังสูงโดยมีเรซินเป็นตัวประสาน โดยทั่วไปเรซินที่ใช้ คือ อีพอกซี และเรซินประเภทที่ได้รับความนิยมน้อยกว่า เช่น ไวนิลเอสเตอร์ และพอลิเอสเตอร์ ประเภทของเส้นใยที่ใช้คือ เส้นใยคาร์บอน เส้นใยแก้ว และเส้นใยอะรามิด ซึ่งมีสมบัติเชิงกล ความทนทาน และราคาที่แตกต่างกัน มาตรฐาน มยผ. 1508-51 กล่าวถึง ข้อกำหนดสำหรับการก่อสร้าง เพื่อใช้กับการซ่อมแซมและเสริมกำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการติดตั้งวัสดุคอมโพสิตประเภทพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (fiber reinforced polymer: FRP)

5.6.1 ประโยชน์

พอลิเมอร์เสริมเส้นใยให้อัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนักที่สูง ทำให้ง่ายสำหรับการนำไปติดตั้ง ระบบการซ่อมแซมด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยสามารถออกแบบระบบการซ่อมแซมได้ในลักษณะที่คล้ายกับการซ่อมแซมทั่วไปที่ใช้แผ่นเหล็ก (steel plating) และคอนกรีตพ่น พอลิเมอร์เสริมเส้นใยไม่เป็นสนิมและทนต่อสภาพแวดล้อมทางเคมี

ระบบซ่อมแซมด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยสามารถติดตั้งได้อย่างสะดวกภายในอาคารโดยกระทบต่อผู้ใช้อาคารน้อยที่สุด จึงควรมีการวางแผนให้ใช้อุปกรณ์ให้น้อยเท่าที่จำเป็น วางแผนการเข้าถึงบริเวณซ่อมแซม ระยะเวลา และการบ่มที่น้อยเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพโดยรวมของการซ่อมแซมที่ดี

5.6.2 ข้อจำกัด

อุณหภูมิและสภาพอากาศสามารถส่งผลต่อการติดตั้งระบบซ่อมแซมด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ควรหลีกเลี่ยงอุณหภูมิสูงและความชื้นในระหว่างการติดตั้ง โดยปกติแล้วอุณหภูมิในขณะใช้งานควรอยู่ต่ำกว่า 77°C (หมายเหตุ: วัสดุบางประเภทที่วางจำหน่ายอาจมีอุณหภูมิที่ใช้งานต่ำกว่านี้) ระบบนี้ควรต้องได้รับการ

ปกป้องจากการสัมผัสกับรังสีอัลตราไวโอเลต หรือควรหลีกเลี่ยงระบบนี้ในกรณีที่ต้องคำนึงถึงการป้องกันอัคคีภัย

การนำระบบ FRP ไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ระบบที่สามารถพิสูจน์ได้ถึงการใช้งานที่ดี วิธีการออกแบบที่เหมาะสม การปกป้องจากสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อระบบ และการฝึกอบรมทักษะและประสบการณ์ของผู้ติดตั้ง ผู้ผลิตแต่ละรายควรแสดงผลการทดสอบทางโครงสร้าง ความทนทานของวัสดุของระบบ FRP ให้กับผู้ออกแบบ โดยผู้ออกแบบมีหน้าที่นำข้อมูลที่จำเป็นไปใช้ในการออกแบบเพื่อให้เหมาะสมสอดคล้องกับการปฏิบัติ และต้องมีการควบคุมคุณภาพเพื่อให้แน่ใจว่าการติดตั้งระบบนั้นถูกต้องเหมาะสม เนื่องจากระบบ FRP มีความแตกต่างกัน ผู้ออกแบบจึงไม่ควรนำข้อมูลการทดสอบของผู้ผลิตในระบบอื่นมาใช้

5.6.3 การใช้งาน

ระบบ FRP ได้รับการทดสอบและนำไปใช้สำหรับซ่อมแซมและเสริมความแข็งแรงในหลาย ๆ โครงการ สามารถนำไปใช้เสริมความแข็งแรงของ เสา คาน แผ่นพื้นและผนัง เพื่อให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว รับน้ำหนักเพิ่มขึ้น หรือเพื่อซ่อมแซมส่วนที่เสียหาย

การนำระบบ FRP ไปใช้เพื่อต้านทานแผ่นดินไหวอย่างมีประสิทธิภาพ ต้องปฏิบัติตามออกแบบไว้สำหรับการเชื่อมยึดติดในคาน แผ่นพื้นคอนกรีต และผนัง คอนกรีตบริเวณที่จะติดตั้งระบบนี้ควรต้องมีสภาพที่สมบูรณ์ โดยการเตรียมพื้นผิวของคอนกรีตที่จะซ่อมแซมควรให้เป็นไปตามข้อกำหนดใน ACI 546R Section 2.3.

5.6.4 มาตรฐาน

สมบัติของวัสดุเป็นไปตาม ASTM (ACI 440.3R) ส่วนเกณฑ์การยอมรับสำหรับการใช้งานของระบบ FRP รวมถึงข้อกำหนดสำหรับการทดสอบ วิธีการออกแบบ การทดสอบความคงทน และการควบคุมคุณภาพการติดตั้ง ควรเป็นไปตาม ICBO AC125 ระบบของผู้ผลิตควรเป็นไปตามข้อกำหนดตามที่มีการระบุใน ACI 546R

ส่วนที่ 6 ปัจจัยในการเลือกใช้วัสดุในงานซ่อมแซม

เนื่องจากวัสดุซ่อมแซมคอนกรีตนั้นมีหลายชนิด ทั้งแบบธรรมดาทั่วไป และแบบพิเศษ ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการ ความเสียหายที่เกิดขึ้น สมบัติขององค์อาคารเดิม ลักษณะการใช้งาน และสิ่งแวดล้อมของโครงสร้าง ผู้ผลิตวัสดุซ่อมแซมควรให้ข้อมูลสมบัติของวัสดุด้านการยึดเกาะและกำลังอัด ซึ่งเป็นสมบัติทั่วไปของวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม อย่างไรก็ตาม สมบัติอื่น ๆ ที่มีความจำเป็นต้องพิจารณาประกอบ มีดังต่อไปนี้

6.1 เสถียรภาพด้านขนาด (dimensional stability)

วัสดุในงานซ่อมแซมนอกจากจะต้องมีกำลังและความทึบแน่นเป็นสมบัติหลักแล้ว จำเป็นที่จะต้องมีเสถียรภาพในด้านมิติด้วย ความสามารถในการยึดเกาะจะเป็นตัวทำให้วัสดุซ่อมแซมและคอนกรีตมีสภาพเหมือนวัตถุชิ้นเดียวกัน หากวัสดุซ่อมแซมและคอนกรีตไม่สามารถรักษาสภาพความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันไว้ได้ ย่อมเกิดความเสียหายขึ้นก่อนเวลาอันควร เนื่องจากวัสดุซ่อมแซมที่ทำจากปูนซีเมนต์จะมีการหดตัวหลังจากใช้งาน ในขณะที่คอนกรีตเดิมซึ่งใช้งานมานานแล้วแทบจะไม่มีการหดตัวเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมจึงจำเป็นต้องมีการหดตัวที่ต่ำมาก ๆ หรือต้องสามารถที่จะหดตัวได้ในขณะที่ไม่เสียการยึดเกาะ ทั้งนี้การหลีกเลี่ยงการสูญเสียการยึดเกาะเนื่องจากการหดตัว สามารถทำได้ 2 แนวทางด้วยกัน คือ

1) ใช้วัสดุซ่อมแซมที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ หรือใช้วัสดุและวิธีการซ่อมแซมที่ทำให้เกิดการหดตัวต่ำที่สุด
2) ใช้ปูนซีเมนต์ขยายตัว หรือสารเพิ่มการขยายตัว

6.2 สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ (coefficient of thermal expansion)

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ คือ การเปลี่ยนแปลงความยาวของวัสดุที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ขนาดการยืดหรือหดตัวของวัสดุจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์นี้ เมื่อมีการซ่อมแซมโดยการปะหรือการเททับที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่หรือลึก โดยต้องเผชิญกับสภาวะอุณภูมิที่เปลี่ยนแปลงมากในช่วงการใช้งานองค์อาคารหรือโครงสร้างนั้น มีความจำเป็นมากที่ต้องพิจารณาเลือกใช้วัสดุซ่อมแซมที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีตเดิม มิฉะนั้นจะทำให้เกิดการวิบัติขึ้นในแนวรอยต่อของการซ่อมแซม หรือในวัสดุที่มีกำลังต่ำกว่าใกล้แนวรอยต่อนั้น

6.3 การหดตัวแห้ง (drying shrinkage)

เนื่องด้วยการซ่อมแซมส่วนใหญ่จะกระทำบนคอนกรีตเดิมที่ไม่เกิดการหดตัวแล้ว ดังนั้นวัสดุซ่อมแซมควรมีการหดตัวต่ำเพื่อไม่ให้เกิดการวิบัติของการยึดเกาะบริเวณแนวรอยต่อของการซ่อมแซม วิธีการควบคุมให้วัสดุซ่อมแซมหดตัวน้อย เช่น ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ (กรณีวัสดุซ่อมแซมมีปูนซีเมนต์ และวัสดุประสานชนิดวัสดุซีเมนต์ เป็นส่วนผสมหลัก) ใช้ขนาดและปริมาณของมวลรวมหยาบให้มากที่สุด ใช้สารลดการหดตัวหรือสารขยายตัว และใช้วิธีการซ่อมแซมที่มีโอกาสเกิดการหดตัวได้น้อยที่สุด การซ่อมแซมที่มีความหนาน้อยกว่า 40 มม. (ACI 546R-04) ด้วยวัสดุซีเมนต์จะมีโอกาสเกิดการหดตัวได้สูงมาก ซึ่งโดยทั่วไปโอกาสในการหดตัวจะสูงขึ้นเมื่อความหนาของชั้นวัสดุซ่อมแซมลดลง (ACI 546R-04) การบ่มที่ดีจะสามารถช่วยลดการหดตัวแห้งได้

6.4 โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity)

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุเป็นการวัดค่าสติฟเนส (stiffness) ของวัสดุ วัสดุที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำจะมีการเสียรูปมากกว่าวัสดุที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูง เมื่อวัสดุเชื่อมต่อกันและมีค่าโมดูลัสแตกต่างกันมากจะทำให้เกิดการเสียรูปที่แตกต่างกันมากโดยเฉพาะเมื่อเกิดแรงกระทำในทิศทางขนานกับแนวการยึดเกาะ วัสดุที่มีค่าโมดูลัสต่ำมีการเสียรูปมากทำให้แรงกระทำจะถูกถ่ายไปยังวัสดุที่มีค่าโมดูลัสสูง และอาจก่อให้เกิดการสูญเสียกำลังยึดเกาะระหว่างวัสดุที่มีค่าโมดูลัสแตกต่างกันได้ นอกจากนี้การสูญเสียกำลังยึดเกาะระหว่างวัสดุที่มีค่าโมดูลัสแตกต่างกันอาจเกิดจากการหดตัวหรือการขยายตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังนั้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุซ่อมแซมควรใกล้เคียงกับของคอนกรีตเดิม ในกรณีการซ่อมแซมส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างหลักที่ไม่ต้องการให้วัสดุซ่อมแซมรับกำลัง หรือการซ่อมแซมแบบป้องกัน การใช้วัสดุซ่อมแซมที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำจะสามารถช่วยลดหน่วยแรงดึงที่เกิดจากการหดตัวแบบแห้งที่ถูกยึดรั้งได้

6.5 ความสามารถในการซึมผ่านได้ (permeability)

ความสามารถในการซึมผ่านได้ หมายถึง ความสามารถของวัสดุในการที่จะส่งผ่านของเหลว ก๊าซ หรือไอน้ำ คอนกรีตที่มีคุณภาพดีควรมีสมบัติในการซึมผ่านได้ที่ต่ำ การใช้วัสดุซ่อมแซมที่มีความทึบน้ำสูงในงานซ่อมแซมขนาดใหญ่ งานเททับหรืองานเคลือบ ไอของความชื้นที่ซึมผ่านคอนกรีตเดิมขึ้นมาจะถูกกักไว้ที่บริเวณรอยต่อบริเวณผิวของคอนกรีตเดิมกับวัสดุซ่อมแซม ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นบริเวณแนวรอยต่อได้ หรืออาจทำให้บริเวณรอยต่ออิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งทำให้เสี่ยงต่อความเสียหายที่เกิดจากวัฏจักรการแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำได้ หากโครงสร้างนั้นอยู่ในเขตประเทศที่สภาพอากาศหนาวจัด

6.6 ความเข้ากันได้ของสมบัติทางเคมี (chemical compatibility)

ในสภาวะปกติ pH ของคอนกรีตจะมีค่าประมาณ 12 หรือสูงกว่า ซึ่งการอยู่ในสภาวะด่างสูงนั้นจะช่วยในการปกป้องเหล็กเสริมต่อการกัดกร่อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมคาร์บอเนชั่น ดังนั้น วัสดุเคลือบผิวกับวัสดุซ่อมแซมที่มีความเป็นด่างต่ำถึงปานกลาง จึงอาจไม่ได้ช่วยเพิ่มความสามารถในการป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมภายในคอนกรีตเดิมมากนัก ในการเลือกวัสดุซ่อมแซมควรคำนึงถึงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างวัสดุซ่อมแซมกับคอนกรีตเดิมที่อาจมีผลต่อความเป็นด่างในคอนกรีตด้วย ดังนั้นหากจำเป็นต้องใช้วัสดุซ่อมแซมเหล่านี้ อาจจำเป็นต้องใช้ระบบป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมควบคู่กันไปด้วย เช่น วิธีการป้องกันคาโธดิก (Cathodic protection) หรือการเคลือบเหล็กเสริม ทั้งนี้ควรคำนึงถึงค่าใช้จ่ายและประโยชน์ที่จะได้รับของแต่ละวิธีเพื่อใช้ในการตัดสินใจ ในบางกรณีวัสดุซ่อมแซมอาจจะไม่สามารถยึดติดได้กับวัสดุกันซึมที่ติดตั้งหลังจากซ่อมแซม จึงควรเลือกความเข้ากันได้ของวัสดุทั้งสองให้ดี

6.7 สมบัติทางไฟฟ้า (electrical properties)

ความต้านทานไฟฟ้าหรือเสถียรภาพทางไฟฟ้าของวัสดุซ่อมแซมอาจมีผลต่อความคงทนของวัสดุซ่อมแซมและคอนกรีตที่ได้รับการซ่อมแซมแล้ว วัสดุซ่อมแซมที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูงหรือไม่นำไฟฟ้าจะแยกพื้นที่ซ่อมแซมออกจากพื้นที่คอนกรีตรอบ ๆ ที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำ เมื่อวัสดุซ่อมแซมและคอนกรีตเดิมมีความทึบน้ำ หรือปริมาณคลอไรด์ที่แตกต่างกัน อาจส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมเพิ่มสูงขึ้น และก่อให้เกิดความเสียหายก่อนเวลาอันควรบริเวณรอบ ๆ พื้นที่ซ่อมแซม หรือที่เรียกว่า Anodic ring หรือ Halo effect (อ้างอิง ACI 546R-04)

การเลือกใช้วัสดุซ่อมแซมควรคำนึงถึงเงื่อนไขการใช้วัสดุซ่อมแซม วิธีการซ่อมแซม และการใช้งานหลังการซ่อมแซม โดยทั่วไปในแต่ละโครงการจะมีเงื่อนไขและความต้องการเฉพาะ เมื่อพิจารณาข้อมูลทั้งหมดแล้วจึงสามารถกำหนดข้อกำหนดและเกณฑ์สำหรับการซ่อมแซม และสามารถเลือกวัสดุซ่อมแซมที่เหมาะสมได้ โดยทั่วไปจะมีวัสดุซ่อมแซมมากกว่าหนึ่งชนิดที่ให้ประสิทธิผลเท่า ๆ กัน การเลือกใช้วัสดุซ่อมแซมในขั้นตอนสุดท้ายจะพิจารณาถึงปัจจัยโดยรวม เช่น ความสะดวกในการใช้งาน ราคา อุปกรณ์และทักษะของช่าง ทั้งนี้ถ้าการวิบัติของบริเวณที่ซ่อมแซมสามารถก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สิน เช่น การซ่อมแซมผนัง ควรพิจารณาการติดตั้งสมอยึดให้เหมาะสมและเพียงพอ

6.8 สีและลักษณะของพื้นผิว

สำหรับการซ่อมแซมงานสถาปัตยกรรม สีและลักษณะพื้นผิวของวัสดุซ่อมแซมไม่ควรแตกต่างจากพื้นผิวเดิมโดยรอบ ดังนั้นจึงควรมีการทดสอบโดยการจำลองงานจริงเพื่อเปรียบเทียบที่หน้างานก่อนลงมือปฏิบัติในพื้นที่จริง

6.9 สภาพการทำงานจริงในสนาม (application of service conditions)

แนวทางในการเลือกวัสดุ นอกจากการพิจารณาสมบัติด้านต่าง ๆ ของวัสดุแล้ว ควรพิจารณาสภาพการใช้งานประกอบกันด้วย ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำงานและสภาพการทำงานเป็นข้อมูลสำคัญ รวมถึงรายละเอียดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจะต้องมีการประเมินเพื่อให้สามารถพิจารณาเลือกวัสดุได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้มีข้อแนะนำที่จะต้องคำนึงถึงในการเลือกวัสดุซ่อมแซม ดังนี้

1) พอลิเมอร์บางประเภทจะไม่สามารถยึดเกาะกับพื้นผิวที่มีความเปียกชื้นได้ดีนัก
2) อุณหภูมิขณะที่ทำงานมีผลต่อระยะเวลาการก่อตัวของวัสดุซ่อมแซม ไม่ว่าจะเป็นวัสดุประเภทซีเมนต์หรือวัสดุประเภทพอลิเมอร์
3) การระบายอากาศของพื้นที่ทำงานมีความสำคัญ เนื่องจากวัสดุบางประเภทจะมีสารที่ระเหยเป็นไอ ผู้ปฏิบัติงานจึงต้องระมัดระวังผลกระทบดังกล่าว รวมถึงความปลอดภัยที่อาจเกิดจากการวาบไฟของสารระเหย
4) การซ่อมแซมที่ทำในแนวดิ่งต้องใช้ วัสดุที่ไม่เกิดการย้อย (non-sag)
5) ระยะเวลาที่กลับมาใช้งานโครงสร้าง หากต้องการกลับมาใช้งานใหม่ในระยะเวลาอันรวดเร็ว จำเป็นต้องใช้วัสดุที่สามารถพัฒนากำลังได้อย่างรวดเร็ว
6) การสัมผัสกับสารเคมี กรดและซัลเฟตจะทำอันตรายต่อวัสดุประเภทคอนกรีต ส่วนตัวทำละลายที่เข้มข้นจะทำให้วัสดุประเภทพอลิเมอร์อ่อนตัว
7) วัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมผิวจราจรจะต้องเป็นวัสดุที่มีความต้านทานต่อการขัดสีสูง
8) พิจารณาความสามารถในการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม เพื่อให้วัสดุทั้งสองสามารถรับแรงได้ร่วมกันตามสมมติฐานในการออกแบบ
9) อุณหภูมิใช้งานสูงสุดและต่ำสุด การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงใช้งานจะใช้ในการวิเคราะห์การขยายหรือการหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและขนาดของหน่วยแรงที่เกิดขึ้น
10) แรงสั่นสะเทือนจะทำให้วัสดุเปราะเกิดความเสียหายได้
11) สภาพภายนอกที่ต้องการ สีและความเรียบของวัสดุซ่อมแซม ควรดูกลมกลืนกับคอนกรีตเดิม
12) อายุของการซ่อมแซมจะเป็นตัวกำหนดราคาและความซับซ้อนในการทำงานซ่อมแซม

บรรณานุกรม

- American Concrete Institute (ACI), “Guide for the Use of Silica Fume in Concrete (ACI 234R)”, 2006.
- American Concrete Institute (ACI), “Self-Consolidating Concrete (ACI 237R-07) ", 2007.
- American Concrete Institute (ACI), “Guide for Measuring. Mixing, Transporting, and Placing Concrete (ACI 304R)”, 1989.
- American Concrete Institute (ACI), “Guide for the Use of Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete Applications (ACI 304.1R)”, 1997.
- American Concrete Institute (ACI), “Guide to Placing Concrete by Pumping Methods (ACI 304.2R)”, 2017.
- American Concrete Institute (ACI), “Batching, Mixing, and Job Control of Lightweight Concrete (ACI 304.5R)”, 1991.
- American Concrete Institute (ACI), “Guide for Use of Volumetric-Measuring and Continuous-Mixing Concrete Equipment (ACI 304.6R)”, 2009.
- American Concrete Institute (ACI), “Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures (ACI 440.3R)”, 2012.
- American Concrete Institute (ACI), “Guide to Shotcrete (ACI 506R)”, 2016.
- American Concrete Institute (ACI), “Guide to Fiber-Reinforced Shotcrete (ACI 506.1R)”, 2008.
- American Concrete Institute (ACI), “Specification for Shotcrete (ACI 506.2)”, 2014.
- American Concrete Institute (ACI), “Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.3R)”, 2008.
- American Concrete Institute (ACI), “Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.4R)”, 2002.
- American Concrete Institute (ACI), “Guide to Concrete Repair (ACI 546R)”, 2014.
- American Concrete Institute (ACI), “Concrete Repair Guide (ACI 546R-04)”, 2017.

- American Concrete Institute (ACI), “Guide to Underwater Repair of Concrete (ACI 546.2R)”, 2010.
- American Concrete Institute (ACI), “Guide for the Use of Polymers in Concrete (ACI 548.1R)”, 2009.
- American Concrete Institute (ACI), “Report on Ferrocement (ACI 549R)”, 2018.
- American Concrete Institute (ACI), “Design Guide for Ferrocement (ACI 549.1R)”, 2018.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Steel Bars for Concrete Reinforcement (ASTM A767)”, 2016.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars (ASTM A775)”, 2017.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Practice for Repair of Damaged and Uncoated Areas of Hot-Dip Galvanized Coatings (ASTM A780)”, 2015.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Latex Agents for Bonding Fresh To Hardened Concrete (ASTM C1059)”, 2013.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Packaged Dry, Hydraulic-Cement Grout (Nonshrink) (ASTM C1107)”, 2017.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete (ASTM C1116)”, 2015.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration (ASTM C1202)”, 2019.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures (ASTM C1240)”, 2015.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Latex and Powder Polymer Modifiers for use in Hydraulic Cement Concrete and Mortar (ASTM C1438)”, 2017.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Test Methods for Evaluating Latex and Powder Polymer Modifiers for use in Hydraulic Cement Concrete and Mortar (ASTM C1439)”, 2013.

- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Packaged, Dry, Combined Materials for Concrete and High Strength Mortar (ASTM C387)”, 2017.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals (ASTM C672)”, 2012.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Concrete Made by Volumetric Batching and Continuous Mixing (ASTM C685)”, 2017.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Test Method for Restrained Expansion of Expansive Cement Mortar (ASTM C806)”, 2018.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Expansive Hydraulic Cement (ASTM C845)”, 2018.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Test Method for Restrained Expansion of Shrinkage-Compensating Concrete (ASTM C878)”, 2014.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete (ASTM C881)”, 2015.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Packaged, Dry, Rapid-Hardening Cementitious Materials for Concrete Repairs (ASTM C928)”, 2013.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Grout Fluidifier for Preplaced-Aggregate Concrete (ASTM C937)”, 2016.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Practice for Proportioning Grout Mixtures for Preplaced-Aggregate Concrete (ASTM C938)”, 2016.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Ready-Mixed Concrete (ASTM C94)”, 2018.
- Holland, T. C., and Gutschow, R. A., “Erosion Resistance with Silica-Fume Concrete”, Concrete International V.9.3, 1987, pp. 32-40.

- ICC (ICBO) Evaluation Service (AC125) 2003, “Interim Criteria for Concrete and Reinforced and Unreinforced Masonry Strengthening Using Fibre-Reinforced Polymer (FRP)”, composite system: 3-10: California: USA.
- Ozyildirim, C., “High-Performance Concrete for Transportation Structures”, Concrete International, V. 15.1, 1993, pp. 33-38.
- Pan, Y. G., and Watson, A. J.. “Interaction between Concrete Cladding Panels and Fixings under Blast Loading”, Cement and Concrete Composites, V. 18.5, 1996, pp. 323-332.
- Pfeifer, D. W., Landgren, J. R., and Zoob, A., “Protective Systems for New Prestressed and Substructure Concrete”. Final Report. No. FHWA/RD-86/193. 1987.
- U.S. Army Corps of Engineers. “Engineering and Design: Evaluation and Repair of Concrete Structures”, Engineer Manual 1110-2-2002, Washington, D.C. 1995.
- กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานการทดสอบหาขนาดคละของมวลรวม (มยผ. 1201-50)”
- กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานการทดสอบน้ำสำหรับผสมคอนกรีต (มยผ. 1212-50)”
- กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย (มยผ. 1508-51)”
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, “เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต: เหล็กเส้นกลม (มอก. 20-2543)”
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, “เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต: เหล็กข้ออ้อย (มอก. 24-2548)”
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, “ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติดเสริมคอนกรีต (มอก. 737-2549)”
- มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, “มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก (วสท. 1008-38)”

ภาคผนวก

ตัวอย่างวิธีการซ่อมแซม

ตัวอย่างที่ 1 การเติมเต็มด้วยวัสดุยืดหยุ่น

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
สาเหตุความเสียหาย	Thermal cracking เนื่องจากมีการปรับเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีตจากส่วนผสมที่ได้ออกแบบไว้ ทำให้คอนกรีตมีอุณหภูมิสูงกว่าที่ได้ประเมินไว้	-
รูปแบบความเสียหาย	ผิวคอนกรีตแตกร้าว (ตัวอย่างตามรูปที่ 1, 2 และ 3)	 รูปที่ 1 รูปที่ 2 รูปที่ 3
ความรุนแรงของความเสียหาย	ระดับ 2	-
สภาพแวดล้อม	อยู่บนดินเมื่อใช้งาน	-
อายุการใช้งาน	เพิ่งก่อสร้างเสร็จ	-
หลักการซ่อมแซม	ซ่อมแซมรอยร้าว	-

ตัวอย่างที่ 1 การเติมเต็มด้วยวัสดุยืดหยุ่น (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
วิธีการซ่อมแซม	สำหรับรอยร้าวที่มีความกว้างรอยร้าวไม่เกิน 0.3 มม. ไม่ต้องซ่อมแซม (ขนาดความกว้างรอยร้าวที่ยอมให้ได้ในโครงสร้างบนดินตามมาตรฐาน ACI 224R) ในกรณีความกว้างรอยร้าวเกินกว่า 0.3 มม. การซ่อมแซมรอยร้าวกระทำโดยการฉีดวัสดุเติมเต็มรอยร้าวที่มีความยืดหยุ่นเพื่อกันน้ำ และคลอไรด์จากภายนอกที่อาจทำให้เหล็กเสริมในโครงสร้างเป็นสนิม และใช้วัสดุซ่อมแซมที่มีความยืดหยุ่นสูงในการปิดรอยร้าวที่ผิว	-
ขั้นตอนการซ่อมแซม	1) ทำความสะอาดผิวของฐานรากที่จะทำการซ่อมแซมรอยร้าวให้ปราศจากฝุ่นผง คราบน้ำมันหรือคราบจารบี หรือคราบสกปรกอื่น ๆ ที่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของงานซ่อมแซม 2) เซาะร่องคอนกรีตตามแนวรอยร้าว โดยมีความกว้างการเซาะร่องประมาณ 8 – 12 มม. และมีความลึกไม่น้อยกว่าความกว้างที่ผิว ตามแนวรอยร้าวที่จะดำเนินการซ่อมแซม 3) ทำความสะอาดร่องที่เซาะโดยการฉีดน้ำหรืออากาศด้วยแรงดัน หรือวิธีการอื่น ๆ เพื่อให้ไม่มีสิ่งอุดตันคงค้างอยู่ในรอยร้าว โดยการทำความสะอาดนั้นจะต้องไม่ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพของการซ่อมแซมรอยร้าว 4) ติดตั้งอุปกรณ์เพื่อฉีดวัสดุเติมเต็มรอยร้าว (crack-filling material) ตามตำแหน่งที่กำหนด รักษาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์แต่ละจุดให้มั่นใจได้ว่าวัสดุเติมเต็มรอยร้าวจะสามารถเติมเต็มรอยร้าวได้ด้วยเครื่องมือฉีดที่ใช้	-

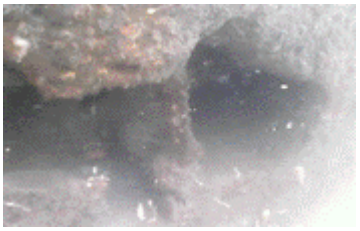
ตัวอย่างที่ 1 การเติมเต็มด้วยวัสดุยืดหยุ่น (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
	5) ปิดผิวรอยร้าวกันรั่ว (crack sealing) ด้วยการเติมเต็มร่อง (groove) ด้วยวัสดุเติมเต็มรอยร้าว โดยจะต้องดำเนินการอย่างระมัดระวังให้วัสดุดังกล่าวเติมเต็มร่องอย่างสมบูรณ์ มีการยึดเกาะกับคอนกรีตได้ดี และสามารถกันการรั่วของวัสดุเติมเต็มรอยร้าวระหว่างการฉีดได้ 6) เตรียมวัสดุเติมเต็มรอยร้าวตามมาตรฐานวิธีการที่ผู้ผลิตกำหนด เพื่อให้คุณภาพของวัสดุซ่อมแซมเป็นไปตามที่กำหนดและเหมาะสมต่อการซ่อมแซมรอยร้าว 7) ฉีดวัสดุซ่อมแซมเข้าไปในรอยร้าวด้วยเครื่องมือเฉพาะที่สามารถใช้ความดันที่เหมาะสมไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง โดยฉีดเป็นระยะเวลาเพียงพอที่จะทำให้วัสดุซ่อมแซมเติมเต็มรอยร้าว และการฉีดรอยร้าวจะต้องดำเนินการไล่เป็นตำแหน่งไปในทิศทางเดียวกัน เพื่อให้อากาศที่อยู่ในรอยร้าวไม่ถูกกักไว้ในรอยร้าว ซึ่งจะทำให้วัสดุซ่อมแซมไม่สามารถเติมเต็มรอยร้าวส่วนดังกล่าวได้ ในกรณีที่ซ่อมแซมผิวคอนกรีตแนวตั้งให้ทำการฉีดวัสดุเติมเต็มรอยร้าวจากด้านล่างขึ้นด้านบน 8) เก็บอุปกรณ์เพื่อฉีดรอยร้าวและถอดอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพื่อฉีดวัสดุเติมเต็มรอยร้าวออก 9) ซ่อมแซมผิวโครงสร้างในตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ฉีดวัสดุเติมเต็มรอยร้าว 10) บ่มวัสดุซ่อมแซมให้พัฒนาสมบัติได้อย่างเหมาะสม ตามที่ผู้ผลิตวัสดุได้กำหนดไว้	

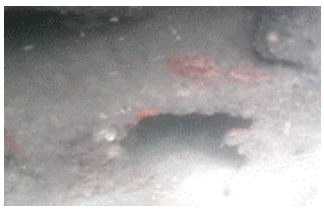
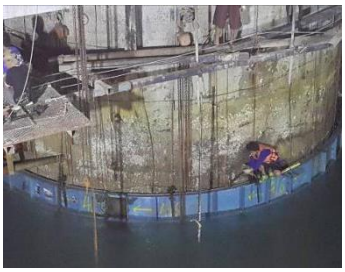
ตัวอย่างที่ 1 การเติมเต็มด้วยวัสดุยืดหยุ่น (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
วัสดุ	เนื่องจากขนาดความกว้างรอยร้าวไม่ได้มีผลต่อการรับน้ำหนักของฐานราก จึงเลือกใช้ใช้วัสดุซ่อมแซมที่มีความยืดหยุ่นสูงในการปิดรอยร้าวที่ผิว	จุดประสงค์หลักในการซ่อมแซมคือลดโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในอนาคต
การควบคุมคุณภาพ	การซ่อมแซมรอยร้าวจะต้องดำเนินการอย่างระมัดระวังและเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยวัสดุซ่อมแซมจะต้องสามารถเติมเต็มรอยร้าวได้เป็นระยะลึกไม่น้อยกว่า 30 ซม.จากผิวของฐานราก ยกเว้นหากความกว้างรอยร้าวที่ลึกลงไปเล็กจนไม่สามารถเติมเต็มได้	-
ข้อควรระวัง	-	-

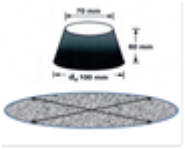
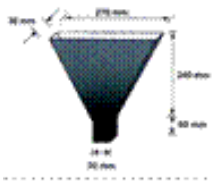
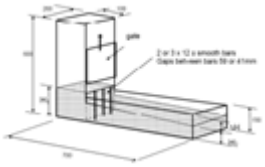
ตัวอย่างที่ 2 การซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตใต้น้ำทะเล

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
สาเหตุความเสียหาย	การเป็นสนิมของท่อเหล็กหุ้มหินถม และแรงกระแทกจากคลื่น	
รูปแบบความเสียหาย	ท่อเหล็กหุ้มหินถมเป็นสนิมในสิ่งแวดล้อมทะเล พบโพรงขนาดใหญ่ในเสารับอาคาร เนื่องจากหินถมไหลออกมา	 รูปที่1 โพรงในเสารับอาคาร รูปที่ 2 ความเสียหายของท่อเหล็กหุ้มหินถมรับอาคาร
ความรุนแรงของความเสียหาย	ระดับ 3	ความคงทน และความสามารถใช้งานได้ **ไม่ผ่าน** แต่ความปลอดภัย **ผ่าน**
สภาพแวดล้อม	3ก, 3ข และ 3ค	กลางทะเล มีคลื่นรุนแรงมาก
อายุการใช้งาน	มากกว่า 40 ปี	-
หลักการซ่อมแซม	เทคอนกรีตใหม่หุ้มโครงสร้างเดิมเพื่อป้องกันการเกิดสนิมเหล็กเสริม และการทำลายจากคลื่นทะเล	-

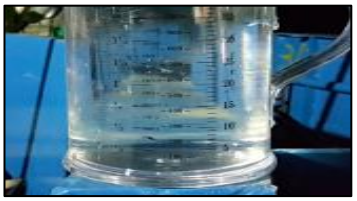
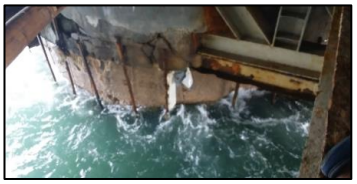
ตัวอย่างที่ 2 การซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตใต้น้ำทะเล (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
วิธีการซ่อมแซม	ติดตั้งแบบหล่อเหล็กรอบเสา และเทคอนกรีตพิเศษสำหรับเทใต้น้ำ รวมถึงเสริมตะแกรง geogrid ที่ไม่ใช่เหล็ก (ไม่เป็นสนิม) แทนเหล็กเสริมเพื่อป้องกันการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว	-
ขั้นตอนการซ่อมแซม	จากสภาพความเสียหายของท่อเหล็กหุ้มหินถมเดิม สภาพเหล็กเป็นสนิมผุกร่อนทะลุ 1) ทำการขูดลอกสิ่งแปลกปลอม (เช่น จำพวกเพรียง) ที่ยึดเกาะออกจนถึงผิวเหล็ก 2) ทำการเจาะยึด Stud bolt stainless (แนะนำระยะ 1.0x1.0 ตร.ม.) แล้วเสริมตะแกรง geogrid (ใช้ geogrid ชนิด polyester เคลือบ polymer) 3) ทำการเข้าแบบเพื่อการเทคอนกรีต (ใช้คอนกรีตพิเศษสำหรับเทใต้น้ำ) ต่อไป	 รูปที่ 3 ความเสียหายของท่อเหล็กหุ้มหินรับอาคาร รูปที่ 4 การขูดลอกสิ่งแปลกปลอมที่ยึดเกาะ  รูปที่ 5 ท่อเหล็กหุ้มหินหลังจากเทคอนกรีตหุ้มโดยรอบ

ตัวอย่างที่ 2 การซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตใต้น้ำทะเล (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
วัสดุ	คอนกรีตพิเศษสำหรับเทใต้น้ำโดยไม่เกิดการชะล้างวัสดุประสาน (anti-washout underwater concrete) และตะแกรง geogrid	เลือกใช้คอนกรีตพิเศษสำหรับเทใต้น้ำ เนื่องจากต้องการเทคอนกรีตใต้น้ำทะเลโดยตรง โดยไม่ต้องการสูบน้ำบริเวณที่ต้องการเทออก เนื่องจากไม่คุ้มค่าที่จะสูบน้ำออก และหากใช้คอนกรีตธรรมดาจะไม่สามารถเทใต้น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีคลื่นรุนแรงในกรณีนี้
การควบคุมคุณภาพ	เนื่องจากการเทคอนกรีตใต้น้ำในงานนี้ ไม่สามารถจี้เขย่าคอนกรีตได้ จึงต้องควบคุมคุณภาพคอนกรีตโดยใช้หลักการของคอนกรีตไหลเข้าแบบเอง (self-compacting concrete) เช่น การวัดการแผ่ การไหลผ่าน V-lot และการไหลผ่านสิ่งกีดขวางโดย L-box โดยเพิ่มเติมการตรวจสอบความต้านทานการชะล้างวัสดุประสานด้วยการลองใส่คอนกรีตลงไปในภาชนะใสเพื่อตรวจสอบความต้านทานการชะล้างวัสดุประสาน	  รูปที่ 6 การทดสอบการไหลแผ่  รูปที่ 7 การทดสอบการไหลผ่าน V-lot  รูปที่ 8 การทดสอบการไหลผ่านสิ่งกีดขวางโดย L-box

ตัวอย่างที่ 2 การซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตใต้น้ำทะเล (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
		 รูปที่ 9 การทดลองใส่คอนกรีตลงไปในภาชนะใส เพื่อตรวจสอบความต้านทานการชะล้างวัสดุประสาน
ข้อควรระวัง	1) คอนกรีตชนิดพิเศษต้องการ know how ในการออกแบบ และกำหนดส่วนผสม รวมถึงมีการใช้สารเคมีผสมเพิ่มชนิดพิเศษที่ไม่เคยใช้มาก่อนในประเทศ 2) ต้องมีการออกแบบให้มีการหดตัวน้อย และใช้วัสดุตะแกรง geogrid ที่ไม่เป็นสนิมเพื่อป้องกันการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว 3) เนื่องจากเป็นการเทในสภาวะที่มีคลื่นรุนแรง จำเป็นต้องออกแบบระบบแบบหล่อให้มีความยืดหยุ่นที่ดีเพื่อป้องกันความเสียหายของแบบหล่อจากแรงคลื่นทะเลที่รุนแรง	 รูปที่ 10 วัสดุตะแกรง geogrid  รูปที่ 11 แบบหล่อมีความยืดหยุ่นดี

ตัวอย่างที่ 3 การเติมเต็มรอยร้าว (crack Injection)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
สาเหตุความเสียหาย	ผลกระทบจากการตกกระแทกของวัสดุก่อสร้างชั้นดาดฟ้าและนั่งร้าน ต่อองค์อาคารที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ (คานชั้น 3) ทำให้ปรากฏรอยร้าวที่โครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	นั่งร้านพังขณะทำการเทพื้นคอนกรีต
รูปแบบความเสียหาย	เกิดรอยร้าวที่คานในแนวตั้งฉากบริเวณกึ่งกลางคาน เนื่องจากแรงดัด และแนวเอียง 45 องศา บริเวณใกล้จุดรองรับ เนื่องจากแรงดัดและแรงเฉือน	 รูปที่ 1 รอยร้าว
ความรุนแรงของความเสียหาย	ระดับ 2	รอยร้าวเกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่คาดไม่ถึง (accidentals load) องค์อาคารสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ดังเดิม แต่จะมีปัญหาด้านความคงทนเนื่องจากรอยร้าวที่เกิดขึ้นในองค์อาคาร
สภาพแวดล้อม	ทั่วไป ไม่มีความรุนแรง	-
อายุการใช้งาน	น้อยกว่า 1 ปี	เสียหายระหว่างการก่อสร้าง

ตัวอย่างที่ 3 การเติมเต็มรอยร้าว (crack Injection) (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
หลักการการซ่อมแซม	ประสานรอยร้าวองค์อาคารเพื่อป้องกันความชื้น ก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ให้สัมผัสกับเหล็กเสริม เพื่อป้องกันการเกิดสนิม และชิ้นส่วนของโครงสร้างยึดประสานกลับเป็นชิ้นเดียวกัน เพื่อให้คอนกรีตรับน้ำหนักได้ดังเดิม	-
วิธีการซ่อมแซม	อัดฉีดด้วยอีพอกซีเรซิน	-
วัสดุ	สารอีพอกซีเรซินชนิดความหนืดต่ำ ประกอบด้วยสาร 2 ชนิดขึ้นไปที่ทำปฏิกิริยาแล้วทำให้เกิดเจลหรือตะกอนแข็ง มีกำลังรับน้ำหนัก ค่าโมดูลัสสูง และยึดเกาะกับคอนกรีตเดิมได้ดี	-
ขั้นตอนการซ่อมแซม	ทำความสะอาดบริเวณรอยร้าวด้วยเครื่องเป่าลม เพื่อไล่คราบสกปรก และฝุ่นละอองต่าง ๆ ที่อยู่ในรอยร้าวออก หรือล้างด้วยอะซิโตนหรือทินเนอร์	 รูปที่ 2 สภาพผิวคอนกรีตหลังทำความสะอาด

ตัวอย่างที่ 3 การเติมเต็มรอยร้าว (crack Injection) (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
	ติดตั้ง Injection Port บริเวณตามแนวรอยร้าวที่ต้องการฉีดอัดอีพอกซี ระยะห่างประมาณ 10-20 ซม.	 รูปที่ 3 การติดตั้ง Injection Port
	ฉาบปิดทับตามแนวรอยร้าวด้วยกาวอีพอกซี (epoxy adhesive) แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้กาวอีพอกซี (epoxy adhesive) แห้งแข็งตัวประมาณ 1-2 ชั่วโมง	 รูปที่ 4 การฉาบปิดรอยแตกร้าว
	ติดตั้งหัว Nipple ทองเหลืองเข้ากับหัว Injection Port เพื่อเตรียมอัดฉีดน้ำยาอีพอกซีชนิดความหนืดต่ำและเริ่มทำการอัดฉีด เข้าหัว Injector จากปลายด้านใดด้านหนึ่ง ด้วยเครื่องอัดที่สามารถปรับแรงดันได้ไม่น้อยกว่า 0.4 MPa ซึ่งเมื่อสังเกตเห็นอีพอกซีไหลล้นออกมาจึงหยุด	 รูปที่ 5 การอัดอีพอกซี

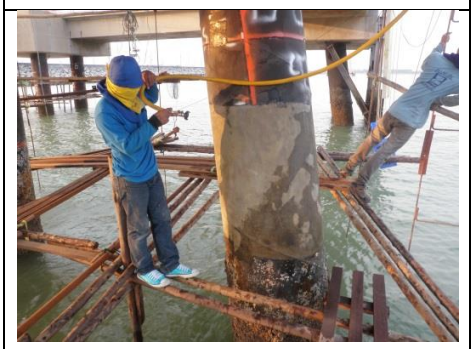
ตัวอย่างที่ 3 การเติมเต็มรอยร้าว (crack injection) (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
	บ่มอีพ๊อกซี 1-2 วัน เมื่ออีพอกซีแข็งตัวแล้วให้ทำการตัดหัว Injection Port และเจียรแต่งผิวให้เรียบร้อย ก่อนทำงานอื่นต่อไป	 รูปที่ 6 การเจียรแต่งผิวหลังตัดหัวฉีดอีพอกซี
การควบคุมคุณภาพ	- สมบัติวัสดุต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C881/C881M - การผสมวัสดุต้องได้สัดส่วนถูกต้องตามคำแนะนำของผู้ผลิต - ต้องปราศจากฝุ่น คราบน้ำมัน หรือสารที่จะส่งผลกระทบต่อการยึดเกาะ - ใช้แรงดันต่ำถึงปานกลางในการอัดฉีด - ควรฉีดจากจุดต่ำสุดจนกระทั่งล้นรูระบายจึงขยับเปลี่ยนจุดอัดฉีดขึ้น	
ข้อควรระวัง	- เหมาะกับการซ่อมแซมรอยร้าวที่มีขนาด 0.3 ถึง 3.0 มม. - ไม่เหมาะกับการซ่อมแซมรอยร้าวที่ยังคงมีการขยายตัว เนื่องจากอีพอกซีเรซินมีค่าโมดูลัสของวัสดุสูง จะทำให้เกิดรอยแตกร้าวซ้ำบริเวณที่ได้รับการซ่อมแซม - ไม่เหมาะกับการใช้งานในที่ที่คอนกรีตอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากอีพ๊อกซีจะไม่แข็งตัว	

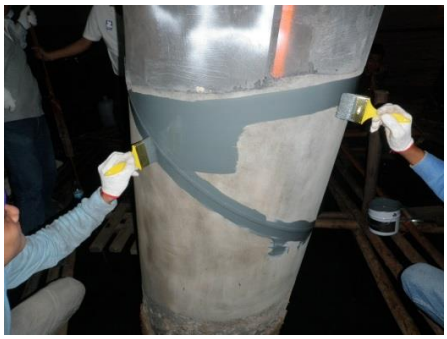
ตัวอย่างที่ 4 ทาวัสดุเคลือบผิวเหล็ก

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
สาเหตุความเสียหาย	การเกิดสนิมของโครงสร้างเหล็ก	เสาเข็มเหล็กเกิดสนิมเนื่องจากความเสียหายของวัสดุเคลือบผิวระหว่างการก่อสร้าง
รูปแบบความเสียหาย	สนิมเกิดขึ้นบริเวณที่มีการซ่อมแซมวัสดุเคลือบผิวที่เสียหายระหว่างการก่อสร้าง ทั้งบริเวณเหนือระดับน้ำ และใต้น้ำ	 รูปที่ 1 สนิมบนผิวเหล็ก
ความรุนแรงของความเสียหาย	ระดับ 2	ความคงทน และความสามารถใช้งานได้ **<u>ไม่ผ่าน</u>** แต่ความปลอดภัย **<u>ผ่าน</u>**
สภาพแวดล้อม	3 – ก, ข และ ค	3. น้ำทะเล ก) ใต้น้ำ ข) เผชิญวัฏจักรเปียกสลับแห้ง ค) บรรยากาศบริเวณที่สัมผัสละอองน้ำได้
อายุการใช้งาน	-	-

ตัวอย่างที่ 4 ทาวัสดุเคลือบผิวเหล็ก (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
หลักการการซ่อมแซม	ป้องกันสารที่เป็นอันตรายต่อการเกิดสนิมของเหล็ก	- ป้องกันการสัมผัสกับน้ำ ออกซิเจน และคลอไรด์ ที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดสนิม
วิธีการซ่อมแซม	ทาวัสดุเคลือบผิวเหล็ก	- ทาวัสดุเคลือบผิวเหล็กที่มีความหนา การยึดเกาะที่ดี และมีความทึบต่อการซึมผ่านของสารที่เป็นอันตรายต่อการเกิดสนิม
วัสดุ	อีพอกซี	- อีพอกซี เป็นวัสดุที่มีความทึบน้ำสูง และมีสมบัติทางกลสูง เช่น แรงยึดเกาะ
ขั้นตอนการซ่อมแซม	- ติดตั้งปลอกกันน้ำ เพื่อสามารถซ่อมแซมโครงสร้างที่อยู่บริเวณเหนือระดับน้ำลงต่ำสุดได้ - ทำความสะอาดพื้นผิวของเหล็ก ให้มีความสะอาด ตามข้อกำหนดของวัสดุเคลือบผิวที่ใช้ - ทา หรือพ่นวัสดุเคลือบผิวให้ได้ความหนาตามกำหนด	 รูปที่ 2 ติดตั้งปลอกกันน้ำ  รูปที่ 3 ทำความสะอาดพื้นผิวของเหล็ก

ตัวอย่างที่ 4 ทาวัสดุเคลือบผิวเหล็ก (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
		 รูปที่ 4 พื้นผิวของเหล็กหลังจากทำความสะอาด  รูปที่ 5 ทา หรือพ่นวัสดุเคลือบผิว
การควบคุมคุณภาพ	- พื้นผิวของเหล็กภายหลังการทำความสะอาด - ความหนาของวัสดุเคลือบผิวในแต่ละชั้น และความหนารวมของระบบ - ตามดที่อาจเกิดขึ้น โดยเฉพาะตามแนวรอยเชื่อม พื้นผิวที่ขรุขระเนื่องจากการเกิดสนิม หรือขอบมุมต่าง ๆ	
ข้อควรระวัง	- ความสะอาดของพื้นผิวมีความสำคัญต่อแรงยึดเกาะของวัสดุ - การปนเปื้อนของคลอไรด์ระหว่างการรอการเคลือบผิว - ระยะเวลาการบ่มก่อนที่วัสดุจะสัมผัสน้ำได้ - แนวรอยเชื่อม พื้นผิวที่ขรุขระเนื่องจากการเกิดสนิม หรือขอบมุมต่าง ๆ	

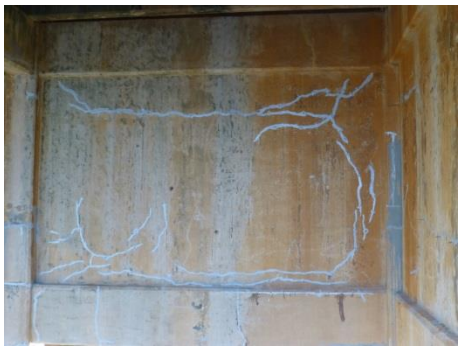
ตัวอย่างที่ 5 การเติมเต็มรอยร้าว

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
สาเหตุความเสียหาย	การเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์	ผลการตรวจวัดปริมาณคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเสริมสูงเกินกว่าค่าคลอไรด์วิกฤติ
รูปแบบความเสียหาย	เหล็กเสริมเกิดสนิมแล้ว มีรอยแตกร้าวที่ผิวคอนกรีต แต่ไม่มีการหลุดร่อนของพื้นผิว	 รูปที่ 1 เหล็กเสริมเกิดสนิม และมีรอยแตกร้าวที่ผิวคอนกรีต
ความรุนแรงของความเสียหาย	ระดับ 2	ความคงทน และความสามารถใช้งานได้ **ไม่ผ่าน** แต่ความปลอดภัย **ผ่าน**
สภาพแวดล้อม	2-ข และ/หรือ 2-ค	2. น้ำกร่อย ก) ใต้น้ำ ข) เผชิญวัฏจักรเปียกสลับแห้ง ค) บรรยากาศบริเวณที่สัมผัสละอองน้ำได้
อายุการใช้งาน	15 ปี	-
หลักการการซ่อมแซม	ป้องกันสารที่เป็นอันตรายต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริม	- เหล็กเสริมเกิดสนิมแล้ว แต่คอนกรีตเกิดการแตกร้าว พิจารณาชะลอการเกิดสนิมของเหล็กเสริม โดยลดการซึมผ่านของคลอไรด์ และน้ำ

ตัวอย่างที่ 5 การเติมเต็มรอยร้าว (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
วิธีการซ่อมแซม	การเติมเต็มรอยร้าว	- การอัดฉีดอีพ๊อกซี่เข้าไปในรอยร้าว เพื่ออุดปิดรอยร้าว และลดการซึมผ่านของคลอไรด์และน้ำ วิธีการนี้ไม่ได้หยุดการเกิดสนิม แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมต่ำ และใช้เวลาในการทำงานสั้น เพื่อวางแผนการซ่อมแซมใหญ่ในอนาคต
วัสดุ	อีพอกซี	- อีพ๊อกซี่ เป็นวัสดุที่มีการไหลตัวได้ดี ความทึบน้ำสูง และมีสมบัติทางกลสูง เช่น แรงยึดเกาะ ทำให้สามารถถ่ายแรงผ่านรอยร้าวได้ และป้องกันการซึมผ่านของน้ำ และคลอไรด์
ขั้นตอนการซ่อมแซม	ทำความสะอาดรอยร้าวด้วยลม เพื่อกำจัดฝุ่นผงที่ขัดขวางการไหลของอีพอกซี	 รูปที่ 2 ทำความสะอาดรอยร้าวด้วยลม
	ปิดผิวรอยร้าวด้วยอีพอกซี เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอีพอกซีในขั้นตอนการอัดฉีดเพื่อเติมเต็มรอยร้าว และติดตั้งหัวฉีดอีพอกซี เป็นระยะ เพื่ออัดฉีดอีพอกซีด้วยแรงดัน	 รูปที่ 3 ปิดผิวรอยร้าวด้วยอีพอกซี

ตัวอย่างที่ 5 การเติมเต็มรอยร้าว (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	หมายเหตุ
		 รูปที่ 4 ติดตั้งหัวฉีดอีพอกซี
	รอยร้าวที่ถูกเติมเต็มโดยสมบูรณ์	 รูปที่ 5 รอยร้าวที่ถูกเติมเต็มโดยสมบูรณ์
การควบคุมคุณภาพ	- รอยร้าวต้องมีความสะอาด ไม่มีเศษวัสดุกีดขวางการไหลตัวของอีพ๊อกซี - คอนกรีตต้องมีความชื้นเหมาะสมกับวัสดุที่เลือกใช้ในการเติมเต็มรอยร้าว - วัสดุต้องสามารถไหลตัวได้ดี เพื่อเติมเต็มรอยร้าวที่มีขนาดลึก และมีความลึกจากพื้นผิวมาก	

ตัวอย่างที่ 5 การเติมเต็มรอยร้าว (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด
ข้อควรระวัง	- ลำดับของตำแหน่งในการอัดฉีดรอยร้าว ควรคำนึงถึงการไหลตัวเนื่องจากแรงโน้มถ่วง เพื่อลดการกีดขวางการไหลของวัสดุในการอัดฉีดตำแหน่งต่อไป - แรงดันที่ใช้ในการอัดฉีดควรมีค่าที่เหมาะสม ไม่ก่อให้เกิดการขยายตัวของรอยร้าว - วัสดุที่เลือกใช้ ต้องมีความเหมาะสมกับความชื้นของรอยร้าว ความลึก และความกว้างของรอยร้าว - ถ้าเหล็กเสริมเกิดสนิมแล้ว วิธีการนี้ไม่ได้หยุดการเกิดสนิม เป็นเพียงการลดอัตราการเกิดสนิมลงเล็กน้อย