

# สารบัญ

	หน้า
<b>บทที่ 1 การเสื่อมสภาพของคอนกรีต</b>	<b>1-1</b>
1.1 บทนำ	1-1
1.2 คอนกรีตในสภาวะพลาสติก	1-2
1.3 คอนกรีตในสภาวะอายุเริ่มต้น	1-3
1.4 คอนกรีตในสภาวะแข็งตัวแล้ว	1-5
<b>บทที่ 2 ลักษณะความเสียหายที่พบในโครงสร้างคอนกรีต</b>	<b>2-1</b>
2.1 บทนำ	2-1
2.2 รอยแตก (Cracking)	2-2
2.3 การหลุดเซาะ (Scaling)	2-4
2.4 การหลุดแยกออกเป็นแผ่น (Delamination)	2-5
2.5 การหลุดร่อน (Spalling)	2-6
2.6 การเกิดคราบเกลือ (Efflorescence)	2-6
2.7 การเกิดรูพรุนเหมือนรวงผึ้ง (Honeycomb)	2-7
2.8 การหลุดออกเป็นเม็ดๆ (Pop-Out)	2-7
2.9 การสึกหรอ	2-8
2.10 ความเสียหายที่เกิดจากการถูกชน (Collision Damage)	2-8
2.11 การสึกกร่อน (Abrasion)	2-8
2.12 ความเสียหายที่เกิดจากการบรรทุกน้ำหนักเกิน (Overload Damage)	2-9
2.13 การเกิดสนิมในเหล็กเสริม (Reinforced Steel Corrosion)	2-9
2.14 การเสื่อมสภาพของคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Deterioration)	2-10
<b>บทที่ 3 การบำรุงรักษาโครงสร้างคอนกรีต</b>	<b>3-1</b>
3.1 บทนำ	3-1
3.2 การบำรุงรักษาพื้นผิวการจราจร	3-1
3.3 การบำรุงรักษาโครงสร้างส่วนบน	3-9
3.4 การบำรุงรักษาโครงสร้างส่วนล่าง	3-10
3.5 การบำรุงรักษาถนนช่วงคอสะพาน	3-11
3.6 การเคลือบป้องกันและปรับปรุงผิวคอนกรีต	3-13
3.7 การป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริม	3-20



	หน้า
<b>บทที่ 4 วัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม</b>	4-1
4.1 บทนำ	4-1
4.2 วัสดุประเภทซีเมนต์	4-2
4.3 วัสดุประเภทโพลีเมอร์	4-11
4.4 การเลือกใช้วัสดุ	4-13
<b>บทที่ 5 การซ่อมแซมพื้นผิวคอนกรีต</b>	5-1
5.1 บทนำ	5-1
5.2 การวิเคราะห์เทคนิควิธีและการออกแบบ (Analysis, Strategy and Design)	5-1
5.3 การคัดเลือกวัสดุสำหรับซ่อมแซม (Selection of Repair Materials)	5-5
5.4 การเตรียมพื้นผิวคอนกรีต (Surface Preparation)	5-10
5.5 การทำความสะอาดเหล็กเสริม การซ่อม และเสริมการป้องกันให้แก่เหล็กเสริม	5-16
5.6 วัสดุที่ใช้เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวให้แก่คอนกรีต	5-19
5.7 วิธีการหล่อคอนกรีต	5-21
<b>บทที่ 6 การซ่อมแซมสะพานคอนกรีตส่วนบน</b>	6-1
6.1 การปะรอยหลุดร่อนและบริเวณที่เสียหาย	6-1
6.2 การซ่อมแซมคอนกรีตอัดแรง	6-1
6.3 การดูแลและซ่อมแซมพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก	6-5
6.4 การซ่อมแซมโครงสร้างส่วนบน	6-11
6.5 การซ่อมแซมคานากล่องคอนกรีต	6-18
<b>บทที่ 7 การซ่อมแซมสะพานคอนกรีตส่วนล่าง</b>	7-1
7.1 ชนิดของความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีต	7-1
7.2 การซ่อมแซมความเสียหายของคอนกรีตในบริเวณใกล้หรือใต้ระดับน้ำ	7-5
7.3 การซ่อมแซมเสาเข็มคอนกรีต	7-9
<b>บทที่ 8 การซ่อมแซมสะพานที่รองรับ</b>	8-1
8.1 ปัญหาที่พบในที่รองรับ	8-1
8.2 การหาสาเหตุปัญหาในที่รองรับ	8-5
8.3 การซ่อมแซมความเสียหายบริเวณที่รองรับ	8-8
8.4 การเปลี่ยนที่รองรับ	8-10

## การเสื่อมสภาพของคอนกรีต

### 1.1 บทนำ

หลักการของการออกแบบโครงสร้างที่ดีคือ ออกแบบเพื่อให้ได้มาซึ่งโครงสร้างที่สามารถรับน้ำหนักออกแบบได้ตลอดอายุการใช้งานที่ต้องการ โดยปราศจากการซ่อมแซมในระดับที่เกินกว่าการคาดหมายเอาไว้ โดยปกติอายุการใช้งานที่ต้องการของโครงสร้างแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้างเช่น ขนาด ความสำคัญ สถานที่ที่โครงสร้างนั้นอยู่ และราคาของโครงสร้างนั้นๆ เช่น เขื่อน มักถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าสะพานอาคารสูง และอาคารพาณิชย์ ตามลำดับ การที่จะสามารถออกแบบให้โครงสร้างปราศจากการซ่อมแซมที่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายและปัญหาต่อเรื่องอื่นๆที่ตามมาจากการปิดการใช้งานของโครงสร้างที่จะซ่อมแซมนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงความคงทนของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างควบคู่ไปกับการออกแบบความแข็งแรงของโครงสร้างนั้นด้วย เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าการออกแบบการรับแรงของโครงสร้างคอนกรีตที่อายุโดยอายุหนึ่ง เช่น ที่อายุ 28 วัน เป็นเกณฑ์ โครงสร้างที่ออกแบบมานั้น จะรับน้ำหนักที่ออกแบบได้ตลอดไปก็ต่อเมื่อกำลังและคุณสมบัติทางกลอื่นๆของคอนกรีตไม่ลดลงไปกว่าที่อายุ 28 วัน แต่ในหลายสภาวะแวดล้อม คอนกรีตจะมีคุณสมบัติทางกลโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติการรับแรงต่ำลงไปตามกาลเวลาเนื่องจากถูกกระทำจากปัจจัยหลายอย่างในสิ่งแวดล้อม ทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และอื่นๆ ดังจะได้อธิบายรายละเอียดในบทต่อไป บางสาเหตุก็ยังเป็นผลให้เหล็กเสริมในคอนกรีตเกิดสนิมอีกด้วย

การออกแบบโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การให้รายละเอียดของเหล็กเสริมและการควบคุมการก่อสร้างก็มีผลต่ออายุของโครงสร้างเช่นเดียวกัน การให้รายละเอียดของเหล็กเสริมที่ไม่ดีโดยไม่คำนึงถึงความเป็นไปได้ในการเทคอนกรีตที่ดี การก่อสร้างที่ไม่มีการควบคุมที่ดี ปล่อยให้มีการเทคอนกรีตไม่เต็มหรือคอนกรีตหุ้มเหล็กไม่เพียงพอที่ดี ล้วนแต่นำไปสู่ปัญหาโครงสร้างคอนกรีตมีอายุการใช้งานสั้นลงกว่าที่ควรจะเป็นทั้งสิ้น

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า การออกแบบคอนกรีตที่มีพื้นฐานความคิดมาจากกำลังคอนกรีตที่อายุโดยอายุหนึ่งมีจุดด้อยตรงที่ไม่ได้คำนึงถึงการเสื่อมสภาพของคอนกรีตไปตามอายุการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง จึงนำมาสู่แนวคิดการออกแบบใหม่โดยคำนึงถึงความคงทนของคอนกรีตด้วย อย่างไรก็ตาม ก่อนที่จะสามารถออกแบบโดยแนวคิดใหม่นี้ได้ จำเป็นต้องมีความเข้าใจถึงการเสื่อมสภาพของคอนกรีตในสภาวะการใช้งานภายใต้สิ่งแวดล้อมต่างๆกันก่อน



การเสื่อมสภาพของคอนกรีตสามารถจำแนกออกได้เป็น 5 ชนิด ตามสาเหตุของการเสื่อมสภาพดังนี้

1. การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางกายภาพ (*Physical Deterioration*) ได้แก่ การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) การทรุดตัว (Settlement) การหดตัวแบบพลาสติก (Plastic Shrinkage) การแข็งตัวและเหลวของน้ำในคอนกรีต (Freezing and Thawing)
2. การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางเคมี (*Chemical Deterioration*) ได้แก่ คาร์บอนเนชั่น (Carbonation) การกัดกร่อนโดยกรด (Acid Attack) การกัดกร่อนโดยซัลเฟต (Sulfate Attack) ปฏิกริยาระหว่างด่างกับมวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction)
3. การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางกล (*Mechanical Deterioration*) ได้แก่ การขัดสี (Abrasion) การชะล้างด้วยกระแสน้ำและกระแสน้ำกรวดทราย (Erosion) และการแตกตัวของฟองอากาศในน้ำ (Cavitation)
4. การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางชีวภาพ (*Biological Deterioration*) ได้แก่ การเสื่อมสภาพโดย ตะไคร่ รา รากพืช หรือแบคทีเรียบางประเภท
5. การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุรวม (*Mixed Process*) ได้แก่ การเกิดสนิมในเหล็ก เป็นต้น

คอนกรีตสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายสภาวะตามอายุของคอนกรีตดังต่อไปนี้

1. คอนกรีตสด (*Concrete in Fresh State*) หมายถึงคอนกรีตหลังการผสมแล้วจนถึงช่วงเสร็จสิ้นการเทคอนกรีตแล้ว
2. คอนกรีตในสภาวะพลาสติก (*Concrete in Plastic State*) หมายถึงคอนกรีตหลังจากเสร็จสิ้นการเทจนถึงเวลาที่คอนกรีตก่อตัวขั้นสุดท้าย
3. คอนกรีตในสภาวะอายุเริ่มต้น (*Concrete in Early Age State*) หมายถึงคอนกรีตช่วงการก่อตัวขั้นสุดท้ายจนถึงช่วงเวลาที่คอนกรีตจะพัฒนากำลังรับแรงได้ถึงค่ากำลังที่ออกแบบไว้
4. คอนกรีตในสภาวะแข็งตัวแล้ว (*Concrete in Hardened State*) หมายถึง คอนกรีตหลังจากพัฒนากำลังได้ถึงหรือเกินค่าที่ออกแบบไปแล้ว
5. คอนกรีตในสภาวะยาวนาน (*Concrete in Long-Term State*) หมายถึง คอนกรีตในสภาวะแข็งตัวแล้วมีอายุเกินกว่าอายุที่ใช้ออกแบบกำลัง และต้องคงทนเป็นเวลายาวนานในสภาวะแวดล้อม

ปัญหาของความคงทนในคอนกรีตส่วนใหญ่มักจะเกิดกับคอนกรีตหลังจากสภาวะแข็งตัวแล้ว นั่นคือ ในสภาวะยาวนาน แต่อย่างไรก็ดี ปัญหาบางอย่างที่เกิดขึ้นกับคอนกรีตในสภาวะก่อนหน้านี้อาจสามารถนำไปสู่ปัญหาในระยะยาวได้ ดังนั้น ในหนังสือเล่มนี้จะเริ่มจากการอธิบายปัญหาของคอนกรีตตั้งแต่ในสภาวะเบื้องต้นไป จนถึงปัญหาของคอนกรีตที่เกิดขึ้นในระยะเวลาที่คอนกรีตแข็งตัวไปแล้วเป็นเวลายาวนาน

## 1.2 คอนกรีตในสภาวะพลาสติก

### 1.2.1 รอยแตกร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวของคอนกรีต (*Settlement Crack*)

รอยแตกร้าวชนิดนี้เกิดขึ้นจากการที่คอนกรีตมีการทรุดตัวที่แตกต่างกันในเนื้อคอนกรีตเอง หลังจากที่เทคอนกรีตแล้วและเทคอนกรีตยังอยู่ในสภาวะพลาสติกอยู่ อันมีสาเหตุหลายประการเช่น

- มีสิ่งกีดขวางการทรุดตัวของคอนกรีต เช่น เหล็กเสริม

- ความหนาของโครงสร้างคอนกรีตในทิศทางทฤษฎี (แนวตั้ง) แตกต่างกัน ทำให้ทฤษฎีไม่เท่ากัน
- ความเสียดทานระหว่างผนังแบบหล่อกับคอนกรีต ทำให้คอนกรีตบริเวณที่ติดกับผิวแบบหล่อทฤษฎีตัวน้อยกว่าคอนกรีตบริเวณข้างใน

### 1.2.2 รอยแตกร้าวแบบพลาสติก (Plastic Shrinkage Crack)

รอยแตกร้าวชนิดนี้เกิดจากการที่คอนกรีตสูญเสียความชื้นไปสู่สิ่งแวดล้อม โดยการระเหยของน้ำบริเวณผิวของคอนกรีตที่สัมผัสกับอากาศ ในช่วงหลังจากที่เทคอนกรีตเสร็จแล้ว จนถึงช่วงที่คอนกรีตเริ่มก่อตัว ซึ่งคอนกรีตในช่วงพลาสติก (Concrete in Plastic State)

การสูญเสียความชื้นของคอนกรีตบริเวณผิวของคอนกรีตที่สัมผัสกับอากาศ จะทำให้ช่องว่างคัปิลลารี (Capillary Pores) บริเวณผิวที่สัมผัสอากาศสูญเสียความชื้นไป เกิดแรงดึงแบบคัปิลลารี (Capillary Tension) ขึ้นพร้อมๆ กับการลดปริมาตรของคอนกรีตบริเวณที่แห้ง เมื่อแรงดึงนี้มีค่ามากกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตในช่วงพลาสติกซึ่งมีค่าต่ำมาก รอยแตกร้าวก็จะเกิดขึ้น สาเหตุและกลไกการหดตัวแบบพลาสติกและการแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวแบบพลาสติก จะมีความคล้ายคลึงกับการหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) และการแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage Crack) เพียงแต่การหดตัวแบบแห้งจะหมายถึงการหดตัวที่เกิดขึ้นหลังจากที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว การหดตัวแบบพลาสติกจะรุนแรงในสภาพอากาศร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และลมแรง การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบพลาสติกมักจะเป็นแนวขนานกันมีความยาวประมาณ 0.1 ถึง 1 เมตร และมีความลึก 25 ถึง 50 มิลลิเมตร จากผลการศึกษาพบว่า การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบพลาสติกจะเกิดขึ้นถ้าอัตราการระเหยมากกว่า 1 กก./ตร.ม./ชั่วโมง โดยประมาณ

บริเวณที่มักเกิดการแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวแบบพลาสติก ได้แก่ ผิวบนของโครงสร้างคอนกรีตที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศมาก เช่น ผิวถนน ผิวของพื้นอาคารคอนกรีต เป็นต้น

## 1.3 คอนกรีตในสภาวะอายุเริ่มต้น

### 1.3.1 การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Cracking)

การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิของคอนกรีตเป็นปัญหาสำคัญของงานคอนกรีตขนาดใหญ่ที่มีการเทคอนกรีตปริมาณมากในเวลาจำกัด ที่มักจะเรียกว่า งานคอนกรีตหยาบ (Mass Concrete) ซึ่งความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในเนื้อคอนกรีตและอุณหภูมิบรรยากาศหรือมีโครงสร้างที่ต่อยึดอยู่กับคอนกรีตที่เทใหม่ทำให้เกิดการยัดรั้ง ซึ่งการยัดรั้งนี้อาจนำไปสู่การแตกร้าวได้ โดยเฉพาะในกรณีที่คอนกรีตยังอยู่ในช่วงอายุเริ่มต้น ซึ่งมีการพัฒนากำลังไม่เต็มที่ การแตกร้าวนี้จะมีผลต่อกำลังรับแรงในระยะยาวของคอนกรีตที่เท มีผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีต (Tightness) และมีผลต่อเนื่องไปถึงความคงทนในระยะยาวด้วย โดยเฉพาะในกรณีที่โครงสร้างคอนกรีตนั้นอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง

การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (Hydration Reaction) เป็นปฏิกิริยาชนิดที่คายความร้อน (Exothermal Reaction) อีกทั้งคอนกรีตในสภาวะอายุเริ่มต้นมักมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าวจึงสะสมอยู่ในคอนกรีต เนื่องจากไม่สามารถถ่ายเทความร้อนออกไปสู่สิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าคอนกรีตเป็นไปอย่างรวดเร็ว และโครงสร้างคอนกรีตที่เทมีขนาดใหญ่



และมีความหนาแน่นมาก เมื่ออุณหภูมิของคอนกรีตเพิ่มขึ้นในระหว่างเกิดปฏิกิริยา ในช่วงที่คอนกรีตอยู่ในสภาวะพลาสติก คอนกรีตจะมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นต่ำมาก ดังนั้นหน่วยแรงจะยังไม่เกิดขึ้นในคอนกรีต トラバจนคอนกรีตเริ่มแข็งตัว ความแตกต่างของอุณหภูมิในเนื้อคอนกรีตระหว่างบริเวณภายในและบริเวณผิวของคอนกรีตหรือโครงสร้างอื่นที่ยึดรั้ง คอนกรีตนั้น จะทำให้เกิดการยัดรั้งและก่อให้เกิดหน่วยแรงดึงของคอนกรีตนั้น ก็จะทำให้เกิดรอยแตกร้าวขึ้นได้

การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากอุณหภูมินั้น สามารถเกิดได้ทั้งในช่วงที่อุณหภูมิภายในของคอนกรีตกำลัง เพิ่มขึ้นหรือกำลังลดลง ยกเว้นในกรณีที่มีการยัดรั้งโดยภายนอก เช่น ในกรณีที่มีการยัดรั้งโดยคอนกรีตเดิมที่เทไปแล้ว มักจะเกิดการแตกร้าวในช่วงที่คอนกรีตที่เทใหม่เย็นลง

นอกเหนือไปจากนี้แล้ว การที่อุณหภูมิภายในของคอนกรีตสูงกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศมาก ก็ยังสามารถ นำไปสู่การแตกร้าวบริเวณผิวคอนกรีตเนื่องจากการแห้งได้อีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากผลต่างระหว่างอุณหภูมิของคอนกรีตและ บรรยากาศมีผลต่อการระเหยของน้ำบริเวณผิวของคอนกรีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเทคอนกรีตที่มีพื้นผิวกว้างและมี อัตราการระเหยน้ำสูงกว่า 0.5 กก./ตร.ม./ชั่วโมง โดยประมาณ

โดยหลักการแล้วรอยแตกร้าวแบบนี้จะเกิดในบริเวณที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิต่อหน่วยมิติมากที่สุด ดังนั้น ส่วนมากจะเป็นบริเวณผิวหรือใกล้ผิวของคอนกรีตที่สัมผัสกับบรรยากาศ ซึ่งบางครั้งอาจจะมองไม่เห็นจากผิวภายนอกของ คอนกรีตก็ได้ หรือในกรณีที่มีสาเหตุจากการยัดรั้งจากภายนอก ก็มักจะเกิดในบริเวณรอยต่อระหว่างโครงสร้างที่ยึดรั้งอยู่ กับคอนกรีตที่เทใหม่นั้นโดยจะเกิดรอยแตกร้าวในคอนกรีตที่เทใหม่

### 1.3.2 การหดตัวแบบออโตจีเนียส (Autogenous Shrinkage)

การหดตัวของคอนกรีตมักจะเกิดขึ้นในซีเมนต์เพสต์ การหดตัวของคอนกรีตมีหลายประเภทเกิดขึ้นในช่วงเวลา ต่างๆกัน และเกิดจากสาเหตุที่แตกต่างกันไป ชนิดของการหดตัวอาจสรุปได้เป็น 4 ชนิด ดังต่อไปนี้

1. การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Chemical Shrinkage หรือ Hydration Shrinkage)
2. การหดตัวแบบออโตจีเนียส (Autogenous Shrinkage)
3. การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage)
4. การหดตัวเนื่องจากคาร์บอนเนชัน (Carbonation Shrinkage)

การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงก่อนการก่อตัวเป็นการหดตัวที่มักไม่ก่อให้เกิดผลเสียหายต่อคอนกรีต ที่แข็งตัวแล้วและมักไม่ค่อยมีผลต่อปริมาตรโดยรวมของคอนกรีต เนื่องจากจะเกิดขึ้นมากในช่วงเวลาเริ่มแรกก่อนเวลาก่อ ตัวสุดท้ายของคอนกรีต ซึ่งคอนกรีตมักจะสามารเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้โดยไม่เกิดหน่วยแรงและลักษณะของการหดตัวจะ เป็นการสร้างช่องว่างในเจล (Gel Pores) ของผลิตภัณฑ์ของไฮเดรชัน ซึ่งจะเป็นผลทางจุลภาค (Microscopic Volume Reduction) จึงไม่ค่อยมีผลต่อปริมาตรของคอนกรีตโดยรวม ดังนั้นการหดตัวประเภทนี้ในช่วงก่อนการก่อตัวของคอนกรีต จึงไม่ค่อยได้รับความสนใจมากนัก แต่ส่วนที่หดตัวหลังจากคอนกรีตก่อตัวสุดท้ายแล้ว จะเป็นปัญหาและจะคิดรวมอยู่ใน การหดตัวแบบออโตจีเนียส

การหดตัวอีก 3 แบบที่เหลือ เป็นการหดตัวชนิดที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโดยรวมของคอนกรีตซึ่งจะ นำไปสู่การแตกร้าวได้ถ้ามีการยัดรั้ง และจำเป็นต้องคำนึงถึงในการออกแบบคอนกรีตให้คงทน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหด ตัวแบบแห้ง

การหดตัวแบบอโตจีเนียสเป็นการหดตัวที่ส่วนหนึ่งเป็นการหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Chemical Shrinkage) ที่เกิดหลังจากการก่อตัวขั้นสุดท้ายของคอนกรีตรวมกับอีกส่วนหนึ่งที่เกิดจากการสูญเสียความชื้นในช่องคัปิลลารี (Capillary Pores) ในเพสต์ เนื่องจากความชื้นบางส่วนถูกใช้ไปในปฏิกิริยาระหว่างวัสดุประสานกับน้ำ ทำให้เกิด Capillary Suction นี้วัสดุประสานในที่นี้หมายความว่ารวมถึงปูนซีเมนต์และวัสดุปอซโซลานทั้งหลาย เช่น เถ้าลอย เถ้าตะกอนเตาถลุงเหล็ก และซิลิกาฟูม เป็นต้น การหดตัวแบบอโตจีเนียสแตกต่างจากการหดตัวแบบแห้งตรงที่ไม่ได้มีการสูญเสียความชื้นในคอนกรีตไปสู่สิ่งแวดล้อม แต่เป็นการสูญเสียความชื้นภายในคอนกรีตเอง การหดตัวแบบอโตจีเนียสเกิดขึ้นทันทีหลังจากผสมเสร็จ แต่ในทางปฏิบัติ จะมีผลต่อปริมาตรหลังจากที่เทคอนกรีตเสร็จแล้ว เนื่องจากการหดตัวในช่วงก่อนการเทคอนกรีตจะไม่มีผลต่อปริมาตรของโครงสร้างที่จะเท และจะมีผลในทางโครงสร้างหลังจากที่คอนกรีตก่อตัวแล้ว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรก่อนการก่อตัวจะไม่ทำให้เกิดหน่วยแรงในคอนกรีต ดังนั้นจึงนิยมวัดค่าการหดตัวแบบอโตจีเนียสโดยเริ่มต้นจากระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้น

## 1.4 คอนกรีตในสภาวะแข็งตัวแล้ว

### 1.4.1 การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage)

การหดตัวแบบแห้งเกิดจากการที่คอนกรีตอยู่ในสภาวะอากาศที่มีความชื้นต่ำ ทำให้คอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสกับอากาศสูญเสียน้ำ และเกิดการหดตัว โดยที่การหดตัวที่เกิดขึ้นนั้น บางส่วนไม่อาจกลับคืนสู่สภาพเดิมได้แม้ว่าจะทำให้คอนกรีตเปียกชื้นขึ้นมาใหม่

การหดตัวแบบแห้งและการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง มีกลไกการเกิดเช่นเดียวกับการเกิดรอยแตกแบบพลาสติก นั่นคือในคอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสกับอากาศ มีความชื้นต่ำกว่าความชื้นในช่องคัปิลลารี (Capillary Pores) มาก เนื่องจากการสูญเสียน้ำอิสระ (Free Water) ไปสู่อากาศได้ด้วยการระเหย ทำให้เกิดแรงดึงขึ้นในช่องว่างคัปิลลารี ประกอบกับปริมาตรของคอนกรีตลดลง หรือหดตัวลงจากการสูญเสียน้ำ ถ้าการหดตัวนี้ถูกยึดรั้ง ไม่ว่าจะด้วยโครงสร้างที่มีอยู่รอบข้าง หรือด้วยเนื้อคอนกรีตภายในที่ไม่มีการสูญเสียความชื้น รอยแตกร้าวก็อาจเกิดขึ้นได้ถ้าการยึดรั้งนี้ก่อให้เกิดหน่วยแรงยึดรั้งที่มีค่าสูงกว่ากำลังแรงดึงของคอนกรีตในขณะนั้น การแตกร้าวที่เกิดจากการแตกร้าวแบบพลาสติก จะเกิดในช่วงที่คอนกรีตอยู่ในช่วงพลาสติก และสามารถแก้ไขได้ง่ายโดยการตกแต่งผิวคอนกรีตที่คอนกรีตจะแข็งตัว ส่วนการแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวแบบแห้งจะเกิดหลังจากที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว ซึ่งไม่สามารถตกแต่งผิวใหม่ได้แล้ว

### 1.4.2 ปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction)

ปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวมในคอนกรีตเกิดขึ้นระหว่างไฮดรอกไซด์ไอออนของธาตุโลหะ (Alkali Hydroxides) เช่น โซเดียม โปแตสเซียม หรือแม้แตแคลเซียมที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำ และละลายอยู่ในสารละลายที่อยู่ในช่องว่างของคอนกรีต (Pore Solution) กับแร่ธาตุบางชนิดในมวลรวมที่สามารถทำปฏิกิริยากับด่างได้ เกิดเป็นเจล (Gel) ซึ่งจะมีกาขยายตัวทำให้เกิดรอยแตกร้าวรอบๆมวลรวมได้ ปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวมสามารถแบ่งแยกได้เป็น 3 ชนิดหลักๆดังต่อไปนี้คือ

1. Alkali-Silica Reaction
2. Alkali-Silicate Reaction
3. Alkali-Carbonate Reaction



*Alkali-Silica Reaction* เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างไฮดรอกไซด์ไอออนของธาตุโลหะในซีเมนต์เฟสกับซิลิกา (Silica) หลายรูปแบบ (ทั้ง Crystalline และ Amorphous) ซึ่งมีอยู่ในมวลรวมหลายประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดและทราย

*Alkali-Silicate Reaction* เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างไฮดรอกไซด์ไอออนของธาตุโลหะในซีเมนต์เฟสกับแร่ซิลิกา (Silicate) ซึ่งมักมีลักษณะเป็นชั้นอยู่ในเนื้อมวลรวม Alkali Silicate Reaction นี้จะมีลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาคลายคลึงกันกับ Alkali Silica Reaction ผลผลิตของปฏิกิริยาก็คล้ายคลึงกันด้วย นั่นคือ จะได้ (Silicate Gel) ที่มักมีสีใส แต่อาจเปลี่ยนเป็นสีขาวขุ่นได้ถ้าทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ และเปลี่ยนเป็นสีคล้ำถ้าสกปรก โดยปกติแล้วปฏิกิริยา Alkali Silicate Reaction จะดำเนินไปได้ช้ากว่า Alkali Silica Reaction และเนื่องจากลักษณะของปฏิกิริยามีลักษณะคล้ายคลึงกับปฏิกิริยา Alkali Silica Reaction ในบางกรณีจึงนิยมจัดทั้ง 2 ประเภทให้เป็น Alkali Aggregate Reaction (AAR) ชนิดเดียวกันโดยเรียกรวมกันเป็น Alkali Silica Reaction ปฏิกิริยา Alkali Silicate Reaction มักจะเกิดขึ้นกับมวลรวมประเภท Greywacke, Phyllite และ Argillite เป็นต้น

*Alkali-Carbonate Reaction* เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างไฮดรอกไซด์ไอออนของธาตุโลหะในซีเมนต์เฟสกับแร่คาร์บอเนตในมวลรวมบางประเภท เช่น Argillaceous (Clayey) Dolomitic limestone ที่มีผลึก Dolomitic limestone ที่มีผลึก Dolomite ขนาดเฉลี่ยประมาณ 50  $\mu\text{m}$  แทรกอยู่ในโครงสร้างของ Calcite และแร่ดินเหนียว (Clay Minerals) แต่ปฏิกิริยาชนิดนี้จะพบไม่บ่อยมากนักเนื่องจากปัญหา Alkali Aggregate Reaction ส่วนใหญ่เป็นปัญหาเรื่อง Alkali Silica Reaction ในเนื้อหาต่อจากนี้ไปจะเน้นเฉพาะปัญหา Alkali Silica Reaction เท่านั้น

การทำปฏิกิริยาระหว่างต่างและซิลิกาในมวลรวมจะเกิดขึ้นเมื่อมีน้ำอยู่ด้วย ดังนั้นในคอนกรีตที่แห้งสนิทมักจะไม่มีปัญหาปฏิกิริยาดังกล่าว ปฏิกิริยานี้เมื่อดำเนินไปจะเกิด Alkali Silica Gel จะบวมตัวเมื่อดูน้ำลักษณะของ Gel มักจะมีสีใส มีความขุ่นคล้ายๆ กาว Gel เหล่านี้เมื่อสัมผัสถูกอากาศภายนอกจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์เกิดเป็นคาร์บอเนต และกลายเป็นสีขาวขุ่นพร้อมกับเกิดการหดตัวและมีรอยแตกเกิดขึ้นเนื่องจากการหดตัวบริเวณผิวที่สัมผัสอากาศส่วนภายในคอนกรีต ก็จะทำให้เกิดความดันขึ้นภายในคอนกรีต ซึ่งอาจจะทำให้คอนกรีตแตกร้าวที่บริเวณภายในได้เช่นเดียวกัน

ความเสียหายที่เกิดจาก AAR นั้นทำให้ผิวคอนกรีตแตกเสียหาย ส่วนมากเป็นการแตกร้าวที่มีรูปแบบไม่แน่นอน (Map Cracking) ทำให้ความชื้น น้ำ สารเคมีอื่นๆ เช่น ซัลเฟต และคลอไรด์ สามารถผ่านเข้าไปในคอนกรีตได้ ทำให้เกิดผลกระทบต่อความทนทานของคอนกรีต ในสถานการณ์ที่มีปริมาณต่างและ Reactive Silica น้อยในคอนกรีต และถ้าในคอนกรีตมีความพรุนมาก Gel ที่เกิดขึ้นก็จะไม่สามารถเติมช่องว่างในคอนกรีตให้เต็มได้ ทำให้การขยายตัวไม่เป็นผลให้เกิดการแตกร้าว ตัวอย่างของคอนกรีตในสถานการณ์นี้ คือ คอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำ หรือคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบาที่มีรูพรุนมาก หรือคอนกรีตที่มีการกักกระจายฟองอากาศ

#### 1.4.3 การเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต

โดยปกติแล้วเหล็กเสริมที่อยู่ในคอนกรีตจะถูกปกป้องไม่ให้เกิดสนิมด้วยความเป็นต่างสูงของคอนกรีต ทั้งนี้เนื่องจากในสภาวะของความเป็นต่างที่สูง เหล็กจะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาอะโนดิก (Anodic Process) ได้ นั่นคือเหล็กจะไม่เกิดการแตกตัวออกเป็นไอออนของเหล็ก ( $\text{Fe}^{2+}$ ) และอิเล็กตรอน ( $2e^-$ ) ได้เลย ความเป็นต่างในคอนกรีตโดยปกติมักจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 12.5 จนถึง 13.5 ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ผสม และส่วนผสมของคอนกรีต คุณภาพของคอนกรีตหุ้มเหล็กก็เป็นปัจจัยสำคัญของการควบคุมการเป็นสนิมของเหล็กเสริมด้วย



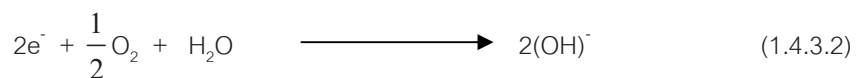
เหล็กเสริมในคอนกรีตจะเป็นสนิมได้ ก็ต่อเมื่อเงื่อนไขทั้ง 3 ประการดังต่อไปนี้ต้องเกิดขึ้น

1. ความเป็นต่างในคอนกรีตลดลงจนปฏิกิริยาอะโนดิก (Anodic Process) สามารถเกิดขึ้นได้ซึ่งความเป็นต่างในระดับที่จะทำให้ปฏิกิริยาอะโนดิกเกิดขึ้นได้ นั้น จะมีค่าของ pH ต่ำกว่าระดับ 9 ถึง 10 และมักจะเรียกว่าระดับวิกฤต (Critical Level) ของความเป็นต่าง ความเป็นต่างในคอนกรีตลดลงได้ด้วยหลายสาเหตุต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ คาร์บอนเนชั่น (Carbonation) การซึมผ่านของคลอไรด์เข้าไปในคอนกรีต หรือแม้แต่การชะล้างของน้ำฝนในกรณีที่คอนกรีตมีความพรุนมาก ซึ่งกลไกของการทำให้ความเป็นต่างลดลงโดยแต่ละสาเหตุ จะได้แยกอธิบายในหัวข้อต่างๆต่อไป
2. มีความชื้นเพียงพอที่จะทำให้ อีออนของเหล็ก ( $Fe^{2+}$ ) เข้าสู่สภาวะสารละลาย และพอเพียงที่จะทำปฏิกิริยาในการเกิดสนิม ซึ่งโดยปกติความชื้นมักจะมีเพียงพอในบริเวณคอนกรีตที่หุ้มรอบๆเหล็กเสริมอยู่แล้ว
3. มีปริมาณออกซิเจนเพียงพอในการทำปฏิกิริยาเพื่อการเกิดสนิม ซึ่งปกติแล้วออกซิเจนในปริมาณที่เพียงพอในการเกิดสนิมมักจะแพร่เข้าสู่คอนกรีตบริเวณเหล็กเสริมโดยผ่านทางช่องว่างที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Pores) นั่นคือแพร่ผ่านอากาศในช่องว่างแต่การแพร่ของออกซิเจนผ่านทางช่องว่างที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Pores) จะเป็นไปได้ยาก เนื่องจากออกซิเจนจะละลายน้ำได้น้อยมาก ดังนั้น คอนกรีตที่อิ่มตัวด้วยน้ำอยู่ตลอดเวลาจะไม่เกิดสนิมในเหล็ก

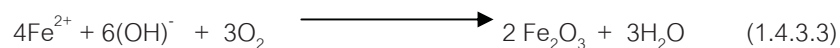
กลไกของการเกิดสนิมในเหล็กเสริม ในคอนกรีตจะเริ่มต้นด้วยการที่ความเป็นต่างของคอนกรีตในบริเวณที่หุ้มรอบๆเหล็กเสริมอยู่ มีค่าความเป็นต่างลดลงจนถึงระดับวิกฤต และบริเวณรอบๆเหล็กเสริมมีความชื้นเพียงพอ ทำให้เกิดปฏิกิริยา Electrolysis ขึ้นดังสมการต่อไปนี้



โดยเหล็กจะแตกตัวเป็นอีออน ( $Fe^{2+}$ ) เข้าสู่สภาพสารละลาย และอิเล็กตรอนจะวิ่งไปตามเหล็ก ปฏิกิริยานี้เรียกว่า กระบวนการอะโนดิก (Anodic Process) ต่อจากนั้น  $2e^-$  ที่เกิดปฏิกิริยาอะโนดิกจะไปรวมตัวกับน้ำและออกซิเจนที่บริเวณเดียวกัน หรือบริเวณใกล้เคียงกับบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาอะโนดิก ทำให้เกิดเป็น ไฮดรอกซิลอีออน ( $(OH)^-$ ) ดังสมการต่อไปนี้



ซึ่งปฏิกิริยานี้เรียกว่า กระบวนการแคโทดิก (Cathodic Process) หลังจากนั้น ปฏิกิริยาการเกิดสนิมก็จะเกิดขึ้นดังสมการต่อไปนี้



โดยที่  $Fe_2O_3$  ก็คือ เฟอริกออกไซด์ หรือสนิมนั่นเอง ซึ่งปฏิกิริยาที่ (1.4.3.3) นั้นอาจจะเกิดต่างบริเวณกับบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาอะโนดิก ก็ได้ซึ่งก็หมายความว่าสนิมอาจจะเกิดคนละบริเวณกับบริเวณที่สูญเสียเนื้อเหล็กได้

สาเหตุหลักที่ทำให้โครงสร้างคอนกรีตสูญเสียกำลังรับแรงลงไปจากการเกิดสนิมของเหล็กเสริมมีอยู่ 2 ประการคือ

1. ขนาดของเหล็กบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาอะโนดิก (เหล็กเสียอิเล็กตรอน) จะเล็กลงเนื่องจากเนื้อเหล็กบางส่วนกลายเป็นสารละลาย ( $Fe^{2+}$ ) และอิเล็กตรอน ( $e^-$ ) ทำให้พื้นที่หน้าตัดในการรับแรงในบริเวณดังกล่าวลดลงตามขนาดของเหล็กที่ลดขนาดลง

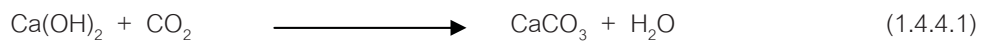


2. การเกิดสนิมจะทำให้เกิดแรงดันต่อคอนกรีตบริเวณรอบๆเหล็กเสริม เนื่องจากสนิมเหล็กจะมีปริมาณมากกว่าเหล็กเดิมที่สลายตัวเข้าไปสู่สารละลาย ซึ่งในบางกรณีสนิมเหล็กอาจมีปริมาณมากกว่า 6 เท่าของเหล็กเดิม ถ้าปริมาณน้ำและออกซิเจนมีมากและบริเวณที่เกิดสนิมอาจเป็นบริเวณข้างเคียงบริเวณที่เหล็กสูญเสียอิเล็กตรอนก็ได้ ดังนั้นจะทำให้คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมแตกร้าวตามแนวเหล็กเสริมได้ (Splitting Crack)

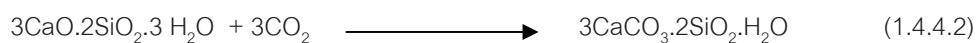
ดังนั้นผลกระทบโดยรวมจากสาเหตุข้างต้นนี้คือ กำลังรับแรงของโครงสร้างลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความต้านทานความล้า (Fatigue Strength) และความสามารถในการแอ่นตัวเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Elongation Ability) ของโครงสร้างก็ลดลง นอกจากนี้ความยืดหยุ่น (Stiffness) ก็ลดลง การเกิดรอยแตกร้าวยังเป็นการเร่งให้น้ำและออกซิเจนเข้าไปถึงบริเวณเหล็กเสริมได้เร็ว และมากยิ่งขึ้น ทำให้เร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริมให้เร็วและรุนแรงยิ่งขึ้นด้วย

#### 1.4.4 การเกิดคาร์บอนเนชัน (Carbonation)

คาร์บอนเนชันเป็น ขบวนการที่เปลี่ยนผลผลิตบางชนิดของปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งโดยปกติมักจะเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)<sub>2</sub>) หรือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) บริเวณผิวหน้าหรือใกล้ผิวหน้าของคอนกรีต ตามสมการของปฏิกิริยา ดังต่อไปนี้



หรือ



ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเป็นปฏิกิริยา (1.4.4.1) มากกว่า (1.4.4.2) และในความเป็นจริงแล้ว ทั้งสองปฏิกิริยาต้องการน้ำในการทำปฏิกิริยาด้วย เนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดในสภาพของสารละลาย คอนกรีตที่ถูกคาร์บอนเนตไปแล้วจะมีความพรุนน้อยลงเนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันจะช่วยอุดช่องว่างส่วนหนึ่งในคอนกรีตลักษณะของการทำปฏิกิริยาจะเกิดในบริเวณใกล้ผิวหน้าของคอนกรีตที่มีโอกาสสัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ในอากาศ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตได้ดี โดยผ่านทางช่องว่างที่ไม่อิ่มตัว ( Unsaturated Pores ) เข้าไปทำปฏิกิริยาในบริเวณใกล้ผิวหน้าของคอนกรีตได้ ดังนั้นคาร์บอนเนชันจะค่อยๆคืบหน้าเข้าไปในเนื้อคอนกรีตด้วยอัตราที่ช้าลงเรื่อยๆเพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต้องแพร่ผ่านโครงสร้างช่องว่าง (Pore Structure) ของคอนกรีตและผ่านส่วนที่ถูกคาร์บอนเนตไปแล้วซึ่งมีความพรุนน้อยลง ทำให้ซึมผ่านเข้าไปได้ยากขึ้น

เนื่องจากการทำปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันต้องการทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังนั้นในคอนกรีตที่อิ่มตัวด้วยน้ำหรือคอนกรีตที่แห้งสนิทจะไม่เกิดคาร์บอนเนชัน เนื่องจากในคอนกรีตที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านเข้าไปได้มาก ส่วนในคอนกรีตที่แห้งสนิทก็ไม่มีน้ำในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นคาร์บอนเนชันที่รุนแรง ในกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอยู่ระหว่าง กึ่งชื้นกึ่งแห้ง (Semi-Dry) นั่นคือ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่างร้อยละ 40 ถึงร้อยละ 60 และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมาก

คาร์บอนเนชันทำให้เกิดผลสำคัญ 3 ประการ คือ

1. ทำให้เกิดความพรุนของคอนกรีตบริเวณที่เกิดคาร์บอนเนชันต่ำลง

2. ทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตในบริเวณที่เกิดคาร์บอนเนชั่นต่ำลง เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ถูกใช้ไปในปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น ผลในประการแรกอาจจะเป็นผลดีต่อคอนกรีตในเรื่องของความคงทน แต่ผลประการหลังจะสามารถทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมได้ ถ้าคาร์บอนเนชั่นเกิดเข้าไปจนถึงตำแหน่งเหล็กเสริมจนทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตรอบเหล็กเสริมลดต่ำลงจนใกล้หรือต่ำกว่าระดับวิกฤต
  3. ทำให้เกิดการหดตัว (Carbonation Shrinkage) ซึ่งเป็นผลมาจากกาที่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำปฏิกิริยากับ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ภายใต้อิทธิพลของแรงอัดที่เกิดจากหดตัวแบบแห้ง หรือจากการที่ทำให้แคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (C-S-H) เกิดเสียน้ำ (Dehydrate) ซึ่งส่งผลให้เกิดการหดตัว
- ผลของคาร์บอนเนชั่น ทั้ง 3 กรณีนี้ ในกรณีที่ 2 คือกรณีที่ทำให้ความเป็นด่างในคอนกรีตลดลงจะเป็นกรณีที่มิมีผลเสียต่อความคงทนของคอนกรีตมากที่สุด ส่วนในกรณีที่ 1 คือกรณีที่ทำให้ความพรุนของคอนกรีตลดลง จะเป็นกรณีที่เป็ผลดีต่อความคงทนของคอนกรีต อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ของคอนกรีตเสริมเหล็ก คาร์บอนเนชั่นจะมีผลเสียมากกว่าผลดีที่ได้จากการลดความพรุน

#### 1.4.5 การเกิดสนิมของเหล็กเสริมโดยคลอไรด์ (Steel Corrosion due to Chloride)

คลอไรด์เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้ โดยอิออนของคลอไรด์ (Chloride Ions) เป็นตัวการที่ทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตที่ป้องกันเหล็กเสริมไม่ให้เกิดสนิมลดลงและหลังจากถึงจุดวิกฤตแล้ว ถ้ามีน้ำและออกซิเจนเพียงพอก็จะทำให้เกิดสนิมได้

คลอไรด์อาจมีอยู่ในคอนกรีตเอง เช่น มีอยู่ในน้ำที่ผสมคอนกรีต หิน ทราย ( โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทรายจากแหล่งใกล้ทะเล) หรือน้ำยาผสมคอนกรีตบางชนิด เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) ที่มีอยู่ในสารเร่งก่อตัว อย่างไรก็ตาม ได้มีการกำหนดมาตรฐานไว้สำหรับปริมาณคลอไรด์ที่ยอมรับได้ในคอนกรีตสด (วสท. 1014 - 40) แต่ปัญหาของคลอไรด์ที่กระทบต่อความทนทานของคอนกรีตนั้น ส่วนมากจะมาจากภายนอกคอนกรีตในช่วงที่ใช้งาน เช่น จากน้ำทะเล จากดิน หรือจากเกลือที่ใช้ละลายน้ำแข็งในประเทศที่มีอากาศหนาว (De-icing Salt) ซึ่งคลอไรด์อาจเข้าสู่คอนกรีตได้โดยวิธีดังต่อไปนี้

1. การซึมผ่านเข้าไปในเนื้อคอนกรีตที่แห้งของน้ำที่มีคลอไรด์ (Capillary Suction)
2. การแพร่ของอิออนคลอไรด์ (Chloride Ions) จากภายนอกที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์สูงกว่าภายในของคอนกรีต
3. การซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตของน้ำที่มีคลอไรด์ โดยแรงดันของน้ำ

โดยทั่วไปแล้วแหล่งของคลอไรด์ ที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างคอนกรีตนั้นมาจากน้ำทะเล สำหรับคอนกรีตที่แช่อยู่ในน้ำทะเลตลอดเวลา นั้น ถึงแม้คลอไรด์สามารถซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตได้ดี แต่ถ้าไม่มีออกซิเจน การเกิดสนิมของเหล็กเสริมก็ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ จึงไม่เป็นปัญหานัก

ความเสี่ยงที่เกิดจากการกัดกร่อนเหล็กเสริมมากที่สุด มักพบในบริเวณคลื่นและละอองน้ำ (Splash Zone) รองลงมาเป็นบริเวณบรรยากาศทะเล (Atmospheric Zone) และบริเวณน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Zone) ส่วนบริเวณน้ำใต้ทะเล (Submerged Zone) จะมีความเสี่ยงต่อการกัดกร่อนเหล็กเสริมน้อยมาก

ในบริเวณใต้น้ำทะเลความเสี่ยงต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริมมีน้อย เนื่องจากมีความเข้มข้นของออกซิเจนน้อย และอัตราการแพร่ของออกซิเจนเข้าไปในคอนกรีตต่ำมาก เนื่องจากช่องว่างภายในคอนกรีต เป็นช่องว่างที่อิมมิดด้วยน้ำ ซึ่งละลายน้ำได้น้อยมาก ทำให้อัตราการแพร่เกิดขึ้นน้อย



ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณของออกซิเจนมาก ในบริเวณน้ำขึ้นน้ำลง แต่การเกิดสนิมก็ถูกจำกัด โดยอัตราการแพร่ที่ต่ำของออกซิเจน ผ่านช่องว่างที่อึดตัวด้วยน้ำของคอนกรีตในช่วงที่คอนกรีตเปียก

ในกรณีของสภาพเปียกสลบแห้งนั้น น้ำทะเลจะเข้าสู่คอนกรีตที่แห้งโดย Absorption หรือ Capillary Suction จนกระทั่งคอนกรีตอยู่ในสภาพที่อึดตัว (Saturated) เมื่อสภาพภายนอกเปลี่ยนเป็นแห้ง น้ำที่ผิวคอนกรีตก็จะระเหยออกไปทิ้งไว้แต่คราบเกลือ เมื่ออยู่ในสภาพเปียกอีก ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่ใกล้ผิวก็จะสูงขึ้น ดังนั้นไอออนคลอไรด์ (Chloride Ions) ซึ่งมีความเข้มข้นสูงที่บริเวณผิว จะซึมสู่ภายในโดยการแพร่ ซึ่งในแต่ละรอบของการเปียกและแห้งจะทำให้คลอไรด์บริเวณใกล้ผิวมีความเข้มข้นสูงขึ้นเรื่อยๆ และจะเข้าไปสู่ภายในคอนกรีตละสู่บริเวณเหล็กเสริมมากขึ้น โดยปกติแล้วคอนกรีตจะเปียก (Saturated) ได้เร็ว แต่จะแห้งได้ช้ากว่ามาก และภายในของคอนกรีตนั้นไม่สามารถทำให้แห้งได้โดยสมบูรณ์ ดังนั้นการแพร่ของไอออนของคลอไรด์เข้าไปในคอนกรีตที่แช่อยู่ในน้ำทะเลตลอดเวลาจึงช้ากว่าการเข้าไปของคลอไรด์โดยการเปียกสลบแห้งโดยน้ำทะเล

การเคลื่อนตัวของไอออนคลอไรด์ไปในคอนกรีตนั้น ขึ้นอยู่กับระยะเวลาของสภาพเปียกและแห้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานที่และสภาพแวดล้อมเช่น อุณหภูมิ ความชื้น การไหลของน้ำทะเล ทิศทางลม ทิศทางแสงอาทิตย์ และการใช้งานโครงสร้าง เป็นต้น ทำให้ในโครงสร้างเดียวกันแต่ละส่วนอาจจะประสบสภาวะเปียกและแห้งได้ไม่เหมือนกัน โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตที่สภาพแห้งนานกว่าสภาพเปียกมักจะเร่งไอออนของคลอไรด์เข้าสู่คอนกรีตได้เร็วขึ้น ดังนั้นคอนกรีตที่ถูกน้ำทะเลเป็นบางครั้ง (ช่วงแห้งนาน) จะมีโอกาสเกิดปัญหาการกัดกร่อนของเหล็กเสริม มากกว่าคอนกรีตที่ประสบกับสภาวะช่วงแห้งสั้น การกัดกร่อนจะเริ่มเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ ปริมาณไอออนของคลอไรด์ (Chloride Ions) มีมากพอที่ผิวของเหล็กเสริม (Threshold Content of Chloride Ions) ซึ่งทำให้ค่าความเป็นด่างของคอนกรีตลดลงจนถึงระดับวิกฤต

#### 1.4.6 การเกิดสนิมในเหล็กเนื่องจากการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน

##### (Steel Corrosion Due to Low Quality Construction)

ถึงแม้ว่าโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะไม่ได้อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่รุนแรง เช่น ในบริเวณทะเล หรือมี แนวนอนที่ จะเกิดคาร์บอนชั้นรุนแรง เหล็กเสริมก็มีโอกาสที่จะเป็นสนิมได้ ถ้าคุณภาพของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมไม่ดีพอ สาเหตุของปัญหานี้มักเกิดจากการก่อสร้างที่ไม่ได้มาตรฐาน หรือการเลือกส่วนผสมของคอนกรีตไม่เหมาะสมกับลักษณะงาน ตัวอย่างของปัญหา เช่น ระยะเวลาของเหล็กเสริมน้อยเกินไป คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมมีคุณภาพต่ำ มีความพรุนสูง เทไม่เต็มแบบ เป็นต้น คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมในลักษณะดังกล่าวมานี้ สามารถสูญเสียความเป็นด่างได้เร็ว ถึงแม้จะไม่ถูกกระทำโดยคลอไรด์หรือคาร์บอนชั้น เพียงแต่ฝนก็สามารถชะล้างความเป็นด่างที่สูงให้ลดต่ำลงได้ และเนื่องจากความพรุนที่สูง มีความหนาของระยะหุ้มน้อย ทำให้น้ำและออกซิเจนมีเพียงพอที่จะทำให้เกิดสนิมในเหล็กเสริมได้ ปัญหาการเป็นสนิมในลักษณะเช่นนี้พบเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานก่อสร้างทั่วไป ที่ไม่มีการควบคุมการก่อสร้างที่ดี ดังนั้นวิศวกรตลอดจนผู้ที่มีความเกี่ยวข้องกับการก่อสร้างประเภทนี้ ควรหันมาให้ความสนใจใส่ใจกับงานก่อสร้างเหล่านี้ให้มากขึ้น เพราะถึงแม้จะออกแบบและเลือกวัสดุคอนกรีตมาเป็นอย่างดี แต่ในการก่อสร้างกลับละเลยความสำคัญของการควบคุมคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมก็จะทำให้เกิดปัญหานี้ขึ้นมาได้ และการเป็นสนิมของเหล็กโดยสาเหตุนี้ มักเกิดเร็วกว่าปกติ ในบางกรณีก็อาจเกิดให้เห็นภายในระยะเวลาเพียง 1-2 ปี หลังจากการก่อสร้างเท่านั้น

#### 1.4.7 การกัดกร่อนโดยซัลเฟต (Sulfate Attack)

เกลือซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ที่อยู่ในรูปของสารละลายสามารถทำอันตรายต่อซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตได้ ตัวอย่างของเกลือซัลเฟตที่พบบ่อยในธรรมชาติและเป็นอันตรายต่อคอนกรีต เช่น โซเดียมซัลเฟต ( $\text{NaSO}_4$ ) แมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ ) และ แคลเซียมซัลเฟต ( $\text{CaSO}_4$ ) เป็นต้น

เกลือซัลเฟตมีมากอยู่ในน้ำทะเล น้ำกร่อย ในดินบริเวณริมทะเล หรือ ในดินทั่วไปเกลือซัลเฟตชนิดที่พบบ่อยที่สุดมักจะเป็นเกลือโซเดียมซัลเฟต รองลงมาคือ แมกนีเซียมซัลเฟต เกลือซัลเฟตยังมักจะพบอยู่ในน้ำเสียจากบ้านเรือน หรือจากแหล่งน้ำพุร้อนธรรมชาติด้วย

#### 1.4.8 การกัดกร่อนโดยกรด (Acid Attack)

คอนกรีตอาจถูกกระทำให้สึกกร่อนได้โดยสารเคมีหลายชนิด ซัลเฟตก็เป็นตัวอย่างหนึ่งที่ได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้ โดยเป็นกรณีของการสึกกร่อนโดยสารเคมีที่พบบ่อย ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการสึกกร่อนของคอนกรีตที่เกิดจากสารเคมีอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งอาจพบบ่อยไม่มากเท่ากับซัลเฟต แต่ก็เป็นลักษณะการสึกกร่อนที่รุนแรง นั่นคือ การกัดกร่อนโดยกรด คอนกรีตจะเกิดความเสียหายในสภาวะแวดล้อมที่เป็นกรด โดยของเหลวที่มี pH ต่ำกว่า 6.5 และ หากต่ำกว่า 4.5 ก็จะทำให้เกิดความเสียหายรุนแรงอย่างมาก ตัวอย่างของกรดที่สามารถกัดกร่อนคอนกรีตอย่างรุนแรงคือ กรด Carbonic , Hydrochloric , Hydrofluoric , Nitric , Phosphoric , Sulfuric , Acetic , Citric , Formic , Humic , Lactic และ Tannic

กรดที่ทำลายคอนกรีตอาจมาจากแหล่งต่างๆได้ดังต่อไปนี้

1. จากโรงงานหรือแหล่งผลิตที่มีการใช้กรดในการผลิต หรือได้กรดเป็นผลิตภัณฑ์จากการผลิต
2. จากระบบบำบัดน้ำเสียและท่อระบายน้ำเสียจากบ้านเรือน ซึ่งโดยระบบทางชีวภาพทำให้เกิดซัลฟูริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ได้
3. จากฝนกรด ซึ่งอาจจะมีกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  และ  $\text{H}_2\text{CO}_3$  เป็นต้น

การกัดกร่อนโดยกรด เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบแคลเซียมทุกประเภทที่มีอยู่ในคอนกรีต เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (C-S-H) แคลเซียมอลูมิเนตไฮดรอกไซด์ (C-A-H) ให้กลายเป็นเกลือแคลเซียมของกรดที่เข้ามาปฏิกิริยา เช่น กรดเกลือ (HCl) ก็จะเปลี่ยนสารประกอบแคลเซียมในคอนกรีตไปเป็นแคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) กรดซัลฟูริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) จะเปลี่ยนสารประกอบแคลเซียมในคอนกรีตเป็น แคลเซียมซัลเฟต ( $\text{CaSO}_4$ ) เป็นต้น เมื่อสารประกอบแคลเซียมในคอนกรีตถูกเปลี่ยนไปเป็นเกลือ จะทำให้บริเวณที่ถูกกัดกร่อนสูญเสียความสามารถในการยึดเกาะระหว่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างซีเมนต์เพสต์กับมวลรวม เกลือที่เกิดขึ้นก็สามารถถูกชะล้างออกไปได้โดยง่าย ทำให้เนื้อของคอนกรีตถูกทำลายหายไป และมวลรวมหลุดออกจากคอนกรีตได้ง่าย

เนื่องจากการกัดกร่อนโดยกรด เป็นการทำลายสารประกอบทุกชนิดในซีเมนต์เพสต์ ดังนั้นการลดความสามารถในการซึมผ่านของน้ำด้วยการลดอัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์ของคอนกรีตให้ต่ำลงอาจช่วยบรรเทาปัญหาบางส่วนได้บ้าง แต่ก็ได้ไม่ได้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการกัดกร่อนคอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพจริงๆ

ความรุนแรงของการกัดกร่อนของกรดขึ้นอยู่กับชนิดของกรด ตลอดจนความเข้มข้นของกรด กรดที่มีการกัดกร่อนรุนแรงจะเป็นชนิดที่เปลี่ยนสารประกอบแคลเซียมในคอนกรีตไปเป็นเกลือแคลเซียมที่ละลายน้ำได้ง่าย ดังนั้นกรดเกลือ (HCl) จะเป็นกรดที่กัดกร่อนคอนกรีตที่รุนแรงมาก เนื่องจากแคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) สามารถละลายน้ำได้ดีกว่าเกลือแคลเซียมที่เกิดจากกรดชนิดอื่นๆ



#### 1.4.9 การสึกกร่อนจากการขัดสี การไหลของน้ำ และการแตกตัวของฟองอากาศ

(Abrasion, Erosion and Cavitation)

คอนกรีตอาจถูกกระทำให้สึกกร่อนทางกลได้เป็น 3 ลักษณะหลัก คือ การขัดสี (Abrasion) การชะล้างด้วยกระแสน้ำและกรวดทราย (Erosion) และการแตกตัวของฟองอากาศในน้ำ (Cavitation)

1. การขัดสี (Abrasion) ผิวคอนกรีตจะสึกกร่อนจากการขัดสีในหลายลักษณะเช่น การเลื่อนไถล (Sliding) การขูดถู ขีด ขูด ครูด (Scraping) การกระทบกระแทกแบบเฉียด (Percussion) การขัดสีถูกถ่ายเทจากล้อยางรถยนต์ไปสู่ผิวถนนจากการเร่งความเร็วชะลอความเร็วหรือห้ามล้อ เป็นต้น
2. การชะล้างด้วยกระแสน้ำและกรวดทราย (Erosion) เป็นการสึกกร่อนของผิวคอนกรีตที่เกิดขึ้นจากกระแสน้ำที่ไหลผ่าน หรือเม็ดกรวดทรายที่ถูกพัดพามาด้วยกับกระแสน้ำ อัตราการสึกกร่อนของผิวคอนกรีตจะมีความรุนแรง ถ้ากระแสน้ำมีความเร็วสูง รูปร่างของกรวดทรายมีเหลี่ยมคม มีขนาดใหญ่ มีความแข็งแรงมาก และมีน้ำหนักมาก ตัวอย่างของโครงสร้างที่มักเกิดปัญหาการชะล้างด้วยกระแสน้ำและกรวดทราย เช่น ผิวคอนกรีตท้ายเขื่อน ทางน้ำล้น คอนกรีตคาดคลอง และทางน้ำต่างๆ เป็นต้น
3. การแตกตัวของฟองอากาศในน้ำ (Cavitation) เป็นการสึกกร่อนของผิวคอนกรีตที่เกิดการแตกตัวหรือระเบิดของฟองอากาศที่อยู่ในน้ำ ซึ่งจะมีความถี่สูง ฟองอากาศเหล่านี้จะเกิดขึ้นจากการไหลของกระแสน้ำที่มีความเร็วสูง ลักษณะของการสึกกร่อนก็จะเป็นลักษณะของการเกิดหลุมบ่อที่มีขนาดเล็กบนพื้นผิวของคอนกรีต และถ้ารุนแรงก็สามารถที่จะทำให้มวลรวมหลุดออกจากพื้นผิวคอนกรีตได้

#### 1.4.10 ความเสียหายของคอนกรีตในสิ่งแวดล้อมทะเล (Deterioration in Marine Environment)

ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ต่อโครงสร้างคอนกรีตในสิ่งแวดล้อมทะเล มีอยู่หลายประการ เช่น การเกิดสนิมของเหล็กเสริม การกัดกร่อนโดยซัลเฟต การสึกกร่อนจากการขัดสี การแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำ การตกผลึกของเกลือ หรือแม้แต่การเสื่อมสภาพที่เกิดจากสาเหตุทางชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งความเสียหายจากสาเหตุต่างๆเหล่านี้ จะมีความรุนแรงที่แตกต่างกันในบริเวณที่ต่างกัน เช่น บริเวณที่อยู่ใต้น้ำตลอดเวลา หรือบริเวณที่อยู่เหนือน้ำตลอดเวลา หรือบริเวณที่เปียกแห้งสลับกันไป ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างถ่องแท้ จึงมีการแบ่งสิ่งแวดล้อมทะเลออกเป็น 5 สิ่งแวดล้อมย่อยๆ ดังต่อไปนี้

1. บริเวณใต้พื้นทะเล (Sea Bed Zone)
2. บริเวณใต้น้ำทะเล (Submerged Zone)
3. บริเวณระหว่างระดับน้ำขึ้นสูงสุดและน้ำลงต่ำสุด (Tidal Zone)
4. บริเวณคลื่นและละอองน้ำทะเล (Splash Zone)
5. บริเวณบรรยากาศของทะเล (Marine Atmospheric Zone) ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่ถูกละอองน้ำทะเลจากคลื่นโดยตรง และอาจครอบคลุมรวมไปถึงโครงสร้างคอนกรีตบนฝั่งทะเลที่อาจจะห่างไกลออกไปหลายกิโลเมตร ที่มีโอกาสได้รับเกลือคลอไรด์จากลมทะเล

ลักษณะความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ในแต่ละสิ่งแวดล้อมย่อย มีดังนี้

- สิ่งแวดล้อมใต้พื้นทะเล ความเสียหายสามารถเกิดจากการกัดกร่อนเนื่องจากซัลเฟตและจากการเสื่อมสภาพทางชีวภาพ

- สิ่งแวดล้อมใต้ทะเล ความเสียหายสามารถเกิดจากการกัดกร่อนโดยซัลเฟตการเป็นสนิมของเหล็กจะเป็นไปได้ยากเนื่องจากไม่มีออกซิเจนเพียงพอ การแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำสามารถเกิดได้กับ ผิวบนของน้ำทะเล
- สิ่งแวดล้อมระหว่างระดับน้ำขึ้นสูงสุดและระดับน้ำลงต่ำสุด ความเสียหายสามารถเกิดจาก กัดกร่อนโดยซัลเฟต การแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำ การสึกกร่อนจากการกระทำของคลื่น การเกิดสนิมในเหล็กเสริม
- สิ่งแวดล้อมบริเวณคลื่นและละอองน้ำทะเล ความเสียหายสามารถเกิดจากการแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำ การสึกกร่อนจากการกระทำของคลื่น การกัดกร่อนโดยซัลเฟตจะไม่รุนแรงเท่าบริเวณใต้น้ำทะเล แต่การเกิดสนิมในเหล็กจะรุนแรง การเกิดคาร์บอนเนชั่น การตกผลึกของเกลือ
- บริเวณบรรยากาศของทะเล ความเสียหายสามารถเกิดจากการเกิดคาร์บอนเนชั่น การหดตัวแบบแห้ง การเกิดสนิมในเหล็กเสริม การตกผลึกของเกลือ

# ลักษณะความเสียหายที่พบใน โครงสร้างคอนกรีต

## 2.1 บทนำ

การชำรุดของสะพานคอนกรีต จะมีหลายรูปแบบ ดังนี้

- ◆ รอยแตก (Cracking)
- ◆ การหลุดสะเก็ด (Scaling)
- ◆ การหลุดแยกออกเป็นแผ่นๆ (Delamination)
- ◆ การหลุดล่อน (Spalling)
- ◆ การเกิดขี้เกลือ (Efflorescence)
- ◆ การเกิดรูพรุนเหมือนรวงผึ้ง (Honeycomb)
- ◆ การหลุดออกเป็นเม็ดๆ (Pop-Out)
- ◆ การสึกหรอของพื้นผิว (Wears)
- ◆ การเสียหายที่เกิดจากการถูกชน (Collision Damage)
- ◆ การสึกกร่อน (Abrasion)
- ◆ การชำรุดจากการบรรทุกน้ำหนักเกิน (Overload Damage)
- ◆ การเกิดสนิมในเหล็กเสริม (Reinforced Steel Corrosion)
- ◆ การเสื่อมสภาพของคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Deterioration)



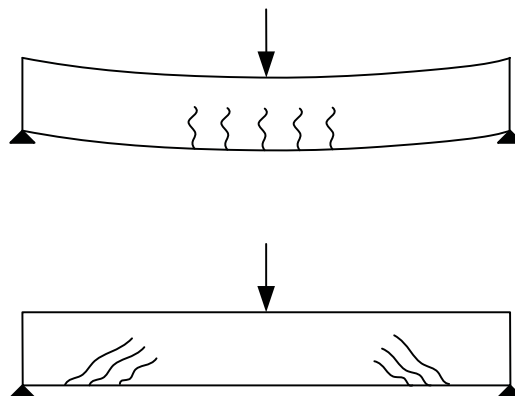
## 2.2 รอยแตก (Cracking)

รอยแตกอาจเกิดขึ้นเพียงส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของแต่ละชิ้นส่วนคอนกรีต ในคอนกรีตเสริมเหล็ก รอยแตกจะมีขนาดใหญ่พอที่จะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า อย่างไรก็ตาม ในคอนกรีตอัดแรง จะต้องมีการใช้อุปกรณ์วัดรอยแตก (Crack Gauge) จึงจะเหมาะสมสำหรับการวัดรอยแตกและแยกแยะรอยแตกต่างๆ รอยเบื่อนจากสนิมและการเกิดซึ้เกลือมักจะปรากฏให้เห็นตามรอยแตกต่างๆ รอยแตกทั้งขนาดใหญ่และเล็กที่เกิดขึ้นในองค์อาคารหลัก (Main Members) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Member ที่เป็นคอนกรีตอัดแรง ควรจะต้องถูกบันทึกไว้อย่างระมัดระวัง ขนาดของรอยแตกอาจถูกแยกแยะออกเป็น รอยแตกขนาดเท่าเส้นผม (Hairline) รอยแตกขนาดกลาง (Medium) หรือ รอยแตกขนาดใหญ่ (Wide) รอยแตกขนาดเท่าเส้นผมจะเป็นรอยแตกที่ไม่สามารถวัดขนาดได้ด้วยอุปกรณ์ธรรมดา ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป รอยแตกเท่าเส้นผมนี้จะไม่ใช้เรื่องสำคัญที่จะมีผลกระทบต่อกรรับน้ำหนักของโครงสร้าง ส่วนรอยแตกขนาดกลางและขนาดใหญ่ นั้น เราสามารถใช้อุปกรณ์ง่าย ๆ วัดได้ รอยแตกเหล่านี้ อาจจะเป็นสิ่งที่สำคัญมากและควรที่จะได้รับการตรวจสอบและบันทึกไว้ในบันทึกการตรวจสอบ สำหรับในกรณีของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงแล้ว รอยแตกทุกรอยล้วนแต่มีความสำคัญหมด เมื่อทำการบันทึกถึงรอยแตกต่างๆ ความยาว ความกว้าง ตำแหน่ง และทิศทางของรอยแตกแนวราบ แนวตั้ง หรือแนวเฉียง จะต้องได้รับการบันทึกให้ชัดเจน ถ้าปรากฏว่ามีคราบสนิมหรือซึ้เกลือ หรือมีหลักฐานว่ามีการเคลื่อนที่ของทั้งสองด้านของรอยแตกเกิดขึ้น ก็ต้องระบุไว้ด้วย

ในคานคอนกรีต จะมีรอยแตกอยู่ 2 ประเภท คือ รอยแตกเชิงโครงสร้าง (Structural Cracks) และรอยแตกที่ไม่ใช่รอยแตกเชิงโครงสร้าง (Non Structural Cracks)

รอยแตกเชิงโครงสร้าง มีสาเหตุมาจากหน่วยแรง ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead load) และน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) และถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- ◆ รอยแตกจากการดัด (Flexure Cracks)
- ◆ รอยแตกจากการเฉือน (Shear Cracks)



รูปที่ 2-1 ชนิดของรอยแตก

รอยแตกจากการดัด จะมีลักษณะอยู่ในแนวตั้ง (Vertical) และเริ่มแตกจากบริเวณที่เกิดแรงดึงสูงสุด (Maximum Tension Zone) หรือเกิดโมเมนต์สูงสุด (Maximum Moment Trussing) แล้วแผ่ไปยังส่วนที่เกิดแรงอัด (Compression Zone) ณ จุดกึ่งกลางช่วงของชิ้นส่วน จะพบรอยแตกจากการดัดได้ที่ด้านล่างของชิ้นส่วนซึ่งเป็นส่วนถูกดัด หรือ มี Flexure Stresses สูงสุด ถ้าเป็น Continuous Member ก็ให้ตรวจสอบด้านบนของ Members ที่อยู่ด้านบนของ Pier

รอยแตกจากการเฉือน เป็นรอยแตกในแนวเฉียง ที่มักจะเกิดขึ้นที่เวยคาน (Web) โดยปกติแล้ว จะพบรอยแตกนี้ได้ทีบริเวณใกล้กับ แผ่นรองสะพาน (Bearing) และรอยแตกจะเริ่มที่ด้านล่างของ Member นั้นและขยายต่อในแนวเฉียงไปยังด้านบนของ Member



รูปที่ 2-2 รอยแตกเนื่องจากแรงเฉือนบริเวณใกล้แผ่นรองสะพาน

รอยแตกที่ไม่ใช่รอยแตกเชิงโครงสร้าง (Non Structural Cracks) จะถูกแยกออกเป็น 3 ชนิด คือ

- ◆ รอยแตกเนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Cracks)
- ◆ รอยแตกเนื่องจากการหดตัว (Shrinkage Cracks)
- ◆ รอยแตกเนื่องจากคอนกรีตหยาบ (Mass Concrete Cracks)

รอยแตกเหล่านี้ มักจะมีขนาดเล็กและไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของ Member นั้น อย่างไรก็ตาม รอยแตกเหล่านี้จะเป็นช่องทางให้น้ำและสารเจือปนอื่นๆ เข้าไปได้ ซึ่งจะนำไปสู่ปัญหาที่ร้ายแรงอื่นๆ ต่อไป

รอยแตกเนื่องจากอุณหภูมิเกิดขึ้นจากการขยายตัวและเนื่องจากความร้อนและการหดตัวของคอนกรีต

รอยแตกเนื่องจากการหดตัว (Shrinkage Cracks) เกิดจากการหดตัวของคอนกรีตเนื่องมาจากขั้นตอนการบ่มคอนกรีต (Curing)

Mass Concrete Cracks เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก (Temperature Gradient) มีมากเกินไปในเนื้อคอนกรีต ซึ่งมีปริมาณมาก ๆ ทันทีหลังจากการเทคอนกรีต หรือเป็นระยะเวลาหนึ่งหลังจากนั้น



ในพื้นที่สะพานที่เป็นคอนกรีต (Concrete Bridge Decks) รอยแตกจากอุณหภูมิและการหดตัวนี้ สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในแนวขวาง (Transverse) และแนวยาว (Longitudinal) สำหรับในกำแพงกันดิน (Retaining Walls) และ Abutments รอยแตกเหล่านี้จะอยู่ในแนวตั้ง (Vertical) ส่วนในคานคอนกรีต รอยแตกเหล่านี้จะเกิดขึ้นในแนวตั้งหรือแนวขวางบนตัว Member นั้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก Stress จากอุณหภูมิและการหดตัวนี้ เกิดขึ้นได้ในทุกทิศทาง รอยแตกเหล่านี้อาจเกิดขึ้นในทิศทางอื่นๆ ก็ได้

### 2.3 การหลุดเซาะ (Scaling)

เป็นลักษณะที่มีการสูญเสียปูนฉาบที่ผิวหน้าและมวลรวมคอนกรีตในบริเวณหนึ่งๆ อย่างต่อเนื่องและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (Gradual and Continuing) จะสามารถบอกริมาณการเสียหายประเภทนี้ โดยการวัดขนาดพื้นที่และความลึกของการหลุดเซาะ รวมทั้งความชัดเจนในการมองเห็นมวลรวม (Aggregate) โดยมี 4 ระดับ ดังนี้

- ◆ ขนาดเบา – มีการสูญเสียปูนฉาบที่ผิวหน้า จนถึงความลึก 6 มิลลิเมตร และสามารถมองเห็นมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้
- ◆ ขนาดกลาง – มีการสูญเสียปูนฉาบที่ผิวหน้า ตั้งแต่ความลึก 6 มิลลิเมตร จนถึง 1.2 เซนติเมตร และมีการสูญเสียเนื้อปูนระหว่างมวลรวม
- ◆ ขนาดรุนแรง – มีการสูญเสียปูนฉาบที่ผิวหน้า ตั้งแต่ความลึก 1.2 จนถึง 2.5 เซนติเมตร และมองเห็นมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้ชัดเจนมาก
- ◆ ขนาดรุนแรงมาก – มีการสูญเสียส่วนของมวลรวมหยาบ พร้อมกับการสูญเสียปูนฉาบที่ผิวหน้า รวมถึงเนื้อปูนที่อยู่รอบๆ มวลรวมหยาบ มีความลึกมากกว่า 2.5 เซนติเมตร ขึ้นไป และเหล็กเสริมในคอนกรีต โผล่ออกมาให้เห็น (Exposed)

เมื่อรายงานผลการตรวจสอบ Scaling นี้ ผู้ตรวจสอบควรต้องระบุตำแหน่งของการชำรุดขนาดของพื้นที่ที่ชำรุดและความลึกของการชำรุดนี้



รูปที่ 2-2 การหลุดเซาะบริเวณคานขวางของตอม่อสะพาน

## 2.4 การหลุดแยกออกเป็นแผ่นๆ (Delamination)

จะเกิดขึ้นเมื่อชั้นต่างๆ ของคอนกรีตได้หลุดแยกออกที่ผิวบนสุดหรือส่วนที่อยู่ใกล้ผิวบนสุดของชั้นเหล็กเสริม สาเหตุหลักของการหลุดชนิดนี้คือ การขยายตัวของเหล็กเสริมที่เป็นสนิม ซึ่งเป็นเนื่องมาจากการแทรกซึมของสารจำพวก คลอไรด์หรือเกลือสนิมที่เกิดขึ้นจะเข้าไปครอบคลุมและมีปริมาณมากถึง 10 เท่าของปริมาณเหล็กเสริม พื้นที่ที่เกิดการหลุดออกของคอนกรีตนี้ จะเป็นโพรงข้างใต้ผิวคอนกรีต โดยสังเกตได้จากการฟังเสียงเมื่อใช้ค้อนเคาะ เมื่อพื้นที่ส่วนดังกล่าวได้หลุดออกจาก Member อย่างถาวร จึงเรียกได้ว่าเป็นการหลุดออกเป็นแผ่นๆ (Delamination)

เมื่อทำการรายงานถึงความเสียหายนี้ ผู้ตรวจสอบควรที่จะต้องระบุตำแหน่งและขนาดของพื้นที่ที่เกิดการชำรุด



รูปที่ 2-3 การหลุดแยกออกเป็นแผ่นๆ ใต้แผ่นพื้นสะพาน



รูปที่ 2-4 การหลุดแยกออกเป็นแผ่นๆ ใต้คานขวางบนตอม่อสะพาน

## 2.5 การหลุดร่อน (Spalling)

เป็นการยุบตัวของคอนกรีตเป็นรูปคล้ายวงกลมหรือวงรี มีสาเหตุมาจากการแยกตัวหรือการถูกเคลื่อนย้ายของส่วนใดส่วนหนึ่งของคอนกรีตที่ผิวหน้า ทำให้เห็นรอยแตกที่ค่อนข้างจะขนานกับผิวคอนกรีต และการหลุดร่อนนี้ ก็อาจมีสาเหตุมาจากการที่เหล็กเสริมเป็นสนิมและการเกิดแรงเสียดทานจากการขยายตัวเนื่องจากความร้อน ส่วนใหญ่แล้วเมื่อมีการหลุดร่อน ก็จะมองเห็นเหล็กเสริมได้ สามารถแยกแยะการหลุดร่อนของคอนกรีตได้ดังนี้

- ◆ การหลุดร่อนขนาดเล็ก จะมีความลึกน้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร หรือมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 15 เซนติเมตร
- ◆ การหลุดร่อนขนาดใหญ่ จะมีความลึกมากกว่า 2.5 เซนติเมตร หรือมีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร
- ◆ เมื่อทำรายงานเกี่ยวกับหลุดร่อน ผู้ตรวจสอบควรจะต้องระบุตำแหน่งของรอยชำรุด ขนาดของพื้นที่ และความลึกของการชำรุด



รูปที่ 2-5 การหลุดร่อนใต้แผ่นพื้นสะพาน

## 2.6 การเกิดคราบเกลือ (Efflorescence)

การเกิดคราบเกลือคือ การเกิดคราบสีขาวบนคอนกรีต มีสาเหตุมาจากการตกผลึกของสารละลายประเภทเกลือ (แคลเซียมคลอไรด์- Calcium Chloride) ซึ่งออกมาสู่ผิวคอนกรีตได้โดยผ่านการดูดซับและการไหลเวียนของความชื้นในคอนกรีต การเกิดขี้เกลือนี้ เป็นตัวบ่งชี้ว่า คอนกรีต ณ ที่นั้น ได้ถูกปนเปื้อนแล้ว (Contaminated)



รูปที่ 2-6 การเกิดคราบเกลือ

---

## 2.7 การเกิดรูพรุนเหมือนรวงผึ้ง (Honeycomb)

---

เป็นช่องว่างที่เกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีสาเหตุมาจากการจี้คอนกรีตไม่เหมาะสม (Improper Vibration) ระหว่างการก่อสร้าง อันเป็นผลให้เกิดการแยกตัวของมวลรวมหยาบ ออกจากมวลรวมละเอียดและซีเมนต์



รูปที่ 2-7 การเกิดรูพรุนเหมือนรวงผึ้ง

---

## 2.8 การหลุดออกเป็นเม็ด ๆ (Pop-Out)

---

ชิ้นส่วนเล็กๆ รูปโคน (Conical) จะแตกและหลุดออกจากเนื้อคอนกรีตทำให้เกิดหลุมเล็กๆ ทั่วๆ ไปแล้ว มักจะพบสะเก็ดของคอนกรีตที่หลุดออกมาอยู่ในบริเวณใต้หลุมที่เกิดขึ้น การชำรุดชนิดนี้ มีสาเหตุมาจากการทำปฏิกิริยา



ของมวลรวมกับซีเมนต์ที่เป็นต่างหากๆ (High Alkaline) และก็มีสาเหตุมาจากมวลรวม เช่น หินดินดาน เกิดการขยายตัวเนื่องจากความชื้น

---

## 2.9 การสึกกร่อน (Wears)

---

เกิดขึ้นที่ผิวคอนกรีตที่สัมผัสกับการจราจร (Exposed to Traffic)



รูปที่ 2-8 การสึกกร่อนของผิวคอนกรีต

---

## 2.10 ความเสียหายที่เกิดจากการถูกชน (Collision Damage)

---

การที่ยานพาหนะประเภทต่างๆ ได้ชนกับสะพาน ล้วนแต่สร้างความเสียหายให้แก่ส่วนประกอบของสะพานทั้งสิ้น คานคอนกรีตอัดแรงจะเป็นส่วนที่ค่อนข้างจะถูกระทบกระเทือนได้ง่าย (Sensitive) ต่อความเสียหายประเภทนี้

---

## 2.11 การสึกกร่อน (Abrasion)

---

การสึกกร่อนเป็นผลมาจากการที่แรงภายนอกได้กระทำต่อผิวของ Member ที่เป็นคอนกรีต การกัดเซาะของกระแสน้ำที่มีโคลนตมอยู่มากซึ่งไหลบนผิวคอนกรีตหรือวัสดุที่ลอยมากับน้ำ ก็สามารถทำให้คอนกรีตเกิดการสึกกร่อนได้ที่บริเวณตอม่อและเสาเข็ม เช่นเดียวกับคอนกรีตที่อยู่ในบริเวณที่มีคลื่นมาก ก็อาจเกิดการสึกกร่อนได้โดยการถูกระทบจากทรายและโคลนที่อยู่ในน้ำ



รูปที่ 2-9 การสึกกร่อนของเสาตอม่อ

---

## 2.12 ความเสียหายที่เกิดจากการบรรทุกน้ำหนักเกิน (Overload Damage)

---

เกิดขึ้นเมื่อองค์อาคารคอนกรีตต้องแบกรับความเค้นมากเกินไป (Overstressed) ให้บันทึกแรงสั่นสะเทือนและการแอ่นตัวที่มากเกินไปด้วย

---

## 2.13 การเกิดสนิมในเหล็กเสริม (Reinforced Steel Corrosion)

---

เป็นผลสืบเนื่องมาจากการผสมทางเคมีของคอนกรีต เหล็กเสริมซึ่งฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีตจะถูกปกป้องมิให้เกิดสนิม ในสภาวะแวดล้อมที่มีความเป็นด่างสูง จะมีชั้นเยื่อบางๆ อยู่ที่ผิวของเหล็กเสริมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสนิม



รูปที่ 2-10 การเกิดสนิมในเหล็กเสริม





อย่างไรก็ตาม การป้องกันวิธีนี้ จะถูกกำจัดโดยการแทรกซึมของสารพวกคลอไรด์ ซึ่งทำให้น้ำและออกซิเจนสามารถเข้าสร้างความเสียหายต่อเหล็กเสริมโดยสร้างไอออนออกไซด์ หรือสนิมขึ้น (Rust) ไอออนของคลอไรด์ที่เกิดขึ้นในคอนกรีตนี้จะเข้าสู่เหล็กเสริมโดยแพร่กระจายซึมเข้าคอนกรีตหรือเข้าตามรอยแตกในคอนกรีต

---

## 2.14 การเสื่อมสภาพของคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Deterioration)

---

คอนกรีตอัดแรงจะสูญเสียกำลังจากหลายรูปแบบของการเสื่อมสภาพของคอนกรีต Member ที่เป็นคอนกรีตอัดแรง จะถูกกระทบกระเทือนได้ง่ายจากสนิมและการล้าในรอยแตก การเกิดสนิมที่ลวดอัดแรงสามารถนำไปสู่การวิบัติของ Member นั้น การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างลวดอัดแรง และคอนกรีต จะทำให้ Member นั้นพังทลายได้ Member ที่ไม่ได้รับแรงยึดเหนี่ยว จะได้ผลกระทบจาก Zipper Effect การคลายตัว (Relaxation) ของคอนกรีตอัดแรง ที่เกิดขึ้นเนื่องจาก การอยู่ใต้ Tensile Stress มากๆ เป็นเวลานาน จะทำให้คอนกรีตสูญเสียกำลัง การหดตัวของคอนกรีต ยังทำให้เหล็กอัดแรงเกิดการ Relaxation มากขึ้นไปอีกด้วย ซึ่งก็จะทำให้ Member นั้นสูญเสียกำลังด้วยเช่นกัน นอกจากนี้การล้าของคอนกรีตยังทำให้ Member สั่นลง ซึ่งจะทำให้เกิดการ Creep ของลวดเหล็กอัดแรง และนำไปสู่การสูญเสีย Strength ของลวดเหล็กอัดแรงในที่สุด

# การบำรุงรักษาโครงสร้างคอนกรีต

## 3.1 บทนำ

ทันทีที่สะพานได้ถูกสร้างเสร็จสมบูรณ์และได้เปิดใช้งานแล้ว ความชำรุดเสียหายต่างๆ ก็เกิดขึ้นในทันทีทันใดเช่นกัน การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเป็นไปอย่างช้าๆ และก็ทำให้ขาดการเอาใจใส่ดูแล เหตุการณ์หายณะที่เกิดขึ้นโดยทันทีนั้นก็เป็นที่หนึ่งซึ่งเรียกร้องให้มีการแก้ไขโดยเร็ว สิ่งต่างๆ ที่เกิดขึ้นเหล่านี้สามารถหลีกเลี่ยงได้ ถ้ามีการปฏิบัติการบำรุงรักษาเชิงป้องกันอย่างเป็นระบบ (Systematic Preventive Maintenance)

ความพยายามและการปรับปรุงการปฏิบัติงานซ่อมบำรุงในแต่ละวัน (Day-to-Day) จะสามารถทำให้การใช้งานสะพานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การตรวจสอบตามช่วงระยะเวลา (Periodic Inspection) ของส่วนประกอบต่างๆ ของโครงสร้างควรจะได้รับปฏิบัติอย่างระมัดระวัง และเป็นระบบในการที่จะระบุตำแหน่งของพื้นที่ต่างๆ ที่ต้องได้รับการดูแลก่อนที่จะกลายเป็นปัญหาใหม่ในการซ่อมแซม เมื่อปฏิบัติงานโดยรอบสะพานควรจะได้ใช้เวลาในการตรวจหาสิ่งใดๆ ที่อาจจะเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการพังทลายได้ เมื่อตรวจพบจุดที่ต้องสงสัยแล้วก็ควรจะต้องรีบรายงานโดยทันที

## 3.2 การบำรุงรักษาพื้นผิวการจราจร

### 3.2.1 หลักการโดยทั่วไป

พื้นผิวถนนบนสะพาน หมายความว่ารวมถึงส่วนพื้นสะพาน (Deck) ไม่ว่าจะเป็นแบบที่มีหรือไม่มีผิวชั้นทางที่ทับไว้ (Wearing Surface) รอยต่อ (Joint) ราวสะพาน (Railing) แผงบัง (Parapet) แผงกัน (Barriers) ขอบทาง (Curb) ทางเท้า (Sidewalk) และระบบระบายน้ำของพื้นสะพาน (Deck Drainage System)

ส่วนของคอนกรีตที่มักพบการเสื่อมสภาพ มักจะเป็นบริเวณส่วนพื้นสะพาน (Deck) ทั้งด้านบนและด้านล่างที่มีการสัมผัสของน้ำ ส่วนหนึ่งก็เกิดเนื่องจากเหล็กเสริมในคอนกรีตเป็นสนิม น้ำซึ่งมีส่วนผสมของคลอไรด์ (Chloride) อยู่ได้แทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตและทำให้เกิดผลเสียดังกล่าวก่อน และน้ำที่ท่วมขังอยู่บนผิวคอนกรีตนั้นก็เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น



สภาพความชำรุดเสียหายดังกล่าวจะสังเกตเห็นได้โดยการตรวจสอบสะพานด้วยสายตา (Visual Inspection) ส่วนความเสียหายที่ไม่สามารถมองเห็นได้นั้น เช่น การแยกชั้นของคอนกรีต (Delamination) ก็จะตรวจพบได้โดยการฟังเสียงของความแน่น โดยใช้ค้อนเคาะหรือใช้โซ่ลาก (Chain Drag)



รูปที่ 3-1 การเสียหายอย่างรุนแรงที่ด้านล่างของพื้นสะพาน



รูปที่ 3-2 การเสียหายอย่างรุนแรงที่ด้านบนของพื้นสะพาน



รูปที่ 3-3 คอนกรีตอิ่มตัวด้วยน้ำ (Water Saturated Concrete)

### 3.2.2 การทำความสะอาดและการชำระล้าง (Cleaning & Flushing)

การทำความสะอาดและการชำระล้างเป็นประจำตามที่กำหนด (Routine) ทั้งส่วนของพื้นผิวการจราจร พื้นสะพานคอนกรีต ช่องระบายน้ำ รอยต่อเพื่อขยาย (Expansion Joints) คานยึด (Lower Chords) ส่วนหัวหุ้มตอม่อ (Bent Caps) และส่วนประกอบอื่น ๆ ด้วย

อุปกรณ์สำหรับการระบายน้ำทุกชนิด เช่น ช่องระบายน้ำที่ขอบทาง ท่อระบายน้ำ (Pipe Drain) ช่องระบายน้ำที่พื้น (Floor Drain) ช่องปล่อน้ำ (Down Sprouts) ควรจะได้รับการทำความสะอาดไม่ให้เกิดการอุดตัน เพื่อป้องกันมิให้น้ำท่วมขังบนส่วนของพื้นสะพาน ทั้งนี้เนื่องจากขบวนการพาหนะอาจจะสิ้นเปลืองได้ทำให้เกิดความปลอดภัย นอกจากนี้ยังอาจจะส่งผลให้เกิดการชำรุดทรุดโทรมทางโครงสร้าง (Structural Deterioration) ได้ เนื่องจากสารเคมีที่อาจตกค้างอยู่ในน้ำที่ท่วมขังนั้นจะแทรกซึมเข้าเนื้อคอนกรีต และเป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมสภาพของคอนกรีต โดยเฉพาะในบริเวณที่เป็นรอยแตก (Cracks) และรอยต่อ (Joints)

อุปกรณ์ทำความสะอาดต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ทำงานร่วมกัน ได้แก่ เครื่องมือแฉะเศษดินและหิน ไม้กวาด เครื่องอัดอากาศ บีมลม เครื่องมือทำความสะอาดอัตโนมัติ และอุปกรณ์ในการฉีดน้ำ อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องมือต่างๆ เหล่านี้ในการกำจัดเศษดิน หิน ขยะ และสิ่งสกปรกอื่น ๆ อาจทำให้เกิดการหลุดลอกของผิวคอนกรีต ซึ่งจะต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดความเสียหายนี้ เพราะอาจเป็นสาเหตุให้เกิดสนิมที่เหล็กเสริมในคอนกรีต อันเป็นผลเนื่องมาจากการหลุดลอกของคอนกรีต หรือการเกิดสนิมที่ Expansion Bearings โดยการเกิดสนิมที่ Expansion Bearings จนไม่สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ จะทำให้เกิดแรงเค้นจากการดึง (Tensile Stress) ขึ้นมาจนมากเกินไปและก็ถูกถ่ายเทสู่คอนกรีตใต้ Bearing Pad และทำให้คอนกรีตในบริเวณนั้นเกิดการแตกร้าวไปตามแนวของสลักยึด (Anchor Bolt)

ปัญหาที่วิกฤติอีกอย่างหนึ่งที่มีมักจะถูกมองข้ามและปล่อยปละละเลยก็คือ การสะสมของเศษสิ่งสกปรกทั้งหลาย ไม่ว่าจะเป็นหิน ดิน ทราบ เศษขยะ ได้มีการสะสมกันที่บริเวณใต้คานของพื้น (Lower Chord and Beam Flanges) และที่



รอยต่อขององค์อาคารในบริเวณนั้นได้ ฉะนั้นจึงควรจัดให้มีการดูแลรักษาทั้งการทาสีและการทำความสะอาดในบริเวณนั้น อยู่เสมอ เพื่อป้องกันมิให้เกิดการสูญเสียหน้าตัดในบริเวณนั้นๆ

### 3.2.3 รอยแตกที่พื้นสะพาน (Deck Cracks)

ส่วนใหญ่ของพื้นสะพานคอนกรีต มักจะเกิดรอยแตกเสมอ รอยแตกเหล่านี้เป็นได้ทั้งรอยแตกในแนวขวาง ในแนว ยาว หรือแบบคละกันไป เมื่อความชื้นและสารเคมีต่างๆ สามารถเข้าไปสู่ภายในรอยแตกได้แล้ว ก็จะทำให้เกิดปัญหา หลายประการตามมาเช่น ความชื้นและสารเคมีทำให้เหล็กเสริมคอนกรีตเป็นสนิม เมื่อเหล็กเสริมในคอนกรีตเป็นสนิม ก็จะมี การขยายตัวและจะทำให้คอนกรีตถูกแรงดันออกจนแตกและหลุดล่อนในที่สุด หรือ การที่น้ำสามารถท่วมขัง หรือตกค้าง อยู่ในรอยแตกได้นั้น ก็สามารถทำให้คอนกรีตเกิดการหลุดล่อนได้เช่นเดียวกัน

การอุดรอยแตกเหล่านั้นด้วยยาง Asphalt หรือวัสดุอื่นที่เหมาะสม ก็สามารถที่จะป้องกันมิให้ความชื้นเข้ามาใน รอยแตกได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งก็ช่วยให้การชำรุดและการเสื่อมสภาพของพื้นสะพานคอนกรีตเกิดขึ้นช้าลงไปด้วย



รูปที่ 3-4 รอยแตกบนพื้นสะพาน

### 3.2.4 การบำรุงรักษาพื้นสะพานคอนกรีต (Deck Treatment)

การบำรุงรักษาสะพานคอนกรีตนี้ ทำเพื่อป้องกันผลกระทบจากความชื้นและสารเคมีต่างๆ แต่ก่อนที่จะทำการ บำรุงรักษาพื้นสะพานคอนกรีตใดๆ ก็ตาม จะต้องมีการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบของวิธีการบำรุงรักษา เช่น การสิ้น ใต และสภาพของพื้นผิวหลังการบำรุงรักษาทุกครั้ง โดยปกติแล้ว ผิวของพื้นสะพานคอนกรีตที่ต้องได้รับผลกระทบจาก การที่มีความชื้นสูง และ/หรือ สัมผัสกับน้ำทะเลมักจะได้รับการบำรุงรักษาด้วยอัตราส่วนผสม 50:50 ของ Boiled Linseed

Oil และ น้ำมันก๊าด (Kerosene) หรือสารประกอบที่มีลักษณะคล้ายๆ กัน หลังจากนั้นแล้วก็มักจะต้องมีการบำรุงรักษาด้วยวิธีการเดียวกันเป็นระยะๆ

ถ้าพื้นสะพานมีการชำรุด หรือมีรอยแตกมาก ก็อาจจะพิจารณาใช้วิธีการแทรกซึมชั้นพื้นผิวแอสฟัลท์ (Penetration Asphalt Surface Treatment) หรือการใช้สารอุดรอยต่อที่มีประสิทธิภาพเท่าเทียมกัน (Equivalent Sealer) ก่อนที่จะทำการอุดรอยชำรุดเหล่านี้ ควรจะต้องมีการศึกษาวิจัยข้อมูลของปริมาณการจราจร ประเภท (Type) ชั้น ความสำคัญ (Grade) และแนวการจัดวาง (Alignment) ของสะพานก่อน เนื่องจากองค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้ จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการบำรุงรักษาชนิดนี้เป็นอย่างมาก

เมื่อทำการอุดรอยต่อหรือรอยแตกเหล่านี้ จะต้องมีการคลุมพื้นที่ทั้งหมดของ Deck รวมถึงช่องระบายที่ขอบทาง ด้วย ยกเว้นที่บริเวณภายในของช่องระบาย เมื่อมีการใช้ Coverstone บน Deck ซึ่งไม่สามารถทับ Coverstone ในบริเวณดังกล่าวได้เนื่องจากจะทำให้ช่องระบายน้ำของ Deck เกิดการอุดตันเพราะเกิดการสะสมของวัสดุ

ควรจะต้องมีการดูแลรักษาอุปกรณ์ส่วนที่ช่วยในการขยายตัวของพื้นสะพาน (Deck Expansion Device) ไม่ให้มีวัสดุที่ใช้อุดรอยต่อ (Sealant Material) เพราะวัสดุเหล่านี้จะทำให้ Expansion Device ทำหน้าที่ได้ไม่เหมือนเดิม หากพบว่าวัสดุใดๆ กำลังจะเข้าไปใน Expansion Device ก็ต้องกำจัดออกทั้งหมดโดยทันที

การจัดให้มีการกำจัดเศษหินหรือหินก้อนเล็กๆ ออกจากพื้นสะพาน ก็มีผลสำคัญในการป้องกันมิให้กระจก รอยนต์ได้รับความเสียหาย และยังช่วยมิให้ท่อระบายน้ำอุดตันอีกด้วย และจะเป็นการดียิ่งขึ้นไปอีก หากจัดให้มีการกำจัด เศษหินและดินเหล่านี้ออกจากส่วนห่อหุ้มของโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure Caps)

### 3.2.5 ชั้นผิวถนนคอนกรีตแอสฟัลท์ (Asphaltic Concrete Overlays)

ชั้นผิวถนนคอนกรีตแอสฟัลท์นี้ถูกใช้บนพื้นสะพานคอนกรีต (Concrete Deck) เพื่อให้มีผิวถนนที่ราบเรียบและช่วยป้องกันผิวคอนกรีตให้พื้นสะพานไม่ได้รับความเสียหายจากแรงกระแทกด้วย นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันมิให้ชั้นผิว ถนนบนสุด (Wearing Surface) ให้แทรกซึมเข้าไปในชั้น Asphalt ชั้นที่เป็นระบบป้องกันน้ำและส่วนอุดรอยต่ออื่นๆ ของพื้นสะพาน ก่อนที่จะทำการปูพื้นผิวถนนใหม่หรือเพิ่มความหนาของพื้นถนนนั้นในทุกครั้งจะต้องตรวจสอบถึง ความสามารถในการรับน้ำหนักว่าจะสามารถแบกรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมาได้หรือไม่

อย่างไรก็ตาม Asphaltic Concrete ก็ยังคงเป็นวัสดุที่มีความพรุน (Porous) อยู่ในตัว ดังนั้นมันจึงไม่สามารถเป็น วัสดุที่ใช้ Seal ที่ดีนัก ความพรุนของ Asphaltic Concrete จะเป็นตัวที่ดักจับความชื้นที่มีเกลือ (Salt Laden Moisture) ซึ่ง จะทำให้พื้นสะพานคอนกรีตเกิดการเสื่อมสภาพได้ หากไม่มีวัสดุที่ใช้ Seal ที่ดีพอ ดังนั้น เพื่อเป็นการป้องกันมิให้ สถานการณ์ที่เกิดขึ้นในการดูแลรักษาผิวทาง จึงควรจัดให้มีการใช้วัสดุที่ช่วยในการป้องกันการรั่วซึมผ่าน (Membrane Sealer) ก่อนที่จะทำการปูพื้นผิวถนนใหม่ด้วย Asphaltic Concrete ทุกครั้ง

เมื่อทำการปูพื้นผิวถนนด้วย Asphaltic Concrete ก็ควรต้องนำเครื่องกั้นที่ส่วนปลายพื้น (End Dams) ที่รอยต่อ เพื่อขยาย (Expansion Joint) เพื่อป้องกันมิให้วัสดุปูพื้นผิวถนนไหลเข้าไปในรอยต่อ

ควรจัดให้มีการตรวจสอบสภาพของผิวถนนที่เป็น Asphaltic Concrete ที่มีอยู่แล้วอย่างสม่ำเสมอ เพื่อตรวจสอบว่า มีรอยแตกหรือมีการเลื่อนหลุด (Debond) จากผิวพื้นสะพานคอนกรีตหรือไม่ เราสามารถใช้ค้อน (Hammer) หรือท่อน เหล็กในการตรวจสอบหาพื้นที่ที่มีการชำรุดดังกล่าวได้ โดยปกติแล้วจะพบพื้นที่เหล่านี้ได้ที่บริเวณใกล้แนวของถนน (Curbs) รอยต่อเพื่อขยาย (Expansion Joints) และตำแหน่งอื่น ๆ ทำให้ชั้นผิวถนน (Overlay) มีรอยแตกเมื่อตรวจสอบ พื้นที่ดังกล่าวแล้ว ควรจะลอกผิวถนนในบริเวณนั้นออกและปูพื้นผิวถนนใหม่



ควรพยายามตรวจสอบสภาพของคอนกรีตที่อยู่ข้างใต้ของชั้นผิวถนน (Overlay) ถ้าคอนกรีตมีความเสียหายก็ให้กำจัดออกเสียและทำการซ่อมแซมให้เรียบร้อยก่อนที่จะทำการปูพื้นผิวถนนใหม่ เมื่อทำการเทคอนกรีตให้เข้ากับพื้นสะพานคอนกรีตจะต้องทำด้วยความระมัดระวัง ควรต้องทำการอุดรอยแตกต่างๆ ในคอนกรีตให้เรียบร้อยด้วยวัสดุอุดรอยแตก (Crack-Sealing Material) เพื่อป้องกันมิให้น้ำสามารถไหลหรือซึมผ่านเข้าไปในเนื้อคอนกรีตได้

เพื่อเป็นการสร้างความมั่นใจว่า พื้นสะพานคอนกรีต (Concrete Deck) จะมีแรงยึดเหนี่ยวที่ดี (Good Adhesion) จึงต้องทำให้พื้นสะพานคอนกรีตนั้นแห้ง และทาน้ำยาเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (Bonding Agent) ด้วย ก่อนที่จะทำการปูผิวถนน (Overlay) หนึ่ง จะต้องทำให้แน่ใจว่า Overlay นี้ได้รับการบดอัดอย่างดีและทั่วถึงด้วยเช่นกัน

### 3.2.6 รอยต่อเพื่อขยายและอุปกรณ์ (Expansion Joint and Devices)

รอยต่อของพื้นสะพาน (Deck Joints) ช่วยให้สะพานสามารถยืดและหดตัวได้ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการเคลื่อนตัวเนื่องจากการรับน้ำหนักบรรทุก หรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ในบางครั้งรอยต่อเหล่านี้ก็มีการเติมด้วยวัสดุที่ถูกบีบอัดได้ (Compressible) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วซึมและวัสดุที่บีบอัดไม่ได้ (Incompressible) ให้ออกไปจากรอยต่อ ถ้ามีวัสดุดังกล่าวหลุดออกไปและมีวัสดุจำพวกถูกบีบอัดไม่ได้ เช่น เม็ดฝุ่น ทราย หินและเศษวัสดุต่างๆ เข้ามาแทนที่อยู่ในรอยต่อ ก็อาจทำให้บริเวณปลายของแผ่นพื้นถูกอัดเกิดการแตกร้าวได้ เมื่อสะพานมีการขยายตัว

ในหลายๆ ครั้ง สิ่งนี้ก็เป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันส่วนเกิน (Undue Pressure) ขึ้นในแผ่นรองสะพาน (Bearing) ของโครงสร้างส่วนบน (Superstructure) ทำให้เกิดรอยแตกและคอนกรีตหลุดล่อน (Spalling) ที่บริเวณหัวหุ้มของโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure Cap) สำหรับสะพานคอนกรีตเฉียง (Skew Concrete Bridges) การชำรุดเสียหายในลักษณะนี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวขวาง (Transverse Movement) ของ Deck และเป็นผลให้เกิดความเคลื่อนตัวของขอบทางเท้า (Curb Offsets) ไปกีดขวางการจราจร ซากเศษวัสดุ (Debris) ที่ทับถมอยู่ในรอยต่อ อาจเป็นแหล่งสะสมความชื้นและสารเคมีอื่นๆ ซึ่งก็จะทำให้ Deck ที่อยู่ใกล้เคียงเกิดการเสื่อมสภาพได้ (Deterioration)



รูปที่ 3-5 การสะสมของเศษดินที่รอยต่อเพื่อการขยายตัว



รูปที่ 3-6 รอยแตกที่ปลายคาน



รูปที่ 3-7 คอนกรีตที่ Bent Cap ได้หลุดออกมา

รอยต่อเพื่อขยาย (Expansion Joints) ควรจัดให้มีการทำความสะอาดรอยต่อเพื่อขยายเป็นประจำ เพื่อกำจัดวัสดุที่ไม่ยึดหยุ่นที่สะสมอยู่ในรอยต่อนั้นออกไป และก่อนที่จะทำการเปลี่ยนวัสดุในรอยต่อใดๆ (Joint Filler) ก็ให้แน่ใจก่อนว่ามีความจำเป็นต้องทำเช่นนั้น ทั้งนี้ก็เพราะว่าสภาพที่เปลี่ยนแปลงไปอาจมีผลกระทบต่อรอยต่อได้





อุปกรณ์ขยายตัวที่เป็นโลหะ (Steel Expansion Device) จะต้องมีการทำความสะอาดอยู่เสมอ และจะต้องไม่ให้มีวัสดุใดๆ ที่บีบอัดไม่ได้ (Incompressible) ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์เหล่านี้ เพื่อเป็นการรักษาสถานภาพให้อุปกรณ์เหล่านี้สามารถเคลื่อนตัวได้อย่างอิสระ (Free Movement) และจะต้องระวังรักษาไม่ให้เป็นสนิม

ในบางครั้งอุปกรณ์ขยายตัวที่เป็นแผ่นโลหะแบน (Flat Plate Expansion Device) ก็เคลื่อนตัวเข้ามาใกล้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของตอม่อ (Abutment) การเคลื่อนที่ดังกล่าวส่งผลให้เกิดแรงดันที่ Backwall ของ Abutment และที่หมุดยึดอุปกรณ์ขยายตัว (Expansion Device Anchorage) ที่ส่วนปลายของ Deck แรงดันนี้ยังอาจเป็นสาเหตุให้บริเวณดังกล่าวพังลงได้ (Failure) ถ้าเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ขึ้น ก็อาจต้องทำการตัดแผ่นโลหะให้เล็กลง (Trim) ซึ่งก็ช่วยให้แรงดันลดลงได้ ขั้นตอนต่างๆ ก็สามารถนำมาใช้ลดแรงดันซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของ Abutment ได้

อุปกรณ์ขยายตัวแบบยืดหยุ่นได้ (Elastomeric Expansion Devices) อุปกรณ์ขยายตัวชนิดนี้ได้รับความนิยมมากขึ้นทุกขณะในช่วงหลายปีที่ผ่านมา โดยที่อุปกรณ์ชนิดนี้สามารถอุดรอยต่อเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ อีกทั้งยังสามารถยืดและหดตัวตามการเคลื่อนตัวของสะพานได้ด้วย โดยปกติแล้วอุปกรณ์ขยายตัวแบบยืดหยุ่นได้นี้จะประกอบไปด้วย ยางเทียม (Neoprene) และเหล็ก (Metal) และกำลังเป็นที่นิยมใช้มากในสะพานใหม่ๆ ในปัจจุบัน แต่ถ้าไม่ได้รับการออกแบบหรือการติดตั้งที่ดี มันก็จะถูกทำให้ชำรุดเสียหายได้ง่ายมาก โดยเฉพาะจากการถูกรูด ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ยึด (Anchorage) อุปกรณ์ขยายตัวประเภทนี้ควรต้องได้รับการตรวจสอบเป็นประจำ ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจว่าจะไม่มีส่วนใดๆ เกิดการหลวมขึ้นและเป็นอันตรายต่อการจราจรได้

### 3.2.7 ระบบระบายน้ำจากพื้นสะพาน (Deck Drains)

ระบบระบายน้ำของ Deck จะต้องไม่มีซากเศษวัสดุใดๆ ทับถมอยู่ มิฉะนั้นจะเกิดน้ำท่วมขังได้ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการลื่นไถลของยานพาหนะได้ การที่มีน้ำท่วมขังเป็นเวลานานต่อเนื่องกัน ก็จะเป็นสาเหตุให้พื้นสะพานเกิดการเสื่อมสภาพและชำรุดเสียหายเร็วขึ้น ซากเศษวัสดุที่สามารถทำให้ท่อระบายน้ำอุดตันนี้ได้แก่ ขวด กระป๋อง และขยะอื่นๆ ที่สะสมทับถมขึ้นในท่อระบายน้ำ

โดยปกติแล้ว สามารถทำความสะอาดท่อระบายน้ำที่อยู่ใต้พื้นสะพานได้โดยการใช้อุปกรณ์ธรรมดาๆ ใดๆ ไรก็ตาม หากระบบท่อระบายน้ำของพื้นสะพานมีความซับซ้อนมากขึ้นก็อาจจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ

ไม่ควรให้ระบบระบายน้ำลงโดยตรงที่องค์อาคารที่รองรับน้ำหนัก (Supporting Members) โดยควรจะจัดหามาตรการให้น้ำถูกระบายไปยังตำแหน่งอื่น

สำหรับพื้นสะพานที่ไม่มีระบบระบายน้ำ หรือว่ามีไม่เพียงพอก็ต้องทำการสำรวจว่ามีน้ำท่วมขังหรือไม่หลังจากที่ฝนตก ถ้ามีบริเวณที่น้ำสามารถท่วมขังได้ ก็ให้ระบุไว้ว่าเป็นพื้นที่ส่วนที่ต้องทำให้มีระบบระบายน้ำ และสามารถติดตั้งท่อ (Pipe) ณ จุดที่มีน้ำท่วมขังลึกที่สุด การกำหนดจุดติดตั้งท่อระบายน้ำนี้ต้องทำด้วยความระมัดระวัง โดยจะต้องมิให้มีการเจาะรูไปถูกคานคอนกรีตใดๆ หรือเป็นตำแหน่งที่จะทำให้น้ำที่ระบายออกนี้ไหลลงไปยังถนนที่อยู่เบื้องล่าง

ท่อที่จะฝังไว้ในพื้นสะพานนี้จะต้องมีความยาวเพียงพอ ที่จะระบายน้ำไปยังตำแหน่งที่ไม่กระทบต่อองค์อาคารของโครงสร้าง หลังจากที่ได้ติดตั้งท่อระบายน้ำแล้วควรจะใช้ปูนทรายตบแต่งตำแหน่งที่เจาะและบริเวณใกล้เคียงเพื่อเป็นการอุดช่องว่างที่มีอยู่ และควรต้องซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเจาะนี้ทั้งด้านบนและด้านล่างของพื้นสะพานด้วย

### 3.3 การบำรุงรักษาโครงสร้างส่วนบน

#### 3.3.1 หลักการโดยทั่วไป

โครงสร้างส่วนบน (Superstructures) ประกอบไปด้วยองค์อาคารหลัก (Main Members) ระบบพื้น (Floor Systems) องค์อาคารรอง (Secondary Members) และแผ่นรองสะพาน (Bearings)

- องค์อาคารหลัก คือ ส่วนที่สามารถทำให้โครงสร้างทั้งหมดพังทลายลงได้ (Collapse) หากองค์อาคารหลักได้พังลง (Fail) เช่น คานคอนกรีต (Concrete Girders)
- ระบบพื้น ประกอบไปด้วย องค์อาคารที่ถ่ายเทน้ำหนักบรรทุกจากถนนลงไปสู่อาคารหลัก โดยปกติแล้วการพังขององค์อาคารในระบบพื้นนี้ จะทำให้เกิดความเสียหายและมีผลกระทบต่อบริเวณใกล้เคียงเท่านั้น (Local Effects)
- องค์อาคารรอง เป็นส่วนประกอบที่เพิ่มความแข็งแรง (Stiffness) ให้แก่องค์อาคารหลัก
- แผ่นรองสะพาน เป็นอุปกรณ์เชิงกล (Mechanical Devices) ซึ่งถ่ายเทน้ำหนักบรรทุกจากองค์อาคารหลักลงไปสู่โครงสร้างที่ส่วนล่าง (Substructures) และยังทำให้องค์อาคารหลักสามารถเคลื่อนที่ในแนวยาว (Longitudinal) และในแนวหมุน (Rotational) ได้

#### 3.3.2 โครงสร้างส่วนบนที่เป็นคอนกรีต (Concrete Superstructures)

สำหรับโครงสร้างส่วนบนของสะพานคอนกรีตนั้นควรได้รับการเอาใจใส่ดูแลมากที่สุดในเรื่องรอยแตก (Cracks) หรือการหลุดล่อน (Spalls) ของคอนกรีต การชำรุดเสียหายดังกล่าวนี้ สามารถเป็นตัวบ่งชี้ว่าได้เกิดความเสียหายของโครงสร้าง (Structural Distress) และอาจทำให้น้ำสามารถแทรกซึม (Penetrate) เข้าไปทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตเป็นสนิมได้ พื้นที่ที่มีความเสียหายดังกล่าวนี้ ควรต้องได้รับการปิด (Seal) โดยใช้สารประกอบที่เหมาะสมสำหรับการอุด (Grout) หรือ การปะ (Patching)

องค์ประกอบหลักของโครงสร้างส่วนบนของสะพานคอนกรีตได้แก่ คานคอนกรีตในรูปแบบต่างๆ เช่น คานคอนกรีตเสริมเหล็ก คานคอนกรีตอัดแรง ซึ่งคานเหล่านี้อาจเป็นทั้งรูปแบบคานธรรมดา หรือเป็นรูปร่างต่างๆ เช่น คานโค้ง (Arch) หรือคานรูปกล่อง (Boxes)

##### 3.3.2.1 การบำรุงรักษาคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ (Prestressed Concrete I-beam)

โดยปกติแล้วคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอนี้ จะถูกสร้างให้เป็นแบบคานช่วงเดียว (Simple Span) คือ ไม่มีความต่อเนื่อง (Not Continuous) หลังจากที่ทำกรติดตั้งคานแล้ว หรือ เป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous) โดยการหล่อคานยึดคานกรีต (Concrete Diaphragm) ให้ยึดคานรูปตัวไอเข้าด้วยกันซึ่งก็จะเป็นการเติมเต็มแรงยึดเหนี่ยวในพื้นที่ว่างระหว่างปลายคาน (Beam Ends) ไปในตัวด้วย

ข้อแนะนำในการบำรุงรักษาคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอนี้มีดังนี้

1. ให้มีการทาน้ำยาเคลือบ (Seal) ด้วย น้ำยา Silane / Siloxane ทุกๆ 5 ปี
2. ในสะพานที่เป็นทางข้ามให้ตรวจดูรอยแห้ว (Nicks) รอยถูกเซาะ (Gouges) และการหลุดล่อน (Spalling) ของคอนกรีตในคานซึ่งมีสาเหตุมาจากยานพาหนะที่มีความสูงเกิน (Over height) ซึ่งวิ่งผ่านด้านล่างของสะพานให้ทำการตรวจสอบและทำการรื้อถอนซ่อมแซมตามกรรมวิธีการซ่อมบำรุงที่กล่าวไว้ในคู่มือฉบับนี้



### 3.3.2.2 สะพานที่ใช้พื้นคอนกรีต (Slab Bridges)

สะพานรูปแบบนี้จะใช้พื้นคอนกรีตแบบหล่อในที่ (Cast-in-Place Concrete Slab) โดยเสริมเหล็กที่ด้านล่างของแผ่นพื้นซึ่งมีความหนาค่อนข้างมาก เพื่อที่จะรับน้ำหนักบรรทุก ในห้วงระยะเวลาที่ผ่านมาจะมีการละลายที่จะดูแลรักษาสะพานรูปแบบนี้ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจริงๆ แล้วมีความสำคัญมากที่จะป้องกันมิให้คลอไรด์หรือความชื้นเข้าไปสัมผัสกับเหล็กเสริม สำหรับสะพานที่เป็นแบบช่วงเดียว (Simple Span) เหล็กเสริมจะอยู่ที่ด้านล่างของแผ่นพื้น แต่ถ้าเป็นสะพานแบบต่อเนื่อง (Continuous Span) ก็ต้องเข้าใจว่าจะต้องมีเหล็กเสริมอยู่ที่ด้านบนของแผ่นพื้นในบริเวณที่แผ่นพื้นอยู่เหนือตอม่อ (Pier) ด้วย

การบำรุงรักษาเชิงป้องกันของสะพานชนิดนี้ก็เหมือนกับการบำรุงรักษาพื้นคอนกรีตทั่วไป เช่น ในพื้นสะพานหรือ คานคอนกรีต สำหรับพื้นสะพานคอนกรีตที่มีรางระบายน้ำอยู่ที่ด้านข้าง (Over-The-Side Drainage) ก็ควรต้องมีการป้องกันพื้นคอนกรีตทั้งด้านบนและด้านล่างเช่นเดียวกับการดูแลรักษาพื้นสะพานและช่องระบายน้ำ โดยทั่วไปสามารถปฏิบัติได้ดังต่อไปนี้

1. ให้กวาดและฉีดชำระล้างพื้นผิวของพื้นสะพานและช่องระบายน้ำทุกๆ ปี
2. ให้ทำการเคลือบ (Seal) ที่ผิวพื้นสะพาน ด้วย Silane / Siloxane ทุกๆ 5 ปี
3. ให้ทำการปิดรอยแตกที่ผิวพื้นสะพาน ด้วย High Molecular Weight Methacrylate (HMWM)
4. สำหรับพื้นสะพานคอนกรีตที่มีรางระบายน้ำอยู่ด้วย ก็ให้ปกป้องด้านล่างของแผ่นพื้นที่อยู่ถัดไปด้วย Epoxy หรือ Urethane

---

## 3.4 การบำรุงรักษาโครงสร้างส่วนล่าง

---

### 3.4.1 หลักการโดยทั่วไป

โครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) ทำหน้าที่ถ่ายเทน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างส่วนบนลงไปสู่พื้นดิน โดยจะมี 2 รูปแบบคือ ตอม่อริมฝั่ง (Abutments) และฐานรองรับระหว่างช่วงความยาวสะพาน (Intermediate Supports) ตัวอย่างของฐานรองรับระหว่างช่วงความยาวของสะพาน ได้แก่ ตอม่อช่วงกลาง (Bents หรือ Piers) ขึ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างส่วนล่างได้แก่ หัวหุ้ม (Cap) ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (Above Ground Portion) และส่วนที่อยู่ใต้พื้นดิน (Below Ground Portion) ซึ่งก็รวมถึงตัวฐานราก (Footings) ด้วย

### 3.4.2 การบำรุงรักษาตามระยะเวลา (Routine Maintenance)

ซากเศษดินและวัสดุต่างๆ ที่ทับถมอยู่บนหัวหุ้มของตอม่อที่อยู่ใต้ช่องเปิดของรอยต่อต่างๆ นั้น สามารถที่จะรวมตัวกับความชื้นในอากาศจนกระทั่งเกิดการอิมมัตว ซึ่งถ้าถูกปล่อยให้อยู่ในสภาพนั้นเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว มันก็จะสามารถซึมเข้าเนื้อคอนกรีตได้และจะทำให้คอนกรีตเกิดการหลุดล่อนหรือเสื่อมสภาพได้ต่อไป พื้นที่ต่างๆ ดังกล่าวนี้อาจได้รับการทำความสะอาดอยู่เป็นระยะ ๆ (Periodically) และถ้าจำเป็นก็ควรจะทำกรหุ้ม (Seal) คอนกรีตเพื่อป้องกันมิให้สารเคมีต่างๆ กัดกร่อนเนื้อคอนกรีตได้ สารบางประเภท เช่น Modified Polyurethane Elastomeric Coating ก็สามารถถูกนำมาใช้เพื่อ Seal คอนกรีต และมีบ่อยครั้งที่มีการใช้ส่วนผสมในอัตรา 50:50 ระหว่าง Boiled Linseed Oil และน้ำมันก๊าด (Kerosene) ซึ่งก็ได้ผลดีเช่นกัน

### 3.4.3 โครงสร้างส่วนล่างที่เป็นคอนกรีต (Concrete Substructures)

โครงสร้างส่วนล่าง (Substructures) จะหมายความรวมถึงองค์ประกอบของสะพานทุกๆ ส่วนที่ทำหน้าที่รองรับโครงสร้างส่วนบน (Superstructures) ตัวอย่างของโครงสร้างส่วนล่างได้แก่ ตอม่อสะพาน (ทั้งแบบ Abutments แบบ Piers หรือแบบ Bents) ซึ่งอยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น

- Wall Type Pier (แบบกำแพง)
- Capped Pile Pier (แบบมีหัวหุ้มที่เสาค้ำ)
- Multiple Column (no cap) Pier (แบบมีหลายเสาโดยไม่มีหัวหุ้ม)

ข้อแนะนำในการบำรุงรักษา

1. ถ้าตอม่ออยู่ข้างใต้ Unsealed Deck Joint ก็ให้ทำความสะอาดโดยการฉีดล้างชำระ (Power Wash) เป็นประจำทุกปี และให้ Seal ด้วย Silane / Siloxane หรือ Epoxy / Urethane
2. ป้องกันเสาค้ำเหล็กโดยการหุ้มด้วยคอนกรีต ในช่วงที่เสาค้ำอยู่ที่ระดับพื้นดินหรืออยู่ในน้ำ
3. ให้ตรวจหารอยแตกในแนวตั้ง (Vertical Cracks) ในหัวหุ้มตอม่อและให้พิจารณาว่าต้องการใช้ Epoxy Injection หรือไม่

## 3.5 การบำรุงรักษาถนนช่วงคอสะพาน

### 3.5.1 หลักการโดยทั่วไป

ถนนช่วงคอสะพานเป็นส่วนประกอบสำคัญที่จะทำให้การจราจรเคลื่อนที่ขึ้นสู่สะพานได้อย่างนุ่มนวลและปลอดภัย ควรจัดให้มีการตรวจสอบถนนช่วงคอสะพานอย่างสม่ำเสมอเพื่อเป็นการเตรียมพร้อม ถ้าหากจำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุงต่างๆ สิ่งที่ต้องตรวจสอบก็คือ ความขรุขระของผิวพื้น (Unevenness) การทรุดตัว (Settlement) และความหยาบของผิว (Roughness) สภาพความไม่สมบูรณ์ต่างๆ เหล่านี้จะเป็นสาเหตุให้ยานพาหนะที่กำลังจะขึ้นสู่สะพานได้กระแทกกับโครงสร้างของสะพาน รอยแตกหรือความขรุขระของพื้นถนนช่วงคอสะพาน ก็อาจเป็นสิ่งที่บ่งชี้ได้ว่ามีช่องว่าง (Void) อยู่ใต้พื้นถนนซึ่งเกิดจากการทรุดตัวหรือการถูกกัดเซาะของชั้นดิน

รอยต่อระหว่างพื้นถนนช่วงคอสะพานกับ Backwall ของ Abutment ที่ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยในการหดตัวและขยายตัวอันเนื่องมาจากความร้อน ควรได้รับการตรวจสอบว่ามีสิ่งอุดตันหรือไม่ ควรจะให้มีการ Seal รอยต่อนี้เพื่อป้องกันมิให้สิ่งที่บีบอัดไม่ได้ (Non-Compressible) เข้าไปสะสมอยู่ในรอยต่อเพราะจะเป็นอุปสรรคต่อการหดและการขยายตัวของพื้นถนน ในการตรวจแต่ละครั้งควรจะมีการตรวจไหล่ทาง ความลาดชัน ระบบระบายน้ำ และรางกันตก (Guard Rails) เข้าไปด้วย

### 3.5.2 รอยต่อเพื่อขยายที่พื้นถนนช่วงคอสะพาน

เมื่อทำการก่อสร้างพื้นถนนคอนกรีตช่วงคอสะพาน ก็จะต้องมีการทำรอยต่อเพื่อขยาย (Expansion Joint) ไว้ที่บริเวณใกล้ๆ ปลายสะพานรอยต่อนี้จะช่วยลดแรงดันที่ Backwall ของ Abutment หรือที่ส่วนปลายของพื้นสะพาน (Deck End) โดยแรงดันนี้จะเกิดจากการเคลื่อนที่ของพื้นถนนช่วงคอสะพาน (Approach Pavement) ควรป้องกันมิให้การขยายตัวของพื้นถนนไปปิดช่องรอยต่อเพื่อขยายที่อยู่ระหว่างพื้นถนนช่วงคอสะพานและสะพาน ถ้าเหตุการณ์นี้เกิดขึ้นก็ต้องทำการขยายช่วงรอยต่อ ไม่ว่าจะโดยการตัดหรือกระแทกออกให้มีความกว้างประมาณ 7.5 ซม. และอุดด้วยวัสดุที่บีบอัดได้



(Compressible Material) ตัวอย่างวัสดุที่ใช้งานได้ดีเป็นที่น่าพอใจและคุ้มค่าก็คือ Bituminous Filler ซึ่งประกอบไปด้วย 1 ส่วนปริมาตรของ Rapid-Cure, Cut-Back Liquid Asphalt และ 2 ส่วนปริมาตรของ Air-Dried Sawdust อาจปรับอัตราส่วนให้เหมาะสม เพื่อเพิ่มความหนาแน่นได้แต่ส่วนที่ผสมได้นี้จะต้องไม่ให้ Free asphalt มีการ “Bleed” ออกมาเมื่อส่วนผสมนั้นถูกทำให้แน่น (Compacted) ถ้าหากว่าพื้นถนนมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ก็คงต้องทำตามขั้นตอนดังกล่าวนี้ซ้ำๆ อีก

### 3.5.3 การปรับระดับผิวถนนช่วงคอสะพาน (Leveling Approaches)

ถ้าผิวถนนช่วงก่อนขึ้นสะพานมีความราบเรียบ ก็จะช่วยป้องกันมิให้น้ำหนักกระแทกลงบนพื้นสะพานมากเกินไป เนื่องจากแรงกระแทกเหล่านี้จะทำให้เกิดหน่วยแรง และทำความเสียหายแก่พื้นสะพาน (Deck) และองค์อาคารที่รับน้ำหนักอยู่ การเจาะพื้นคอนกรีตหรือการซ่อมบำรุงอื่น ๆ ก็สามารถทำได้เพื่อปรับพื้นการจราจรให้มีความราบเรียบ

### 3.5.4 ไหล่ทางของถนนช่วงคอสะพาน

ถ้าไหล่ทางของถนนช่วงคอสะพานมีแนวโน้มว่าจะเป็นแหล่งเก็บกักซากเศษวัสดุที่มาจากถนน และสภาพเช่นนี้ก็อาจเป็นอุปสรรคต่อระบบการระบายน้ำที่ส่วนปลายสะพาน และอาจทำให้เกิดน้ำท่วมขังได้ ถ้าเกิดสภาวะเช่นนี้ขึ้นก็อาจมีความจำเป็นต้องเคลื่อนย้ายราว (Rail) ออก แล้วปรับแต่งให้อยู่ในสภาพที่ไม่เป็นอุปสรรคต่อระบบการระบายน้ำ

### 3.5.5 การปูผิวถนนช่วงคอสะพาน (Approach Roadway Surfacing)

ถ้าสะพานมีความกว้างมากกว่าถนนช่วงคอสะพาน ก็อาจเกิดปัญหาในการระบายน้ำขึ้นได้ พื้นที่ของถนนช่วงคอสะพานที่อยู่ต่ำกว่าระดับพื้นสะพาน อาจทำให้น้ำท่วมขังได้และก็ทำให้วัชพืชเติบโตขึ้นได้ ซึ่งเป็นผลให้ขอบทางและรางกันตกถูกบดบัง นอกจากนั้นแล้วก็อาจทำให้เกิด Hydrostatic Pressure ต่อ Back Wall และ Wing Walls ได้ รวมถึงเกิดการสะสมของสารเคมีต่างๆ ที่ปะปนมากับน้ำและซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตของโครงสร้าง

เพื่อเป็นการบรรเทาปัญหานี้ ก็ต้องมีกรปูพื้นยาง Asphalt หรือ คอนกรีตลงบนบริเวณดังกล่าวเพื่อให้แน่ใจว่าระบบการระบายน้ำเป็นไปด้วยดีและเหมาะสม และมีทัศนวิสัยที่ดี รวมถึงการช่วยลดปริมาณงานเล็กน้อยต่างๆ ในอนาคตอีกด้วย

### 3.5.6 ช่องระบายน้ำที่ถนนช่วงคอสะพาน (Approach Roadways Gutters)

ช่องระบายน้ำที่ปลายสะพานเป็นส่วนที่ป้องกันมิให้ Side Slope ถูกกัดเซาะและป้องกันมิให้น้ำที่ถูกระบาย (Runoff) เข้าไปบริเวณใต้พื้นถนนอันจะเป็นสาเหตุให้ชั้นดินถมใต้พื้นถนนถูกกัดเซาะ รวมทั้งป้องกันมิให้น้ำไปกัดเซาะชั้นดินใต้ตอม่อ ช่องระบายน้ำนี้ ควรจะมีความลึกเพียงพอที่จะทำให้ระบบระบายน้ำของถนนทำงานได้ดี และมีความยาวเพียงพอที่จะระบายน้ำนั้นไปให้ไกลจากสะพานได้ หลายๆ ครั้งที่ระบบการระบายน้ำที่ไม่เหมาะสมเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเลื่อนไถล (Slide) ของชั้นดินได้ ช่องระบายน้ำควรจะมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะระบายน้ำจากถนนได้อย่างดีโดยไม่เกิด Overflow ถ้าใช้วัสดุที่เป็น Asphalt ก็ควรจะตั้ง Seal เป็นระยะๆ

### 3.5.7 รอยต่อที่ปลายสะพาน (Joints at Bridge Ends)

รอยต่อบริเวณรอยต่อระหว่างถนนช่วงคอสะพานและปลายสะพานนั้นควรจะต้องถูกเคลือบ (Seal) ไว้เพราะจะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำไหลเข้าไปใต้พื้นถนนช่วงคอสะพานซึ่งก็จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการโยก (Pumping) ที่เป็นสาเหตุทำให้พื้นถนนนี้เกิดการแตกหักและมีผิวถนนที่หยาบ รวมถึงการช่วย (Shoring) ของ Abutment ด้วย นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันไม่ให้ชั้นดินถูกกัดเซาะ ซึ่งอาจทำให้ตอม่อคอนกรีตเกิดการเสียหายได้ และก่อนที่จะทำการ Seal ซ้ำ ควรต้องให้มีการทำความสะอาดทุกครั้ง ส่วนวัสดุที่ใช้ Seal ก็ต้องเป็นวัสดุที่ถูกบีบอัดได้ (Compressible Material)

## 3.6 การเคลือบป้องกันและปรับปรุงผิวคอนกรีต

### 3.6.1 หลักการโดยทั่วไป

การบำรุงผิวคอนกรีตสามารถใช้ได้ทั้งงานในแนวระนาบและแนวตั้ง วิธีการบำรุงรักษาและวัสดุที่ใช้ต้องตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ การใช้วิธีการนี้เพื่อจำกัดการกัดกร่อนเหล็กเสริม โดยการสร้างสภาวะที่ลดน้ำอิสระในคอนกรีตเพื่อป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและคลอไรด์ การปรับปรุงผิวหน้ามีประสิทธิภาพในการลดอัตราการเกิดสนิมเหล็ก ทั้งในการทดลองและการใช้งานจริง คุณสมบัติของวัสดุและความชำนาญของช่างเป็นสิ่งจำเป็นในการซ่อมแซมด้วยวิธีนี้ หนึ่งในวิธีการเคลือบป้องกันผิวคอนกรีตมีข้อพึงระวัง คือ ต้องใช้วัสดุที่มีความเข้ากันได้ระหว่างวัสดุปรับปรุงผิวหน้า วัสดุซ่อมแซมและคอนกรีตเดิม หลีกเลี่ยงการคลุมคอนกรีตด้วยวัสดุบำรุงผิวหน้าที่ไม่มีการถ่ายเทอากาศ และปฏิบัติตามคำแนะนำและข้อจำกัดของผู้ผลิต

การบำรุงผิวหน้าคอนกรีตโดยส่วนใหญ่ต้องใช้กับผิวหน้าคอนกรีตที่สะอาด แห้ง และ อยู่ในสภาพปกติ และควรทำงานในสภาวะที่อุณหภูมิและความชื้นที่พอเหมาะ และมีอากาศที่ถ่ายเท ก่อนที่จะทำการบำรุงผิวคอนกรีตควรปล่อยให้การซ่อมแซมคอนกรีตบ่มตัวอย่างน้อย 28 วัน

การเตรียมพื้นผิวก่อนทำการบำรุงผิวคอนกรีตเป็นปัจจัยที่สำคัญขึ้นอยู่กับชนิดของระบบการป้องกันคอนกรีต วิธีการรวมถึงการขูดผิวหน้าคอนกรีต การแปรงหรือบด การขัดสี การทำความสะอาดด้วยไฟ การสลักด้วยกรด ผงฝุ่นและเศษขยะที่เกิดจากการเตรียมพื้นผิวควรที่จะถูกนำออกก่อนที่จะทำการปรับปรุงผิวหน้า

ผิวหน้าของคอนกรีตที่ได้รับการปรับปรุงควรมีลักษณะต่างๆ ดังนี้

- 1.) การซึมผ่านได้ของน้ำ ความต้านทานในการดูดซึมน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในระบบการป้องกัน การซึมผ่านได้ของน้ำคือปริมาณของน้ำที่สามารถผ่านการบำรุงผิวหน้าต่อช่วงเวลาหนึ่ง
- 2.) การซึมผ่านได้ของไอน้ำ ขณะที่การปรับปรุงผิวหน้าต้องที่บนน้ำ แต่วิธีการนี้ต้องอนุญาตให้คอนกรีตแห้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับคอนกรีตที่เททับคอนกรีตใหม่หรือบนผิวหน้าของฐานตอม่อ หรือพื้นบนผิวดิน (Slab-on-Grade) การส่งผ่านของไอน้ำคือปริมาณของไอน้ำที่สามารถผ่านระบบป้องกันในระยะเวลาหนึ่ง
- 3.) ความต้านทานต่อการเกิดสนิม น้ำและการซึมผ่านของไอน้ำที่ได้อธิบายมาข้างต้น เป็นวิธีการวัดความต้านทานต่อการเกิดสนิมเหล็กทางอ้อม การโจมตีโดยสารเคมีหรือเกลือจะทำให้เกิดสนิมเหล็กเฉพาะจุด เหตุผลที่สำคัญที่ทำระบบป้องกันก็เพื่อเพิ่มให้เหล็กเสริมมีความต้านทานต่อการเกิดสนิมเหล็กมากขึ้น โดยการทำให้เกิดสภาวะที่ทำให้เกิดสนิมเหล็กที่ลดลง
- 4.) การเชื่อมรอยแตก (Crack Bridging) การทะลุของความชื้นผ่านรอยแตกอาจทำให้จุดประสงค์ของการปรับปรุงผิวหน้าไม่สัมฤทธิ์ผลเนื่องจากความชื้นจะทำให้เกิดสนิมเหล็ก สารอุดรอยต่อ ไม่ได้มีผลต่อการเชื่อม



รอยแตกอย่างมากมาย ถึงแม้ว่าสารที่ไม่ยึดเกาะน้ำ (Hydrophobic) อย่างซิลิโคน (Silanes) อาจช่วยป้องกันการซึมผ่านของความชื้นเข้าไปสู่รอยต่อที่ขนาดกว้างไม่มาก การใช้ Elastomeric Membrane ซึ่งมีความหนาและมีความยืดหยุ่นที่เพียงพอ จะสามารถเชื่อมรอยแตกขนาดเล็กได้ รอยแตกที่กว้างกว่า 0.25 ถึง 0.375 มม. ควรที่ทำการอุดและปิดรอยแตกก่อนที่จะใช้ Elastomeric Membrane

- 5.) ความต้านทานการลื่น (Skid Resistance) Penetrant ไม่มีผลต่อความต้านทานการลื่น ซึ่งเป็นคุณสมบัติความฝืดของผิวคอนกรีต แต่ Penetrant ที่อยู่ที่ผิวหน้าของคอนกรีตจะเกิดการขัดสีในปริมาณเดียวกับผิวคอนกรีต สารปิดผิวหน้าและสารขบผิวอาจทำให้ผิวคอนกรีตมีความต้านทานการลื่นลดลง ขณะที่การใช้ Membrane และการเททပ်มีผลทำให้ความต้านทานการลื่นเพิ่มขึ้น
- 6.) ภาพลักษณ์ (Appearance) การปรับปรุงผิวหน้าจะเปลี่ยนภาพลักษณ์ของคอนกรีต ยกเว้นการใช้ Penetrant สิ่งนี้อาจเป็นประโยชน์เพราะความแตกต่างระหว่างคอนกรีตเก่าและคอนกรีตที่ซ่อมแซมได้ถูกซ่อนไว้ไม่ให้เห็น สารปิดผิวหน้าโดยส่วนใหญ่แล้วเป็นสารโปร่งใส ซึ่งจะทำให้คอนกรีตดูเงาและแวววาว สารขบผิวมีหลากหลายสีให้เลือก Membrane ส่วนมากมีสีเทาและสีดำ

### 3.6.2 วัสดุที่ใช้ในการเคลือบป้องกัน

ในปัจจุบันมีวัสดุและวิธีการในการเคลือบป้องกันความเสียหายของผิวคอนกรีตอยู่มาก ซึ่งสามารถกล่าวในหลักการโดยรวมของวัสดุและวิธีการต่างๆ ได้ดังนี้

#### 3.6.2.1 Penetrant Sealers

Penetrant Sealers เป็นวัสดุซึ่งหลังจากมีการใช้งานแล้วจะอยู่ในคอนกรีตเดิม ความลึกการซึมของสาร Penetrant ขึ้นอยู่กับผลึกภัณฑ์และคุณสมบัติของคอนกรีตที่ซึ่งสาร Penetrant Sealers ได้ถูกนำไปใช้ ความลึกการซึมสามารถพิจารณาได้จากขนาดของโมเลกุลของสาร Penetrant Sealers และขนาดของรูในเนื้อคอนกรีต ขณะที่เราต้องการให้ Penetrant Sealers ซึมเข้าไปให้ลึกที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นผิวคอนกรีตที่ต้องการรับการขัดสี วัสดุที่เหมาะสมสำหรับ Penetrant Sealer ได้แก่ Boiled linseed oil, Silanes, Siloxanes, Epoxies, Methacrylates

ในเรื่องของการประยุกต์ใช้และข้อจำกัด Penetrant Sealers สามารถนำไปใช้โดยวิธีการกลึง การพ่น การฉีด บนคอนกรีตเดิม การเตรียมพื้นผิวคือปัจจัยที่สำคัญต่อการปรับปรุงผิวหน้าให้ประสบความสำเร็จเนื่องจาก Penetrant Sealers มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อสารปนเปื้อนและสารเคลือบผิวที่ได้ใช้ไว้ก่อนหน้านี้ ความต้านทานต่อรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet, UV) และความต้านทานต่อการขัดสีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยสาร Penetrant Sealers ไม่ทำให้เกิดการเชื่อมรอยแตกทั้งเก่าและใหม่

#### 3.6.2.2 Surface Sealers

Surface Sealers เป็นผลึกภัณฑ์ที่มีความหนาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.25 มม. ซึ่งโดยทั่วไปจะถูกปูทับผิวของคอนกรีต ผลึกภัณฑ์ที่เป็น Surface sealers ได้แก่ อีพ็อกซี่ โพลียูรีเทน Methyl Methacrylates ยูรีเทนชนิดบ่มด้วยน้ำ และอะคริลิก สีบางชนิดไม่ว่าจะเป็นชนิดน้ำหรือลาเท็กซ์ (ซึ่งได้แก่ Styrene-Butadiene, Polyvinyl Acetate, หรือเป็นส่วนผสมของโพลีเมอร์ที่กระจายอยู่ในน้ำ) สามารถจัดอยู่ในสารประเภท Surface Sealers ได้ หากมีความหนาน้อยกว่า

0.25 มม. ความหนาของฟิล์ม Surface Sealers และสีมีความหนาอยู่ระหว่าง 0.03 และ 0.25 มม. ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะถูกย้อมสี แต่มันก็ไม่ได้เปลี่ยนเนื้อของผิวผลิตภัณฑ์

วัสดุสามารถนำมาใช้โดยการใช้แปรง ลูกกลิ้งหรือการฉีด สารเคมีบางตัวอาจทำให้เกิดข้อจำกัดบางอย่าง และผู้ใช้ควรปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด Surface Sealers ไม่มีผลต่อการเชื่อมรอยแตกที่ยังไม่มีการหยุดการขยายตัว แต่ผลิตภัณฑ์นี้มักจะมีผลต่อการปิดรอยแตกที่มีขนาดเล็ก หรือรอยแตกที่ไม่มีการขยายตัวแล้ว นอกจากนี้แล้วคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มักถูกกระทบด้วยรังสี UV และจะถูกขัดสีหากมีการขัดสีเกิดขึ้นที่ผิว อย่างไรก็ตาม อีพ็อกซีและ Methyl Methacrylates มีความทนทานต่อการขัดสีและมีคุณสมบัติดีกว่าผลิตภัณฑ์อื่นในประเภทนี้ การเตรียมผิวก่อนทำการเคลือบมีความสำคัญอย่างมาก

### 3.6.2.3 High-Build Coatings

เป็นวัสดุที่มีความหนามากกว่า 0.25 มม. แต่น้อยกว่า 0.75 มม. เมื่อถูกนำมาใช้กับผิวคอนกรีต โพลีเมอร์ที่มักถูกนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ได้แก่ Acrylics, Styrene-Butadienes, Polyvinyl Acetates, Chlorinated Rubbers, Urethanes, Polyesters, Epoxies High-build Coatings จะเปลี่ยนลักษณะของผิวคอนกรีต คืออาจจะไปย้อมสีผิวคอนกรีตหรืออาจจะทำให้ผิวคอนกรีตเกิดตำหนิ

วัสดุประเภทนี้สามารถนำมาใช้โดยการใช้แปรง ลูกกลิ้งหรือการฉีด ในสภาวะทั่วไปวัสดุเคลือบต้องมีความต้านทานต่อการ Oxidation รวมถึงรังสี UV และรังสี Infrared สำหรับพื้นสะพาน ต้องพิจารณาถึงความต้านทานต่อการขัดสีและการเจาะ รวมถึงความต้านทานต่อสารเคมีที่ไม่รุนแรงมาก เช่นเกลือ จารบี น้ำมัน กรดจากแบตเตอรี่ ผงซักฟอก

นอกจากความคงทนของ Coatings แล้ว แรงยึดเหนี่ยวระหว่าง Coatings และคอนกรีตต้องไม่มีความเสียหายระหว่างการใช้งาน ถึงแม้ว่าการติดตั้งที่เหมาะสม ก็ยังมีโอกาสที่แรงยึดเหนี่ยวจะถูกทำให้เสียหายได้ หาก Coatings ที่นำมาใช้นั้นไอน้ำซึมผ่านได้ยาก อาจทำให้น้ำไปควบแน่นในจุดที่คอนกรีตและ Coatings สัมผัสกัน ซึ่งนำไปสู่การทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและ Coatings ได้

อีพ็อกซีเป็นวัสดุที่ใช้โดยทั่วไป เนื่องจากอีพ็อกซีมีแรงยึดเหนี่ยวที่ดี และมีความคงทนที่สูง อีพ็อกซีสามารถนำมาผสมกับมวลรวมเพื่อที่จะเพิ่มความต้านทานการขัดสีและความเสียดทาน Coatings บางตัวซึ่งรวมถึงอีพ็อกซีโดยปราศจากมวลรวม เมื่อนำมาใช้กับชิ้นส่วนในแนวนอนอาจทำให้เกิดการลื่นไถลเมื่อเกิดเปียกและอาจไม่เหมาะสมสำหรับที่ที่มีการจราจรหรือคนเดินถนน ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ไม่มีผลต่อการเชื่อมรอยแตกที่ยังขยายอยู่ แต่อาจมีผลต่อรอยแตกที่หยุดขยายแล้ว ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มีคุณสมบัติที่ดีกว่าระบบที่บางกว่า

### 3.6.2.4 Membranes

เป็นระบบการปรับปรุงผิวหน้าที่มีความหนามากกว่า 0.7 มม. แต่น้อยกว่า 6 มม. ฉาบบนผิวคอนกรีต ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ได้แก่ Urethanes, Acrylics, Epoxies, Neoprene, Cement, Polymer Concrete, Methyl Methacrylate, และ Asphaltic ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้เมื่อใช้กับคอนกรีตจะทำให้ผิวของคอนกรีตเปลี่ยนไปอย่างมากและทำให้ผิวคอนกรีตมีตำหนิ

วัสดุดังกล่าวสามารถนำมาใช้โดยการใช้แปรง ลูกกลิ้งหรือการฉีด Membranes ที่ใช้ส่วนใหญ่สามารถกันการดูดซึมน้ำ และสามารถเชื่อมรอยแตกที่มีขนาดเล็กกว่า 0.25 มม. ไม่ว่าจะเป็รอยแตกที่หยุดการขยายตัวหรือยังมีการขยายอยู่ Membranes ที่ใช้ร่วมกับ Epoxy Mortar Coating จะช่วยปรับปรุงความเสียดทาน (Skid Resistance) และความต้านทาน





การขัดสี (Abrasion Resistance) โดยต้องหมั่นดูแลรักษา Membranes โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นทางลาด ทางโค้งและบริเวณที่มีการหยุดของการจราจร

### 3.6.2.5 Overlays

Overlay เป็นวัสดุที่มีความหนามากกว่า 6 มม. ซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวอยู่กับผิวคอนกรีต ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ได้แก่ โพลีเมอร์คอนกรีต คอนกรีต อีพ็อกซี่ Methly Methacrylates และ Polymer-Modified Concrete การปรับปรุงผิวโดยวิธี Overlays จะเปลี่ยนลักษณะของผิวคอนกรีต

การปรับปรุงผิวคอนกรีตด้วยวิธี Overlays สามารถทำได้โดยการปู การพันวัสดุปรับปรุงผิวโดยอาจจะเป็นหนึ่งชั้นหรือมากกว่านั้นบนผิวคอนกรีต การปรับปรุงผิวคอนกรีตด้วยวิธี Overlays จะไปเพิ่มน้ำหนักให้แก่โครงสร้างเดิม และเป็นอัตราส่วนกับความหนาของ Overlay ดังนั้นควรทำการวิเคราะห์ผลของน้ำหนักที่เพิ่มมาต่อโครงสร้างคอนกรีตเดิม Overlay ยังสามารถถูกติดตั้งให้มีพฤติกรรมเป็นเนื้อเดียวกับโครงสร้างเดิมที่มีอยู่ (Composite Section) นอกจากนี้ยังสามารถทำการเสริมเหล็กเสริม เช่น เหล็กเสริม ไฟเบอร์ หรือ Wire Fabric นอกจากนี้ การปรับปรุงผิวคอนกรีตด้วยวิธี Overlays สามารถปรับปรุงระบบระบายน้ำให้กับผิวบนของพื้นคอนกรีต การปรับปรุงผิวคอนกรีตด้วยวิธี Overlays อาจจะสามารถเชื่อมรอยแตกที่หยุดขยายตัวแล้ว อย่างไรก็ตามสำหรับรอยแตกที่ยังขยายตัวอยู่อาจเกิดการขยายตัวตลอดความหนา Overlay หากไม่มีการออกแบบที่ดี ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของ Overlay คือมีหลายสี (Color) และหลายพื้นผิว (Texture) ให้เลือก

เพื่อที่จะทำให้คอนกรีต Overlay มีประสิทธิภาพสูงสุด ก่อนทำการ Overlay พื้นผิวต้องสะอาด ปราศจากฝุ่นและเศษหิน อันเนื่องมาจากการเตรียมผิวก่อนทำการปู Overlay

รอยแตกเป็นปัญหาใน Overlay ชนิดยึดเหนี่ยวกับผิวเดิม รอยแตกร้าวที่มีเชื่อว่ามีสาเหตุมาจาก 3 เหตุผลดังต่อไปนี้ 1) เกิดการฉีกขาดของผิวเนื่องจากทำการ finish ช้าเกินไป (Late Finish Operation) 2) การหดตัวในช่วงที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว (Plastic Shrinkage Cracking) 3) ความแตกต่างในการเคลื่อนตัวของคอนกรีตเดิมและ Overlay เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ หรือการหดตัวในช่วงที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว (Drying Shrinkage) หรือรอยแตกที่เกิดจากผิวล่างและขยายไปจนถึงผิวบนของ Overlay รอยแตกที่เกิดขึ้นสามารถควบคุมได้ด้วยวิธีต่อไปนี้

- 1.) ขณะทำการ Finish ควรทำขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว พอเพียงต่อการ Finish หากทำการ Finish บนผิวคอนกรีตที่แห้ง จะมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดรอยแตกที่ขึ้นที่ผิวคอนกรีต ซึ่งเราสามารถควบคุมได้โดยการ Finish ในเวลาที่เหมาะสม และในบางกรณี อาจทำการพ่นละอองน้ำบนผิวคอนกรีตเพื่อป้องกันการสูญเสีย น้ำเนื่องจากการระเหย
- 2.) ในคอนกรีต Overlay ที่มีความหนาน้อยจะก่อให้เกิดการหดตัวในขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัวง่าย เนื่องจากคอนกรีต Overlay ที่มีความหนาน้อยจะมีอัตราส่วนผิวต่อปริมาตรสูง ซึ่งจะนำไปสู่การสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่ลมแรง อุณหภูมิสูง และปริมาณความชื้นต่ำ โดยทั่วไปแล้วคอนกรีต Overlay มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ ดังนั้นปริมาณน้ำที่ผุด (Bleeding Water) ขึ้นมาแทนที่น้ำที่ระเหยไปมีปริมาณน้อย เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหย ควรทำการปูคอนกรีต Overlay ในตอนกลางคืน หรือตอนเช้า นอกจากนี้การบ่มที่ดีเช่นการคลุมด้วยกระสอบเปียกน้ำ ยังช่วยป้องกันไม่ให้เกิดรอยแตกร้าวได้อีกด้วย การทำรอยต่อควบคุมรอยแตกภายใน 24 ชั่วโมงหลังการเทคอนกรีตสามารถลดหน่วยแรงที่เกิดจากการหดตัวได้เช่นกัน

- 3.) การเคลื่อนที่ที่ต่างกันเนื่องจากอุณหภูมิ สามารถแก้ไขได้โดยการทำให้ผิวคอนกรีตเย็นขึ้นด้วยการพรมน้ำก่อนที่จะทำการเทคอนกรีต Overlay หรือทำการเทคอนกรีต Overlay ในตอนเช้า หรือสามารถทำทั้งสองวิธีรวมกัน
- 4.) รอยแตกที่มีอยู่แล้วจะขยายตลอดความหนาของคอนกรีต Overlay เพื่อที่จะทำการลดปัญหาเนื่องจากสาเหตุนี้ รอยแตกที่เกิดขึ้นนี้ต้องการซ่อมแซม

การป้องกันผิวคอนกรีตด้วยการ Overlays สามารถแยกย่อยตามวัสดุที่ใช้ได้ดังนี้

#### ก. คอนกรีต Overlay ที่มีกรยึดเหนี่ยว (Bonded Portland Cement Concrete Overlay)

เป็นชั้นของคอนกรีตปูทับคอนกรีตเดิมที่ได้เตรียมผิวอย่างดีเพื่อที่จะทำการซ่อมแซมผิวคอนกรีตที่เกิดการหลุดร่อนหรือแตกเป็นแผ่น ชั้นผิวคอนกรีต Overlay นี้จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดรอยแตกไม่ให้เกิดสนิมเหล็ก ในบางครั้งคอนกรีต Overlay ยังได้ช่วยในการรับน้ำหนักให้แก่โครงสร้างคอนกรีตเดิม ความหนาของคอนกรีต Overlay จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 38 มม. จนถึงความหนาที่เหมาะสมกับงานโครงสร้างนั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการใช้งานนั้น งานคอนกรีต Overlay นั้นเหมาะสมกับการปรับปรุงผิวคอนกรีตที่เกิดการหลุดร่อนหรือเกิดรอยแตกกว้างในแผ่นพื้นสะพาน หรือนำมาใช้กับผิวคอนกรีตในที่จอดรถ หรือนำมาใช้เพิ่มความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม หรืออาจนำมาใช้ในการปรับระดับแผ่นพื้น การใช้งานอย่างอื่นของคอนกรีต Overlay คือซ่อมแซมผิวหน้าที่ได้รับความเสียหายเนื่องจากการขัดสี ไฟไหม้ หรือซ่อมแซมพื้นถนนคอนกรีตที่ได้รับความเสียหาย

การซ่อมแซมคอนกรีต Overlay ไม่ควรนำมาใช้กับการซ่อมแซมคอนกรีตที่เสียหายจากสารเคมี และความเสียหายเนื่องจากสารเคมียังคงมีต่อไป คอนกรีต Overlay ที่ยึดติดกับคอนกรีตเดิมไม่ควรนำมาใช้ในสถานการณ์ที่รอยแตกยังคงขยายตัว หรือโครงสร้างมีการขยับตัวเพราะจะทำให้รอยแตกที่มีอยู่เกิดการขยายตัวผ่านชั้นคอนกรีต Overlay ในกรณีนี้ควรใช้คอนกรีต Overlay ที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตเดิม

คอนกรีต Overlay ควรมียัตราส่วนผสมที่มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตเดิมมากที่สุด อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ควรใช้ให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการหดตัว แต่ยังคงทำได้โดยปราศจากการแยกตัว สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (Bonding Agents) มักถูกนำมาใช้กับคอนกรีต Overlay โดยสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวที่มีประสิทธิภาพดีได้แก่การใช้ Slurry ที่ใช้ทรายละเอียด

#### ข. คอนกรีตปรับปรุงด้วยลาเท็กซ์ (Latex-Modified Concrete, LMC)

คอนกรีตปรับปรุงด้วยลาเท็กซ์ (LMC) มีส่วนคล้ายคลึงกับคอนกรีตโดยทั่วไปเพียงแต่มีการใช้ลาเท็กซ์และใช้น้ำน้อยลง ลาเท็กซ์ในอัตราส่วนลาเท็กซ์ต่อปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนที่ใช้โดยทั่วไปที่ถูกนำมาใช้ในคอนกรีต Overlay สะพาน หากมีการนำคอนกรีตที่ปรับปรุงด้วยลาเท็กซ์ ควรมีการพิจารณาดังต่อไปนี้

- LMC โดยทั่วไปจะถูกผลิตในเครื่องผสมเคลื่อนที่ซึ่งประกอบไปด้วยถังเก็บ ท่อส่งลาเท็กซ์ และเครื่องบีบลูเท็กซ์ ดังนั้นอุณหภูมิของลาเท็กซ์ควรอยู่ในระหว่าง 7 ถึง 30 องศาเซลเซียส
- ลักษณะพิเศษของลาเท็กซ์คือ ลาเท็กซ์จะจับฟองอากาศในคอนกรีตและควรมีการใช้สารป้องกันการเกิดโฟมเพื่อให้คอนกรีตมีปริมาณฟองอากาศที่เหมาะสม ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ใช้ควรเป็นประเภท 1 ประเภท 2 หรือประเภท 3 ตาม ASTM C150 ไม่ควรนำสารกักฟองอากาศมาใช้ในคอนกรีต LMC
- LMC มักจะเกิดการก่อตัวของเปลือกแข็งบนผิว ซึ่งจะเกิดการแห้งตัว ดังนั้นการแต่งผิว (Finish Operations) ควรทำในเวลาที่เหมาะสมเพื่อที่จะป้องกันการฉีกขาดของผิว ในช่วงเวลาหน้าร้อน ควรทำการเทคอนกรีต LMC ในช่วงเช้าหรือในช่วงกลางคืน เพื่อป้องกันไม่ผิวคอนกรีตแห้งเร็วเกินไป



- ก่อนทำการเทคอนกรีต LMC ควรทำให้ผิวคอนกรีตเดิมหยาบก่อนการเทเพื่อช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตใหม่กับคอนกรีตเก่า ควรทำให้ผิวคอนกรีตเปียกก่อนทำการเทคอนกรีต LMC หรืออาจนำปูนทราย (Mortar) มาใช้เทผิวคอนกรีตเดิมเพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว
- การบ่มคอนกรีต LMC สามารถทำได้โดยการใช้กระดาษเปียกและแผ่นพลาสติกปกคลุมพื้นที่ทำการเทคอนกรีตเสร็จแล้ว ควรทำการคลุมคอนกรีตด้วยกระดาษเปียกเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ถึง 48 ชั่วโมงแล้วหลังจากนั้นทำการบ่มคอนกรีตโดยปราศจากการคลุมกระดาษเปียก จนกระทั่งคอนกรีตมีกำลังรับแรงตามที่กำหนด
- ขณะที่ทำการบ่ม LMC ลาเท็กซ์จะจับตัว ก่อให้เกิดฟิล์มขึ้นในคอนกรีต ขบวนการนี้จะเก็บน้ำไว้บางส่วน ซึ่งจะมีผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและช่วยลดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว ในขณะที่คอนกรีตเกิดการแห้งตัว การก่อตัวของฟิล์มนี้ยังคงเกิดต่อไป ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียน้ำขณะที่ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงคอนกรีตเนื่องจากเกิดการปฏิกิริยาไฮเดรชันสมบูรณ์ขึ้น การเกิดฟิล์มคล้ายกับปฏิกิริยาไฮเดรชันคือมีอุณหภูมิมีผลต่อการเกิดฟิล์ม ต้องการเวลาที่เหมาะสมที่อุณหภูมิต่ำเพื่อฟิล์มที่เกิดมีความสมบูรณ์ ควรทำการหล่อก่อนคอนกรีตตัวอย่างเพื่อทำการเก็บข้อมูลของกำลังรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

#### ค. อีพ็อกซี Overlay (Epoxy Overlay)

อีพ็อกซีเป็นวัสดุซ่อมแซมที่มีการยึดเหนี่ยวและความคงทนสูง อีพ็อกซีสามารถผสมกับมวลรวมทำให้ได้อีพ็อกซีปูนทราย (Epoxy Mortar) หรือ คอนกรีต ซึ่งเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการเคลือบหรือการปูทับ (Overlay)

Overlay ซึ่งผสมด้วยอีพ็อกซีปูนทรายหรือคอนกรีตเหมาะสำหรับใช้ในบริเวณที่คอนกรีตถูกโจมตีด้วยสารที่ทำอันตรายต่อคอนกรีตอันได้แก่ กรด หรือสารเคมีอื่นๆที่ละลายในน้ำ อีพ็อกซี Overlay ยังสามารถนำมาใช้ในการซ่อมแซมรอยแตกในผิวคอนกรีต เมื่อทราบสาเหตุของรอยแตกและไม่มีการเคลื่อนที่ของคอนกรีตในอนาคต เนื่องจากคุณสมบัติของอีพ็อกซีแตกต่างจากคอนกรีตอย่างมาก ดังนั้นการใช้อีพ็อกซี Overlay และการเคลือบด้วยอีพ็อกซีต้องใช้อย่างระมัดระวัง โดยต้องพิจารณาความเข้ากันได้ของอีพ็อกซี Overlay และวัสดุเดิม

นอกจากนี้ควรทำการประเมินการขยายตัวของคอนกรีตเดิมและทำการเปรียบเทียบกับ การขยายตัวของอีพ็อกซีว่าสามารถเข้ากันได้หรือไม่ ความเสียหายที่รอยต่อระหว่างคอนกรีตใหม่กับคอนกรีตเก่ามักพบได้บ่อยเนื่องจากการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิที่ต่างกัน

มวลรวมถูกผสมเพิ่มเพื่อความประหยัดและเพิ่มคุณสมบัติอีพ็อกซี Overlay ได้แก่ ลดการหดตัว เพิ่มความยืดหยุ่น ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ และเพิ่มความต้านทานการขัดสี มวลรวมที่นำมาใช้ควรสะอาด และแห้งในเวลาที่ใช้และในอุณหภูมิที่คล้ายกับที่เกิดขึ้นกับอีพ็อกซี ขนาดคละของมวลรวมควรสม่ำเสมอ โดยมีขนาดมวลรวมเล็กสุดค้ำบงตะแกรงเบอร์ 100 (150 ไมโครเมตร) และมีขนาดใหญ่ที่สุดไม่เกิน 1 ใน 3 ของความลึกของการปะหรือช่องเปิดที่ต้องการปิด อย่างไรก็ตาม ขนาดสูงสุดของมวลรวมที่นำมาใช้ในคอนกรีตอีพ็อกซีคือ 25 มม. และสำหรับปูนทรายอีพ็อกซีคือวัสดุที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 (2.36 มม.)

ปริมาณของมวลรวมที่ใช้พิจารณาจากปริมาณอีพ็อกซีที่ต้องคลุมมวลรวมที่ใช้ทั้งหมด สัดส่วนที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของอีพ็อกซีและขนาดคละของมวลรวมที่ใช้ โดยทั่วไปแล้วอัตราส่วนมวลรวมละเอียด 3 ส่วนต่ออีพ็อกซี 1 ส่วนมักนำมาใช้เพื่อผลิตปูนทรายอีพ็อกซี สำหรับคอนกรีตอีพ็อกซี อัตราส่วนของมวลรวมหยาบที่มีความหนาแน่นจำเพาะ

(Specific Gravity) ระหว่าง 2.50 ถึง 2.80 อาจสูงถึง 12 ส่วนต่ออีพ็อกซี 1 ส่วนโดยน้ำหนัก อัตราส่วนของอีพ็อกซีต่อมวลรวมและอุณหภูมิมีผลต่อความหนืด (Viscosity) ของส่วนผสม

การผสมปูนทรายอีพ็อกซีหรือคอนกรีตอีพ็อกซีสามารถทำการผสมด้วยมือหรือใช้เครื่องผสม ควรทำการผสมมวลรวมละเอียดกับมวลรวมหยาบก่อน โดยไม่ขึ้นอยู่กับวิธีการผสมอีพ็อกซี วิธีการนี้จะทำให้มวลรวมละเอียดเปียกอย่างทั่วถึง

ก่อนที่จะทำการเทคอนกรีต ควรทำการเคลือบด้วยอีพ็อกซีหนึ่งชั้น (Prime Coat) บนผิวที่สะอาดด้วยการแปรงหรือวิธีการใดๆก็ตามที่ทำให้ผิวทั้งหมดเปียก ควรทำการเทปูนทรายอีพ็อกซีหรือคอนกรีตอีพ็อกซีในขณะที่ Prime Coat ยังคงเหนียวอยู่ ใช้ไม้กระทุ้งด้วยมือเพื่อทำการบดอัด ควรทำการปาดผิวคอนกรีตที่นุ่มและขอบของบริเวณที่ปะ เนื่องจากอีพ็อกซีมีอายุการใช้งานสั้น ดังนั้นการเท การบดอัด การแต่งผิว ต้องทำด้วยความรวดเร็ว ก่อนที่อีพ็อกซีจะแข็งตัว

ตารางที่ 3-1 สรุปคุณสมบัติของการเคลือบป้องกันผิวคอนกรีต

Types	Generic classification(s)	Installation requirements	Durability characteristics	Performance characteristics
Sealers	Boiled linseed oil sprayed approximately 50 deg F (10C) or above	Clean, dry and sound surface  Poor resistance to UV radiation	Improves freeze-thaw durability  Frequent applications required	Darkens concrete slightly  Does not bridge cracks
	Alkyl-alkoxy-silane  Siloxanes	Surface free of pretreatments  Sprayed, brushed or rolled  Ventilation required	Improves freeze-thaw durability  Reduces salt penetration  Reduces rate of corrosion	Improves resistance to water absorption and reinforcement corrosion  Does not bridge cracks
	High-molecular mathacrylate	Clean, dry, and sound surface  Sprayed, brushed, rolled, or squeegeed	Variable UV radiation resistance  Prevents moisture from penetrating cracks	Seal cracks
Coatings	Epoxy Urethane or neoprene  membrane/epoxy top coat system	Clean, dry, and sound concrete  Sprayed, brushed, rolled, or squeegeed	Generally improves freeze- thaw durability  Fair to good abrasion resistance	Generally good resistance to water absorption  Unknown resistance to reinforcement corrosion
	Rubberized asphaltic top coat system  Urethane Membrane/urethane topcoat system	Approximately 50 deg F (10C) or above  Ventilation required  Level surface typically required	Variable UV radiation resistance	Bridges small cracks
Overlay	Concrete  Polymer concrete  Polymer-modified concrete	Clean, sound, and roughened surface  Hand or machine applied  Generally above freezing  Ventilation may be required	Improves freeze-thaw durability  Excellent abrasion resistance	May add weight  Architectural finish is possible  Protects structural concrete and reinforcing  May improve structural capacity



### 3.6.3 วัสดุยารอยต่อ (Joint Sealant)

วัสดุยารอยต่อ (Joint Sealant) ในคอนกรีตมีหน้าที่ช่วยลดการแทรกซึมของของเหลว ของแข็ง หรือก๊าซ และเพื่อช่วยป้องกันคอนกรีตไม่ให้เกิดความเสียหาย ในการใช้งานบางประเภท วัสดุยารอยต่อยังช่วยเป็นฉนวนความร้อนและช่วยป้องกันเสียงได้อีกด้วย วิธีการยารอยต่อรวมถึงการฉีดวัสดุยารอยต่อ การอุดรอยต่อ Install Premolded Seal หรือโดยการติดตั้งระบบป้องกันผิวหน้าคอนกรีต เช่น Elastomeric Membranes ดังที่ได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้

รอยต่อในโครงสร้างสะพานมีอยู่หลายประเภท ดังนี้

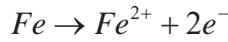
- 1.) รอยแตก สาเหตุของรอยแตกที่เกิดขึ้นในคอนกรีตประกอบด้วย การหดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ รอยแตกเนื่องจากน้ำหนักที่กระทำ ก่อนทำการเลือกวัสดุที่ใช้ยารอยต่อ ควรทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยแตกในคอนกรีต
- 2.) Contraction (Control) Joint รอยต่อชนิดนี้ทำการติดตั้งเพื่อควบคุมรอยแตกเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต รอยต่อประเภทนี้ยังถูกเรียกว่ารอยต่อควบคุมรอยแตก (Control Joints) เราสามารถทำให้น้ำตัดที่ต้องการบังคับให้เกิดรอยแตกได้โดยการลดความแข็งแรงของหน้าตัด เช่นการลดขนาดของหน้าตัดด้วยวิธีการตัดรอยต่อ (Sawed Joints) ภายในเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากเทคอนกรีตแล้ว
- 3.) Expansion (Isolate) Joint รอยต่อชนิดนี้ทำการติดตั้งเพื่อควบคุมความเสียหายเนื่องจากการบีบอัดของคอนกรีตเนื่องจากการขยายตัว ลดความเสียหายเนื่องจากการบิดเบี้ยวเสียรูปของคอนกรีต อันทำให้เกิดแรงอัดขึ้นในคอนกรีตเนื่องจากการขยายตัว เนื่องจากน้ำหนักที่กระทำ หรือเนื่องจากการทรุดตัวที่แตกต่างกันของโครงสร้าง รอยต่อ Expansion สามารถทำได้โดยการจัดให้มีช่องว่างตลอดหน้าตัดของโครงสร้างคอนกรีตที่ใกล้เคียงกัน
- 4.) Construction Joints รอยต่อชนิดนี้ทำการติดตั้งก่อนและภายหลังจากการหยุดเทคอนกรีต หรือตลอดตำแหน่งของคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Concrete) ตำแหน่งต้องทำ รอยต่อ Construction การพิจารณาเพื่อทำการจำกัดงานให้สามารถทำงานได้ในหนึ่งครั้ง และมีขนาดที่เหมาะสม โดยไม่กระทบถึงคุณภาพของโครงสร้างคอนกรีตที่สร้างเสร็จแล้ว ภายหลังจากติดตั้งรอยต่อ Construction แล้วมันยังทำหน้าที่เป็น Expansion Joint หรือ Contraction Joint ขึ้นอยู่กับการออกแบบ นอกจากนี้แล้วรอยต่อ Construction ยังทำหน้าที่วัดให้โครงสร้างเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน รอยต่อ Construction อาจอยู่ในแนวราบ หรือในแนวตั้ง ขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการเทคอนกรีต ดังที่ได้อธิบายใน ACI 504R

## 3.7 การป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริม

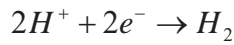
### 3.7.1 กระบวนการเกิดสนิมเหล็ก

โลหะที่ผ่านการถูกลูมาจากรังจะมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนสถานะได้โดยการกระทำของออกซิเจน (Oxygen :  $O_2$ ) และน้ำ (Water :  $H_2O$ ) การกระทำนี้เรียกว่า การกัดกร่อน (Corrosion) และตัวอย่างของการกัดกร่อนที่พบมากที่สุดคือ สนิมเหล็ก (Steel Rust)

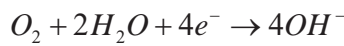
การกัดกร่อน หมายถึง กระบวนการทางเคมีไฟฟ้า (Electro-chemical) ที่เกี่ยวข้องกับเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า ในระดับจุลภาคและมหภาค โดยการเปลี่ยนแปลงของโลหะขั้วแอโนด (Anode) ซึ่งจะเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) ดังสมการ



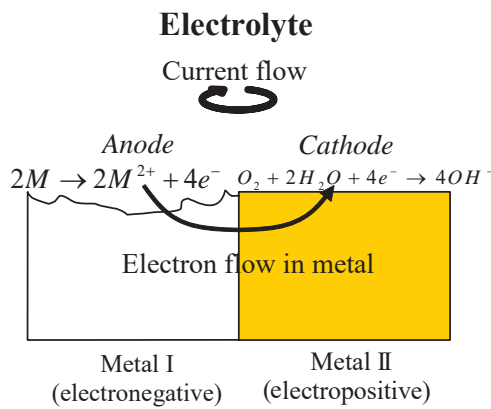
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้จะให้อิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron) ซึ่งเดินทางจากโลหะขั้วแอโนด ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไปยังโลหะขั้วคาโทด (cathode) ที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Reaction) โดยในสารละลายที่เป็นกรด ปฏิกิริยารีดักชันจะเป็นดังสมการ



ในสารละลายที่เป็นกลาง ปฏิกิริยารีดักชันจะเกี่ยวข้องกับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในสารละลาย ดังสมการ

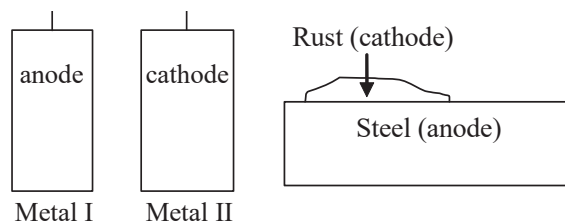


ดังนั้นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นจะเกิดที่ขั้วแอโนดเท่านั้น จะไม่เกิดการกัดกร่อนที่ขั้วคาโทด ดังรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-8 การเกิดปฏิกิริยา Oxidation

ที่ขั้วแอโนดและขั้วคาโทดในกระบวนการกัดกร่อนอาจจะเป็นโลหะสองชนิดเชื่อมต่อกันหรือจะเป็นสนิมเหล็กบนแผ่นเหล็กพื้นผิวเดียวกัน ดังรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 ขั้วแอโนด-ขั้วคาโทดของโลหะคนละชนิดและโลหะชนิดเดียวกัน

กระบวนการเกิดการกัดกร่อนมีสาเหตุเริ่มต้นมาจาก

- 1.) ความแตกต่างของค่าศักย์กัลวานิก (Galvanic Potential) ของโลหะแต่ละชนิด
- 2.) ความแตกต่างของสถานะของโลหะบนผิวหน้า



- 3.) ความแตกต่างในสภาพแวดล้อม เช่น ปริมาณออกซิเจนบนผิวหน้าโลหะ (บริเวณที่มีออกซิเจนมากจะเป็นขั้วคาโทด ส่วนบริเวณที่มีออกซิเจนน้อยจะเป็นขั้วแอโนด)

### 3.7.2 วิธีการป้องกันการเกิดสนิมเหล็ก

วิธีที่นิยมใช้ในการป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริม คือ Cathodic Protection ซึ่งมีบันทึกการทดสอบการป้องกันการกัดกร่อนด้วยวิธี Cathodic Protection ครั้งแรกโดย Sir Humphrey Davy ในช่วงปีค.ศ.1820 จากคำแนะนำของ Davy ได้ค้นพบว่าสามารถที่จะป้องกันการกัดกร่อนของแผ่นทองแดง (Cooper : Cu) ที่ใช้สำหรับหุ้มลำเรือเดินทะเลในน้ำทะเลได้โดยการติดชิ้นเหล็ก (Iron : Fe) สังกะสี (Zinc : Zn) หรือตะกั่ว (Tin : Sn) เข้ากับแผ่นทองแดง จึงเป็นที่มาของคำว่า Cathodic Protection

การป้องกันการกัดกร่อนด้วยวิธี Cathodic Protection ได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1945 โดยนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากสามารถนำไปใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของท่อเหล็กที่ใช้ในการขนส่งใต้ดิน

ในประเทศสหราชอาณาจักรปี ค.ศ. 1952 ได้มีการใช้การป้องกันการกัดกร่อนด้วยวิธี Cathodic Protection ในระบบการขนส่งเชื้อเพลิง ปัจจุบันการป้องกันการกัดกร่อนด้วยวิธี Cathodic Protection ถูกใช้อย่างแพร่หลายในโครงสร้างที่อยู่ใต้ดิน ใต้น้ำ โครงสร้างคอนกรีตเสริมแรง เพื่อควบคุมการกัดกร่อนที่จะเกิดขึ้น

หลักการของการป้องกันการกัดกร่อนด้วยวิธี Cathodic Protection คือ การต่อขั้วแอโนดภายนอกเข้ากับโลหะที่ต้องการจะป้องกันการกัดกร่อนและต่อไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้โลหะกลายเป็นขั้วคาโทด ดังนั้นการกัดกร่อนจึงไม่เกิดขึ้น โดยขั้วแอโนดที่ใช้จะเป็นขั้วแอโนดตามค่าศักย์กัลวานิก (Sacrificial Anode) หรือเป็นขั้วแอโนดโดยการใช้กระแสไฟฟ้า (Impressed Current Anode) ก็ได้

การใช้ Sacrificial Anode ต่อกับโลหะที่ต้องการ ความแตกต่างของค่าศักย์กัลวานิกระหว่างขั้วแอโนดกับโลหะจะทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนในอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) จากขั้วแอโนดไปยังโลหะ ทำให้โลหะกลายเป็นขั้วคาโทด โดยโลหะที่นิยมใช้เป็นขั้วแอโนด ได้แก่ อลูมิเนียม (Aluminum : Al) สังกะสี (Zinc : Zn) และแมกนีเซียม (Magnesium : Mg)

การใช้ Impressed Current Anode จะใช้โลหะเฉื่อย (Inert Metal) และใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในการทำให้โลหะเฉื่อยเป็นขั้วแอโนด

ระบบ Cathodic Protection ที่มีอยู่ในปัจจุบันจะประกอบด้วย ระบบแอโนด ไฟฟ้ากระแสตรง และสายเคเบิล ทั้งนี้อาจมีเครื่องมือเสริมอื่นๆ อันได้แก่ เครื่องมือที่ใช้ในการติดตามระบบ ด้วยความแตกต่างหลักของแต่ละระบบคือระบบแอโนดและการใช้งาน

- 1.) Mesh Type Noble Metal Anodes ลวดตาข่ายของโลหะที่เป็นแอโนดถูกติดตั้งในคอนกรีตด้วยหมุดจำนวนมาก แล้วคลุมด้วยคอนกรีต
- 2.) Embedded Anode System ระบบแอโนดถูกฝังในผิวคอนกรีตหรือที่ระดับของเหล็กเสริมในการสร้างใหม่
- 3.) Saw Slot Anode Systems วิธีการนี้ทำโดยการตัดคอนกรีตเป็นลำดับบนพื้นผิวคอนกรีต โดยช่องเปิดนี้จะถูกเติมด้วยโลหะที่สามารถต้านทานการผุกร่อนต่อการเกิดสนิม และคอนกรีตโพลีเมอร์ที่สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้

- 4.) Surface Monitored Anode Systems Without Overlay หลักการของระบบนี้คือระบบอาโนดถูกติดตั้งบนผิวคอนกรีตโดยไม่มีการปูคอนกรีตทับ โดยทั่วไประบบนี้ไม่เหมาะกับการใช้งานที่มีการขัดสีสูง
- 5.) Surface Mounted Anode System with Overlay ระบบนี้ใช้ในงานที่อยู่ในผิวคอนกรีตที่อยู่ในแนวนอน และต้องการคอนกรีตหนาอย่างน้อย 0.5 นิ้วปิดทับ



# วัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม

## 4.1 บทนำ

วัสดุที่ใช้ซ่อมแซมคอนกรีตนั้นแตกต่างจากวัสดุที่ใช้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อคอนกรีต วัสดุที่ใช้เพื่อการซ่อมแซมมีเป้าหมายเพื่อฟื้นฟูสภาพความสมบูรณ์ทางโครงสร้าง (Structural Integrity) และความสามารถในการทำงาน (Function) ของคอนกรีต ส่วนวัสดุที่ใช้ในระบบการป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายนั้น จะช่วยปกป้องคอนกรีตจากสภาพภูมิอากาศ การเกิดสนิม การเกิดปฏิกิริยาจากสารเคมีและวัสดุที่ทำให้เกิดการชะล้างหรือสึกกร่อน (Abrasive materials) อย่างไรก็ตามเนื้อหาในบทนี้ไม่ได้มุ่งหวังที่จะอธิบายครอบคลุมถึงวัสดุทุกชนิดที่ใช้ในงานซ่อมแซมคอนกรีต ฉะนั้น จึงไม่ได้หมายความว่าวัสดุที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้จะเป็วัสดุที่ไม่ได้รับการยอมรับหรือเป็นวัสดุที่ไม่สามารถใช้ได้ และในทางกลับกันก็ไม่ได้หมายความว่า วัสดุต่างๆ ที่ได้กล่าวถึงในบทนี้จะได้รับการรับรองถึงประสิทธิภาพในการใช้งานในทุกๆ สถานการณ์แต่อย่างใด

ในการเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ในการซ่อมแซมคอนกรีต ควรคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

- การเข้ากันได้ทางโครงสร้าง (Structural Compatibility) ของวัสดุและความสามารถในการใช้งานร่วมกับโครงสร้างเดิม
- ความยาก-ง่ายในการจัดหา (Availability) ราคา (Cost) และอายุการใช้งาน
- ความง่ายในการนำมาใช้ในงานก่อสร้าง รวมถึงการจัดหาผู้ที่จะสามารถมาปฏิบัติงานซ่อมแซม (Qualified Contractors)

วัสดุที่ถูกเลือกมาเพื่อใช้ในการซ่อมแซม ควรจะมีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับคอนกรีตเดิมให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ความเข้ากันได้จะเป็นไปตามข้อกำหนดของการสร้างแรงยึดเหนี่ยว (Bond) คุณสมบัติการยืดหยุ่น (Elasticity) และคุณสมบัติในการขยายตัว (Expansion) ของวัสดุใหม่และวัสดุเดิม รวมทั้งกำลังอัด (Compressive Strength) และกำลังดึง (Tensile Strength) ของวัสดุใหม่จะต้องเท่ากับคอนกรีตเดิม วัสดุใหม่ควรมีการหดตัวต่ำ (Low Shrinkage) มีความซึมผ่านต่ำ (Low Permeability) และมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ (Low Water/Cement Ratio) เพื่อที่จะยับยั้งการแทรกซึมของความชื้นและสารจำพวกคลอไรด์เข้าสู่คอนกรีตที่ได้รับการซ่อมแซม และควรที่จะช่วยสร้างปฏิกิริยาเคมีกับ



เหล็กเสริมในคอนกรีต เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวนี้มีความสำคัญ วัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมจึงควรจะต้องยึดติดกับผิวคอนกรีตเดิมได้ดี วัสดุต่างๆ ที่มักจะถูกนำมาใช้ในงานซ่อมแซมคอนกรีต ได้แก่วัสดุประเภทซีเมนต์ (Cementitious Materials) และวัสดุประเภทโพลีเมอร์ (Polymer Materials)

## 4.2 วัสดุประเภทซีเมนต์

การใช้คอนกรีตและปูนทราย หรือวัสดุประสานประเภทอื่น (Cementitious Materials) เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับวัสดุซ่อมแซม เพื่อที่จะให้คอนกรีตที่ถูกซ่อมมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับคอนกรีตเดิมมากที่สุด

### 4.2.1 คอนกรีต (Conventional Concrete)

คอนกรีตโดยทั่วไปประกอบด้วย Portland Cement, มวลรวม และ น้ำ นอกจากนี้ยังอาจมีการใช้สารผสมเพิ่ม (Admixtures) ผสมเข้าไปในคอนกรีตเพื่อ กักฟองอากาศ เ่งหรือหน่วงการก่อตัว เพิ่มความสามารถในการเทได้ ลดน้ำที่ใช้ในการผสม เพิ่มกำลังรับแรง หรือเปลี่ยนคุณสมบัติอื่นของคอนกรีต วัสดุปอซโซลานิก (Pozzolanic Materials) เช่น เถ้าลอย หรือ ซิลิกาฟูม ได้ถูกนำมาใช้ร่วมกับซีเมนต์เพื่อประหยัด หรือเพื่อที่จะปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตเช่น ช่วยลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน เพิ่มการพัฒนากำลังรับแรงของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว หรือช่วยเพิ่มความต้านทานต่อซัลเฟต และ ปฏิกิริยา Alkali-Aggregate

การเลือกส่วนผสมคอนกรีตต้องเลือกให้คอนกรีตมีคุณสมบัติในการเทได้ ความหนาแน่น กำลังรับแรง และความคงทนที่เหมาะสมต่อการใช้งานที่ต้องการ เพื่อที่จะลดรอยแตกร้าวจากการหดตัวของคอนกรีต คอนกรีตควรจะมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ และมีปริมาณมวลรวมหยาบให้สูงเท่าที่จะเป็นไปได้

**ข้อได้เปรียบ** คอนกรีตเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่าย ประหยัด และนอกจากนี้ยังง่ายต่อการผลิต การเท การตกแต่ง และการบ่ม โดยทั่วไปส่วนผสมคอนกรีตยังสามารถถูกผสมให้มีคุณสมบัติเหมือนกับคอนกรีตเดิม ดังนั้นคอนกรีตสามารถนำมาใช้งานได้กว้างขวางในงานซ่อมแซม

**ข้อจำกัด** คอนกรีตที่ปราศจากสารผสมเพิ่ม ไม่ควรถูกนำมาใช้ซ่อมแซมในสถานที่ซึ่งสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตยังไม่ได้ถูกขจัดออกไปเสียก่อน ซึ่งสภาพแวดล้อมนี้เป็นสาเหตุทำให้คอนกรีตเกิดความเสื่อมสภาพ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากความเสื่อมสภาพของคอนกรีตเกิดจากการกัดกร่อนโดยกรด หรือ การขัดสี (Abrasion) การกัดเซาะ (Erosion) การซ่อมแซมโดยคอนกรีตอาจไม่ประสบความสำเร็จ ถ้าสาเหตุของความเสื่อมสภาพไม่ถูกขจัดออกไปเสียก่อน คุณสมบัติการหดตัวของวัสดุซ่อมแซมมีความสำคัญ เมื่อถูกนำมาใช้ ในงานซ่อมแบบ Overlay เนื่องจากวัสดุใหม่นี้ได้ถูกนำมาเทบนวัสดุที่ได้มีการหดตัวมาก่อนแล้ว ควรจะมีการพิจารณาถึงคุณสมบัติการหดตัว ตลอดจนวิธีการบ่มที่จะนำมาใช้ในงานซ่อมแซม นอกจากนี้ คอนกรีตที่ถูกผสม ชนย้าย และเทภายใต้สภาวะอากาศที่ร้อน ความชื้นต่ำ หรือลมแรง ควรจะมีการป้องกันเพื่อที่จะช่วยลดและขจัดปัญหาที่อาจเกิดตามขึ้นมาได้

**การใช้งาน** คอนกรีตมักถูกนำมาใช้ในการซ่อมแซม ในงานซ่อมที่มีความหนาแน่นค่อนข้างสูง และในงานซ่อมที่มีขนาดใหญ่มาก โดยทั่วไปคอนกรีตเหมาะสำหรับงานปะทังบางส่วน และตลอดความลึกของชั้นส่วน และยังมีการใช้คอนกรีตในงาน Overlay ที่มีความหนาแน่นมากกว่า 100 มิลลิเมตร มักพบว่ามีกรนำคอนกรีตมาใช้ซ่อมแซมกำแพง และตอม่อ (Pier) นอกจากนี้ คอนกรีตยังเหมาะสมในการนำมาใช้ซ่อมแซมคอนกรีตในสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับทะเล เนื่องจากความชื้นที่สูงของสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับทะเลจะช่วยลดการหดตัวที่อาจเกิดขึ้นได้

#### 4.2.2 ปูนทราย (Conventional Mortar)

ปูนทรายประกอบด้วย ซีเมนต์ มวลรวมละเอียด และน้ำ นอกจากนี้ถ้ามีการใช้สารลดน้ำ สารช่วยในการขยายตัว เพื่อช่วยลดการหดตัวที่อาจจะเกิดขึ้นกับปูนทราย

**ข้อได้เปรียบ** ข้อได้เปรียบของปูนทรายคล้ายๆกับคอนกรีต จะมีการใช้ปูนทรายในงานซ่อมแซมเล็กๆ และในชั้นส่วนที่บาง

**ข้อจำกัด** ปูนทรายมีคุณสมบัติการหดตัวสูงกว่าคอนกรีตเนื่องจากปูนทรายมีปริมาณน้ำที่สูงกว่า มีปริมาณซีเมนต์ที่มากกว่า และมีอัตราส่วนเพลสต่อมวลรวมที่สูงกว่าคอนกรีต

**การใช้งาน** ปูนทรายสามารถใช้ในสถานการณ์เดียวกับคอนกรีต ซึ่งเป็นการซ่อมแซมเล็กๆ และในชั้นส่วนที่บาง

#### 4.2.3 Dry Pack

Dry Pack ประกอบด้วยซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2.5 ถึง 3 ส่วน และน้ำที่พอเหมาะที่จะทำให้ Dry Pack เหนียวติดกันเมื่อใช้มือบีบหรือปั้นเบาๆ และไม่มีน้ำไหลซึมออกมา การปมนั้นมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของ Dry Pack เนื่องจากปริมาณน้ำที่ใช้ผสม Dry Pack มีปริมาณน้อย

ปูนทรายที่มีการหดตัวก่อน (Preshrunk Mortar) คือปูนทรายที่มีปริมาณน้ำน้อย และถูกนำมาผสม และยอมให้ปูนทรายหดตัว 30 ถึง 90 นาทีก่อนนำมาใช้งาน ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ก่อนที่จะนำมาใช้ต้องมีการผสมอีกครั้ง ปูนทรายที่มีการหดตัวก่อนเหมาะสำหรับงานที่มีบริเวณเล็กๆ ซึ่งไม่สามารถกระทุ้ง Dry Pack ให้แน่นได้

**ข้อได้เปรียบ** เนื่องจาก Dry Pack มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ ดังนั้น Dry Pack มีการหดตัวน้อยมาก ดังนั้นการปะด้วย Dry Pack มีความแน่นมาก และมีความคงทน มีกำลังรับแรงดี และมีความที่บ้น้ำ หากต้องการสีของ Dry Pack ให้มีสีเดียวกับวัสดุเดิม อาจมีการผสมซีเมนต์สีขาว และ เทเข้าไปได้

**ข้อจำกัด** Dry Pack มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปะบริเวณที่อยู่หลังเหล็กเสริม หรือการปะของบริเวณตื้น (Shallow Depression) หากมีการปมนี่ไม่เพียงพอ จะทำให้ Dry Pack มีคุณสมบัติที่ไม่ดีหรืออาจล้มเหลวได้

**การใช้งาน** Dry Pack เหมาะสำหรับนำมาใช้กลบโพรงที่มีขนาดใหญ่และขนาดเล็กซึ่งยอมให้มีการอัดหรือกระทุ้ง Dry Pack เข้าไปในโพรงที่ต้องการซ่อมอย่างเพียงพอ การซ่อมแซมสามารถใช้งานได้ทั้งพื้นผิวแนวตั้ง และพื้นผิวที่อยู่เหนือศีรษะ นอกจากนี้ Dry Pack ยังสามารถใช้สำหรับเติมรอยแตกที่ไม่มีการขยายตัวแล้ว (Dormant Crack) อย่างไรก็ตาม Dry Pack ไม่ควรนำมาใช้กับรอยแตกที่ยังมีการขยายตัวอยู่ (Active Crack)

#### 4.2.4 Ferrocement

Ferrocement เป็นชื่อเรียกในการใช้ระบูปแบบของคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งแตกต่างจากคอนกรีตเสริมเหล็กมาตรฐาน และคอนกรีตอัดแรง โดย Ferrocement ถูกสร้างขึ้นจากปูนทรายซึ่งเสริมด้วยตะแกรงลวดที่ต่อเนื่อง และมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็ก และมีระยะห่างระหว่างชั้นของตะแกรงลวดที่ใกล้กัน ตะแกรงลวดอาจทำมาจาก เหล็ก หรือวัสดุใดๆก็ตามที่เหมาะสม

**ข้อได้เปรียบ** Ferrocement มีกำลังรับแรงดึงสูงเมื่อเทียบกับน้ำหนักของตัวเอง และมีพฤติกรรมการแตกร้าวที่ดีกว่าคอนกรีตเสริมเหล็ก

**ข้อจำกัด** ข้อจำกัดการใช้ Ferrocement ในการซ่อมขึ้นอยู่กับสถานการณ์ของการซ่อม



การใช้งาน เนื่องจากไม่มีความจำเป็นต้องใช้แบบ Ferrocement จึงเหมาะสำหรับการซ่อมโครงสร้างที่เป็นส่วนโค้ง เช่น Shell หรือรูปทรงที่มีรูปร่างไม่แน่นอน

#### 4.2.5 คอนกรีตเสริมไฟเบอร์ (Fiber-reinforced Concrete)

คอนกรีตเสริมไฟเบอร์คือคอนกรีตที่ผสมไฟเบอร์ที่ทำจากโลหะหรือโพลีเมอร์เข้าไปเพื่อที่จะเพิ่มความต้านทานต่อการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวในช่วงเริ่มแรกของคอนกรีต (Plastic Shrinkage Cracking) และการแตกร้าวในช่วงการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีต ในการใช้งานทั่วไป ไฟเบอร์ที่ใส่ลงไปไม่ใช่เพื่อเป็นการเสริมเหล็กในลำดับแรก คอนกรีตเสริมไฟเบอร์สามารถนำมาใช้ในงานซ่อมแซมโดยใช้วิธีการคอนกรีต หรือวิธีการ Shortcrete

**ข้อได้เปรียบ** ไฟเบอร์สามารถใช้เพื่อเสริมคอนกรีต Overlay ที่บาง และไม่หนาพอที่จะสามารถใส่เหล็กเสริมเข้าไปได้

**ข้อจำกัด** การเพิ่มไฟเบอร์เข้าไปในคอนกรีตจะทำให้ค่ายุบตัวลดลง (Slump) และอาจจะทำให้เกิดปัญหาในความสามารถในการเท (Workability) นอกจากนี้ยังมีโอกาสจะเกิดขึ้นที่ผิวของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์ที่ทำจากเหล็กเนื่องจากการกัดกร่อนของผิวเหล็กไฟเบอร์ ในงานปะ การเหนียวนำไฟฟ้าของไฟเบอร์ที่ทำจากเหล็กมีผลกระทบต่อการกัดกร่อนเมื่อมีการปะในบริเวณที่เคยเสียหายจากการกัดกร่อนเหล็กเสริม ในงานด้านอื่นๆ พบว่าที่ความหนาเท่ากันความสามารถในการซึมผ่านได้ของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์สูงกว่าคอนกรีต วิธีการบ่มและการป้องกันคอนกรีตเสริมไฟเบอร์ก็ใช้หลักการเดียวกับคอนกรีต

การใช้งาน คอนกรีตเสริมไฟเบอร์ถูกนำมาใช้ Overlay บนผิวถนนคอนกรีต และเพิ่มเสถียรภาพให้แก่พื้นลาดเอียง และให้เป็นเหล็กเสริมแก่โครงสร้าง เช่น โดม หรือ Arch นอกจากนี้ยังสามารถใช้คอนกรีตเสริมไฟเบอร์แบบ Shortcrete ในการซ่อมคอนกรีตเสริมเหล็กได้ ในบริเวณที่มีปัญหาของการสั่นสะเทือน หรือเกิดปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต สามารถถูกแก้ไขได้จากการใช้คอนกรีตเสริมไฟเบอร์

#### 4.2.6 น้ำยาปูน (Grout)

น้ำยาปูนที่จะอธิบายในบทนี้ถูกแบ่งเป็นซีเมนต์เกรา (Cement Grout) หรือ Chemical Grout

##### 4.2.6.1 Cement Grout

Cement Grout ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ มวลรวม และสารผสมเพิ่ม ซึ่งเมื่อนำมาผสมกับน้ำจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่สามารถทำให้เรียบด้วยเกรียงได้ สามารถไหลได้ หรือสามารถบีบได้ โดยปราศจากการแยกตัวของส่วนผสม สารผสมเพิ่มที่ใช้ใน Cement Grout มักจะเป็นสารเร่งการก่อตัว หรือสารหน่วงการก่อตัว สารลดการหดตัว สารเพิ่มความสามารถในการเทและการบีบของ Cement Grout และยังมีการใช้สารผสมเพิ่มเพื่อเพิ่มความคงทนต่อ Cement Grout นอกจากนี้ยังอาจมีการใช้ Mineral Filler ใน Cement Grout เพื่อความประหยัดเมื่อต้องการใช้ Cement Grout เป็นจำนวนมาก

**ข้อได้เปรียบ** Cement Grout มีราคาค่อนข้างต่ำ สามารถหาได้ง่าย สะดวกต่อการใช้งาน และยังสามารถเข้ากันได้ดีกับคอนกรีต สารผสมเพิ่มยังถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของ Cement Grout ให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับงานที่ต้องการได้โดยราคาค่อนข้างต่ำ

**ข้อจำกัด** Cement Grout เหมาะสำหรับรอยแตกที่มีความกว้างอย่างน้อย 3 มม. เนื่องจากรอยแตกมีความกว้างพอที่จะทำการฉีด Cement Grout ที่มีมวลรวมเป็นส่วนผสมเข้าไปในรอยแตก

การใช้งาน โดยทั่วไป Cement Grout มักใช้ในงานเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเก่าและคอนกรีตใหม่ ใช้ในการอุดรอยแตกที่ไม่มีรอยขยายตัวแล้ว หรือใช้เติมช่องว่างรอบๆ โครงสร้างคอนกรีต Cement Grout ที่ปราศจากการหดตัว (Nonshrink Cement Grout) ยังถูกนำมาใช้ในการซ่อมแซมคอนกรีตที่หลุดล่อน (Spalls) หรือ คอนกรีตที่เสียหายแบบรังผึ้ง (Honeycomb) หรือ Cement Grout ยังถูกนำมาใช้ยึดสลักเกลียวในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

#### 4.2.6.2 Chemical Grout

Chemical Grout ประกอบด้วยสารละลายเคมีที่จะทำปฏิกิริยาทำให้เกิดการสร้างตัวของเจล (Gel) หรือ การตกตะกอนของของแข็ง (Solid Precipitate) ซึ่งตรงกันข้ามกับ Cement Grout ซึ่งประกอบไปด้วยการแขวนลอยของอนุภาคของแข็งในของเหลว ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสารละลายอาจเกิดขึ้นเนื่องจากส่วนผสมในสารละลาย หรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างส่วนผสมของสารละลายกับสารชนิดอื่นเช่นน้ำที่ใช้ใน Chemical Grout หลังการเกิดปฏิกิริยาจะทำให้เกิด Grout มีความเหลวลดลงและแข็งตัวขึ้น ซึ่งนำไปสู่การเติมช่องว่างในวัสดุที่ถูก Chemical Grout ซัดเข้าไป

**ข้อได้เปรียบ** Chemical Grout มีข้อได้เปรียบคือสามารถนำมาใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ชื้นได้ นำมาใช้งานได้หลากหลายตามระยะเวลาการก่อตัว และ Chemical Grout มีความหนืดต่ำ จึงสามารถนำมาใช้อุดรอยแตกกว้างที่มีขนาดเล็กขนาด 0.05 มม.ได้ Chemical Grout ที่มีความแข็ง (Rigid Chemical Grout) เช่นอีพ็อกซี มีแรงยึดเหนี่ยวสูงต่อพื้นผิวคอนกรีตที่แห้งและสะอาด Rigid Chemical Grout สามารถฟื้นฟูให้ชั้นส่วนคอนกรีตมีกำลังรับน้ำหนักให้ดั้งเดิม

Foam Chemical Grout เช่น Acrylamides และ Polyurethanes เหมาะสำหรับใช้ในการควบคุมการไหลของน้ำผ่านรอยแตกและรอยต่อ ในบางครั้ง Chemical Grout สามารถดัดแปลงให้มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำ ดังนั้นจึงสามารถนำ Chemical Grout ประเภทนี้ไปใช้ในการซ่อมแซมรอยแตกขนาดใหญ่ที่น้ำสามารถไหลผ่านเข้าไปได้

**ข้อจำกัด** Chemical Grout มีราคาแพงมากเมื่อเทียบกับ Cement Grout นอกจากนี้ยังต้องการทักษะขั้นสูงในการใช้ Grout ประเภทนี้เพื่อให้ได้ผลตามที่ต้องการ Chemical Grout ที่เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวเช่น อีพ็อกซี มีอายุการใช้งานสั้น และมีระยะเวลาการทำงานที่สั้นที่สุดหนุมิสูง Gel Grout ไม่ควรถูกนำมาใช้การฟื้นฟูกำลังรับแรงของโครงสร้าง โดยส่วนใหญ่แล้ว Gel Grout เป็นสารละลายในน้ำ และจะเกิดการหดตัวหากน้ำนี้แห้งไปในระหว่างการใช้งาน

**การใช้งาน** การซ่อมรอยแตกที่มีขนาดเล็กเพื่อที่จะป้องกันความชื้นไม่ให้ผ่านเข้ามาทางรอยแตก หรือการฟื้นฟูให้โครงสร้างคอนกรีตให้เป็นเนื้อเดิม เป็นงานซ่อมแซมที่ใช้ Chemical Grout มากที่สุด Grout บางประเภทเช่น อีพ็อกซีถูกนำมาใช้เป็นสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว

#### 4.2.7 คอนกรีตความหนาแน่นสูง ค่าความยุบตัวต่ำ (Low Slump Dense Concrete)

คอนกรีตความหนาแน่นสูง ค่าความยุบตัวต่ำ (Low Slump Dense Concrete, LSDC) เป็นคอนกรีตชนิดพิเศษซึ่งประกอบไปด้วยซีเมนต์ในปริมาณสูง อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำกว่า 0.40 และค่าความยุบตัวน้อยกว่า 50 มม. โดยทั่วไปแล้ว LSDC มีการพัฒนากำลังรับแรงอย่างรวดเร็ว และมีความแตกต่างเนื่องจากความหนาแน่นที่สูงและความสามารถในการซึมผ่านได้ต่ำ

**ข้อได้เปรียบ** การใช้ LSDC ในงาน Overlay ซึ่งมีความหนาเพียง 38 มม. สามารถมีอายุใช้งานได้นานถึง 20 ปี หากมีการก่อสร้างที่ถูกต้อง ราคาของ LSDC ค่อนข้างต่ำ และสามารถทดแทนได้โดยดัดแปลงใช้เครื่องมือที่ใช้ในงานเทคอนกรีตทั่วไป เมื่อเทียบกับคอนกรีตทั่วไป LSDC มีความสามารถในการต้านทานคลอไรด์สูงกว่า



**ข้อจำกัด** LSDC ต้องการความพยายามในการอัดให้ได้ความหนาแน่นอย่างที่ต้องการ หรือต้องมีการใช้สารลดน้ำเพื่อที่จะเพิ่มความสามารถในการเทของคอนกรีตและยังช่วยทำให้การบดอัดเป็นไปได้ง่าย และช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีต เนื่องจาก LSDC มีอัตราน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำ ดังนั้นต้องมีการปมโดยใช้ความชื้นอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาอย่างน้อย 7 วัน เพื่อที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างเพียงพอ มีการพบว่า LSDC ยังคงเกิดการกัดกร่อนถึงแม้ว่าจะมีการใช้อัตราน้ำต่อซีเมนต์เพียง 0.32 และมีความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็ก 25 มม. รอยแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตทำให้เป็นทางเข้าของคลอไรด์ไอออนเป็นผลทำให้เกิดการกัดกร่อนเหล็กเสริม ในพื้นสะพาน (Bridge Deck)

**การใช้งาน** LSDC มักใช้ในงานซ่อมแซมแบบ Overlay ในชั้นผิวทางที่ต้องการคุณสมบัติ มีความต้านทานต่อการขีดสี และต้องการผิวคอนกรีตที่มีความคงทน

#### 4.2.8 คอนกรีตและปูนทรายแมกนีเซียมฟอสเฟต (Magnesium Phosphate Concrete and Mortar)

คอนกรีตและปูนทรายแมกนีเซียมฟอสเฟต (MPC) เป็นระบบคอนกรีตที่แตกต่างจาก Portland Cement (PCC) ความแตกต่างของคอนกรีตแมกนีเซียมฟอสเฟตคือ คอนกรีตประเภทนี้จะพัฒนาคุณสมบัติให้ดีที่สุดเมื่อมีการปมในอากาศ ซึ่งเหมือนกับคอนกรีตอีพ็อกซี (Epoxy Concrete) คอนกรีตประเภทนี้จะมีการพัฒนากำลังรับแรงอย่างรวดเร็ว และมีความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันสูง ถึงแม้ว่าในบางครั้งจะมีการใช้สารหน่วงการก่อตัวเพื่อช่วยแก้ปัญหาแล้วก็ตาม คอนกรีตแมกนีเซียมฟอสเฟตมีการนำมาใช้ในงานซ่อมแซมตั้งแต่ช่วงปีค.ศ. 1970

**ข้อได้เปรียบ** ที่อุณหภูมิห้อง คอนกรีตประเภทนี้มีระยะเวลาในการก่อตัวเพียงแค่ 10 ถึง 20 นาที และมีการพัฒนากำลังรับแรงได้ถึง 14 MPa ภายใน 2 ชั่วโมง หากมีการใช้สารหน่วงการก่อตัว ระยะเวลาในการก่อตัวอาจอยู่ในช่วง 45 ถึง 60 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ความต้านทานในการหลุดเป็นสะเก็ดเนื่องจากเกลือ เหมือนกับคอนกรีตทั่วไป ความต้านทานในการขีดสีของ MPC มีค่าใกล้เคียงกับ PCC

**ข้อจำกัด** MPC ควรที่จะนำมาใช้กับหินซึ่งไม่มี Calcareous เช่น ซิลิกา บะซอลท์ แกรนิต ผลปฏิกิริยาของกรดฟอสเฟอริกกับผิวที่เกิดคาร์บอนเนชั่น ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเพลสกับมวลรวมลดน้อยลง เนื่องจากปฏิกิริยาที่เป็นกรดก่อนนำ MPC มาใช้ต้องทำการสกัดเอาผิวซึ่งทำปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นออกเสียก่อน นอกจากนี้ MPC จะทำปฏิกิริยากับฝุ่นหรือบริเวณที่เกิดคาร์บอนเนชั่นทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างจุดสัมผัสลดลง ในสถานะของแข็ง โดยทั่วไป MPC จะก่อให้เกิดกำลังรับแรงและ Elastic Modulus ที่สูงมากอย่างรวดเร็ว ดังนั้น MPC มีคุณสมบัติที่แข็ง ไม่ยืดหยุ่น และไม่มี ความทนทาน (Toughness) ซึ่งคอนกรีตโดยทั่วไปมี ดังนั้นวัสดุประเภทนี้เสียหายได้ง่ายต่อน้ำหนักกระแทก (Impact Load)

**การใช้งาน** มีการนำ MPC มาใช้ในงานปะซ่อม เนื่องจากมีความคุ้มค่าในราคาในการซ่อม (Cost Effective) และเมื่อต้องการเปิดใช้งานได้อย่างรวดเร็ว มีการนำ MPC มาใช้ในงานพื้นสะพาน พื้นถนน สนามบิน อุโมงค์ และโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังมีการนำ MPC มาใช้ซ่อมในภูมิอากาศเย็น เนื่องจาก MPC มีการผลิตความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันสูง ซึ่งทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวสูง และมีอัตราการหดตัวต่ำ

#### 4.2.9 Preplaced-Aggregate Concrete

วิธีการก่อสร้างทำได้โดยการวางมวลรวมในแบบ และทำการฉีดน้ำปูนเข้าไปเพื่ออุดช่องว่างระหว่างมวลรวม ความแตกต่างระหว่าง Preplaced-Aggregate Concrete กับคอนกรีตทั่วไปคือคอนกรีตประเภทนี้มีปริมาณมวลรวมที่สูงกว่าคอนกรีตทั่วไป

**ข้อได้เปรียบ** เนื่องจาก Preplaced-Aggregate Concrete มีปริมาณมวลรวมสูง และมีจุดสัมผัสของมวลรวมสูง ทำให้การหดตัวของคอนกรีตประเภทนี้ต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไป ครึ่งหนึ่ง จากวิธีการก่อสร้าง มีการเทมวลรวมเข้าไปในแบบก่อน และหลังจากนั้นจึงทำการฉีดน้ำปูนเข้าไปในแบบ ดังนั้นปัญหาที่เกิดจากการแยกตัวของมวลรวมกับเพลสจึงไม่เกิดขึ้น นอกจากนี้ช่องว่างระหว่างมวลรวมก็จะถูกเติมด้วยปูนทราย ซึ่งข้อได้เปรียบที่กล่าวมานี้ทำให้ Preplaced-Aggregate concrete เป็นวัสดุที่เหมาะสมกับงานที่มีการเสริมเหล็กเป็นจำนวนมากซึ่งยากต่อการใช้คอนกรีตทั่วไป เหมาะกับงานที่ยากต่อการเข้าถึง และงานซ่อมคอนกรีตใต้น้ำ

**ข้อจำกัด** แบบที่ใช้สำหรับ Preplaced-aggregate concrete มีราคาเท่ากับคอนกรีตทั่วไป แต่อย่างไรก็ตามงานที่ต้องทำมีความยุ่งยากมากกว่า เช่นต้องมีการติดตั้งแบบเพื่อป้องกันการรั่วซึม เนื่องจากคอนกรีตประเภทนี้ต้องมีอัตราน้ำต่อซีเมนต์ที่สูงเพื่อสามารถนำมาบ่มได้ ทำให้ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำของปูนทรายของ Preplaced-Aggregate Concrete สูงกว่าคอนกรีตโดยทั่วไป ซึ่งควรใช้ในการพิจารณาหากมีการนำ Preplaced-Aggregate Concrete ไปใช้ในสภาวะที่รุนแรง

**การใช้งาน** โดยทั่วไป Preplaced-Aggregate Concrete ใช้ในการซ่อมแซมคอนกรีตขนาดใหญ่ โดยเฉพาะการเทคอนกรีตใต้น้ำ หรือในบริเวณที่ยากต่อการใช้คอนกรีตทั่วไป งานที่ใช้ Preplaced-Aggregate Concrete ในการซ่อมแซมคือ งานเขื่อน งานสะพาน ตอม่อ ฐานราก เสาและคานของโรงงาน ตลอดจนที่เก็บน้ำ

#### 4.2.10 ซีเมนต์ก่อก่อตัวเร็ว (Rapid-Setting Cements)

คุณสมบัติของซีเมนต์ก่อก่อตัวเร็วคือมีระยะเวลาการก่อก่อตัวที่เร็ว ในบางครั้งสามารถพัฒนากำลังรับแรงอัดได้เกิน 6.9 MPa ภายในเวลา 3 ชั่วโมง ได้มีการใช้ปูนซีเมนต์ชนิดพัฒนากำลังรับแรงได้เร็ว รวมกับการใช้สารเร่งการก่อก่อตัวมากกว่าวัสดุชนิดอื่น เพื่อนำมาใช้งานซ่อม

**ข้อได้เปรียบ** ซีเมนต์ก่อก่อตัวเร็วสามารถพัฒนากำลังรับน้ำหนักได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเมื่อนำไปใช้ในงานซ่อม จะทำให้สามารถซ่อมและเปิดให้ใช้งานได้อย่างรวดเร็วมากกว่าคอนกรีตทั่วไป ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการซ่อมแซมถนนและสะพานเนื่องจากสามารถลดระยะเวลาการซ่อมแซม เพิ่มความปลอดภัย ลดค่าใช้จ่ายในการควบคุมดูแลจราจร

**ข้อจำกัด** ถึงแม้ว่า ซีเมนต์ก่อก่อตัวเร็วจะมีความคงทนเท่ากับคอนกรีต แต่เนื่องจากส่วนผสมของซีเมนต์ก่อก่อตัวเร็ว ซีเมนต์ก่อก่อตัวเร็วอาจไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในบางสภาพแวดล้อม ซีเมนต์ก่อก่อตัวเร็วพัฒนากำลังรับแรงจากการขยายตัวของ Ettringite ซึ่งหากมีระดับการขยายตัวที่มากเกินไป และ เวลาที่ใช้ในการพัฒนาจนถึงระดับสูงสุดที่นานเกินไป อาจนำไปสู่การลดลงของกำลังรับแรงของวัสดุได้ นอกจากนี้แล้วยังต้องคำนึงถึงระยะเวลา และวิธีการที่ใช้ในการบ่ม เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อการพัฒนาของ Ettringite เนื่องจากส่วนผสมของซีเมนต์ก่อก่อตัวเร็วมีส่วนผสมของ alkali และ Aluminate สูง ดังนั้นต้องระวังไม่ให้น้ำไปใช้ในสภาวะที่มีซัลเฟตสูง และ หลีกเลี่ยงการนำไปใช้กับมวลรวมที่ทำปฏิกิริยากับ Alkali (Alkali Aggregate Reaction)

**การใช้งาน** ซีเมนต์ก่อก่อตัวเร็วเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการซ่อมแซมถนนหรือสะพานที่ต้องการเปิดการใช้งานได้อย่างรวดเร็ว เช่นการซ่อมผิวถนน พื้นสะพาน และทางขึ้นลงของเครื่องบิน

#### 4.2.11 Shortcrete

Shortcrete คือส่วนผสมของซีเมนต์ มวลรวมละเอียด และ น้ำ ที่ผสมและถูกขนส่งเข้าไปยังสถานที่ที่ต้องการด้วยแรงดันอากาศ นอกจากซีเมนต์และน้ำ อาจยังมีการใช้มวลรวมหยาบ ไฟเบอร์ และสารผสมเพิ่ม Shortcrete ที่มี



คุณสมบัติที่ดี จะมีคุณสมบัติที่ดีทั้งทางด้านโครงสร้าง และ ทางด้านความคงทน ซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตเดิม หรือ วัสดุอื่นในงานก่อสร้าง

**ข้อได้เปรียบ** ในงานซ่อมแซมโครงสร้างที่หนาน้อยกว่า 150 มม. และ พื้นที่หน้าตัดที่ไม่แน่นอน การใช้ Shortcrete ในการซ่อมแซมอาจประหยัดกว่าคอนกรีตธรรมดา เนื่องจากการประหยัดแบบที่ใช้ในการหล่อ Shortcrete ยังเหมาะสมในการซ่อมแซมของงานที่อยู่เหนือหัว และวัสดุสามารถถูกผสมและขนย้ายจากสถานที่ไกลมาสู่อุปกรณ์ในหน้าที่ไม่สะดวกในการผสมวัสดุที่หน้างาน

**ข้อจำกัด** ความสำเร็จในการซ่อมแซมด้วย Shortcrete ขึ้นอยู่กับความชำนาญ การฝึกฝน และประสบการณ์ของผู้ดำเนินงาน ก่อนมีการนำไปใช้งานควรมีการทดลองใช้งานกับโครงสร้างที่มีลักษณะและสภาวะที่เหมือนจริงกับโครงสร้างที่จะซ่อมแซม

**การใช้งาน** Shortcrete ถูกนำมาใช้งานในการซ่อมแซมสะพานคอนกรีต ตึก กำแพง เขื่อน อุโมงค์ โดยทั่วไปแล้ว Shortcrete มีคุณสมบัติที่ดี แต่อย่างไรก็ตามในบางสถานการณ์ Shortcrete อาจมีคุณสมบัติไม่ดีได้ หากมีการเตรียมผิวหน้าของคอนกรีตเดิมไม่ดีพอ และความชำนาญของผู้ใช้ไม่ชำนาญพอ

#### 4.2.12 คอนกรีตชดเชยการหดตัว (Shrinkage-Compensating Concrete)

คอนกรีตชดเชยการหดตัวคือคอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติการขยายตัว (Expansive Cement) เพื่อที่ช่วยลดการแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต วัสดุและวิธีการที่ใช้เหมือนกับวัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตคุณภาพสูง ผลที่ตามมาคือคอนกรีตชดเชยการหดตัวจะมีคุณสมบัติโดยทั่วไปเหมือนกับคอนกรีตทั่วไป

**ข้อได้เปรียบ** เมื่อถูกยึดเหนี่ยวอย่างพอเหมาะโดยเหล็กเสริม คอนกรีตชดเชยการหดตัวจะขยายโดยมีปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าการหดตัวที่จะเกิดขึ้นเล็กน้อย ผลที่ตามมาคือการหดตัวจะลดลง ทำให้โอกาสที่จะเกิดการแตกร้าวขึ้นในคอนกรีตจึงลดลง เมื่อใช้คอนกรีตประเภทนี้สามารถลดจำนวนรอยต่อที่ใช้เพื่อควบคุมการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว

**ข้อจำกัด** ถึงแม้ว่าคุณสมบัติของคอนกรีตชดเชยการหดตัวจะคล้ายคลึงกับกับคอนกรีตทั่วไป แต่การคัดเลือกวัสดุ การเทคอนกรีต การเลือกใช้อัตราส่วนผสม และการบ่มคอนกรีตต้องเหมาะสมเพื่อจะทำให้คอนกรีตขยายตัวอย่างเพียงพอที่จะไปชดเชยการหดตัวที่จะเกิดขึ้น สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จาก ACI 223

**การใช้งาน** คอนกรีตชดเชยการหดตัวถูกนำมาใช้ในการลดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของงานซ่อมพื้นคอนกรีต ผิวถนน พื้นสะพาน นอกจากนี้ยังมีการนำคอนกรีตชดเชยการหดตัวมาใช้ในการลดการแตกร้าวของคอนกรีตที่เกิดการแห้งในเพียงด้านเดียว และการหดตัวเนื่องมาจากคาร์บอนชั่น

#### 4.2.13 คอนกรีตผสมซิลิกา (Silica Fume Concrete)

ซิลิกาเป็นผลพลอยได้จากการผลิตซิลิคอนหรืออัลลอย และเป็นวัสดุปอซโซลานิกที่มีคุณสมบัติที่ดี การใช้ซิลิกา ร่วมกับสารลดน้ำเข้าไปในคอนกรีตจะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัด ช่วยลดการซึมผ่านได้ และยังช่วยเพิ่มความคงทนให้แก่คอนกรีต ซิลิกาที่มีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่เป็นน้ำ หรือเป็นผง ปริมาณที่ใช้คือประมาณ 5 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซีเมนต์ การใช้ซิลิกาเติมเข้าไปในคอนกรีตสามารถทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสูงถึง 85 ถึง 105 MPa

**ข้อได้เปรียบ** นอกจากจะช่วยในการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแล้ว ซิลิกายังช่วยปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางมากขึ้น นอกจากนี้คอนกรีตที่เพิ่มซิลิกาเข้าไป ยังไม่ต้องการการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงในเรื่องของ การขนส่ง การเท หรือการบดอัดให้แตกต่างไปจากคอนกรีตทั่วไป



**ข้อจำกัด** เมื่อมีการใช้ปริมาณซิลิกาเพิ่มมากขึ้นจะทำให้คอนกรีตมีความเหนียวมากขึ้น เป็นผลทำให้คอนกรีตมีโอกาสที่จะแตกร้าวได้เนื่องจากการหดตัว อย่างไรก็ตาม การใช้ซิลิกาจะช่วยทำให้ การเท และการบดแต่งเป็นไปได้มากขึ้น คอนกรีตซิลิกามีน้ำแฉิม (Bleeding Water) น้อยมากซึ่งจะทำให้ยากต่อการใช้เกรียงเหล็กในการบดแต่งผิวหน้าหากมีความจำเป็นต้องใช้ อุณหภูมิที่ดีที่สุดที่ใช้ในการบดคอนกรีตซิลิกาคือประมาณ 4 องศาเซลเซียส และ ควรบดคอนกรีตแบบให้ความชื้นตลอดเวลาเป็นเวลาอย่างน้อย 7 วัน

**การใช้งาน** คอนกรีตซิลิกามีการนำไปใช้ซ่อมโครงสร้างที่เสียหายจากการขัดสี (Abrasion) และการกัดเซาะ (Erosion) เนื่องจากคอนกรีตประเภทนี้มีกำลังรับแรงสูง ดังนั้นจึงมีความทนทานต่อการขัดสี และ การกัดเซาะ คอนกรีตซิลิกายังถูกนำมาใช้ในงาน Overlays บนลานจอดรถ หรือ พื้นสะพาน เพื่อที่จะช่วยป้องกันการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนเข้าไปในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตและเหล็กเสริมเสียหายได้

#### 4.2.14 วัสดุเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (Bonding Materials)

วัสดุเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวถูกใช้เพื่อยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุซ่อมแซมกับคอนกรีตเดิม วัสดุเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ อีพ็อกซี ลาเท็กซ์ และ ซีเมนต์

- 1.) อีพ็อกซี เมื่อใช้อีพ็อกซีภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิการดูแลอย่างพิเศษ อุณหภูมิที่สูงจะทำให้การบ่มไม่เต็มที่ และจะทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวไม่เต็มที่ อีพ็อกซีมักจะก่อให้เกิดชั้นของน้ำระหว่างวัสดุซ่อมแซมกับคอนกรีตเดิม ภายใต้สภาวะหนาวเย็นความชื้นที่ติดอยู่ในชั้นน้ำจะแข็งตัว นำไปสู่ความเสียหายในโครงสร้างคอนกรีตได้ (ASTM C881)
- 2.) ลาเท็กซ์ (ASTM C1059) แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่สามารถกระจายตัวได้ และ ชนิดที่ไม่สามารถกระจายตัวได้ โดยชนิดที่สามารถกระจายตัวได้ สามารถทำได้บนพื้นผิวหลายวันก่อนทำการเทวัสดุซ่อมแซม อย่างไรก็ตามลาเท็กซ์ชนิดที่สามารถกระจายตัวได้จะให้แรงยึดเหนี่ยวน้อยกว่าชนิดกระจายตัวไม่ได้ ลาเท็กซ์ชนิดกระจายตัวได้ ไม่ควรใช้กับพื้นผิวที่ถูกล้าง ความชื้น หรืองานโครงสร้าง
- 3.) ซีเมนต์ มีการใช้ซีเมนต์ในการยึดเหนี่ยวมานาน โดยประกอบด้วย ซีเมนต์ชนิดละเอียด หรือ ซีเมนต์ผสม (Blended Cement) และสารผสมเพิ่มมวลรวม ซึ่งโดยทั่วไปใช้อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก และมีการเติมน้ำลงไปเพื่อให้มีความชื้นเหลว (Consistency) ที่สม่ำเสมอและเหมาะสม

#### 4.2.15 ปูนทรายที่มีปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสมหลัก (Cement-based Mortar)

จะเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในงานซ่อมแซมคอนกรีตมาก เนื่องจากหาได้ง่ายและมีราคาถูก จะมีการใช้ Cement mortar ในงานซ่อมแซมเล็กๆ ส่วน Concrete Mortar นั้นจะถูกใช้ในงานซ่อมแซมคอนกรีตที่มีพื้นที่กว้างๆ อาจจะเลือกใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้หลากหลายชนิดโดยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงาน (Function) และสภาพการสัมผัสกับสภาพแวดล้อม (Exposure) รวมถึงความต้องการในเรื่องของกำลังคอนกรีต (Strength or Resistance)

#### 4.2.16 ปูนทรายที่คืบตัวเร็ว (Quick-setting Non-shrink Mortar)

การควบคุมรอยแตกอันเนื่องมาจากการหดตัว (Shrinkage Cracks) ระหว่างวัสดุใหม่และคอนกรีตเดิมสามารถกระทำได้โดยใช้ซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติการขยายตัว (Expansive Cement) ในคอนกรีตที่ผสมขึ้น ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ถูกรวมตัวกับสารผสมเพิ่ม (Admixtures) ซึ่งจะเพิ่มกำลัง (Strength) ปรับปรุงทั้งแรงยึดเหนี่ยว (Bond) และความสามารถใน



การเท (Workability) ให้ดีขึ้น และในขณะเดียวกันก็ยังลดเวลาในการบ่ม (Curing Time) อีกด้วย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการผสมมาเรียบร้อยแล้ว (Prepackaged Mixes) มักจะมีราคาสูงกว่าปูนทรายผสมเอง แต่ก็ยังเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการเพิ่มกำลังของคอนกรีตภายในเวลาอันจำกัด โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ในการซ่อมแซมหรือสร้างใหม่ในส่วนหัวของตอม่อ (Abutment Headers) แผ่นรองสะพาน (Bearing Pads) รอยต่อของพื้นสะพาน (Deck Joints) การหลุดล่อนที่ไม่ใหญ่มากนัก (Average Size Spalls) และในสถานการณ์อื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

#### 4.2.17 ปูนอีพ็อกซี (Epoxy Mortar)

สารผสมอีพ็อกซีได้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมากกว่า 3 ทศวรรษแล้ว โดยปกติแล้วปูนอีพ็อกซีจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 2 อย่างคือ ยางอีพ็อกซี (Epoxy Resin) และสารช่วยบ่ม (Curing Agent) สารผสมอีพ็อกซีได้รับการพัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับ ในปัจจุบันสารผสมอีพ็อกซีก็ยังคงไว้ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความร้อน (Thermal Coefficient) และมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ที่ต่ำ ฉะนั้น จึงไม่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ง่ายๆ ผลลัพธ์ที่ตามมาก็คือ ค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยว (Bond Stress) ที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของวัสดุใหม่กับคอนกรีตเดิมจึงไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปมากนัก คุณสมบัติอื่นๆ ของอีพ็อกซีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา ได้แก่

- มีค่ากำลังรับแรงอัด แรงดึง ความยืดหยุ่นและตลอดจนถึงแรงเฉือนได้มากขึ้น
- มีคุณสมบัติของแรงยึดเหนี่ยว ภายใต้การทดสอบทางความร้อน เป็นที่น่าพึงพอใจ
- มีความทนทานต่อความชื้นหรือสภาพแวดล้อมที่เปียกแฉะ และยังสามารถในการต้านทานต่อปฏิกิริยาทางเคมีอีกด้วย
- มีความสามารถในการต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact) และการขีดหรือการถลอก (Abrasion)

เนื่องจากอีพ็อกซีมีคุณสมบัติการใช้งานที่เหมาะสมดังกล่าวข้างต้นนี้ ผลิตภัณฑ์อีพ็อกซีจึงเป็นที่นิยมในงานหลากหลายประเภทดังต่อไปนี้

- การซ่อมแซมคอนกรีต โดยจะผสม Epoxy Resin เข้ากับมวลรวม (Aggregate) ทั้งแบบละเอียดและแบบหยาบ
- การติดตั้งสมอหรือเหล็กยึด (Anchoring และ Dowelling) โดยจะเติม Epoxy Resin ลงไปในช่องว่างระหว่างรูที่เจาะกับเหล็กที่จะสอดเข้าไปเป็นสมอยึด
- ใช้ในการอุดรอยแตกโดยใช้แรงดัน (Pressure Grouting)
- ใช้ในงานช่วยป้องกันเหล็กเสริม โดยที่เหล็กเสริมที่ทำหุ้มด้วย Epoxy นี้จะถูกนำมาใช้ในงานที่เสี่ยงต่อการถูกกัดกร่อนโดยสารจำพวกซัลเฟต
- ใช้ทำผิวคอนกรีตเพื่อป้องกันผิวคอนกรีตจากสารจำพวกเกลือและซัลเฟต
- ใช้ช่วยในการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ของคอนกรีต (Concrete Segment)
- ใช้ซ่อมโครงสร้างส่วนล่าง (Substructures) ที่เป็นคอนกรีตซึ่งอยู่ใต้น้ำ
- ใช้ในการติดตั้ง Bearing Pad อันใหม่ ซึ่งจะเพิ่มกำลังความแข็งแรงและการต้านทานต่อแรงกระแทก
- ใช้ในงานซ่อมคอนกรีตรอยต่อบนพื้นสะพาน (Deck Joints) และงานสมานคอนกรีต (Concrete Healer)

## 4.3 วัสดุประเภทโพลีเมอร์

การพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตด้วยการเพิ่มโพลีเมอร์สามารถอ่านรายละเอียดจาก ACI 548.1R โดยปกติสามารถแบ่งชนิดของ Composite ซึ่งประกอบไปด้วยคอนกรีตและโพลีเมอร์ผสมเพิ่ม ได้ 3 ประเภทคือ Polymer-Impregnated Concrete (PIC) Polymer-Modified Concrete (PMC) และ Polymer Concrete รายละเอียดของวัสดุแต่ละประเภทมีดังนี้

### 4.3.1 Polymer-impregnated concrete (PIC)

PIC เป็นคอนกรีตที่ถูกแทรกซึม (impregnate) ฉีดด้วยโมโนเมอร์ซึ่งภายหลังจะถูกเปลี่ยนเป็นโพลีเมอร์ การฉีดจะทำด้วยโมโนเมอร์ซึ่งบรรจุด้วยสารก่อให้เกิดโพลีเมอร์ (Polymerization Initiator) ซึ่งจะทำงานเมื่อได้รับความร้อน โมโนเมอร์ที่ใช้มากที่สุดคือ Methyl Methacrylate ด้วยปริมาณ 1.5 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก และความลึกของการซึมผ่านเข้าไปของโพลีเมอร์ ประมาณ 6 มม. ถึง 38 มม. จะทำให้ความคงทนของคอนกรีตเพิ่มขึ้นอย่างมาก

**ข้อได้เปรียบ** เกือบจะทุกประเภทของโครงสร้างคอนกรีตสามารถใช้วิธีให้โพลีเมอร์ซึมเข้าไปในผิวคอนกรีตเพื่อปรับปรุงคุณภาพคอนกรีต การใช้โพลีเมอร์ซึมเข้าไปสู่ผิวคอนกรีตด้วยโพลีเมอร์พบว่าสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตอันได้แก่ ความต้านทานการขีดสี ความต้านทานการโจมตีโดย กรด น้ำ เกลือ และยังเพิ่มความต้านทานต่อวัฏจักรการแข็งและการละลายของน้ำ

**ข้อจำกัด** การซึมผ่านของโพลีเมอร์เข้าไปสู่ผิวคอนกรีต ทำให้การซึมผ่านได้ของคอนกรีตต่ำลง ดังนั้นคอนกรีตจะมีความคงทนต่อสารที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตมากขึ้น อย่างไรก็ตามการซึมผ่านของโพลีเมอร์ไม่ได้ทำให้คอนกรีตไม่สามารถซึมผ่านได้ ดังนั้นคอนกรีตที่อยู่ในสภาวะที่รุนแรง คอนกรีตยังคงเสื่อมสภาพอย่างช้าๆ โดยกรดซัลฟูริก รอยแตกที่ไม่ได้รับการอุดจะเป็นช่องทางให้สารที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตเดินทางเข้ามาโจมตีคอนกรีต ซึ่งจะทำให้การปรับปรุงผิวด้วยวิธีการซึมของโพลีเมอร์ไม่เกิดประโยชน์ รอยแตกมักจะเกิดระหว่างการสูญเสียน้ำของคอนกรีต เพื่อที่จะทำให้การปรับปรุงเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพรอยแตกทั้งหมดต้องได้รับการอุดในขณะที่ทำการใช้โพลีเมอร์เพื่อลดการซึมผ่านได้ของคอนกรีต

**การใช้งาน** การใช้โพลีเมอร์ซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีต เพื่อเพิ่มความคงทนของคอนกรีต ลดความต้องการในการดูแล และซ่อมแซมคอนกรีตที่เสื่อมสภาพ ได้มีการใช้ขบวนการนี้ในงานซ่อมพื้นสะพาน ทางล้นน้ำ ขอบทางเดิน ท่อคอนกรีต และ ตึกที่เสื่อมสภาพ

### 4.3.2 Polymer-Modified Concrete (PMC)

PMC เป็นส่วนผสมของซีเมนต์ และมวลรวม ที่ได้ทำการใส่โพลีเมอร์สารอินทรีย์ (Organic Polymer) ซึ่งกระจายเข้าไปในระหว่างการผสมคอนกรีต โดยการกระจายนี้เรียกว่าลาเท็กซ์ และโพลีเมอร์ สารอินทรีย์ (Organic Polymer) เป็นสารซึ่งประกอบโมเลกุลอย่างง่ายจำนวนมากประกอบกันจนเป็นโมเลกุลใหญ่ โดยโมเลกุลอย่างง่ายเรียกว่า โมโนเมอร์ และปฏิกิริยาที่รวมโมโนเมอร์เข้าด้วยกันเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Polymerization

การใช้โพลีเมอร์ช่วยทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตดีขึ้น ได้แก่ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเดิมกับวัสดุซ่อมแซม เพิ่มความต้านทานต่อการกระแทก เพิ่มความยืดหยุ่น เพิ่มกำลังรับน้ำหนัก เพิ่มความต้านทานต่อสารเคมี และ สารละลายเกลือ และเพิ่มความต้านต่อการแข็งตัวของน้ำ



สารโพลีเมอร์ที่นำมาใช้มากที่สุดคือ Styrene Butadiene และ Acrylic Latexes อัตราส่วนผสมขึ้นอยู่กับการใช้งาน และชนิดของโพลีเมอร์ที่ใช้ใน PMC โดยทั่วไปแล้วปริมาณโพลีเมอร์ 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซีเมนต์ก็เพียงพอต่อการใช้งาน อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้ในงานซ่อมแซมอยู่ในช่วงประมาณ 0.30 ถึง 0.40 สำหรับส่วนผสมที่มีลาเท็กซ์เป็นส่วนผสม และ 0.25 ถึง 0.35 สำหรับส่วนผสมที่มีอีพ็อกซีเป็นส่วนผสม

**ข้อได้เปรียบ** การใช้ Latex-modified Concrete (LMC) ในงาน Overlay ทำให้คอนกรีตมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เพิ่มแรงยึดเหนี่ยว ลดความสามารถในการซึมผ่านได้ของคอนกรีต ทนต่อวัฏจักรการแข็งและการละลายตัวของน้ำ และลดความเสียหายเนื่องจากการการการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยว นอกจากนี้การใช้ LMC ทำให้วัสดุที่ได้มีความสามารถในการเทได้ขึ้นเมื่อเทียบกับ PMC ชนิดอื่น การผสมและการดูแล PMC เหมือนกับคอนกรีตทั่วไป อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปคอนกรีตต้องใช้เวลาการบ่มโดยใช้ความชื้น (Moist Curing) เป็นเวลาอย่างต่อเนื่อง แต่ PMC ใช้เวลาในการบ่มแค่เพียง 1 ถึง 2 วันในการบ่มโดยใช้ความชื้น (Moist Curing) หลังจากนั้นสามารถบ่มต่อในอากาศ Styrene-Butadiene LMC มีความคงทนสูง สำหรับการเผชิญสภาวะนอก หรือสภาวะที่ความชื้นสูง การเปลี่ยนสีของคอนกรีตเมื่อถูกแสง UV สามารถป้องกันได้โดยใช้ Acrylic Polymers

**ข้อจำกัด** LMC ควรถูกบ่มและเทที่อุณหภูมิ 7 ถึง 30 องศาเซลเซียส และต้องระวังการเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว เพราะ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของ LMC ต่ำ ทำให้เกิดโอกาสการแตกร้าวสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออัตราการระเหยสูงกว่า 0.5 กก./ม<sup>2</sup>./ชม.

**การใช้งาน** PMC ถูกใช้ในงาน Overlay ของ พื้นสะพาน โรงจอดรถ และ พื้น และใช้ในการปะพื้นผิวคอนกรีต LMC ใช้ในงาน Overlay ที่มีความหนาตั้งแต่ 19 ถึง 50 มม. ซึ่งจะเป็นผิวคอนกรีตใหม่ที่มีความคงทนต่อความเสียหายเนื่องจากสภาพอากาศ Styrene Butadiene Modified Concrete ใช้ในงานซ่อมแซมพื้นสะพาน และ Acrylic Latexes ใช้ในการซ่อมแซมงานภายนอกที่ซึ่งการรักษาสีมีความสำคัญ

#### 4.3.3 Polymer Concrete (PC)

PC เป็นวัสดุซึ่งมวลรวมถูกประสานเข้ากันด้วยวัสดุประสานชนิดโพลีเมอร์ วัสดุไม่ประกอบด้วยซีเมนต์ ถึงแม้ว่าซีเมนต์จะถูกใช้เป็นมวลรวมหรือวัสดุผสม (Filler)

PC ประกอบด้วย เรซินและโมโนเมอร์ชนิดต่าง ๆ อย่างเช่น Polyester, Epoxy, Furan, Vinylester, Methyl Methacrylate (MMA), และ Styrene Polyester Resin เหมาะสมในการใช้งานเนื่องจาก Polyester ราคาไม่แพง สามารถหาได้ง่าย และ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติที่ดี Epoxy Resin มีราคาแพง แต่อย่างไรก็ตาม Epoxy ก็มีข้อดีหลายอย่างคือสามารถให้แรงยึดเหนี่ยวกับพื้นผิวเปียก สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จาก ACI 503R

คุณสมบัติของ PC ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและปริมาณของโพลีเมอร์ที่ใช้ อันได้แก่ ก) ก่อตัวเร็ว ข) กำลังรับแรงดึงแรงอัด แรงดัด มีค่าสูงขึ้น ค) มีแรงยึดเหนี่ยวที่ดีต่อพื้นผิวที่ขึ้น ง) ความคงทนต่อการแข็งตัวและละลายน้ำสูง จ) ความสามารถในการซึมผ่านได้ต่ำ และ ฉ) มีความคงทนต่อสารเคมี

**ข้อได้เปรียบ** PC มีการก่อตัวที่เร็ว และ มีกำลังรับน้ำหนักที่สูงต่อวัสดุที่ใช้ในการปะ ซึ่งเหมาะสำหรับการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต การผสม การเท และการเขย่าให้เข้าแบบของ PC มีวิธีการที่คล้ายคลึงกับคอนกรีตโดยทั่วไป เพียงแต่ต้องการเขย่าที่มากกว่าอันเนื่องมาจาก PC มีความหนืดสูงกว่าคอนกรีต

**ข้อจำกัด** สารละลายอินทรีย์มีความจำเป็นในการใช้ทำความสะอาดเครื่องมือ หลังจากที่ใช้ผสม Polyester หรือ Epoxy การใช้ MMA ซึ่งเป็นสารที่ระเหยได้ง่าย จะไม่พบปัญหาในการทำความสะอาด อย่างไรก็ตาม การใช้ MMA จะมี

โอกาสที่ทำให้เกิดการระเบิดได้ ดังนั้นต้องใช้เครื่องมือที่ไม่ทำให้เกิดประกายไฟ ควรตระหนักว่า PC มีการก่อตัวที่เร็ว ซึ่งหมายความว่าเวลาที่ใช้ในการเท การปรับแต่งผิว มีเวลาน้อยลง เวลาที่ใช้ในการทำงานแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ ซึ่งอาจจะอยู่ในช่วงเวลา 15 นาที ไปจนถึง 1 ชม. และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของ PC ค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิของ PC สูงกว่า ของคอนกรีตทั่วไปมาก การหดตัวของ PC ควรที่จะทำการตรวจสอบเพื่อป้องกันการแตกร้าวขึ้นได้ ค่า Modulus of elasticity ของ PC ต่ำกว่าของคอนกรีตมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นควรมีการพิจารณากำลังรับน้ำหนัก เมื่อมีการนำ PC ไปใช้ อุณหภูมิสูงมีผลกระทบอย่างมากต่อ คุณสมบัติทางกายภาพของ PC ซึ่งทำให้ PC อ่อนลงที่อุณหภูมิสูง ควรมีการตรวจสอบอุณหภูมิที่สามารถทนนำไปใช้งาน อีพ็อกซีจะไหม้ไฟเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 230 องศาเซลเซียส ผู้ใช้ต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของ PC ซึ่งขาดความสามารถในการต้านทานไฟ นอกจากนี้คอนกรีตทั่วไปจะไม่ยึดเหนี่ยวกับ PC ที่บ่มแล้ว และควรพิจารณาความเข้ากันได้ระหว่าง PC และคอนกรีตเดิม

**การใช้งาน** การใช้ PC ในการซ่อมแบบปะ เหมาะกับการซ่อมถนนทางหลวง ที่ซึ่งปัจจัยทางการจราจรยอมให้มีการปิดจราจรเพียงไม่กี่ชั่วโมง PC ยังใช้ในงานหลายประเภท เช่น 1) วัสดุที่ใช้ในการปะที่ต้องการการก่อตัวเร็ว และกำลังรับน้ำหนักสูง 2) งาน Overlay ที่หนาประมาณ 5 ถึง 19 มม. โพลีเมอร์ที่มีการยืดตัวสูง (High Elongation) และมี Modulus of Elasticity ต่ำ เหมาะใช้ในงาน Overlay พื้นสะพาน และใช้ในงานที่มีการโจมตีจากสารเคมี

#### 4.4 การเลือกใช้วัสดุ

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนั้น จะพบว่าวัสดุมากมายให้เลือกใช้เพื่อซ่อมแซมสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยในตอนนี้จะกล่าวถึงวิธีการเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพานคอนกรีตในสถานการณ์ที่ต่างกันออกไป แรงยึดเหนี่ยวและกำลังรับแรงอัดเป็นปัจจัยสำคัญในการซ่อมแซม อย่างไรก็ตามยังคงมีคุณสมบัติอย่างอื่นที่มีความสำคัญและต้องพิจารณาควบคู่กัน ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะถูกนำเสนอต่อไปนี้

- 1.) **คุณสมบัติการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ (Coefficient of Thermal Expansion)** เป็นสิ่งสำคัญมากที่วัสดุซ่อมแซมควรมีสัมประสิทธิ์ในการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิใกล้เคียงกับคอนกรีตเดิม ความเข้ากันได้ของคุณสมบัติทางอุณหภูมิ (Thermal Compatibility) ยิ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการปะหรือการเททับ (Overlay) ขนาดใหญ่ หากมีความแตกต่างกันมากทางคุณสมบัติทางอุณหภูมิของวัสดุสองชนิด การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างมากสามารถนำไปสู่ความเสียหายไม่ว่าจะเกิดที่ผิวสัมผัสหรือเกิดขึ้นในวัสดุที่กำลังรับแรงต่ำ
- 2.) **คุณสมบัติการหดตัว (Shrinkage)** เนื่องจากการซ่อมแซมของคอนกรีตเดิมซึ่งเกิดการหดตัวไปมากแล้ว และไม่เกิดการหดตัวอย่างมากอีกต่อไปแล้ว ดังนั้นควรเลือกวัสดุที่ปลอดภัยจากการหดตัว หรือวัสดุที่เกิดการหดตัวแต่ปราศจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่ เราสามารถควบคุมการหดตัวของคอนกรีตได้โดยการใช้คอนกรีตที่มีส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ หรือการใช้วิธีการก่อสร้างที่ช่วยลดการหดตัว เช่น การใช้ Dry Pack หรือ การก่อสร้างโดยการเทมวลรวมก่อน (Preplaced-Aggregate Concrete)
- 3.) **คุณสมบัติการซึมผ่าน (Permeability)** โดยทั่วไปคอนกรีตที่มีคุณภาพดี จะมีคุณสมบัติที่ทนน้ำ แต่ความชื้นภายในสามารถถูกดึงออกไปสู่ผิวหน้าคอนกรีตที่แห้งกว่าได้เนื่องจาก Capillary Action หากมีการใช้วัสดุที่ทนน้ำในการปะ การเททับ หรือ การฉาบ จะทำให้ความชื้นที่เคลื่อนจากภายในออกสู่ผิวหน้า ถูกดักอยู่ระหว่าง



คอนกรีตเก่า และวัสดุซ่อมแซมที่เปียกน้ำ ความชื้นที่ถูกดักไว้ที่นั่นอาจนำไปสู่ความเสียหายต่อแรงยึดเหนี่ยวหรือในบริเวณที่เกิดวงจรการแข็งตัว และการละลายตัวของน้ำแข็ง

- 4.) *ความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)* ควรเลือกใช้วัสดุซ่อมแซมที่มีความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับคอนกรีตเดิม เนื่องจากการใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่นต่างกันมาก เมื่อโครงสร้างถูกน้ำหนักกระทำ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปที่ต่างกันมาก ซึ่งจะนำไปสู่ความเสียหายต่อวัสดุซ่อมแซม หรือแม้กระทั่งคอนกรีตเดิม
- 5.) *คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Properties)* เมื่อไม่นานมานี้มีการเอาใจใส่อย่างมากต่อการป้องกันการกัดกร่อนสนิมเหล็ก ซึ่งโดยปกติแล้วคอนกรีตมีความเป็นด่างสูง (pH มากกว่า 12) จะทำให้เกิดการฟิล์มซึ่งทำหน้าที่ป้องกันการเกิดสนิมในเหล็กเสริม หากมีการนำวัสดุซ่อมแซมที่มีความเป็นด่างต่ำมาใช้ จะไม่ทำให้เกิดการป้องกันการเกิดสนิมในเหล็ก วิธีการป้องกันนี้ ควรถูกนำมาพิจารณามาใช้ควบคู่กับการกัดกร่อนเหล็กเสริมโดยวิธี Cathodic Protection โดยในแต่ละระบบก็มีอัตราส่วนค่าใช้จ่ายต่อผลประโยชน์ ดังนั้นควรมีการพิจารณาปัจจัยนี้ก่อนเลือกใช้วิธีซ่อมแซม
- 6.) *คุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Properties)* ความต้านทานกระแสไฟฟ้า หรือ คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุซ่อมแซมก็มีส่วนสำคัญต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ซ่อมแซมหลังจากความเสียหายเกิดเนื่องจากการกัดกร่อน
- 7.) *สี (Color)* สำหรับการซ่อมแซมคอนกรีตเพื่อความสวยงาม สีของวัสดุซ่อมแซมควรมีสีเดียวกับสีของผิวคอนกรีตที่อยู่ใกล้เคียงกัน ควรมีการทดลองสีของวัสดุซ่อมแซมก่อนที่นำมาใช้ในการซ่อมแซม

# การซ่อมแซมพื้นผิวคอนกรีต

## 5.1 บทนำ

ก่อนที่จะกล่าวถึงการซ่อมส่วนประกอบทางโครงสร้างอื่นๆ ของคอนกรีตนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะอธิบายถึงวิธีการซ่อมแซมพื้นผิวของคอนกรีต ซึ่งเป็นพื้นฐานของการซ่อมแซมการชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นแก่คอนกรีต

ทั้งเทคนิคและวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมคอนกรีตในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาจุดหน้าไปมากมายและมีความหลากหลายยิ่ง นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมความสลับซับซ้อนของโครงสร้างและเทคนิคที่ใช้ออกแบบโครงสร้างด้วย ขั้นตอนที่สำคัญๆ ของการซ่อมแซมพื้นผิวของคอนกรีต ได้แก่

- การวิเคราะห์ เทคนิควิธี และการออกแบบการซ่อมแซม
- การคัดเลือกวัสดุสำหรับการซ่อมแซม
- การเตรียมพื้นผิวคอนกรีต
- การทำความสะอาดเหล็กเสริม การซ่อมและการเสริมการป้องกันให้แก่เหล็กเสริม
- การซ่อมผิวที่จะใช้สร้างแรงยึดเหนี่ยว เพื่อเชื่อมกับเนื้อคอนกรีตเดิม
- เทคนิคการใส่คอนกรีตในบริเวณที่ซ่อมแซม

ลักษณะความเสียหายประเภทต่างๆ ของผิวคอนกรีต เช่น การแตกร้าว การหลุดร่อนของผิว และการเกิดสนิม แสดงไว้ในรูปที่ 5-1 ถึง 5-3 ส่วนลักษณะทั่วๆ ไปขององค์ประกอบของการซ่อมแซมพื้นผิวคอนกรีต ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-4

## 5.2 การวิเคราะห์ เทคนิควิธีและการออกแบบ (Analysis, Strategy and Design)

การวิเคราะห์และการประเมินสภาพความเสียหายของสะพานคอนกรีตนี้เป็นส่วนสำคัญเพื่อที่จะค้นหาสาเหตุและผลกระทบของความเสียหายที่เกิดขึ้น จากนั้นก็จะใช้เทคนิควิธีที่ได้กำหนดขึ้นจากข้อมูลต่างๆ ที่มีอยู่ทำการออกแบบวิธีการซ่อมแซมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของการซ่อมแซมมีความทนทาน ทำการซ่อมได้ง่าย และรวมถึงการเข้ากันได้กับโครงสร้างเดิม



รูป 5-1 การแตกร้าวของผิวคอนกรีต

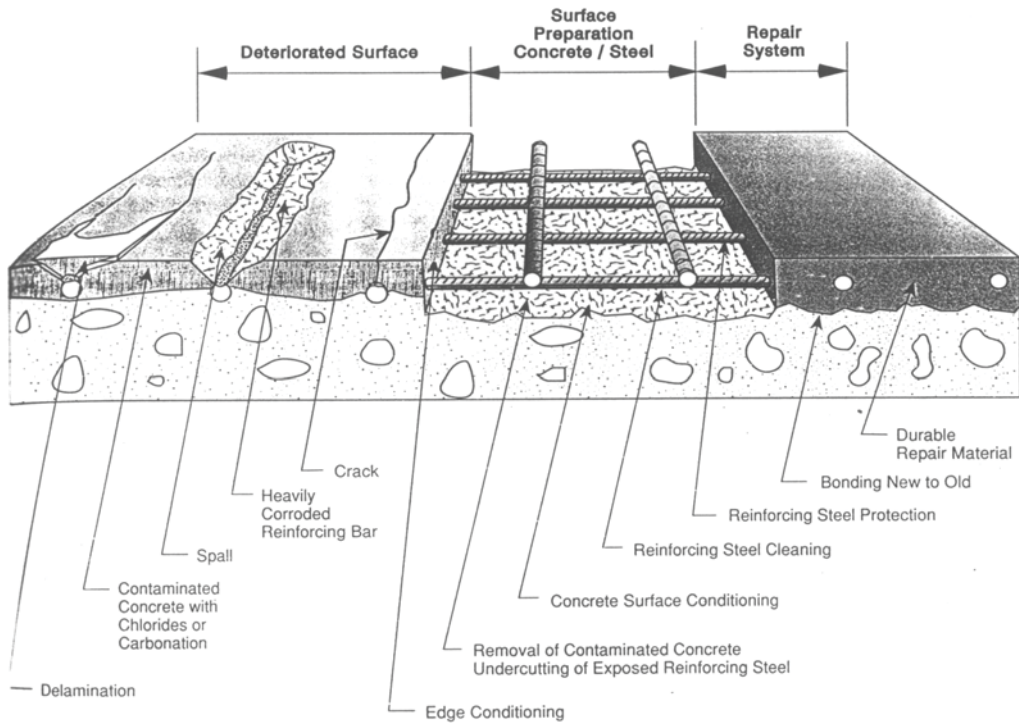


รูป 5-2 การหลุดร่อนของผิวคอนกรีต



รูป 5-3 การเกิดคาน้ำในเหล็กเสริม





รูปที่ 5-4 ลักษณะโดยทั่วไปของการซ่อมแซมผิวคอนกรีต

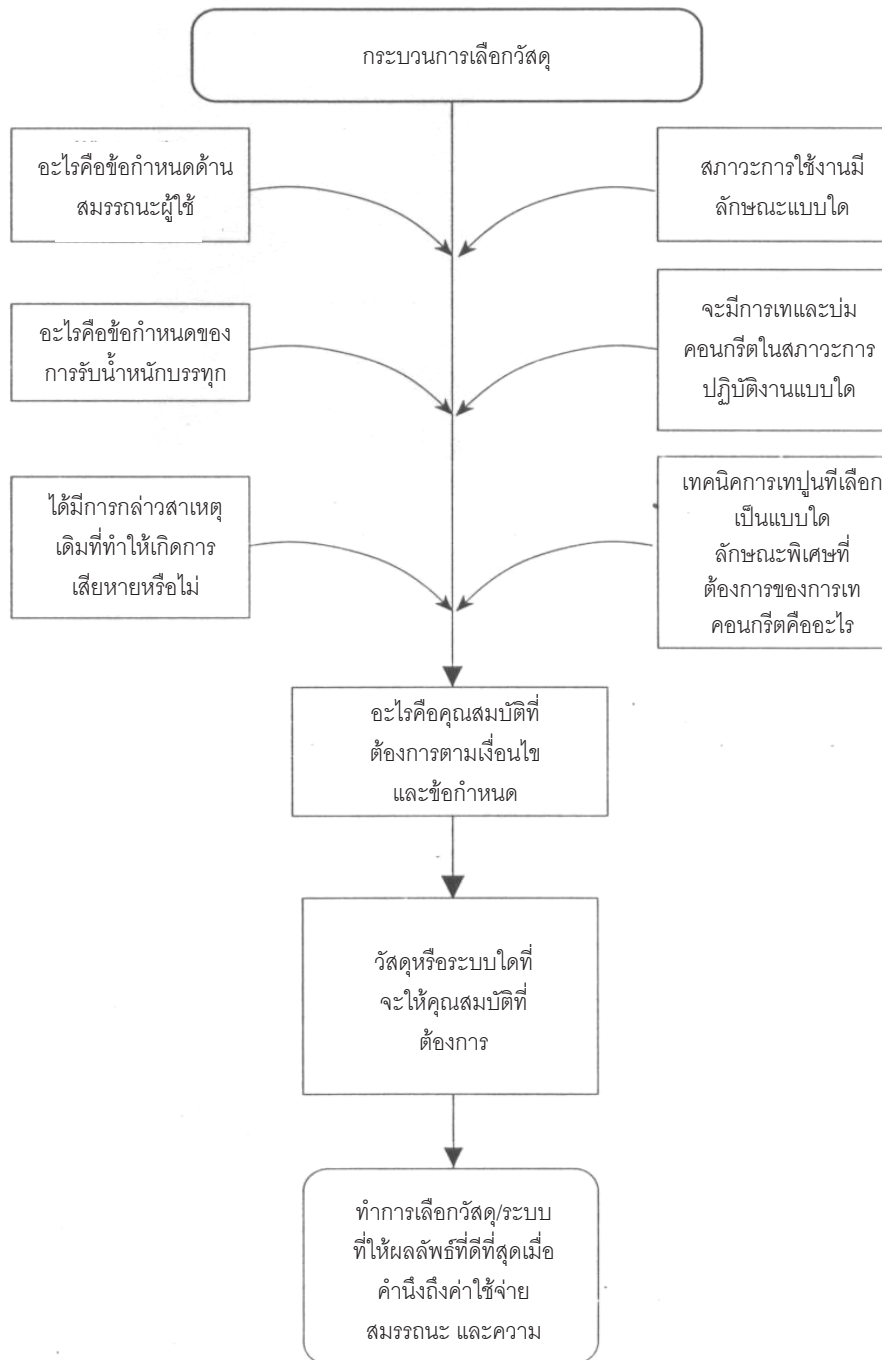
ข้อกำหนดทางคุณสมบัติของการซ่อมแซมคอนกรีต จะรวมถึงลักษณะภายนอกและสภาพการบรรจุทุกน้ำหนัก การวิเคราะห์ลักษณะและรูปแบบของการซ่อมแซมที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพราะต้องใช้คัดเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการได้ การซ่อมแซมพื้นผิวของคอนกรีตนี้ จะต้องเป็นการซ่อมพื้นผิวคอนกรีตเดิมที่ชำรุดเสียหาย ต้องสามารถทำให้ใช้ปฏิบัติงานได้ดั้งเดิม และต้องมีการป้องกันคอนกรีตจากสภาพแวดล้อมที่อาจเป็นภัยต่อคอนกรีตด้วย

การวิเคราะห์ถึงหน่วยแรงต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ระหว่างวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมและเนื้อคอนกรีตเดิมทั้งหน่วยแรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมกับเนื้อคอนกรีตเดิม และ หน่วยแรงที่เกิดจากการบรรจุทุกน้ำหนักของโครงสร้างที่ซ่อมแซมแล้ว โดยหน่วยแรงที่เกิดขึ้นนี้จะต้องอยู่ภายในขีดจำกัด (Capacity) ของวัสดุใหม่และเนื้อคอนกรีตเดิม ทั้งนี้ทั้งนั้นแล้ว จะต้องมีการวิเคราะห์ให้รอบคอบว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในส่วนที่ต้องซ่อมแซมนั้นเป็นหน่วยแรงประเภทใด ถ้าเนื้อคอนกรีตเดิมสามารถรับหน่วยแรงได้ภายในแล้ว พื้นผิวคอนกรีตที่ได้รับการซ่อมแซมก็ไม่จำเป็นต้องมีส่วนในการรองรับหน่วยแรงที่เกิดขึ้น

มีข้อคำนึงที่สำคัญประการหนึ่งก็คือ การเคลื่อนย้ายน้ำหนักบรรทุกออกไปจากชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นๆ ตัวอย่างเช่น การซ่อมแซมพื้นผิวของเสาคอนกรีต เมื่อมีการชำรุดเสียหายของพื้นผิวคอนกรีต น้ำหนักบรรทุกที่มีอยู่ก็จะถ่ายเทไปสู่เนื้อคอนกรีตที่เหลืออยู่ หากไม่มีการเคลื่อนย้ายน้ำหนักบรรทุกออกไปในระหว่างการซ่อมแซมเสาคอนกรีตนั้นๆ แล้ว วัสดุที่ใช้ซ่อมแซมพื้นผิวคอนกรีตในส่วนนั้นๆ ก็จะไม่ได้มีส่วนในการรองรับน้ำหนักบรรทุกเมื่อซ่อมเสร็จแล้วเลย ซึ่งในเวลาต่อมาก็อาจทำให้เกิดภาวะหน่วยแรงมากเกินไป (Overstress) ในส่วนเนื้อคอนกรีตเดิมได้ สาเหตุอีกประการหนึ่งที่อาจทำให้วัสดุใหม่ที่ใช้ซ่อมแซมพื้นผิวคอนกรีตของเสาไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกหรือหน่วยแรงที่เกิดขึ้นได้ ก็คือ การหดตัวเนื่องจากการแห้ง (Drying Shrinkage) ซึ่งจะทำให้เนื้อคอนกรีตส่วนที่ชำรุดเสียหายนั้นไม่ถูกเติมเต็ม จึงทำให้มีปริมาตรลดลง และทำให้ไม่สามารถช่วยเนื้อคอนกรีตเดิมรองรับหน่วยแรงได้ โดยในกรณีนี้จะเห็นได้ชัดเมื่อมีการเกิดรอยแตกที่ส่วนพื้นผิวส่วนที่ได้รับการซ่อมแซม



ส่วนเทคนิคการซ่อมแซมพื้นผิวของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตที่รับแรงดัด (Flexural Member) นั้นก็จะเกี่ยวข้องกับลักษณะสำคัญสองประการของการเกิดหน่วยแรง คือว่าเป็นแบบส่วนที่รับแรงอัด (Compression Zone) หรือส่วนที่รับแรงดึง (Tension Zone) ถ้ามีการซ่อมแซมส่วนที่รับแรงอัดของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตที่รับแรงดัดแล้ว ก็มีความจำเป็นในการเคลื่อนย้ายน้ำหนักบรรทุกออกจากโครงสร้างก่อน ซึ่งจะทำให้ส่วนที่ได้รับการซ่อมแซมประสานได้ดีกับส่วนคอนกรีตเดิม และช่วยรับน้ำหนักบรรทุกและหน่วยแรงที่เกิดขึ้นได้ตามที่ได้ประมาณการไว้ในการออกแบบ



รูปที่ 5-5 ภาพแสดงขั้นตอนการเลือกวัสดุ

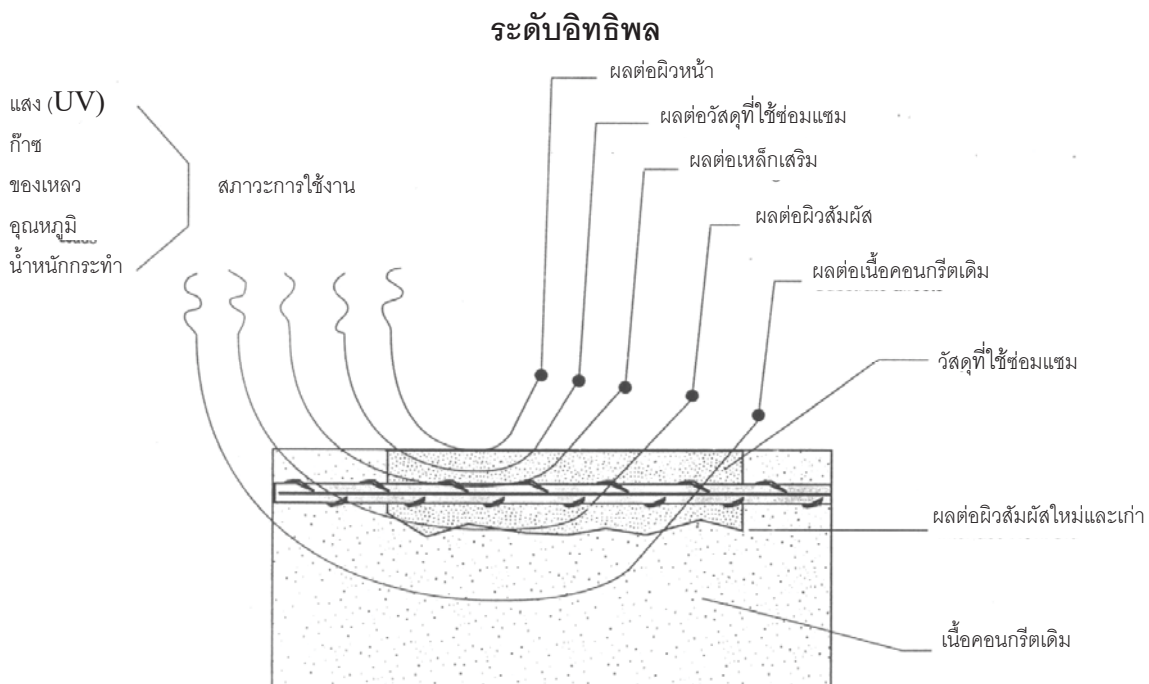
ส่วนการซ่อมแซมที่รับแรงดึงนั้นก็สามารถทำได้โดยต้องลดหน่วยแรงลง โดยจะต้องมีการใช้ค้ำยันช่วยรองรับขึ้นส่วนโครงสร้างนั้นๆ ด้วย ทั้งนี้ แรงดึงเกือบทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขึ้นส่วนโครงสร้างนั้น จะถูกรองรับโดยเหล็กเสริมในคอนกรีต ถ้าเหล็กเสริมในคอนกรีตนี้มีการสูญเสียพื้นที่หน้าตัด (Loss of Cross-Section) ก็จะทำให้เกิดภาวะหน่วยแรงเกินปกติในเหล็กเสริมที่เหลืออยู่ และจะทำให้เกิดการโก่ง (Deflection) เกินขีดจำกัด การใช้ค้ำยันช่วยรองรับขึ้นส่วนโครงสร้างนั้นในระหว่างการซ่อมแซมเหล็กเสริมคอนกรีตเพื่อรับแรงดึง จะช่วยให้เกิด Stress ขึ้นน้อยมากในส่วนที่รับแรงดึงนี้ เมื่อทำการซ่อมแซมเสร็จ และได้ถอดค้ำยันออก เหล็กเสริมส่วนที่ได้รับการซ่อมแซมแล้วนี้จะช่วยรับแรงดึงจากน้ำหนักบรรทุกทุกเดิม

### 5.3 การคัดเลือกวัสดุสำหรับการซ่อมแซม (Selection of Repair Materials)

การคัดเลือกวัสดุสำหรับการซ่อมแซมพื้นผิวคอนกรีตมีความสำคัญมาก และค่อนข้างจะเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อน โดยจะต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจในวัตถุประสงค์และความต้องการเจ้าของสะพาน วิศวกรคุณสมบัติในการใช้งานและสภาพที่สัมผัสต่อสิ่งแวดล้อม และรวมถึงเทคนิคการติดตั้งด้วย เมื่อทราบข้อกำหนดและความต้องการต่างๆ แล้ว ก็จะสามารถเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการได้ หากมีวัสดุหลายๆ อย่างที่สามารถใช้งานได้เหมือนกันก็จะพิจารณาถึงเงื่อนไขด้านราคา ประสิทธิภาพ และความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น การคัดเลือกวัสดุต้องอาศัยความรู้และความเข้าใจในพฤติกรรมของวัสดุที่จะใช้ซ่อมแซม ในภาวะทั้งที่มีกรบ่ม (Cured) และไม่มีกรบ่ม (Uncured) ต่อการใช้งานโครงสร้างและการสัมผัส (Exposure) ต่อสภาพแวดล้อม ตลอดจนถึงความสัมพันธ์ต่าง ๆ และหน่วยแรงที่จะเกิดขึ้นระหว่างวัสดุใหม่ที่ใช้ซ่อมแซมกับเนื้อคอนกรีตเดิมด้วย

กระบวนการคัดเลือกวัสดุเพื่อนำมาใช้ในการซ่อมแซมคอนกรีตนี้ แสดงไว้ดังรูปที่ 5-5

ในลำดับต่อไปก็คือ การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานซ่อมแซม โดยจะพิจารณาจากระดับของผลกระทบจากการใช้งานและลักษณะการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมของขึ้นส่วนคอนกรีตนั้น ดังแสดงในรูปที่ 5-6

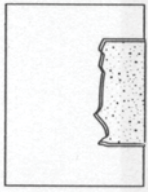
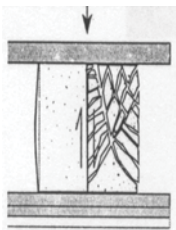
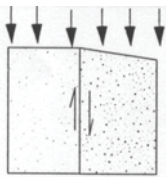
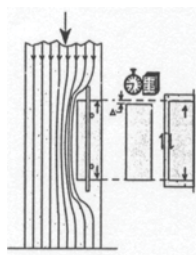


รูปที่ 5-6 ระดับความลึกของความเสียหาย



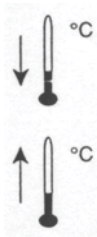
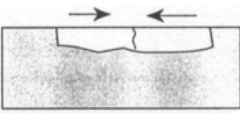
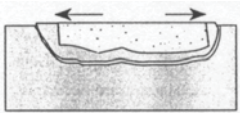
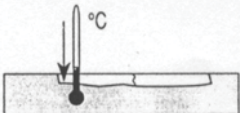


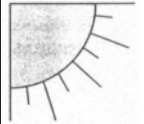

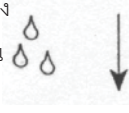
ผลกระทบที่เกิดขึ้นอาจมีได้หลายระดับ หรือหลายตำแหน่ง ในชั้นส่วนที่ได้รับการซ่อมแซมซึ่งจะรวมถึงส่วนผิว (Surface) ส่วนวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม (Repair Material) ส่วนเหล็กเสริม (Reinforcement Steel) ส่วนผิวสัมผัสที่สร้างแรงยึดเหนี่ยว (Bond in Surface) และส่วนเนื้อคอนกรีตเดิม (Substrate)

ตารางที่ 5-1 แสดงตารางของการเลือกวัสดุซ่อมแซมจากคุณสมบัติในการรับแรง

คุณสมบัติในการรับแรง			
วัตถุประสงค์ (ข้อกำหนดทางสมรรถนะ)	ผลของการเลือกวัสดุไม่ถูกต้อง (สิ่งไม่พึงประสงค์)	คุณสมบัติที่ต้องการ	สิ่งที่ต้องหลีกเลี่ยง
แรงยึดเหนี่ยวต่อเนื้อคอนกรีตเดิม	 <p>แรงยึดเหนี่ยวลดลง, เกิดการแยกชั้น, เกิดการหลุดออกของวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม</p>	แรงยึดเหนี่ยวในการรับแรงดึง, ความเค้นภายในต่ำ	ความเค้นภายในสูงเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ, การหดตัวแห้ง*
รับน้ำหนักได้ตามที่วิศวกรคาดไว้	 <p>การรับน้ำหนักไม่เป็นไปตามที่คาดไว้, มีความเค้นสูงในเนื้อคอนกรีตเดิมหรือวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม</p>	มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับเนื้อคอนกรีตเดิม	มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมากกว่าหรือน้อยกว่าเนื้อคอนกรีตเดิม
	 <p>รับน้ำหนักในช่วงแรกแต่จะคลายตัวภายใต้การเสียรูปเนื่องจากความคืบ</p>	เกิดการคืบเนื่องจากการอัดเพียงเล็กน้อย	เกิดการคืบเนื่องจากการอัดสูง
	 <p>การหดตัวแห้งทำให้วัสดุมีปริมาตรลดลง, ลดความสามารถในการรับแรงอัด</p>	เกิดการหดตัวแห้งเพียงเล็กน้อย*	การหดตัว*

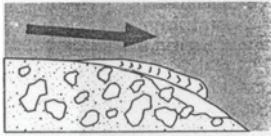
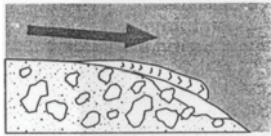
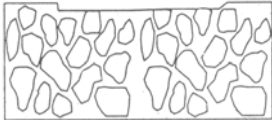
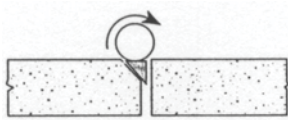
\* หมายถึงผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

ตารางที่ 5-2 แสดงตารางของการเลือกวัสดุซ่อมแซมจากคุณสมบัติสำหรับการใช้งาน

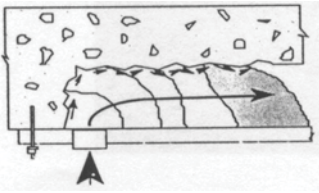
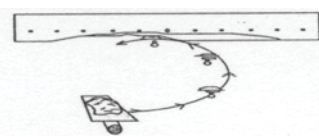
คุณสมบัติสำหรับการใช้งาน			
วัตถุประสงค์ (ข้อกำหนดทางสมรรถนะ)	ผลของการเลือกวัสดุไม่ถูกต้อง (สิ่งไม่พึงประสงค์)	คุณสมบัติที่ ต้องการ	สิ่งที่ต้องหลีกเลี่ยง
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 	 ความเค้นเนื่องจากการหดตัวทำให้เกิดรอยแตกในวัสดุซ่อมแซม	มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเท่ากับเนื้อคอนกรีตเดิม*	มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิไม่เท่ากับเนื้อคอนกรีตเดิม
	 ความเค้นอัดในเนื้อคอนกรีตเดิมทำให้เกิดการหลุดล่อน	มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเท่ากับเนื้อคอนกรีตเดิม	มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิไม่เท่ากับเนื้อคอนกรีตเดิม
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการเทคอนกรีต	 ความเค้นอัดในเนื้อคอนกรีตเดิมทำให้เกิดการหลุดล่อน	Low exotherm ระหว่างการเทคอนกรีตและบ่ม	High exotherm ระหว่างการเทคอนกรีตและบ่ม
ก๊าซในชั้นบรรยากาศ	ความชื้นในอากาศ  เกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริม, เกิดการแยกตัวของเนื้อซีเมนต์	ความซึมผ่านได้ต่ำ, ไม่มีรอยแตก	ความซึมผ่านได้สูง, ไม่มีรอยแตก
การสัมผัสกับสารเคมี	 เกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริม  เกิดการแยกตัวของเนื้อซีเมนต์	ความซึมผ่านได้ต่ำ, ไม่มีรอยแตก	ความซึมผ่านได้สูง, ไม่มีรอยแตก
		มีความทนทานต่อสารเคมี	ขาดความทนทานต่อสารเคมี
การโดน UV	 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม	ความทนทานต่อ UV ที่ผิวสูง	ความทนทานต่อ UV ต่ำ
สภาพความชื้น, saturation	การแข็งตัวและละลายของน้ำในช่องว่างของคอนกรีต  เกิดการแยกตัวของเนื้อซีเมนต์	ความซึมผ่านได้ต่ำ, ไม่มีรอยแตก	ความซึมผ่านได้สูง
สภาพความชื้น	การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายใน  ความเค้นเนื่องจากการหดตัว, ทำให้เกิดการแตกร้าว	ความซึมผ่านได้ต่ำ, มีการหดตัวแห้งต่ำ*	ความซึมผ่านได้สูง, มีการหดตัวแห้งสูง*


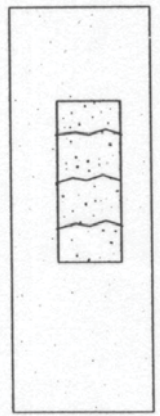


ตารางที่ 5-3 แสดงตารางของการเลือกวัสดุซ่อมแซมจากแรงกระทำภายนอก

แรงกระทำภายนอก / คุณสมบัติ				
วัตถุประสงค์ (ข้อกำหนดทางสมรรถนะ)	ผลของการเลือกวัสดุไม่ถูกต้อง (สิ่งไม่พึงประสงค์)	คุณสมบัติที่ ต้องการ	สิ่งที่ต้องหลีกเลี่ยง	
ของเหลวไหลผ่าน	การสึกกร่อนของพื้นผิว 	ความหนาแน่นสูง กำลังรับแรงอัดสูง กำลังรับแรงดึงสูง	ความหนาแน่นต่ำ กำลังรับแรงอัดต่ำ กำลังรับแรงดึงต่ำ	
ของเหลวไหลผ่าน และของแข็งที่ลอยมาด้วย	การสึกกร่อนและขดสีของพื้นผิว 	ความหนาแน่นสูง กำลังรับแรงอัดสูง กำลังรับแรงดึงสูง	ความหนาแน่นต่ำ กำลังรับแรงอัดต่ำ กำลังรับแรงดึงต่ำ	
ล้อยานพาหนะ	 Abrasion damage to surface	ความหนาแน่นสูง กำลังรับแรงอัดสูง	ความหนาแน่นต่ำ กำลังรับแรงอัดต่ำ	
		การหลุดล่อน ของขอบที่จุด ต่อ	กำลังรับแรงอัด, แรง ดึง, แรงยึดเหนี่ยวต่ำ การเสริมเหล็ก ป้องกันแรงดึง เฉพาะที่	กำลังรับแรงอัดต่ำ กำลังรับแรงดึงต่ำ แรงยึดเหนี่ยวต่ำ
การกระแทก		การหลุดล่อน	กำลังรับแรงดึงสูง, เหล็กเสริมกันร้าว	กำลังรับแรงดึงต่ำ
			กำลังรับแรงอัดสูง	กำลังรับแรงอัดต่ำ
			โมดูลัสยืดหยุ่นต่ำ	โมดูลัสยืดหยุ่นสูง
	สูญเสียแรง ยึดเหนี่ยว	กำลังยึดเหนี่ยวสูง, Tensile Anchorage into Substrate	กำลังยึดเหนี่ยวต่ำ	

ตารางที่ 5-4 แสดงตารางของการเลือกวัสดุซ่อมแซมจากคุณสมบัติสำหรับความสามารถในการก่อสร้าง

คุณสมบัติสำหรับความสามารถในการก่อสร้างและสิ่งที่ปรากฏ			
วัตถุประสงค์ (ข้อกำหนดทางสมรรถนะ)		คุณสมบัติที่ต้องการ	สิ่งที่ต้องหลีกเลี่ยง
ความสามารถในการก่อสร้าง	ระยะเวลาที่คอนกรีตใช้ในการแข็งตัว	เพิ่มกำลังอย่างรวดเร็ว	เพิ่มกำลังอย่างช้าๆ
	ความสามารถในการไหล 	การยุบตัวสูง	การยุบตัวสูง
	Non Sag 	การเกาะยึดภายในสูง, การจับยึดสูง	การเกาะยึดภายในต่ำ, การจับยึดต่ำ
	Forgiving  "Murphy's Law"	การจัดรูปแบบที่ง่าย, Redundant	การจัดรูปแบบที่ซับซ้อน, Dependent Reactions

วัตถุประสงค์ (ข้อกำหนดทางสมรรถนะ)	ผลของการเลือกวัสดุไม่ถูกต้อง (สิ่งไม่พึงประสงค์)	คุณสมบัติที่ต้องการ	สิ่งที่ต้องหลีกเลี่ยง	
สิ่งที่ปรากฏ 		การแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวแห้ง	การหดตัวแห้งต่ำ*, ผิวมีลักษณะเป็นเยื่อหุ้มซึ่งมีความยืดหยุ่น	การหดตัวแห้งสูง*
		การแตกร้าวของผิวที่สถานะพลาสติก	การคายความร้อนต่ำ	การคายความร้อนสูง
			การสูญเสียน้ำระหว่างการเทคอนกรีตต่ำ	การสูญเสียน้ำระหว่างการเทคอนกรีตสูง



## 5.4 การเตรียมพื้นผิวคอนกรีต (Surface Preparation)

การเตรียมพื้นผิวคอนกรีตก็คือ การปรับสภาพคอนกรีตเดิมที่ได้รับความเสียหายนั้นให้พร้อมสำหรับรับการซ่อมแซมต่อไป กระบวนการเตรียมพื้นผิวคอนกรีตนี้จะประกอบไปด้วยการกำจัดคอนกรีตส่วนที่ได้รับความเสียหายหรือเสื่อมสภาพออกไปจากบริเวณนั้น เพื่อให้พื้นผิวของเนื้อคอนกรีตเดิมอยู่ในสภาพที่สามารถสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับวัสดุใหม่ที่ใช้ซ่อมแซมได้ ดังนั้น จึงถือได้ว่าขั้นตอนการเตรียมพื้นผิวคอนกรีตเพื่อการซ่อมแซมนี้มีความสำคัญมาก

ในปัจจุบันมีเทคนิคมากมายหลายประการที่ใช้เตรียมพื้นผิวคอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขั้นตอนต่างๆ ไปในการเตรียมพื้นผิวคอนกรีตสามารถทำได้ 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

**ขั้นตอนที่ 1** ให้ระบุพื้นที่บริเวณที่จะต้องทำการซ่อมแซม การตรวจสอบบริเวณที่มีความเสียหายสามารถทำได้โดยใช้ค้อนเคาะ (Hammer Sounding) หรือใช้วิธีลากโซ่ โดยจะสามารถตรวจสอบหาบริเวณที่เกิดความเสียหายได้จากลักษณะเสียงที่เกิดขึ้น ขั้นตอนที่ 1 นี้จะรวมถึงการติดตั้งค้ำยัน (Support System) เพื่อพยุงบริเวณที่จะซ่อมแซมก่อนที่จะทำการกำจัดคอนกรีตส่วนที่ชำรุดเสียหายออกไปจากโครงสร้าง

**ขั้นตอนที่ 2** เคลื่อนย้ายคอนกรีตส่วนที่เสียหายออกไปจากบริเวณที่จะซ่อมแซม โดยใช้วิธีการที่ได้รับการยอมรับแล้ว ถ้ามีความลึกจนถึงชั้นของเหล็กเสริมก็ให้ปฏิบัติตามขั้นตอน ดังที่จะแสดงไว้ในหัวข้อถัดไป การตัดหรือเจาะคอนกรีตบริเวณใต้เหล็กเสริมได้รับความเสียหาย จนเกิดการสูญเสียหน้าตัด (Section Loss) ก็อาจจะต้องมีการซ่อมแซมเหล็กเสริมด้วย

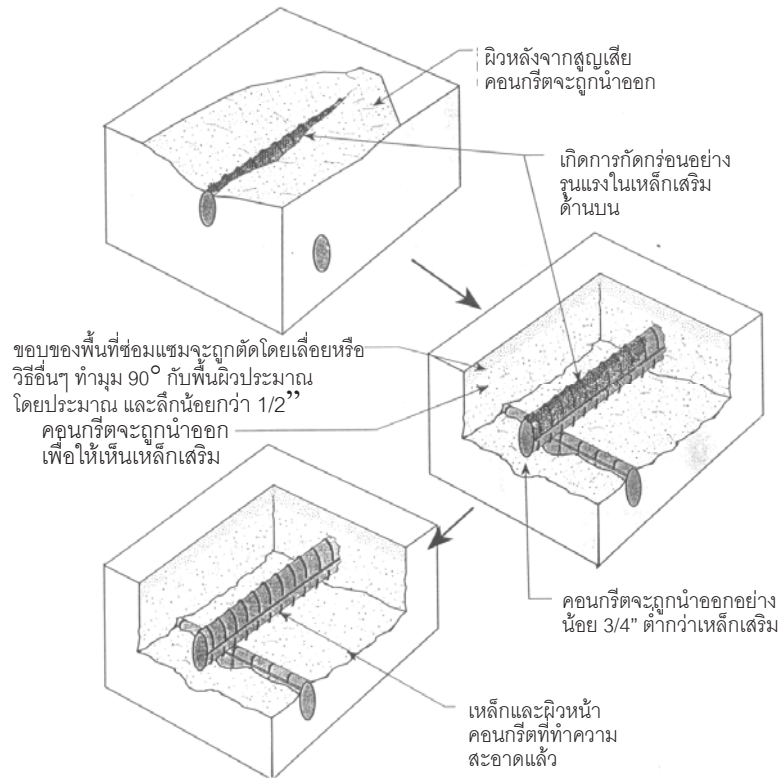
**ขั้นตอนที่ 3** ให้ตกแต่งบริเวณรอยต่อของบริเวณที่ซ่อมแซม เพื่อเป็นการป้องกันมิให้เกิดปัญหาการรั่วซึมที่ขอบพื้นที่ และควรจะมีการตีกรอบพื้นที่ที่ซ่อมแซมให้ชัดเจนและไม่ให้มีความยาวขอบมากเกินไปจนความจำเป็น โดยข้อกำหนดของ AC1 506R-90 ได้แนะนำให้เตรียมพื้นที่ที่จะซ่อมแซมให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม

**ขั้นตอนที่ 4** ให้ทำความสะอาดผิวหน้าของเหล็กเสริมที่โผล่ออกมา และผิวหน้าของคอนกรีตที่สกัดแล้ว การทำความสะอาดผิวหน้าที่ดีจะทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวที่ดีระหว่างคอนกรีตใหม่และคอนกรีตเก่า

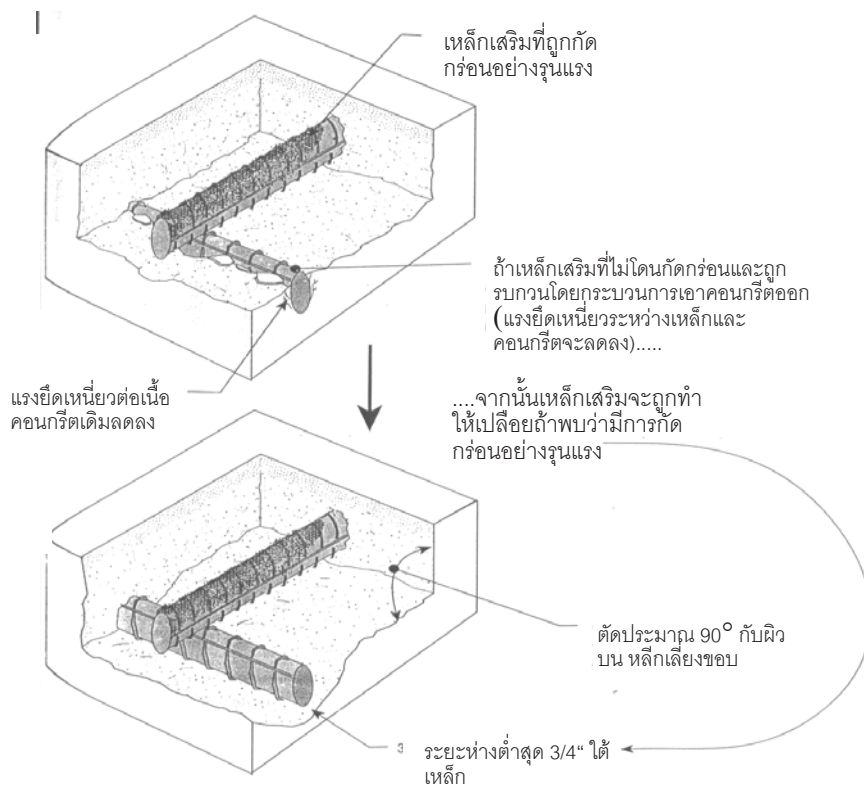
### วิธีปฏิบัติเมื่อพบเหล็กเสริมในการสกัดคอนกรีตเพื่อทำการซ่อมแซม

ในรูปที่ 5-7a, 5-7b, และ 5-7c จะสรุปได้ว่าสิ่งแรกที่จะต้องทำคือ ให้กำจัดคอนกรีตส่วนที่ชำรุดเสียหายออกก่อนให้หมดจนถึงชั้นของเหล็กเสริม ถ้าเหล็กเสริมนั้นเป็นสนิมอย่างรุนแรง ก็ให้สกัดคอนกรีตที่อยู่ใต้เหล็กเสริมนั้นออกด้วย จากนั้นจึงทำความสะอาดเหล็กเสริมเป็นอย่างดี



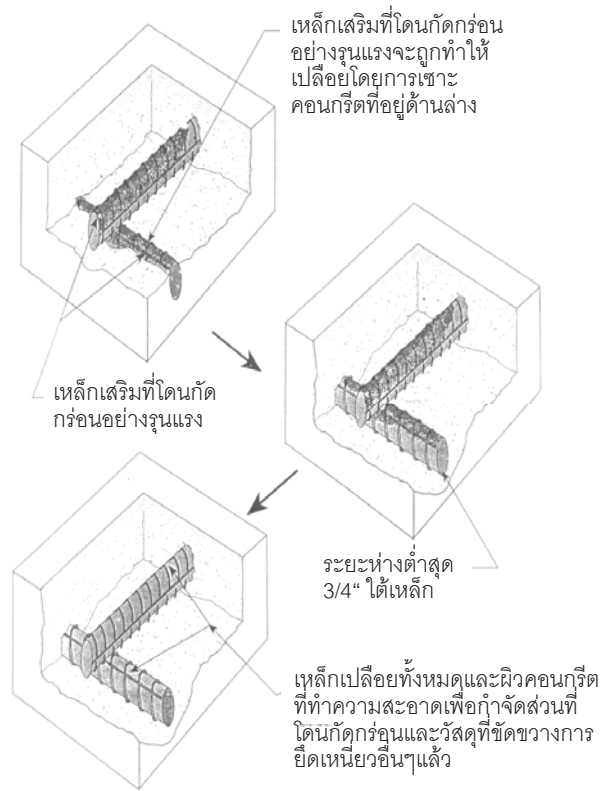


(a)



(b)

รูปที่ 5-7 แสดงวิธีปฏิบัติเมื่อตรวจพบเหล็กเสริมที่เป็นสนิม

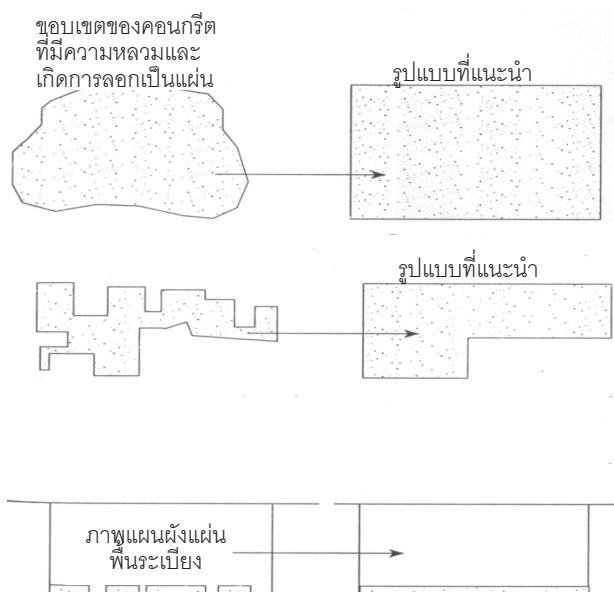


(c)

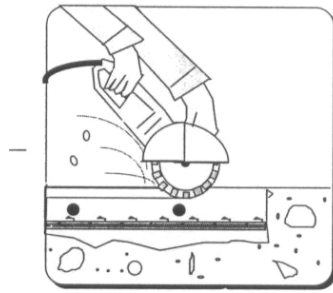
รูปที่ 5-7 แสดงวิธีปฏิบัติเมื่อตรวจพบเหล็กเสริมที่เป็นสนิม (ต่อ)

วิธีการกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่จะทำการซ่อมแซม

การวางรูปแบบควรทำให้ง่ายที่สุดเท่าที่จะทำได้

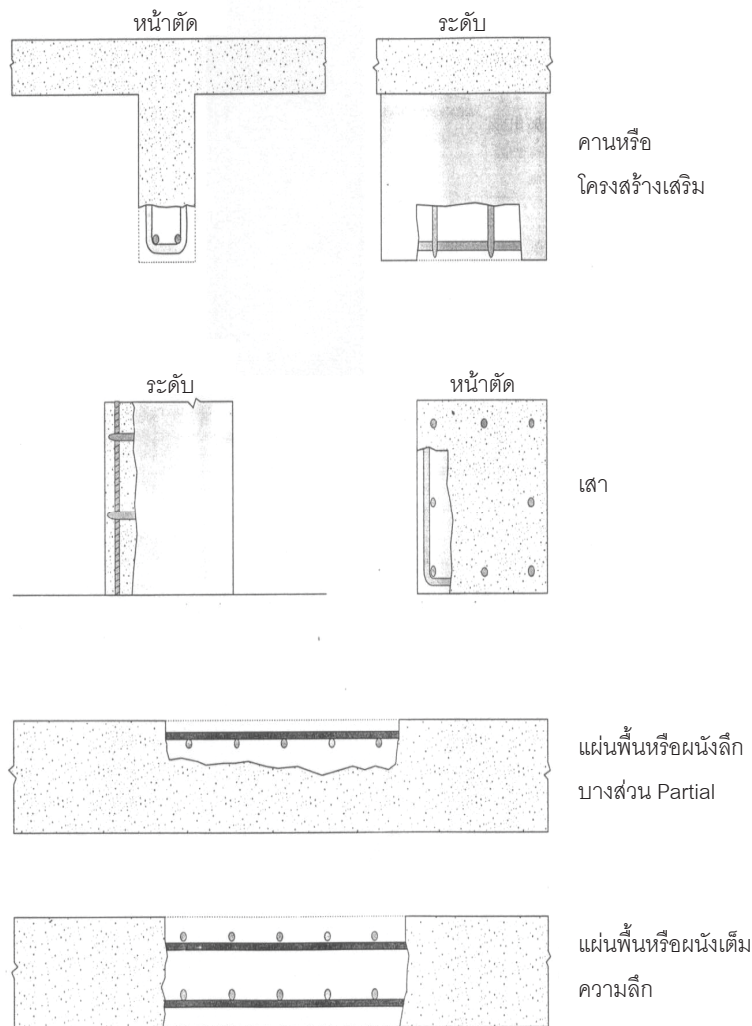


รูปที่ 5-8 แสดงวิธีกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่จะทำการซ่อมแซม



รูปที่ 5-9 แสดงวิธีปรับแต่งขอบพื้นที่ของคอนกรีต

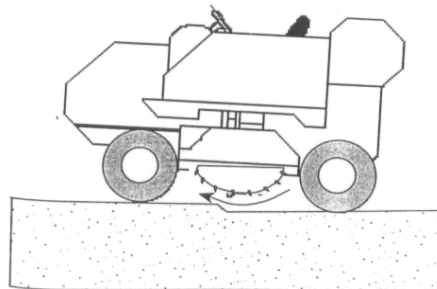
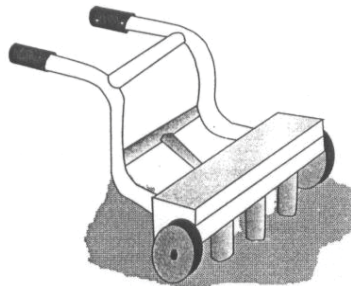
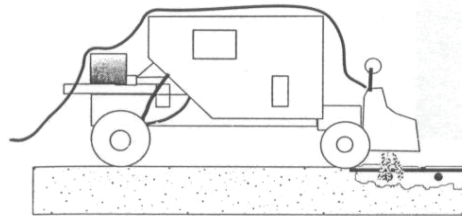
การกำหนดพื้นที่สำหรับการซ่อมแซม ควรกำหนดให้มีความง่ายต่อการปฏิบัติงานและช่วยลดความยาวของเส้นรอบรูป (Boundary Edge Length) ลงมาเพื่อเป็นการลด Stress Concentration จากการหดตัว (Shrinkage) ด้วยซึ่งจะช่วยป้องกันมิให้เกิดรอยแตกในบริเวณนั้นด้วย



รูปที่ 5-10 แสดงลักษณะการสักรัดคอนกรีต

วิธีการสกัดคอนกรีต : แบบมีความลึกเพียงบางส่วน (Partial Depth)

รูปที่ 5-11 แสดงการสกัดคอนกรีตแบบมีความลึกเพียงบางส่วน (Partial Depth)



รายละเอียดของวิธี  
ต่างๆ จะอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- การใช้เครื่องสกัด  
ขนาดเล็ก (Pneumatic  
Chipping Hammer)

เครื่องสกัด Class 15#  
ถึง 30# มักจะถูกนำมาใช้ในการ  
สกัดพื้นผิวของคอนกรีตที่เป็น  
พื้นที่ในแนวดิ่ง (Vertical) หรืออยู่  
เหนือศีรษะ (Overhead) หากใช้  
เครื่องสกัดที่ใหญ่กว่า Class 30#  
จะทำให้เกิดความเสียหายแก่  
เหล็กเสริมได้ ฉะนั้นจึงไม่ควร  
นำมาใช้ในการสกัดคอนกรีต  
เพื่อให้มีความลึกเพียงบางส่วน

- การใช้แรงดันน้ำ  
(Hydro Removal)

การฉีดน้ำที่มีแรงดันสูง  
(20,000 ถึง 40,000 Psi หรือ  
138 ถึง 276 MPa) เข้าไปบริเวณ  
พื้นผิวคอนกรีตที่ชำรุดเสียหาย  
จะสามารถกำจัดชั้นคอนกรีตได้  
อย่างดี อุปกรณ์ชนิดนี้จะถูก

ติดตั้งบนยานยนต์ที่ควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล วิธีการเช่นนี้มีประโยชน์มากตรงที่จะไม่สร้างความเสียหายใดๆ แก่เหล็ก  
เสริม

- การใช้แรงอัดอากาศ (Pneumatic Scabblers)

อุปกรณ์ชนิดนี้จะดันเหล็กประทับ (Bushing Tools) ให้บุบพื้นผิวคอนกรีต และจะค่อย ๆ สกัดเนื้อคอนกรีตออกที  
ละน้อยๆ โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะใช้ในการสกัดผิวคอนกรีตออกเพียงบางส่วน (ลึกจนถึงระดับ 6.4 มม.) เพื่อเตรียมพื้นผิว  
คอนกรีตก่อนการปูผิวการจราจร (Overlayment)

- การใช้เครื่องบดโรตารี (Rotary Milling Machine)

เครื่องมือชนิดนี้มีให้เลือกใช้หลายขนาดด้วยกัน โดยแล้วแต่สภาพงาน เมื่อเครื่องมือนี้ทำงาน หัวสกัดที่หมุนได้ก็จะทำการสกัดชั้นผิวของคอนกรีตออกไป โดยปกติแล้วจะใช้เครื่องมือชนิดนี้เตรียมพื้นผิวคอนกรีตก่อนการปูผิวถนน (Overlay) และการสกัดผิวคอนกรีตนี้จะมีความลึกไม่เกินระดับความลึกของเหล็กเสริมในคอนกรีต

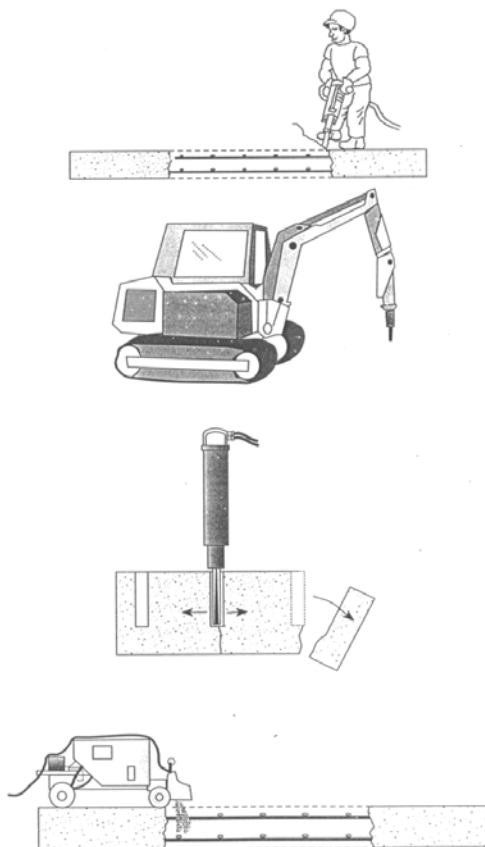
**วิธีการสกัดคอนกรีต : แบบลึกตลอดความหนาของชั้นคอนกรีต (Full Depth)**

- การใช้เครื่องเจาะพื้น (Hand Held Pneumatic Breakers)

เครื่องเจาะ Class 30# ถึง 90# เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพดีในการเจาะสกัดคอนกรีตที่ค่อนข้างลึกแต่ต้องคอยระวังไม่ให้ไปสร้างความเสียหายแก่เหล็กเสริมในคอนกรีต

- การใช้รถเจาะถนนโดยใช้แรงดันลมหรือไฮดรอลิก (Pneumatic / Hydraulic Mounted Beders)

จะใช้รถเจาะพื้นคอนกรีตเมื่อต้องมีการเจาะคอนกรีตในปริมาณมากๆ เครื่องเจาะจะถูกติดตั้งกับรถแบ็คโฮ (Backhoes) หรืออื่น ๆ เช่น หุ่นยนต์ ก็ได้ ต้องคอยระวังไม่ให้เกิดความเสียหายต่อคอนกรีตในบริเวณอื่นๆ ด้วย



**รูปที่ 5-12** แสดงการสกัดคอนกรีตแบบมีความลึกตลอดความหนาของชั้นคอนกรีต

- การใช้เครื่องตัดคอนกรีต (Splitters)

เครื่องตัดคอนกรีตจะถูกนำมาใช้เพื่อให้สามารถตัดแยกชิ้นส่วนคอนกรีตที่ชำรุดเสียหายออกไปได้ง่าย หลักการทำงานก็คือ จะมีการเจาะรูเข้าไปในเนื้อคอนกรีตแล้วอัดแรงไฮดรอลิกหรืออัดปูนซีเมนต์ที่มีการขยายตัวสูงเข้าไปในเนื้อคอนกรีต แรงอัดจากไฮดรอลิกหรือปูนซีเมนต์ที่ขยายตัว จะทำให้เนื้อคอนกรีตแตกและแยกออกจากกันที่สุดในที่สุด

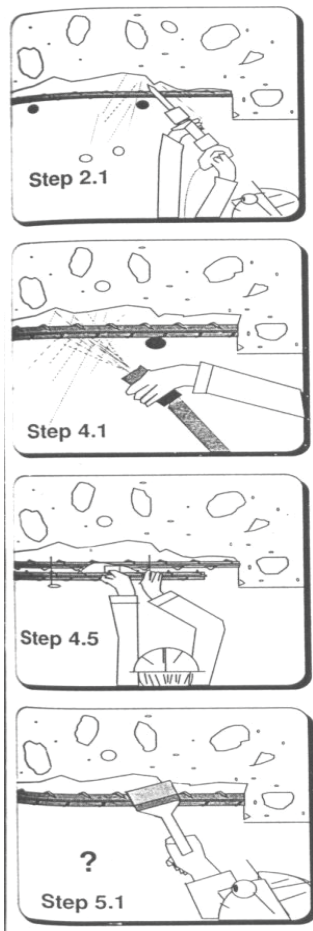
- การใช้เครื่องมือแรงดันน้ำ (Hydro Demolition)



อุปกรณ์ Hydro Demolition จะทำการฉีดน้ำแรงดันสูง (20,000 ถึง 40,000 Psi หรือ 138 ถึง 276 MPa) เข้าสู่ผิวคอนกรีต อุปกรณ์ชนิดนี้จะใช้ได้ดีเมื่อต้องการสกัดหรือเจาะพื้นคอนกรีตที่ไม่หนานัก

## 5.5 การทำความสะอาดเหล็กเสริม การซ่อม และเสริมการป้องกันให้แก่เหล็กเสริม (Reinforcing Steel Cleaning, Repair and Protection)

เหล็กเสริมที่เป็นสนิมหรือได้รับความเสียหายอื่นๆ มักจะพบได้เสมอในคอนกรีตที่มีการเสื่อมสภาพหรือชำรุดเสียหาย และจริงๆ แล้ว เหล็กที่เป็นสนิมมากๆ จะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้คอนกรีตเกิด Delamination และหลุดล่อน (Spalling) ในที่สุด การทำความสะอาดเหล็กเสริมในขั้นตอนของการซ่อมแซม มีความสำคัญยิ่ง เพราะว่าถ้าทำความสะอาดไม่ดีแล้ว ในระยะเวลาไม่นานหลังจากการซ่อมก็จะเกิดความเสียหายซ้ำขึ้นไปอีกในบริเวณเดิม



ในขั้นตอนที่ 2.1 นั้นจะเป็นการสกัดคอนกรีตในบริเวณที่ชำรุดออกให้หมดโดยรอบเหล็กเสริม เพราะจะทำให้สามารถทำความสะอาดและทาน้ำยาได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ

ในขั้นตอนที่ 4.1 จะเป็นการกำจัดสารตกค้างอื่นๆ ที่จะเป็นอุปสรรคในการสร้างแรงยึดเหนี่ยว โดยวิธีการที่ยอม รับได้ (ดูรายละเอียดที่หัวข้อ การทำความสะอาดเหล็กเสริม)

ในขั้นตอนที่ 4.5 จะเป็นการซ่อมแซมเหล็กเสริม หากเหล็กเสริมนั้นได้รับความเสียหายระหว่างการสกัดคอนกรีต (ดูรายละเอียดที่หัวข้อ การซ่อมแซมเหล็กเสริม)

รูปที่ 5-13 แสดงขั้นตอนการซ่อมแซมเหล็กเสริม

การทำความสะอาดเหล็กเสริมนั้นจะต้องทำโดยรอบเส้นรอบวงของเหล็กเสริม การทำเช่นนี้จะช่วยให้กำจัดเศษคอนกรีตที่ชำรุดเสียหายรอบๆ เหล็กเสริมที่เป็นสนิมออกไปด้วย เพราะคอนกรีตเหล่านี้จะมีสารจำพวกคลอไรด์และคาร์บอนेटเจือปนอยู่ ซึ่งอาจจะแพร่เข้าสู่เหล็กเสริมได้แม้ว่าจะยังไม่มีสนิมปรากฏให้เห็นก็ตาม มีเหตุผลอีก 2 ประการที่

สำคัญสำหรับการกำจัดคอนกรีตรอบๆ เหล็กเสริมที่เป็นสนิม คือ เพื่อให้วัสดุที่ใช้ซ่อมแซมคอนกรีตได้เคลือบเหล็กเสริมโดยรอบ ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีได้ดี และ เพื่อยึด (Anchor) ส่วนที่ซ่อมใหม่เข้ากับเนื้อคอนกรีตเดิม

เมื่อเหล็กเสริมเป็นสนิม ก็มักจะมีการสูญเสียพื้นที่หน้าตัดด้วย ซึ่งเป็นผลทำให้สูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนัก (Carrying Capacity) ลงไปด้วย การประมาณสภาพของโครงสร้าง (Structural Evaluation) ก็มีความจำเป็น เพราะจะช่วยทำให้เข้าใจผลกระทบของการสูญเสียพื้นที่หน้าตัดและมีความจำเป็นต้องได้รับการซ่อมแซมหรือไม่

การให้การป้องกันแก่เหล็กเสริมจึงเป็นวิธีการที่จะช่วยป้องกันมิให้เกิดสนิมขึ้นในเหล็กเสริมอีก อย่างไรก็ตาม คอนกรีตที่มีคุณภาพที่ดีก็ยังคงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะช่วยป้องกันมิให้เกิดสนิมในเหล็กเสริมด้วย ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงขั้นตอนต่างๆ ไปในการทำความสะอาดเหล็กเสริม การซ่อมแซมเหล็กเสริม และการป้องกันมิให้เหล็กเสริมเป็นสนิม ซึ่งสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 5-13

- การทำความสะอาดเหล็กเสริม

วิธีการทั่วไป: ให้กำจัดสนิมและสะเก็ดเหล็กออกไปให้หมดจากตัวเหล็กเสริม ทั้งนี้เพื่อให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกับวัสดุที่จะใช้ซ่อมแซมให้มากที่สุดหลังจากทำความสะอาดแล้ว อาจจะมีออกไซด์เกิดขึ้นได้รอบๆ เหล็กเสริม แต่ไม่มีผลกระทบต่อแรงยึดเหนี่ยว ถ้าจะมีการป้องกันการเกิดสนิมให้แก่เหล็กเสริมก็ให้ปฏิบัติตามข้อแนะนำของบริษัทผู้ผลิตวัสดุดังกล่าว



รูปที่ 5-14 แสดงวิธีการทำความสะอาดเหล็กเสริม

- การใช้ Needle Scaler



Needle Scaler เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แรงอัดอากาศที่ทำให้เข็มเล็กๆ ที่หมุนได้โดยลูกสูบภายในกระบอก กระแทกกับเหล็กเสริมบริเวณที่เป็นสนิม ทำให้สนิมและเกล็ดเหล็กถูกกระแทกออกไป อุปกรณ์ชนิดนี้มีประโยชน์มากในการกะเทาะชั้นออกไซด์ที่หนามากๆ และยังสามารถใช้ได้ดีกับคอนกรีตที่มีพื้นที่เล็กๆ

- การใช้แรงดันน้ำ (High Pressure Water)

การใช้แรงดันน้ำสูงๆ (3,000 ถึง 10,000 Psi หรือ 20.7 ถึง 69 MPa) ทำความสะอาดผิวคอนกรีตและผิวเหล็กเสริม และกำจัดเศษวัสดุที่ไม่ต้องการออกไปได้ ถ้าหากใช้น้ำผสมกับทรายแล้วฉีด จะทำให้ทำความสะอาดได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และยังจะทำให้เกิดผิวหน้าที่หยาบซึ่งจะสามารถสร้างแรงยึดเหนี่ยวได้ดีกว่าระหว่างผิวหน้ากับวัสดุที่ใช้เคลือบเหล็กหรือใช้ซ่อมแซมเหล็กเสริม

- การใช้ Abrasive Blast

วิธีการทำความสะอาดแบบ Abrasive Blast Cleaning จะเป็นวัสดุที่สามารถสร้างรอยขีดหรือลอกได้ (Abrasives) ผสมกับแรงดันอากาศ แล้วฉีดผ่านหัวฉีดไปยังผิวของเหล็กเสริมหรือผิวคอนกรีต แต่มีข้อด้อยคือวิธีการนี้จะทำให้เกิดฝุ่นละอองมาก ต้องใช้น้ำผสมที่หัวฉีด เพื่อช่วยลดการเกิดฝุ่นระหว่างปฏิบัติงาน

- การใช้แปรงลวด (Power Wire Brushing)

วิธีการใช้แปรงลวดทำความสะอาดเป็นวิธีการที่ได้ผลดีในการกำจัดออกไซด์ ออกจากผิวหน้าของเหล็กเสริม แต่จะทำให้ช้าและด้วยประสิทธิภาพ หากต้องการทำความสะอาดด้านหลังของเหล็กเสริม

- การเพิ่มมาตรการการป้องกันให้แก่เหล็กเสริม (Reinforcing Steel Protection)

โดยธรรมชาติแล้ว เหล็กเสริมจะได้รับการป้องกันจากการเกิดสนิมอยู่แล้ว จากการเกิดสภาวะ Alkaline หลังจากเทคอนกรีตใหม่ๆ และต้องเป็นคอนกรีตที่มีคุณภาพดี ในกรณีที่ต้องทำการซ่อมแซม ก็จำเป็นต้องมีการเพิ่มการป้องกันเพิ่มเติมให้แก่เหล็กเสริม เพื่อความรอบคอบ ระบบการป้องกันแก่เหล็กเสริมจะแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

1. การหุ้มเคลือบ (Encapsulation): เราสามารถสร้างฉนวนให้แก่เหล็กเสริมเพื่อป้องกันจากประจุไฟฟ้าโดยหุ้มเหล็กเสริมด้วย Epoxy ซึ่งเป็นวิธีการป้องกันที่ดีที่สุดเหล็กเสริมจะถูก Shot-Blasted แล้วพ่นทับด้วย Pondered Epoxy แต่ต้องทำภายใต้การควบคุมสภาวะแวดล้อม หากเป็นการปฏิบัติงานในภาคสนามแล้ว ก็จะเป็นการฉีดพ่น Epoxy Resin หรือจะใช้วิธีใช้แปรงทาทับก็ได้ แต่ในภาคสนามนี้ก็ยากที่จะได้ผล 100% ในการหุ้มเคลือบเหล็กทั้งหมดที่โผล่ออกมาในบริเวณด้านหลังและบริเวณที่เหล็กตัดผ่านกัน มักจะยากต่อการปฏิบัติงาน วิธีการหุ้มเคลือบนี้จะได้ผลดีมากหากเหล็กทุกเส้นที่อยู่ในส่วนที่ชำรุดเสียหายได้รับการป้องกัน ถ้ามีการหุ้มเคลือบป้องกันเหล็กเพียงบางส่วนแล้วก็จะเกิดการรวมตัวของประจุไฟฟ้าได้ในเหล็กส่วนที่ไม่ได้รับการป้องกัน และเร่งให้มีการเกิดสนิมอันเป็นปัญหาที่จะเกิดขึ้นตามมา

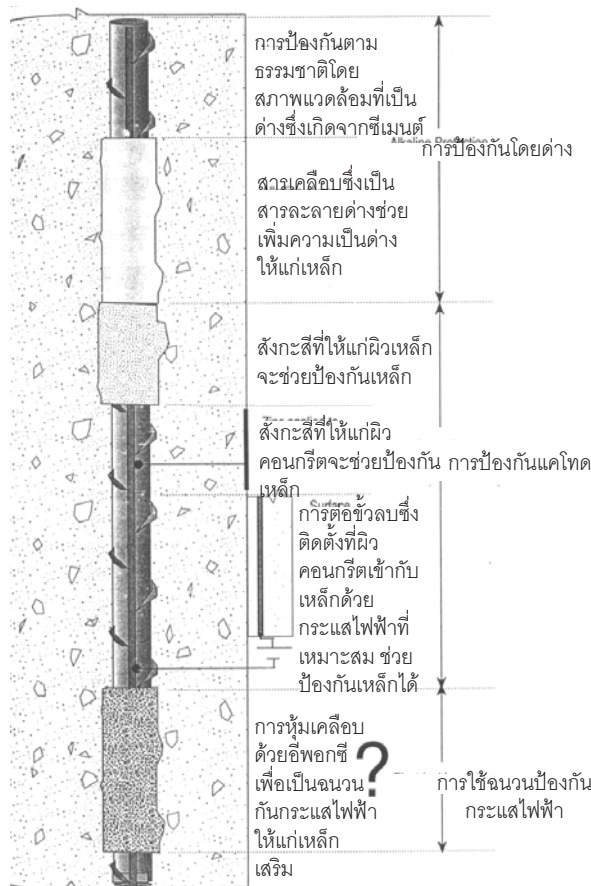
2. วิธีการ Cathodic Protection / Sacrificial Anode: วิธีการนี้จะช่วยป้องกันการเกิดสนิมในเหล็กเสริมได้ โดยการเคลือบเหล็กด้วย Sacrificial metal เช่น สังกะสี (Zinc) ซึ่งจะถูกทาทับบนเหล็กเสริม พื้นผิวที่ถูกหุ้มด้วยสังกะสีนี้จะเป็นตัวรับประจุไฟฟ้ารอบๆ เหล็กเสริม ฉะนั้นจึงถูกเรียกว่าเป็นวิธีการแบบ Sacrificial ส่วนอายุการใช้งานนี้จะขึ้นอยู่กับว่าเหล็กเสริมจะมีโอกาสสัมผัสกับภาวะแวดล้อมที่ทำให้เกิดสนิม มากน้อยเพียงใด และวิธีการนี้ยังอยู่ในขั้นตอนการทดลองใช้อยู่เท่านั้น

3. วิธีการ Cathodic Protection / Impressed Current: วิธีการนี้จะช่วยปกป้องเหล็กเสริมจากสนิมได้ โดยการเปลี่ยนทิศทางของประจุไฟฟ้า ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของกระบวนการเกิดสนิม ขั้ว Anode จะถูกติดตั้งในบริเวณใกล้ๆ กับผิวของคอนกรีตและต่อเชื่อมกับเหล็กเสริมเพื่อถ่ายเทประจุไฟฟ้าได้ จากนั้นกระแสไฟฟ้าก็จะถูกปล่อยเข้าไปสู่วงจรเพื่อ



ปกป้องเหล็กเสริม Impressed Current นี้จะต้องมีความสมดุลกับสภาพแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การป้องกันแบบนี้ทำงานอย่างได้ผล ฉะนั้น จึงมีความจำเป็นต้องตรวจสอบและปรับปรุงอยู่เสมอ

4. วิธีการหุ้มเคลือบโดยใช้ Alkaline Slurry: มีหลักการเช่นเดียวกับคอนกรีตซึ่งไม่มีคาร์บอนเตปนอยู่โดย Alkaline Slurry จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดสนิมที่เหล็กเสริมในบางครั้งจะใช้ Non-Passivating Epoxy เป็นตัวผสมสำหรับ Alkaline Filler ที่จะใช้ แต่ก็ยังมีคำถามบางประการอยู่ เช่นว่า Epoxy นี้จะไปเป็นฉนวนไม่ให้ Alkaline Filler ไปสัมผัสกับเหล็กโดยตรงหรือไม่ และคำถามอีกประการหนึ่งก็คือว่าตัว Epoxy นี้มีประโยชน์มากกว่าฉนวนไฟฟ้าชนิดอื่นๆ หรือไม่



รูปที่ 5-15 แสดงถึงการสรุปวิธีการป้องกันแก่เหล็กเสริมในคอนกรีต

## 5.6 วัสดุที่ใช้เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวให้แก่คอนกรีต

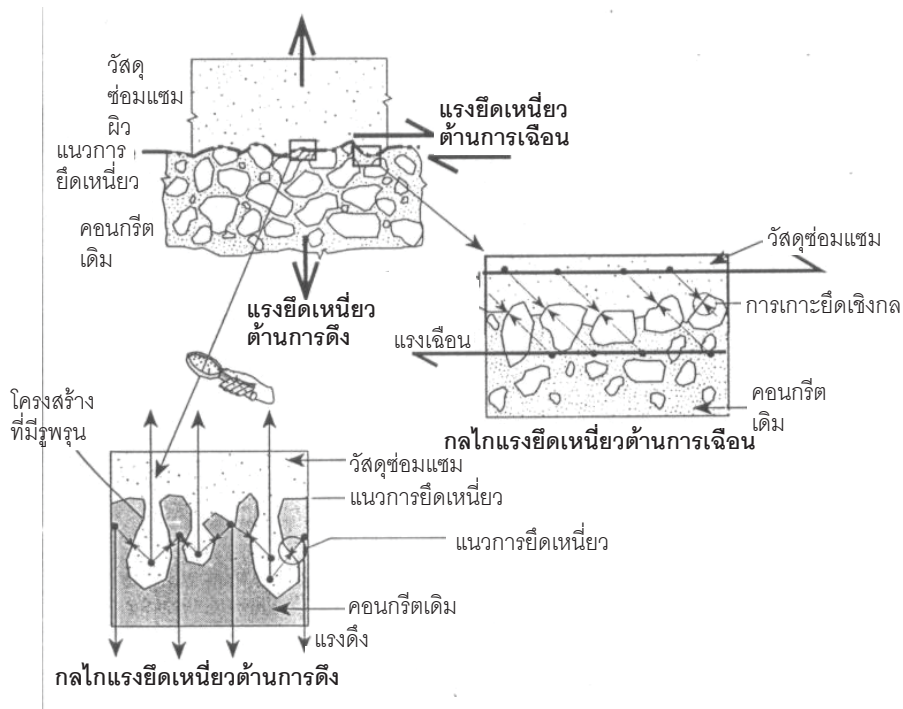
### (Bonding Repair Materials to Existing Concrete)

องค์ประกอบสำคัญที่จะเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว มีดังนี้

1. เนื้อคอนกรีตเดิมที่สะอาดมีสภาพดี
2. ผิวคอนกรีตเดิมที่ทำให้หยาบแล้ว สำหรับการเกาะยึดเชิงกล (Mechanical Interlock)
3. ช่องว่าง หรือช่องเปิดต่างๆ ที่เนื้อคอนกรีตเดิม (Pores)
4. วัสดุที่ใช้ซ่อมแซมหรือสารที่ใช้ช่วยสร้างแรงยึดเหนี่ยว ที่จะถูกดูดซับเข้าไปในช่องว่างในเนื้อคอนกรีตเดิม

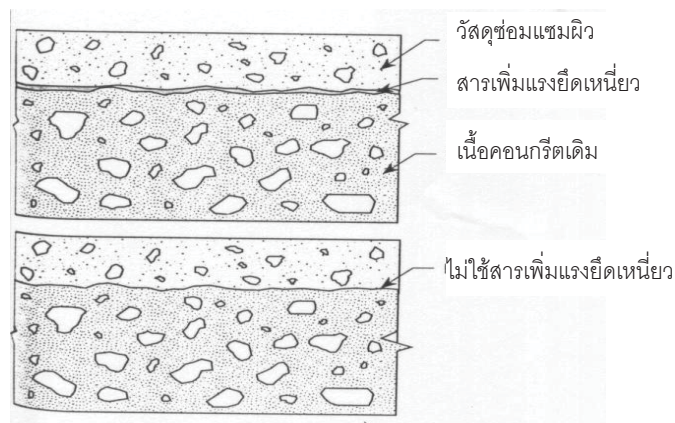


5. วัสดุที่ใช้ซ่อมแซมถูกติดตั้งเข้าไปด้วยแรงดันที่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการสัมผัสที่ดีระหว่างวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมและเนื้อคอนกรีตเดิมในบริเวณที่จะเกิดแรงยึดเหนี่ยว (Bond Line)



รูปที่ 5-16 แสดงวิธีการใช้วัสดุเพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวให้แก่คอนกรีต

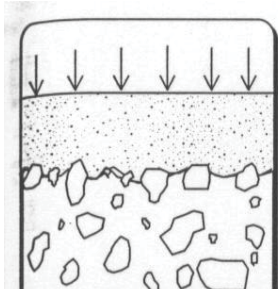
แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมกับเนื้อคอนกรีตเดิมจะต้องแข็งแรงเพียงพอและแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวสัมผัสของวัสดุทั้งสองนั้นต้องต้านทาน Stress ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรการหดตัว แรงโน้มถ่วงหรือในบางครั้งอาจมาจากแรงกระแทกหรือการสั่นสะเทือนด้วย โดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้างเป็นหลัก เช่นที่พื้นสะพาน (Bridge Deck Overlay) อาจจะต้องรับ Stress จากการหดตัว (Shrinkage) และผลกระทบจากความร้อนด้วย รวมถึงแรงกดและแรงเฉือนจากน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ สำหรับในการต้านทาน Stress จากแรงเฉือนนั้นจะไม่ใช่เพียงแค่แรงยึดเหนี่ยว (Bond) เท่านั้นแต่ยังคงต้องอาศัย การยึดเชิงกลระหว่างมวลรวม (Aggregate Interlock Mechanism) ด้วยจึงจะมีความสามารถในการรับแรงเฉือนได้ดีขึ้น การใช้ Bonding Agent ก็ช่วยให้มีแรงยึดเหนี่ยวดีขึ้น ดังในรูปที่ 5-16 และ 5-17



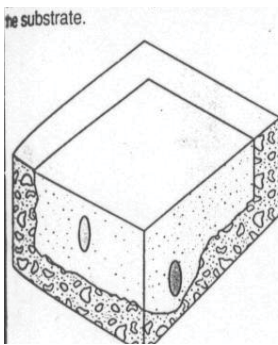
รูปที่ 5-17 แสดงลักษณะการใช้วัสดุเพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวให้แก่คอนกรีต

## 5.7 วิธีการหล่อคอนกรีต (Placement Methods)

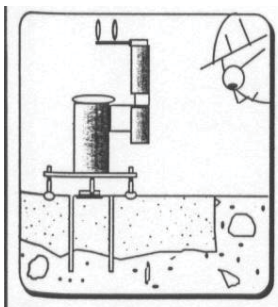
เทคนิคและวิธีการหล่อคอนกรีตหรือวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมคอนกรีตนั้น มีความสำคัญไม่แพ้ขั้นตอนอื่นๆ ของการซ่อมแซมคอนกรีตที่ชำรุดเสียหาย การที่ผลลัพธ์ของการซ่อมแซมจะออกมาดีหรือไม่เพียงไร จะขึ้นอยู่กับวิธีการบรรจุหรือติดตั้งวัสดุที่เลือกมาแล้ว ให้สร้างแรงยึดเหนี่ยวที่ดีกับเนื้อคอนกรีตเดิมและอุดช่องว่างที่มีอยู่ให้เรียบร้อย รวมถึงการหุ้มเหล็กเสริมได้ตลอดและทั่วถึงเป็นอย่างดี



วิธีการเติมคอนกรีต จะต้องทำให้วัสดุที่ใช้ซ่อมได้แข็งตัว และสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับพื้นผิวเดิมได้เป็นอย่างดี



วิธีการซ่อมแซม จะต้องทำให้เหล็กเสริมถูกหุ้มอย่างทั่วถึงทั้งหมด และไม่ทำให้เกิดการแยกตัว รอยต่อหรือช่องว่างใดๆ ก็ตาม



1. เจาะรูให้ทะลุเข้าไปในเนื้อคอนกรีตเดิม
2. ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ Uni-Axial Tension
3. ฝึกล้างเกตตำแหน่งของรอยแตก แล้ววัด tensile strength ของบริเวณที่ซ่อม

การอุดช่องโหว่และรูต่างๆ (Pore and Cavity) บนเนื้อคอนกรีตเดิมก็มีความสำคัญเช่นกัน ฉะนั้นจึงต้องตรวจสอบให้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้วิธีการปั๊มคอนกรีตเข้าไปหลังจากที่ใส่มวลรวมเข้าไปก่อน (Preplaced Aggregate) เพราะจะมีโอกาสที่เกิดข้อบกพร่องได้มาก

ข้อคำนึงด้านวิศวกรรมและความทนทาน (Durability) เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด เมื่อทำการเลือกวัสดุและวิธีการใช้วัสดุเพื่อการซ่อมแซม คุณสมบัติในระยะยาวมีความสำคัญมากกว่าความง่ายในการปฏิบัติงานซ่อมแซม ฉะนั้น ก่อนตัดสินใจขั้นสุดท้ายที่จะเลือกชนิดของวัสดุและวิธีการใช้วัสดุ จึงควรต้องตรวจสอบความสามารถในการใช้งาน (Constructibility) ก่อน

Constructibility เป็นสิ่งที่แสดงถึงว่าการปฏิบัติงานซ่อมแซมนั้นสามารถทำได้หรือไม่ภายใต้ข้อกำหนดต่างๆ (Constraints) ที่ระบุโดยวิศวกรและเจ้าของสะพาน และต้องคำนึงว่าจะสามารถนำอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องเข้าไปในบริเวณที่จะทำงานซ่อมแซมได้หรือไม่ และต้องคำนึงว่าวิธีการที่จะนำมาใช้ปฏิบัติงานนั้น มีเวลาเพียงพอหรือไม่ รวมถึงการคำนึงว่าสภาพแวดล้อมหน้างานจะนำไปสู่วิธีการทำงานรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งโดยเฉพาะหรือไม่ และอีกประการหนึ่งที่สำคัญก็คือ มีผู้ที่จะสามารถปฏิบัติงานนี้ (Contractor) หรือไม่ หากคำตอบต่อข้อคำถามเหล่านี้ยังคงเป็น “อาจจะ” หรือ “ไม่” แล้ว ก็ควรจะต้องมีการทบทวนการคัดเลือกประเภทของวัสดุและวิธีการติดตั้งวัสดุใหม่กันอีกครั้ง

รูปที่ 5-18 แสดงการซ่อมแซมคอนกรีต



มีเรื่องที่ต้องคำนึงถึงโดยทั่ว ๆ ไป เช่น วิธีการ Dry Pack จะใช้แรงดันที่เกิดขึ้นโดยใช้แท่งเหล็กกระทุ้งวัสดุ Dry Pack ให้ไปเชื่อมติดกับเนื้อคอนกรีตเดิม ส่วนถ้าเป็นวิธีการแบบหล่อคอนกรีตในที่ (Cast-in-place) แรงดันก็จะได้มาจากการใช้แท่งเหล็กจี้หรือใช้แรงดันไฮดรอลิกที่เกิดขึ้นจากการปั๊มคอนกรีตซึ่งจะทำให้วัสดุหรือคอนกรีตที่ใช้ซ่อมไปกระทบกับเนื้อคอนกรีตเดิมตามที่เราต้องการ

การหล่อคอนกรีตในการซ่อมแซมนี้จะต้องทำอย่างสม่ำเสมอ (Uniform) ถ้ามีการแยกตัวกัน (Segregation) ของวัสดุที่ได้ซ่อมแซม ก็จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป การแยกตัวของวัสดุนี้อาจเกิดขึ้นได้เช่นกัน ถ้าไม่มีเวลาเพียงพอระหว่างการหล่อคอนกรีตไปยังทุกๆ ส่วนที่ต้องการ รวมถึงสาเหตุอื่นๆ อีก เช่น อัตราส่วนระหว่าง Binder และ Filler ที่ไม่พอเหมาะกัน (อย่างใดอย่างหนึ่งมากหรือน้อยไป) อีกสาเหตุหนึ่งที่จะทำให้เกิด Segregation ก็คือ การผันผวนของฟองอากาศ (Air Turbulence) ระหว่างการจี้หรือการกระทุ้ง กระแทก เนื้อคอนกรีตระหว่างการหล่อคอนกรีตรอบๆ เหล็กเสริมที่มีขนาดใหญ่หรือมีจำนวนมาก อีกทั้งสาเหตุเหล่านี้ก็ทำให้เกิดการกระจุกตัวของทราย (Sand Pockets) และเกิดช่องว่างภายใน (Voids) ด้วย

การรับรองและการควบคุมคุณภาพ (Quality Assurance and Control) เป็นหนทางที่จะช่วยรับประกันได้ว่างานซ่อมแซมคอนกรีตนั้นๆ จะมีประสิทธิภาพหรือไม่เริ่มจากการคัดเลือกผู้เข้ามาปฏิบัติงานซ่อมแซม (Qualified Contractor Selection) ผู้เคยประสบความสำเร็จในการซ่อมแซมในวิธีการที่เลือกไว้มาแล้วพอสมควร หากยังมีข้อสงสัยเกี่ยวกับฝีมือและคุณสมบัติต่างๆ ของผู้ปฏิบัติงาน ก็ควรที่จะให้มีการทดลองกำกับโครงการนำร่องก่อน (Pilot Project) เพื่อการตรวจสอบความพร้อมและขั้นตอนต่างๆ ในการปฏิบัติงานรวมถึงการทดสอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น Bond Strength Test

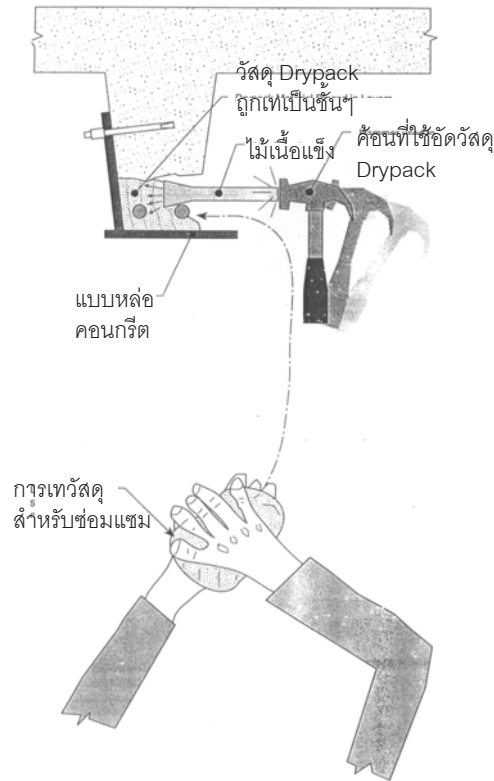
- **Dry Packing**

วิธีการหล่อวัสดุแบบ Dry Packing เป็นวิธีที่ใส่ปูนทรายหรือคอนกรีตที่มีค่ายุบตัว (Slump) เท่ากับศูนย์หรือใกล้เคียงศูนย์ลงไปในช่วงที่ต้องการซ่อมแซม โดยการตอกหรือกระทุ้ง (Ramming) เข้าไปในช่องดังกล่าว การใส่ปูนทรายหรือคอนกรีตนี้จะต้องมีความสม่ำเสมอเพื่อป้องกันมิให้มีการเยิ้ม (Bleeding) เกิดขึ้น การกระทุ้งหรือการทำ Compaction นี้จะช่วยให้ปูนทรายหรือวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมรอยชำรุดนี้ได้สัมผัสกับเนื้อคอนกรีตเดิมอย่างทั่วถึงเพื่อจะได้เกิดแรงยึดเหนี่ยวได้เต็มที่ วิธีการ Dry Packing นี้ สามารถนำมาใช้ได้ในการซ่อมแซมที่ทุกๆ ตำแหน่ง ไม่ว่าจะเป็นบริเวณเหนือศีรษะ (Overhead) ในแนวตั้ง (Vertical) หรือในที่ราบเรียบ (Flat) โดยมากแล้วจะได้ผลดีกับรอยชำรุดที่ไม่ใหญ่มากนัก เช่น รูโหว่ หรือช่องเล็กๆ รูในลักษณะของรังผึ้ง (Honey comb) หรือการฉีกขาดในช่วงล่างของชิ้นส่วน

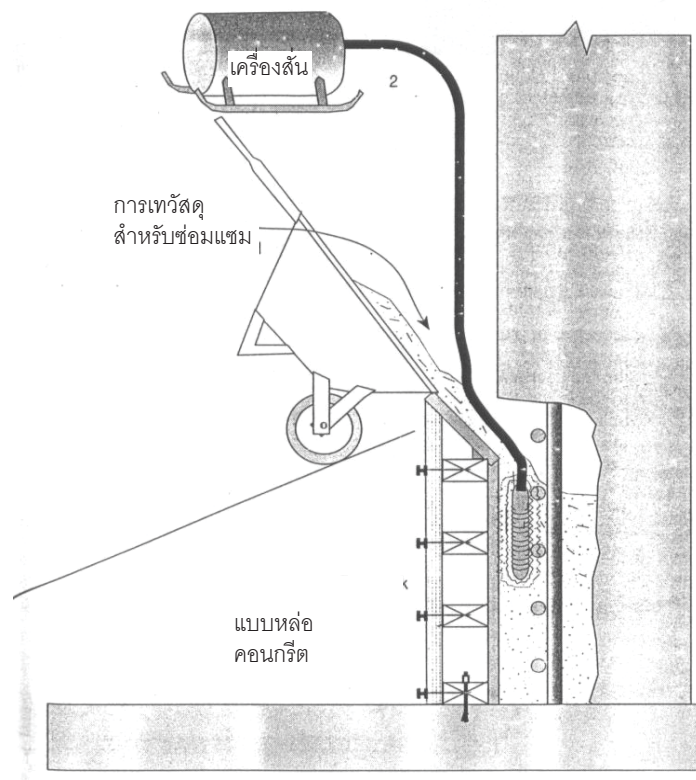
วัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมแบบ Dry Packing นี้จะถูกเติมเป็นชั้นๆ (Layers) แล้วใช้แท่งไม้แข็งกระทุ้งอีกครั้งเพื่อไม่ให้เกิดรอยต่อที่เห็น จากนั้นก็บ่มด้วยความชื้นเป็นเวลาต่อเนื่องกัน 7 วัน

- **การหล่อคอนกรีตในที่ (Cast-in-Place)**

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดโดยเฉพาะเมื่อบริเวณที่ต้องการซ่อมแซมอยู่ในแนวตั้ง โดยมีการติดตั้งแบบหล่อคอนกรีต (Formwork) แล้วจึงเทคอนกรีตเข้าไปในบริเวณที่ต้องการซ่อมแซม (ดูรูปที่ 5-20) การใช้แบบหล่อคอนกรีตนี้จะช่วยให้สามารถเลือกใช้วัสดุเพื่อการซ่อมแซมได้หลายชนิด ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการหล่อในที่และมี Constructability ที่ดี รวมทั้งมีอัตราการหดตัวต่ำ (Low Shrinkage) และมีการไหลที่ดี (Good Flowability) ในระหว่างการเทคอนกรีตนี้จะต้องมีการใช้แท่งจี้คอนกรีต (Rodding Vibration) เพื่อช่วยลดฟองอากาศและช่วยให้วัสดุที่ใช้ซ่อมแซมไปสัมผัสกับเนื้อคอนกรีตเดิมได้ดีขึ้น ในวิธีการแบบนี้ไม่จำเป็นต้องสร้างชั้นผิวของ Bonding Agent และยังสามารถทำได้ยากด้วย



รูปที่ 5-19 แสดงวิธีการหล่อวัสดุแบบ Dry Packing



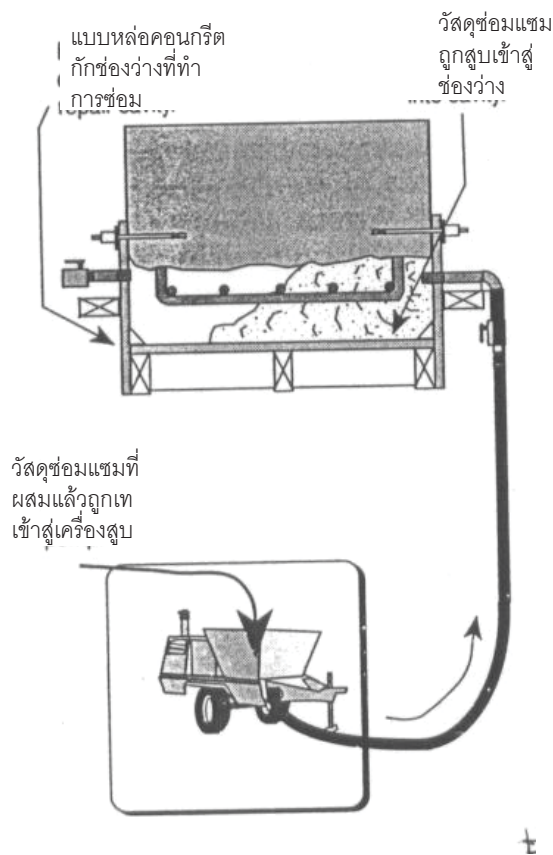
รูปที่ 5-20 แสดงวิธีการหล่อคอนกรีตในที่



- **การตั้งแบบหล่อและปั๊มคอนกรีต (Form and Pump)**

วิธีการ Form and Pump นี้เป็นวิธีการที่ค่อนข้างใหม่กว่าวิธีการอื่นๆ ในการซ่อมแซมคอนกรีตมักจะใช้วิธีนี้ในการซ่อมพื้นที่ซึ่งอยู่เหนือศีรษะ (Overhead) และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งแทนวิธี Shortcrete (Guniting) วิธีการฉาบโดยใช้มือ (Hand Placement) หรือวิธีการแบบใส่มวลรวมไว้ก่อน (Preplaced Aggregate)

วิธี Form and Pump นี้จะประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ การสร้างแบบหล่อคอนกรีต (Formwork) และการปั๊มคอนกรีตเข้าไปในพื้นที่ที่ต้องการซ่อมซึ่งถูกปิดไว้แล้วโดย Formwork และเนื้อคอนกรีตเดิม วัสดุหลากหลายชนิดสามารถถูกเลือกมาใช้ได้ตามความเหมาะสมและ Pumpability บั้มหลายชนิดสามารถถูกนำมาใช้ได้เช่นกัน โดยขึ้นอยู่กับชนิดของการผสม หรือ Mix Design โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดของมวลรวม (Aggregate)



รูปที่ 5-21 แสดงวิธีการ Form and Pump

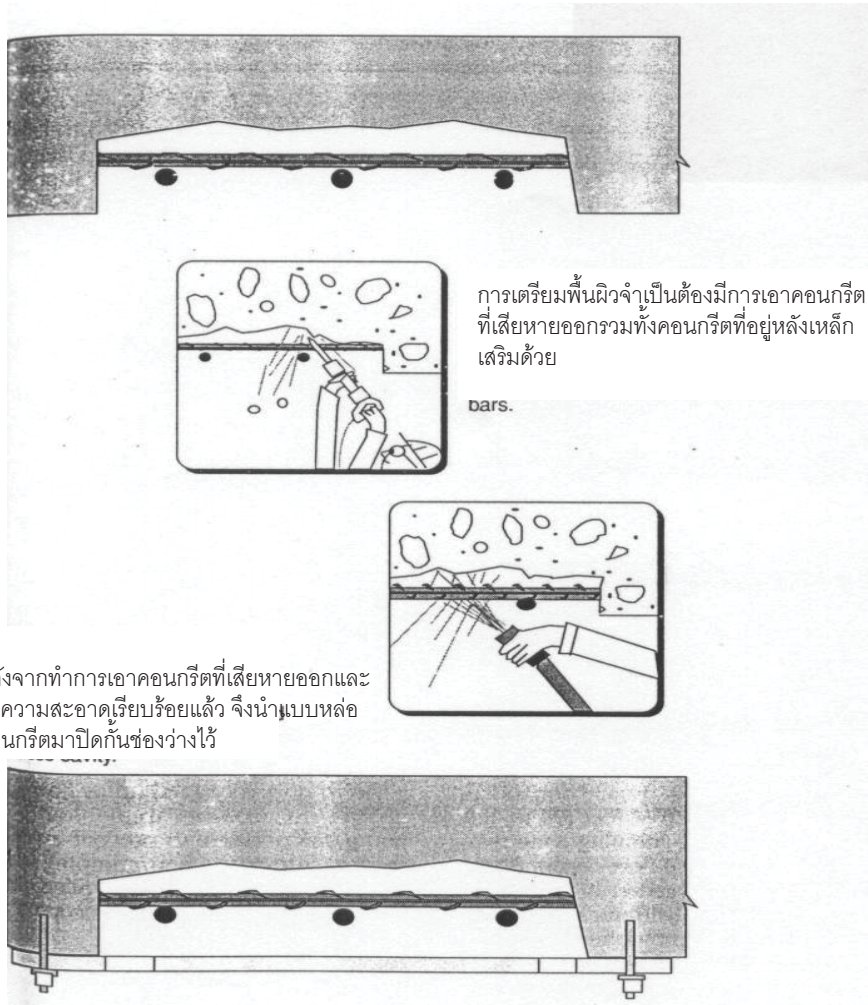
ก่อนการติดตั้ง Formwork จะต้องมีการเตรียมพื้นผิวคอนกรีตให้ดีเพื่อป้องกันมิให้มีฟองอากาศเกิดขึ้นระหว่างการปั๊มคอนกรีตเข้าไปในบริเวณนั้น หรือจะมีการติดตั้งท่อระบายอากาศด้วยก็ได้การเตรียมพื้นผิวคอนกรีตนี้ จะต้องสกัดคอนกรีตที่ชำรุดเสียหายออกให้หมด และเหลือแต่เนื้อคอนกรีตเดิมที่อยู่ในสภาพแข็งแรงดี โดยปฏิบัติตามวิธีการเตรียมพื้นผิวคอนกรีตที่ได้อธิบายมาก่อนหน้านี้ไม่ว่าจะเป็นการเซาะคอนกรีตที่อยู่ใต้เหล็กเสริมการใช้แรงดันของน้ำฉีด หรือการฉีดพ่นด้วยทราย (Abrasive Blasted) จากนั้นจึงทำการติดตั้ง Formwork

Formwork ที่ติดตั้งไว้จะต้องมั่นคงแข็งแรงพอที่จะรองรับน้ำหนักของคอนกรีตที่หล่อใหม่ไว้ได้ วิธีการ Form and Pump นี้มีข้อดีหลายประการ เช่น สามารถใช้วัสดุเพื่อการซ่อมแซมได้หลายชนิด สามารถทำการซ่อมพื้นที่คอนกรีตได้หลายขนาด และไม่มีอุปสรรคในพื้นที่ที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น ส่วนผสมที่จะใช้ซ่อมก็สามารถถูกเตรียมไว้ล่วงหน้าได้และ

ถูกบีบเข้าพื้นที่ซอมได้อย่างสม่ำเสมอโดยมี Segregation ไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงของโลก เพราะมี Formwork รองรับอยู่ นอกจากนี้แรงดันจากบีบยังช่วยให้วัสดุที่ใช้ซอมแซมได้หุ้มเหล็กเสริมได้อย่างทั่วถึงด้วย

**การเตรียมพื้นผิวคอนกรีต**

ต้องทำความสะอาดพื้นที่ผิวคอนกรีตที่ต้องซอมแซมให้เรียบร้อย และควรทำความเข้าใจด้วยว่า พื้นผิวที่เตรียมไว้จะปล่อยให้คอนกรีตที่บีบเข้าไปไหลไปทางไหนได้บ้าง ให้ตกแต่งพื้นผิวส่วนที่อาจจะทำให้เกิดการดักฟองอากาศไว้ให้เรียบร้อย ซึ่งอาจติดตั้งท่อระบายอากาศด้วยก็ได้



รูปที่ 5-22 แสดงวิธีการเตรียมพื้นผิวคอนกรีตและแบบหล่อคอนกรีต

**แบบหล่อ (Form Work)**

แบบหล่อคอนกรีตต้องถูกติดตั้งให้แนบสนิทกับผิวหน้าของคอนกรีตเดิมและมีความมั่นคงแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักของคอนกรีตที่บีบเข้าไปได้ อาจต้องมีการจัดเตรียมแท่นหรือช่องสำหรับสอดท่อบีบคอนกรีตไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสมและเตรียมจุก (Plug) ไว้ปิดช่องนั้นด้วย

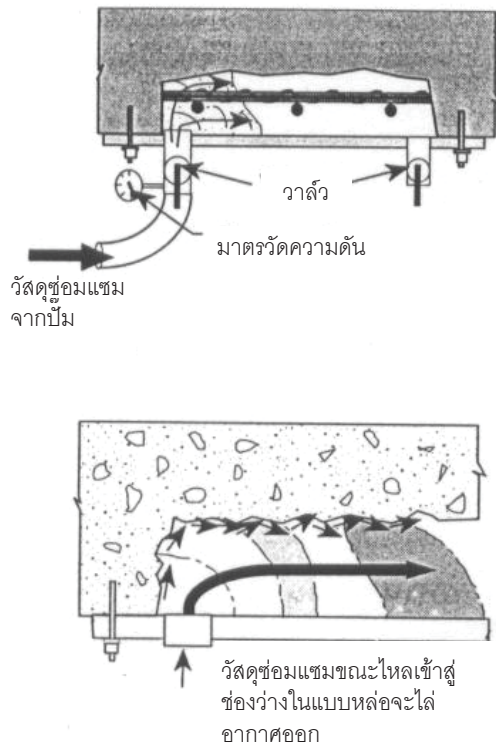
**อุปกรณ์หรือเครื่องบีบ (Pumping Equipment)**

ชนิดของเครื่องบีบจะขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุที่ใช้ซอมแซมและขนาดของบริเวณที่จะซอมแซม เช่น ขนาดของมวลรวม (Aggregate Size) ว่าเป็นแบบหยาบหรือแบบละเอียด เป็นต้น



วัสดุที่ใช้ซ่อมแซม (Repair Materials)

วัสดุที่ใช้ซ่อมแซมโดยวิธีการ Form and Pump นี้จะต้องมี Constructability ที่เหมาะสมต่อการถูกบีบ และมีคุณสมบัติที่สำคัญ เช่น มีการหดตัวแห้งต่ำ (Low Drying Shrinkage) มีกำลัง (Strength) มีคุณสมบัติทางความร้อน (Thermal) และมีความยืดหยุ่น (Elasticity) ที่เข้ากันได้ (Compatible) วัสดุที่มีการเตรียมบรรจุไว้ล่วงหน้า (Prepackaged) ก็มีความเหมาะสมที่จะใช้สำหรับการซ่อมแซมโดยวิธีการนี้



รูปที่ 5-23 แสดงวิธีการ Form และ Pump

วิธีการหล่อคอนกรีต (Placement)

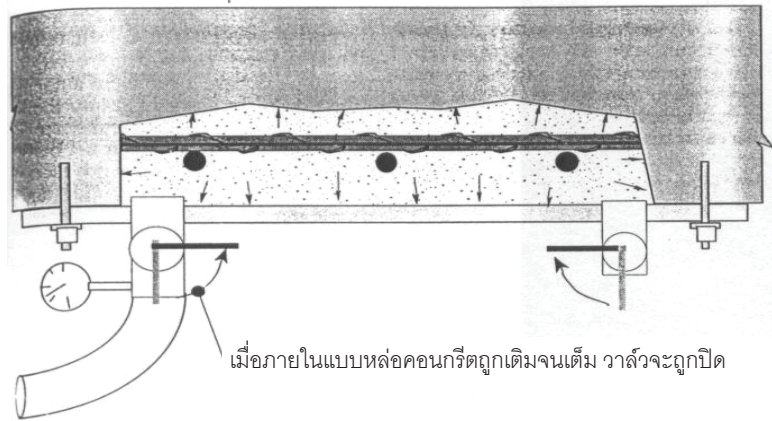
ขั้นตอนการหล่อคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับลักษณะรูปทรง (Geometry) ของพื้นที่ที่จะซ่อม ถ้าเป็นผิวหน้าในแนวตั้ง (Vertical) ก็ควรจะเริ่มจากส่วนล่างสุดก่อน เป็นต้น การเทหรือการหล่อคอนกรีต จะต้องเป็นไปในลักษณะที่กำจัดฟองอากาศด้วย และทำการบีบเพื่อหล่อคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งช่องว่างที่ต้องการซ่อมนั้นถูกเติมเต็มด้วยคอนกรีตจนทั่วถึงแล้ว และมีแรงดันเพียงพอ (Fully Pressurized) จึงทำการปิดท่อกวาล์วที่ท่อปั๊มคอนกรีต

การสร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมกับเนื้อคอนกรีต

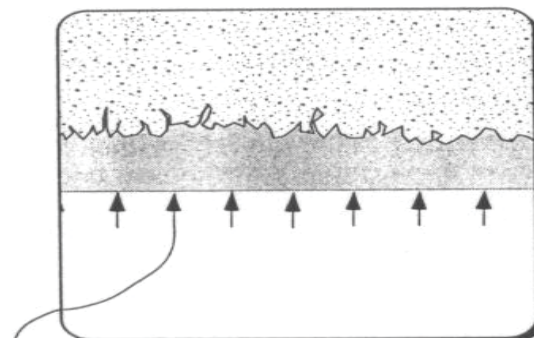
การสร้างแรงยึดเหนี่ยวเป็นสิ่งสำคัญในการซ่อมแซมคอนกรีตมาก โดยพื้นผิวของเนื้อคอนกรีตเดิมต้องสามารถตอบรับต่อวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมได้ดี ต้องมีความสะอาดและปราศจากสารที่ต่อต้านการสร้างแรงยึดเหนี่ยว เช่น น้ำมัน ไขมัน หรือ Hardened Epoxy เป็นต้น และพื้นผิวของเนื้อคอนกรีตเดิมก็จะต้องมีช่องเปิด (Pore) ไว้ให้วัสดุที่ใช้ซ่อมแซมได้เกาะยึดด้วย เพราะกลไกที่สำคัญในการสร้างแรงยึดเหนี่ยวคือ การที่วัสดุที่ใช้ซ่อมผิวคอนกรีตนั้นได้มีโอกาสซึมซับเข้าไปในช่องเปิด (Pore) ที่ผิวของคอนกรีต ถ้าช่องเปิด (Pore) เหล่านี้ถูกอุดตันด้วยฝุ่นละออง คราบ หรือน้ำแล้วก็จะอุปสรรคต่อกระบวนการดูดซับ (Absorption) วัสดุที่ใช้ซ่อมพื้นผิวของคอนกรีตจะต้องมีปริมาณของเหลวเพียงพอที่จะทำให้วัสดุ



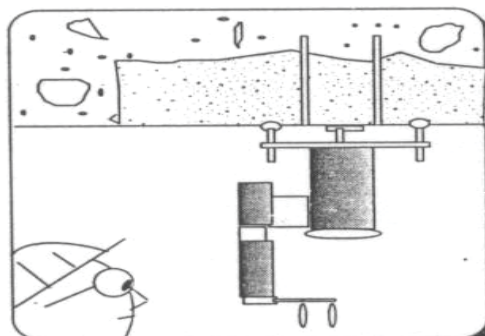
สามารถถูกดูดซับเข้าไปในช่องเปิดที่พื้นผิวของเนื้อคอนกรีตเดิมได้ วัสดุที่ใช้ซ่อมแซมนี้จะต้องมีโอกาสได้สัมผัสกับเนื้อคอนกรีตเดิมในบริเวณที่จะสร้างแรงยึดเหนี่ยว (Bond Line) และการใช้แรงดันไฮดรอลิกก็จะช่วยให้เกิดแรงผลักดันให้วัสดุทั้งสองได้ยึดติดกันดีขึ้น



รูปที่ 5-24 แสดงวิธีการปิดท่อวาล์วที่ท่อปั๊มคอนกรีต



ความดันไฮดรอลิกจากปั๊มจะผลักดันให้วัสดุซ่อมแซมเข้าไปในโครงสร้างที่มีลักษณะพรุนของเนื้อคอนกรีตเดิม



อุปกรณ์ Direct Uniaxial Tension

รูปที่ 5-25 แสดงวิธีการทำ Bonding และ การควบคุมคุณภาพ

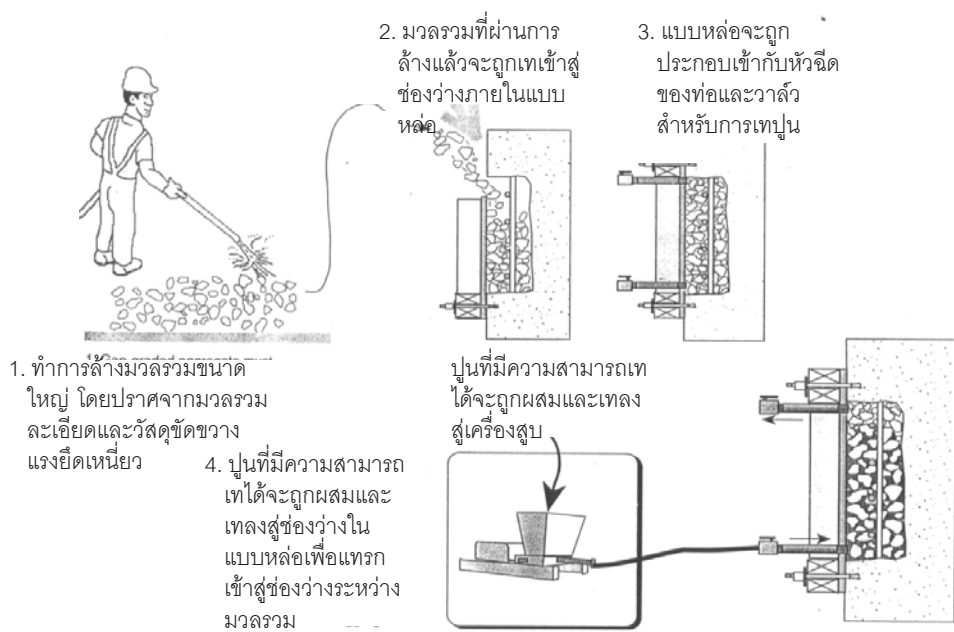


การรับประกันคุณภาพ (Quality Assurance)

แต่ละเทคนิคการซ่อมพื้นผิวคอนกรีตก็ล้วนแต่ต้องพบกับผลลัพธ์ที่น้อยกว่าที่คาดไว้ทั้งนั้น ฉะนั้น ในแต่ละขั้นตอนของเทคนิคการซ่อมแซมจึงต้องการความระมัดระวังและความรู้ ความเข้าใจในการปฏิบัติงาน เพราะทุกขั้นตอนล้วนแต่มีความสำคัญ แม้ว่าวัสดุที่ใช้ซ่อมจะดีเลิศเพียงใด แต่ก็ไม่มีผลลัพธ์ที่ดีหากการเตรียมพื้นผิวมีความบกพร่อง การที่จะนำมาซึ่งคุณภาพของการปฏิบัติงาน จึงควรที่จะจัดให้มีการฝึกฝน การปฏิบัติงานภาคสนาม (Mock Up หรือ Pilot Project) ซึ่งจะช่วยทดสอบขั้นตอนการปฏิบัติงานและวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ เมื่อทั้งขั้นตอนการปฏิบัติและวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมได้ผลเป็นที่น่าพอใจแล้ว ก็ต้องมีการตรวจสอบ (Monitoring) ต่อไป เพื่อให้แน่ใจว่าผลการซ่อมแซมจะได้ผลดีและมีคุณภาพ ขั้นตอนการควบคุมคุณภาพ ที่สำคัญได้แก่ การวัดความต่อเนื่อง (Uniformity) ความหนาแน่น (Density) แรงยึดเหนี่ยว (Bond) และกำลัง (Strength) ของส่วนที่ได้รับการซ่อมแซมไป ซึ่งก็มีทั้งการทดสอบโดยใช้เครื่องมือและการตรวจสอบด้วยตาเปล่า ปัญหาที่สำคัญและพบมากที่สุดคือ ปัญหาเนื่องมาจากการขาดแรงดันที่เพียงพอที่จะใช้ในช่องว่างที่จะซ่อมแซมซึ่งจะทำให้ไม่สามารถสร้างแรงยึดเหนี่ยวที่ดีได้ หลังจากที่ทำกรซ่อมแซมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ควรจะมีการตรวจสอบโดยใช้ค้อนเคาะบริเวณที่ซ่อมเพื่อตรวจสอบดูว่ามีส่วนใดที่ไม่ได้ยึดติดกัน หรือมีช่องว่าง

• วิธีการใส่มวลรวมเข้าไปก่อนหล่อคอนกรีต (Grouted Preplaced Aggregate)

วิธีใช้ Grouted Preplaced Aggregate มีอยู่ 2 ขั้นตอน ขั้นแรกจะเป็นการใส่มวลรวม (Aggregate) เข้าไปในช่องว่างที่จะซ่อมแซมในขณะเดียวกันกับการติดตั้งแบบหล่อ (Form Work) ขึ้นมา โดยมวลรวมจะถูกคัดเลือกและทำความสะอาดอย่างเรียบร้อย อัตราส่วนช่องว่างภายใน (Void Ratio) หลังจากที่ได้เติมมวลรวมเข้าไปแล้วจะอยู่ที่ 40% ถึง 50% ส่วนขั้นตอนที่สองนั้นจะเป็นการบีบอัดน้ำปูน (Grout) ที่มีการไหลได้ดี (Highly Flowable) ผ่านแบบหล่อเข้าไปในช่องที่ได้ใส่มวลรวมไว้แล้ว น้ำปูนนี้ก็จะเข้าไปแทรกซึมตามช่องว่างที่มีอยู่จนเต็ม วิธีการนี้มีข้อดีก็คือ มีการหดตัวจากการแห้งตัว (Low Drying Shrinkage) ของวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม เพราะมวลรวมสามารถสัมผัสกันได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการจำกัดการหดตัวของน้ำปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และในกรณีพิเศษก็จะใช้ Epoxy Resins



รูปที่ 5-26 Grouted Preplaced Concrete

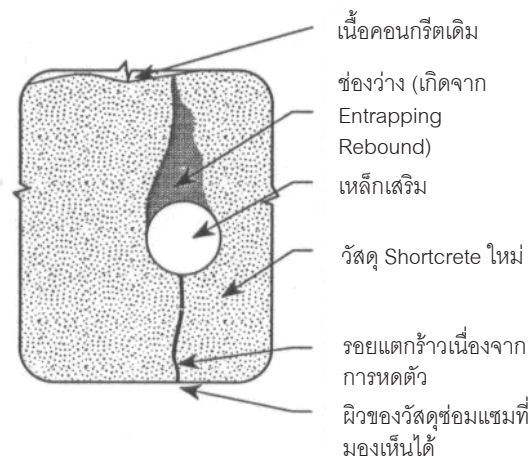
● **วิธีการซ่อมแบบ Dry Mix Shortcrete**

Dry Mix Shortcrete เป็นวิธีที่เกี่ยวข้องกับการผสมตัวผสมกับมวลรวมไว้ล่วงหน้า (Premixing of Binder and Aggregate) ซึ่งจะถูกรบรจุเข้าไปในเครื่องมือกลพิเศษซึ่งจะส่งส่วนผสมน้ำไปยังท่อผ้าใบ (Hose) จากนั้นส่วนผสมของวัสดุก็จะถูกส่งผ่านไปยังหัวฉีด (Nozzle) โดยใช้แรงดันอากาศซึ่งที่หัวฉีดนี้จะมียังมีวงแหวนน้ำ (Water Ring) อยู่และจะผสมวัสดุที่ผสมมาก่อนหน้านี้เข้ากับน้ำ จากนั้นจึงฉีดไปยังพื้นผิวคอนกรีตที่จะซ่อมแซมซึ่งได้ทำความสะอาดเตรียมไว้แล้ว การฉีดส่วนผสมของวัสดุกับน้ำนี้ต้องใช้ความเร็วสูงมาก กระบวนการซ่อมแซมนี้อาจเปลี่ยนแปลงไปได้โดยขึ้นอยู่กับความหนาที่ต้องการและลักษณะพื้นที่ปฏิบัติงาน (Orientation) ถ้าส่วนที่จะซ่อมแซมมีความหนา การฉีดวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมก็อาจจะต้องทำเป็นหลายๆ ชั้น (Multiple Layers) ถ้าทำให้ชั้นของวัสดุหนาเกินไปก็จะทำให้เกิดการหลุดออก (Sloughing Off)

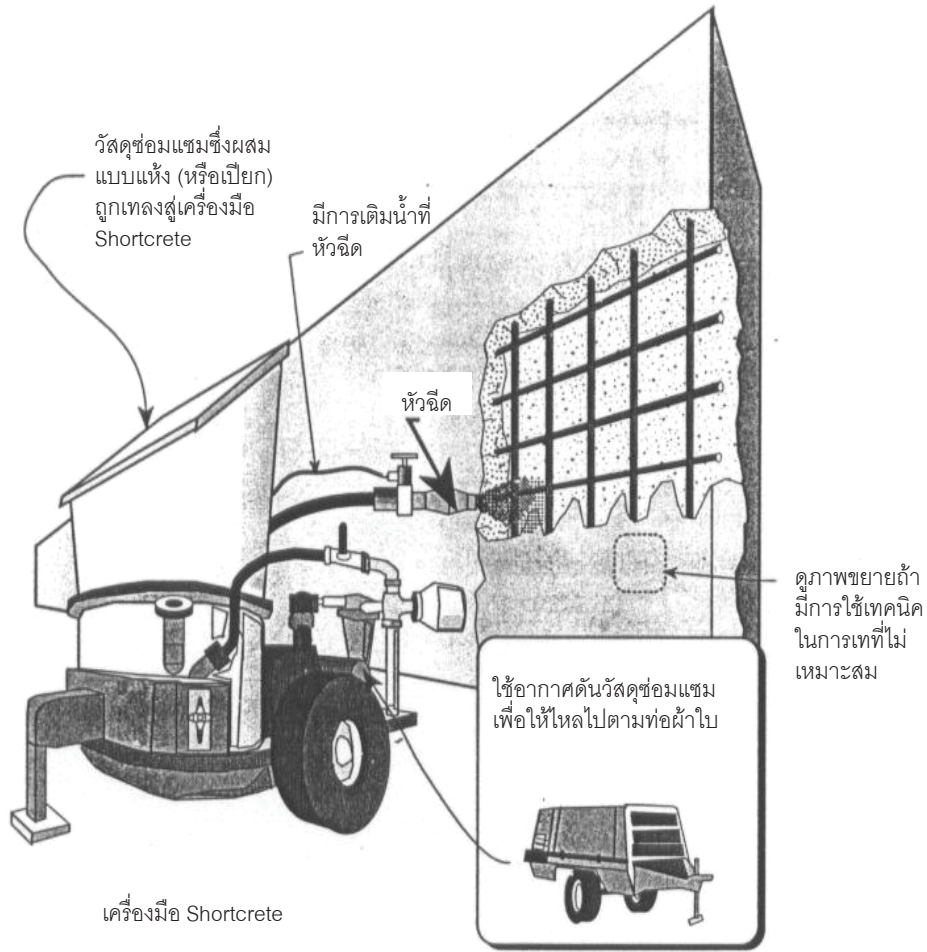
การใช้สารผสมเพิ่ม (Admixtures) ชนิดพิเศษสามารถช่วยให้มีความสามารถในการเท (Workability) ดีขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำ Shortcrete การใช้ Silica Fume ก็ช่วยให้มีคุณสมบัติความเหนียวและการเกาะยึด (Adhesive และ Cohesive) ดีขึ้น ซึ่งส่งผลให้คุณสมบัติการแข็งตัวช่วยให้มีการรับแรงดัดและแรงอัดดีขึ้น นอกจากนั้นยังมีความทนทานต่อปฏิกิริยาจากสารเคมีด้วย ควรหลีกเลี่ยงการใช้สารเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) ถ้าไม่จำเป็นอย่างที่สุด เพราะมีการพบว่าสารเร่งปฏิกิริยาจะเป็นสาเหตุทำให้เกิด Drying Shrinkage เพิ่มมากขึ้น

ปัญหาที่พบทั่วไปในการซ่อมโดยวิธี Shortcrete ได้แก่ การเกิดช่องว่าง (Voids) เนื่องจากการเกิด Encapsulate Rebound ซึ่งเกิดขึ้นได้บ่อยเมื่อต้องฉีดพ่นวัสดุเป็นหลายๆ ชั้น (Multiple Layers) หรือเมื่อมีเหล็กเสริมในปริมาณมากๆ ปัญหาอีกประการหนึ่งก็คือ การเกิดรอยแตกเนื่องจากการหดตัว (Shrinkage Cracking) ซึ่งเกิดจากมีปริมาณซีเมนต์มากเกินไป การบ่มที่ไม่ถูกต้อง หรือการที่มีส่วนผสมของน้ำมากเกินไป

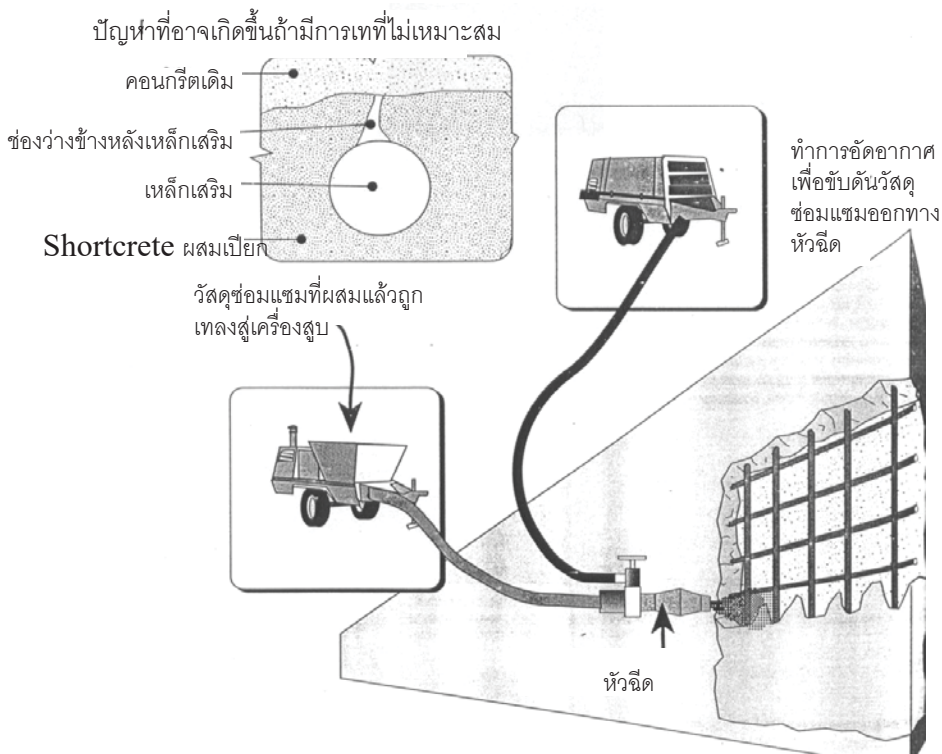
ภาพขยายของช่องว่างซึ่งเกิดขึ้นข้างหลังเหล็กเสริม



รูปที่ 5-27 ช่องว่างซึ่งเกิดขึ้นข้างหลังเหล็กเสริม



รูปที่ 5-28 Shortcrete Machine



รูปที่ 5-29 การทำ Wet Mix Shortcrete

ตารางที่ 5-5 แสดงรายละเอียดของสารผสมเพิ่ม (Additives) สำหรับการซ่อมโดยวิธี Shortcrete

สารผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีตผสมแห้ง		
สารผสมเพิ่ม	ประโยชน์	หมายเหตุ
ซิลิกาฟูม	<ul style="list-style-type: none"> <li>เพิ่มความหนา</li> <li>เพิ่มความหนาแน่น</li> <li>เพิ่มความทนทานต่อการแข็งตัวและละลายของน้ำในช่องว่างคอนกรีต</li> <li>เพิ่มความทนทานต่อสารเคมี</li> <li>ลดการ</li> <li>เพิ่มการเกาะยึด</li> <li>เพิ่มกำลังรับแรงดัดและแรงอัด</li> </ul>	
สารเร่งการก่อตัว	<ul style="list-style-type: none"> <li>เพิ่มจำนวนชั้น</li> <li>ลดระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้น</li> <li>เพิ่มกำลังในช่วงแรก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>เพิ่มการหดตัวแห้ง</li> <li>ลดกำลังของ shortcrete ตามเวลา</li> <li>ไม่จำเป็นต้องใช้หากมีการใช้ซิลิกาฟูม</li> </ul>
เส้นใยเหล็ก	<ul style="list-style-type: none"> <li>กำจัดช่องว่างซึ่งเกิดจากการการเสริมเหล็กแบบธรรมดา</li> <li>เพิ่มความทนทานต่อการกระแทก</li> </ul>	
เส้นใย Polypropylene	<ul style="list-style-type: none"> <li>ลดการหดตัวพลาสติก</li> </ul>	
ลาเทกซ์	<ul style="list-style-type: none"> <li>เพิ่มกำลังรับแรงดัดและกำลังยึดเหนี่ยวรับแรงดึง</li> <li>เพิ่มความทนทานต่อการแข็งตัวและละลายของน้ำในช่องว่างคอนกรีตและการแตกร้าวเนื่องจากสารเคมี</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ฟิล์มแข็งของลาเทกซ์อาจเกิดขึ้นระหว่างชั้นทำให้เกิดการหลุดออกเป็นแผ่น</li> </ul>

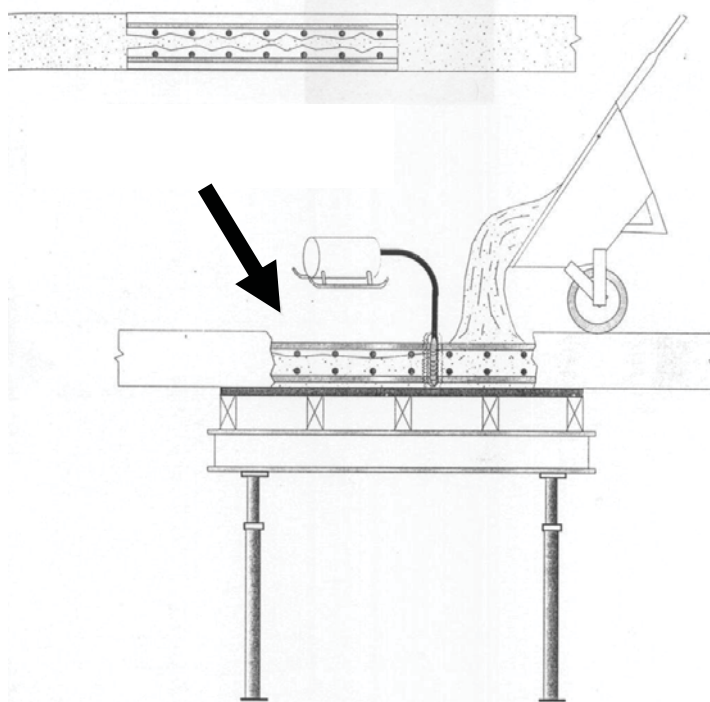
- **วิธีการซ่อมแบบ Wet Mix Shortcrete**

วิธี Wet Mix Shortcrete เป็นวิธีที่ผสมวัสดุทุกอย่างเข้าด้วยกันก่อน (ยกเว้นสารเร่งปฏิกิริยาหรือ Accelerators) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวผสม (Binder) มวลรวม (Aggregate) สารเพิ่ม (Admixtures) และนำส่วนที่ผสมล่วงหน้านี้จะถูกบรรจุเข้าไปในบ่มซึ่งจะส่งผ่านส่วนผสมนี้ไปยังหัวฉีด จากนั้นจึงใช้แรงอัดอากาศฉีดพ่นส่วนผสมนี้ไปยังบริเวณที่ต้องการซ่อมแซม และสามารถใส่ Admixtures เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ Shortcrete ได้โดยปกติแล้วจะใช้ Silica Fume และ Fibers เพื่อเพิ่มความทนทาน (Durability)



- **การซ่อมแบบเต็มความลึก (Full Depth Repair)**

ในบางกรณีก็จะเป็นการดีถ้าพื้นผิวคอนกรีตได้รับการซ่อมแซมแบบเต็มความลึก (Full Depth) ตัวอย่างเช่นในกรณีที่คอนกรีตได้รับความเสียหายมากๆ การซ่อมแซมส่วนนั้นทั้งหมดก็อาจจะเป็นการประหยัดและมีผลลัพธ์ที่ดีกว่าการซ่อมเพียงบางส่วน ในการซ่อมวิธีนี้มีข้อคำนึงถึงคือ ต้องมีการกำหนดขอบเขตของพื้นที่ของการเกิด Drying Shrinkage ให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด เพราะ Drying Shrinkage จะเกิดขึ้นหลังจากที่ได้หล่อคอนกรีตใหม่เสร็จแล้ว และทำให้เกิดแรงดึง (Tension) ระหว่างชั้นส่วนที่สร้างขึ้นใหม่และบริเวณแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุเก่าและวัสดุใหม่ ส่วนใหญ่แล้วถ้าไม่ได้ระบุถึง Tension Stress ไว้แล้วก็อาจเกิดรอยแตกได้โดยที่ไม่ได้เตรียมการไว้รองรับ เราสามารถลด Shrinkage Stress ลงได้โดยการใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีการหดตัวต่ำ (Low Shrinkage Concrete Mixes)



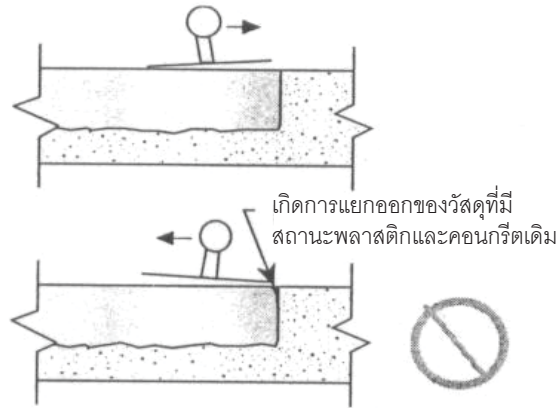
รูปที่ 5-30 การซ่อมแซมคอนกรีตแบบ Full Depth Repair

- **การซ่อมแบบปูทับพื้นผิว (Overlays)**

วิธีการปูทับพื้นผิวนี้จะถูกใช้เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับคอนกรีต อาจจะใช้วิธีการ Overlay นี้เพื่อปรับปรุงระบบการระบายน้ำ (Drainage) ความสะดวกในการขับขี่ (Rideability) หรือความสามารถในการบรรทุกน้ำหนัก (Load Carrying Capacity) ใช้เพื่อเพิ่มการป้องกันการลื่นไถล (Skid Resistance) หรือใช้เพื่อปกป้องคอนกรีตที่อยู่ข้างใต้ Overlay จากสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตราย นอกจากนี้การทำ Overlay ยังสะท้อนให้เห็นปัญหาการชำรุดเสียหายของคอนกรีตอีกหลายๆ ประการ การทำ Overlay สามารถทำได้โดยใช้วัสดุหลายๆ ชนิดจากที่มีขนาดบาง (3 มม.) จนถึงขนาดหนาหลายๆ

โดยปกติแล้วมักจะมีการทำ Overlay ที่พื้นผิวของสะพาน เช่นเดียวกับพื้นถนนคอนกรีต โดยจะสร้างแรงยึดเหนี่ยวให้ Overlay ยึดติดกับพื้นผิวคอนกรีตที่ชำรุดเสียหายการเตรียมพื้นที่ผิวคอนกรีตก็ทำได้หลายวิธี ดังที่ได้อธิบายมาแล้วก่อนหน้านี้ โดยทั่วไปแล้ว วัสดุที่จะใช้ทำ Overlay คือ คอนกรีตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อ

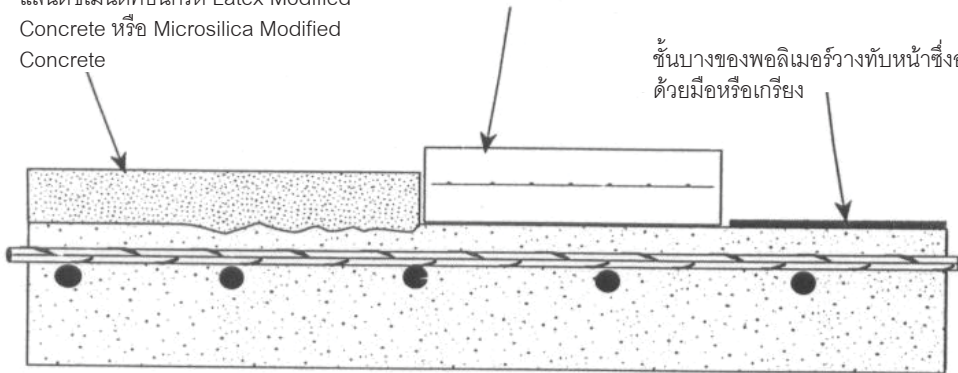
ซีเมนต์ต่ำ ที่ประกอบด้วย Latex-Modified Portland Cement Concrete และ Microsilica-Modified Portland Cement Concrete โดยส่วนใหญ่แล้วการทำ Overlay ไม่จำเป็นต้องมีการเสริมเหล็กเพิ่ม เพียงแต่การทำ Overlay จะต้องการการดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีเพื่อเป็นการป้องกันปัญหาหลาย ๆ ประการ เช่น รอยแตกจาก Plastic Shrinkage การไม่เกิดการ Consolidation การแยกตัว (Segregation) หรือการเกิดแรงยึดเหนี่ยวที่ไม่เพียงพอ (Poor Bonding) วิธีการ Overlay อื่นๆ อาจมีการใช้โพลีเมอร์และ Polymer-Modified Mortar สำหรับการทำชั้นผิวบางๆ โพลีเมอร์ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ Epoxy ซึ่งจะให้ผสมกับทรายเพื่อทำให้เป็น Mortar นอกจากนี้โพลีเมอร์ยังช่วยป้องกันพื้นผิวจากสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตราย (Aggressive Environment)



การใช้คอนกรีตเททับสำหรับสะพานและโครงสร้างสำหรับจุดตรึงถือเป็นการซ่อมแซมพื้นผิวสำหรับพื้นสะพานบริเวณที่เกิดความเสียหาย ระบบคอนกรีตเททับจะใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต Latex Modified Concrete หรือ Microsilica Modified Concrete

คอนกรีตเททับซึ่งหนาและไม่มีการยึดเหนี่ยว มีความจำเป็นต้องเสริมเหล็กภายใน

ชั้นบางของโพลีเมอร์วางทับหน้าซึ่งอาจทำงานด้วยมือหรือเกรียง



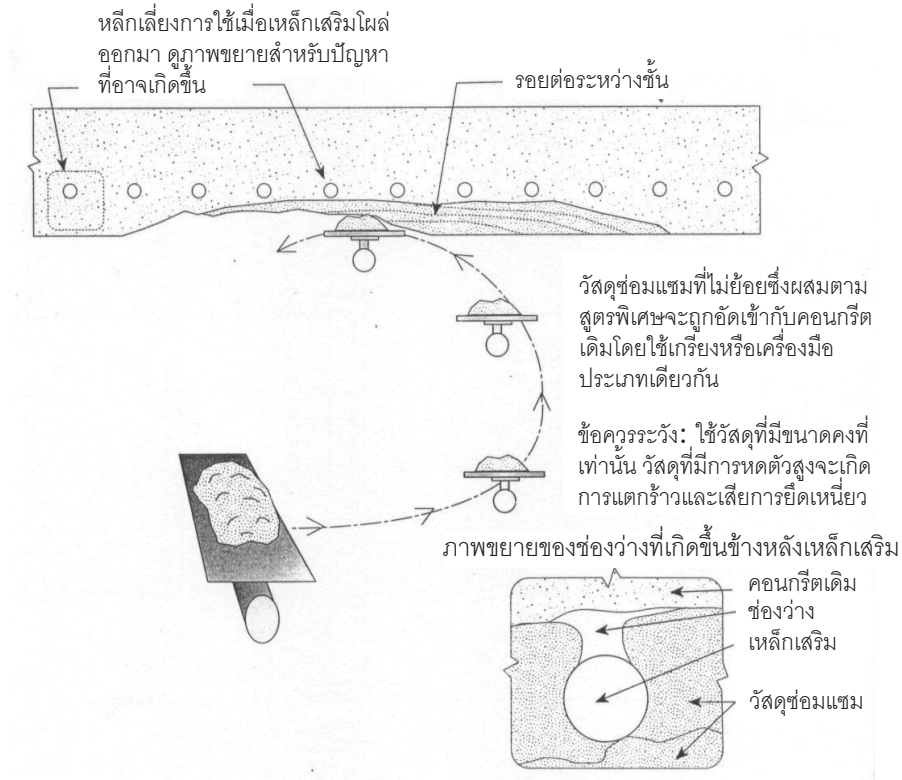
รูปที่ 5-31 การทำ Overlays

• **วิธีการซ่อมด้วยการใช้มือ (Hand-Applied)**

วิธีการซ่อมแบบนี้จะใช้มือฉาบหรือโบกปูนหรือวัสดุที่ไม่ย้อย (Sag) ไปยังจุดที่ต้องการซ่อมซึ่งอยู่ในแนวตั้ง และอยู่เหนือศีรษะ วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุพิเศษที่ผสมด้วยซีเมนต์ มวลรวมละเอียด (Fine Graded Aggregate) สารที่ช่วยให้ไม่ย้อย (Non-Sag Filler) สารที่ช่วยให้ลดการหดตัว (Shrinkage Compensating Systems) และนำวัสดุที่ได้ผสมเข้ากันแล้วนี้จะถูกฉาบหรือโบกไปยังตำแหน่งที่ต้องการซ่อม โดยใช้มือฉาบเกรียง (Trowel) ตักปูน แล้วโบกไปที่จุดที่ต้องการ ซึ่งแรงดันจากการโบกปูนนี้จะช่วยให้วัสดุที่ผสมไว้แน่นได้เชื่อมติดกับเนื้อคอนกรีตเดิมและสามารถอุดเข้าไปในช่องเปิด (Pore)



ที่พื้นผิวคอนกรีต วัสดุที่ใช้ซ่อมโดยวิธีนี้จะได้รับการออกแบบมาให้สามารถแขวน (Hang) ยึดอยู่กับที่ไว้จนกว่าชั้นต่อไปของวัสดุนี้จะถูกฉาบหรือโบกทับมา ผิวหน้าของแต่ละชั้นจะถูกทำให้หยาบเพื่อให้วัสดุที่ถูกโบกในชั้นต่อไปสามารถยึดเกาะกันได้ ข้อดีที่สุดของการซ่อมโดยวิธีฉาบหรือโบกปูนนี้ก็คือ เพื่อการซ่อมแซมการสวยงามของผิวพื้นคอนกรีตโดยที่ไม่ต้องเกี่ยวข้องกับเหล็กเสริมแต่อย่างใด หากต้องเกี่ยวข้องกับเหล็กเสริมแล้ว จะเป็นการยากมากที่จะทำให้เนื้อวัสดุไปหุ้มเหล็กเสริมอย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพ ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ในการปฏิบัติงานซ่อมโดยวิธีนี้ ก็คือ การเกิดแรงยึดเหนี่ยว (Bond) ระหว่างชั้นของวัสดุที่ใช้ซ่อม (Layers) ไม่เพียงพอและการเกิดช่องอากาศ (Voids) ที่บริเวณรอบๆ เหล็กเสริม



รูปที่ 5-32 Hand-Applied



# การซ่อมแซมสะพานคอนกรีตส่วนบน

## 6.1 การประรอยหลุดร่อนและบริเวณที่เสียหาย

การปะปติใช้กับการฟื้นฟูคอนกรีตที่เสียหายจากการหลุดเป็นแผ่น (Delamination) และการหลุดร่อน (Spalls) วิธีการนี้ประกอบด้วย การขจัดคอนกรีตที่เสื่อมสภาพออก หลังจากนั้นทำความสะอาดเหล็กเสริมที่เกิดสนิม เคลือบผิวเหล็กเสริมด้วยสารป้องกันการเกิดสนิมเพื่อป้องกันการเกิดสนิม อาจมีการเสริมเหล็กหากมีความจำเป็น และทำการปะบริเวณที่ทำการขจัดคอนกรีตออก สุดท้ายทำการทาสารเคลือบกันซึม หรือทำการเทพื้นทับเพื่อป้องกันสารเคมีเข้าไปกัดกร่อนเหล็กเสริม ขนาดของการปะมีขนาดต่างๆกัน โดยอาจจะเล็กขนาดไม่กี่ตารางนิ้วไปจนถึงหลายตารางฟุต การปะเป็นวิธีที่นิยมสำหรับที่ใช้ในการซ่อมแซม แต่อย่างไรก็ตามหากต้องการจะให้การปะมีประสิทธิภาพสูงสุด ผู้ใช้ต้องเข้าใจวิธีการออกแบบ ก่อสร้าง และอัตราความเสื่อมสลายของโครงสร้าง

วิธีการซ่อมโดยการปะเหมาะในสถานการณ์ที่ระดับความเข้มข้นของสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตน้อย และบริเวณที่เกิดความเสียหายไม่มาก ยกตัวอย่างเช่น พื้นสะพานสามารถซ่อมได้โดยการปะ หากระดับความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนน้อยกว่า 1.2 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต และการหลุดร่อนถูกจำกัดพื้นที่โดยคาน

## 6.2 การซ่อมแซมคอนกรีตอัดแรง

### 6.2.1 การซ่อมแซมคอนกรีตอัดแรงที่หลัง Repair of Post-Tensioned Concrete Bridges

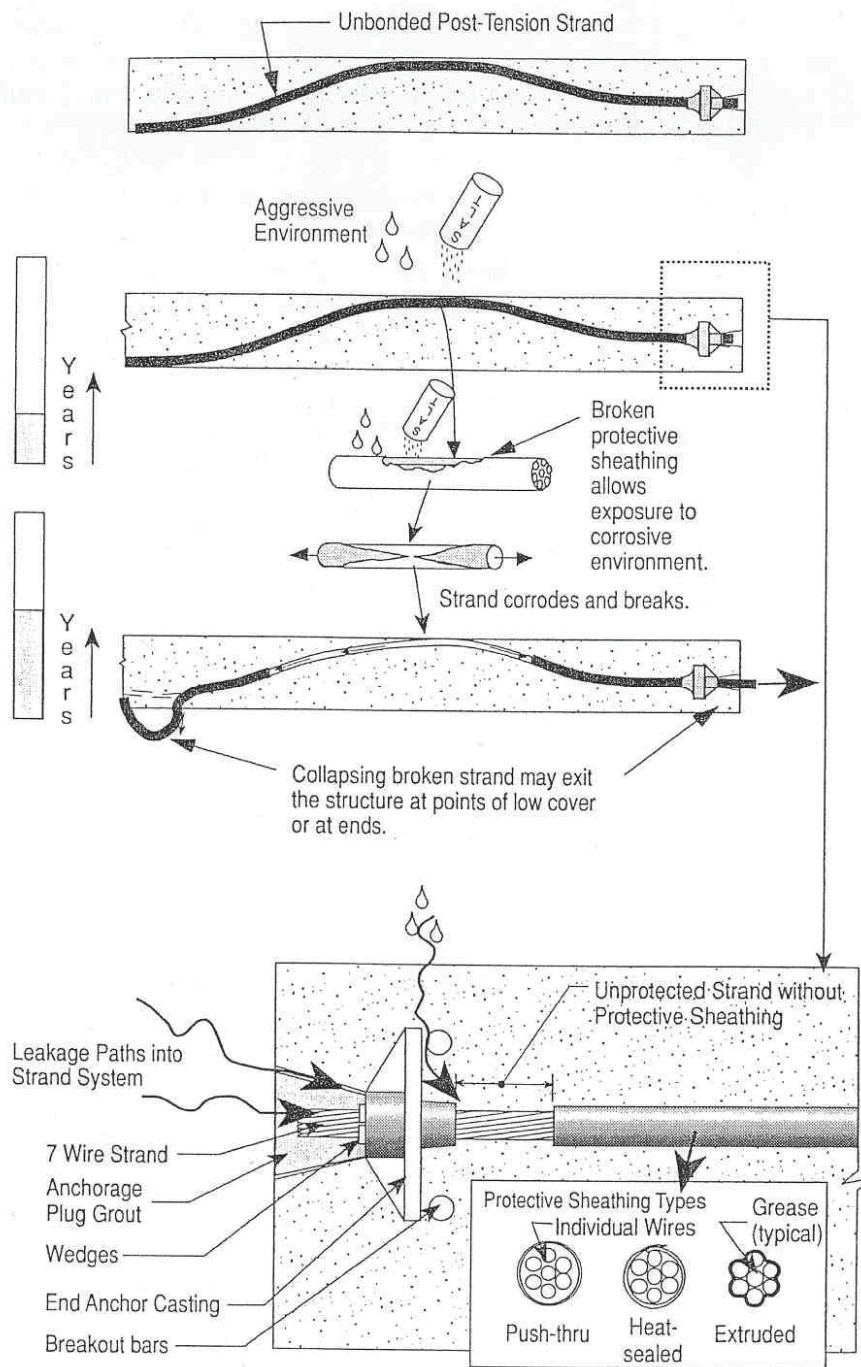
การซ่อมแซมสะพานคอนกรีตอัดแรงมีหลายสาเหตุ ลวดกลุ่ม (Tendon) อาจได้รับความเสียหายจากการติดตั้ง สาธารณูปโภค หรือระหว่างการบำรุงรักษา หรืออาจเกิดจากการกระแทก ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างอาจเปลี่ยนแปลงไป อย่างไรก็ตาม เหตุผลที่พบบ่อยที่นำไปสู่การซ่อมแซมก็คือการเสื่อมสภาพของคอนกรีตอัดแรง

ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของสะพานคอนกรีตอัดแรงที่หลัง (Post-Tension Concrete Bridges) ได้แก่ อายุของคอนกรีตอัดแรง การใช้งาน สภาพแวดล้อมที่สะพานตั้งอยู่ ลวดกลุ่ม (Tendon) ต้องรับน้ำหนักจากการดึงลวด และผลของการกัดกร่อนเส้นลวดอัดแรงมีผลทำให้เส้นลวดอัดแรงรับน้ำหนักได้น้อยลงอย่างมาก หากการกัดกร่อนยังไม่ได้รับการแก้ไข



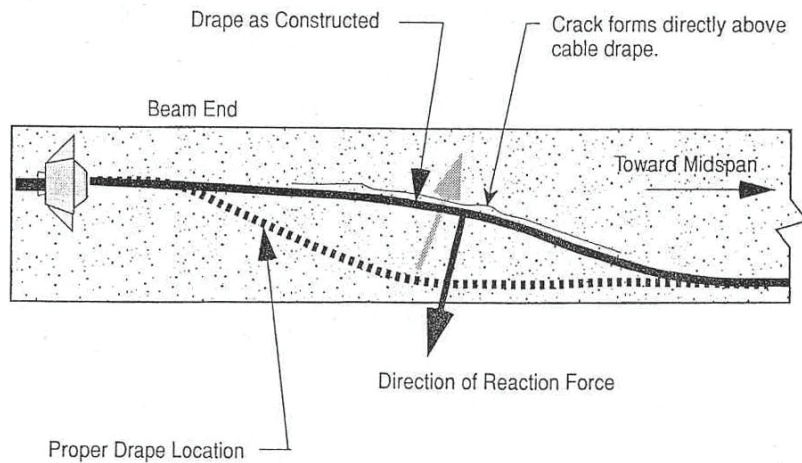
ดัดแรงจะลดลงเนื่องจากการกัดกร่อน ทำให้ความเค้นเกิดขึ้นที่หน้าตัดลวดอัดแรงอย่างมาก จนท้ายที่สุดความเค้นที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ลวดอัดแรงหักได้ (Break) ความเสียหายที่เกิดขึ้นทำให้คอนกรีตหุ้มเกิดการหลุดร่อน หรือแตกร้าว จากผลรวมกันของความยาวของลวดอัดแรง อัตราความเสียหาย จุดของความเสียหาย นำไปสู่ระยะหุ้มของจุดยึด (Anchorage) เกิดการแตกร้าวและการหลุดออก

ความเสื่อมสลายมักจะเริ่มจาก End Anchorage ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดความเสียหายได้ง่าย เนื่องจากเหล็กมีเพียง Grout Plug เป็นเครื่องป้องกันเท่านั้น ดังนั้นคลอไรด์ และสารเคมีสามารถโจมตี และซึมผ่านจุดที่คอนกรีตหุ้มเกิดการรอยแตกหรือ กร่อน ขบวนการกัดกร่อนแสดงไว้ในรูปที่ 6-1



รูปที่ 6-1 การกัดกร่อนเหล็กเสริมของ Unbonded Post-Tensioning Strands

ความเสียหายของสะพานคอนกรีตอัดแรงที่หลังยังมีสาเหตุอื่น เช่นการเกิดรอยแตกร้าวอันเนื่องมาจากการวางลวดที่ผิด หากมีการวางเหล็กที่ถูกต้อง แรงในลวดจะช่วยต้านทานน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง ในทางตรงกันข้าม หากการวางลวดไม่ถูกต้อง แรงในลวดจะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของความเค้น และสุดท้ายจะทำให้เกิดการแตกร้าวได้ ดังแสดงในรูปที่ 6-2 จะเห็นว่ากรวางลวดที่ไม่ถูกต้องนำไปสู่แรงดึงลง แทนที่จะเป็นแรงขึ้น หากคอนกรีตหุ้มที่แรงในลวดกระทำมีระยะไม่พอ จะนำไปสู่การแตกร้าวขึ้น



รูปที่ 6-2 เปรียบเทียบผลของการวางเหล็ก

ก. วิธีการซ่อมแซม

หลังจากการทดสอบและตรวจสอบโครงสร้าง เราสามารถจำแนกสภาพของโครงสร้างได้ 3 แบบ คือ

- ความเสื่อมสภาพไม่มาก และลวดอัดแรงยังอยู่ในสภาพสมบูรณ์ เป็นการเร็วไปที่จะทำการซ่อมแซม อาจทำการซ่อมแซมการหลุดร่อน ปิดรอยแตกร้าวเปลี่ยนตัวปิดรอยต่อ (Joint Filler) และปิดพื้นผิวที่เสียหาย ซึ่งวิธีการเหล่านี้เพียงพอต่อการทำให้สะพานคอนกรีตกลับมาดีเหมือนเดิม
- เกิดความเสียหายขึ้นที่ลวดอัดแรง แต่ไม่มีความเสียหายต่อการรับแรง ในกรณีนี้ สามารถแก้ไขได้ โดยการขยายเวลาการบำรุงดูแลรักษา ซึ่งรวมถึงการจัดคอนกรีตที่ Anchor โดยวิธีการ Sandblasting ทำการคลุมลวดอัดแรง และทำการอัดจารบีลงไป แล้วทำการป้องกันผิวเหล็กด้วยอีพ็อกซี่ (Epoxy Coating)
- โครงสร้างมีความเสียหายรุนแรง ในกรณีนี้ การซ่อมหรือการเปลี่ยนมีความจำเป็น หากความเสียหายเกิดขึ้นจากการกัดกร่อน ขึ้นส่วนที่อยู่ติดกันควรได้รับการตรวจสอบ

หากพบว่าคอนกรีตมีความเสียหายเนื่องจากการกัดกร่อนอย่างมาก และโครงสร้างต้องการการซ่อมแซม หรือการเสริมกำลัง วิธีการซ่อมแซมสามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้

- การซ่อมแซมลวดอัดแรง และ Anchor เดิม
- เปลี่ยนระบบ Post-Tensioning ภายใน



- เปลี่ยนระบบ Post-Tensioning ภายนอก ด้วยการสร้างที่คล้ายกัน หรือด้วยวิธีการเสริมแรงภายนอก โดยเหล็กเสริม
- เปลี่ยนพื้นสะพานทั้งหมด หรือเปลี่ยนสะพานทั้งหมด

วิธีการสุดท้ายอธิบายด้วยตัวมันเอง ส่วนวิธีการซ่อมแซมที่เหลือนี้จะได้อธิบายต่อไปในบทนี้ การเลือกวิธีการซ่อมแซมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งได้แก่ สภาพรวมทั้งหมดของโครงสร้าง ระดับความเสียหาย และงบประมาณในการซ่อมแซมในปัจจุบัน และในอนาคต หากความเสียหายมาก แต่เกิดขึ้นเฉพาะจุด และมีผลกระทบต่อลวดอัดแรงไม่มาก อาจพิจารณาทำการซ่อมแซม แต่หากความเสียหายรุนแรงและมีผลกระทบต่อลวดอัดแรงจำนวนมาก ควรมีการเปลี่ยนแปลงระบบหรือกระทั่งทำการเปลี่ยนสะพานใหม่ทั้งหมด

ลวดอัดแรงที่ถูกกัดกร่อนปานกลางสามารถทำการซ่อมแซม หรือทำการเปลี่ยนบางส่วนได้ ลวดอัดแรงที่ได้รับความเสียหายเชิงกลอาจพิจารณาสำหรับการซ่อมแซม การซ่อมแซมไม่ใช่เพียงแค่ลวดอัดแรง แต่ต้องรวมถึงการปะคอนกรีตที่เกิดความเสียหาย และเปลี่ยนวิธีการป้องกันการกัดกร่อน การซ่อมแซมโดยทั่วไปมีดังต่อไปนี้

- การเปลี่ยนลวดอัดแรงบางส่วน
- การเปลี่ยน Dead-End Anchorage
- การเปลี่ยน Intermediate Stressing Anchorage
- การเปลี่ยน Stressing Anchors
- ทาจารบีและทำการคลุมลวดอัดแรงใหม่

การเปลี่ยนลวดอัดแรงบางส่วนจำเป็นต้องมีการต่อกันระหว่างลวดอัดแรงใหม่กับลวดอัดแรงเก่า จุดที่ง่ายต่อการต่อลวดอัดแรงคือบริเวณที่ลวดอัดแรงอยู่กึ่งกลางของชิ้นส่วนคอนกรีตซึ่งมีระยะคอนกรีตหุ้มที่เพียงพอ และง่ายต่อการทำงาน เมื่อลวดอัดแรงถูกเปลี่ยนด้วยวิธีการนี้ มักจะมีการปล่อยแรงดึงในลวดอัดแรงที่จุดอื่น

หากการดึงลวดอัดแรงออกมาจากคอนกรีตทำได้ยาก อาจใช้วิธี Trenching Method ในการดึงลวด วิธีการสามารถทำได้โดยทำการตัดคอนกรีตออกบางส่วน ทั้งส่วนบนและส่วนล่างของชิ้นส่วน ในบริเวณที่มีระยะหุ้มน้อย จากนั้นนำลวดอัดแรงใหม่ใส่เข้าไปในช่องว่างคอนกรีตที่ถูกเปิดออก ควรมีการใส่ปลอกหนา 40 มม. เพื่อทำการป้องกันลวดอัดแรงจากการกัดกร่อน หลังจากนั้นทำการดึงลวด เมื่อ Anchors ติดตั้งแล้ว และพื้นคอนกรีตได้รับการปะ และการบ่มแล้ว

#### ข. การเปลี่ยนลวดอัดแรงแบบภายใน (Internal Replacement of Post-Tensioning Tendons)

เมื่อพบว่าคอนกรีตอัดแรงมีความเสียหายเกิดขึ้นมาก สามารถซ่อมแซมได้โดยการเปลี่ยนลวดอัดแรงที่ได้รับความเสียหาย วิธีการพื้นฐานสำหรับการเปลี่ยนลวดอัดแรงสามารถทำได้ดังต่อไปนี้ เริ่มด้วยการทำค้ำยัน ชิ้นส่วนที่ได้รับความเสียหาย แล้วทำการปลดปล่อยแรงดึงในลวดอัดแรง ถอดและเปลี่ยน จุดยึด (Anchor) ทำการซ่อมแซมคอนกรีตและเหล็กรอบๆ Anchor ควรมีการเสริมการป้องกันไม่ให้เกิดการกัดกร่อนเหล็กเสริม สุดท้ายทำการติดตั้งลวดอัดแรงใหม่และดึงลวด

วิธีการนี้เหมาะสำหรับความเสียหายที่ง่ายต่อการหา มากกว่าความเสียหายที่ยากต่อการค้นหา อย่างเช่นความเสียหายจากการกัดกร่อน ซึ่งความเสียหายจากการกัดกร่อนนี้เป็นการยากที่จะบอกว่าลวดอัดแรงจำนวนกี่เส้นที่ได้รับความเสียหาย นอกจากนี้ลวดอัดแรงบางเส้นอยู่ในจุดที่สำคัญมากกว่าลวดอัดแรงอื่น

ในบางสถานการณ์ การเปลี่ยนลวดอัดแรงภายในทำได้ยาก เนื่องจากข้อจำกัดทางงบประมาณ น้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างเพิ่มขึ้นอย่างมากขณะทำการซ่อมแซม หรือการติดตั้งลวดอัดแรงใหม่เข้าไปในท่อเดิมทำได้ยาก เมื่อการเปลี่ยนลวดอัดแรงภายในไม่สามารถทำได้ การติดลวดอัดแรงภายนอกของชิ้นส่วนโครงสร้างเดิมเป็นทางเลือกอื่นที่ทำได้

ค. วิธีการอัดแรงจากภายนอก (External Post-Tensioning)

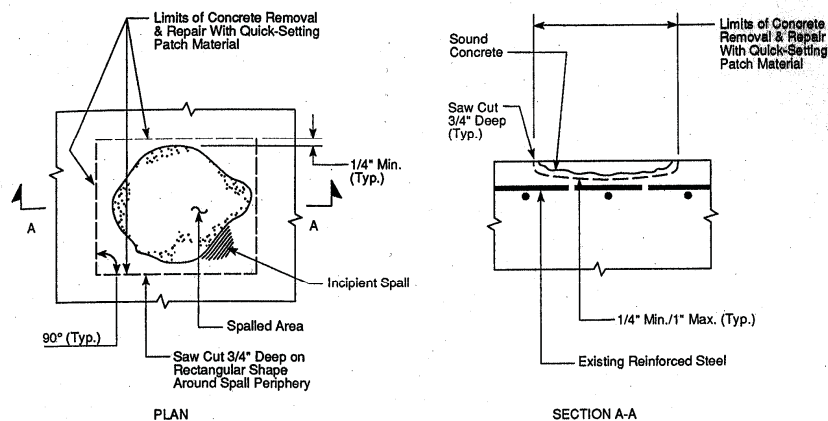
ลวดอัดแรงใหม่สามารถนำมาใช้ในการเสริมกำลังแก่ชิ้นส่วนที่อัดแรง โดยลวดอัดแรงไม่จำเป็นต้องอยู่ในตำแหน่งของลวดอัดแรงเดิม สามารถวางลวดอัดแรงใหม่ที่ภายนอก ไม่ว่าจะด้านข้างหรือด้านล่างของชิ้นส่วน ขั้นตอนแรกของการซ่อมแซมด้วยวิธีการอัดแรงจากภายนอก เริ่มด้วยการตรวจสอบและซ่อมแซมคอนกรีตเดิม ซึ่งรวมถึงรอยแตกที่เกิดจากการรับแรงดัด หลังจากนั้นทำการติดตั้งลวดอัดแรงใหม่และปรับให้ลวดมีระดับดังที่ได้ออกแบบไว้ควรมีการป้องกันลวดอัดแรงใหม่จากไฟและการกัดกร่อน โดยใช้คอนกรีตหุ้มไว้อย่างมิดชิดวิธีการอัดแรงจากภายนอกยังเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการซ่อมชิ้นส่วนที่ไม่ได้ถูกอัดแรง วิธีการนี้ใช้เพื่อช่วยในการเพิ่มแรงเฉือนและแรงดัดของชิ้นส่วนคอนกรีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งคานที่มีช่วงยาวมากๆ วิธีการยังสามารถใช้ในการหยุดการแอ่นตัวของคอนกรีตที่เสียหาย

6.3 การดูแลและซ่อมแซมพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

พื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นโครงสร้างที่ต้องรับการกระแทกจากการจราจรและเป็นโครงสร้างที่สัมผัสกับสภาพแวดล้อม อันเป็นผลทำให้พื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นชิ้นส่วนที่เกิดความเสื่อมสภาพเร็วกว่าชิ้นส่วนอื่นของสะพาน ทั้งนี้มักพบว่าสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กต้องการซ่อมแซมพื้นสะพานบ่อยมากกว่าชิ้นส่วนอื่นในสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก การซ่อมแซมพื้นสะพานขึ้นอยู่กับความลึกของความเสียหาย และความรุนแรงของการเกิดสนิมเหล็ก โดยในส่วนตัวต่อไปจะได้พูดถึงขั้นตอนในการซ่อมแซมพื้นสะพานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

6.3.1 การซ่อมแซมแบบตื้น (Shallow Repairs)

บริเวณที่ความเสียหายของคอนกรีตลึกไม่เกิน 19 มม. และเหล็กเสริมยังไม่โผล่สู่บรรยากาศ สามารถใช้การซ่อมแซมแบบตื้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 6-3 การซ่อมแซมสามารถทำได้โดยการตัดคอนกรีตที่เสียหายเป็นความลึกประมาณ 19 มม. เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือสี่เหลี่ยมด้านเท่า หลังจากนั้นทำการสกัดคอนกรีตที่เสียหายออกด้วย Jack Hammer หรือใช้แรงดันน้ำ ก่อนที่ทำการเทวัสดุซ่อมแซม ต้องทำความสะอาดผิวหน้าให้ทั่ว แล้วทำการเทและบ่มวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมซึ่งได้แก่ ปูนทรายที่ปราศจากการหดตัว ก่อตัวเร็ว และมีการปรับปรุงโดยใช้โพลีเมอร์ (Non-Shrink, Quick-Setting Polymer Modified Cementitious Mortar)



รูปที่ 6-3 การซ่อมแซมพื้นสะพานแบบตื้น ใช้ในบริเวณที่คอนกรีตเสียหายไม่มาก และเหล็กเสริมไม่โผล่

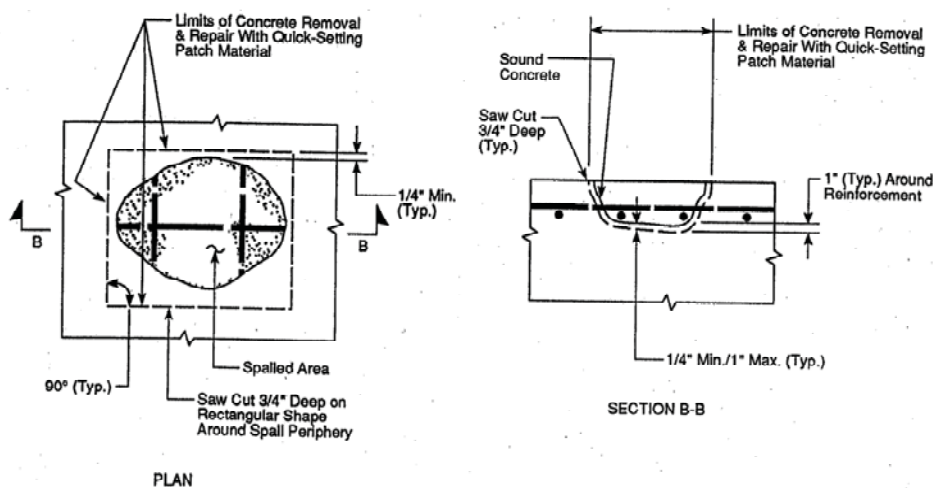


### 6.3.2 การซ่อมแซมแบบลึก (Deep Repairs)

คอนกรีตที่เสียหายลึกกว่าชั้นเหล็กเสริมต้องการการซ่อมแซมแบบลึก ขั้นตอนการซ่อมแซมเริ่มจากการสกัดคอนกรีตที่เสียหายเหมือนการซ่อมแซมแบบตื้น แต่ว่าสกัดจนถึงผิวชั้นบนของเหล็กเสริมโดยการสกัดคอนกรีตออกอีก 1 นิ้ว ได้ชั้นผิวบนของเหล็กเสริม ต่อจากนั้นทำความสะอาดเหล็กเสริมด้วยการฉีดน้ำหรือทราย และหากหน้าตัดเหล็กเกิดการสูญหาย ควรทำการเพิ่มเหล็กเข้าไปเพื่อให้โครงสร้างรับน้ำหนักได้เหมือนเดิม หลังจากนั้นทำการซ่อมแซมด้วยวัสดุซ่อมแซม หากบริเวณที่ต้องทำการซ่อมแซมมีขนาดใหญ่ มักใช้คอนกรีตทั่วไปในกรณีนี้ ภายหลังจากทำความสะอาดคอนกรีตเดิมด้วยแรงดันน้ำ หรือแรงดันลม ควรทำการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่ด้วยการทาสีฟ็อกซีลงบนผิวคอนกรีตเดิม และผิวชั้นล่างเหล็กเสริม ก่อนที่สีฟ็อกซีจะแข็งตัวควรทำการเทคอนกรีต เคลี่ยคอนกรีตและทำการตกแต่งผิว หากมีการนำปูนทรายกวดเร็วมาใช้ มักใช้สีฟ็อกซีทาเพียงเหล็กเสริมเท่านั้น เนื่องจากปูนทรายมีคุณสมบัติยึดเหนี่ยวที่ดีกับคอนกรีตเดิมอยู่แล้ว

ในการซ่อมแซมแบบลึกนี้ ไม่มีความจำเป็นที่ต้องทำการเททับ (Overlay) ไปพร้อมกัน หากมีการนำคอนกรีตที่ปรับปรุงด้วยลาเท็กซ์ การเปลี่ยนแปลงของความลึกในการซ่อมแซมอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยแตกเนื่องจากการหดตัวรอบๆรอยต่อระหว่างคอนกรีตเก่าและวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม หากมีการนำคอนกรีตที่มี Slump ต่ำ (Low-Slump Concrete) มาใช้ จะเป็นการยากที่จะทำการเคลือบคอนกรีตและผิวเหล็กเสริมก่อนที่จะทำการเททับ

ในพื้นที่สะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก หากมีการหลุดร่อนมากกว่า 30 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวสะพานทั้งหมด และบริเวณที่ไม่แน่ใจว่าควรทำการเปลี่ยนพื้นสะพานหรือไม่ วิธีการซ่อมแซมทั่วไปทำได้โดยสกัดคอนกรีตที่เสียหายจากทางเดินถึงทางเดิน และต้องสกัดคอนกรีตจนต่ำกว่าระดับผิวบนเหล็กเสริม หลังจากนั้นทำการเทคอนกรีตให้เหนือระดับเหล็กเสริม และทำการปูทับด้วยคอนกรีตปรับปรุงด้วยลาเท็กซ์ หรือทางเลือกอื่นคือการใช้คอนกรีตที่มีการยุบตัวต่ำเพื่อให้พื้นสะพานคอนกรีตมีระดับดังที่ได้ออกแบบไว้

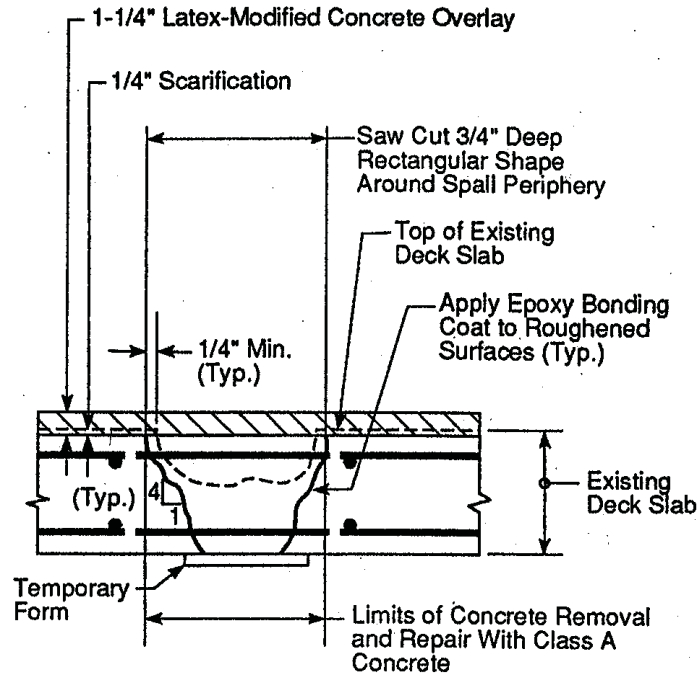


รูปที่ 6-4 การซ่อมแซมพื้นสะพานแบบลึก ใช้ในบริเวณที่คอนกรีตเสียหายลึก

### 6.3.3 การเปลี่ยนพื้นสะพานคอนกรีตทั้งหมด (Total Deck Replacement)

บริเวณที่ความเสียหายของพื้นสะพานคอนกรีตลึกกว่าครึ่งหนึ่งของความลึกของสะพาน เป็นสัญญาณที่แสดงให้เห็นว่าควรทำการเปลี่ยนพื้นสะพานคอนกรีต ในขณะที่วิธีการซ่อมที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น การซ่อมแซมด้วยการเปลี่ยนพื้นสะพานคอนกรีตทั้งหมดนี้สามารถทำได้เหมือนกับวิธีการซ่อมแซมวิธีอื่น คือสกัดคอนกรีตด้วยการตัดและนำคอนกรีตที่

6-5 หลังจากนั้นขบวนการซ่อมแซมให้ดำเนินการตามขบวนการซ่อมแซมแบบลึก เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ให้ทำการตัดลวดที่รับน้ำหนักแบบหล่อคอนกรีต



รูปที่ 6-5 การเปลี่ยนพื้นสะพานคอนกรีตทั้งหมด

### 6.3.4 การเทพื้นสะพาน (Deck Overlays)

พื้นสะพานคอนกรีตในปัจจุบันไม่ได้ถูกออกแบบไว้ให้ป้องกันต่อเกลือคลอไรด์ นอกจากนี้แล้วพื้นสะพานคอนกรีตไม่เพียงแต่ถูกโจมตีจากเกลือคลอไรด์ พื้นสะพานคอนกรีตยังต้องรับน้ำหนักจากรถบรรทุกทุกหนัก อุณหภูมิที่รุนแรง และความชื้นในอากาศ เพื่อจะป้องกันการเสื่อมสภาพในคอนกรีต ปัจจุบันพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้มีข้อกำหนดให้สามารถต้านทานต่อปัจจัยที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยข้อกำหนดใหม่ในการออกแบบคือ

- 1.) ระยะเวลาที่คอนกรีตจนถึงผิวบนเหล็กเสริมต้องมีระยะ 50 มม. ดังที่ได้กำหนดไว้ใน AASHTO
- 2.) ต้องทำการฉาบอีพ็อกซีบนผิวบนและผิวล่างของเหล็กเสริม
- 3.) ในถนนที่มีการจราจรหนาแน่น พื้นผิวถนนควรมีการปูทับด้วยคอนกรีตที่ปรับปรุงด้วยลาเท็กซ์ ซิลิกาฟุ่ม หรือคอนกรีตที่หนาแน่นและมีการยุบตัวต่ำ โดยมีความหนา 38 มม.
- 4.) ควรใช้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติที่ดี กล่าวคือใช้คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำ มีกำลังรับน้ำหนักที่สูงขึ้น และมีฟองอากาศในคอนกรีตที่เหมาะสม

วิธีการในการป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายวิธีอื่น ได้แก่การเพิ่มน้ำหนักจร (Live Load) เพื่อรองรับน้ำหนักรถบรรทุกที่เพิ่มมากขึ้น เช่นการใช้ HS24 ซึ่งมีน้ำหนักสูงกว่า HS20 อยู่ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ในการออกแบบสะพานคอนกรีตที่มีความสำคัญและมีปริมาณการจราจรที่หนาแน่น ในสภาวะที่มีปริมาณเกลือคลอไรด์สูงเช่นสะพานที่ตั้งอยู่ในบริเวณทะเล ได้มีการศึกษาและพบว่าถึงแม้ว่าจะมีการใช้พื้นสะพานคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.45 หรือน้อยกว่า พร้อม



65 มม. พบว่าพื้นสะพานคอนกรีตจะปราศจากคลอไรด์เป็นเวลาถึง 50 ปี โดยมีการทำผิวสะพานคอนกรีตใหม่ที่อายุ 25 ปี อายุการใช้งานของสะพานสามารถมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นหากมีการเคลือบผิวล่างเหล็กเสริมด้วยอีพ็อกซี่ โดยการประเมินอายุการใช้งานของพื้นสะพานที่กล่าวมานี้ไม่ได้พิจารณาการขีดสีของผิวคอนกรีตที่สามารถสูงถึง 12 มม. ในระยะเวลา 20 ปี การขีดสีของผิวคอนกรีตทำให้ลดความต้านทานต่อสารเคมีให้ต่ำกว่าระดับที่ยอมรับได้ ดังนั้นการซ่อมแซมผิวคอนกรีตด้วยการปูทับอาจมีความจำเป็นต้องทำก่อนที่จะคาดเอาไว้

บนผิวบนของพื้นสะพานคอนกรีตต้องทำร่องตั้งฉากกับทิศทางที่รถวิ่งเพื่อเพิ่มความต้านทานต่อการไถล เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดลื่นในขณะที่ยานพาหนะเบรก การทำร่องตั้งฉากบนผิวคอนกรีตนี้ควรทำขณะที่คอนกรีตอยู่ในช่วงพลาสติก (Plastic Stage) ก่อนที่ทำการบ่มคอนกรีต ร่องที่ทำนี้ตั้งฉากกับทิศทางจราจรและมีขนาดลึก 5 มม. หรืออาจทำร่องลึกลงด้วยวิธีการตัดคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ยกตัวอย่างเช่นในรัฐนิวเจอร์ซีย์ได้มีการทำร่องด้วยวิธีการตัดให้ร่องมีความลึก 6 มม. โดยมีระยะห่างประมาณ 1 ฟุต

การป้องกันไม่ให้เกิดผิวสะพานคอนกรีตเกิดความเสียหายเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า การป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายนี้สามารถกระทำได้โดยการปูทับ โดยประโยชน์ของการปูทับคือ

- 1.) ป้องกันการกระแทกจากรถบรรทุกที่มีน้ำหนักสูง และป้องกันการบุกรุกของเกลือคลอไรด์ น้ำมัน กรด สารละลาย และสารปนเปื้อนอื่นๆ
- 2.) ป้องกัน Carbonation
- 3.) ทำให้ผิวสะพานมีระดับที่ต้องการ เนื่องจากในบางครั้งผิวถนนไม่ได้ระดับเนื่องจากการขีดสีจากการจราจร
- 4.) ป้องกันการลื่นไถล
- 5.) ทำให้ผิวถนนที่ปรากฏมีความสม่ำเสมอ

โดยวัสดุที่ใช้ปูทับควรมีกำลังที่เหมาะสม มีความต้านทานต่อการขีดสี ป้องกันไม่ให้น้ำไหลซึมผ่าน ด้านทานต่อการแข็งและละลายตัวของน้ำ และยึดติดกับคอนกรีตอย่างดี นอกจากนี้แล้ววัสดุที่ใช้ในการปูทับควรปฏิบัติงานได้ง่ายและมีราคาที่เหมาะสม

เมื่อไม่นานมานี้ วัสดุที่ใช้ในการปูทับนั้นมีหลากหลายให้เลือกใช้ โดยวัสดุที่ใช้กันมากที่สุดมี 3 ชนิดด้วยกันคือ คอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูงและมีค่ายุบตัวต่ำ (Low-Slum Dense Concrete) คอนกรีตปรับปรุงด้วยลาเท็กซ์ (Latex-Modified Concrete) และบิทูมินัสคอนกรีต (Bituminous Concrete) ทั้งนี้ได้มีการนำวัสดุใหม่คือซิลิกา คอนกรีต (Silica Concrete) มาใช้เป็นวัสดุในการปูทับพื้นสะพานคอนกรีต

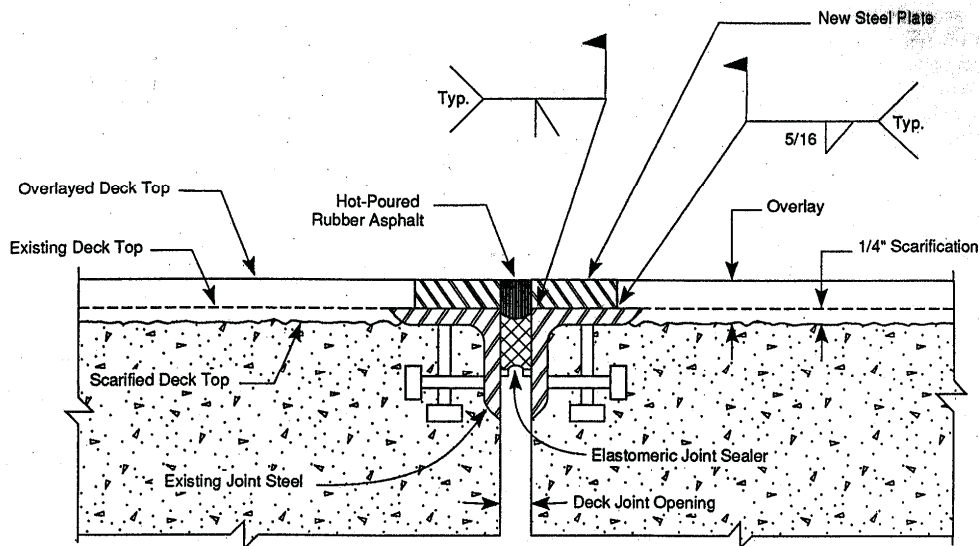
ปัญหาในการเท Overlays คือการทำให้ Overlay มีระดับเดียวกับถนน มีอยู่ 2 วิธีที่จะช่วยแก้ปัญหาคือ

1. ให้มีบริเวณที่เริ่มมีการเปลี่ยนระดับ (Transition) ในบริเวณ 25 ฟุตสุดท้ายของพื้นสะพาน ในกรณีที่ Overlay บาง วิธีการนี้อาจเป็นการประหยัด ตัวอย่างเช่น ล้ำกรับ overlays หนา 25 ถึง 32 มม. ระยะ 25 ฟุตสุดท้าย ทำให้มีระยะลาดความลึกจาก 6 มม. ขยายไปสู่ความหนาของ overlays คือ 25 ถึง 32 มม. ที่ Abutment เมื่อทำการเทคอนกรีต ระดับของถนนและจะเป็นระดับเดียวกัน โดยวิธีการนี้มีข้อเสียที่เด่นชัดคือขนาดหน้าตัดของเหล็กเสริมจะมีขนาดหน้าตัดที่เล็กลงในบริเวณพื้นสะพานที่มีขนาดแคบลง นอกจากนี้วิธีการนี้ไม่สามารถใช้กับสะพานที่มีช่วงห่างระหว่างเสาน้อยกว่า 75 ฟุต เพราะอาจมีผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของหน้าตัดอย่างรุนแรง

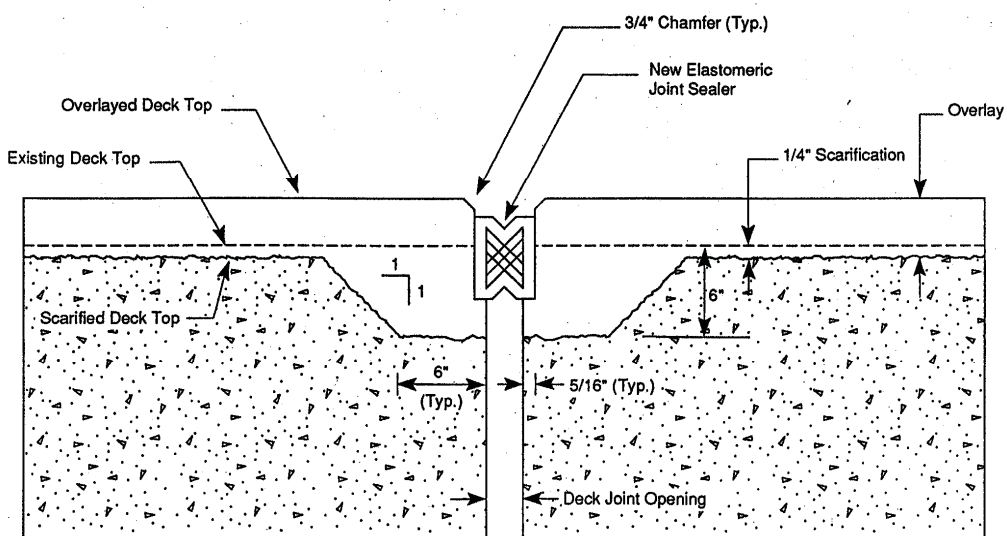


2. ยกรอยต่อพื้นสะพานให้สูงกัน และให้มีบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับ อยู่ในส่วนของเข้าสู่ถนน (Approach Roadway) หากใช้วิธีนี้ บริเวณที่เปลี่ยนระดับจะอยู่ที่จุดปลายสะพาน และลาดลงสู่ส่วนของเข้าสู่ถนน หากรอยต่อพื้นสะพานทำจากเหล็กเสริม ต้องทำการเชื่อมแผ่นเหล็กเพื่อที่จะยกระดับให้ได้ระดับที่ต้องการ หากรอยต่อพื้นสะพานทำจากคอนกรีต อาจต้องทำการก่อสร้างรอยต่อพื้นสะพานใหม่ เพื่อให้ได้ระดับที่ต้องการ ในอดีต สะพานขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ถูกสร้างขึ้นโดยปราศจากการใช้สิ่งป้องกันที่รอยต่อพื้นสะพาน สะพานเหล่านี้จะได้รับความเสียหาย เช่นคอนกรีตหลุดร่อน แตกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย หากสะพานเหล่านี้ต้องรับรถบรรทุกที่หนัก และต้องสัมผัสกับเกลือคลอไรด์ ดังนั้นในปัจจุบันได้มีการแนะนำให้ปรับปรุงรอยต่อพื้นสะพานเช่นการใส่เหล็กเสริมเข้าไปในการซ่อมแซมพื้นสะพาน ดังแสดงในรูปที่ 6-8

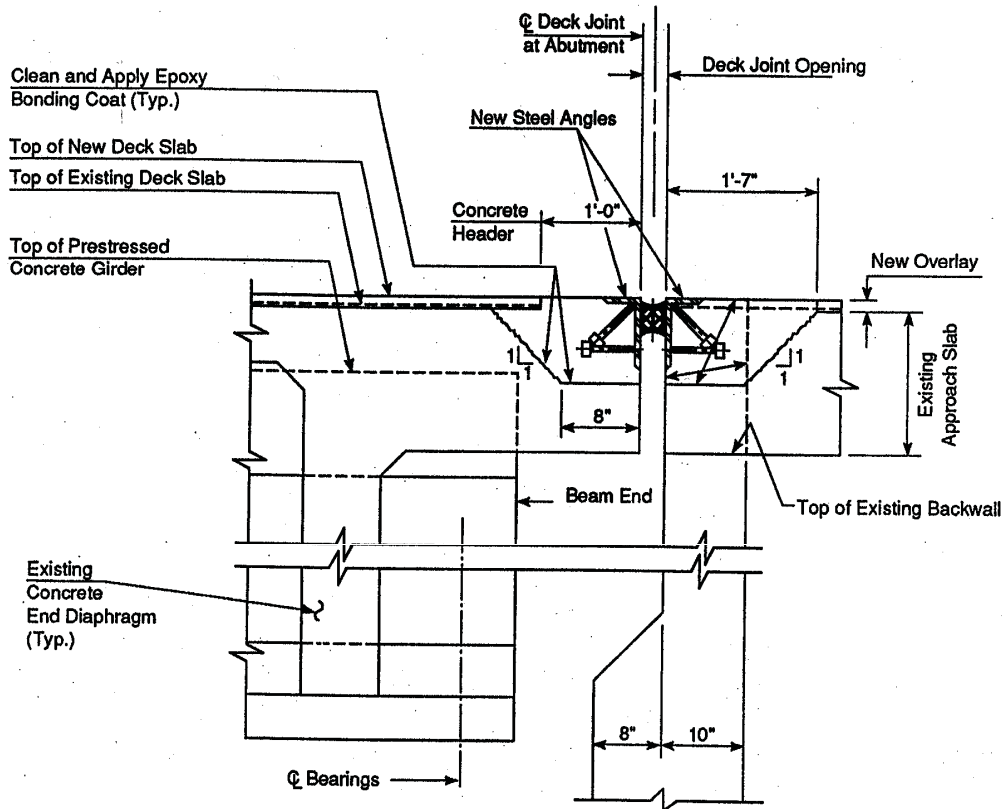
หากสะพานมีมุมเอียงมาก ทำให้ไม่สามารถปรับระดับในบริเวณพื้นสะพานได้ ในกรณีนี้ให้ทำการปรับระดับในบริเวณส่วนของเข้าสู่ถนน โดยเริ่มจากมุมของสะพานที่ตั้งฉากกับทางจราจรและต่อเนื่องเป็นระยะทาง 25 ฟุตเข้าสู่บริเวณที่เข้าสู่ถนน



รูปที่ 6-6 การเพิ่มเหล็กเข้าไปเพื่อให้ระดับของรอยต่อเท่ากับระดับของ Overlay



รูปที่ 6-7 การยกระดับรอยต่อในกรณีที่ไม่มีการใส่เหล็กเสริม



รูปที่ 6-8 การใช้เหล็กในการป้องกันความเสียหายในรอยต่อพื้นสะพาน

### 6.3.5 การเทพื้นผิวสะพานเดิมด้วยบิทูมินัส (Bituminous Overlay)

การเทพื้นผิวสะพานเดิมด้วยบิทูมินัสเป็นวัสดุที่ใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากวัสดุมีราคาไม่แพงและให้คุณภาพที่ดีเหมาะสมสำหรับพื้นสะพานที่มีปริมาณการจราจรเบาบาง และไม่ต้องสัมผัสกับเกลือคลอไรด์มากนัก คอนกรีตส่วนใหญ่ถูกออกแบบมาให้ถูกปกป้องโดยให้แอสฟัลต์ติกคอนกรีตปูทับสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้นความเสียหายที่เกิดขึ้นสามารถพบได้จากการสังเกตความเสียหายที่เกิดขึ้นใต้สะพาน การเกิดเชื้อรา รูปแบบการแตก และการหลุดร่อน เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดสนิมเหล็ก และความเสื่อมสภาพของคอนกรีต โดยการสกัดบิทูมินัสออก และทำการทดสอบพื้นสะพานคอนกรีตด้วยวิธีที่กล่าวมาแล้ว สามารถประเมินได้ว่าพื้นสะพานที่เกิดความเสียหายนั้นควรแก้ไขความเสียหายด้วยการเปลี่ยนบางส่วน (Partial Depth Repairs) หรือต้องทำการเปลี่ยนพื้นสะพานใหม่ตลอดทั้งความหนา (Full Depth Repair) วิธีการซ่อมแซมสามารถปฏิบัติได้ดังที่ได้อธิบายแล้ว ซึ่งการซ่อมแซมมักต้องการการกรู้อผิว Overlay ออกทั้งหมด หลังจากทำการซ่อมแซมด้วยการเปลี่ยนพื้นสะพานใหม่ทั้งหมดแล้ว พื้นสะพานมักถูกคลุมด้วยชั้นเมมเบรนที่กันน้ำ (Water Proofing Membrane) ในบางครั้งควรทำการ Track Coat เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นเมมเบรนที่กันน้ำกับพื้นสะพานคอนกรีตเดิม โดยขอบเมมเบรนมักจะถูกห่อหุ้มเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำซึมผ่านได้ หลังจากนั้นให้ทำการปูชั้นบิทูมินัสคอนกรีตความหนา 50 มม. และทำการบดอัดจนกระทั่งได้ความหนาแน่นและได้ระดับผิวหน้าดังที่ออกแบบไว้

## 6.4 การซ่อมแซมโครงสร้างส่วนบน

ขั้นตอนแรกในการซ่อมแซมคือหาขอบเขตของบริเวณที่ต้องการการซ่อมแซม โดยทั่วไประหว่างที่ทำการตรวจสอบรอยต่อโดยวิศวกร และผู้ตรวจสอบ บริเวณที่อยู่รอบๆรอยหลุดร่อนจะถูกเคาะด้วยค้อน บริเวณที่เป็นโพรงเสียงของค้อนจะแสดงให้เห็น ทำการบันทึกและทำเครื่องหมายบนผิวคอนกรีต หลังจากนั้นทำการซ่อมแซมตามขั้นตอนที่จะได้อธิบายต่อไป

หากการสกัดคอนกรีตที่เสื่อมสภาพออกทำให้น้ำตัดคอนกรีตมีกำลังในการรับน้ำหนักลดลง ดังนั้นขั้นตอนที่ทำการซ่อมแซมควรมีการทำค้ำยัน

- 1.) สกัดคอนกรีตที่เสื่อมสภาพออก หลังจากที่ทำการค้ำยันขึ้นส่วนที่ต้องการทำการซ่อมแซม ตัดขึ้นส่วนให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมความลึก 3/4 นิ้ว ก่อนที่จะทำการสกัดคอนกรีตที่เสื่อมสภาพออก โดยวิธีการสกัดคอนกรีตที่นิยมใช้มักใช้วิธี สกัดคอนกรีตด้วยแรงดันน้ำความดันต่ำ แต่ค้อนน้ำหนักไม่เกิน 15 ปอนด์ก็สามารถใช้ได้ บริเวณที่เหล็กเสริมหรือลวดอัดแรงโผล่ ควรทำการสกัดคอนกรีตรอบๆเหล็กเสริมอย่างน้อย 1 นิ้ว เพื่อให้ปูนทรายยึดเหนี่ยวกับคอนกรีต
- 2.) สกัดสนิมเหล็ก ควรทำการสกัดสนิมเหล็กออกจากเหล็กเสริมหรือลวดอัดแรงด้วยทราย หมายเหตุ เป็นไปได้ยากที่จะทำการสกัดสนิมเหล็กออกจากลวดอัดแรงในคานอัดแรงเพราะลวดแต่ละเส้นอาจเกิดสนิมเหล็กในลวดแต่ละเส้น หลังจากนั้นทำการเพิ่มเหล็กเสริมเข้าไปทดแทนหน้าตัดเหล็กส่วนที่สูญเสียไปเนื่องจากสนิมเหล็ก โดยต้องมีระยะทาบที่เพียงพอ
- 3.) ทำความสะอาดผิวหน้า ระหว่างที่ทำการสกัดสนิมเหล็ก ควรทำความสะอาดผิวคอนกรีตให้ปราศจากเศษหินเศษปูนบนผิวคอนกรีต หลังจากนั้นใช้ความดันลมหรือความดันน้ำทำความสะอาดผิวคอนกรีตอีกครั้ง
- 4.) เคลือบสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว หากเลือกใช้คอนกรีตธรรมดาในการซ่อมแซม ควรทำการเคลือบสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวบนผิวเหล็กเสริม และผิวคอนกรีต หากใช้ Grout ที่มีปริมาณซีเมนต์สูงเพื่อเป็นสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว ควรทำการพรมน้ำให้ทั่วผิวคอนกรีตทั้งหมดก่อนทำการเคลือบด้วย Grout ถ้าหากใช้ปูนทรายที่ปรับปรุงด้วย Polymer ซึ่งมีการก่อตัวเร็วควรใช้ในกรณีนี้จำเป็น



รูปที่ 6-9 รอยแตกและรอยหลุดร่อนตามแนวของคานคอนกรีตอัดแรง



- 5.) การเทคอนกรีต การเทคอนกรีตสามารถใช้ได้ทั้งวิธีธรรมดา หรือใช้วิธี Shortcrete ถ้าต้องมีการใช้แบบในการเทควมมีการใช้สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวพิเศษเช่น Sika Armatec เพื่อที่จะป้องกันการแตกร้าวก่อนเวลา ถ้าบริเวณที่ทำการซ่อมแซมมีขนาดไม่ใหญ่ วิธีการที่เหมาะสมคือการใช้ปูนทรายที่ปราศจากการหดตัวและปรับปรุงด้วยโพลีเมอร์ (Nonshrink Cement Mortar Containing Polymer) ในการซ่อมแซม
- 6.) การบ่มคอนกรีต คอนกรีตที่ได้รับการซ่อมแซมควรที่ได้รับการบ่มตามระยะเวลาที่บอกไว้ในข้อกำหนด หรือตามที่คุณผลิตวัสดุซึ่งใช้ในการซ่อมแซมคอนกรีต
- 7.) การป้องกันบริเวณที่ทำการซ่อมแซมจากสิ่งรอบข้าง ระหว่างการซ่อมแซม ควรวางแผนการป้องกันจากรถ ป้องกันคนเดินเท้า ป้องกันสาธารณูปโภค ป้องกันทางน้ำ ทั้งข้างบนและข้างล่างสะพานด้วยเครื่องป้องกันด้านกัน เครื่องหมาย และการทำทางเบี่ยงแก่จราจร อย่างเหมาะสม

ปัญหาที่พบในคอนกรีตอัดแรง โดยนิยาม คอนกรีตอัดแรงหมายถึงชิ้นส่วนคอนกรีตที่ถูกอัดด้วยการดึงลวดอัดแรง ดังนั้นการเกิดสนิมเหล็กในลวดอัดแรงสามารถนำไปสู่การสูญเสียแรงในลวดอัดแรงและการกัดตัวในคอนกรีต โดยผลที่จะเกิดตามมาจะมีความรุนแรงสูงกว่าคอนกรีตเสริมเหล็ก รอยแตกและข้อบกพร่องอื่นๆในคอนกรีตอัดแรงควรได้รับการตรวจสอบเพื่อที่จะหาสาเหตุความเสียหาย และผลกระทบต่อสะพานที่จะเกิดตามมาอย่างละเอียดถี่ถ้วน โดยทั่วไปควรทำการติดตามและประเมินรอยแตกที่สามารถเกิดขึ้นได้จากสาเหตุต่อไปนี้

- เนื่องจากความสามารถต่อการรับแรงเฉือนและแรงบิดของสะพานไม่เพียงพอ
- การออกแบบรายละเอียดไม่ได้มาตรฐาน
- การออกแบบเพื่อรับแรงเนื่องจากอุณหภูมิไม่เหมาะสม
- ไม่ได้จัดเตรียมการสำหรับน้ำหนักบรรทุกใหม่ เช่นรถบรรทุกหนักไว้ในกาออกแบบ
- การใช้วิธีการที่ไม่เหมาะสมในการผลิต
- การวางตำแหน่งลวดอัดแรงไม่เหมาะสม
- คนงานไม่มีความรู้ความชำนาญในการทำงาน รวมถึงวัสดุที่ใช้ไม่ได้คุณภาพ
- รอยแตกสามารถเกิดขึ้นในระหว่างการขนย้ายชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast Units) จากโรงงานมายังสถานที่ก่อสร้าง
- แรงที่สูงเกินที่ใช้ในการก่อสร้าง (Erect Forces)
- การเกิดสนิมในลวดอัดแรง

#### 6.4.1 การซ่อมแซมความเสียหายในคานอัดแรงรูปตัว I (Prestressed Concrete I-Beam)

ความเสียหายเนื่องจากการชนสะพานของยานพาหนะเป็นสาเหตุที่พบบ่อย ทำให้คอนกรีตเสียหายและลวดอัดแรงโผล่มาสู่ภายนอก ถ้าคอนกรีตไม่มีการสูญเสียอย่างมากการโผล่ของเหล็กมาสู่ภายนอกไม่ได้ทำอันตรายต่อคานทันที คอนกรีตที่หลุดร่อนสามารถซ่อมแซมได้หลังจากที่ทำความสะอาดลวดอัดแรงแล้ว ในบางครั้งการให้น้ำหนักต่อคานก่อน (Preload) มีความจำเป็นในการป้องกันรอยแตกต่อคอนกรีตที่ทำการปะเข้าไปใหม่

รอยบากในลวดอัดแรงหนึ่งหรือหลายเส้นจากทั้งหมดเจ็ดเส้นไม่รุนแรง แม้แต่ลวดบิดหักในลวดอัดแรงอาจไม่ลดกำลังรับแรงของคานอย่างมาก โดยในสหรัฐอเมริกา หลายรัฐไม่ได้มีมาตรการในการแก้ไขลวดที่เสียหายเพียงเส้นเดียว

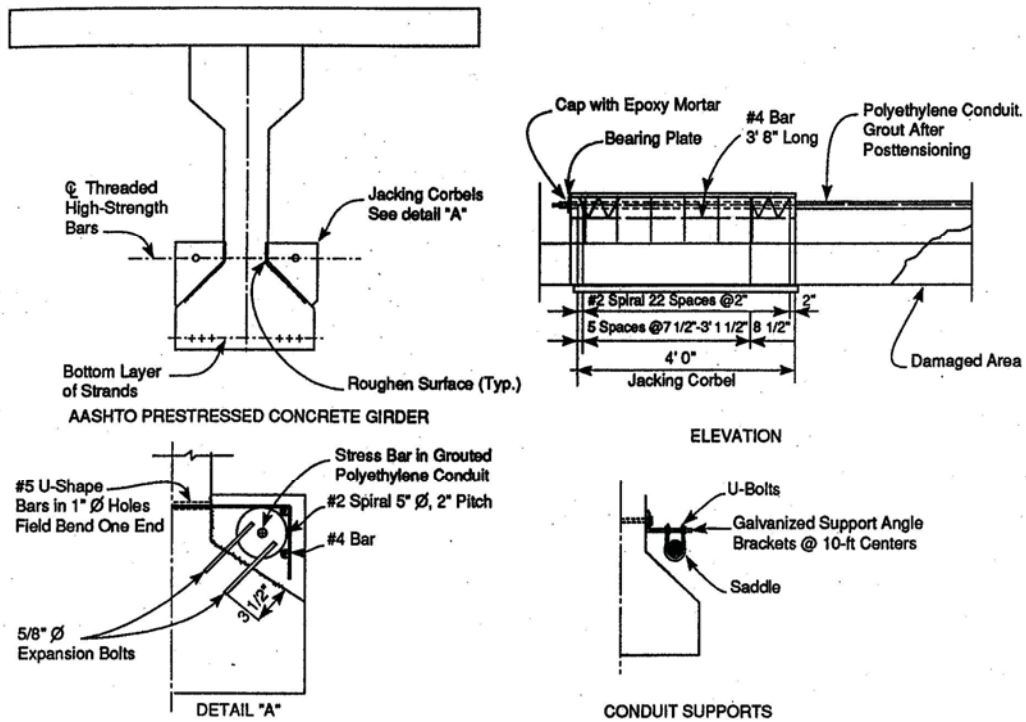
(Yield) ในกรณีนี้ให้ทำ

การซ่อมแซมเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในคานที่ไม่ได้อัดแรง

หากความเสียหายเกิดขึ้นกับลวดอัดแรงมากกว่า 2 Strands ถูกพิจารณาว่าเป็นความเสียหายที่มีความรุนแรง และโดยทั่วไปควรที่ต้องการซ่อมแซม Strand การทาบหรือเพิ่มกำลังรับแรงแก่คาน (Beam Strengthening) ด้วยวิธีอัดแรงทีหลัง (Posttensioning) ควรทำการเบี่ยงการจรรยาจรรยาจากบริเวณบนคานที่เกิดความเสียหายทันที และควรทำค้ำยันชั่วคราวทันที หลังจากนั้นทำการประเมินความเสียหาย แล้วทำการวิเคราะห์แรงเค้นเนื่องจากน้ำหนัก และความสามารถในการรับแรงสูงสุด (Ultimate Load Capacity) ในการวิเคราะห์ต้องพิจารณาว่าลวดอัดแรงทั้งหมดที่เสียหายเกิดความเสียหายอย่างรุนแรง และรอยแตก การหลุดเป็นชั้นเล็กน้อยของคอนกรีตควรที่จะถูกลบออกจากคุณสมบัติของหน้าตัดแรงดึงในลวดอัดแรงในลวดที่ไม่มีคอนกรีตห่อหุ้มควรทำการทดสอบโดยวิธีไม่ทำลายหรือวิธีทำลาย

### ก. การอัดตัวทีหลัง (Post-tensioning)

หนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมในการซ่อมแซมคานอัดแรงคือการอัดแรงทีหลังจากภายนอก (External Posttensioning) วิธีการนี้ยังถูกนำมาใช้ในการเพิ่มกำลังรับแรงของคอนกรีตอัดแรงที่ไม่เสียหายแต่กำลังรับแรงไม่เพียงพอ วิธีการซ่อมแซมด้วยวิธีอัดแรงทีหลังได้ถูกแสดงในรูปที่ 6-10 โดยในบริเวณทั้งสองข้างของความเสียหาย แป้นหูช้างถูกสร้างขึ้นและติดตั้งในบริเวณปีกคานด้านล่างที่ไม่เกิดความเสียหายดังแสดงในรูป ลวดกลุ่มแบบดิ่งทีหลัง ซึ่งโดยทั่วไปใช้แท่งเหล็กกำลังรับแรงสูง  $F_s = 150 \text{ ksi}$  ถูกใส่ผ่านเข้าไปในแป้นหูช้างและถูกยึดติดกับแผ่นเหล็ก หลังการทำการใส่น้ำหนักก่อน (Preloading) คานจะถูกซ่อมและยอมให้ก่อตัว เมื่อคอนกรีตแข็งแรงพอ ให้ทำการย้ายน้ำหนักที่ทำการใส่เข้าไปก่อนออกจากคาน และทำการอัดแรงแบบดิ่งทีหลังจากภายนอกโดยการหมุนน็อตที่ปลายของแท่งเหล็กกำลังรับแรงสูง โดย น็อตนี้จะถูกวางในท่อพลาสติกและอัดด้วย Pressure Grout ทั้งนี้ควรมีค้ำยันหากแท่งเหล็กกำลังรับแรงสูงมีความยาวมาก

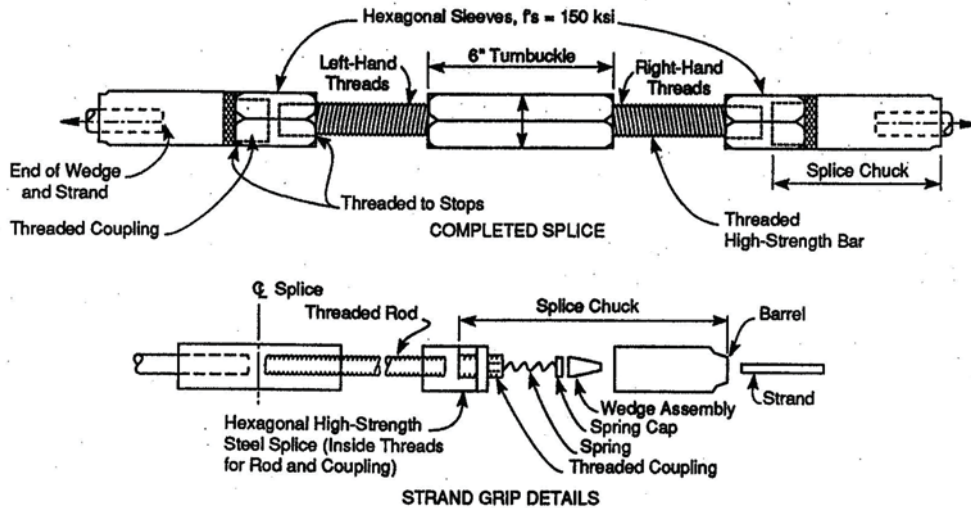


รูปที่ 6-10 การซ่อมแซมด้วยวิธีอัดแรงที่หลังของคานคอนกรีตอัดแรง

เป็นรูปร่างที่จะวางในบริเวณที่สามารถเจาะรูผ่านตัวคานโดยปราศจากการรบกวนลวดเหล็กกลุ่มที่เกี่ยว หากต้องการเพิ่มกำลังการถ่ายเทแรงเฉือนก็สามารถทำได้โดยการทำให้ขรุขระในบริเวณที่เป็นรูปร่างและคานที่ต้องการซ่อมแซมสัมผัสกัน และทำการติดตั้งสลักเกลียวที่ขยายตัวได้ในผิวเฉียงของปีกคานล่าง

### ข. การทาบภายใน (Internal Splicing)

วิธีการที่มีประสิทธิภาพในการซ่อมแซมคือการใช้ลวดกลุ่มที่เกี่ยวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว กำลังรับแรงสูงสุด 270 ksi ซึ่งแสดงในรูป 6-11 ทั้งนี้ลวดที่เสริมเข้าไปจะต่อเข้ากับปลายลวดที่ได้รับ ความเสียหาย ระยะทาบจะถูก หมุนเพื่อทำให้เกิดแรงดึงขึ้นในลวดกลุ่มที่เกี่ยวที่เท่ากับลวดเส้นติดกัน โดยการซ่อมแซมเริ่มจากการจับลวดที่เสียหาย ด้วย Chuck กับ Coupling หลังจากนั้น ทำการขัน Turnbuckles ซึ่งติดกับแท่งเหล็กกำลังสูงสองอัน เข้าไปใน Coupling จนสุด โดยการขัน Turnbuckle นี้จะทำให้เกิดแรงดึงขึ้น ก่อนที่จะทำการทาบ อาจมีความจำเป็นที่ต้องทำการใส่น้ำหนักเข้าไปก่อน การใส่น้ำหนักเข้าไปก่อนเป็นที่นิยมหลังจากที่ทำการดึงลวดทาบ และก่อนที่จะทำการซ่อมแซมคอนกรีตที่หลุดร่อน หากหน่วยแรงที่เกิดขึ้นไม่เกินกำลังรับแรงของคาน



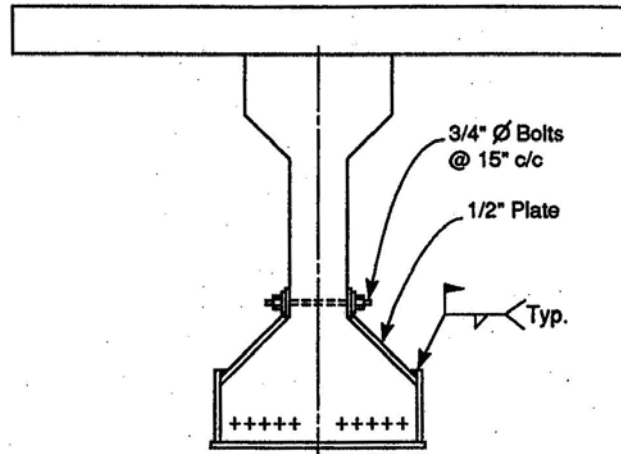
รูปที่ 6-11 รายละเอียดการทาบสำหรับการทาบภายในของลวดกลุ่มตีเกลียวอัดแรงซึ่งได้รับความเสียหาย

**ค. การประกบแผ่นเหล็ก (Metal Sleeve Splice)**

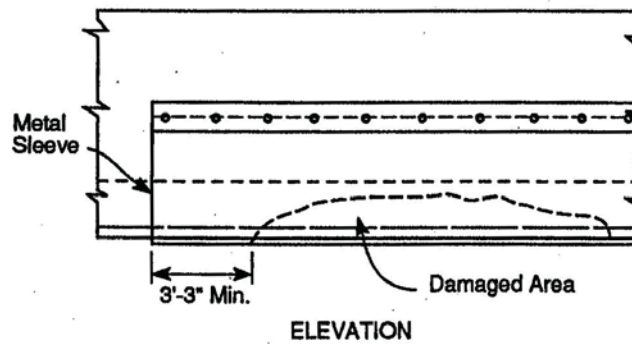
วิธีนี้คือขบวนการซ่อมแซมคอนกรีตคานแบบภายนอก วิธีนี้โดยปกติแล้วไม่มีการดึงแรงเข้าไปอีก ถึงแม้ว่าแรงบางส่วนหรือทั้งหมดได้ถูกใส่เข้าไปในขณะที่ทำการใส่น้ำหนักเข้าไปก่อนทำการซ่อมแซม บริเวณที่เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงต่อลวดกลุ่มตีเกลียว หรือบริเวณที่คอนกรีตหายไปเป็นปริมาณมาก การประกบแผ่นเหล็กเข้าไปด้วยวิธีนี้มักใช้สำหรับทำให้คานคอนกรีตกลับมาสู่สภาพที่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากการใช้แผ่นเหล็กปะกับคอนกรีตทำให้ไม่สวยงาม น่าดู ดังนั้นควรทำการทาสีให้เข้ากับสีคอนกรีต และควรทาสีเป็นระยะๆ เพื่อช่วยรักษาแผ่นเหล็กและป้องกันแผ่นเหล็กจากการเกิดสนิม

ดังที่แสดงในรูปที่ 6-12 แผ่นเหล็กปะกับสามารถเชื่อมในโรงงาน หลังจากนั้นนำไปประกอบหน้างานด้วยการใช้สลักเกลียวหรือการเชื่อมในการประกบแผ่นเหล็กคู่คาน สามารถใช้การฉีดอีพ็อกซี่เข้าไปในช่องว่างขนาด 1/16 นิ้วเพื่อยึดเหนี่ยวแผ่นเหล็กปะกับกับคอนกรีต โดยช่องว่างนี้เกิดขึ้นจากการติดโลหะเข้าไปที่ผิวของแผ่นเหล็ก ทั้งนี้แผ่นเหล็กที่ใช้เป็นเหล็ก A36 ที่ป้องกันการเกิดสนิมด้วย Galvanize และผิวของแผ่นเหล็กปะกับต้องทำรอยขีดข่วนเพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวกับอีพ็อกซี่

การซ่อมแซมเริ่มจากการวางน้ำหนักที่จำเป็นเข้าไปก่อน หลังจากนั้นทำการซ่อมแซมคอนกรีต หลังจากนั้นกำลังคอนกรีตพัฒนาจนได้กำลังที่เพียงพอ ให้ทำการย้ายน้ำหนักออก แล้วทำการติดตั้งแผ่นเหล็กปะกับเข้าไป อีกวิธีการหนึ่งคือเราสามารถค้ำน้ำหนักไว้จนกระทั่งทำการติดตั้งแผ่นเหล็กปะกับและทำการ Grout โดยวิธีการนี้จะช่วยเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของการซ่อมแซมเนื่องจากแรงที่อัดเข้าไปในคอนกรีต



AASHTO PRESTRESSED CONCRETE GIRDER



ELEVATION

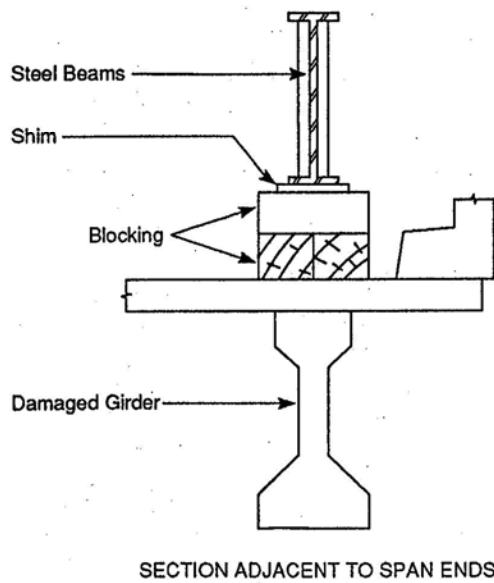
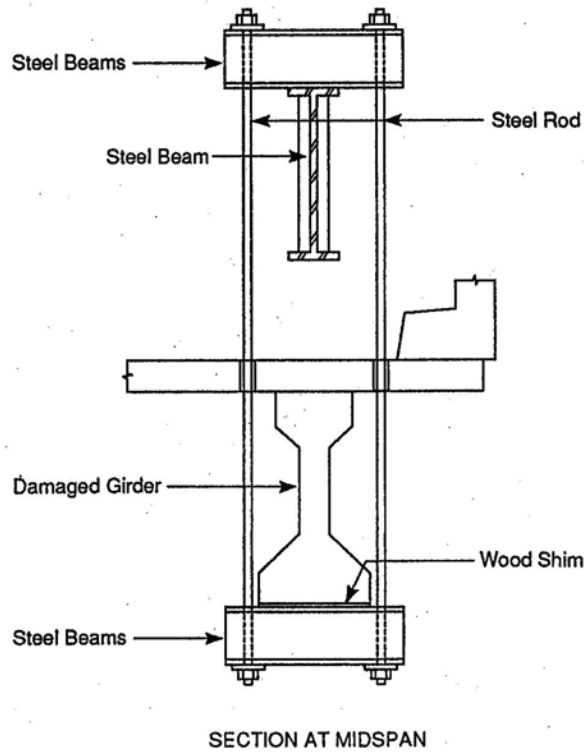
รูปที่ 6-12 การปะกับแผ่นเหล็กบนคานคอนกรีต

### ง. การใส่น้ำหนักก่อน (Preloading)

บริเวณที่คอนกรีตหายไปเป็นบริเวณอย่างมากโดยปราศจากการสูญเสียแรงในลวดอัดแรง คานสามารถซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพเดิมได้โดยการใส่น้ำหนักก่อนโดยไม่ต้องมีการดึงลวดอัดแรง Preload สามารถทำได้โดยการค้ำน้ำหนักซึ่งทำให้หน่วยแรงในคานยังอยู่ในหน่วยแรงที่ยอมให้ ตัวอย่างเช่นในกรณีคานอย่างง่าย (Simple Beam) หน่วยแรงอัดเนื่องจากการดึงลวดอัดแรงเกิดขึ้นในบริเวณกึ่งกลางคานภายใต้ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) เนื่องจากการสูญเสียคอนกรีตในปีกกลางของคานจะเป็นผลทำให้หน่วยแรงอัดเกินหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ Preloading คานจะช่วยลดหน่วยแรงอัดในปีกกลางของคานและช่วยยึดลวดกลุ่มที่เคลื่อนในบริเวณที่เกิดความเสียหาย การซ่อมแซมคอนกรีต และบ่มคอนกรีตให้แข็งตัวก่อนที่จะทำการเอาน้ำหนักออก แล้วทำการดึงลวดอัดแรงในบริเวณที่ซ่อมแซม ส่งผลให้เกิดแรงอัด ทำให้เพิ่มความคงทนและคุณสมบัติของคานอัดแรง

การใส่น้ำหนักสามารถทำได้โดยใช้ยานพาหนะ หรือใช้แม่แรง รูปที่ 6-13 แสดงระบบที่ซึ่งพื้นและคานอัดแรงด้านใต้ถูกกดไว้ที่กึ่งกลาง โดยแรงอัดถูกต้านด้วยคานเหล็กเพื่อที่จะถ่ายแรงเข้าสู่คานอัดแรง คานที่แสดงในรูปมีจุดหนุนอยู่ 2 จุด ซึ่งในแต่ละจุดมีแท่งเหล็กอยู่ใกล้ๆ และจุดหนุนนี้ถูกรัดเข้าด้วยกันด้วยแท่งเหล็กซึ่งร้อยผ่านรูที่เจาะทะลุพื้นสะพาน ระบบนี้ต้องการความกว้างน้อยกว่าความกว้างของรถ ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการซ่อมแซมในที่ที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่น และการปิดการจราจรจะส่งผลกระทบต่ออย่างมาก





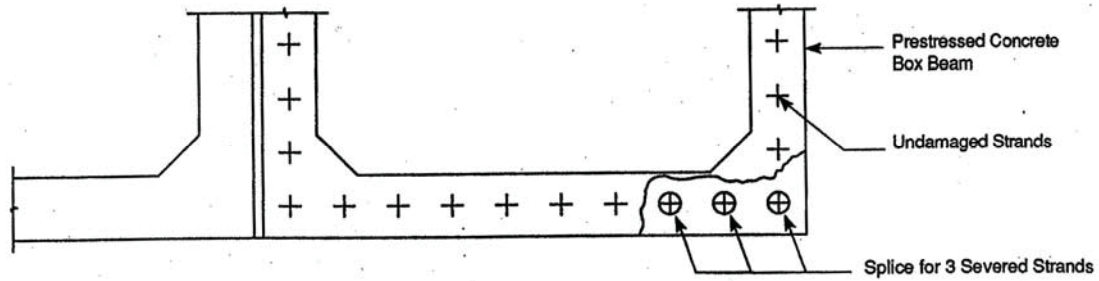
รูปที่ 6-13 Preloading คานคอนกรีตอัดแรงด้วยแม่แรงซึ่งใช้คานเหล็กยันบนพื้นสะพานคอนกรีต

#### 6.4.2 การซ่อมแซมคานกล่องคอนกรีตอัดแรง (Repair of Prestressed Concrete Box Beam)

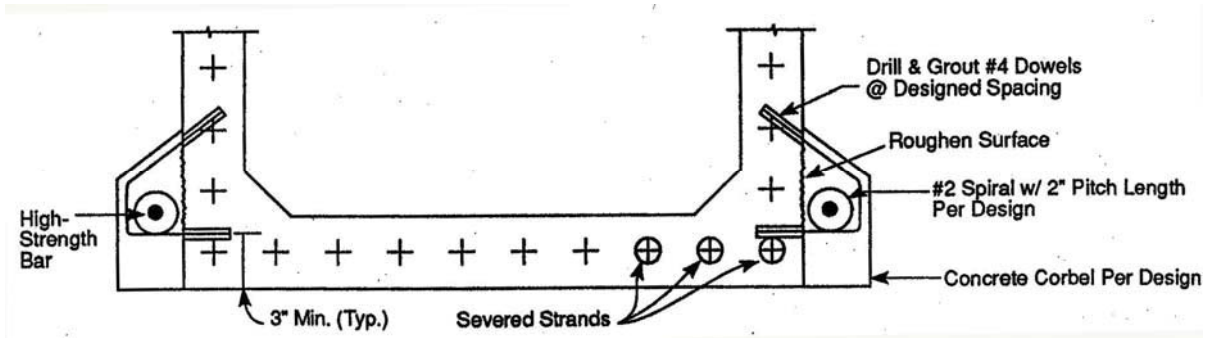
ในคานกล่องคอนกรีตที่ตอกกันหลายๆช่อง ความเสียหายที่เกิดจากการชนของรถมักจะเกิดขึ้นที่มุมด้านล่างของคาน โดยทั่วไปคานกล่องมีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายได้สูงกว่าคานรูปตัว I ไม่ว่าจะเป็นการสูญเสียคอนกรีตหรือสูญเสียลวดกลุ่มตีเกลียว เนื่องจากกำแพงและพื้นด้านล่างคานข้างจะบางและลวดกลุ่มตีเกลียวเรียงเป็นแถวเพียงแถวเดียว

เนื่องจากการเข้าไปสู่ภายในของกล่องคานข้างทำได้ยาก ดังนั้นวิธีการต่อทาบภายในดังแสดงในรูปที่ 6-14 เป็นวิธีการที่ปฏิบัติได้ง่ายสำหรับการซ่อมแซมคานกล่องที่เรียงติดกันหลายๆช่อง สำหรับคานกล่องที่ไม่ติดกัน สามารถซ่อมแซมได้

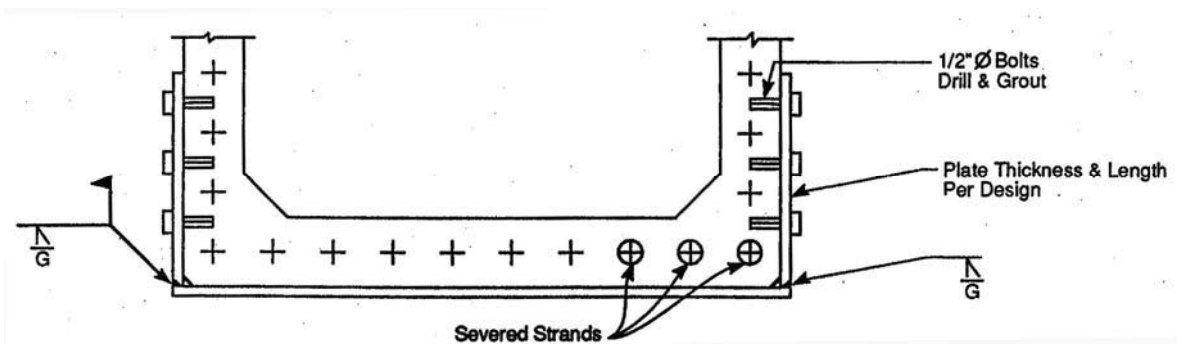
(External Prestressing) และการใช้แผ่นเหล็กปะกับ (Metal Sleeve Splicing) ดังแสดงในรูปที่ 6-15 ถึงรูปที่ 6-16



รูปที่ 6-14 การต่อลวดอัดแรงภายในของคานคอนกรีตอัดแรงที่อยู่ติดกัน



รูปที่ 6-15 การดึงลวดอัดแรงที่หลังจากภายนอกของคานกล่องคอนกรีตอัดแรงที่ไม่ตั้งอยู่ติดกัน



รูปที่ 6-16 การใช้แผ่นเหล็กปะกับคานกล่องคอนกรีตอัดแรงที่ไม่ตั้งอยู่ติดกัน

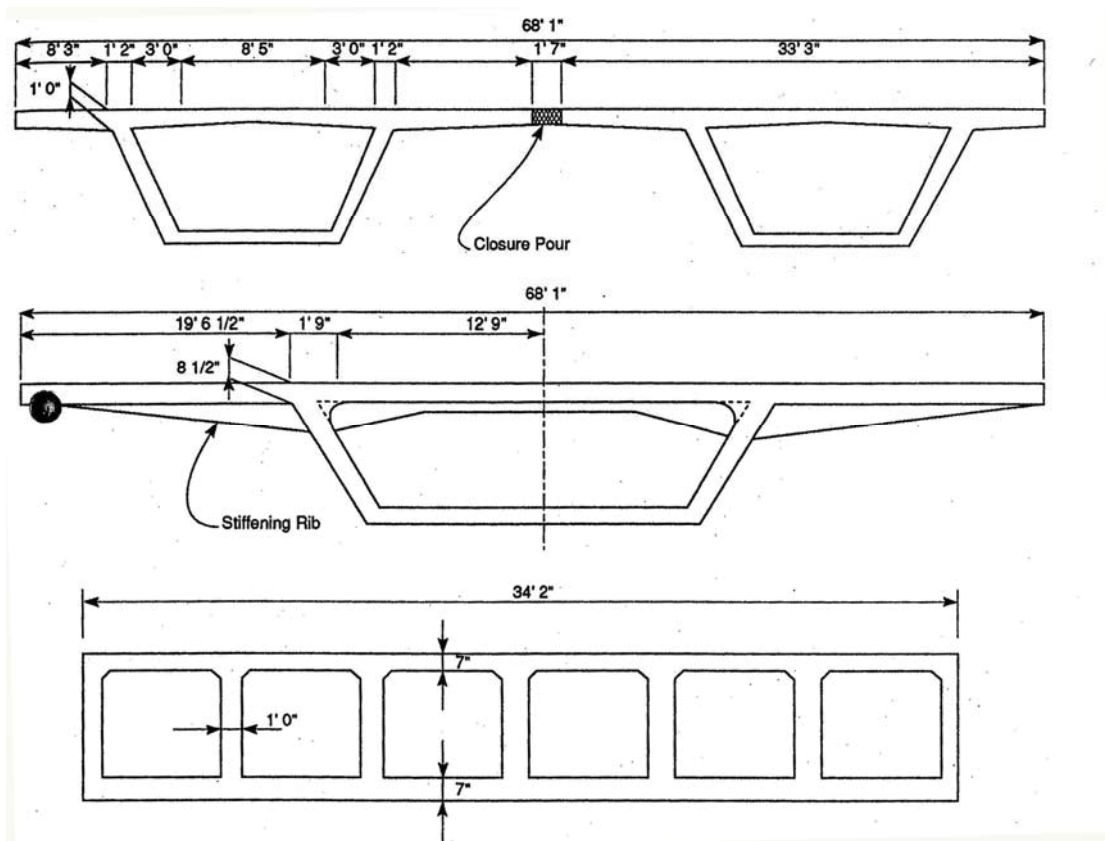
## 6.5 การซ่อมแซมคานกล่องคอนกรีต (Concrete Box Girders)

เพื่อที่จะรักษาให้คานกล่องคอนกรีตมีความคงทนต้องทำให้คานกล่องคอนกรีตอยู่ในแรงอัดตลอดเวลา โดยแรงอัดนั้นสามารถทำได้โดยการดึงลวดที่หลัง (Post-tensioning) ที่ซึ่งต้องปล่อยให้คอนกรีตแข็งตัวก่อน หลังจากนั้นจึงทำการดึงลวดกลุ่มทีละลวด ซึ่งจะทำให้เกิดแรงอัดขึ้นในคานกล่องคอนกรีต ผลจากหลักการนี้จะทำให้โครงสร้างคอนกรีตมีความแข็งแรงมาก แต่จะเกิดเฉพาะในกรณีที่แรงอัดในคานกล่องเพียงพอ

โดยความเสียหายที่เกิดขึ้นกับคานกล่องคอนกรีตอัดแรงที่พบมากคือ รอยแตกเนื่องจากแรงเฉือนและแรงดัด สามารถทำการซ่อมแซมได้โดยการเพิ่มการดัดลวดที่หลังจากภายนอก ซึ่งวิธีการนี้จะเพิ่มแรงอัดในชิ้นส่วนคอนกรีต และจะมีแนวโน้มที่ไปปิดรอยแตกเดิมและก่อให้เกิดรอยแตกใหม่ นอกจากนี้ความเสียหายยังสามารถพบได้ที่ที่ยึดลวดกลุ่ม (Tendon Anchorage) จุดหมุน (Hinge) และที่จุดที่ลวดกลุ่มเปลี่ยนแปลงระดับ

เพื่อความสวยงาม โครงสร้างสามารถถูกซ่อมแซมได้โดยการวางลวดที่เพิ่มเข้าไปโดยไม่ให้บุคคลภายนอกเห็น เช่น ภายในคานกล่อง ในบางกรณี เราสามารถใช้คอนกรีตน้ำหนักเบาคลุมลวดดัดที่หลังเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดบุคคลภายนอกเห็นลวดที่เพิ่มเข้าไป ข้อควรระวังคือ น้ำหนักที่เพิ่มเข้าไปต้องรวมเข้าไปในการวิเคราะห์โครงสร้าง

การไม่ซ่อมแซมโครงสร้างจะเป็นผลทำให้รอยแตกที่เกิดขึ้นขยายตัว เกิดสนิมเหล็กในเหล็กเสริม และลวดดัดที่หลังที่ได้ใส่เข้าไป ดังนั้นอายุการใช้งานของสะพานจะลดลงอย่างมาก การซ่อมแซมควรทำทันทีเมื่อเกิดความเสียหายขึ้น เพื่อจะจำกัดการขยายตัวของความเสียหาย และเพื่อที่จะทำให้คานกล่องกลับมาอยู่ในสภาพเดิม การซ่อมแซมโครงสร้างจะช่วยยืดอายุการใช้งานของโครงสร้าง ซึ่งจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการแทนที่โครงสร้างใหม่



รูปที่ 6-17 หน้าตัดของคานกล่องคอนกรีตที่ใช้งานทั่วไป

สาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกวิธีการซ่อมแซม อย่างไรก็ตามวิธีการซ่อมแซมโครงสร้างดัดแรงที่หลังมีข้อจำกัดเนื่องจากธรรมชาติของโครงสร้างที่มีการดัดแรงที่หลัง เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการดัดลวดมักจะถูกฝังในคอนกรีต ดังนั้นการเปลี่ยนลวดกลุ่มหรือที่ยึดจึงเป็นวิธีที่ทำได้ยาก ด้วยเหตุผลเดียวกันนี้ การเพิ่มเหล็กเสริมเข้าไปในบริเวณที่ต้องการการรับหน่วยแรงดัดที่เกิดจากการดัดลวดอัดแรง หน่วยแรงที่เกินนี้ต้องทำการเพิ่มหน้าตัดคอนกรีต หรือเหล็กเสริมในบริเวณที่ทำให้เกิดการกระจายแรงที่ดีที่สุด โดยวิธีการซ่อมแซมจะได้กล่าวดังต่อไปนี้



### 6.5.1 การฉีดอีพ็อกซี (Epoxy Injection)

การใช้เพียงแค่อีพ็อกซีอย่างเดียวฉีดเข้าไปอุดรอยแตก ไม่ได้เป็นการแก้ปัญหาในโครงสร้างคอนกรีตเนื่องจากอีพ็อกซีที่ใช้ไม่สามารถรับแรงดึงได้ ถ้าการแก้ไขรอยแตกไม่ได้รับการแก้ไขอย่างถูกวิธี การใช้อีพ็อกซีปิดรอยแตกแล้วทำที่อุดรอยแตกจะเปิดใหม่อีกครั้งหนึ่ง หรืออาจเกิดรอยแตกใหม่ขึ้นในบริเวณใกล้เคียงกับรอยแตกเดิม

การฉีดอีพ็อกซีเข้าไปในรอยแตกหลังการซ่อมแซม เป็นวิธีการที่แนะนำให้ทำ หลังจากทำการซ่อมแซมรอยแตกตามสาเหตุแล้ว การฉีดอีพ็อกซีจะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำซึมเข้าไปได้ ซึ่งจะเป็นการป้องกันเหล็กเสริมและลวดดึงที่หลังภายในโครงสร้าง นอกจากนี้แล้วการใช้อีพ็อกซียังช่วยในเรื่องการปิดรอยแตกไม่ให้เกิดคราบน้ำมันให้เห็นรอยแตก

### 6.5.2 การดึงลวดที่หลังจากภายนอก (External Posttensioning)

ในกรณีการซ่อมแซมด้วยการเสริมลวดดึงแรงที่หลังจากภายนอกต้องมีการตรวจสอบแรงดึงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างว่าหน่วยแรงดึงมีค่ามากเกินไปเกินกว่าค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้หรือไม่ ทั้งนี้การใช้ลวดดึงแรงที่หลังจากภายนอกหมายถึงการใช้ลวดใหม่ซึ่งบรรจุอยู่ในท่อซึ่งไม่ได้ฝังอยู่ในคานหรือพื้นของโครงสร้าง ท่ออาจอยู่ภายในโครงสร้างคานกล่อง หรืออาจติดอยู่กับคานกล่อง ประโยชน์และข้อเสียของแต่ละระบบจะได้กล่าวถึงในส่วนต่อไป

#### 1.) ท่ออยู่ภายในกล่อง (Ducts Inside The Box)

ประโยชน์ที่เด่นชัดที่สุดของวิธีนี้คือ การวางลวดกลุ่มในคานกล่องที่มีอยู่เดิมหลังจากทำการซ่อมแซมเสร็จแล้ว ทำให้เกิดร่องรอยของการซ่อมแซมน้อยมาก ในโครงการที่ต้องการความสวยงาม วิธีการใส่ลวดในท่อ และวางท่อในคานกล่องจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสม

ผลเสียของระบบนี้มี 2 ประการใหญ่ๆ คือ ประการที่หนึ่งขนาดของระยะเยื้องศูนย์กลาง (Eccentricity) ของแรงที่ใช้ดึงลวดมีขนาดน้อยกว่าการวางลวดไว้นอกคานกล่อง ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพลดลง ประการที่สองคือ ต้องทำงานภายในคานกล่อง และในหลายๆกรณี ต้องมีการเจาะ Diaphragms ซึ่งการทำเช่นนี้ทำให้ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงและเวลาที่ยาวนานขึ้น เนื่องจากความต้องการพื้นที่ที่ใช้ในการดึงลวด การใช้วิธีการนี้จึงเป็นไปได้ยากที่จะใช้ลวดเพียงเส้นเดียว เมื่อคำนึงถึงการสูญเสียแรงเนื่องจากการ Anchorage set การทับกันของลวดกลุ่มทำให้เกิดการสูญเสียแรงได้มากถึง 2 เท่า

#### 2.) ท่ออยู่ภายนอกกล่อง (Ducts Outside The Box)

ผลเสียของระบบท่อภายในกล่องคือผลดีของระบบท่ออยู่ภายในกล่อง วิธีนี้ง่ายต่อการติดตั้ง ให้ระยะเยื้องศูนย์กลางของแรงมากกว่าวิธีแรก และต้องการแรงที่ใช้ในการดึงลวดที่น้อยกว่า

อย่างไรก็ตามผลเสียที่ใหญ่ที่สุดของระบบนี้คือความสวยงาม ในโครงสร้างที่ต้องการความสวยงาม ต้องใช้ระบบท่อที่อยู่ภายในคานกล่องเพื่อซ่อนท่อที่ใส่ลวดกลุ่ม ซึ่งทำให้ราคาค่าก่อสร้างมีราคาสูงและยังเพิ่มน้ำหนักคงที่ (Dead Load) แก่โครงสร้างอีกด้วย

แต่ไม่ว่าจะเลือกใช้ระบบใดในการซ่อมแซม ต้องพิจารณาปัจจัยดังต่อไปนี้

- การกระจายตัวของหน่วยแรงเข้าไปสู่โครงสร้างเดิมเพื่อที่ช่วยป้องกันการแตกร้าวในบริเวณรอบๆลวดกลุ่มใหม่ที่ใส่เสริมเข้าไป
- การติดตั้งจุดยึดลวดเข้าสู่โครงสร้างเดิม
- การสูญเสียแรงในลวดอัดแรง

การซ่อมแซมด้วยการดึงลวดที่หลังจากภายนอกโครงสร้างยังสามารถทำได้โดยการอัดโครงสร้างเพื่อที่จะก่อให้เกิดหน่วยแรงเฉพะที่ เนื่องจากความลึกและความกว้างของคานกล่องค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับความยาว ทำให้เป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติเนื่องจากการสูญเสียแรงในลวดจะสูงมาก ทำให้เกิดวิธีการอัดโครงสร้างคอนกรีต โดยการใช้เหล็กทำการอัดโครงสร้างในแนวตั้ง (Vertical) หรือในแนวตั้งฉากกับโครงสร้าง (Transverse) เพื่อที่จะทำให้เกิดแรงอัดขึ้นในโครงสร้างเนื่องจากการใช้วิธีนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียแรงในลวดน้อย

โดยวัสดุที่ใช้ควรเป็นเหล็กพิเศษที่มีเกลียวถี่ ซึ่งเหล็กประเภทนี้เหมาะสำหรับใช้กับเหล็กที่ต้องการความยาวสั้น ทั้งนี้เกลียวที่มีความถี่สูงจะช่วยให้การควบคุมหน่วยแรงในระหว่างการดึงเหล็กและยังให้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงที่เกิดจากการดึงเหล็ก และการยืดของเหล็กที่ดีขึ้น

เนื่องจากโดยทั่วไปโครงสร้างเดิมไม่ได้ถูกออกแบบสำหรับการเพิ่มขึ้นของลวดดึงที่หลังจากภายนอก ดังนั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

- Punching Shear บนพื้นหรือคาน
- หน่วยแรงดัดที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่หรือคาน

การวางลวดตามแนวยาวจะช่วยให้การลดการแตกร้าวเนื่องจากหน่วยแรงเฉือน การใช้ลวดกลุ่มที่มีการเปลี่ยนระดับต้องการคอนกรีต block เพื่อที่จะช่วยป้องกันแรงตามแนวรัศมี การติดตั้งคอนกรีตเหล่านี้ต่อโครงสร้างเดิมต้องการรายละเอียดที่ต้องการการเอาใจใส่เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายเฉพาะจุด

### 3.) การเพิ่มหน้าตัด (Added Section)

ในบางสถานการณ์ ต้องมีการเพิ่มหน้าตัดคอนกรีตเพื่อที่จะทำให้การซ่อมแซมโครงสร้างด้วยวิธีดึงลวดอัดแรงที่หลังมีความสมบูรณ์ดังที่ได้ออกแบบ เพื่อที่จะป้องกันผลของหน่วยแรงในเฉพะที่เมื่อการอัดแรงเข้าไปในโครงสร้างอีกครั้ง ในจุดปลายของคาน ดังนั้นจึงควรมีการเพิ่มหน้าตัดคอนกรีตเข้าไปในบริเวณนี้ ซึ่งการทำเช่นนี้จะช่วยทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงเพื่อช่วยไม่ให้เกิดความเสียหายในโครงสร้างที่มีความหนาค่อนข้างบางอย่างเช่นในพื้นที่หรือในคาน

รอยแตกร้าวในกล่องคอนกรีตที่สร้างขึ้นเพื่อเปลี่ยนแนวของลวดอัดแรง (Deviation Block) เป็นผลมาจากแรงในแนวรัศมีซึ่งมีค่าสูงเพราะการเปลี่ยนแนวของลวดกลุ่ม ผลของแรงที่สูงขึ้นนี้ ทำให้ต้องการหน้าตัดคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นเพื่อต้านทานแรงนี้ ดังนั้นระหว่างการวิเคราะห์โครงสร้างต้องนำหน้าหน้าคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นนี้มาวิเคราะห์

วิธีอื่นที่ใช้ในการเพิ่มหน้าตัดโครงสร้างสามารถทำได้โดยการเพิ่มเหล็ก การติดตั้งเหล็กจากเข้าไปในโครงสร้างจะช่วยเพิ่ม section modulus และ ความสามารถในการรับแรง

### 4.) การปรับระดับจุดรับน้ำหนักโครงสร้าง (Support Level Adjustment)

การปรับระดับจุดรับน้ำหนักโครงสร้างเป็นวิธีการอัดแรงเข้าสู่โครงสร้างอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งจุดรับแรงจะถูกยกขึ้นเพื่อทำให้เกิดหน่วยแรงอัดในโครงสร้างตามจุดที่ต้องการ วิธีการนี้เป็นวิธีการซ่อมแซมที่ง่ายที่สุด แต่ประสิทธิภาพของวิธีการนี้มีผลเพียงชั่วคราว ผลของการเคลื่อนตัวของจุดรับน้ำหนักทำให้เกิดการกระจายตัวของแรงดัด แต่ภายใน 3 ปีแรงดัดที่เกิดขึ้นจะหายไปได้มากถึงครึ่งหนึ่ง วิธีการซ่อมแซมนี้เหมาะสำหรับการซ่อมแซมชั่วคราว และรอจนกระทั่งการซ่อมแซมถาวรได้ทำเสร็จเรียบร้อยแล้ว นอกจากนี้วิธีนี้ยังมีข้อดีคือการทำให้เกิดแรงอัดหลังจากที่รอยแตกร้าวถูกปิดแต่ก่อนที่จะทำการดึงลวดอัดแรง



5.) การเพิ่มหรือการเปลี่ยนจุดรับน้ำหนัก (Add/Relocated Supports)

ในบางกรณี มันมีความเป็นไปได้ที่จะทำการเปลี่ยนจุดรับน้ำหนัก (Bearings) เพื่อช่วยลดระยะคานหรือเพื่อทำให้เกิดจุดต่อที่แข็งแรงขึ้น ด้วยการใส่จุดรับน้ำหนัก (Bearings) สองแถว โดยแรงดัดและแรงเฉือนที่ลดลงอาจเพียงพอต่อการแก้ไขความเสียหาย ในบางกรณีอาจทำการเสริมเสาพร้อมทั้งเพิ่มจุดรับน้ำหนักเพื่อช่วยลดหน่วยแรงดึงที่กึ่งกลางคาน อย่างไรก็ตามต้องมีการวิเคราะห์อย่างละเอียดเพื่อตรวจสอบว่าการซ่อมแซมไม่ก่อปัญหาใหม่ขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มจุดรับน้ำหนักทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของโครงสร้าง และก่อให้เกิดรูปแบบการกระจายตัวของหน่วยแรงที่แตกต่างไปจากโครงสร้างเดิมอย่างสิ้นเชิง

# การซ่อมแซมสะพานคอนกรีตส่วนล่าง

## 7.1 ชนิดของความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตที่อยู่ใต้ดิน

โครงสร้างสะพานส่วนที่อยู่เหนือดินไม่ว่าจะโครงสร้างบนดินจะเป็นวัสดุอะไรก็ตาม โดยปกติแล้วจะมีเสา คอนกรีตและ ตอม่อริมสะพาน (Abutment) เป็นส่วนที่รับน้ำหนัก ในระยะเริ่มแรกของการก่อสร้างสะพานคอนกรีต มักออกแบบให้โครงสร้างส่วนที่อยู่ใต้ดินมีขนาดใหญ่ก่อนที่จะมีการค้นพบคอนกรีตเสริมเหล็กว่าเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดี อย่างไรก็ตามการใช้เหล็กเสริมจำนวนเล็กน้อยหรือไม่ใช้เลยกับคอนกรีตที่ตั้งในบริเวณที่ใกล้ชายฝั่งมีการพิสูจน์แล้วว่าเป็นประโยชน์ เนื่องจากการเกิดสนิมในเหล็กเสริม และในที่สุดคอนกรีตจะเกิดการหลุดร่อนและหลุดออกเป็นชั้น นอกจากนี้การสูญเสียหน้าตัดเหล็กและคอนกรีตทำให้โครงสร้างคอนกรีตอ่อนแอลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอนกรีตที่มีส่วนผสมที่ไม่ดี และโครงสร้างคอนกรีตที่มีการก่อสร้างที่ไม่ได้มาตรฐาน ทั้งนี้โครงสร้างคอนกรีตที่อยู่ใต้ดินมักใช้ส่วนผสมคอนกรีต 1:3:5 กล่าวคือคอนกรีตผสมด้วย ซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 3 ส่วน และหิน 5 ส่วน ในบริเวณที่อยู่ชายฝั่ง คอนกรีตจะอยู่ในสภาวะที่สัมผัสซัลเฟตและคลอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำทะเล ซึ่งเปลี่ยนคุณสมบัติทางเคมีของส่วนผสมคอนกรีต ทำให้ซีเมนต์ไม่เกิดการยึดเหนี่ยวมวลรวมเข้าด้วยกัน เป็นผลทำให้คอนกรีตเกิดการหลุดร่อน

ปัญหาที่พบโดยทั่วไปในคอนกรีตส่วนที่อยู่ใต้ดินมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของโครงสร้างที่อยู่ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำทะเล

### 7.1.1 สะพานที่อยู่ห่างจากน้ำ

โครงสร้างคอนกรีตส่วนที่อยู่ใต้ดินซึ่งไม่สัมผัสน้ำจะเกิดการเสื่อมสภาพเช่นเดียวกับโครงสร้างคอนกรีตส่วนที่อยู่เหนือดิน ดังที่ได้อธิบายมาแล้วในปัญหาที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างสะพานส่วนที่อยู่เหนือดิน คอนกรีตที่มีส่วนผสมไม่เหมาะสม มวลรวมที่เป็นอันตราย และการก่อสร้างที่ไม่เหมาะสม เป็นปัจจัยที่ทำให้คอนกรีตมีรูพรุน และรอยแตก ทำให้คอนกรีตไม่มี



ความคงทนต่อ Carbonation และการโจมตีของคลอไรด์ นอกจากนี้แล้วโครงสร้างสะพานใต้ดินที่อยู่ห่างจากน้ำอาจเกิดความเสียหายเนื่องจากการหลุดตัวของฐานราก การระบายน้ำที่ไม่เหมาะสม และจากการชนของยานพาหนะ

### 7.1.2 สะพานที่อยู่เหนือจากน้ำจืด

สะพานที่อยู่เหนือน้ำจืด ที่ซึ่งโครงสร้างที่อยู่ใต้ดินต้องสัมผัสกับน้ำจืด และในบางครั้งต้องสัมผัสกับน้ำกร่อย การไหลของน้ำจืดนั้นนำไปสู่ปัญหาเสาเข็มคอนกรีตส่วนที่สัมผัสกับน้ำจืด กล่าวคือทำให้เกิดการกัดเซาะคอนกรีต การชนของเรือ การชนจากเศษทรายและหิน และปัญหาที่เกิดจากบริเวณที่เกิดการเปียกสลับกับแห้ง (Splash Zone)

### 7.1.3 สะพานที่อยู่เหนือจากน้ำทะเล

โครงสร้างสะพานคอนกรีตส่วนที่สัมผัสกับน้ำทะเล อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นอันตรายต่อสะพานคอนกรีต โดยสภาวะที่เป็นอันตรายได้แก่ การโจมตีจากซัลเฟตและคลอไรด์ การโจมตีจากคลื่น และการชนจากเรือที่มีขนาดใหญ่ รวมถึงปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นจากสาเหตุที่ได้กล่าวมา

ในโครงสร้างสะพานที่อยู่เหนือน้ำสามารถเห็นความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ง่าย แต่ในโครงสร้างสะพานคอนกรีตที่อยู่ใต้น้ำทะเล ความเสียหายที่เกิดขึ้นยากแก่การพบเห็น นอกจากต้องมีการทำการสำรวจใต้น้ำ นอกจากนี้เจ้าของสะพานซึ่งตั้งอยู่ในน้ำทะเลต้องมีความใส่ใจถึงความเสียหายของสะพานคอนกรีตที่อยู่ใต้น้ำทะเล โดยทั่วไปแล้วปัญหาของคอนกรีตที่อยู่ใต้น้ำทะเลมักถูกปล่อยปะละเลย จนกระทั่งความเสียหายที่เกิดขึ้นรุนแรงจนไม่สามารถทำการซ่อมแซมได้ ต้องทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนเท่านั้น

ไม่ว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจะเกิดเหนือหรือใต้น้ำทะเล ขบวนการซ่อมแซมควรทำเพื่อชดเชยความอ่อนแอที่เกิดขึ้นกับคอนกรีตเมื่อเทียบกับโครงสร้างคอนกรีตที่เริ่มต้น

การตัดสินใจที่จะปล่อยเสาหรือตอม่อที่เอียงซึ่งไม่มีการเคลื่อนตัวแล้วนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างอันได้แก่ ความชันของการเอียง ผลของความเอียงบนโครงสร้างบนดิน และโครงสร้างใต้ดิน ในหลายกรณีที่มีการเอียงที่เกิดขึ้นสามารถยอมรับได้ น้ำหนักของโครงสร้างบนดินสามารถลดทอนได้โดยใช้ระบบยกน้ำหนักสะพานชั่วคราว (Temporary Jacking System) แล้วทำการปรับระดับ Bearing ในกรณีคานอย่างง่าย (Simple Span) ควรมีการใส่ใจในการยกโครงสร้างไม่ให้สูงหรือต่ำเกินไประหว่างการปรับระดับ Bearing เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดหน่วยแรงซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างบนดิน

การเอียงของโครงสร้างส่วนที่อยู่ใต้ดินมักมีส่วนทำให้ต้องปิดหรือเปิดรอยต่อของพื้นสะพานบนโครงสร้างส่วนที่อยู่ใต้ดิน หรือบนเสาส่วนที่อยู่ติดกัน ทำให้มีความจำเป็นต้องทำการเปลี่ยนรอยต่อ หากเสาที่เอียงมี Bearing ที่ถูกยึดติดกับที่ทำให้เกิดการเอียงอย่างมากกับ Bearing ของเสาที่อยู่ถัดไป เป็นผลให้เกิดการปิดหรือเปิดของรอยต่อพื้นสะพานที่เสารอยต่อที่ถูกยึดติดมักไม่ทำให้การป้องกันการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิไม่ได้ผลและเป็นสาเหตุทำให้โครงสร้างสะพานทั้งหมดเกิดความเสียหาย ก่อนที่จะทำการซ่อมแซมรอยต่อพื้นสะพานหรือทำการเปลี่ยน Bearing ต้องทำการตรวจสอบว่าการเอียงของเสาสะพานเป็นผลมาจากการเคลื่อนตัวของโครงสร้างใต้ดินซึ่ง Bearing วางอยู่ หรือเกิดจากการเคลื่อนที่ของโครงสร้างใต้ดินส่วนที่อยู่ถัดไป



#### 7.1.4 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับระบบระบายน้ำ

การออกแบบที่ดีจะช่วยให้เกิดการระบายน้ำที่เพียงพอจากตอม่อริมสะพาน (Abutment) และ Wingwall การระบายน้ำที่ดีสามารถทำได้โดยการใช้วัสดุดินถม (Backfill Material) ที่มีการระบายน้ำที่ดี วัสดุที่ควรใช้ได้แก่ ทราย หรือ กรวด (Gravel) โดยน้ำจะไหลเข้าท่อโลหะ (Underdrain Pipe) ที่เจาะเป็นรูเพื่อใช้ระบายน้ำ ซึ่งท่อระบายน้ำนี้จะวางในแนวราบเหนือฐานของกำแพง และทำการระบายน้ำสู่ระบบระบายน้ำ อีกวิธีการในการระบายน้ำสามารถทำได้โดยใช้ช่องเปิดขนาด 4 ถึง 6 นิ้ว (Weepholes) เจาะผ่านกำแพงเป็นช่วงๆ ช่วงละไม่เกิน 10 ถึง 15 ฟุต นอกจากนี้ควรใช้หินไมวงไว้บนท่อระบายน้ำหรือ Weephole เพื่อป้องกันอุดตันท่อระบายน้ำจากการซึมผ่านของมวลรวมละเอียดเข้าไปสู่ท่อระบายน้ำ วิธีการซ่อมแซมระบบระบายน้ำสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนระบบระบายน้ำด้วยระบบระบายน้ำที่ดีขึ้น โดยการนำวัสดุดินถมข้างหลังตอม่อริมสะพาน (Abutment) และท่อเดิมออกและทำการติดตั้งท่อใหม่ซึ่งต่อกับระบบระบายน้ำหลังจากนั้นทำการถมวัสดุดินถมที่มีการระบายน้ำที่ดี ในการทำการซ่อมแซมระบบระบายน้ำต้องคำนึงถึงการควบคุมการจราจร ขั้นตอนในการก่อสร้าง หากการเอียงของโครงสร้างเกินขอบเขตที่ยอมรับได้ หรือความเสียหายต่อโครงสร้างอันเป็นผลเนื่องมาจากระบบระบายน้ำ มีความเสียหายที่รุนแรง การซ่อมแซมอาจทำได้โดยการเปลี่ยนตอม่อริมสะพาน (abutment) หรือ Wingwall บางส่วน หรือเปลี่ยนตอม่อริมสะพาน (abutment) หรือ Wingwall ใหม่ทั้งหมด

#### 7.1.5 การกัดเซาะ

การกัดเซาะของโครงสร้างฐานรากของสะพานเป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยดังต่อไปนี้

- ตำแหน่งที่ตั้งของสะพานไม่เหมาะสม
- แม่น้ำมีความคดเคี้ยว
- มีบริเวณที่ให้น้ำไหลผ่านไม่เพียงพอ หรือเนื่องจากถูกจำกัดด้วยโครงสร้างสะพานส่วนที่ขวางแม่น้ำ
- การประมาณระดับน้ำท่วมและความเร็วของน้ำมีความไม่แม่นยำ
- ภัยธรรมชาติ เช่นลมพายุ
- การวางโครงสร้างสะพานที่ไม่ถูกต้องเมื่อเทียบกับทิศทางการไหลของกระแสน้ำ
- ทรายแม่น้ำที่มีอนุภาคในการกัดเซาะสะพานเมื่อมีการเพิ่มความเร็วของกระแสน้ำเพียงเล็กน้อย
- ความเร็วกระแสน้ำที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเศษหิน เศษทราย หรือการพังทลายของเขื่อนต้นน้ำ
- ขาดการป้องกันการกัดเซาะที่เพียงพอเช่น Riprap
- ขนาดที่ไม่เหมาะสมของ Riprap
- การออกแบบการป้องกันการกัดเซาะที่ไม่เหมาะสม เช่นในบางกรณีที่มีการกัดเซาะสูงควรใช้ Sheet Pile ในการป้องกันการกัดเซาะ

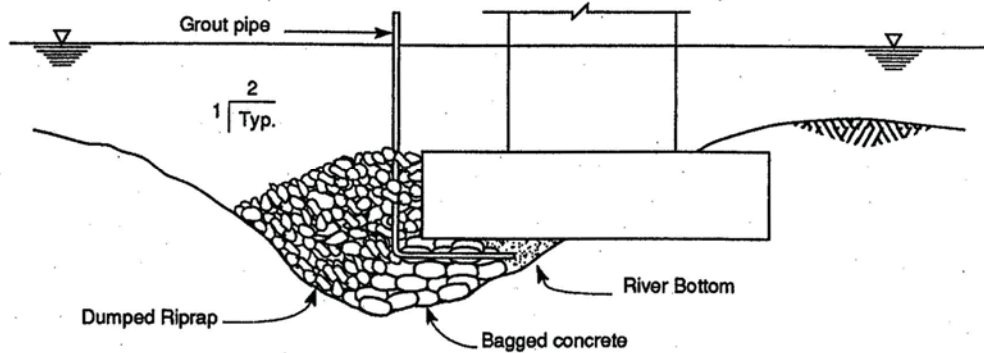
การตรวจสอบโครงสร้างได้น้ำของโครงสร้างสะพานส่วนที่อยู่ใต้น้ำควรทำเป็นระยะๆ เพื่อตรวจสอบและป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจากการกัดเซาะ ความถี่ในการตรวจสอบขึ้นอยู่กับประวัติการกัดเซาะของแม่น้ำและปัจจัยที่ทำให้เกิดการกัดเซาะ ในโครงสร้างที่ไวต่อการเกิดการกัดเซาะควรทำการตรวจสอบทุกครั้งหลังจากที่เกิดน้ำท่วม การตรวจสอบได้น้ำเป็นระยะๆมีจุดประสงค์สองอย่างกล่าวคือ รายงานสภาพของโครงสร้างที่อยู่ในน้ำ รวมถึงความผันผวนของกันแม่น้ำ เมื่อรวมกับเครื่องมือในการวัดความลึกของแม่น้ำซึ่งทำการอ่านทุกๆ 2 ปี เราสามารถทำการเก็บบันทึกของทางน้ำรอบๆ ฐานรากของสะพาน



การซ่อมแซมที่มีอายุใช้งานที่ยาวนานขึ้นอยู่กับความเข้าใจถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดการกัดเซาะและแรงดันน้ำซึ่งมีผลต่อวิธีการการซ่อมแซม และผลกระทบของการซ่อมแซมต่อส่วนอื่นๆของแม่น้ำ ในบางครั้งการใส่ Riprap เพิ่มหรือการก่อสร้าง Cofferdam รอบๆเสาที่เกิดการกัดเซาะอาจทำให้โครงสร้างอื่นๆเกิดการกัดเซาะซึ่งไม่เคยมีประวัติการกัดเซาะมาก่อน

วัสดุที่ใช้ป้องกันการกัดเซาะที่จะนำมาก่อสร้างรอบๆ ฐานรากที่มีโอกาสเกิดการกัดเซาะควรที่จะมีความเสถียรเพียงพอต่อการต้านทานต่อแรงดันน้ำที่ทำให้เกิดการกัดเซาะ วิธีการที่ใช้ในการซ่อมแซมที่ใช้ในปัจจุบันมีดังต่อไปนี้ตามลำดับความรุนแรงของการกัดเซาะ

- 1.) Dumped Riprap วิธีการนี้หากใช้ขนาด Dumped Riprap ที่มีขนาดเหมาะสม พบว่าเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุดในการซ่อมแซมและป้องกันความเสียหายจากการกัดเซาะ โดยความชันของ Riprap มีขนาด 1 ต่อ 1
- 2.) Hand-laid Riprap หากการใช้วิธี Dumped Riprap ไม่สามารถลดการกัดเซาะได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการ Hand-Laid Riprap ของก้อนหินขนาดใหญ่ หรือก้อนคอนกรีตอาจประสบความสำเร็จในการป้องกันการกัดเซาะ
- 3.) Bagged Concrete ในบางครั้งมีการนำ Bagged Concrete มาวางไว้ได้ฐานรากที่เกิดการกัดเซาะบางส่วนและส่วนที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ถูกเติมด้วยคอนกรีตหรือ Grout นอกจากนี้ยังอาจนำ Dump Riprap มาป้องกันการกัดเซาะ Bagged Concrete อีกชั้นหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 7-1 ในกรณีนี้ ก้อนคอนกรีตจะถูกวางในลักษณะทำให้เกิดการ Interlocking ระหว่างถุงคอนกรีตโดยมีความชัน 1 ต่อ 1 นอกจากนี้ยังอาจใช้ท่อสำหรับเท Grout เป็นระยะห่างกันประมาณ 10 ฟุตเพื่อเติม Grout ในช่องว่างหลังถุงคอนกรีต หลังจากนั้นให้ทำการวางหิน Riprap รอบๆ และทำการอัดน้ำปูน Grout โดยแรงโน้มถ่วงโลก หลังจากนั้นทำการตัดท่อส่งน้ำปูน

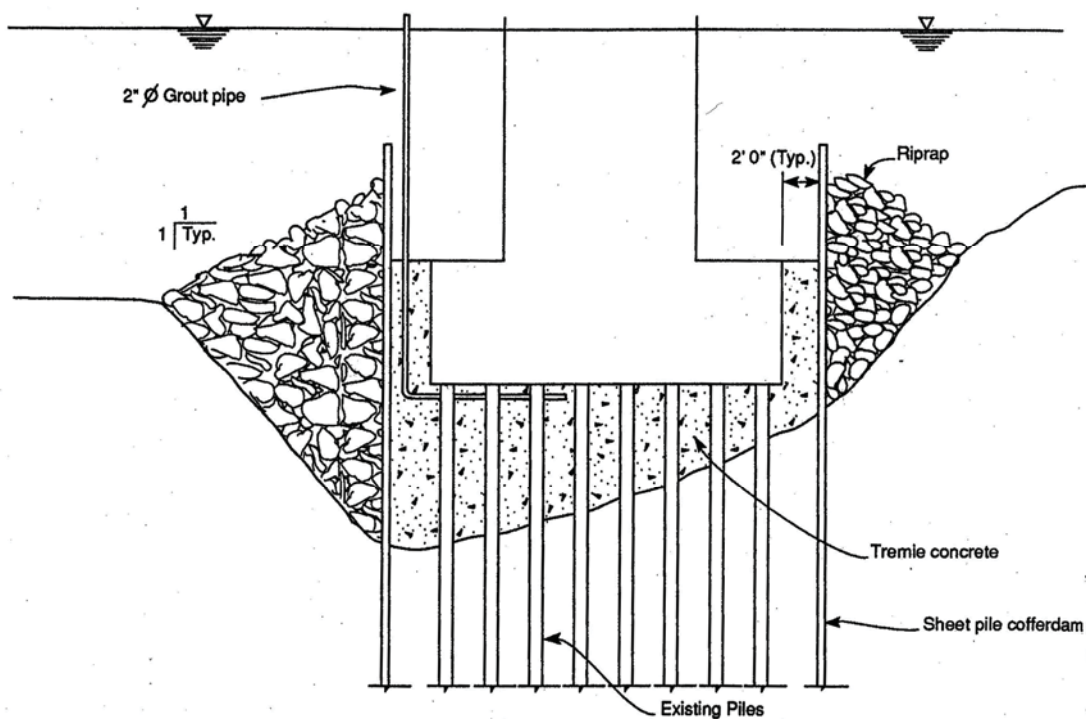


รูปที่ 7-1 ฐานรากที่เกิดการกัดเซาะบางส่วนถูกป้องกันโดย Bagged Concrete และ หินRiprap

- 4.) Steel Sheet piling, Tremie Concrete, และ Riprap ฐานรากที่เกิดการกัดเซาะทั้งหมดต้องการการซ่อมแซมและป้องกันอย่างถูกต้องและรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 7-2 ซึ่งเป็นกรณีที่เสาเข็มทำหน้าที่รองรับโครงสร้างที่อยู่ในน้ำไม่ให้เกิดการพังทลายขึ้นในเสา การกัดเซาะฐานของสะพานเป็นสภาวะที่เป็นอันตราย และต้องการความเอาใจใส่ดูแลอย่างสูง ถ้าหากเสาเข็มไม่มีดินคอบคลุมไว้ เสถียรภาพด้านข้างของโครงสร้างจะเป็นอันตราย ถ้าเสาเข็มเป็นแบบความเสียดทาน (Friction Type) การกัดเซาะดินรอบๆเสาเข็ม ทำให้เสาเข็มมีความสามารถรับน้ำหนักลดลง ถ้าเสาเข็มเป็นแบบเสาเข็มแบกน้ำหนัก (Bearing Pile) หากเกิดการกัดเซาะในบริเวณปลายเสาเข็ม จะทำให้เสาเข็มรับน้ำหนักได้น้อยลง สุดท้ายการขุดสีจากทรายและสารเคมี หรือ การเสื่อมสภาพเนื่องจากชีวภาพ อาจทำให้เสาเข็มมีหน้าตัดลดลง และทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มลดลง

การซ่อมแซมจะเริ่มจากการนำพี้น้ำออกไปจากเสาเข็มที่เกิดการกัดเซาะ หลังจากนั้นทำการติดตั้ง Cofferdam ซึ่งทำจาก Steel Sheeting รอบๆฐานราก การติดตั้ง Steel Sheeting นั้นมีความยากง่ายขึ้นอยู่กับที่ว่างเหนือบริเวณที่ต้องการทำการซ่อมแซม โดยส่วนใหญ่แล้ว Steel Sheeting จะถูกยกผ่านมาทางส่วนบนของสะพานหลังจากที่ทำการโยกย้ายพื้นสะพานออกบางส่วน ซึ่งสามารถดำเนินการได้โดยการปิดการจราจรหรือโดยการทำงานในเวลากลางคืนและทำการปิดรูในพื้นที่สะพานด้วยแผ่นเหล็กระหว่างวัน ระหว่างที่ทำการติดตั้ง Steel Sheeting ภายในความกว้างของถนน ผู้ทำการซ่อมแซมสามารถเริ่มทำการต่อทาบเหล็กเสริม และทำการก่อสร้างพื้นสะพานด้วยคอนกรีตก่อตัวเร็วและปราศจากการหดตัว (Nonshrink Quick-Setting Concrete) อย่างไรก็ตามวิธีการนี้อาจไม่เป็นที่ยอมรับของเจ้าของสะพานผู้ซึ่งไม่ต้องการทำลายความเป็นเนื้อเดียวของพื้นสะพาน ในกรณีนี้ Steel Sheeting สามารถนำไปติดตั้งภายใต้พื้นสะพานด้วยการแบ่งออกเป็นชิ้นเล็กๆ และนำไปเชื่อมหรือขันนอตที่ที่ต้องการจะติดตั้ง Sheeting อย่างไรก็ตามวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ละเอียดอ่อนและเสียค่าใช้จ่ายสูง

หลังจากนั้นทำการเท Tremie คอนกรีตภายใน Cofferdam จนกระทั่งระดับของคอนกรีตถึงระดับของผิวบนของฐานราก การซ่อมแซมต้องการใช้ท่อในการส่งคอนกรีตเข้าสู่บริเวณที่ถูกกัดเซาะหลายท่อ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดช่องว่างใต้ฐานราก หลังจากนั้นทำการอัดน้ำปูนผ่านท่ออัดน้ำปูนอีกครั้ง เพื่อเติมช่องว่างที่คอนกรีตไม่สามารถเติมช่องว่างให้เต็มได้ หลังจากนั้นให้ทำการตัดท่ออัดน้ำปูนและ Steel Sheeting ที่ระดับที่ต้องการ และทำการเท Riprap รอบๆ Cofferdam



รูปที่ 7-2 ฐานรากซึ่งเกิดการกัดเซาะทั้งหมดถูกป้องกันด้วย Steel Sheeting และหินRriprap

## 7.2 การซ่อมแซมความเสียหายของคอนกรีตในบริเวณใกล้หรือใต้ระดับน้ำ

ที่ซึ่งโครงสร้างสะพานใต้ดิน (Substructures) สัมผัสกับบริเวณน้ำขึ้นน้ำลง ความเสื่อมสภาพมักจะเกิดขึ้นในบริเวณที่เรียกว่า บริเวณที่ความเสียหายเกิดขึ้นหลัก (The Primary Active Zone) ซึ่งบริเวณนี้จะอยู่ระหว่างระดับน้ำทะเลต่ำสุดและระดับน้ำทะเลสูงสุด ในส่วนที่อยู่ใต้ระดับน้ำทะเลต่ำสุดนั้นปริมาณออกซิเจนลดลง ส่วนในบริเวณที่อยู่เหนือ

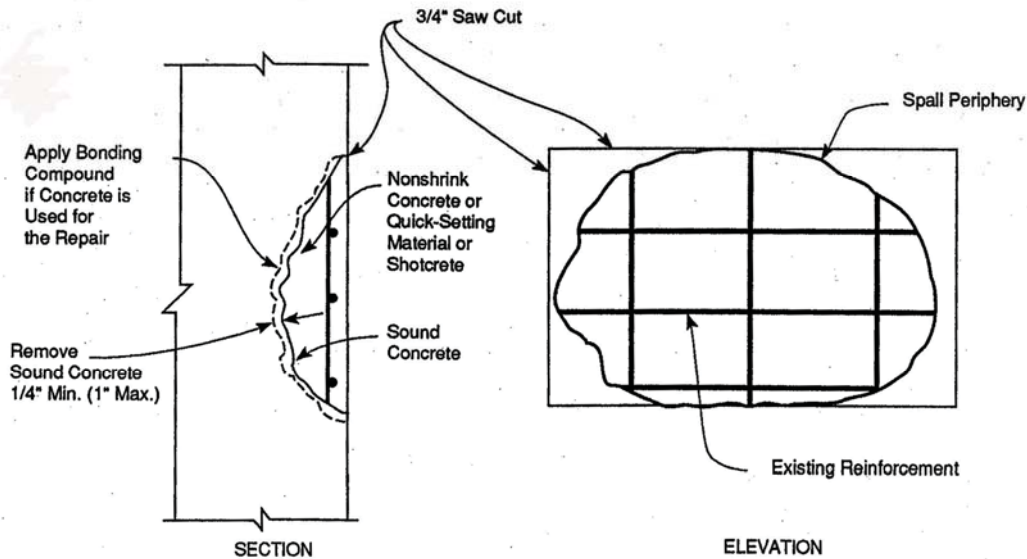


ระดับน้ำสูงสุด โครงสร้างไม่ได้สัมผัสกับบริเวณที่มีการสาดกระเซ็นของน้ำ (Splash Zone) ซึ่งในบริเวณที่มีการสาดกระเซ็นของน้ำเป็นบริเวณที่เกิดการแห้งสลับกับเปียก ส่วนในบริเวณที่เกิดความเสียหายหลัก (The Primary Active Zone) ซึ่งสัมผัสทั้งออกซิเจนและความชื้น ทำให้บริเวณนี้มีโอกาสเกิดการกัดกร่อนสนิมเหล็กสูง รวมถึงการขุดสีเนื่องจากเศษหินเศษทรายในน้ำ ทำให้เกิดการสูญเสียหน้าตัดคอนกรีต

ในส่วนอื่นที่มักเกิดความเสียหายคือบริเวณระดับโคลน (Mud Line) ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการขุดสีอันเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของทราย ดิน ทำให้เกิดการกัดเซาะ และการหลุดร่อนของคอนกรีต โดยในส่วนต่อไปจะได้อธิบายถึงมาตรฐานวิธีการซ่อมแซมคอนกรีตสำหรับผิวของเสา ตอม่อริมสะพาน (Abutment) และ กำแพง

7.2.1 การซ่อมแซมความเสียหายคอนกรีตเหนือบริเวณที่มีการสาดกระเซ็นของน้ำ (Splash Zone)

วิธีการซ่อมแซมคอนกรีตในบริเวณที่อยู่เหนือระดับน้ำคล้ายคลึงกับการซ่อมแซมโครงสร้างที่อยู่ใต้ดินหรือน้ำ (Substructure) ดังแสดงในรูปที่ 7-3



รูปที่ 7-3 การซ่อมแซมความเสียหายคอนกรีตเหนือบริเวณที่มีการสาดกระเซ็นของน้ำ

ก. การเตรียมพร้อมก่อนทำการซ่อมแซม

ขั้นแรกบริเวณที่จะทำการซ่อมแซมต้องทำการร่างและตัดคอนกรีตที่มีความลึก 3/4 นิ้ว รอบๆความเสียหายซึ่งมักตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หลังจากนั้นให้ทำการสกัดนำเอาคอนกรีตที่เกิดความเสียหายออก หลังจากที่สกัดคอนกรีตจนถึงชั้นที่ไม่เกิดความเสียหาย ให้ทำการสกัดคอนกรีตออกอีกชั้นโดยมีความลึก 1/4 ถึง 1 นิ้วรอบๆบริเวณที่ต้องการทำการซ่อมแซม หลังจากนั้นทำความสะอาดเหล็กเสริม เพื่อไม่ให้เหลือสนิมเหล็ก ถ้าน้ำตัดเหล็กเสริมสูญเสียไปมากกว่า 10% ของหน้าตัดเหล็กเดิม ควรทำการติดตั้งเหล็กเสริมใหม่ซึ่งมีการป้องกันสนิมเหล็กและทำการต่อทาบกับเหล็กเสริมเดิมเข้าไปก่อนทำการเทคอนกรีตต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าบริเวณที่ทำการซ่อมแซมสะอาด และควรทำการล้างด้วยการฉีดน้ำความดันสูง เพื่อที่จะไม่ให้มีอนุภาคใดๆอยู่บนผิวที่ต้องการทำการซ่อมแซม

### ข. การเทวัสดุซ่อมแซม

สุดท้ายให้ทำการเทวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม และทำการบ่ม ถ้าวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมคือคอนกรีต คอนกรีตเดิมและเหล็กเสริมต้องมีการใส่สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว อันได้แก่อีพ็อกซีก่อนที่จะทำการเทคอนกรีตใหม่ ถ้าวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมเป็นคอนกรีตที่ก่อตัวเร็วและปราศจากการหดตัว ไม่มีความจำเป็นต้องใส่สารเพิ่มการยึดตัว เนื่องจากวัสดุประเภทนี้มีคุณสมบัติเพิ่มการยึดตัวอยู่แล้ว สำหรับการซ่อมแซมขนาดใหญ่พบว่าหากใช้ คอนกรีตฟัน (Shortcrete) จะเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุด แต่การตกแต่งผิวต้องใช้เกรียงและต้องตกแต่งผิวก่อนที่คอนกรีตฟันจะแข็งตัว

### 7.2.2 การซ่อมแซมความเสียหายคอนกรีตใต้น้ำ

การหลุดร่อนของคอนกรีตใต้น้ำเพียงเล็กน้อยสามารถทำการซ่อมแซมได้โดยฉาบคอนกรีตหรือปูนทรายแข็งตัวเร็วและปราศจากการหดตัวด้วยมือ

#### ก. ปูนทรายแข็งตัวเร็วและปราศจากการหดตัว (Quick-Setting Cement Mortar)

การสกัดคอนกรีตที่เสียหายออกและการเตรียมพื้นผิวตามขบวนการที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ปูนทรายที่มีมีการแข็งตัวเร็ว (10-15 นาที) จะถูกผสมและบรรจุด้วยนักประดาน้ำ ซีเมนต์ใดก็ตามที่สูญเสียเมื่อสัมผัสกับน้ำในระยะเวลาสั้นๆ ให้คิดว่ามีขนาดน้อยมากที่จะมีผลต่อกำลังรับแรงของคอนกรีต เนื่องจากว่าวัสดุชนิดนี้กำลังรับแรงสูง การสูญเสียคอนกรีตเพียงเล็กน้อยไม่ส่งผลให้คอนกรีตที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุชนิดนี้ไม่ควรนำมาใช้สำหรับการซ่อมแซมการหลุดร่อนที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากว่าปูนทรายประเภทนี้แข็งตัวเร็ว และการฉาบวัสดุประเภทนี้ทำได้ทีละน้อย ดังนั้นหากต้องการใช้กับงานซ่อมแซมที่มีปริมาณมากต้องมีการขนส่งที่พิเศษ เนื่องจากการขนส่งที่รวดเร็วของส่วนผสมปูนทรายเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการควบคุมคุณภาพของวัสดุซ่อมแซม ยกตัวอย่างเช่นใช้รอกกับ 2 ถัง หรือใช้ท่อ PVC

#### ข. ปูนทรายอีพ็อกซี (Epoxy Mortar)

ระหว่างที่ทำการเตรียมผิวของบริเวณที่ต้องการซ่อมแซม ปูนทรายอีพ็อกซีซึ่งมีส่วนผสม ทราย 1 ส่วน และ อีพ็อกซี 1 ส่วน ถูกนำมาผสมเข้ากันอย่างดี และทำการฉาบด้วยมือเข้าไปในบริเวณที่ต้องการซ่อมแซม ในงานซ่อมแซมคอนกรีตใต้น้ำควรใช้อีพ็อกซีที่ไม่ทำปฏิกิริยากับความชื้น คุณสมบัติของปูนทรายอีพ็อกซีบางอย่างที่ดีเช่น กำลังรับแรงสูง แรงยึดเหนี่ยวดี และปราศจากการหดตัว ทำให้อีพ็อกซีเหมาะแก่การซ่อมขนาดเล็ก ถึงแม้ว่า อีพ็อกซีจะมีราคาแพงมากกว่าปูนทรายแข็งตัวเร็วปราศจากการหดตัว (nonshrink quick-setting cement mortars)

#### การใช้แบบในการซ่อมแซมใต้น้ำ (Formed Underwater Repairs)

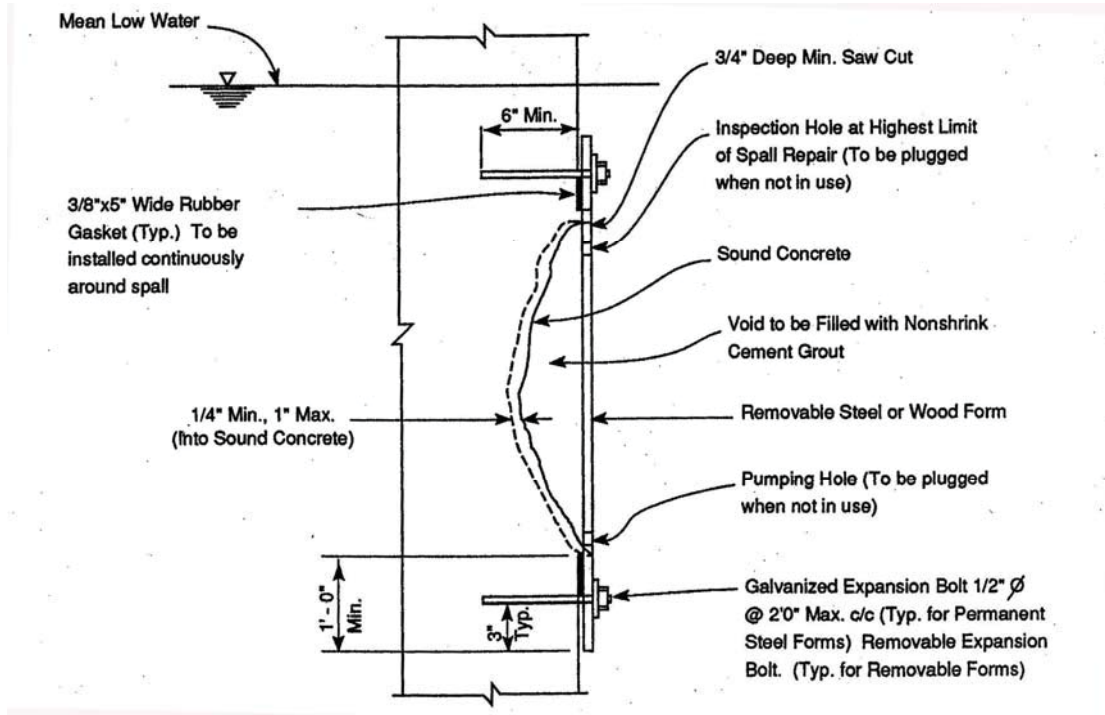
เมื่อคอนกรีตใต้น้ำเกิดความเสียหายเป็นบริเวณกว้าง หรือหลังจากที่ทำการสกัดคอนกรีตที่เกิดความเสียหายที่มีโพรงเป็นบริเวณกว้าง การซ่อมแซมสามารถทำได้โดยการตั้งแบบในบริเวณที่ต้องการซ่อมแซม และทำการเติมช่องว่างระหว่างแบบและคอนกรีตด้วยคอนกรีตหรือซีเมนต์น้ำปูนที่ไม่มีหดตัว (Nonshrink Cement Grout) โดยทั่วไปรอยหลุดร่อนคอนกรีตจะไม่มีส่วนที่เรียบซึ่งแบบสามารถติดตั้งเข้าไปได้ เนื่องจากการกัดเซาะโครงสร้างคอนกรีตใต้น้ำทำให้ผิวของโครงสร้างที่อยู่ใต้น้ำมีรูปร่างไม่แน่นอนและเป็นคลื่น การเตรียมพื้นผิวต้องทำการสกัดคอนกรีตบริเวณรอบๆที่ต้องการทำการซ่อมแซมโดยนักประดาน้ำเพื่อที่จะทำให้ผิวคอนกรีตเสมอกันเท่าที่จะทำได้ เพื่อที่สามารถติดตั้งแบบได้

หลังจากที่ทำการสกัดคอนกรีตที่เกิดความเสียหายและทำการเตรียมพื้นผิวก่อนทำการซ่อมแซมแล้ว ให้ทำการติดตั้งวงแหวนยางรอบๆความเสียหายดังแสดงในรูปที่ 7-4 หลังจากนั้นทำการติดตั้งแบบให้กวดวงแหวนยางด้วยสลักเกลียวเป็นระยะๆ หลังจากนั้นทำการบ่มคอนกรีตเข้าไปทางรูด้านล่างของแบบ จนกระทั่งคอนกรีตไปปรากฏที่รูตรวจสอบซึ่งอยู่ด้านบนของแบบ หลังจากการเทคอนกรีต 2 ถึง 3 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับเวลาในการแข็งตัวของวัสดุซ่อมแซม ให้ทำการถอดแบบ

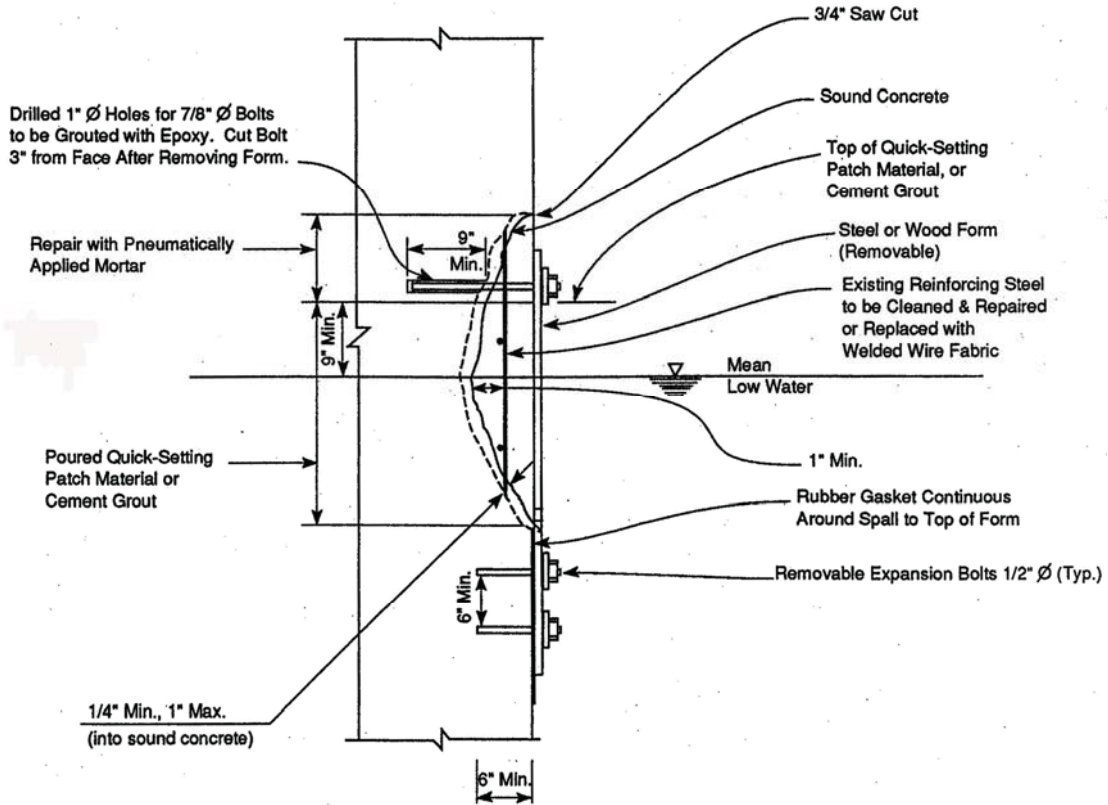


และทำการตรวจสอบพื้นที่ที่ทำการซ่อมแซม หรืออาจปล่อยแบบไว้ไม่ทำการถอดแบบออก เพื่อเพิ่มการปกป้องต่อพื้นที่ที่ทำการซ่อมแซม

ในบริเวณที่โครงสร้างคอนกรีตใต้น้ำไม่มีเหล็กเสริม ควรทำการประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นว่าคอนกรีตเกิดความเสื่อมสภาพน้อยลึกลงกว่า 2 ถึง 4 นิ้ว ในหลายๆครั้งที่พบว่าหน้าตัดของโครงสร้างที่เหลื่อฝังคังมีคุณสมบัติหน้าตัดและกำลังรับแรงที่ยังคงสามารถรับน้ำหนักได้เพียงพอ เนื่องจากคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริมมักจะมีขนาดใหญ่และอาจยอมให้คอนกรีตสูญเสียได้ 2 นิ้วบนผิวคอนกรีต



รูปที่ 7-4 การซ่อมแซมสะพานใต้น้ำที่เกิดการหลุดร่อน



รูปที่ 7-5 การซ่อมแซมคอนกรีตในบริเวณที่มีการสาดกระเซ็นของน้ำ

7.2.3 การซ่อมแซมความเสียหายในบริเวณที่มีการสาดกระเซ็นของน้ำ (Tidal Zone Repair)

ขบวนการการซ่อมแซมได้นำที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นสามารถนำมาใช้ได้บริเวณที่มีการสาดกระเซ็นของน้ำ แต่ ขบวนการซ่อมแซมรวมกับการเทคอนกรีตโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในบริเวณที่อยู่ใต้น้ำและการใช้คอนกรีตพ่นใน บริเวณเหนือน้ำเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

การซ่อมแซมทำได้โดยติดตั้งแบบโดยมีส่วนเปิดอยู่ที่ส่วนบนดังแสดงในรูปที่ 7-5 หลังจากนั้นทำการสูบน้ำออก และทำการเทวัสดุที่แข็งตัวเร็ว หรือใช้ Cement Grout ซึ่งเทโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงผ่านช่องเปิด จนกระทั่งระดับวัสดุอยู่ เหนือระดับน้ำเฉลี่ย หลังจากถอดแบบ ให้ทำการพ่นคอนกรีตในบริเวณที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเล ทำการตกแต่งผิว และทำ การบ่ม ขบวนการในการสกัดคอนกรีตที่เสื่อมสภาพ ขบวนการเตรียมพื้นผิวก่อนทำการซ่อมแซม และการทำความสะอาด เหล็กเสริม เป็นขบวนการเดียวกับที่ได้อธิบายก่อนหน้านี ในกรณีติดตั้งแบบ มักใช้สลักเกลียว 2 แถวที่ข้างล่างของแบบและ ด้านข้างของแบบ ควรใช้สลักเกลียวซึ่งเจาะเข้าไปในเนื้อคอนกรีตและทำการอัดน้ำปูน เพื่อป้องกันการโก่งตัวของแบบ โดยความประหยัดของการซ่อมแซมด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมส่วนที่อยู่ใต้น้ำต้องสามารถเทได้โดยอาศัย แรงโน้มถ่วง ปราศจากการใช้ปั๊ม และใช้คอนกรีตพ่นในส่วนที่อยู่เหนือน้ำ หากเลือกใช้ซีเมนต์และเนื้อคอนกรีตที่เหมือนกันของ วัสดุที่ใช้ซ่อมแซมส่วนใต้น้ำกับวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมส่วนเหนือน้ำ จะช่วยลดความแตกต่างของรอยต่อระหว่างวัสดุ 2 ชนิดนี้



### 7.3 การซ่อมแซมเสาเข็มคอนกรีต

สะพานจำนวนมากถูกสร้างบนเสาสะพาน ก่อนที่จะมีการค้นพบคอนกรีตอัดแรงในปี 1950 เสาเข็มทั้งหมดทำมาจากคอนกรีตเสริมเหล็ก และสะพานจำนวนมากที่สร้างในช่วงนี้มีคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมไม่เพียงพอ ซึ่งเสาเข็มเหล่านี้จะมีความทนทานต่อการโจมตีของสารเคมีที่มีอยู่ในน้ำทะเล คลื่น และการขัดสีของทรายซึ่งถูกพัดพามาตามกระแสน้ำ สะพานจำนวนมากแสดงให้เห็นถึงความเสื่อมสภาพและการสูญเสียหน้าตัดคอนกรีต เสาเข็มอัดแรงได้แสดงให้เห็นว่ามีคุณสมบัติในการต้านทานต่อสารเคมีที่ดีกว่าเนื่องจากคอนกรีตที่ใช้มีความแน่นสูงและมีคุณภาพที่ดี นอกจากนี้การเทคอนกรีตยังถูกควบคุมอย่างดี และคอนกรีตยังอยู่ในสภาวะที่ถูกอัดไว้ อย่างไรก็ตามคอนกรีตอัดแรงก็สามารถเกิดความเสื่อมสภาพได้จากการตรวจสอบสะพานจำนวนมากซึ่งใช้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงพบว่าเกิดความเสื่อมสภาพเช่นกัน

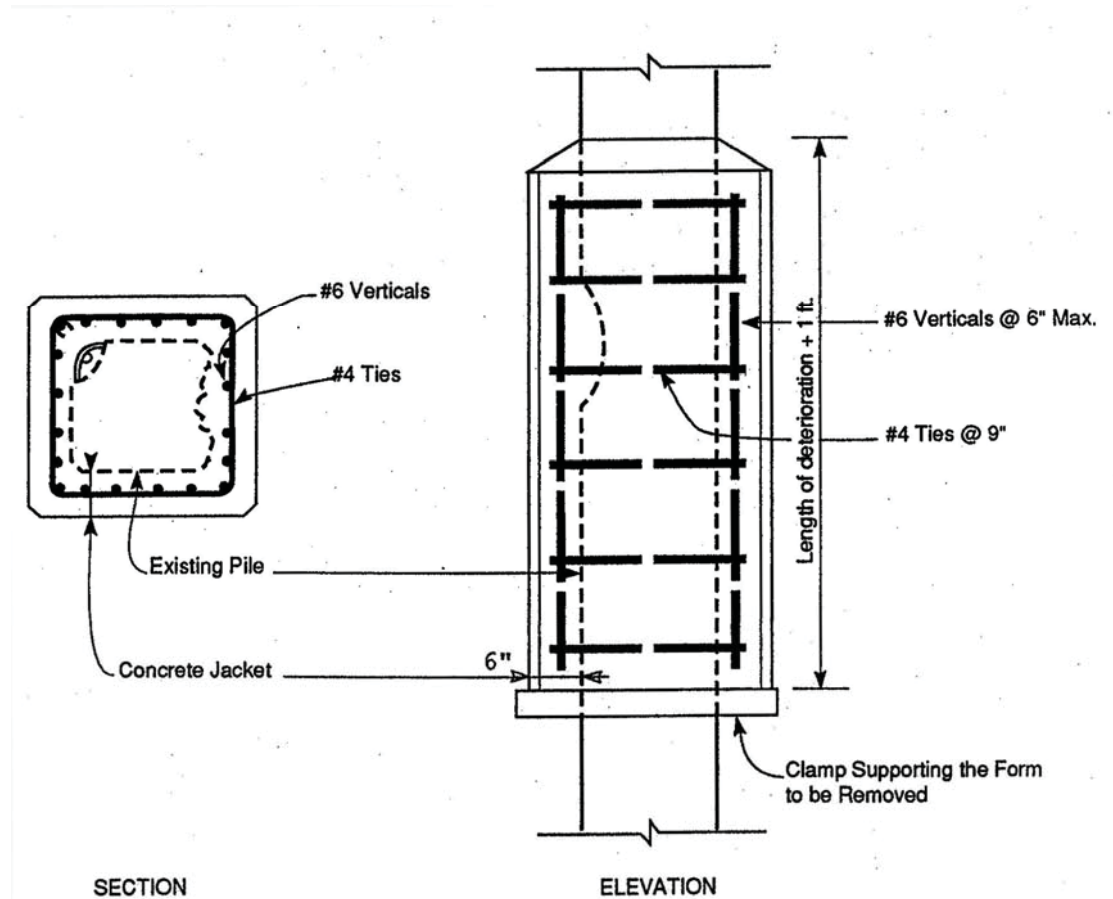
#### 7.3.1 เปลือกหุ้มเสาเข็ม (Pile Jacket)

เมื่อเสาเข็มเกิดความเสื่อมสภาพจนกระทั่งความสมบูรณ์ของโครงสร้างเกิดปัญหาขึ้น ดังนั้นควรทำการซ่อมแซมเสาเข็มและทำการป้องกันเสาเข็มด้วยเปลือกหุ้มบริเวณที่เกิดความเสียหาย โดยเปลือกที่ใช้หุ้มคอนกรีตมีหลายวิธีดังต่อไปนี้

##### ก. เปลือกหุ้มที่ทำมาจากคอนกรีต (Concrete Jacket)

วิธีการซ่อมแซมโดยใช้เปลือกหุ้มที่ทำมาจากคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 7-6 จะประสบความสำเร็จหรือไม่ขึ้นอยู่กับคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต่อทาบเข้าไปเพื่อให้เสาเข็มบริเวณที่เกิดความเสียหายแข็งแรงขึ้น และคลุมบริเวณที่เกิดความเสียหาย การซ่อมแซมเริ่มต้นจากการทำความสะอาดเสาเข็มเดิม ด้วยการใช้น้ำฉีด และทำการสกัดคอนกรีตที่เสียหายออก หลังจากนั้นทำความสะอาดเหล็กเสริมด้วยการใช้ทรายพ่นเพื่อทำความสะอาด หลังจากนั้นทำการติดตั้งกรงเหล็กเสริมที่เคลือบด้วยอีพ็อกซี รอบๆบริเวณที่ต้องการทำการซ่อมแซม ซึ่งถูกรับน้ำหนักโดย Clamped Collar ซึ่งยึดติดอยู่ที่ฐานของบริเวณที่ทำการซ่อมแซม หลังจากทำการติดตั้งแบบ ให้ทำการสูบน้ำออก และทำการเทคอนกรีตกำลังรับแรงสูงเข้าไปภายในแบบ บางครั้งอาจมีการเติมสารลดน้ำ (Superplasticizer) เข้าไปในคอนกรีตเพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการเทได้ (Workability) หลังจากทำการบ่มคอนกรีตเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ให้ทำการถอดแบบและตัวรับน้ำหนัก Clamped Collar ประโยชน์ของการซ่อมแซมด้วยวิธีนี้คือสามารถนำวัสดุซึ่งสามารถหาได้ทั่วไป และสามารถใช่วิธีการก่อสร้างธรรมดา ซึ่งไม่ยุ่งยากซับซ้อน มาใช้ได้ นอกจากนี้การถอดแบบยังสามารถทำให้การตรวจสอบการซ่อมแซมทำได้อย่างทั่วถึง ทำให้สามารถทำการแก้ไขข้อผิดพลาดอันเนื่องมาจากการซ่อมแซมได้ง่าย





รูปที่ 7-6 การซ่อมแซมเสาด้วยวิธี Concrete Jacket

ข. Fabric Jacket

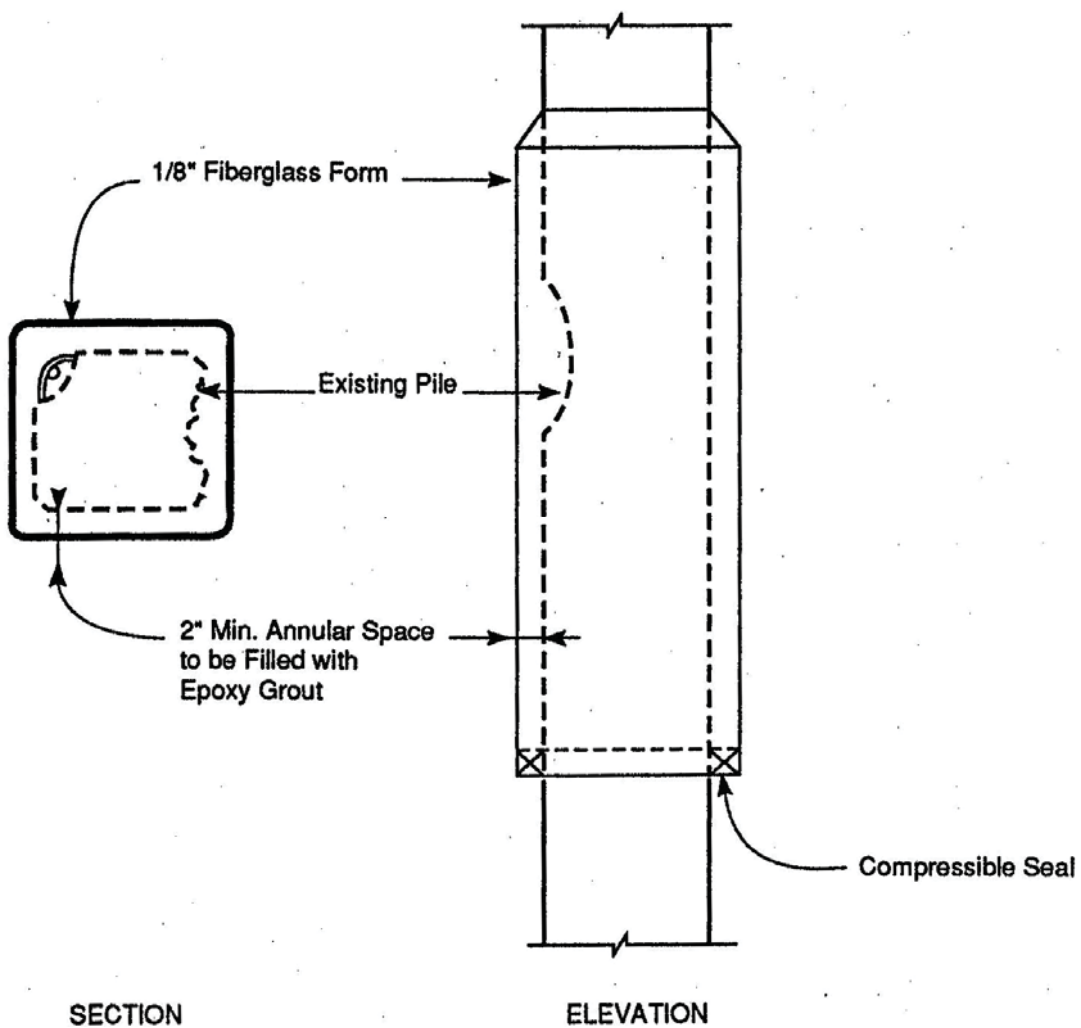
หลังจากที่ทำความสะอาดคอนกรีตในบริเวณที่ต้องการซ่อมแซม และสกัดคอนกรีตและเหล็กเสริมที่เสียหายออกแล้ว เปลือกที่ทำจากปอกระเจา (Jute) หรือ โพลียูรีเทน (Polyurethane) 5 ถูกสร้างขึ้นมาล้อมเสาเข็ม โดยเปลือกสามารถจัดให้เป็นรูปทรงกระบอกได้โดยการปรับห่วงของเส้นใยแก้ว (Fiberglass) ซึ่งถูกวางไว้ข้างในเปลือก Fabric และถูกปรับเพื่อให้ได้แบบรูปทรงกระบอกดังที่ต้องการ ซึ่งขดเป็นรูปวงแหวนที่มีระยะห่าง 6 นิ้วรอบๆเสาเข็ม ก่อนที่จะทำการก่อสร้างเปลือกหุ้ม หลังจากนั้นนำกรงเหล็กที่เคลือบอีพ็อกซีซึ่งมีลักษณะเดียวกับที่ได้อธิบายมาแล้วมาติดตั้งเข้ากับเสาเข็ม หลังจากนั้นทำการลดระดับกรงเหล็กเข้าสู่บริเวณที่ต้องการซ่อมแซม และทำการยึดติดส่วนล่างของกรงเหล็กเข้ากับเสาเข็ม หลังจากนั้นทำการเทคอนกรีตกำลังสูงด้วยวิธี Tremie และปล่อยให้คอนกรีตแข็งตัว น้ำซึ่งไหลออกมาจากคอนกรีตผ่าน Fabric จะทำให้คอนกรีตมีความแน่นสูงขึ้น

ค. Fiber Reinforced Jacket

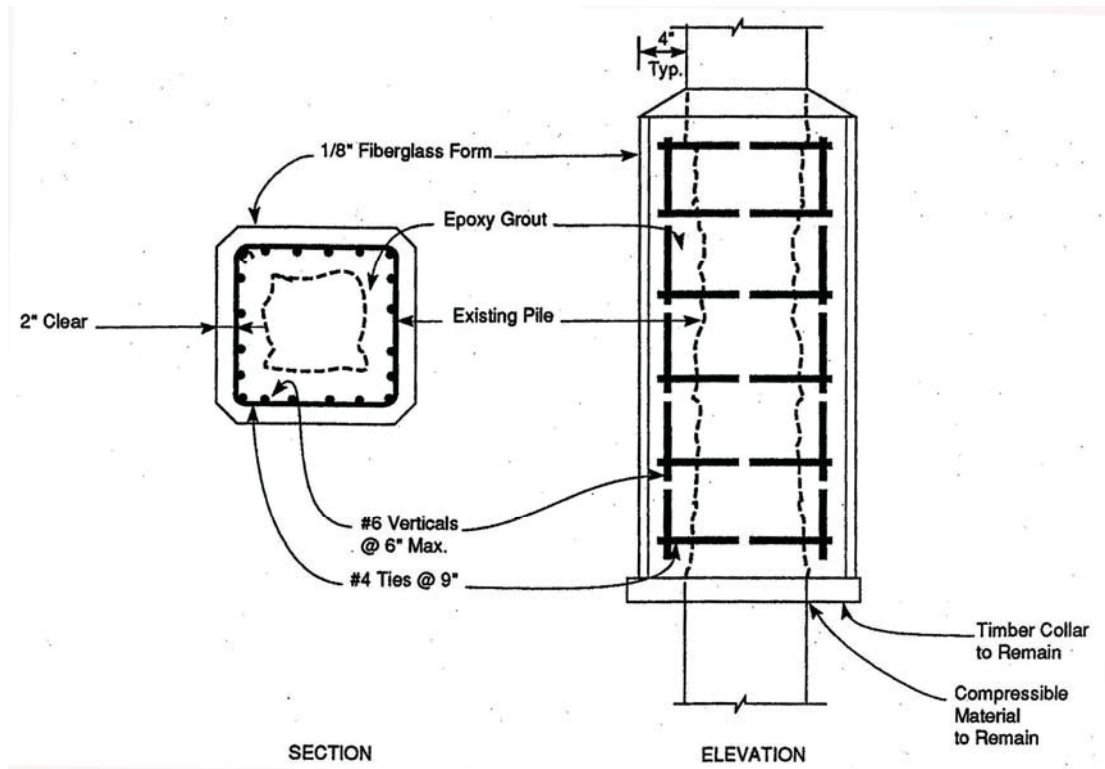
ในระยะ 20 ปีที่ผ่านมา ได้มีการนำคอนกรีตเสริมไฟเบอร์มาใช้งานซ่อมแซมเสาเข็มอย่างแพร่หลาย โดยผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจ ความแตกต่างของการใช้วิธีนี้ซ่อมแซมกับวิธีการซ่อมแซมวิธีการอื่นคือเปลือกหุ้มที่ใช้ในการซ่อมแซมวิธีการนี้ทำขึ้นมาจากคอนกรีตเสริมไฟเบอร์ ซึ่งเปลือกแบบนี้จะทำหน้าที่เป็นเกาะป้องกันการซึมผ่านของน้ำและแรงซึ่งทำอันตรายต่อเสาเข็มอื่นๆ ความเสียหายน้อยและมากได้ถูกนำมาแสดงไว้ในรูปที่ 7-7 และ 7-8



ขบวนการในการซ่อมแซมมีดังนี้ เริ่มจากการทำความสะอาดคอนกรีตในบริเวณที่ต้องการซ่อมแซม โดยการใช้น้ำแรงดันสูง หลังจากนั้นทำการสกัดคอนกรีตที่เสื่อมสภาพออกและทำความสะอาดเหล็กเสริม หากความเสียหายรุนแรง หลังจากนั้นทำการติดตั้งกรงเหล็กที่เคลือบด้วยอีพ็อกซี่ในบริเวณด้านล่างของส่วนที่ต้องการซ่อมแซม พร้อมทั้งใช้วงแหวนที่สามารถถอดได้ซึ่งทำหน้าที่เหมือนยก้านน้ำซีม ในบริเวณที่ความเสียหายไม่รุนแรง อาจไม่จำเป็นต้องทำการใส่เหล็กเสริมเพิ่ม หลังจากนั้นทำการติดตั้งแบบ Fiberglass ซึ่งมีความหนาประมาณ 1/8 นิ้ว เพื่อที่จะป้องกันการโก่งตัวของแบบ ต้องทำการติดตั้ง Clamp หรือแถบรัด เป็นช่วงๆ ช่วงๆละ 2 ถึง 3 ฟุต น้ำปูนผสมอีพ็อกซี่ซึ่งมีส่วนผสม ทราบ 1 ส่วน และ อีพ็อกซี่ 1 ส่วน ถูกสูบเข้าไปในแบบทางช่องเปิดทางด้านล่างของแบบ ดังนั้นน้ำปูนจะเข้าไปแทนที่น้ำในขณะที่จะดันน้ำปูนสูงขึ้น ภายในแบบที่ถูกปิดอย่างมิดชิด จนกระทั่งน้ำปูนล้นจากช่องเปิดที่อยู่ด้านบนของแบบ หลังจากทีอีพ็อกซี่แข็งตัว ให้ทำการถอด Clamp ที่อยู่ข้างนอกแบบ และทำการถอดแบบ โดยวัสดุที่ซ่อมแซมจะถูกติดตั้งอย่างถาวรบนเสาเข็ม



รูปที่ 7-7 การซ่อมแซมเสาด้วยวิธี Fiber Glass Jacket



รูปที่ 7-8 การซ่อมแซมเสาด้วยวิธี Fiber Glass Jacket ในบริเวณที่เสียหายรุนแรง

ง. Steel Jacket

แบบเหล็กถึงแม้ว่าไม่นิยมนำมาใช้ในการซ่อมแซมอย่างเช่นการซ่อมแซมด้วยวิธีอื่น ก็มีการนำแบบเหล็กมาใช้อยู่ 2 วิธีด้วยกัน เนื่องจากแบบเหล็กนี้สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ หรือเป็นส่วนหนึ่งของเสาเข็มอย่างถาวร เมื่อมีการนำแบบเหล็กมาใช้ เพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ เราสามารถลดราคาในการใช้แบบได้ เนื่องจากเหล็กมีความแข็งแรง ทำให้เหล็กมีคุณสมบัติที่ดีต่อการเป็นแบบ หากเราปล่อยแบบเหล็กนี้ไว้ในเสาเข็ม จะเป็นการช่วยเสริมกำลังรับแรงให้เสาเข็มได้ด้วย อย่างไรก็ตามการใช้แบบเหล็กมีแนวโน้มที่ราคาจะสูงกว่าการใช้วัสดุอื่นเป็นแบบ ในกรณีนี้ ควรทำการป้องกันไม่ให้เหล็กเป็นสนิมด้วยการ galvanize หรือเคลือบด้วยอีพ็อกซี่ ขบวนการในการซ่อมแซมด้วยแบบเหล็กคล้ายคลึงกับการซ่อมแซมโดยใช้วัสดุชนิดอื่น คอนกรีตและปูนทรายถูกเทภายในช่องว่างระหว่างแบบและเสาเข็มหลังจากที่ได้ทำความสะอาดคอนกรีตเดิมด้วยน้ำแรงดันสูง สกัดคอนกรีตที่เสื่อมสภาพ และทำความสะอาดเหล็กเสริม ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของความเสียหาย อาจต้องนำทรงเหล็กมาใช้ก่อนที่จะทำการเทคอนกรีต

7.3.2 การซ่อมแซมรอยแตกในเสาเข็ม (Crack Repairs for Piles)

ในหลาย ๆ สถานการณ์ จะเกิดรอยแตกตามแนวตั้งขึ้นในเสาเข็มระหว่างที่ทำการติดตั้งเสาเข็ม โดยมีสาเหตุเนื่องมาจากหน่วยแรงดึงในเสาเข็มซึ่งหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นมีค่าสูงกว่าความสามารถในการรับแรงดึงของคอนกรีต รอยแตกเหล่านี้มักเกิดขึ้นกับเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่มักพบได้น้อยในเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง อันเนื่องมาจาก เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงใช้คอนกรีตกำลังสูง นอกจากนี้ยังเกิดแรงอัดอันเป็นผลเนื่องมาจากแรงดึงลวดและการใช้เหล็กปลอกที่มีระยะน้อยกว่า ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทนต่อหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นขณะติดตั้งเสาเข็มมากขึ้น



ในการซ่อมแซมรอยแตกของโครงสร้างที่อยู่ใต้น้ำสามารถใช้วิธีการซ่อมแซมรอยแตกที่เกิดกับโครงสร้างเหนือน้ำ แต่ต้องมีการปรับแต่งให้เข้ากับสถานการณ์ คือต้องให้นักประดาน้ำดำน้ำลงไปทำความสะอาดบริเวณที่ต้องการทำการซ่อมแซมด้วยการฉีดด้วยน้ำแรงดันสูง ถ้ามีน้ำมันแทรกเข้าไปในรอยแตกต้องมีการใช้ผงซักฟอกหรือสารเคมีเพื่อใช้ในการทำความสะอาดภายในรอยแตก หลังจากนั้นทำการอุดรอยแตกด้วยการฉาบ Epoxy Grout ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาหลายชั่วโมงในการแข็งตัวเพียงพอต่อการต้านทานแรงดันน้ำ

ก่อนที่อีพ็อกซีจะแข็งตัวให้ทำการติดตั้งหัวฉีดตามวิธีที่ได้อธิบายมาแล้ว หลังจากนั้นทำการฉีดอีพ็อกซีที่ความหนืดต่ำจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน โดยทำการฉีดอีพ็อกซีจนกระทั่งอีพ็อกซีล้นออกมาจากหัวฉีดที่อยู่สูงสุด โดยนักประดาน้ำต้องทำการควบคุมปริมาณของวัสดุเพื่อตรวจสอบว่าสัดส่วนของวัสดุถูกต้องหรือไม่ ทั้งนี้คุณสมบัติของน้ำต้องมีคุณสมบัติสูงกว่า 4 องศาเซลเซียส และอีพ็อกซีบริสุทธิ์สามารถอุดรอยแตกได้กว้างสุด 6 มม. สำหรับรอยแตกที่กว้างกว่านี้ ต้องมีการใช้มวลรวมละเอียดผสมเข้าไป เพื่อลดความสามารถในการไหลได้ของ Grout และเพื่อช่วยลดราคาวัสดุ

# การซ่อมแซมสะพานที่รองรับ

## 8.1 ปัญหาที่พบในที่รองรับ (Bearing)

ที่รองรับ (Bearing) ของสะพานมักเกิดปัญหาขึ้นได้เนื่องจากเป็นส่วนที่รับน้ำหนักของโครงสร้างที่รับแรงสั่นสะเทือนจากจราจร โดยส่วนใหญ่ Bearing จะสามารถเข้าถึงได้ และสามารถตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นกับ Bearing ได้สะดวก ในบางกรณี Bearing อาจอยู่ในที่ที่เข้าถึงได้ยาก อย่างเช่น Bearing ที่อยู่ในคานกล่อ่ง ในกรณีที่ไม่สามารถเข้าถึง Bearing ได้ นั้น วิธีการตรวจสอบ Bearing สามารถทำได้โดยสังเกตจากการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง และตรวจสอบโครงสร้างทั้งบนดินและใต้ดินของสะพานเพื่อหาความเสียหายที่เกิดขึ้น

ดังนั้นในการออกแบบ Bearing สะพาน ต้องมีการพิจารณาถึงวิธีการที่จะใช้ในการเปลี่ยน Bearing ด้วย

### 8.1.1 การรั่วซึม การกัดกร่อนเหล็กเสริมและสนิมเหล็ก

Bearing มักสัมผัสกับน้ำที่ซึมผ่านมาตามรอยต่อพื้นสะพาน การรั่วซึมของรอยต่อพื้นสะพานได้นำพาวัสดุที่เป็นอันตรายต่อ Bearing อันได้แก่ น้ำฝน เกลือคลอไรด์ น้ำมัน จารบี จากรถยนต์ ฝุ่น ควันจากรถ ที่อยู่เหนือสะพาน ลงไปสู่ bearing ที่อยู่ด้านใต้

การรวมตัวของฝุ่นและความชื้นเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน โดยการที่ Bearing สัมผัสความชื้นเป็นระยะเวลานานทำให้เกิดการกัดกร่อนเหล็กเสริม ไม่ว่าจะให้การป้องกัน Bearing ด้วยวิธีการใดก็ตาม ความรุนแรงจะเกิดมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะเกิดกับชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหวมาก และแรงที่มากกระทำมีค่าสูง ถึงแม้ว่าจะมีการใช้สารหล่อลื่นบนผิวเหล็ก แต่เมื่อน้ำและสารละลายเกลือคลอไรด์ซึมผ่านรอยต่อสะพาน ทำให้สารเหล่านี้ชะล้างสารหล่อลื่นออกจาก Bearing นอกจากนี้สารที่ใช้ป้องกันการเกิดสนิมเช่น สีหรือ Galvanize ไม่สามารถใช้บนผิวสัมผัส

ผิวของ Sliding Plate ที่เกิดสนิมต้องการแรงสูงเพื่อเอาชนะแรงเสียดทาน ดังนั้นทำให้การทำงานของ bearing ส่วนที่เคลื่อนไหวได้ไม่สามารถทำงานได้เต็มที่ การกัดกร่อนเหล็กเสริมทำให้ผิวเหล็กไม่สม่ำเสมอซึ่งทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีค่าสูงขึ้น ดังนั้น Expansion Bearing ซึ่งไม่ได้ถูกออกแบบมาใช้ถ่ายแรงด้านข้าง (Lateral Force) ซึ่ง



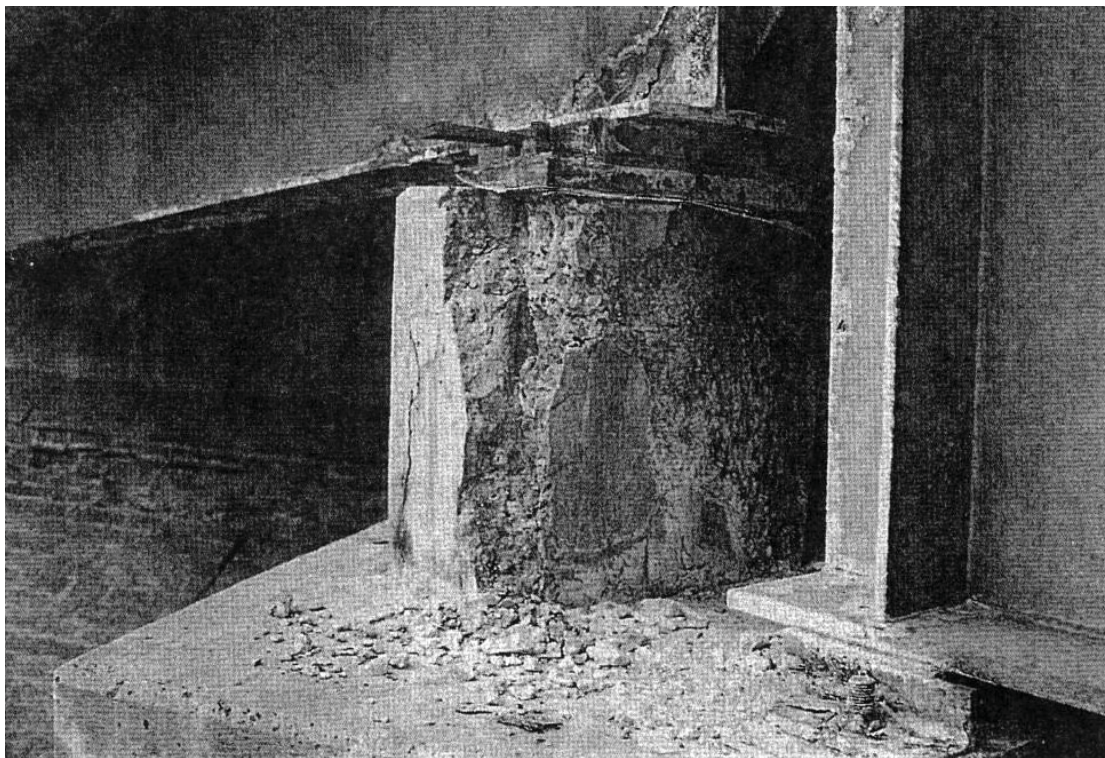
นอกเหนือจากแรงที่ต้องการเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานและแรงที่เริ่มทำให้เกิดการเคลื่อนตัว ยังต้องอยู่ภายใต้แรงจากการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ

ในกรณีที่สามารถตรวจสอบ Bearing ด้วยตาได้นั้น ไม่ควรพิจารณาเพียงแค่ Bearing เท่านั้น แต่ให้พิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นทั้งหมดรอบๆ Bearing

หากไม่มีการเสริมเหล็กอย่างเพียงพอรอบๆสลักเกลียวที่จุดยึด Bearing แรงดันด้านข้างเหล่านี้สามารถทำให้เกิดรอยแตก และเกิดการหลุดร่อนของคอนกรีตในบริเวณรอบๆจุดรองรับ Bearing ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผิวตั้งฉากกับจุดรองรับ ด้านหน้าของสลักเกลียวที่จุดยึด Bearing ดังแสดงในรูปที่ 8-1 โดยปัญหานี้พบบ่อยมากในโครงสร้างคอนกรีตที่มีอายุมาก และเมื่อโครงสร้างคอนกรีตไม่มีการเสริมเหล็กอย่างเพียงพอ ดังที่ได้อธิบายมาแล้วนั้น แรงที่เกิดเนื่องจากการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่เกิดจากการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิเป็นแรงมหาศาลถ้าหากการเคลื่อนตัวถูกจำกัดไม่ให้เคลื่อนตัว โดยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ทั้งในแนวขวางและในแนวนานกับสะพาน

ใน Rocker Plate และ Roller ก็มีปัญหากการเกิดสนิมเหล็ก โดยสนิมเหล็กที่เกิดขึ้นด้านใต้ของ Rocker Plate ขัดขวางการเคลื่อนตัวของ Rocker Plate ถ้าการเกิดสนิมเหล็กเกิดขึ้นในขณะที่ Rocker Plate อยู่ในสภาวะที่ขยายหรือหดตัวสูงสุด จะทำให้ Rocker Plate ไม่เคลื่อนตัวกลับไปสู่จุดเดิม

Roller มักเกิดปัญหากการเกิดสนิมเช่นกัน ผิวสัมผัสมักเกิดหลุมและรูปร่างผิดไปทำให้การเคลื่อนตัวเป็นไปได้ยาก การสะสมของฝุ่นและสิ่งสกปรกทำให้เกิดปัญหาใน Roller เช่นเดียวกับการเกิดสนิมเหล็ก เมื่อฝุ่นแทรกซึมเข้าไปในผิวที่รับน้ำหนักซึ่งกันและกัน มันอาจเป็นสาเหตุทำให้ Roller เกิดความเสียหายเนื่องจากการเคลื่อนที่ของ Sliding Plate หรือ Rocker หรือ Roller อนุภาคฝุ่นจำกัดการเคลื่อนตัวของ Bearing โดยเพิ่มสัมประสิทธิ์เสียดทาน ฝุ่น เศษขยะสามารถทำให้เกิดความเสียหายหรือทำให้เกิดรอยชูดบนผิว Bearing



รูปที่ 8-1 การหลุดร่อนอันมีสาเหตุเนื่องมาจากการกัดกร่อน Bearing

### 8.1.2 การเอียงตัวของ Bearing

แรงเยื้องศูนย์เนื่องมาจากการเอียงตัวอย่างมากของ Bearing เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 8-2 แรงเยื้องศูนย์ทำให้เกิดหน่วยแรงที่มากใน Masonry Plate และทำให้เกิดการวิบัติขึ้นใน Masonry Plate ภายใต้อันตรึงคองกรีตภายใต้ Masonry Plate สามารถถูกบีบอัดได้เนื่องจากแรงเยื้องศูนย์ การเคลื่อนที่ออกของ Roller Bearing สามารถทำให้เกิดการวิบัติขึ้นใน Bearing ได้ หากการเคลื่อนที่มีค่ามากและจุดศูนย์กลางของ Pin เคลื่อนที่ออกไปจากผิวสัมผัสของ Rocker Plate ในกรณี Bearing ชนิดที่มี Sliding Plate แรงเยื้องศูนย์สามารถทำให้เกิดการฉีกขาดขึ้นที่ผิวด้านล่าง

### 8.1.3 ความเสียหายเนื่องจากสารเคมี

สารเคมีโดยเฉพาะอย่างยิ่งเกลือคลอไรด์ น้ำมันที่รั่วมาจากรถ สามารถส่งผลกระทบต่อส่วนประกอบของ Bearing ผลของเกลือคลอไรด์ต่อกระบวนการเกิดสนิมเหล็กในคอนกรีตเสริมเหล็กได้ถูกอธิบายอย่างละเอียดในคู่มือเล่มนี้ โดยคลอไรด์ไอออนในน้ำทำให้เกิดการถ่ายเทของกระแสอิเล็กตรอนจาก Anode ไปสู่ Cathode และท้ายที่สุดทำให้เกิดการกัดกร่อนและสนิมในเหล็กเสริม หากแผ่นเหล็กมีการสัมผัสกับสารเคมีเป็นระยะเวลานาน พบว่าแผ่นเหล็กจะเกิดการกัดกร่อนที่รวดเร็ว ดังที่ได้อธิบายมาแล้ว

Elastomeric Bearing มีความคงทนต่อสารเคมีที่ต่ำกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งยางที่สังเคราะห์ขึ้นและใช้มากในสะพานปัจจุบัน มีความคงทนต่อสารเคมีมากกว่ายางธรรมชาติซึ่งจะเกิดความเสียหายหากสัมผัสกับสารเคมีเช่น กรดซัลฟูริก และน้ำมันบางประเภท เป็นระยะเวลาที่ยาวนาน อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปสะพานไม่ได้สัมผัสกับสภาวะที่รุนแรงเช่นนั้น เป็นระยะเวลาที่ยาวนาน ถ้าเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว ส่วนที่จะเกิดผลกระทบคือส่วนที่อยู่ผิวนอกสุดของ Rubber Bearing ดังนั้นผลของสารเคมีอาจไม่มีผลกระทบต่อ Rubber Bearing มาก ตรวจสอบเท่าที่ส่วนที่เคลือบคลุม Rubber Bearing ยังเพียงพอ

### 8.1.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นเฉพาะใน Elastomeric Bearings

ใน Bearing ที่ทำจาก Rubber ตามประวัติศาสตร์พบว่ามักเกิดรอยแตกขึ้น ถึงแม้ว่าจะเกิดรอยแตกขึ้นแต่ความเสียหายที่เกิดขึ้นมีขนาดไม่มาก และมักจะเกิดในบริเวณที่ยางอยู่ภายใต้แรงดึง โดยยางธรรมชาติจะเกิดปัญหาได้มากกว่ายางสังเคราะห์ ดังนั้นตาม TRB ไม่ได้พิจารณาว่ารอยแตกเป็นปัญหาใน Rubber Bearing

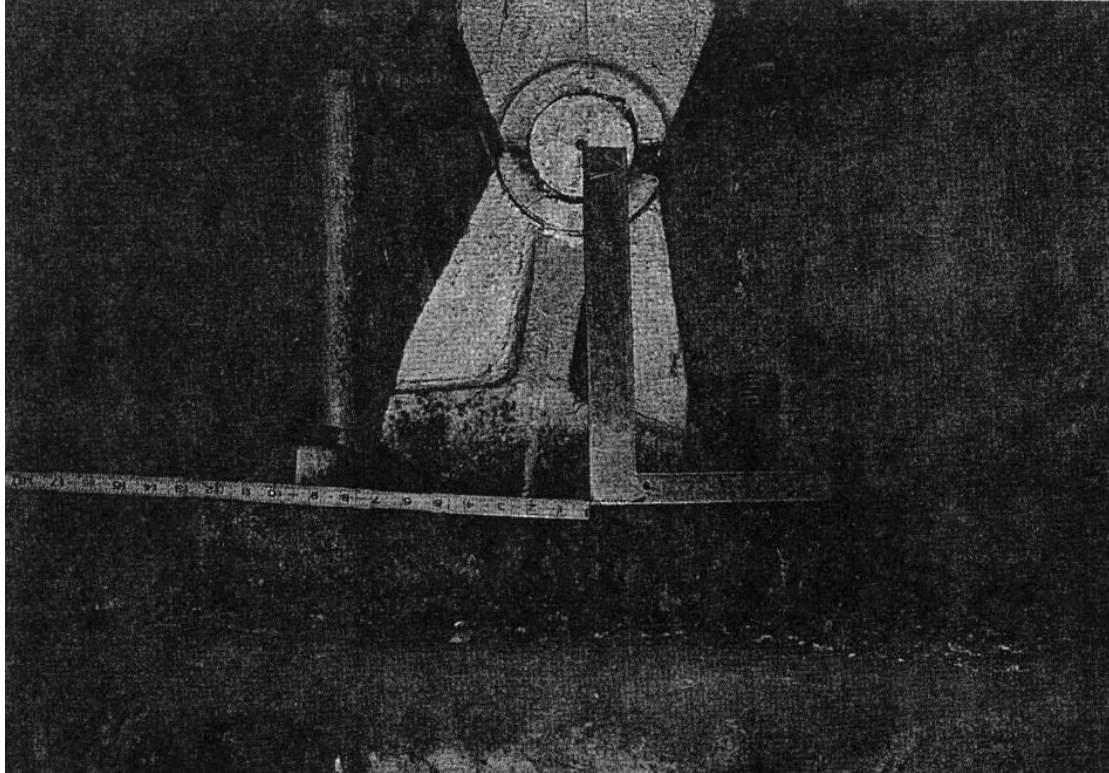
การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของยางเป็นผลเนื่องมาจากอายุ โดยคุณสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงมีผลกระทบมาจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีภายในตัวยางเอง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงด้านเคมีนี้มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และการสึกกร่อน ทำให้ยางมีความแข็งมากขึ้น ลดการยืดตัว และเพิ่มโมดูลัสแรงเฉือน (Shear Modulus)

นอกจากนี้ยังพบปัญหาที่เกิดขึ้นกับ Elastomeric Bearing เนื่องจากวัสดุ โดยอาจไม่มีการควบคุมคุณภาพที่นำมาใช้ทำ bearing อย่างเคร่งครัด หรือควบคุมผู้ผลิตอย่างเข้มงวด และอาจเกิดปัญหาอย่างอื่นเช่น รอยแตกใน Elastomer อันเป็นผลเนื่องมาจาก Microscopic Flaws

การเคลื่อนตัวของ Elastomeric Bearing เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอีกอย่าง ถ้า Bearing ถูกแรงดันในแนวนอนกระทำ อย่างเช่นแรงเนื่องจากการหดตัวและการคืบตัวในโครงสร้างคอนกรีตส่วนที่อยู่เหนือ Bearing การก่อสร้างอยู่ในแนวที่ไม่ถูกต้อง หรือการไม่ได้พิจารณาถึงผลของอุณหภูมิในขณะที่ทำการติดตั้งขึ้นส่วนที่อยู่เหนือ Bearing การเคลื่อนตัวสามารถ



ป้องกันได้โดยใช้ตัวช่วยยึด (Restraining Lip) หรือ Keeper Plate หรือใช้เหล็กเดือยในการยึดวัสดุ หากการยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุ Elastomer กับ ผิวที่ Bearing รองรับน้ำหนัก และระหว่างวัสดุ Elastomer และ ชั้นภายในของ Bearing มีค่าแรงยึดเหนี่ยวไม่เพียงพอ เป็นต้นเหตุอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นใน Bearing



รูปที่ 8-2 การเรียงตัวของ Rocker Bearing

### 8.1.5 การเคลื่อนที่ของโครงสร้างสะพานใต้ Bearing

บางครั้ง Bearing แสดงถึงว่ามีการเคลื่อนที่ด้านข้างอย่างมากเนื่องจากการเคลื่อนที่ของโครงสร้างสะพานใต้ Bearing โดยมีหลายสาเหตุที่ทำให้โครงสร้างใต้ Bearing เคลื่อนไหว ยกตัวอย่างเช่น ที่ตอม่อริมสะพาน แรงดันน้ำเกิดขึ้นหลังตอม่อทำให้เกิดแรงดันในแนวนอนซึ่งไม่ได้ถูกพิจารณาไว้ในการออกแบบ โดยแรงดันมีสาเหตุมาจากการอุดตันของ Weephole หรือการออกแบบที่ไม่ได้พิจารณาถึงแรงดันน้ำที่กระทำต่อตอม่อริมสะพาน ซึ่งสามารถทำได้โดยการจัดเตรียมใช้วัสดุดินถมที่มีการระบายน้ำที่ดี (Porous Fill) หรือ ใช้ Underdrain ข้างหลังตอม่อริมสะพาน หรือการใช้ระบบท่อส่งน้ำให้ไหลออกจากตอม่อริมสะพาน สาเหตุอีกอย่างที่ทำให้ตอม่อเกิดการเคลื่อนที่คือการออกแบบฐานรากที่ไม่ดีพอ การทรุดตัวของฐานรากพบได้ทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสะพานที่เก่าแก่ มีสะพานมากมายที่ถูกสร้างโดยไม่ได้ตรวจสอบฐานรากอย่างละเอียดถี่ถ้วน ทั้งนี้สภาพของดินอาจเปลี่ยนแปลงได้ถึงแม้ว่าจะอยู่บนเสาเข็มหรือตอม่อเดียวกัน ในการตรวจสอบสภาพดินควรประกอบด้วยการเจาะตัวอย่างดินสองแห่งต่อหน่วยโครงสร้างใต้ Bearing โดยคุณสมบัติของดินอาจแตกต่างกันอย่างมากสามารถเกิดขึ้นได้กับหลุมเจาะสองหลุมที่อยู่ใกล้เคียงกัน การทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของตอม่อและเสาเข็มเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเอียงตัวของ bearing หรือ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของ Elastomeric bearing



### 8.1.6 การกระแทกจากน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load Impact)

การกระแทกของน้ำหนักบรรทุกจรทำให้เกิดการสั่นไหวซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ bearing เกิดความเสียหาย รวมถึงทำให้สลักเกลียว จุดต่อ หลวม และยังทำให้เกิดปัญหาความล้าชั้นในโครงสร้าง (Fatigue)

### 8.1.7 ปัญหาในการก่อสร้าง

การก่อสร้างที่ไม่ถูกต้องเป็นต้นเหตุที่ทำให้แนวการวางตัวของ Bearing ไม่ถูกต้อง นอกจากความผิดพลาดในการผลิต หรือความไม่แม่นยำในการติดตั้งสลักเกลียว ซึ่งเป็นผลมาจากการก่อสร้างและการควบคุมงานที่ไม่ถูกต้อง ปัญหาที่พบมากคือการขาดการพิจารณาอุณหภูมิในขณะทำการติดตั้ง Bearing การขาดการพิจารณาการออกแบบ หรือการก่อสร้างที่ไม่แม่นยำส่งผลให้แนวของ Bearing ไม่ถูกต้อง

### 8.1.8 การหดตัวและการคืบตัว (Shrinkage and Creep)

ผลของการหดตัวและการคืบตัวของโครงสร้างส่วนที่อยู่เหนือ Bearing ถ้าหากไม่ได้นำมาพิจารณาในการออกแบบอาจทำให้เกิดการวางแนวที่ไม่ถูกต้อง โดยนักออกแบบต้องพิจารณาถึงความยาวของชิ้นส่วนคอนกรีตที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเนื่องจากการหดตัวและการคืบตัว และควรพิจารณาทั้งความยาวของชิ้นส่วนทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เมื่อทำการติดตั้ง Bearing ในตำแหน่งที่เหมาะสม ทั้งนี้ผู้ที่ทำการตรวจสอบสะพานต้องคำนึงถึงการหดตัวและการคืบตัวที่มีผลกระทบต่อความยาวของคอนกรีตและทำให้แนวของ Bearing ผิดไปเล็กน้อย

### 8.1.9 แรงในแนวตั้งฉากกับสะพาน (Transverse Forces)

แรงในแนวตั้งฉากกับสะพานมีความสามารถที่จะทำให้เกิดความไม่เสถียรภาพใน Bearing ที่ออกแบบไม่ถูกต้อง ยกตัวอย่างเช่น ผลของแรงโน้มถ่วงอย่างเดียวมีผลทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของสะพานที่ตั้งอยู่บนพื้นที่ลาดลงอย่างรวดเร็ว หากไม่มีการพิจารณาผลของแรงโน้มถ่วงในการออกแบบ Bearing

---

## 8.2 การหาสาเหตุปัญหาในทีรองรับ (Bearing)

---

ขบวนการการตรวจสอบตามปกติมีความเพียงพอต่อการตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นใน Bearing อย่างไรก็ตามควรมีวิศวกรที่มีประสบการณ์เพื่อตรวจสอบสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา โดยผู้ตรวจสอบที่มีประสบการณ์สามารถบอกได้ว่า Bearing เอียง หรือเกิดการเคลื่อนตัวของ Bearing เพียงแต่การตรวจสอบด้วยตาเปล่า เมื่อมีการพบปัญหา ควรทำการตรวจสอบอย่างใกล้ชิดเพื่อตรวจสอบถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อ Bearing

### 8.2.1 การตรวจสอบการเคลื่อนตัวของ Bearing ในสนาม

ในปัญหาเริ่มแรกของการเคลื่อนตัวของ Bearing ควรทำการวัดเพื่อที่หาขนาดของการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดขึ้น ในกรณี Rocker Bearing สามารถใช้วิธีหาระยะเคลื่อนตัวของ Pin ออกจากจุดศูนย์กลาง (Centerline) นอกจากนี้ควรบันทึกอุณหภูมิไว้ด้วย นอกจากนี้ควรทำการวัดว่าโครงสร้างสะพานส่วนใต้ Bearing อยู่ในแนวตั้งหรือไม่



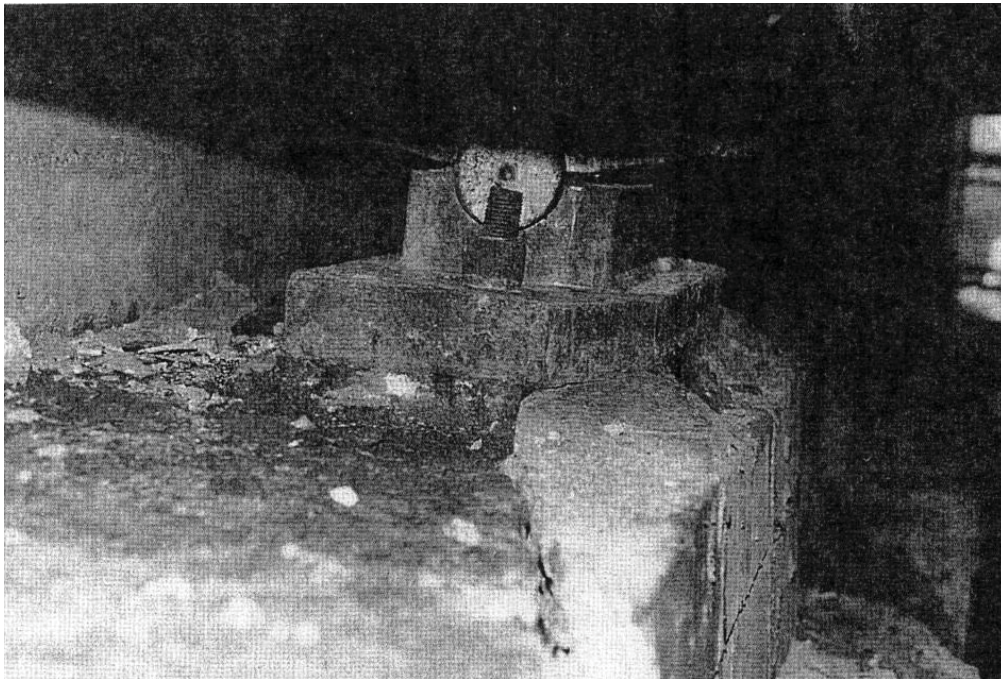
### 8.2.2 การติดตาม Bearing ที่ทำงานไม่ปกติ

หากสงสัยว่า Bearing ทำงานไม่ปกติ หรือเกิดการเคลื่อนตัวของโครงสร้างสะพานส่วนที่อยู่ใต้ Bearing ควรทำการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของสะพานอย่างละเอียด การวัดควรทำที่เวลาต่างๆกัน อุณหภูมิต่างๆกัน สิ่งที่ควรทำการติดตามตรวจสอบมีดังต่อไปนี้

- การเคลื่อนที่ในแนวนอนกับสะพาน (Longitudinal Movements)
- การเปิดของรอยต่อพื้นสะพาน (Deck Joint Opening)
- ระยะเคลื่อนตัวจากแนวตั้งของโครงสร้างสะพานส่วนที่อยู่ใต้ Bearing
- การเอียงตัวของ Bearing

### 8.2.3 การหาสาเหตุความเสียหายของคอนกรีตที่รองรับ Bearing (Bearing Seat)

คอนกรีตที่รองรับ Bearing เป็นบริเวณแรกที่เกิดความเสียหาย มักเกิดรอยแตก การหลุดร่อนซึ่งเริ่มจากสลักเกลียว นอกจากนี้คอนกรีตที่รองรับอาจเกิดความเสียหายทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 8-3 เมื่อมีการพบปัญหาที่ Bearing หนึ่ง ควรทำการตรวจสอบ Bearing ตัวอื่นๆ เนื่องจากโครงสร้างสะพานส่วนที่อยู่เหนือ Bearing สามารถถ่ายน้ำหนักจาก Bearing หนึ่งไปสู่ส่วนที่เหลือของโครงสร้าง



รูปที่ 8-3 ความเสียหายของคอนกรีตที่สลักเกลียว Bearing

### 8.2.4 การหาปัญหาที่ต่อม่อริมสะพาน

การสังเกตโครงสร้างสามารถทำให้เราทราบถึงสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น หากเกิดการอุดตันของรูระบายน้ำที่ต่อม่อริมสะพาน จะทำให้เกิดแรงดันน้ำสูงกระทำต่อต่อม่อริมสะพาน ซึ่งอาจทำให้โครงสร้างเกิดการเอียงได้ หากโครงสร้างไม่มี Approach Slab อาจทำให้เกิดการทรุดตัวในบริเวณนี้เนื่องจากการทรุดตัวของดิน เป็นผลทำให้ต่อม่อสะพานเกิดการทรุดตัว และการเอียงตัวไปด้วย

หลังจากที่ทำการรวบรวมข้อมูล และข้อสังเกต สามารถทำให้เราสามารถสรุปถึงสาเหตุและผลกระทบ และระดับของความเสียหายที่เกิดขึ้นในสะพานได้

### 8.2.5 การหาสาเหตุความเสียหายที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนของ Bearing

ปัญหาที่เกิดจากการทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพของ Pin หรือการไม่ยอมให้เกิดการหมุนตัวของ Bearing มีอาการที่ไม่ชัดเจน การไม่ยอมให้เกิดการหมุนตัวก่อให้เกิดแรงดัดอย่างมหาศาล เป็นผลทำให้เกิดหน่วยแรงมหาศาลใน Bearing หรืออาจเกิดการกระจายตัวใหม่ของแรงดัด และอาจทำให้รอยเชื่อมที่ออกแบบให้รับเฉพาะแรงดันด้านข้าง เกิดความเสียหายหากมีแรงดัดจำนวนมากกระทำบนรอยเชื่อม โดยทั่วไปสะพานเหล็กมีความสามารถที่จะต้านทานแรงดัดที่เพิ่มขึ้นได้ อย่างไรก็ตามในสะพานคอนกรีตอัดแรงไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ต้านทานแรงดัดที่เพิ่มขึ้น และรอยแตกสามารถเกิดขึ้นได้หากมีแรงดัดมากกระทำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อาจเกิดปัญหาที่รอยต่อของ Sole Plate และคาน ซึ่งรอยต่อเหล่านี้ไม่ได้ถูกออกแบบให้มาต้านทานแรงดัดที่เพิ่มขึ้นนี้ Bearing ที่มีสลักเกลียว 4 ตัวสามารถต้านทานแรงดัดได้ แต่หากไม่มีการเสริมเหล็กต่อคอนกรีตที่รองรับ Bearing อย่างเพียงพอ อาจเกิดรอยแตกและการหลุดร่อนที่บริเวณรอบๆสลักเกลียวขึ้นได้

### 8.2.6 การเกิดปัญหาขึ้นใน Elastomeric Bearing

สะพานที่ใช้ Elastomeric Bearing มักเกิดปัญหาขึ้นเนื่องจาก Elastomer มีแนวโน้มที่จะแข็งตัวขึ้นตามอายุการใช้งาน เมื่อเกิดการแข็งตัวขึ้นทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของโมดูลัสแรงเฉือน (Shear Modulus) ซึ่งเป็นผลให้เกิดแรงเฉือนในโครงสร้างสะพานส่วนที่อยู่ใต้ Bearing สูงขึ้น การแข็งตัวของ Elastomer สามารถสังเกตได้จากรอยแตก หรือเกิดการเปลี่ยนสีในวัสดุ Elastomer

### 8.2.7 การตัดสินใจว่าควรทำการซ่อมแซมหรือควรเปลี่ยนใหม่ (Rehabilitation or Replace?)

การตัดสินใจที่จะทำการซ่อมแซมหรือเปลี่ยน Bearing ซึ่งแสดงถึงความเสียหาย ขึ้นอยู่กับระดับของความเสียหายที่เกิดขึ้น โดยทั่วไป ถ้าหาก Bearing ยังคงสามารถทำงานได้คือถ่ายน้ำหนักได้ตามที่ออกแบบไว้อย่างเพียงพอ ยังสามารถหมุนและเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ และยังมีประสิทธิภาพในการรองรับการเคลื่อนตัวที่คาดว่าจะเกิดได้อย่างเพียงพอ ดังนั้นสามารถทำการซ่อมแซมได้ ถ้าปัญหาคือการวางแนวไม่ถูกต้อง ดังนั้นควรทำการวางแนวของ Bearing ใหม่

ปัญหาที่จะสามารถทำการซ่อมแซมได้แทนที่จะต้องทำการเปลี่ยน Bearing ได้แก่

- การกัดกร่อนเหล็กเสริมเกิดเพียงเล็กน้อย หรือผิวหน้าตกรสเกิด
- สูญเสียสารหล่อลื่น
- การสะสมของฝุ่น บนจุดวาง Bearing
- การเอียงตัวเพียงเล็กน้อยของ Bearing
- การเคลื่อนตัวเพียงเล็กน้อยของ Sliding Plate
- การเปลี่ยนหัวนอตที่หายไป
- การเปลี่ยนสลักเกลียวที่เสื่อมสภาพ โดยการเจาะสลักเกลียวเดิมและใส่สลักเกลียวใหม่เข้าไป
- การเปลี่ยนแผ่นเหล็ก Keeper ที่เกิดสนิม



โดยข้อบกพร่องที่ได้กล่าวถึงนั้นสามารถทำการซ่อมแซมได้โดยไม่มีผลกระทบต่อหน้าที่ของ Bearing แต่ในบางกรณี เช่นต้องการทำให้ Bearing ที่เอียง กลับมาตรงดังเดิม หรือการวาง Sliding Plate ใหม่ หรือการเปลี่ยน Masonry Plate อาจต้องทำการยกโครงสร้างบน Bearing เพื่อที่ปลดน้ำหนักออกจาก Bearing การกระทำเช่นนี้ขัดขวางการจราจร และค่าใช้จ่ายสูง แต่การรักษาให้ Bearing สามารถทำงานได้ตามปกติมีความสำคัญที่สุด

ความเสียหายที่มีมากขึ้นทำให้ Bearing เคลื่อนตัวได้ยากขึ้นและทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ สำหรับชิ้นส่วนที่ถูกสร้างขึ้นและมีระยะที่ยอมให้น้อย (Tight Tolerance) จะเป็นการปลอดภัยมากกว่าหากทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เหมือนกัน ดีกว่าที่จะหวังว่าชิ้นส่วนทั้งหมดจะเข้ากันได้และพอเหมาะกันพอดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าหากไม่มี Shop Drawing

### 8.3 การซ่อมแซมความเสียหายบริเวณที่รองรับ

เนื่องจากน้ำหนักจากโครงสร้างที่อยู่เหนือ Bearing จำเป็นต้องถ่ายน้ำหนักผ่าน Bearing ลงสู่โครงสร้างสะพานส่วนที่อยู่ใต้ Bearing การซ่อมหรือการเปลี่ยน Bearing ต้องการที่จะปลดน้ำหนักจาก Bearing ระหว่างการซ่อมหรือการเปลี่ยน Bearing ทั้งนี้ในงานดูแลเล็กน้อยๆ อย่างเช่นการทำความสะอาด ทาสี หรือการหล่อลื่น Bearing ไม่จำเป็นต้องปลดน้ำหนักออกจาก Bearing

#### 8.3.1 การทำความสะอาดและทาสี

Bearing ที่เกิดสนิมเหล็กที่ปราศจากการสูญเสียหน้าตัดอย่างรุนแรงควรทำความสะอาดและทาสี โดย Bearing ที่ทำจากเหล็กต้องทาสีทุกส่วนที่เป็นผิวสัมผัส หรือส่วนที่เลื่อนได้ ระดับของการทำความสะอาดขึ้นอยู่กับปริมาณการเกิดสนิมเหล็กที่เกิดขึ้น รอยละอองเล็กน้อยสามารถทำความสะอาดโดยใช้แปรงขัดออกในกรณีที่เกิดสนิมเหล็กในระดับปานกลางถึงระดับรุนแรง ควรทำการเอาส่วนที่เคลือบป้องกันออกจนถึงเหล็ก โดยควรทำการป้องกันผิวสัมผัสระหว่างที่ทำความสะอาดและทาสี

#### 8.3.2 การให้สารหล่อลื่น

การหล่อลื่นผิวสัมผัสของ Bearing เดิมนั้น เป็นการดูแลรักษาปกติของ Bearing ที่ทำจากเหล็ก การหล่อลื่นเป็นประจำพร้อมทั้งใช้สารป้องกันการเกิดสนิม (Corrosion Inhibitor) จะช่วยป้องกันการเกิดสนิมเหล็กและรอยเปื้อน และยังช่วยให้ผิวสัมผัสเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระปราศจากแรงเสียดทาน สารหล่อลื่นยังคงช่วยให้ผิวสัมผัสที่เกิดสนิมเหล็กไม่รุนแรงเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ โดยสารหล่อลื่นที่ช่วยป้องกันการเกิดสนิม เช่น WD-40 สามารถช่วยไม่ให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ติดกัน โดยวัสดุอื่นที่ใช้เป็นสารหล่อลื่นได้แก่ จารบี น้ำมันเช่นน้ำมันเครื่อง การใช้สารหล่อลื่นเพียงอย่างเดียวไม่ประกันว่า Bearing จะทำงานได้ตามจุดประสงค์ ถ้าไม่ทำการป้องกันการซึมผ่านของน้ำ จะพบว่า Bearing ยังคงเกิดความเสียหายได้อีก

#### 8.3.3 การปรับแก้มุมเอียง

การปรับแก้มุมเอียงที่มากเกินไปของ Rocker Bearing ให้ได้มุมเอียงที่ถูกต้องสามารถทำได้ ถึงแม้ว่าการทำจะมีราคาสูงมากก็ตาม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบหาสาเหตุของปัญหาก่อนที่จะทำการซ่อมแซมใหญ่ เพื่อที่

ผู้ออกแบบสามารถมั่นใจได้ว่าปัญหาจะไม่เกิดอีกครั้งในอนาคต ยกตัวอย่างเช่นหากเกิดการเคลื่อนตัวของตอม่อริมสะพาน เนื่องจากแรงดันน้ำที่กระทำต่อตอม่อริมสะพาน หากไม่ทำการแก้ไขการลดแรงดันน้ำที่กระทำต่อตอม่อริมสะพาน เมื่อทำการปรับแก้ความเอียง Bearing แล้ว จะพบว่าอีกไม่นาน Bearing ก็จะมีปัญหาเช่นเดิมอีก

ทั้งนี้ต้องทำการลดน้ำหนักออกจาก Bearing เพื่อให้สามารถให้ผู้ตรวจสอบเข้าถึง Bearing เพื่อทำการตรวจสอบได้ มีวิธีการหลายวิธีที่สามารถลดน้ำหนักออกจาก Bearing ได้ ซึ่งวิธีการเหล่านี้จะได้อธิบายในรายละเอียดต่อไป

### 8.3.4 การปรับระดับของโครงสร้างเหนือ Bearing

การตัดสินใจควรขึ้นอยู่กับว่าสามารถหนุนโครงสร้างที่อยู่เหนือ Bearing กลับไปอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม โดยปัจจัยที่ต้องพิจารณาขึ้นอยู่กับขนาดความรุนแรงของปัญหา และวิธีการในการแก้ไขปัญหา และสภาพของรอยต่อพื้นสะพาน ทั้งนี้มีหลายสาเหตุที่ทำให้โครงสร้างเหนือ Bearing นั้นเกิดการเคลื่อนที่ได้แก่ แรงโน้มถ่วงของโลกในกรณีที่สะพานตั้งอยู่บนที่ลาดชัน แรงดันเนื่องจากรถหนักที่หยุดและเริ่มวิ่งบนสะพาน หรือแรงเนื่องจากเครื่องจักรบนสะพานที่เคลื่อนที่ได้ ถ้าเกิดเหตุการณ์อย่างนี้ขึ้น จะส่งผลให้ Bearing เกิดความเสียหาย พร้อมทั้งรอยต่อพื้นสะพานเกิดการเปิดหรือการปิดในส่วนที่อยู่ตรงข้าม ในกรณีนี้ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ว่าการเคลื่อนที่ของโครงสร้างสะพานส่วนที่อยู่เหนือ Bearing ควรทำการหนุนโครงสร้างสะพานเหนือ Bearing ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องหลังจากที่ได้ทำการซ่อมแซมในบริเวณที่เกิดความเสียหาย เพื่อที่ทำการซ่อมแซมมีประสิทธิภาพ อาจมีความจำเป็นต้องทำการหนุนโครงสร้างเหนือ Bearing และทำการใส่ค้ำยันชั่วคราว และทำการย้าย Bearing ออกไปเพื่อที่สามารถเข้าถึงบริเวณที่ต้องการซ่อมแซมเพื่อทำการซ่อมแซมได้ หากพบความเสียหายเนื่องจากแรงเฉือนในคอนกรีต ควรทำการเสริมเหล็กในการรับแรงเฉือนใน Bridge Seat

ในสถานการณ์ส่วนใหญ่ ไม่ค่อยเกิดการวิบัติใน Seat หรือ Sole Plate และ Bearing ยังคงยึดไม่ให้สะพานไม่เคลื่อนไหวอย่างเพียงพอ เมื่อ Bearing เอียง อันเนื่องมาจากสาเหตุที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น และอาจพบการปิดของรอยต่อพื้นสะพานควบคู่ไปด้วย ในกรณีนี้ต้องจัดแนว Bearing ใหม่ในตำแหน่งแนวตั้งด้วยการย้ายที่ Base Plate หลังจากทำการหนุน (Jacking) รอยต่อที่เกิดการปิดสามารถจัดแนวใหม่ได้ด้วยการสกัดและสร้างบางส่วนใหม่ของพื้นสะพานใหม่ซึ่งอยู่ติดกับรอยต่อพื้นสะพาน ซึ่งควรทำเฉพาะในกรณีที่สามารถหาสาเหตุและทำการแก้ไขปัญหาเสร็จเรียบร้อยแล้ว

### 8.3.5 การปรับระดับ Masonry Plate

วิธีการที่ใช้กันทั่วไปเพื่อที่จะปรับระดับ Expansion Rocker Bearing ที่เอียง คือการเปลี่ยน Masonry Plate หลังจากทำการหนุนเพื่อลดน้ำหนักที่มากกระทำต่อ Bearing ใน Rocker Bearing ประเภทนี้จะมี Pintle อยู่ที่กึ่งกลางของ Plate โดย Pintle ที่ใส่เข้าไปใหม่นี้ควรถูกติดตั้งที่กึ่งกลางของ Rocker Bearing และควรทำการออกแบบ Masonry Plate ที่ติดตั้งใหม่โดยให้ตำแหน่ง Pintle อยู่ที่กึ่งกลางด้านล่างของ Pin ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของปี ทั้งนี้ Masonry Plate ต้องมีรูอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมและมีขนาดเท่ากับสลักเกลียวเดิมที่มีอยู่ การปรับตำแหน่งของ Bearing จะทำให้เกิดแรงเยื้องศูนย์สู่โครงสร้างสะพานส่วนที่อยู่ใต้ Bearing ถ้าหากโครงสร้างสะพานส่วนที่อยู่เหนือ Bearing ไม่ได้ปรับตำแหน่งในแนวราบให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องและต้องออกแบบ Masonry Plate ที่ติดตั้งเข้าไปใหม่ให้รับแรงดัดเนื่องจากแรงเยื้องศูนย์ หลังจากทำการปรับแก้ส่วนนี้แล้วนั้น Masonry Plate ต้องการความหนาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากระยะที่เพิ่มขึ้นสูงสุด ศูนย์กลางของน้ำหนักที่มากกระทำ ถ้าหากจำเป็น อาจต้องทำการสกัดคอนกรีตส่วนที่รับ Bearing (Concrete Seat) หรือใช้เหล็กที่มีกำลังรับแรงสูงขึ้นโดยใช้ความหนาเท่าเดิม และต้องคำนึงถึงผลของการปรับแต่งคอนกรีตส่วนที่รับ Bearing ไม่ให้เป็นตำแหน่งที่มีโอกาสที่จะกักขังน้ำ



ไม่ว่าจะมีการเพิ่มความหนาของ Masonry Plate หรือไม่ ขบวนการเตรียมส่วนที่รับ Bearing สำหรับ Masonry Plate ใหม่มีขั้นตอนเช่นเดียวกับการทำ Bearing ใหม่ กล่าวคือต้องทำการปรับระดับ Seating แล้วทำความสะอาดวัสดุที่มีอันตรายทั้งหมด แล้วทำการอัดน้ำปูน แล้วทำการติดตั้ง Neoprene Pad ด้านล่างของ Masonry Plate เพื่อให้ได้ระดับที่สม่ำเสมอ

### 8.3.6 การบิดแนวของ Sliding Plate

ขบวนการในการแก้ปัญหา Sliding Plate ที่เกิดการบิดแนว หลังจากที่มีการหนุนสะพานเพื่อปลดน้ำหนัก โดยการปรับแนวของ Sliding Plate สามารถทำได้ในลักษณะคล้ายๆกับการปรับแนวของ Masonry Plate ใน Rocker Plate เนื่องจากผิวสัมผัสของ Sliding Plate มีขนาดสูงกว่าผิวสัมผัสของ Rocker Bearing ผลของการเอียงศูนย์ของการปรับแนวใหม่ของ Bearing จึงไม่มีผลกระทบมาก อย่างไรก็ตามควรพิจารณาถึงผลของการเอียงศูนย์ต่อโครงสร้างส่วนที่อยู่ใต้ Bearing

### 8.3.7 การซ่อมแซมสลักเกลียว (Anchor Bolt)

มักพบว่าในบางครั้งเกิดการบิดงอ การขาดเนื่องจากแรงเฉือน หรือรอยแตกในสลักเกลียว หรืออาจพบว่านี่อดหายไป หรือเกลียวของสลักเกลียวเสียหาย ในบริเวณที่สลักเกลียวเกิดปัญหาโดยปราศจากผลกระทบอย่างรุนแรงต่อโครงสร้างใต้ Bearing เช่น รอยแตกหรือการหลุดร่อนในคอนกรีต วิธีการแก้ไขสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนสลักเกลียวโดยปราศจากการเปลี่ยนส่วนอื่นของ Bearing ซึ่งวิธีการคือทำการเจาะรูผ่าน Masonry Plate รอบๆสลักเกลียวเข้าไปในคอนกรีตที่ยังคงมีสภาพดีอยู่ ให้ลึกกว่าระยะฝังตัวของสลักเกลียวเดิมเล็กน้อย หลังจากทำการย้ายส่วนที่เจาะออก ให้ทำให้ผิวของรูขรุขระและทำการอัดน้ำปูนเข้าไปในรูเพื่อยึดสลักเกลียวที่ใส่เข้าไปใหม่ ทำการอัดน้ำปูนจนถึงด้านล่างของ Masonry Plate หลังจากนั้นใช้วงแหวน (Washer) เพื่อช่วยปิดร่องรอย โดยการใช้นี้วิธีนี้นี้ประหยัดกว่าการปิดช่องว่างโดยการใช้อุปกรณ์อุด

ถ้าปัญหาที่พบกับสลักเกลียวระหว่างที่ทำการย้าย Bearing ระหว่างที่ต้องการเปลี่ยน Bearing วิธีการเดียวกันสามารถใช้ในการเปลี่ยนสลักเกลียว วิธีการที่สามารถทำได้ก็คือการตัดสลักเกลียวส่วนที่อยู่เหนือคอนกรีตและทำการเชื่อมสลักเกลียวเข้าไปใหม่

รอยแตก การหลุดร่อน หรืออาการที่แสดงถึงการวิบัติของคอนกรีตรอบๆสลักเกลียวต้องการการซ่อมแซมที่มีขั้นตอนที่มากกว่า เช่นการสกัดคอนกรีตจนถึงคอนกรีตที่มีสภาพดี และมีการหาต้นเหตุของความเสียหายมีความจำเป็นเพื่อที่ผู้ออกแบบสามารถให้รายละเอียดในการซ่อมแซมได้อย่างถูกต้องเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเดิมขึ้นอีก

## 8.4 การเปลี่ยนที่รองรับ

ในบางครั้งเราสามารถเปลี่ยนชิ้นส่วนเล็กๆของ Bearing ได้โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยน Bearing ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาที่เกิดกับ Keeper Plate และ External Pintle สามารถทำการซ่อมแซมได้โดยปราศจากการรบกวนการทำงาน ของ Bearing เพราะชิ้นส่วนที่กล่าวมานี้ไม่ได้เกี่ยวข้องกับหน้าที่หลักของ Bearing ชิ้นส่วนนี้สามารถทำการซ่อมแซม หรือเปลี่ยนในสนามได้โดยการเชื่อมส่วนเดิมตรากลับที่ชิ้นส่วนหลักยังคงทำงานได้อย่างปกติ

#### 8.4.1 Bearing ที่ต้องการการเปลี่ยน

หากเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงต้องมีการเปลี่ยน Bearing ทันที Bearing ที่ทำมาจากเหล็กที่แสดงว่าไม่สามารถทำงานได้อย่างปกติ หรือเกิดการสูญเสียหน้าตัดและเกิดความเสียหายอย่างรุนแรง Elastometric bearing ที่มีรอยแตกใน Elastomer ควรที่จะทำการเปลี่ยนทันที Bearing ที่ไม่สามารถทำงานได้อย่างที่ออกแบบไว้ ควรทำการเปลี่ยนเช่นกัน Bearing ที่มี Sliding Surface ที่เป็นเซาะเป็นร่อง ซึ่งทำให้ Bearing ไม่สามารถทำงานได้ก็ควรทำการเปลี่ยน Bearing ทุกครั้งที่พบว่าต้องทำการส่ง Bearing เข้าไปทำการซ่อมแซม ควรพิจารณาการเปลี่ยน Bearing เนื่องจากว่าค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซม นั้นสูงมาก ทั้งนี้อาจพบว่าราคาที่ใช้ในการซ่อมแซมอาจมีราคาเท่ากับค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยน Bearing ใหม่ และ Bearing ที่ซ่อมแซมอาจทำงานได้มีประสิทธิภาพเท่ากับ Bearing ใหม่ นอกจากนี้หากไม่สามารถทำการซ่อมแซม Bearing ในสนามได้ ต้องส่งไปซ่อมแซมที่โรงงาน ดังนั้นโครงสร้างสะพานส่วนที่อยู่เหนือ Bearing ต้องทำค้ำยันตลอดเวลาที่ทำการซ่อมแซม Bearing ทั้งนี้ต้องคำนึงว่าค้ำยันชั่วคราวนั้นใช้เพียงเพื่อชั่วคราว โดยค้ำยันชั่วคราวไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ใช้เป็นระยะเวลายาวนานเมื่อต้องรับน้ำหนักเป็นเวลานานๆ ดังนั้นจึงควรจำกัดระยะเวลาที่สะพานปราศจาก Bearing

#### 8.4.2 การเปลี่ยน Bearing

ชนิดของ Bearing ที่เลือกเพื่อใช้เปลี่ยน Bearing เดิมไม่จำเป็นต้องเป็นชนิดเดียวกับ Bearing เดิมที่ใช้อยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสะพานเก่า ซึ่ง Bearing เดิมอาจล้าสมัยแล้ว ในการตัดสินใจเลือกชนิด Bearing ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

- ต้องพิจารณาว่า Bearing สามารถทำงานได้ตรงตามหน้าที่ที่ต้องการหรือไม่ เช่น มีความสามารถในการขยายตัวและหดตัวเพียงพอหรือไม่
- ต้องพิจารณาว่าความสูงของ bearing เหมาะสมหรือไม่ การเปลี่ยน Sliding Plate Bearing ซึ่งมีความสูงต่ำด้วย Rocker Bearing ที่มีความสูงสูงไม่สามารถทำได้ เนื่องจากทำให้ต้องยกระดับถนนและสะพานให้สูงขึ้น
- ต้องพิจารณาว่าโครงสร้างสะพานใต้ Bearing เข้ากันได้กับชนิดของ Bearing หรือไม่ การเปลี่ยน Sliding Bearing ที่ทำจากเหล็ก ด้วย Elastomeric bearing จะทำให้เกิดแรงดันด้านข้างสู่สะพานสูงขึ้น ถ้าความต้านทานแรงเฉือนของ Elastomeric bearing มีค่าสูงกว่าแรงเสียดทานของ Sliding Bearing ควรทำการตรวจสอบโครงสร้างสะพานใต้ Bearing ว่ามีความสามารถที่จะต้านทานแรงที่เกิดขึ้นนี้
- ต้องพิจารณาว่าควรทำการเปลี่ยน Bearing บางส่วนหรือทั้งหมดเพื่อที่จะพัฒนาความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหว

#### 8.4.3 วิธีการเปลี่ยน Bearing

ในทุกกรณีต้องทำการหนุนโครงสร้างส่วนที่อยู่เหนือ Bearing เมื่อทำการเปลี่ยน Bearing เดิม น้ำหนักจากโครงสร้างส่วนที่อยู่เหนือ Bearing ต้องทำการปลดออกจาก Bearing และต้องมีวิธีการการค้ำยันชั่วคราวเพื่อที่จะแบกรับน้ำหนักระหว่างที่ทำการย้าย และเปลี่ยนหรือซ่อมแซม Bearing



ก. พิจารณาการจราจร

ในหลายกรณีสามารถทำการเปลี่ยน Bearing ได้โดยไม่ต้องทำการปิดสะพานทั้งหมดด้วยการใช้ค้ำยันชั่วคราว ถ้าหากต้องทำการเปลี่ยน Bearing มากกว่าหนึ่งอันในแถว Bearing แถวใดแถวหนึ่ง ควรทำการจำกัดจำนวนการเปลี่ยน Bearing ในการเปลี่ยนในแต่ละครั้ง ควรทำการเบี่ยงจราจรขณะที่ทำการหนุนโครงสร้างสะพาน ซึ่งจะเป็นการช่วยลดน้ำหนักบรรทุก

ข. การยกและการปลดน้ำหนัก

ในกรณีที่ทำการหนุนคานหนึ่งตัว โดยไม่ได้มีการหนุนคานตัวติดกัน มีคำแนะนำว่าไม่ควรทำการยกคาน แต่ควรทำการหนุนเป็นจุดๆ จนกระทั่งน้ำหนักไม่ได้ถ่ายลงสู่ Bearing แต่ก่อนที่คานทั้งหมดจะถูกยก ด้วยการเลือกระยะห่างของแต่ละจุดยก ดังนั้นเราสามารถหลีกเลี่ยงที่จะต้องยกคานในระดับที่สูง ทั้งนี้ควรทำการตรวจสอบ Bearing ทุกๆครั้งที่มีการหนุน เพื่อตรวจสอบว่าน้ำหนักไม่ได้ถ่ายลงสู่ Bearing นอกจากนี้การติดตั้งเครื่องวัดสามารถใช้เพื่อตรวจสอบทุกการเคลื่อนไหวของสะพานเมื่อทำการหนุนคาน

หากต้องการเปลี่ยน bearing ทุกๆตัวใน 1 แถว อาจยอมให้มีการยกได้ในกรณีที่เป็นการคานอย่างง่าย (Simple Span) โดยไม่ต้องเกรงว่าจะเกิดรอยแตกร้าวในพื้นที่สะพาน อย่างไรก็ตามในกรณีคานต่อเนื่อง (Continuous Span) ควรคำนึงถึงรอยแตกในพื้นที่สะพานเมื่อทำการยกคาน

ในช่วงคานใดๆก็ตามที่ยอมให้มีการยกได้ ต้องมีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงอย่างอื่นซึ่งขึ้นอยู่กับความสูงของการยก เสถียรภาพของระบบที่ใช้ยกอาจเกิดปัญหาขึ้นได้ หากต้องใช้แรงมากในการยกคาน การยกโครงสร้างส่วนที่อยู่เหนือ Bearing ให้สูงกว่า 0.5 นิ้วอาจทำให้เกิดปัญหาขึ้นกับรอยต่อพื้นสะพานหากมีการเปิดสะพานให้ใช้ในขณะทำการติดตั้งค้ำยันชั่วคราว การกระแทกเนื่องจากรอยร้าวที่เกิดจากการยกสะพานส่งผลให้เกิดแรงกระแทกที่เพิ่มมากขึ้นต่อโครงสร้างสะพานที่อยู่เหนือ Bearing ซึ่งจะถ่ายลงสู่ค้ำยันชั่วคราวที่อยู่ด้านล่าง

ค. ค้ำยันชั่วคราว (Temporary Support)

เมื่อโครงสร้างถูกยกสู่ตำแหน่งที่ต้องการแล้ว ต้องทำการใส่ค้ำยันให้โครงสร้างก่อนที่จะทำการย้าย Bearing ซึ่งการค้ำยันโครงสร้างสามารถทำได้ 2 วิธี วิธีแรกสามารถทำได้โดยการใช้ค้ำยันที่เป็นกล่องค้ำยันโครงสร้างเพื่อรับน้ำหนัก วิธีนี้สามารถทำได้หลายอย่างขึ้นอยู่กับตำแหน่งของค้ำยัน เช่นสร้างเสาสั้นๆขึ้นมารองรับน้ำหนัก หรือใช้แท่นเหล็กและใส่ Shim เข้าไปเพื่อรองรับน้ำหนัก อีกวิธีหนึ่งที่ใช้รับน้ำหนักชั่วคราวคือการใช้ Locknut Jack ในการรองรับน้ำหนัก อย่างไรก็ตามค้ำยันต้องสามารถรับการเคลื่อนตัวเนื่องจากอุณหภูมิ รวมทั้งแรงในแนวนอนและแนวตั้ง

ง. การหนุนเพื่อการซ่อมแซมคอนกรีต

ในการซ่อมแซมคอนกรีตที่รองรับ Bearing อาจต้องทำการหนุนโครงสร้าง ถึงแม้ว่าในบางครั้ง Bearing ยังคงทำงานได้ตามปกติ การซ่อมแซมโดยไม่ได้ทำการปลดน้ำหนักออกโครงสร้างเหนือ Bearing ออกอาจทำให้การซ่อมแซมไม่เต็มประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่ซ่อมแซมมีประสิทธิภาพเต็มที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอนกรีตที่รับแรงอัด มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการปลดน้ำหนัก นอกจากนี้คอนกรีตที่ซ่อมแซมจะมีประสิทธิภาพในการใช้งานในการรองรับน้ำหนักก็ต่อเมื่อคอนกรีตได้รับการซ่อมแซม และได้รับการบ่มอย่างถูกวิธี ดังนั้นการซ่อมแซมคอนกรีตโดยไม่ได้ทำการปลดน้ำหนักออก เปรียบเสมือนการซ่อมแซมคอนกรีตเพียงแคผิวเท่านั้น โดยไม่ได้ซ่อมแซมทางด้านโครงสร้าง ยกเว้นเพียงเพื่อการยืดอายุการใช้งานโดยการเสริมให้มีระยะหุ้มเหล็กมีระยะมากขึ้น ทำให้เหล็กเสริมเกิดสนิมได้ยากขึ้น



### จ. แม่แรง (Jacks)

โดยทั่วไปน้ำหนักที่ใช้ในการยกโครงสร้างสะพานคือแรงดันไฮดรอลิก (Hydraulic Pressure) ทั้งนี้แม่แรงยังมีความสามารถต่างๆ เช่นมีระบบล็อกกันหลวม (Locking Nut System) ที่สามารถรักษาแรงดันในการยกโครงสร้างโดยไม่ต้องรักษาระดับความดันไฮดรอลิกตลอดเวลาที่ต้องการยกโครงสร้าง ความสามารถอีกอย่างคือความสามารถในการทำให้ความดันเท่ากัน หรือเปลี่ยนความดันของแม่แรงหลายๆ ตัวในเวลาเดียวกัน ซึ่งสามารถทำให้ยกสะพานได้ในเวลาเดียวกัน ส่วนที่หมุนได้ของแม่แรงช่วยทำให้สามารถยอมให้รับมุมหมุนได้ และความสามารถของแม่แรงต้องสามารถยกน้ำหนักได้ 150% ของน้ำหนักที่ต้องการยก

### ฉ. การขยายตัวและการหดตัวของค้ำยันชั่วคราว

ควรออกแบบให้ค้ำยันชั่วคราวสามารถขยายตัวและหดตัวได้เนื่องจากอุณหภูมิ หากต้องใช้ค้ำยันเป็นระยะเวลายาวนาน โดยต้องพิจารณาเป็นพิเศษในกรณีที่ต้องซ่อมแซมคอนกรีตได้จุดที่รองรับ Bearing เนื่องจากเวลาที่ใช้ในงานซ่อมแซม อันได้แก่การตั้งแบบ การผูกเหล็ก การเทคอนกรีต และการบ่มคอนกรีต ซึ่งอาจต้องใช้เวลานานถึง 3 สัปดาห์ เราสามารถใช้ Sliding System กับแผ่นเหล็ก 2 แผ่นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือที่ทำให้ยอมให้ค้ำยันขยายตัวได้ เครื่องมือที่ช่วยในการขยายตัวไม่จำเป็นต้องซับซ้อนเหมือน Bearing เนื่องจากว่าเครื่องมือนี้ใช้เพียงแค่ชั่วคราวเท่านั้น ในกรณีที่ใช้เพียงระยะเวลาสั้นๆ สามารถใช้แผ่นเหล็ก 2 แผ่นทาจารบีก็เพียงพอต่อการทำงาน สำหรับระยะเวลาที่ยาวขึ้น อาจใช้แผ่น Stainless-Steel หรือ แผ่น PTFE ใช้ในการยอมให้มีการขยายตัว

### ช. การหนุนโครงสร้างบนโครงสร้างสะพานเดิม (Existing Bridge Seat)

การหนุนโครงสร้างสามารถทำได้บนทั้งโครงสร้างเดิม หรือทำบนโครงเหล็กที่สร้างขึ้นมาจากโครงสร้าง ถ้าหากมีพื้นที่พอสำหรับวางแม่แรงบนโครงสร้างสะพานเดิม ก็สามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโครงเหล็กที่ใช้เป็นฐานในการรับแม่แรงได้ สำหรับสะพานส่วนใหญ่ ที่ใช้ระบบคานมักไม่มีที่เพียงพอสำหรับแม่แรงด้านหน้า Bearing เดิม นอกจากนี้การวางแม่แรงใกล้กับ Bearing อาจทำให้การย้าย Bearing ทำได้ลำบากมากยิ่งขึ้น

### ซ. การขยายพื้นที่สะพานเพื่อรองรับแม่แรง

เมื่อมีพื้นที่ที่รองรับแม่แรงไม่เพียงพอ วิธีการหนึ่งที่สามารถขยายพื้นที่ที่รองรับแม่แรงวิธีหนึ่ง คือการใช้เหล็กมาล้อมรอบเสาคอนกรีตเพื่อเพิ่มพื้นที่หน้าตัดให้สามารถรองรับแม่แรงได้ ทั้งนี้ขนาดของเหล็กที่ล้อมรอบเสาคอนกรีตจะค่อยๆ เล็กลง และวางอยู่บนเสาคอนกรีตที่ถูกสกัดออกไป หลังจากนั้นทำการเทคอนกรีตบนเหล็กเพื่อทำให้เกิด Bearing เพื่อรองรับแม่แรง

### ด. การใช้โครงเหล็กเพื่อรองรับแม่แรง

ถ้าหากทางเลือกอื่นพบว่าไม่มีความประหยัด หรือไม่สามารทำได้ ดังนั้นการสร้างโครงเหล็กเพื่อรองรับแม่แรงจึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถทำได้ มีหลากหลายวิธีในการสร้างโครงเหล็ก วิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือโครงเหล็กที่มีการยึดค้ำ (Braced Frame)

การก่อสร้างโครงที่รองรับแม่เหล็ก ต้องมีการตรวจสอบฐานที่รองรับโครงเหล็ก เพื่อวิเคราะห์ว่าจะเกิดการทรุดตัวของฐานรากระหว่างที่รองรับน้ำหนักหรือไม่ ควรทำการเตรียมดินได้ฐานรากและทำการบดอัดดินอย่างเพียงพอ

### ญ. การติดตามการเคลื่อนตัวของโครงสร้างขณะทำการหนุนโครงสร้าง

ระบบในการติดตามการเคลื่อนตัวของโครงสร้างมีความสำคัญในขณะทำการหนุนโครงสร้าง ควรตรวจสอบการแอ่นตัวด้านข้างของโครงสร้างเพื่อตรวจสอบว่าระบบการยกด้วยแรงดันไฮดรอลิกยังคงทำงานอยู่ในแนวตั้งไม่เกิดการเคลื่อนตัวในแนวราบ และควรทำการตรวจสอบการแอ่นตัวในแนวตั้งเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นขณะทำการ



หมุนโครงสร้าง ซึ่งสำคัญต่อการหมุนโครงสร้างโดยไม่ต้องยกโครงสร้าง ทั้งนี้การตรวจสอบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างสามารถทราบว่ามีโอกาสใดโครงสร้างเกิดการเคลื่อนไหวและควรหยุดการหมุนโครงสร้าง

#### ฐ. การย้าย Bearing เดิม

หลังจากที่ได้ทำการปลดน้ำหนักออกจาก Bearing ปัญหาต่อมาคือทำอย่างไรจึงสามารถย้าย Bearing เดิม ถ้าคอนกรีตที่รองรับ Bearing ด้านล่างเกิดการเสื่อมสภาพและต้องทำการสกัดออก ขบวนการการย้าย bearing สามารถทำได้ง่าย เนื่องจากการย้าย Bearing จะง่าย หากเราสามารถทำการสกัดคอนกรีต อย่งไรก็ตามหากคอนกรีตยังคงอยู่ในสภาพดี การย้าย Bearing เดิมจะทำได้ยากเนื่องจากมีระยะที่ยอมให้สกัดคอนกรีตน้อย ในกรณีของ Rocker Bearing วิธีการที่ง่ายที่สุดสามารถทำได้โดยตัด Pin Head และเคาะ Pin ออกเสีย เมื่อทำการตัด Pin ออกแล้ว ส่วนบนของ Bearing สามารถถอดออกได้ หลังจากนั้นเราสามารถถอดส่วนที่เหลือได้ง่ายเนื่องจากมีพื้นที่ในการทำงานมากขึ้น ในการติดตั้ง Bearing เข้าไปใหม่ ขบวนการติดตั้งมีขบวนการตรงกันข้ามกับขบวนการในการถอด Bearing

ในกรณีของ Bearing ที่มีระดับต่ำ หรือ Bearing ที่เป็นขึ้นเดี่ยวเช่น Elastomeric Bearing Pad หลังจากที่ได้ทำการปลดน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว เราสามารถเลื่อน Sliding Plate ออกในแนวนอน โดยปัญหาที่มักเกิดขึ้นคือไม่มีที่ว่างพอในการยก Masonry Plate ขึ้นเหนือสลักเกลียว ในกรณีนี้สามารถทำการตัด Masonry Plate เพื่อการถอด Bearing

#### ท. การติดตั้ง Bearing ใหม่

ในสะพานขนาดใหญ่ ปรกติจะมีพื้นที่ในแนวตั้งระหว่างส่วนบนของสลักเกลียวกับส่วนล่างของคานที่ถูกหมุนขึ้นไปเพียงพอที่สามารถเลื่อน Masonry Plate เข้าไปเหนือสลักเกลียว และสามารถปลด Masonry Plate บนจุดที่รองรับ Bearing ส่วนในกรณีที่สะพานมีขนาดเล็ก วิศวกรอาจพบว่าไม่มีพื้นที่เพียงพอในแนวตั้งที่จะปลด Masonry Plate บนสลักเกลียว ในกรณีนี้สามารถแก้ไขได้โดยการเจาะรูเป็นช่องยาว (Slotted Holes) บน Masonry Plate โดยใช้แผ่นนี้ต่อสลักเกลียวสองตัวที่ใช้ใน Bearing ขนาดเล็ก แล้วเลื่อนแผ่นที่เจาะรูเป็นช่องยาวที่เตรียมไว้แล้วทำการเลื่อนจากขอบไปหาสลักเกลียว หลังจากนั้นทำการเชื่อมเพื่อปิดส่วนที่เป็นช่องว่าง

ในกรณีที่เป็น Pinned Bearing วิธีการที่ง่ายที่สุดในการย้าย Bearing คือการสกัดคอนกรีตด้านใต้ Masonry Plate ทำให้มีพื้นที่เพียงพอสำหรับการย้าย Pin หลังจากนั้นทำการอัดน้ำปูนเข้าไปด้านใต้ Masonry Plate



## ภาคผนวก ก

# ประมวลคำศัพท์

Abrasion	การสึกกร่อน
Abrasion Resistance	ความทนทานต่อการสึกกร่อน
Abrasive materials	วัสดุที่ใช้ในการขัด
Admixtures	สารผสมเพิ่ม
Alkali Aggregate Reaction (AAR)	ปฏิกิริยาจากต่างของมวลรวม
Anchor Bolt	สลักยึด สลักสมอ
Anodic Process	กระบวนการแอนโนดิก การทำให้เป็นขั้วแอโนด
Appearance	สภาพลักษณะ
Approach Roadway Surfacing	การปูผิวถนนช่วงคอสะพาน
Approach Roadways Gutters	ช่องระบายน้ำที่ถนนช่วงคอสะพาน
Approach Slab	ทางลาดขึ้นสะพาน
Asphalt	ยางมะตอย
Beam Ends	ปลายคาน
Binder	ตัวประสาน
Bleeding Water	น้ำที่เอี่ยมออกจากคอนกรีต
Braced Frame	โครงสร้างค้ำยัน
Capillary Suction	การดูดซึมน้ำ
Capped Pile Pier	ตอม่อแบบมีหัวหุ้มที่เสาเข็ม
Cast-in-Place Concrete Slab	พื้นคอนกรีตแบบหล่อในที่
Cavitation	การแตกตัวของฟองอากาศในน้ำ
Cofferdam	กำแพงกันดินชั่วคราว
Collision Damage	การเสียหายที่เกิดจากการถูกรถชน
Compacted	ถูกทำให้แน่น
Concrete Diaphragm	แผ่นยึดโครงสร้างคอนกรีต
Concrete Girders	คานคอนกรีต



Concrete Jacket	การหุ้มคอนกรีต
Concrete Segment	ชิ้นส่วนที่หล่อจากคอนกรีต
Conventional Motar	มอร์ตาร์ปูนทราย
Corrosion Inhibitor	สารเคลือบป้องกันการกัดกร่อน
Crack Bridging	การประสานรอยแตก
Debris	ซากเศษวัสดุ
Deck	แผ่นพื้นสะพาน
Dehydrate	การระเหยของน้ำ
Delamination	การหลุดแยกออกเป็นแผ่นๆ
Down Sprouts	ช่องปล่อน้ำ
Dry Pack	คอนกรีตอัดแห้ง
Drying Shrinkage	การหดตัวในช่วงที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว
Durability	ความคงทน
Efflorescence	การเกิดขี้เกลือ
Elastomeric Bearing	แผ่นยางรองสะพาน
Elector-chemical	กระบวนการทางเคมีไฟฟ้า
Epoxy Mortar	มอร์ตาร์แบบกาว
Exothermal Reaction	ปฏิกิริยาคายความร้อน
Expansion Bearings	แผ่นเบริงที่ถูกออกแบบให้โครงสร้างส่วนบนขยายตัวได้
Expansion Joints	รอยต่อสำหรับการขยายตัวของสะพานจากผลของอุณหภูมิ
Expansive Cement	ปูนซีเมนต์ที่ขยายตัวเพียงเล็กน้อยในระหว่างการแข็งตัว
Exposed to Traffic	ผิวคอนกรีตที่สัมผัสกับการจราจร
Fabric	แผ่นผ้า
Fatigue Strength	กำลังรับความล้า
Fiber-reinforced Concrete	คอนกรีตเสริมไฟเบอร์
Flexure Cracks	รอยแตกจากการดัด
Floor Drain	ช่องระบายน้ำที่พื้น
Free Water	น้ำที่ไหลอย่างอิสระ
Galvanic Potential	ค่าความต่างศักย์กัลวานิก
Good Adhesion	แรงยึดเหนี่ยวที่ดี
Gouges	รอยถูกเซาะ
Honeycomb	การเกิดรูพรุนเหมือนรวงผึ้ง



Impact	การกระแทก
Impact Load	แรงกระแทก
Incompressible	ที่บีบอัดไม่ได้
Joint Sealant	วัสดุยารอยต่อ
Leveling Approaches	การปรับระดับผิวถนนช่วงคอสะพาน
Longitudinal	แนวยาว
Low Water/Cement Ratio	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ
Crack Mapping	การทำแผนผังแสดงรอยแตก
Marine Atmospheric Zone	บริเวณบรรยากาศของทะเล
Masonry Plate	แผ่นอิฐมวล
Mass Concrete	คอนกรีตปริมาตรสูง คอนกรีตหยาบ
Mass Concrete Cracks	รอยแตกเนื่องจากการใช้คอนกรีตในงานหล่อขนาดใหญ่
Membrane Sealer	วัสดุที่ช่วยในการป้องกันการรั่วซึมผ่าน
Microscopic Flaws	รอยร้าวขนาดเล็กที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น
Microscopic Volume Reduction	การลดปริมาตรลงโดยที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น
Moist Curing	การบ่มโดยใช้ความชื้น
Non Structural Cracks	รอยแตกที่ไม่ใช่รอยแตกเชิงโครงสร้าง
Overlay	ชั้นผิวถนน
Overload Damage	การชำรุดจากการบรรทุกน้ำหนักเกิน
Parapet	แผงบังหรือแผงกั้นตบบนสะพาน
Patching	การปะ
Periodic Inspection	การตรวจสอบตามช่วงระยะเวลา
Piers	ตอม่อกลางน้ำ
Pinned Bearing	แปรงที่ออกแบบให้โครงสร้างด้านบนเกิดการหมุนได้
Pipe Drain	ท่อระบายน้ำ
Plastic Shrinkage Cracking	การหดตัวในช่วงที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว
Pop-Out	การหลุดออกเป็นเม็ดๆ
Porous	พรุน
Power Wash	การฉีดล้าง
Preshrunk Mortar	ปูนทรายที่มีการหดตัวก่อน
Presstressed Concrete Deterioration	การเสื่อมสภาพของคอนกรีตอัดแรง
Pressure Grouting	การเกรทหรือการอัดฉีดด้วยแรงดัน



Reinforced Steel Corrosion	การเกิดสนิมในเหล็กเสริม
Rubber Bearing	แผ่นยางแบริง สำหรับรับโครงสร้างส่วนบน
Salt Laden Moisture	ตัวดักจับความชื้นที่มีเกลือ
Saturated Pore	ช่องโพรงที่อิ่มตัวด้วยน้ำ
Scaling	การหลุดแฉะ
Sea Bed Zone	บริเวณใต้พื้นทะเล
Semi-Dry	กึ่งชื้นกึ่งแห้ง
Settlement	การทรุดตัว
Shear Cracks	รอยแตกจากแรงเฉือน
Shortcrete	คอนกรีตพื้น
Shrinkage Cracks	รอยแตกเนื่องจากการหดตัว
Skew Concrete Bridges	สะพานคอนกรีตเฉียง
Skid Resistance	ความต้านทานการลื่น
Solid Precipitate	การตกตะกอนของของแข็ง
Spalls	คอนกรีตที่หลุดล่อน
Splash Zone	บริเวณคลื่นและละอองน้ำทะเลซัดเข้าถึง
Steel Rust	สนิมเหล็ก
Structural Deterioration	การชำรุดทรุดโทรมทางโครงสร้าง
Temperature Cracks	รอยแตกเนื่องจากผลของอุณหภูมิ
Tendon	ลวดอัดแรง
Tensile Strength	กำลังดึง
Texture	ลายพื้นผิว
Tightness	ความแน่น
Transverse Movement	การเคลื่อนที่ในแนวขวาง
Tremie Concrete	คอนกรีตที่ใช้ได้น้ำ
Undue Pressure	แรงดันส่วนเกิน
Unevenness	ความขรุขระ ความไม่เรียบ
Vertical Cracks	รอยแตกในแนวตั้ง
Visual Inspection	การตรวจสอบด้วยสายตา
Void	ช่องว่าง
Wall Type Pier	ตอม่อแบบกำแพง
Wearing Surface	ผิวถนน



**Wearing**

การใส่หรือของพื้นผิว

**Workability**

ความสามารถในการเท