

บทที่ 15

ความเสียหายของคอนกรีต

คอนกรีตในโครงสร้างต่าง ๆ อาจเกิดความเสียหายหรือขาดความทนทาน อันเนื่องจากสภาพแวดล้อมหรือสภาพการใช้งานที่ไม่ถูกต้องไม่เหมาะสม ความเสียหายอาจเกิดขึ้นเมื่อเริ่มใช้งานหรือบางครั้งอาจเกิดขึ้นหลังจากใช้งานโครงสร้างคอนกรีตนั้นไปแล้วช่วงเวลาหนึ่งและความเสียหายนี้อาจเกิดมาจากสาเหตุภายใน หรือภายนอกเนื้อคอนกรีต ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 สาเหตุคือ

สาเหตุด้านกายภาพ Physical เช่น ความเสียหายเนื่องจาก ความร้อน น้ำหนักบรรทุกมากเกินไป เป็นต้น

สาเหตุด้านเคมี Chemical เช่น มีการซึมผ่านของสารเคมีเข้ามากัดกร่อนคอนกรีตและเหล็กเสริม

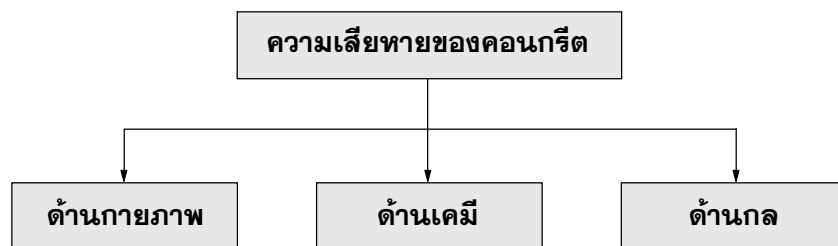
สาเหตุด้านกล Mechanical เช่น การเสียดสีจนเกิดความเสียหาย

ขอบเขตของความเสียหายขึ้นอยู่กับองค์ประกอบเฉพาะที่มาเกี่ยวข้องอันได้แก่ คุณภาพของคอนกรีต ความหนาแน่นของคอนกรีต และความรุนแรงของสภาพแวดล้อม เป็นต้น

ในบทนี้จะกล่าวถึงต้นเหตุหลัก ๆ ที่ทำให้เกิดความเสียหายของคอนกรีต รวมทั้งวิธีการป้องกันที่เหมาะสมเพื่อลดความเสียหาย เพื่อให้สะดวกและง่าย บำบัดหรือสาเหตุต่าง ๆ ทั้ง 3 นี้ จะถูกแยกพิจารณา แต่ในทางปฏิบัติคอนกรีตอาจจะถูกกระทบจากปัจจัยเพียงหนึ่งสองหรือทั้งสามก็เป็นได้ ดังนั้นการแก้ไขปัญหาในทางปฏิบัติ อาจจำเป็นต้องพิจารณาผลโดยรวม

15.1 สาเหตุที่ทำให้คอนกรีตเสียหาย

สาเหตุที่ทำให้คอนกรีตเกิดความเสียหายสามารถจำแนกออกได้ ดังรูป



- ความเสียหายโดยน้ำแข็ง
- ความเสียหายโดยความร้อนและไฟ
- ความเสียหายโดยการเป็ยกและแห้งสลับกัน
- ความเสียหายโดยน้ำหนักบรรทุก
- ความเสียหายโดยความล้า
- ความเสียหายโดยอุบัติเหตุ

- การกัดกร่อนโดยซัลเฟต
- การกัดกร่อนโดยกรด
- ปฏิกริยาระหว่างต่างกับหิน
- น้ำทะเล
- คาร์บอนไดออกไซด์
- การกระทำของแบคทีเรีย
- คลอไรด์
- การกัดกร่อนเหล็กเสริม

- การเสียดสี Abrasion
- Erosion
- Cavitation

15.2 สาเหตุด้านกายภาพ (Physical Causes of Deterioration)

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้คอนกรีตเสียหายด้านกายภาพส่วนใหญ่มาจาก “แรงดึง” (Tensile Stress) ที่กระทำต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วส่งผลให้คอนกรีตแตกร้าว และสุดท้ายจะทำให้อายุการใช้งานของชิ้นส่วนโครงสร้างลดลง ในบทนี้จะอธิบายถึงสาเหตุสำคัญ ๆ บางประการเท่านั้น

ความเสียหายโดยน้ำแข็ง

ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะอยู่ในเขตร้อนแต่ในบางกรณีที่มีความเย็นจัดหรือน้ำแข็งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อคอนกรีตได้ เช่น ในกรณีการก่อสร้างห้องเย็น สำหรับการแช่แข็งสัตว์น้ำเป็นต้น ซึ่งผู้ออกแบบควรกำหนดคุณสมบัติของคอนกรีตที่เหมาะสมเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า เมื่อน้ำแข็งตัวเป็นน้ำแข็งนั้น ปริมาณจะเพิ่มขึ้นประมาณ 9% ถ้าหน่วยแรง (Stress) ที่เกิดจากการขยายตัวน้อยกว่า แรงดึงของคอนกรีต การขยายตัว (Elastic Volume) ของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเมื่อไร หน่วยแรงที่เกิดจากการขยายตัวมากกว่าแรงดึงของคอนกรีต จะเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรถาวร และเกิดการแตกร้าว แนวทางแก้ไขก็คือ เพิ่มปริมาณฟองอากาศ (Entrained Air) ขนาด 0.2-0.5 มม. โดยการใส่สารกักกระจายฟองอากาศเข้าไปในเนื้อคอนกรีต ฟองอากาศนี้จะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เมื่อปริมาตรของน้ำเพิ่มความดันหรือแรงดันจะถูกทำให้ลดน้อยลง โดยน้ำจะแทรกตัวเข้าไปอยู่ในฟองอากาศเหล่านี้ การแตกร้าว จึงไม่เกิดขึ้น

การใส่น้ำยาประเภท Air Entraining นี้โดยทั่วไป จะเพิ่มฟองอากาศเป็น 3-5% ถ้าใส่น้ำยามากเกินไปปริมาณฟองอากาศที่เกิดมากก็จะก่อให้เกิดผลเสีย คือ กำลังอัดของคอนกรีต จะลดลงอย่างมาก ทุก ๆ 1% ของฟองอากาศที่เกิน 5% นี้ จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตตกประมาณ 5% นอกจากการเพิ่มฟองอากาศแล้วควรเลือกใช้คอนกรีตที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะแรงดึงของคอนกรีตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังอัด และควรเลือกใช้หินที่มีขนาดเล็ก ที่มีขนาดคละดี หินขนาดใหญ่หรือหินที่มีรูปร่างแบน ๆ ไม่ควรนำมาใช้ เพราะจะก่อให้เกิดกะเปาะน้ำใต้หิน

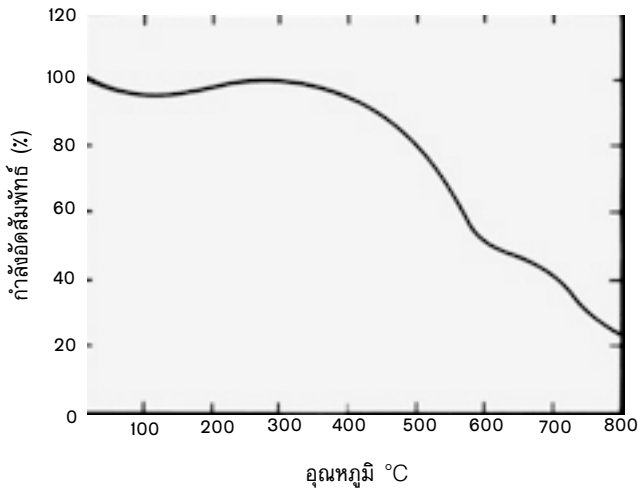
ความเสียหายโดยความร้อนหรือไฟ

คอนกรีตเป็นวัสดุที่ไม่ติดไฟ และมีคุณสมบัติที่ดีในด้านการต้านทานความร้อนและไฟคือ เมื่อถูกไฟ คอนกรีตจะคงสภาพอยู่ได้อย่างเป็นที่น่าสนใจในช่วงเวลาหนึ่งแต่เมื่อเวลายาวนานพอ อุณหภูมิในเนื้อคอนกรีตจะแตกต่างกันมาก ผลที่เกิด คือ การแตกร้าวและการแตกร่อน (Spalling) และจะเกิดการเสียหายอย่างมากในช่วงเวลาต่อมารวมทั้งกำลังจะสูญเสียด้วย เนื่องจากเกิด Dehydrate ในซีเมนต์เฟส

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ก่อให้เกิดการขยายตัวของซีเมนต์เฟส การขยายตัวนี้จะถูกขัดขวางด้วยการหดตัว (Shrinkage) ที่เกิดขึ้น เมื่อน้ำถูกขับออกจากเฟส ในช่วงต้นการขยายตัวเนื่องจากความร้อน มากกว่าการหด (Drying Shrinkage) แต่ในช่วงหลังการหดตัวของเฟสจะมากกว่าการขยายตัว เนื่องจากความร้อน ผลคือ เฟสจะหดตัว แต่ หิน-ทรายจะเริ่มขยายตัว ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ก่อให้เกิดแรงดึง ในคอนกรีต จะเกิดการแตกร้าว และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสกับหิน จะลดน้อยลงดังนี้ กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลงด้วยดังแสดงในรูปที่ 15.1

การ Dehydrate ของเฟสจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิตั้งแต่ 250°C และจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ที่อุณหภูมิประมาณ 800-900°C แต่บางกรณี การ Dehydrate เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิเพียง 500°C ถ้าคอนกรีตสัมผัสกับอุณหภูมินี้เป็นเวลานาน เมื่อมีการ Dehydrate ไม่เพียงแต่กำลัง แต่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะลดลงด้วย

ผลของอุณหภูมิที่สูงจะกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยเป็นอิสระต่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในช่วง 0.40-0.65 คอนกรีตที่ใช้ปูนน้อยจะเสียหายน้อยกว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนมากและถ้าต้องการให้คอนกรีตทนต่ออุณหภูมิสูง ๆ ได้เป็นเวลานาน ผู้ออกแบบควรเลือกใช้ ปูนซีเมนต์ประเภท High Alumina Cement เลือกใช้หินที่มีอัตราการขยายตัวต่ำเมื่อถูกความร้อน และออกแบบให้ระยะหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ที่มากพอ



รูปที่ 15.1 ผลของอุณหภูมิต่อกำลังอัดของคอนกรีต

ความเสียหายจากน้ำหนักบรรทุก

อาจจำแนกออกได้เป็น 3 สาเหตุ คือ

- 1) การบรรทุกเกินน้ำหนัก (Over Loading)
- 2) การกระแทก (Impact) จากน้ำหนักบรรทุก หรือ

อุบัติเหตุ

- 3) ความล้าจากน้ำหนักบรรทุกหมุนเวียน (Cyclic Loading)

ความเสียหายจากน้ำหนักบรรทุก โดยทั่วไปจะทำให้โครงสร้างเกิดการแตกร้าว หรือผิวคอนกรีตเกิดการแตกร่อน สารเคมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้น จะเข้าทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมก่อให้เกิดความเสียหายมากยิ่งขึ้น

15.3 สาเหตุด้านเคมี (Chemical Causes of Deterioration)

ความเสียหายอันเกิดจากสาเหตุด้านเคมีมีหลายประการ และความรุนแรงของแต่ละกรณีจะแตกต่างกัน ขอบเขตความเสียหายจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลัก คือ สารที่เข้ามาเกี่ยวข้องและคุณภาพของคอนกรีตในบพนี้ก็จะกล่าวถึงเฉพาะต้นเหตุที่สำคัญบางประการที่ควรทราบและหาทางป้องกัน

ความเสียหายโดยซัลเฟต

• ซัลเฟตที่ละลายน้ำเท่านั้นจะทำอันตรายต่อคอนกรีต

โดยธรรมชาติซัลเฟตแต่ละชนิดมีความสามารถละลายน้ำไม่เท่ากัน กล่าวคือ

- 1) คัลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) ละลายน้ำเพียง 1.2 กรัม/ลิตร
- 2) โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ละลายน้ำ 240 กรัม/ลิตร
- 3) แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) ละลายน้ำ 300 กรัม/ลิตร

จะเห็นได้ว่า แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) มีความสามารถละลายน้ำได้มากกว่า CaSO_4 ถึง 250 เท่า นั่นคือจะทำอันตรายคอนกรีตได้มากกว่าด้วย

• ลักษณะการสัมผัสของซัลเฟตและคอนกรีต

การสัมผัสของซัลเฟตกับคอนกรีตแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

- 1) สภาพอยู่นิ่ง (Static) เมื่อเกิดปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟตกับองค์ประกอบทางเคมีในปูนซีเมนต์แล้ว ปฏิกิริยาจะสิ้นสุดเมื่อถึงจุดสมดุลย์

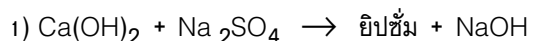
- 2) สภาพเคลื่อนไหว (Flowing) ปฏิกิริยาจะเกิดอยู่ตลอดเวลา เพราะเมื่อเกิดปฏิกิริยาสิ่งที่เกิดจะถูกชะล้างไป และมีซัลเฟตเข้ามาใหม่ตลอดเวลาจะไม่ถึงจุดสมดุลย์ในกรณีนี้เช่น โครงสร้างที่อยู่ใต้ดิน ณ ระดับน้ำ เป็นต้น

• ขบวนการกัดกร่อนโดยซัลเฟต

ซัลเฟตจะกัดกร่อนและทำอันตรายต่อเฟสที่แข็งตัวแล้วจะไม่ทำอันตรายต่อมวลรวมโดยปฏิกิริยาจะเกิดกับคัลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) และ Calcium Aluminate - Hydrate (CAH) ก่อให้เกิดยิปซัมและ Ettringite (Calcium Sulphoaluminate) ก่อให้เกิดการขยายตัวในที่สุด คอนกรีตจะเกิดการแตกร้าว

สมการปฏิกิริยาเคมีของ Na_2SO_4 และ MgSO_4 สามารถแสดงได้ดังนี้

• ความเสียหายเนื่องจาก Na_2SO_4



$\text{Ca}(\text{OH})_2$ จากปฏิกิริยาไฮเดรชันทำปฏิกิริยากับโซเดียมซัลเฟต ก่อให้เกิดยิปซัม

2) $CAH + Na_2SO_4 \rightarrow Ettringite + NaOH$
 CAH จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A ทำปฏิกิริยากับโซเดียมซัลเฟตก่อให้เกิด Ettringite

3) ยิปซั่ม + CAH \rightarrow Ettringite + $Ca(OH)_2$
 ยิปซั่มที่เกิดจากปฏิกิริยาที่ 1 ทำปฏิกิริยากับ CAH ก่อให้เกิด Ettringite เพิ่มเติม

Ettringite : $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$.

CAH : $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$.

ยิปซั่ม : $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

จากปฏิกิริยา

- 1) $Ca(OH)_2$ เปลี่ยนเป็น ยิปซั่มปริมาณเพิ่มขึ้น 2.2 เท่า
- 2) CAH เปลี่ยนเป็น Ettringite ปริมาตร เพิ่มขึ้น 2.0 เท่า จะพบว่าปริมาตรจะเพิ่มขึ้นอย่างมากส่งผลให้เกิดความแตกร้าว

● ความเสียหายเนื่องจาก $MgSO_4$

1) $Ca(OH)_2 + MgSO_4 \rightarrow$ ยิปซั่ม + $Mg(OH)_2$
 $Ca(OH)_2$ จากการปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมซัลเฟตก่อให้เกิดยิปซั่ม

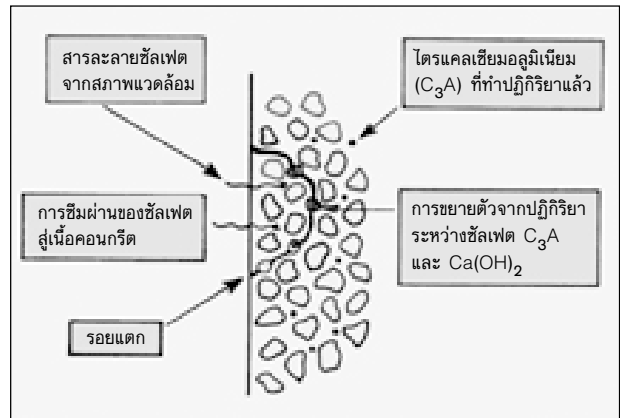
2) $CAH + MgSO_4 \rightarrow Ettringite + Mg(OH)_2$
 CAH จากปฏิกิริยากับแมกนีเซียมซัลเฟตก่อให้เกิด Ettringite

3) ยิปซั่ม + CAH \rightarrow Ettringite + $Ca(OH)_2$
 ปฏิกิริยาที่ 1) และ 2) ก่อให้ PH ของสารละลายลดลง ซึ่งส่งผลให้เกิดการไม่อยู่ตัวของ Calcium Silicate Hydrate (CSH) โดยจะเกิดการสลายตัว

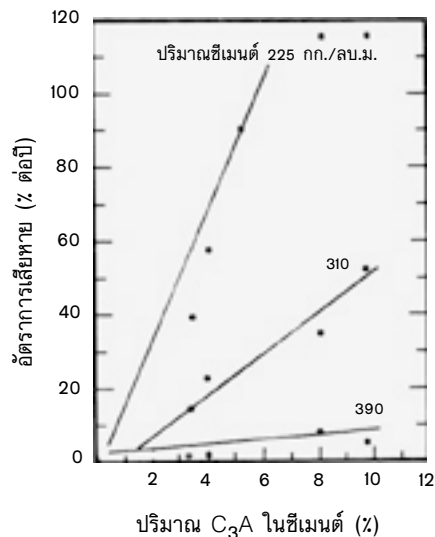
4) $CSH \rightarrow SiO_2(aq) + Ca(OH)_2$
 จากสมการที่ 4 จะพบว่า $Ca(OH)_2$ นี้จะทำปฏิกิริยากับ $MgSO_4$ ก่อให้เกิดการสลายตัวของ CSH มากขึ้น

5) $SiO_2(aq) + Mg(OH)_2 \rightarrow$ Magnesium Silicate Hydrate (MSH)

MSH นี้ไม่ใช่ตัวที่จะก่อให้เกิดการประสาน ดังนั้นจะพบว่า $MgSO_4$ นี้จะก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงมากกว่า Na_2SO_4



รูปที่ 15.2 แสดงความเสียหายของคอนกรีตจากซัลเฟต



รูปที่ 15.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ C_3A กับอัตราการเสียหายที่ปริมาณซีเมนต์ในช่วงผสมต่าง ๆ

● ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อน

การกัดกร่อนของซัลเฟตจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

- 1) ปริมาณ ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) ในซีเมนต์
- 2) ปริมาณ ปูนซีเมนต์

ทั้ง 2 ปัจจัยนี้แสดงได้ดังกราฟรูปที่ 15.3

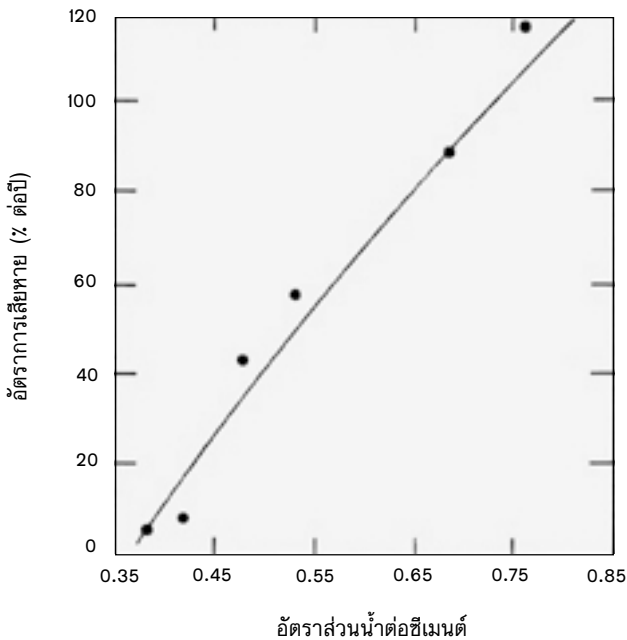
จากกราฟสามารถสรุปได้ว่า

1) อัตราการเสียหาย จะผันแปรโดยตรงกับปริมาณ C_3A ในซีเมนต์ยังมี C_3A มากเท่าใดอัตราการเสียหายจะมากขึ้นเท่านั้น

2) ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณ C_3A ต่ำเท่าใดก็จะมีผลต่อการป้องกันความเสียหายในกรณีที่ใช้ปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสมต่ำ

3) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

คอนกรีตจะยังมีอัตราเสียหายมาก เมื่อใช้ส่วนผสมที่ดี อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูง



รูปที่ 15.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับอัตราการเสียหายจากซัลเฟต

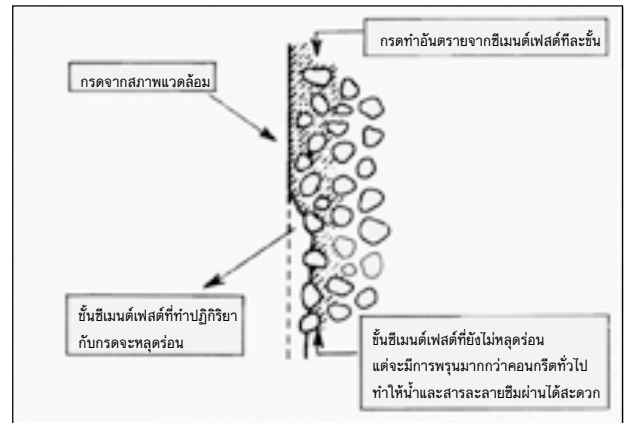
• การป้องกันความเสียหาย

- 1) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5 (ปูนซีเมนต์ต้านทานซัลเฟต) ซึ่งมีปริมาณ C_3A ไม่มากกว่า 5%
- 2) ใช้ Pulverized Fuel Ash หรือ Slag ผสมเพื่อ
 - ลดปริมาณ $Ca(OH)_2$
 - ทำให้คอนกรีตแน่นลดการซึมผ่านของน้ำ
- 3) ในกรณีที่โครงสร้างต้องสัมผัสกับซัลเฟตที่รุนแรงอาจต้องใช้วิธีการเคลือบผิวคอนกรีตเพื่อป้องกันโครงสร้าง

ความเสียหายโดยกรดต่างๆ

คอนกรีตใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทุกประเภท จะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด โดยกรดจะกัดกร่อนซีเมนต์เฟส ดังแสดงในรูปที่ 15.5 ตามข้อกำหนด ถ้าคอนกรีตที่ต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดคือ มี PH 6 หรือต่ำกว่า ผู้ออกแบบควรเลือกกำหนดให้ใช้ปูนซีเมนต์ที่ไม่ใช่ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เช่น High Alumina ซีเมนต์ หรือ

Supersulphate ซีเมนต์ นอกจากนี้ ถ้าสภาพแวดล้อมมี PH ต่ำกว่า 4 ควรป้องกัน คอนกรีตโดยการเคลือบด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสม และจำเป็นต้องเลือกใช้คอนกรีตที่มีส่วนผสมเหมาะสมมีเนื้อแน่นมากโดยที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ไม่ควรเกิน 0.50



รูปที่ 15.5 ความเสียหายของคอนกรีตจากกรด

การเสียหายจากปฏิกิริยาระหว่างต่างกับหิน (Alkali Aggregate Reaction)

ปฏิกิริยาระหว่างต่างที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน กับแร่ธาตุต่างๆ ในเนื้อหินสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1. Alkali Carbonate Reaction

ปฏิกิริยานี้จะเกิดกับหินพวก Dolomitic Limestone ที่มีดินเหนียวแทรกตัวอยู่ในเนื้อหินโดยหินประเภทนี้ จะทำปฏิกิริยาที่มีชื่อว่า "Dedolomitization" สลายตัวเป็นผลของ Dolomite กับดินเหนียว ซึ่งก่อให้เกิดการขยายตัว หลังจากนั้นดินเหนียวจะทำปฏิกิริยากับความชื้น เกิดการขยายตัวอีกเช่นกัน

2. Alkali Silicate

ชั้นของ Silicate ในเนื้อหิน ทำปฏิกิริยากับต่างจากปฏิกิริยาไฮเดรชันและน้ำก่อให้เกิดการขยายตัว

3. Alkali - Silica Reaction

หินที่ประกอบด้วย Silaceous ที่ไวต่อปฏิกิริยา จะทำปฏิกิริยากับน้ำ และ Alkali ก่อให้เกิดการขยายตัว

● **สภาพที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยา**

ความเสียหายจากปฏิกิริยาระหว่างต่างกับหินนี้ จะเกิดขึ้นเมื่อมีสภาพที่เหมาะสมทั้ง 3 ประการพร้อม ๆ กัน คือ

- 1) มีปริมาณ Alkali เพียงพอ
- 2) มีองค์ประกอบ Silica ที่ไวต่อปฏิกิริยา
- 3) มีปริมาณน้ำเพียงพอ

สภาพที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปฏิกิริยาคือเมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์ 75% อุณหภูมิ 30-40°C

● **ความเสียหายที่เกิดขึ้น**

ปฏิกิริยาระหว่างต่างกับหินทั้ง 3 ปฏิกิริยาจะก่อให้เกิดความเสียหาย ดังแสดงในรูปที่ 15.6 กล่าวคือ

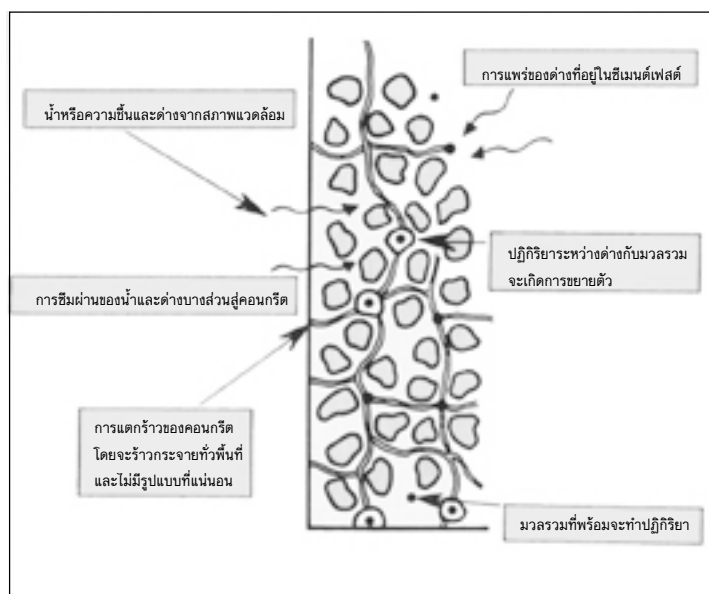
- 1) ผิวคอนกรีตจะแตกเสียหาย ลักษณะจะเป็นการแตกกระจายทั่วพื้นที่ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน
- 2) มีน้ำเหนียว ๆ ไหลออกจากผิวคอนกรีต
- 3) ผิวคอนกรีตจะหลุดร่อน
- 4) กำลั้งอัดสูญเสียไป

● **การป้องกันปัญหา**

- 1) ใช้ Low Alkali ซีเมนต์ ซึ่งมี % $\text{Na}_2\text{O}(\text{aq}) = \% \text{Na}_2\text{O} + \% 0.658 \text{K}_2\text{O}$ ไม่เกิน 0.6%
- 2) ใช้หิน-ทรายที่ไม่เกิดปฏิกิริยา
- 3) ลดความเสี่ยงจากสภาพแวดล้อม โดยลดความชื้นหรือน้ำที่จะสัมผัสคอนกรีต
- 4) ใช้วัสดุทดแทนซีเมนต์บางส่วนเช่น Pulverized Fuel Ash หรือ Slag

ความเสียหายจากน้ำทะเล

ความเสียหายของคอนกรีตในน้ำทะเล เนื่องมาจากซัลเฟตและคลอไรด์ ซัลเฟตโดยเฉพาะอย่างยิ่งแมกนีเซียมซัลเฟตทำอันตรายต่อคอนกรีต ส่วนคลอไรด์จะซึมเข้าทำอันตรายต่อเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีต คอนกรีตในน้ำทะเลอาจถูกทำให้เสียหาย โดยการก่อผลึก Crystallization ของเกลือภายในเนื้อคอนกรีตในตำแหน่งที่คอนกรีตอยู่ในสภาพเปียกและแห้งสลับกัน ความเสียหายจะรุนแรงมากในบริเวณเหนือระดับน้ำสูงสุด ซึ่งเป็นบริเวณที่น้ำทะเลเข้าสู่เนื้อคอนกรีตโดย Capillary Action และความเสียหายจะเกิดน้อยในบริเวณระดับน้ำที่อยู่ระหว่างน้ำขึ้น-ลงและจะไม่เกิดความเสียหายเลยในคอนกรีตที่แช่อยู่ในน้ำตลอดเวลา ถ้าคอนกรีตนั้นมีคุณภาพดีพอ



รูปที่ 15.6 ความเสียหายของคอนกรีตจากปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม

ความทนทานของคอนกรีตในน้ำทะเลจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ คือ ความหนาแน่นของคอนกรีต คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.45-0.50 รวมทั้งการเทลงแบบและการอัดแน่น ทำอย่างดีจะมีความหนาแน่นมาก สามารถต้านทานต่อสภาพน้ำทะเลได้ดี และการเลือกใช้ประเภทของซีเมนต์ที่เหมาะสม ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ คอนกรีตเสริมเหล็กมีแนวโน้มที่จะเสียหายมากกว่าคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริมเนื่องจากการกัดกร่อนเหล็กเสริมจากเกลือคลอไรด์จะส่งผลให้เกิดสนิม ปริมาตรจะเพิ่มขึ้น คอนกรีตที่ห่อหุ้มเหล็กไว้มีแนวโน้มที่จะแตกร้าวและเหล็กจะถูกทำลายมากยิ่งขึ้น การเพิ่มขึ้นของระยะหุ้มเหล็กเสริมจะเป็นการป้องกันปัญหาได้อีกทางหนึ่งโดยทั่วไประยะหุ้มควรเป็น 60-70 มิลลิเมตรและในบางกรณีใช้ถึง 100 มิลลิเมตร

การกัดกร่อนเหล็กเสริม

การศึกษาเรื่องความทนทานของคอนกรีตนั้น ประเด็นที่สำคัญที่สุดที่จำเป็นต้องกล่าวถึงคือเรื่องการกัดกร่อนเหล็กเสริม

• การป้องกันเหล็กเสริมโดยคอนกรีต

การป้องกันเหล็กเสริมคอนกรีตมี 2 ขบวนการคือ

- 1) การป้องกันทางกล
- 2) การป้องกันทางเคมี

1) การป้องกันทางกล

คอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม จะเป็นตัวป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมทางกลที่ดีโดยป้องกันความชื้น น้ำ และก๊าซต่าง ๆ ซึมผ่านเข้าสู่เหล็กเสริม

การป้องกันจะมีประสิทธิภาพมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพของคอนกรีตโดยเฉพาะส่วนผิวนอก (Covercrete) หรือคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมอยู่ รวมทั้งความหนาของระยะหุ้ม

2) การป้องกันทางเคมี

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน ก่อให้เกิด Ca(OH)_2 ซึ่งมีความเป็นด่างสูง คือมีค่า PH ประมาณ 12.5-13.0 ความเป็นด่างที่สูงมากของ Ca(OH)_2 นี้จะก่อให้เกิดฟิล์มบาง ๆ ของเหล็กออกไซด์บนผิวเหล็กเสริม ขบวนการป้องกันนี้เรียกว่า “Passivation”

• ขบวนการกัดกร่อนเหล็กเสริม

การกัดกร่อนเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก มีสาเหตุใหญ่ 2 ประการ คือ

- 1) การกัดกร่อน เนื่องจากความเป็นด่างของคอนกรีตลดลง
- 2) การกัดกร่อน เนื่องจากมีเกลือคลอไรด์

1) การกัดกร่อน เนื่องจากความเป็นด่างของคอนกรีตลดลง

คอนกรีตปกติเป็นวัสดุที่มีความเป็นด่างสูงคือ มีค่า PH 12.5-13.0 ความเป็นด่างนี้จะป้องกันไม่ให้เหล็กเสริมกัดกร่อน เมื่อความเป็นด่างลดลง อัตราการกัดกร่อนจะมากขึ้นสาเหตุที่ทำให้การเป็นด่างลดลง ได้แก่

1.1 การชะล้าง (Leaching)

การชะล้างเป็นตัวการทำให้ความเป็นด่างในเนื้อคอนกรีตลดลง การชะล้างจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ มีดังนี้

- สภาพของน้ำ น้ำไหลจะชะล้างและก่อให้เกิดความรุนแรงมากกว่าสภาพน้ำนิ่ง ๆ
- อุณหภูมิของน้ำ
- ชนิดของซีเมนต์
- ความหนาแน่นของคอนกรีต
- คุณภาพของคอนกรีตที่ผิว
- รูปร่างและอายุของคอนกรีต

1.2 การทำให้คอนกรีตเกิดความเป็นกลาง (Neutralization)

1.2.1 ทำให้เป็นกลางโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศซึมผ่านเข้าทำปฏิกิริยากับ Ca(OH)_2 จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยปฏิกิริยานี้เรียกว่า “Carbonation” ดังสมการ $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ปฏิกิริยานี้จะทำให้ความเป็นด่างลดลงจากค่า PH ลดจาก 12.5 เป็น 9.0 หรือน้อยกว่าเมื่อปฏิกิริยา Carbonation เกิดขึ้นจนถึงเหล็กเสริม มันจะทำลายแผ่น Passivation Film ที่เกิดขึ้นบนผิวเหล็กและจะก่อให้เกิดการกัดกร่อน

1.1.2 ทำให้เป็นกลางโดยกรดหรือก๊าซอื่น ๆ กรดและ

ก๊าซอื่น ๆ เช่น SO_2 จะลดค่า PH ในเนื้อคอนกรีต จาก 12.5 เป็น 9 หรือต่ำกว่า ส่งผลให้ Passivation Film ถูกทำลายเกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริม ได้เช่นเดียวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2 การกัดกร่อนเนื่องจากคลอไรด์

แหล่งของคลอไรด์ อาจมาจาก

- ภายในคอนกรีต เช่น จากหิน, น้ำยาผสมคอนกรีต โดยเฉพาะน้ำยาเร่งการก่อตัว หรืออาจมาจาก น้ำผสมคอนกรีต

- **ภายนอกคอนกรีต** เช่น จากน้ำทะเล จากพื้นดิน หรือจากเกลือที่ละลายน้ำแข็งในช่วงที่อากาศหนาวเย็นจัด

เกลือคลอไรด์นี้จะซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตและเฉพาะคลอไรด์อิสระที่ละลายน้ำเท่านั้นที่จะทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริม โดยทำลาย Passivation Film บางบริเวณ ซึ่งจะก่อให้เกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริม

- **ลักษณะของความเสียหาย**

- การกัดกร่อนเหล็กเสริมเนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีลักษณะดังนี้

1. ก่อให้เกิดสนิมสีน้ำตาล
2. จะเกิดบริเวณกว้างและการกัดกร่อนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ
3. จะก่อให้เกิดการแตกร้าวและหลุดร่อนของผิวคอนกรีต

- การกัดกร่อนเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ จะมีลักษณะดังนี้

1. ก่อให้เกิดสนิมสีดำ
2. จะเกิดในบางบริเวณเท่านั้น
3. จะไม่แสดงให้เห็นการแตกร้าวหรือหลุดร่อนของผิวคอนกรีต จนกระทั่งเกิดปฏิกิริยาอย่างมากแล้ว
4. ความเสียหายจะรุนแรง เนื่องจากจะทำให้พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมลดลง

จากการเป็นรูหรือโพรงและขยายใหญ่ออกไป นอกจากนี้ยังมีอีกกรณีหนึ่งซึ่งแรงดันจากน้ำจะเป็นตัวการที่ทำให้ผิวคอนกรีตเกิดการความเสียหายโดยทำให้เกิดเป็นรูหรือโพรงขึ้น (Cavitation) โดยสรุปผิวคอนกรีตถูกทำให้เสียหายด้านกล จาก 3 ขบวนการ คือ

1. Abrasion
2. Erosion
3. Cavitation

- **ลักษณะความเสียหายของผิวคอนกรีต**

ความเสียหายที่พบเห็นประจำได้แก่

- 1) ผิวหน้าแตกเป็นฝุ่น
- 2) ผิวหน้าร่อนเป็นแผ่น
- 3) ผิวหน้าเป็นโพรง
- 4) ผิวหน้าฟองปูด

15.4 ความเสียหายด้านกล (Mechanical Causes of Deterioration)

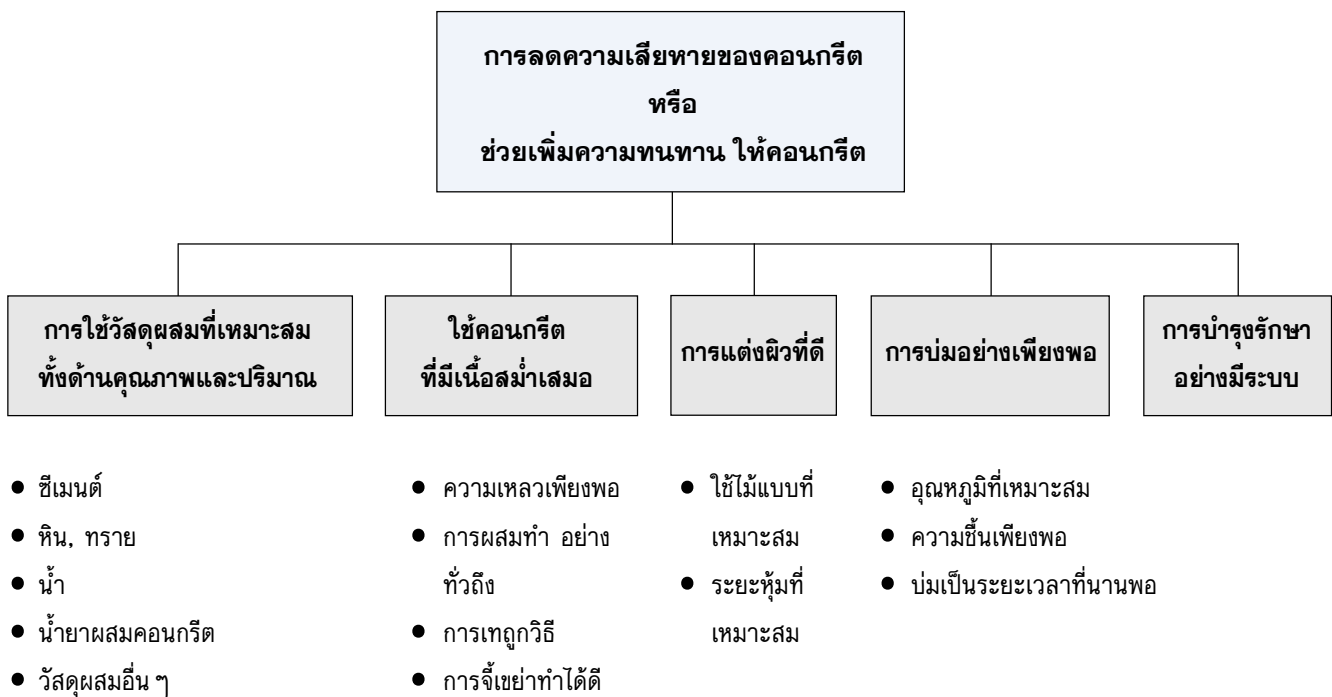
ในโครงสร้างบางประเภท เช่น พื้น, ถนน, ลานบิน คอนกรีตจะถูกทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากการเสียดสี (Abrasion) อยู่อย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นคุณสมบัติด้านการต้านทานการเสียดสีเป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้ออกแบบต้องนำมาพิจารณาเช่นเดียวกัน ปัญหาเรื่องการทำให้ผิวคอนกรีตสึกกร่อนโดยของเหลว (Erosion) ในโครงสร้างที่สัมผัสน้ำ (Hydraulic Structure) เช่น เสาสะพาน ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อส่วนที่เป็นของแข็งถูกนำมาโดยน้ำ ซึ่งอาจจะเป็นกรวด, ตะกอนต่าง ๆ ในที่ที่มีน้ำไหลด้วยความเร็ว คอนกรีตอาจจะเกิดความเสียหายอย่างมากโดยเริ่ม

• ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทาน การเสียดสี และวิธีการป้องกัน

ปัจจัย	วิธีการ
1. กำลังของคอนกรีต	1. เพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต คอนกรีตกำลังอัด 140 กก./ตร.ซม. จะมีอัตราความเสียหายประมาณ 5 เท่าของคอนกรีตกำลังอัด 280 กก./ตร.ซม. ส่วนคอนกรีตที่กำลังอัดมากกว่า 280-420 กก./ตร.ซม. จะมีผลต้านทานการเสียดสีที่ต่ำมาก
2. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	2. ลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ซึ่งจะลดการเยิ้ม ในทางปฏิบัติจะเลือกใช้คอนกรีตที่มีค่า W/C ไม่เกิน 0.45-0.50
3. หิน, ทราย	3. เลือกใช้หินทรายที่มีความแข็งแรง และควรเลือกใช้หินที่มีขนาดใหญ่ขึ้น
4. การเทและการแต่งผิวหน้า	4. ต้องจี้ขย้าคอนกรีตให้อัดแน่นอย่างดีในแบบหล่อ รวมทั้งต้องแต่งผิวหน้าให้เหมาะสม ซึ่งจะได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีที่ผิว และการลดปริมาณฟองอากาศในคอนกรีต
5. การบ่ม	5. ต้องบ่มด้วยวิธีการที่เหมาะสมในเวลาที่ยาวนานพอ
<p>ประเด็นที่ 4 และ 5 ถือว่ามีความสำคัญมากที่สุดเพราะเป็นที่ทราบดีอยู่แล้วว่าบริเวณผิวคอนกรีต (Convercrete) โดยเฉพาะผิวด้านบนจะมีความอ่อนแอที่สุดเนื่องจากน้ำที่เยิ้มขึ้นมา</p>	
6. ลักษณะผิวคอนกรีต	6. ในกรณีที่มีการเสียดสีอย่างมาก จำเป็นที่จะต้องเลือกใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงมาก หรือใช้วัสดุอื่นเคลือบผิว หรือในบางโครงสร้างอาจต้องทำให้ผิวคอนกรีตเรียบมาก ๆ
7. รอยต่อ (Joint)	7. ออกแบบและก่อสร้างรอยต่อให้เหมาะสมเพื่อลดการกระแทกหรือเสียดสี

15.5 การลดความเสียหาย

ความเสียหายของคอนกรีตในโครงสร้างต่าง ๆ อาจเกิดจากสาเหตุด้านกายภาพ ด้านเคมีและด้านกล ดังนั้นเพื่อลดความเสียหายดังกล่าวผู้ออกแบบควรพิจารณา สภาพแวดล้อม สภาพการใช้งานของโครงสร้างนั้นอย่างละเอียดก่อนการออกแบบ จากนั้นควรเลือกออกแบบและเลือกใช้ข้อกำหนดสำหรับงานคอนกรีตที่เหมาะสมในชั้นการออกแบบ ส่วนในชั้นการก่อสร้างจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องมีการควบคุมอย่างดี ทั้งขั้นตอน การผสม, การจี้เซย่า, การแต่งผิว และการบ่ม รวมทั้งการบำรุงรักษาและแนวทางป้องกันปัญหาซึ่งเราสามารถสรุปเป็นแผนภาพ และการป้องกันความเสียหายของคอนกรีตจากสาเหตุต่าง ๆ สรุปได้ดังรูปที่ 15.7



ความเสียหายของคอนกรีต	การออกแบบและการให้รายละเอียด	สัดส่วนผสม	ชนิดของซีเมนต์	ระยะฟุ้ง	การอัดแน่น	การบ่ม
Chemical attack sulphates	○	○	○		○	○
Freeze/thaw	○	○	○		○	○
Abrasion		○	○		○	○
Structural cracking	○	○	○	○	○	○
Corrosion of reinforcement	○	○	○	○	○	○
Alkali-silica reaction	○	○	○	○	○	○
Con-structural cracking		○	○	○	○	○

รูปที่ 15.7 สรุปแนวทางป้องกันปัญหาความเสียหายของคอนกรีต