

มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย  
การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีตรวจพินิจ (Visual Inspection Method)

1. ขอบข่าย

มาตรฐานนี้ครอบคลุมวิธีการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการตรวจพินิจ และข้อแนะนำเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลและจำแนกประเภทของความเสียหาย

2. นิยาม

“การตรวจพินิจ (Visual Inspection) หมายถึง การตรวจสอบด้วยตาเปล่า ประกอบกับอุปกรณ์การตรวจสอบพื้นฐาน เช่น ไม้บรรทัด มาตรฐานวัดความกว้างของรอยร้าว โดยไม่มีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ามาเกี่ยวข้อง

“ความเสียหาย (Damage)” หมายถึง การสูญเสียความสามารถทางกลหรือความคงทนของโครงสร้างอันเนื่องมาจากกลไกต่างๆ

“การเสื่อมสภาพ (Deterioration)” หมายถึง การสูญเสียคุณสมบัติ หรือ การเปลี่ยนแปลงในทางใดทางหนึ่งซึ่งส่งผลกระทบต่อให้โครงสร้างมีพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสมกับหน้าที่ของโครงสร้างนั้นๆ

3. การตรวจพินิจ

3.1 การตรวจพินิจเป็นขั้นตอนที่ถือได้ว่าเป็นมีความสำคัญมากที่สุดขั้นตอนหนึ่งของการตรวจสอบโครงสร้าง การตรวจพินิจด้วยผู้ตรวจสอบที่มีประสบการณ์จะช่วยให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของความเสียหาย หรือ การเสื่อมสภาพของโครงสร้าง

3.2 เนื่องจากการตรวจพินิจนั้นมีค่าดำเนินการที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับวิธีการตรวจสอบแบบอื่นๆ เช่น การเจาะตัวอย่างทดสอบ ดังนั้นการตรวจสอบพินิจจึงสามารถดำเนินการได้บ่อยกว่าวิธีการตรวจสอบแบบอื่น และมักจะเป็นขั้นตอนแรกๆในการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างคอนกรีต

3.3 ในการตรวจสอบโครงสร้างด้วยการตรวจพินิจนั้น ผู้ตรวจสอบต้องอาศัยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวิศวกรรมโครงสร้าง พฤติกรรมของคอนกรีต และเทคนิคการก่อสร้าง เพื่อการรวบรวมข้อมูลที่สมบูรณ์มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

4. หลักการของการตรวจพินิจ

4.1 การตรวจพินิจควรจะเป็นไปตามการวางแผนเบื้องต้นเพื่อให้ได้ข้อมูลการตรวจสอบที่มีคุณภาพและความสมบูรณ์สูงสุด ขั้นตอนโดยทั่วไปของการตรวจพินิจประกอบด้วย

- (1) การเดินตรวจสอบเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปของโครงสร้าง และ ศึกษารูปแบบและลักษณะการใช้งานของโครงสร้าง

- (2) การรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง เช่น แบบโครงสร้าง วัสดุก่อสร้างที่ใช้ ประวัติของโครงสร้าง ลักษณะแวดล้อม เป็นต้น
- (3) การวางแผนการตรวจพินิจโดยละเอียด
- (4) การตีตารางบนผิวโครงสร้างเพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่งของจุดต่างๆบนโครงสร้าง
- (5) การตรวจพินิจโดยละเอียดและบันทึกผล
- (6) การดำเนินการตรวจสอบเพิ่มเติม

ข้อเสนอแนะ 4.1:

- (1) การตรวจพินิจเป็นวิธีการที่มีความยืดหยุ่นและสามารถให้ข้อมูลที่สำคัญแก่ผู้ตรวจสอบได้ แต่ข้อมูลที่ได้อาจขึ้นอยู่กับวางแผนและการดำเนินการ ดังนั้นประสิทธิภาพของการตรวจพินิจนั้นจึงขึ้นอยู่กับความรู้และประสบการณ์ของผู้ตรวจสอบเป็นสำคัญ
- (2) การตรวจพินิจมีข้อจำกัด คือ สามารถตรวจสอบได้เฉพาะบริเวณผิวโครงสร้าง และไม่สามารถตรวจสอบความเสียหาย หรือ รอยแตกร้าวที่อยู่ภายในโครงสร้าง และไม่สามารถวัดความเสียหายเชิงปริมาณอย่างชัดเจน จึงควรใช้เครื่องมือทดสอบร่วมกับการตรวจพินิจเพื่อรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมให้เพียงพอสำหรับการวางแผนการบำรุงรักษาโครงสร้างต่อไป

**4.2** เป้าหมายหลักของการตรวจพินิจ คือ การกำหนดตำแหน่งและขนาดของความเสียหายในโครงสร้าง โดยแยกลักษณะของความเสียหายอย่างชัดเจนเพื่อความสะดวกและชัดเจนในการใช้ข้อมูลในภายหลัง (โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผู้ที่ไม่ได้ดำเนินการตรวจพินิจด้วยตนเอง) ลักษณะความเสียหายที่สามารถพบเห็นได้โดยทั่วไปในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก มีรายละเอียดดังแสดงในหัวข้อที่ 5

**4.3** การตรวจโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยตาเปล่าในระยะเวลาที่เหมาะสม ช่วยให้สามารถวางแผนการบำรุงรักษาโครงสร้างอย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัดงบประมาณในระยะยาว

ข้อเสนอแนะ 4.3:

ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมโครงสร้างที่มีการเกิดสนิมในระดับที่ทำให้โครงสร้างสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนัก มักจะแพงกว่ากรณีการป้องกันการเกิดสนิม หรือ การซ่อมแซมในขณะที่โครงสร้างยังมีความสามารถในการรับแรงที่เพียงพอ ดังนั้นการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างเป็นระยะๆ จะช่วยให้สามารถดำเนินการบำรุงรักษาที่จำเป็นได้ทันทั่วทั้งที่ และ ประหยัดงบประมาณในระยะยาว

## **5. ลักษณะความเสียหายที่พบเห็นได้บ่อยในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก**

### **5.1 จุดบกพร่องจากการก่อสร้าง (Construction Faults)**

ตัวอย่างของจุดบกพร่องที่เกิดจากการก่อสร้าง คือ รอยต่อระหว่างการเทคอนกรีต เหล็กเสริมที่ยื่นออกมาจากโครงสร้าง รูปพรรณแบบวงผึ้งในเนื้อคอนกรีต หลุมขนาดเล็กที่เกิดจากฟองอากาศบริเวณผิวแบบหล่อที่มีการเขย่าไม่เพียงพอ ผิวเสียรูปเนื่องจากการต่อแบบไม่ดี เป็นต้น ความเสียหายเหล่านี้เป็นความ

เสียหายอันเนื่องมาจากการควบคุมการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน และมีส่วนทำให้อัตราการเสื่อมสภาพของโครงสร้างคอนกรีตนั้นเป็นไปได้เร็วมากขึ้น

## 5.2 รอยร้าว (Cracking)

รอยร้าวในโครงสร้างคอนกรีตสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุ และสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกช่วงอายุของโครงสร้าง การวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของรอยร้าวในโครงสร้างคอนกรีตนั้นมีส่วนช่วยให้ซ่อมแซมโครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ตรวจสอบต้องบันทึก จำนวนของรอยแตก ร้าว ทิศทางและลักษณะของรอยแตก ร้าว ความลึกของรอยแตก ร้าว ความกว้างของรอยร้าว และอัตราการขยายตัวของรอยร้าวอย่างคร่าว ๆ

### 5.2.1 ทิศทางและลักษณะของรอยร้าว

ลักษณะของรอยร้าวที่สามารถสังเกตได้บนผิวโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นข้อมูลพื้นฐานที่บ่งบอกสาเหตุของการเกิดรอยร้าว เช่น รอยแตกหลายงาเกิดจากการยัดรีดคอนกรีตที่ผิวด้วยคอนกรีตด้านในโครงสร้าง หรือมีการขยายตัวของคอนกรีตที่อยู่ด้านในของโครงสร้าง รอยร้าวที่อยู่ในทิศทางเดียวจะเกิดจากแรงดึงในคอนกรีต โดยแรงดึงดังกล่าวอาจเกิดจากการหดตัวของโครงสร้าง หรือ เกิดจากแรงค้ำที่กระทำกับโครงสร้าง

### 5.2.2 ความลึกของรอยร้าว

ความลึกของรอยร้าวสามารถแยกออกกว้างๆ ได้เป็น 4 ระดับ คือ (1) รอยร้าวเฉพาะที่ผิว (2) รอยร้าวตื้น (3) รอยร้าวลึก และ (4) รอยร้าวทะลุโครงสร้าง รอยร้าวเฉพาะที่ผิวหมายถึงรอยร้าวที่ความลึกเข้าไปในโครงสร้างไม่มากหรือเกิดรอยร้าวในชั้นของปูนฉาบ รอยร้าวตื้น คือรอยร้าวที่เกิดในผิวคอนกรีตและมีความลึกที่ไม่มากนักเมื่อเทียบกับระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กของโครงสร้าง รอยร้าวลึกคือรอยร้าวที่มีความลึกมากในระดับที่ทำให้เหล็กเสริมผุกร่อนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่รอยร้าวมีความลึกมากกว่าระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กซึ่งทำให้เหล็กเสริมเกิดการผุกร่อนได้อย่างรวดเร็ว และรอยร้าวทะลุคือรอยร้าวที่ทะลุโครงสร้างซึ่งบ่งบอกถึงความเสียหายที่ค่อนข้างรุนแรง และมีการกระจายตัวของแรงดึงที่กระทำในคอนกรีตที่ค่อนข้างคงที่

### 5.2.3 ความกว้างของรอยร้าว

ความกว้างของรอยแตกร้าวเป็นปัจจัยที่มีผลมากที่สุดต่อความคงทนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในการตรวจพินิจ ความกว้างของรอยแตกร้าวอาจถูกแบ่งได้ 3 ระดับ ได้แก่ (1) รอยร้าวขนาดเล็ก (2) รอยร้าวขนาดกลาง และ (3) รอยร้าวขนาดใหญ่

#### ข้อเสนอแนะ 5.2.3:

ระดับความกว้างนั้นควรต้องถูกจำแนกโดยคำนึงถึงลักษณะการใช้งาน สภาพแวดล้อม และอายุการใช้งานของแต่ละโครงสร้างประกอบกันไปด้วย ยกตัวอย่างเช่นรอยร้าวขนาด 0.1 มิลลิเมตร อาจจะถูกจำแนกเป็นรอยร้าวขนาดเล็กในโครงสร้างขนาดใหญ่ในสภาพแวดล้อมธรรมดา ในขณะที่รอยร้าวขนาดเดียวกัน (0.1 มิลลิเมตร) ในโครงสร้างที่อยู่ชายฝั่งทะเลนั้นอาจจะถูกจำแนกเป็นรอยร้าวขนาดใหญ่

### 5.2.4 อัตราการขยายตัวของรอยร้าว

อัตราการขยายตัวของรอยร้าวเป็นข้อบ่งชี้ว่าสาเหตุของรอยแตกร้าว นั้นยังดำเนินอยู่อย่างต่อเนื่อง หรือมีความรุนแรงมากขึ้นหรือไม่ ทั้งนี้ข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการขยายตัวของรอยร้าว นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการดำเนินการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต โดยทั่วไปสามารถแบ่งแยกประเภทรอยร้าวออกเป็นรอยร้าวที่มีความกว้างมากขึ้นเรื่อยๆ และรอยร้าวที่มีสภาพคงที่แล้ว

#### ข้อเสนอแนะ 5.2.4:

รอยร้าวที่มีสภาพคงที่แล้ว หมายถึง รอยร้าวที่ไม่มีการขยายตัวมากพอที่อาจกระทบต่อการซ่อมแซมโครงสร้าง

### 5.2.5 การจำแนกรอยร้าวที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง

- (1) การจำแนกรอยร้าวในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อระบุสาเหตุของการเกิดรอยร้าว ข้อมูลของช่วงอายุคอนกรีตระหว่างที่รอยร้าวเริ่มปรากฏเป็นข้อมูลสำคัญที่จะช่วยให้ผู้ตรวจสอบระบุสาเหตุของรอยแตกร้าวได้ถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเสียหายในโครงสร้างคอนกรีตในสถานะคอนกรีตสด
- (2) ผู้ตรวจสอบโครงสร้างอาจจะจำแนกรอยร้าวที่เกิดจากพฤติกรรมทางโครงสร้างและการรับแรงออกจากรอยร้าวที่เกิดจากพฤติกรรมของคอนกรีตเพื่อความชัดเจนในการวิเคราะห์รอยแตกร้าว โดยทั่วไปรอยร้าวที่เกิดจากพฤติกรรมทางโครงสร้างมักมีขนาดใหญ่และความกว้างของรอยร้าวอาจเพิ่มขึ้นเนื่องจากการล้าของคอนกรีต

## 5.3 การสลายตัวของคอนกรีต (Disintegration)

การสลายตัวของคอนกรีต คือ คอนกรีตเกิดการสลายตัวกลับเป็นส่วนประกอบเดิม หรือ เป็นส่วนเล็กๆ โดยมีสาเหตุมาจากการสูญเสียความสามารถในการยึดเกาะของซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) ในคอนกรีต ข้อแตกต่างระหว่างการสลายตัวของคอนกรีตและการหลุดร่อนของคอนกรีต (Spalling) คือ ลักษณะของ

คอนกรีตในส่วนที่หลุดออกมาจากโครงสร้าง สำหรับการสลายตัวของคอนกรีตเป็นการสูญเสียเนื้อคอนกรีตที่เล็กทีละน้อย ในขณะที่สำหรับการหลุดร่อนเป็นการกะเทาะออกของชั้นคอนกรีตขนาดใหญ่ การสลายตัวของคอนกรีตที่พบเห็นมากคือการเสื่อมสภาพเนื่องจากซัลเฟต หรือการเสื่อมสภาพเนื่องจากกรด

#### 5.4 การบิดเบี้ยวหรือเคลื่อนตัวของ โครงสร้าง (Distortion and Movement)

การบิดเบี้ยวของโครงสร้างหรือการเคลื่อนตัวของโครงสร้างคือการสูญเสียตำแหน่งขององค์อาคารในโครงสร้าง ตัวอย่างที่พบเห็นได้บ่อยคือการทรุดตัวไม่เท่ากันของเสา หรือ กำแพง เป็นต้น ลักษณะความเสียหายรูปแบบนี้ควรได้รับการตรวจสอบโดยละเอียดและอาจติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดตามมาตรฐาน มยพ. 1552-51 (มาตรฐานการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอาคาร) เพราะอาจทำให้เกิดการวิบัติของอาคารแบบฉับพลันได้

#### 5.5 การสูญเสียผิวคอนกรีตเนื่องจากการกัดเซาะ (Erosion)

##### (1) การสึกกร่อน (Abrasion)

การสึกกร่อนของคอนกรีตเกิดจากผิวคอนกรีตถูกขัดสีด้วยวัตถุที่มีความแข็ง หรือมีแรงเสียดทานสูง ผิวคอนกรีตที่สึกกร่อนสามารถสังเกตเห็นมวลรวมในคอนกรีตได้ และอาจเห็นแนวขูดขีด และเส้นทางของวัตถุที่ขัดสีกับผิวคอนกรีต

##### (2) การกัดเซาะโดยฟองอากาศในของเหลว (Cavitation)

การเสื่อมสภาพของคอนกรีตซึ่งเกิดเนื่องจากการกัดเซาะด้วยฟองอากาศในของเหลวที่มีการเคลื่อนที่ โดยมีสาเหตุจากแรงกระทำที่เกิดจากการแตกตัวของฟองอากาศในน้ำ ทำให้สูญเสียผิวคอนกรีต ความเสียหายลักษณะนี้มักเป็นหลุมขนาดเล็ก และผิวคอนกรีตจะมีความขรุขระมาก โดยทั่วไปการกัดเซาะโดยฟองอากาศในของเหลวนี้เกิดขึ้นเมื่อความเร็วของน้ำมากกว่า 12 เมตรต่อวินาทีขึ้นไป

#### 5.6 การวิบัติของวัสดุอุดรอยต่อ (Joint Sealant Failure)

วัสดุอุดรอยต่อมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้ความชื้นหรือสารอื่นที่อาจมีอันตรายต่อ โครงสร้างซึมผ่านรอยต่อได้ อย่างไรก็ตามการหลุดร่อนออกของวัสดุอุดรอยต่อเป็นสิ่งที่พบเห็นได้ใน โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

#### 5.7 การรั่วซึมของน้ำ (Seepage)

การรั่วซึมของน้ำในคอนกรีต ได้แก่ การรั่วซึมของน้ำหรือของเหลวอื่นผ่านช่องว่างในคอนกรีตซึ่ง เกิดจากจากแรงดันน้ำภายนอก และอาจเกิดขึ้นได้โดยทั่วไปในโครงสร้างที่มีความดันน้ำระหว่าง แต่ละด้านไม่เท่ากัน การรั่วซึมของน้ำนี้มีโอกาสทำให้อัตราการเกิดสนิมใน โครงสร้าง เพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

## 5.8 การหลุดร่อนของคอนกรีต (Spalling)

การหลุดร่อนของคอนกรีต คือ คอนกรีตบริเวณผิวโครงสร้างหลุดร่อนออกเนื่องจากความดันภายในโครงสร้าง ซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ข้อแนะนำ 5.8: โดยทั่วไปการหลุดร่อนของคอนกรีต อาจจำแนกได้ตามขนาดของคอนกรีตที่หลุดร่อน เพื่อเป็นข้อมูลบ่งชี้ความรุนแรงของการหลุดร่อน เช่น

- การหลุดร่อนขนาดเล็ก ลึกไม่เกิน 20 มิลลิเมตร และมีขนาดไม่เกิน 150 มิลลิเมตร ทุกด้าน
- การหลุดร่อนขนาดใหญ่ มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของการหลุดร่อนขนาดเล็ก

## 5.9 การเกิดรอยร้าวขนานกับผิวเหล็กเสริมในคอนกรีต (Delamination)

การเกิดรอยร้าวขนานกับผิวเหล็กเสริมในคอนกรีต เกิดขึ้นในกรณีที่เหล็กเสริมเป็นสนิม และเกิดฉนวนตำแหน่งไม่ห่างกันมาก แรงดันที่จากสนิมทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นรอบเหล็กเสริม และหากสนิมกระจายตัวเป็นพื้นที่กว้าง รอยร้าวรอบเหล็กเสริมจะเชื่อมต่อกันเป็นรอยร้าวที่อยู่ขนานกับผิวในคอนกรีต (Delamination) ความเสียหายชนิดนี้ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าต้องใช้วิธีการเคาะด้วยของแข็งและสังเกตเสียงที่เกิดขึ้น คอนกรีตที่มีความแน่นจะให้เสียงที่แตกต่างจากคอนกรีตที่มีช่องว่างอยู่ภายใน

## 6. การวิเคราะห์ผลการตรวจพินิจ

จากการตรวจพินิจของแต่ละ โครงสร้าง ผู้ตรวจสอบต้องระบุได้ว่า โครงสร้างที่ตรวจสอบ จัดอยู่ในกลุ่มใดจากลักษณะ โครงสร้าง 5 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

- (1) โครงสร้างที่ไม่มีจุดบกพร่องจากการก่อสร้างและยังไม่แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพ และยังไม่จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียด
- (2) โครงสร้างที่มีจุดบกพร่องจากการก่อสร้างซึ่งส่งผลกระทบต่อความคงทน แต่ยังไม่แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพ จุดบกพร่องดังกล่าวควรได้รับการแก้ไข
- (3) โครงสร้างที่มีการเสื่อมสภาพที่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดในบางจุด แต่ยังไม่ถึงระดับที่มีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก และจำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียดเพื่อวางแผนบำรุงรักษา
- (4) โครงสร้างที่มีการเสื่อมสภาพเป็นวงกว้าง และสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก และต้องการประเมินอัตราการเสื่อมสภาพ ควรต้องมีการบำรุงรักษาอย่างทันที่
- (5) โครงสร้างที่เกิดความเสียหายที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้โครงสร้างอย่างชัดเจน และจำเป็นต้องออกมาตรการสำหรับความปลอดภัยในการใช้งานโครงสร้าง และโครงสร้างควรได้รับการซ่อมบำรุงโดยด่วน

## 7. เอกสารอ้างอิง

- 7.1 ACI 201.1R-92 Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service
- 7.2 ACI 207.3R-94 Practices for Evaluation of Concrete in Existing Massive Structures for Service Conditions
- 7.3 ACI 224.1R-93 Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures
- 7.4 ACI 437R-03 Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings
- 7.5 Standard Specification for Concrete Structure – 2001 “Maintenance”, Japan Society of Civil Engineers
- 7.6 Evaluation of Concrete in Concrete Structures, USACE
- 7.7 Properties of Concrete, A.M. Neville, Fourth Edition, Pearson Education Limited
- 7.8 Concrete Society Report, Non-structural Cracks in Concrete, Technical Report, No.22, 3<sup>rd</sup> Edition, page 48 (Concrete Society, London, 1992)

## ภาคผนวก 1 ความรู้เบื้องต้นของการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

- จุดประสงค์หลักของการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก คือ การประเมินสภาพของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยพิจารณาทั้งความแข็งแรงของโครงสร้าง (Load Carrying Capacity) ความสามารถใช้งาน (Serviceability) และ ความคงทน (Durability) ของโครงสร้าง ดังนั้นเป้าหมายสำคัญที่สุดในการตรวจสอบโครงสร้าง คือ การหาสาเหตุของความเสียหาย หรือ การเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้น และการประเมินระดับความเสียหายของโครงสร้าง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนซ่อมบำรุง หรือ บำรุงรักษาโครงสร้างอย่างเหมาะสม โดยการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตด้วยการตรวจพินิจและการตรวจสอบด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย เป็นขั้นตอนเริ่มแรกที่มีความจำเป็นในการประเมินพฤติกรรมของโครงสร้างในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ผู้ตรวจสอบมีข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์ในลำดับต่อไป
- การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นสามารถจำแนกได้ตามพฤติกรรม หรือ ประเภทของความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้แก่
  - (1) ความมั่นคงของส่วนใดส่วนหนึ่งของโครงสร้างหรือโครงสร้างทั้งระบบ
  - (2) ความแข็งเกร็ง (Stiffness) ของโครงสร้าง
  - (3) ความคงทนของโครงสร้าง
  - (4) การแอ่นตัว หรือการเปลี่ยนรูปร่างของโครงสร้างในระยะยาว
  - (5) ความสามารถในการต้านทานไฟของโครงสร้าง หรือ ความเสียหายหลังจากการเกิดเพลิงไหม้
  - (6) ความสามารถใช้งาน (Serviceability) ของโครงสร้าง
- ขั้นตอนของการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีแนวทางดังต่อไปนี้
  - (1) การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้าง เช่น แบบโครงสร้าง ประวัติการใช้งาน ข้อมูลวัสดุ ตำแหน่งของโครงสร้าง โดยเฉพาะส่วนที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมของโครงสร้างที่อยู่ภายในจุดประสงค์ของการตรวจสอบ
  - (2) การสำรวจสภาพของโครงสร้างด้วยการตรวจพินิจ โดยอาจใช้อุปกรณ์พื้นฐานประกอบการสำรวจ เช่น กล้องถ่ายภาพ หรือ สายวัด เป็นต้น เพื่อช่วยในการเก็บข้อมูล
  - (3) การตรวจสอบเพิ่มเติมด้วย การเจาะตัวอย่างทดสอบคอนกรีต หรือ การเก็บผงตัวอย่างเพื่อการทดสอบองค์ประกอบทางเคมี หรือ การสุ่มทดสอบโครงสร้างบางส่วนด้วยเครื่องมือทดสอบแบบไม่ทำลาย
  - (4) การประเมินลักษณะของความเสียหาย สาเหตุของความเสียหาย และระดับของความเสียหายในปัจจุบันจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและตรวจสอบ
  - (5) การวางแผนในการดำเนินการหยุดความเสียหาย หรือ การเสื่อมสภาพของโครงสร้าง หรือ ทำการซ่อมแซมโครงสร้างด้วยวิธีการที่เหมาะสม



(6) การติดตามเก็บข้อมูลของโครงสร้างที่สำคัญ เพื่อประเมินผลของการซ่อมแซมและวางแผนการดูแลรักษาโครงสร้างในระยะยาว

4. การประเมินความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ต้องดำเนินการ โดยผู้ที่มีความเชี่ยวชาญตามหลักวิศวกรรม และการรายงานผลการตรวจสอบและข้อสรุปตามลักษณะของความเสียหายนั้น อาจจะมี ความสำคัญมากกว่าข้อกำหนดในมาตรฐานต่างๆ เนื่องจากโครงสร้างที่มีการเสื่อมสภาพแตกต่างกันจะ ต้องการรายละเอียดของการตรวจสอบที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ ได้รับความเสียหายจากสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง หรือ ความเสียหายที่เกิดจากเพลิงไหม้

## ภาคผนวก 2 วิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

### 1. หลักการพื้นฐานของการทดสอบแบบไม่ทำลาย .

- (1) วิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายส่วนใหญ่เป็นการทดสอบอาศัยการประเมินจากผลการวัดค่าสมบัติต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับสมบัติของโครงสร้าง หรือมีความเกี่ยวข้องกับกลไกของการเสื่อมสภาพแบบต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีการประเมินโดยอ้อมเป็นส่วนใหญ่ หัวใจของการทดสอบแบบไม่ทำลาย คือ การเก็บข้อมูลการประเมินสภาพของโครงสร้างให้เพียงพอโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างในระดับที่มากเกินไป วิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายบางชนิดอาจต้องเจาะรูขนาดเล็กในโครงสร้างคอนกรีต หรืออาจทำให้โครงสร้างคอนกรีตเสียหายในระดับหนึ่ง
- (2) การตรวจสอบด้วยเทคนิคการทดสอบโดยไม่ทำลายสามารถประยุกต์ใช้ในกรณีดังต่อไปนี้
  - ก. การตรวจสอบคุณภาพของงานก่อสร้างใหม่
  - ข. การแก้ปัญหาในงานก่อสร้างในระหว่างการก่อสร้าง
  - ค. การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างเก่าเพื่อการวางแผนบำรุงรักษา
  - ง. การประเมินคุณภาพของงานซ่อมแซม
- (3) การเลือกวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับข้อมูลสมบัติของโครงสร้างที่ต้องการทำการตรวจสอบ โดยตารางที่ 1 แสดงรายการวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายสำหรับโครงสร้างคอนกรีต รวมทั้งการตรวจพินิจตามมาตรฐานอ้างอิงของกรมโยธาธิการ

### ตารางที่ 1 รายการวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย

(ภาคผนวก 2 ข้อ 1 (3))

วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์ของการใช้งาน	มาตรฐานอ้างอิง
1. การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีตรวจพินิจ	ประเมินสาเหตุ และ ระดับความเสียหาย หรือการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นใน โครงสร้าง	มยพ. 1501-51
2. วิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระทบ (Rebound Hammer)	ประเมินกำลังอัดของคอนกรีต	มยพ. 1502-51
3. วิธีทดสอบประเมินค่ากำลังอัดคอนกรีตด้วยการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบ (Penetration Resistance)	ประเมินกำลังอัดของคอนกรีต	มยพ. 1503-51
4. วิธีทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity)	ตรวจสอบความคงที่ของคุณภาพคอนกรีตในโครงสร้าง หรือ ค้นหาช่องว่างในโครงสร้างคอนกรีต	มยพ. 1504-51

ตารางที่ 1 รายการวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (ต่อ)

(ภาคผนวก 2 ข้อ 1 (3))

วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์ของการใช้งาน	มาตรฐานอ้างอิง
5. วิธีตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีต (Cover Meter)	ตรวจหาตำแหน่งของเหล็กเสริมในโครงสร้าง และ วัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก	มยผ. 1505-51
6. วิธีทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม (Half-Cell Potential Test)	ประเมินโอกาสเกิดสนิมในเหล็กเสริม	มผย. 1506-51
7. วิธีทดสอบเพื่อประเมินสภาพสมบูรณ์ของเนื้อคอนกรีตด้วยคลื่นเรดาร์ (Radar)	ตรวจสอบหาช่องว่างหรือวัตถุแปลกปลอมในโครงสร้างคอนกรีต	มผย. 1507-51

นอกจากวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายที่ระบุในตารางที่ 1 ที่มีกล่าวไว้โดยละเอียดในมาตรฐานฉบับนี้ ยังมีวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายวิธีอื่นๆ อีกหลายวิธี เช่น

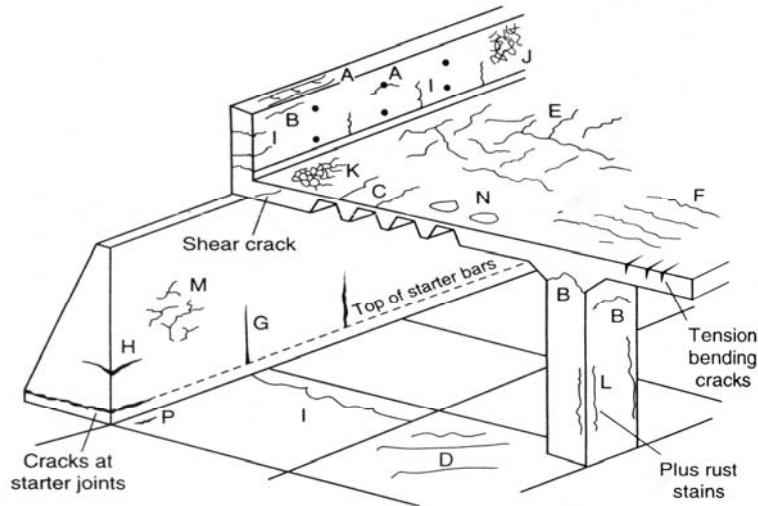
- วิธีวัดความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequencies) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญทางพลศาสตร์ของคุณสมบัติต่อไปนี้ คือ โมดูลัสยืดหยุ่น โมดูลัสแข็งเกร็ง และอัตราส่วนปัวซอง โดยหลักการทดสอบคือ ตัวอย่างจะถูกทำให้สั่นที่ความถี่ต่างๆ ซึ่งจุดสูงสุดที่ชัดเจนของการตอบสนอง คือ ค่าความถี่พื้นฐาน
- วิธีใช้การแผ่รังสีนิวเคลียร์แกมมา (Nuclear Gamma Radiation) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความหนาแน่นของคอนกรีตในที่ โดยนำแหล่งของรังสีแกมมา หรือตัวตรวจวัดจะถูกติดตั้งไว้ในหัวหยั่ง (Probe) ซึ่งจะถูกสอดเข้าไปในรูเจาะของคอนกรีตที่ทราบระยะความลึก ค่าต่างๆ ที่อ่านได้สามารถนำไปเทียบเป็นค่าความหนาแน่นของคอนกรีตจากกราฟเทียบเคียง (Calibration)
- วิธีทดสอบความถี่กำทอน (Resonant Frequency Testing) มีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบพื้นฐาน (Fundamental Modes) ในห้องปฏิบัติการของการสั่นสะเทือนสำหรับการคำนวณทางด้านพลศาสตร์ ใช้ในงานสนามสำหรับตรวจหาช่องว่าง การลอกเป็นชั้น ลิงเงิปน การเสื่อมสภาพ และใช้หลักการพื้นฐาน คือ สภาวะของความถี่กำทอน (Resonant Frequency) จะถูกทำให้เกิดขึ้นระหว่างผิวสะท้อนสองผิว พลังงานจะถูกใส่เข้าไปในระบบ โดยการใช้การกระแทกของค้อน หรือใช้ระบบ Oscillator Amplifier

- วิธี Ultrasonic Pulse-echo เป็นวิธีที่ใช้เป็นตัวบอกถึงความสม่ำเสมอและคุณภาพของคอนกรีต และบอกตำแหน่งของเหล็กเสริม ช่องว่างในคอนกรีต ความหนาแน่น และความหนาของคอนกรีต อาศัยหลักการที่ว่า ทิศทาง ขนาด และความถี่ของคลื่นที่ปล่อยสู่คอนกรีต ถูกเปลี่ยนแปลงโดยสิ่งกีดขวาง เช่น รอยแตก และวัตถุอื่นๆ หรือคุณสมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนแปลง
- วิธีการแพร่ของคลื่นเสียง (Acoustic Emission) ใช้เพื่อตรวจวัดอย่างต่อเนื่องถึงแนวโน้มของการวิบัติของโครงสร้างที่อาจเกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งาน เพื่อตรวจวัดขีดความสามารถของโครงสร้างระหว่างการทดสอบพิสูจน์ (Proof Testing) โดยอาศัยหลักการที่ว่า ในช่วงระหว่างการขยายตัวของรอยแตก หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างแบบพลาสติก จะมีการคายพลังงานความเครียด (Strain Energy) จะทำให้เกิดคลื่นเสียงซึ่งสามารถตรวจจับได้ โดยเซนเซอร์ที่ติดอยู่ที่ผิวของวัตถุที่ถูกทดสอบ
- วิธีการกระทบของคลื่นเสียง (Acoustic Impact) เพื่อใช้ในการตรวจจับการสูญเสียแรงยึดเกาะ การลอกเป็นชั้น ช่องว่าง และรอยแตกขนาดเส้นผม โดยพื้นผิวของวัตถุที่ต้องการทดสอบจะถูกเคาะด้วยเครื่องมือทดสอบ ผลของความถี่ที่วัดได้ตลอดช่วงเวลาในการส่งผ่านคลื่นเสียง และคุณลักษณะของความหน่วงของคลื่นเสียงที่วัดได้จะเป็นตัวบ่งบอกถึงข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในวัสดุ
- วิธีวัดความต้านทานไฟฟ้า (Electrical Resistance Measurement) ใช้เพื่อพิจารณาหาปริมาณความชื้นในคอนกรีต โดยอาศัยการพิจารณาหาปริมาณความชื้นของคอนกรีต โดยใช้หลักการนำไฟฟ้าของคอนกรีตจะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในคอนกรีต
- วิธีใยแก้วนำแสง (Fiber Optics) ใช้เพื่อใช้คู่ส่วนของโครงสร้างที่ไม่สามารถมองเห็นได้ โดยหัวใยแก้วนำแสงซึ่งประกอบด้วย ใยแก้วที่ยึดหยุ่น เลนส์ และระบบส่องแสง ถูกสอดเข้าไปในรอยร้าว หรือรูเจาะในคอนกรีต ใช้เลนส์กล้องส่องดูรอยตำหนิ เช่น รอยร้าวโพรง หรือการแยกตัวของมวลรวม ใยแก้วไปในบริเวณที่คอนกรีตถูกเจาะเอาแก่นคอนกรีตออกมา หรือหลุมขุด (Bore Holes) ที่ถูกเจาะ ตรวจหาช่องว่างระหว่างผนัง และรูอื่นๆ ในงานวัสดุก่อ
- วิธีฉายรังสีแกมมา (Gamma Radiograph) ใช้เพื่อคาดคะเนตำแหน่ง ขนาดและสภาพของเหล็กเสริม โพรงในคอนกรีต ความหนาแน่น และความหนาของคอนกรีต โดยใช้หลักการที่ว่า ความหนาแน่นและความหนาของตัวอย่างทดสอบมีผลกระทบต่ออัตราการดูดซึมของรังสีแกมมา รังสีแกมมาจะถูกปล่อยจากเครื่องมือทะลุผ่านตัวอย่าง ไปออกอีกด้านหนึ่ง และจะถูกบันทึกบนฟิล์ม

- การสะท้อนของการกระแทก (Impact Echo) เพื่อพิจารณาหาการร้าวคุณสมบัติของหน้าตัด การลอกเป็นชั้นและโพรงแบบรวงผึ้ง ตรวจสอบการเคลื่อนของพื้นผิว ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ของคลื่นหน่วยแรงชั่วขณะ (Transient Stress Waves) กับความไม่ต่อเนื่องภายในของคอนกรีต ต้องการระดับความชำนาญในการทดสอบปานกลาง เป็นเทคนิคที่ง่าย และมีประสิทธิภาพสำหรับการแปลผล โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถี่ของการเคลื่อนที่ของคลื่น ต้องพิจารณาหาความเร็วคลื่นในวัสดุทดสอบที่ทราบความหนา
  - วิธีตรวจจับความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด (Infrared Thermography) ใช้เพื่อตรวจจับตำหนิภายใน (Internal Flaws) การขยายตัวของรอยร้าว การลอกเป็นชั้น และโพรงภายใน โดยอาศัยหลักการที่ว่าสามารถตรวจจับตำหนิได้ โดยเลือกใช้ช่วงความถี่ของรังสีอินฟราเรดในการตรวจจับความร้อนรูปแบบต่างๆ ซึ่งความร้อนแต่ละรูปแบบที่ได้จะระบุถึงชนิดที่แน่นอนของข้อบกพร่อง (Defects)
  - Laser Interferometry เพื่อพิจารณาหาจุดกำเนิดและการแพร่ขยายของรอยร้าว และตรวจวัดพฤติกรรมที่สัมพันธ์กันของทั้งสอง ภาพสามมิติ (Hologram) ของวัตถุจะถูกสร้างขึ้นโดยการใช้เลเซอร์รูปแบบลายตะเข็บ ต้องการความชำนาญในการทดสอบสูง สามารถตรวจวัดพฤติกรรมของรอยร้าวเนื่องจากการคืบ (Creep Cracks) ได้ ค่าใช้จ่ายสูง เป็นวิธีการทดสอบที่ยังไม่แพร่หลาย
  - วิธีโพลาไรเซชัน (Polarization Method) เพื่อประเมินอัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมซึ่งอยู่ใต้ตำแหน่งที่ทดสอบ โดยการวัดกระแสไฟฟ้าที่ต้องเปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้ความต่างศักย์ระหว่างเหล็กเสริมกับแท่งอ้างอิงมาตรฐาน (Standard Reference Electrode) มีค่าตามที่กำหนด ค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ตรวจวัดได้จะใช้ในการประเมินความต้านทานโพลาไรเซชัน (Polarization Resistance) ซึ่งเกี่ยวข้องกับอัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีต
  - Penetrability Method เพื่อเปรียบเทียบส่วนผสมของคอนกรีต ทั่วไปใช้ในงานวิจัยแต่อาจใช้เพื่อตรวจสอบกระบวนการบ่ม โดยอาศัยหลักการว่าอัตราการไหลของของเหลวขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการแทรกซึมได้ (Penetration) ของคอนกรีต และทดสอบโดยวัดการไหลของของเหลว (อากาศหรือน้ำ) เข้าไปในคอนกรีตภายใต้สภาวะที่กำหนด
- (4) เทคนิคการตรวจสอบโดยไม่ทำลายแต่ละชนิดมีความสามารถตรวจสอบได้แตกต่างกัน ดังนั้น ในการตรวจสอบโครงสร้างโดยทั่วไป ควรใช้เครื่องมือตรวจสอบมากกว่าหนึ่งชนิดเพื่อให้ข้อมูลที่วัดได้มีความสมบูรณ์ และวิเคราะห์ผลได้แม่นยำยิ่งขึ้น รวมถึงต้องเลือกวิธีการตรวจสอบที่เหมาะสมในการตรวจสอบโครงสร้าง

**ภาคผนวก 3 ตัวอย่างรูปแบบของรอยร้าวและสาเหตุ**

รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างของลักษณะรอยร้าวไม่เชิงโครงสร้าง (Non-structural Cracks) รูปแบบต่างๆ ซึ่งรูปแบบของรอยร้าวที่แตกต่างกันมีความสัมพันธ์กับสาเหตุของรอยร้าวดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 3



**รูปที่ 1: ลักษณะของรอยร้าวแบบต่างๆ**

(ภาคผนวก 3)

ที่มา: A.M. Neville, “Properties of Concrete”, และ Concrete Society Report,

“Non-structural Cracks in Concrete”, Technical Report No.22

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบของรอยร้าวและสาเหตุของรอยร้าว

(ภาคผนวก 3)

รูปแบบของรอยร้าว	สาเหตุของรอยร้าว
A, B, C	การทรุดตัวแบบพลาสติก (Plastic Settlement)
D, E, F	การหดตัวแบบพลาสติก (Plastic Shrinkage)
G, H	การยืหดตัวอันเนื่องมาจากอุณหภูมิ (Thermal Contraction)
I	การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) ในสภาวะถูกยัดครั้งแรก
J, K	การแตกร้าวลายขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจากการที่ปริมาณการยัด - หดตัวที่ผิวโครงสร้างมากกว่าคอนกรีตที่อยู่ต่ำกว่า (Crazing)
L	การเกิดสนิมของเหล็กเสริม (อันเนื่องมาจากคลอไรด์หรือคาร์บอนชั้น)
M	ปฏิกิริยาระหว่างต่างและมวลรวม
N	ตุ่มฟองบนผิวคอนกรีตอันเนื่องมาจากการเข้มน้ำ
P	D-cracking รอยร้าวอันเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของน้ำสู่มวลรวมตามวัฏจักรการแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำในคอนกรีต

หมายเหตุ: รอยร้าวแบบ P (D-cracking) เป็นรอยร้าวที่ไม่พบเห็นในสภาวะแวดล้อมทั่วไปของประเทศไทย

ภาคผนวก 4 ตัวอย่างลักษณะความเสียหายที่พบเห็นได้บ่อยในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก



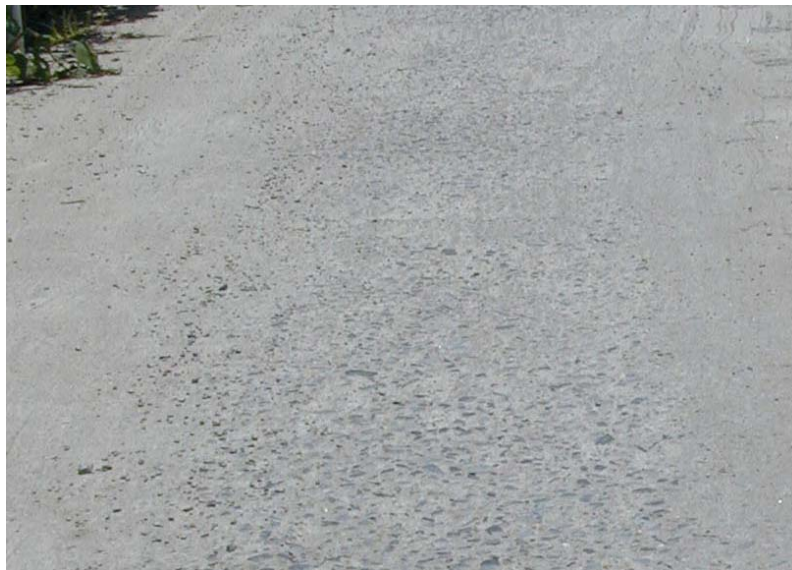
รูปที่ 2: รูปการกระเทาะออกของผิวคอนกรีต



รูปที่ 3: รูปการสลายตัวของคอนกรีต

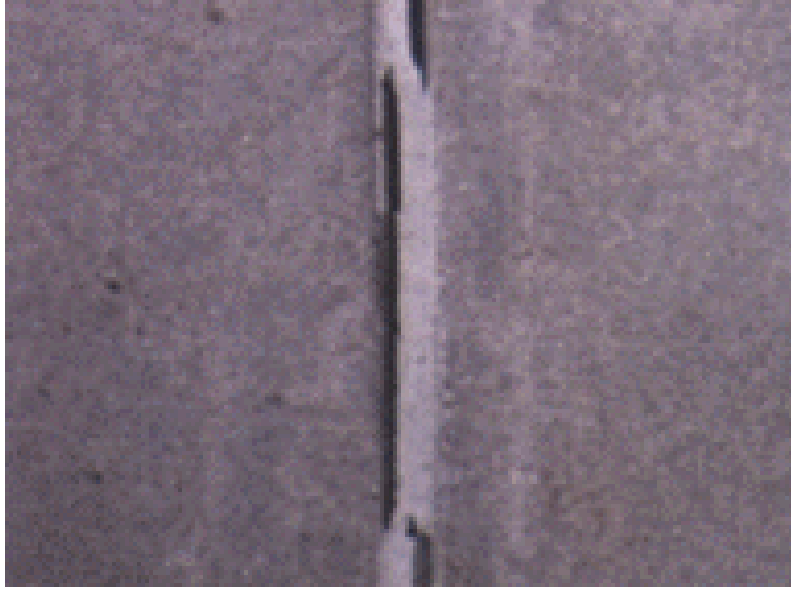


**รูปที่ 4: รูปการบิดเบี้ยวหรือเคลื่อนตัวของโครงสร้าง**



**รูปที่ 5: การสูญเสียผิวคอนกรีตเนื่องจากการสึกกร่อน (Abrasion)**





รูปที่ 6: รูปการวิบัติของวัสดุอุดรอยต่อ



รูปที่ 7: การรั่วซึมของน้ำ