

### การวิเคราะห์ขนาดรอยแตกร้าวของโครงสร้างโบราณสถานในประเทศไทย

#### The analysis and a crack in the ancient structures in Thailand

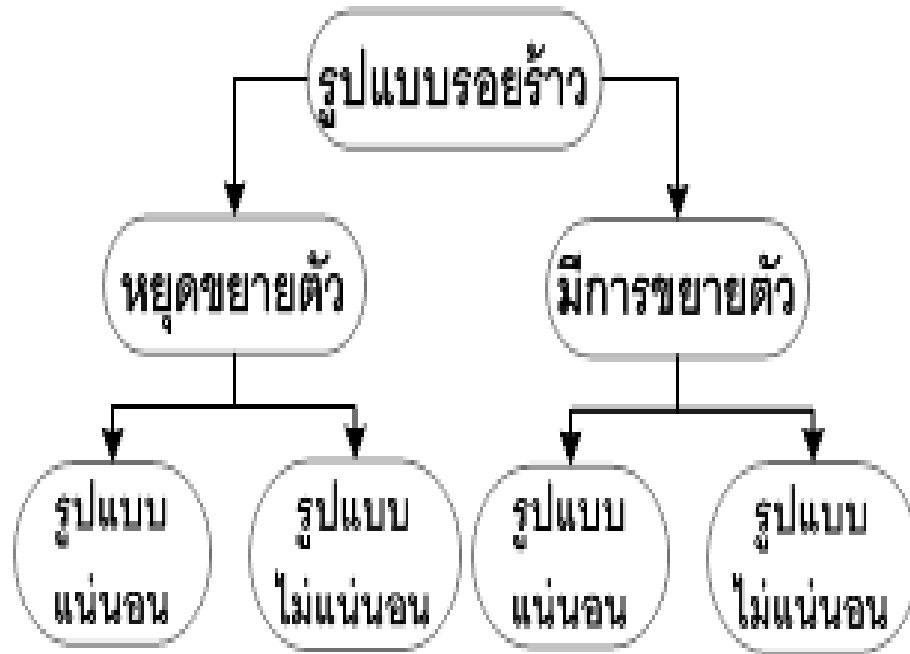
อ.ดร. ปิติวัฒน์ วัฒนชัย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

#### 1. บทนำ

ในกระบวนการซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร สิ่งสำคัญประการแรกที่ต้องพิจารณา คือความรู้พื้นฐานที่จำเป็นในการประเมินสภาพคอนกรีตที่ถูกต้อง รวมไปถึงการวิเคราะห์เพื่อการซ่อมแซมที่ถูกต้องเหมาะสมกับสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นจริง ด้วยเหตุนี้การตีความวิเคราะห์สาเหตุการเกิดรอยแตกร้าวจึงเป็นหนึ่งในประเด็นหลักที่สำคัญ เนื่องจากลักษณะความเสียหายที่พบเห็น อาจไม่เกี่ยวข้องกับสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นจริง ทำให้การซ่อมแซมโครงสร้างเป็นการแก้ไขปัญหาที่ไม่ตรงประเด็น และส่งผลให้โครงสร้างเกิดการวิบัติในเวลาต่อมา [1] ประเภทของรอยร้าวที่เกิดขึ้นในโครงสร้างอาคาร โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ได้แก่ รอยแตกร้าวที่ยังมีการขยายตัว และรอยแตกร้าวที่หยุดการขยายตัวแล้ว ซึ่งรูปแบบรอยร้าวในโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป สามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การจำแนกประเภทรอยร้าว

สำหรับการตรวจสอบรอยร้าว เพื่อการพิจารณาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างถูกต้อง ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเป็นอีกหนึ่งขั้นตอนที่มีความสำคัญ โดยมีรายละเอียดข้อมูลดังนี้

1. ตำแหน่งรอยร้าว
2. รูปแบบรอยแตก
3. ความกว้างรอยร้าว
4. อายุรอยร้าว
5. การพิจารณาประเภทรอยร้าว(เป็นรอยร้าวที่หยุดการเคลื่อนตัวแล้ว/ยังไม่หยุดการเคลื่อนตัว)

จากข้อมูลต่างๆเหล่านี้ จะทำให้ผู้ประเมินปัญหารอยร้าวได้อย่างถูกต้อง ทราบระดับความอันตรายของรอยแตกร้าว รวมไปถึงการเลือกวิธีการซ่อมแซมรอยร้าวที่มีความเหมาะสม

โบราณสถานคือสถานที่เก่าแก่ และเต็มเปี่ยมไปด้วยวัฒนธรรม ประเพณี ตลอดจนถึงแรงศรัทธาทางพระพุทธศาสนา ที่เหล่าบรรพชนได้ดำรงรักษา และสืบทอดเจตนา จากรุ่นสู่รุ่นมาจนถึงยุคปัจจุบัน แต่เนื่องด้วยยุคสมัยที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เราเห็นความสำคัญของสิ่งต่างๆ เหล่านี้ลดลง โบราณสถาน วัตถุอารามต่างๆ เริ่มถูกทอดทิ้งให้รกร้างไปพร้อมๆ กับการเสื่อมสภาพตามกาลเวลา โครงสร้างโบราณสถานจึงเป็นโครงสร้างเก่าที่มีความอ่อนแอ เกิดความเสียหายได้ง่ายและมีความรุนแรงมากกว่าโครงสร้างอาคารทั่วไป ดังนั้น การประเมินความกว้างรอยแตกร้าวสำหรับโครงสร้างโบราณสถาน จึงควรมีความเฉพาะตัวสูงและมีลักษณะแตกต่างจากการประเมินความกว้างรอยแตกในโครงสร้างอาคารทั่วไป โดยนำมาตามมาตรฐานการตรวจวัดความกว้างรอยแตกร้าวโครงสร้างอาคารในปัจจุบันในรูปแบบต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบกับแนวโน้มความเสียหายจริงของโครงสร้างโบราณสถาน

## 2. ปัจจัยที่ก่อให้เกิดรอยแตกร้าวสำหรับโครงสร้างคอนกรีต

ปัญหา รอยร้าว เป็นปัญหาสำคัญที่เกิดควบคู่กับโครงสร้างคอนกรีตอยู่เสมอ [2] เนื่องจากคอนกรีตจะมีปัญหาในส่วนของการรับแรงดึงเป็นหลัก เพื่อการจำแนกชนิดและสาเหตุการเกิดรอยแตกร้าวที่ชัดเจน จึงจัดจำแนกชนิดและสาเหตุการเกิดรอยร้าวได้ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ปัจจัยการเกิดรอยแตกร้าวในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โดยรอยร้าวทั้ง 4 ประเภทนี้ บ่งชี้สภาพความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างแตกต่างกัน โดยรอยร้าวที่ควรได้รับการพิจารณาปัญหาเป็นพิเศษ ได้แก่ รอยร้าวที่เกิดจากการรับน้ำหนักไม่ได้ และรอยร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวของฐานราก เนื่องจากรอยร้าวทั้ง 2 ประเภทนี้อาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคารในภายหลังได้

### รอยร้าวที่เกิดจากโครงสร้างรับน้ำหนักไม่ได้

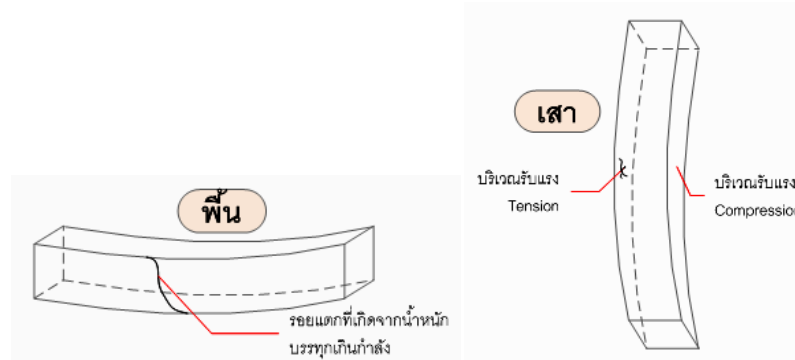
รอยร้าวประเภทนี้เป็นรอยร้าวที่เกิดในโครงสร้างหลักขององค์อาคารเกิดภาวะรับน้ำหนักไม่ได้ โดยสาเหตุเกิดจาก

- หน้าตัดมีขนาดเล็กเกินไป
- วางเหล็กเสริมผิดตำแหน่ง
- ใช้งานน้ำหนักบรรทุกเกินกว่าที่ออกแบบไว้ ซึ่งลักษณะความเสียหายเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่

**เสา** เมื่อโครงสร้างรับน้ำหนักไม่ได้อย่างเต็มที่ จะเกิดการแอ่นตัว รอยร้าวจะเกิดบริเวณช่วงกลางใต้ท้องคานและจะลามออกทั้งสองข้าง มีลักษณะเป็นรูปตัว U

**คาน** เมื่อโครงสร้างรับน้ำหนักไม่ได้อย่างเต็มที่ จะเกิดการโก่งตัว รอยร้าวจะเกิดบริเวณด้านใดด้านหนึ่งหรือสองด้านติดกันบริเวณด้านที่โก่งจะเกิดรอยแตกร้าวเนื่องจากรับแรงดึงส่วนด้านที่ไม่โก่งจะไม่เกิดรอยแตกร้าวเนื่องจากได้ รับแรงอัด

**พื้น** เมื่อโครงสร้างรับน้ำหนักไม่ได้จะเกิดการแอ่นตัว จะพบรอยแตกกว้างบริเวณขอบพื้นใกล้คานหรือเหนือคาน ลักษณะรอยแตกเป็นเส้นขนานกับความยาวของคาน เมื่อพื้นเกิดการแอ่นตัวมากขึ้นทำให้เกิดรอยแตกมากขึ้น



ภาพที่ 3 ปัญหาที่เกิดจากการรับน้ำหนักไม่ได้

### รอยร้าวที่เกิดจากฐานรากเกิดการทรุดตัว

โดยปกติเสาตำแหน่งที่ฐานรากเกิดการทรุดตัวจะไม่เกิดรอยแตกกว้าง เนื่องจากเกิดการทรุดตัวตามกัน แต่เสาบริเวณอื่นๆจะถูกดึงให้เกิดการโก่งงอ เมื่อเสาโก่งงอจะก่อให้เกิดรอยแตกกว้าง โดยรอยแตกกว้างจะมีลักษณะเส้นเป็นปล้องๆ ปลายของรอยร้าวชี้ไปในทิศทางที่ฐานรากเกิดการทรุดตัว

นอกจากนี้ ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ รอยร้าวที่เกิดจากการหดตัวของคอนกรีต โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) ของคอนกรีต [3]

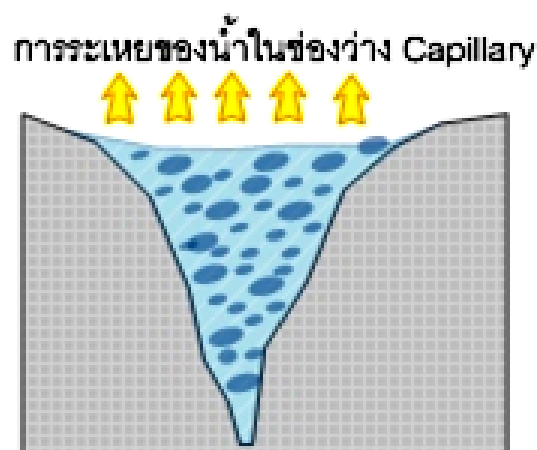
### การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage Crack)

การพิจารณาด้านความปลอดภัยขององค์อาคารต้องอาศัยข้อสังเกตเกี่ยวกับลักษณะรูปร่างและองค์ประกอบอาคารต่างๆ ทั้งในส่วนของการบิดเบี้ยว การแอ่นตัว โดยเฉพาะในโครงสร้างอาคาร รอยแตกกว้างจะเป็นสัญญาณสำคัญที่สามารถจำแนกสาเหตุสาเหตุเบื้องต้น

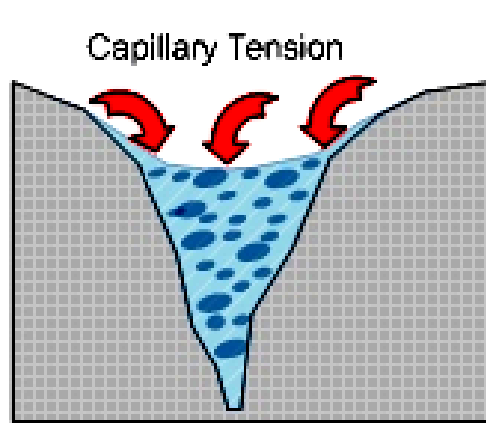
ของการเกิดปัญหาได้ ลักษณะและสาเหตุการเกิดรอยแตกร้าวจึงเป็นส่วนสำคัญที่สามารถบ่งชี้ที่มาของปัญหาในเบื้องต้น และสามารถดำเนินการแก้ไขได้อย่างทันท่วงที โดยเฉพาะในโครงสร้างที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศมาก ๆ เช่น พื้น หรือ กำแพง จะมีโอกาสการเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง มากกว่าคอนกรีตโครงสร้างทั่วไป

### สาเหตุหลักการเกิดรอยแตกร้าว

**2.1.1 การสูญเสียน้ำของคอนกรีต (Capillary Water Loss)** การสูญเสียน้ำของคอนกรีตเป็นสาเหตุทำให้คอนกรีตเกิดการหดตัว โดยกลไกการหดตัวของคอนกรีตนั้นเกิดจากน้ำที่เติมเต็มอยู่ภายในช่องว่างของคอนกรีต (Capillary Pore) เกิดการระเหยออก เนื่องจากสถานะแวดล้อมที่รุนแรง ได้แก่ อุณหภูมิที่สูง หรือความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำ ทำให้เกิดปรากฏการณ์แรงตึงผิวในช่องว่างคาปิลลารี (Capillary Surface Tension) จึงทำให้คอนกรีตที่อยู่โดยรอบช่องว่าง Capillary นั้นเกิดการอัดตัวเข้ามาเนื่องจากการรักษาสมดุลของแรง เป็นสาเหตุทำให้คอนกรีตเกิดการหดตัว

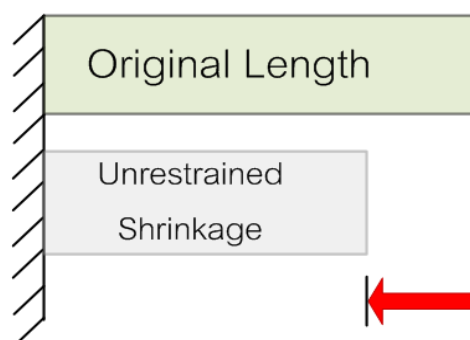


ภาพที่ 4 การระเหยของน้ำในช่อง Capillary



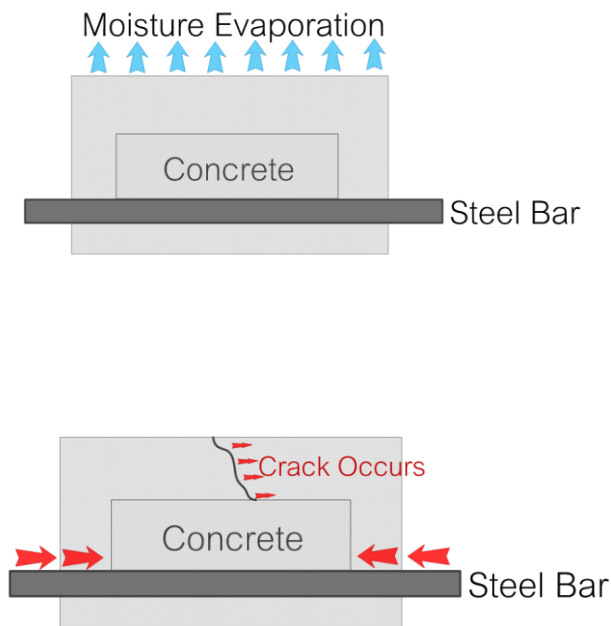
ภาพที่ 5 แรงดึง Capillary ทำให้คอนกรีตหดตัว

2.1.2 การเกิดการยึดรั้ง (Restraint) โดยปกติแล้วการเกิดการหดตัวของคอนกรีตเพียงอย่างเดียวนั้น ไม่สามารถทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ เนื่องจากถ้าคอนกรีตเกิดการหดตัวแบบอิสระจะไม่มีเกิดการเกิดแรงดึงภายในเกิดขึ้น จึงไม่มีการแตกร้าวจากการหดตัว แต่ในการใช้งานในชีวิตจริง เป็นไปไม่ได้เลยที่คอนกรีตจะไม่มีเกิดการยึดรั้งเกิดขึ้น ทั้งนี้ การยึดรั้งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่



ภาพที่ 6 คอนกรีตหดตัวแบบอิสระ

**2.1.2.1 การยึดรั้งภายใน (Internal Restraint)** การยึดรั้งภายในเกิดจากการหดตัวภายในที่ไม่เท่ากันของคอนกรีต เช่น คอนกรีตที่มีความหนาหลายๆ อัตราการสูญเสียน้ำที่ผิวหน้ากับภายในคอนกรีตไม่เท่ากัน เป็นเหตุให้คอนกรีตเกิดการยึดรั้งภายในเกิดขึ้น ทำให้เกิดแรงดึงขึ้นในคอนกรีตและส่งผลให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวในที่สุด นอกจากนี้การออกแบบเหล็กเสริมที่มีปริมาณมากเกินไป และไม่เหมาะสม ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการยึดรั้งภายในอีกด้วย

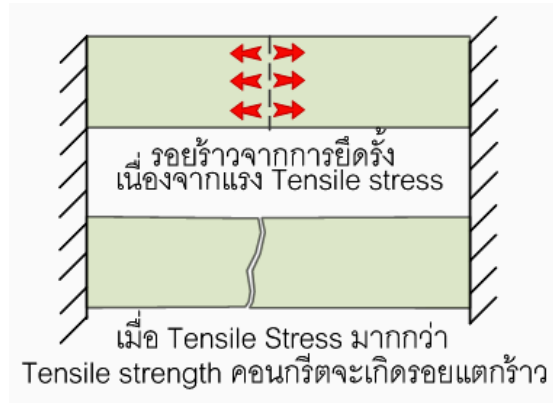


ภาพที่ 7 กลไกการแตกร้าวจากการยึดรั้งภายใน (เหล็กเสริม)

**2.1.2.2 การยึดรั้งภายนอก (External Restraint)** การยึดรั้งภายนอก เกิดจากการหดตัวของโครงสร้างของคอนกรีต แล้วมีการยึดหรือค้ำไว้ด้วยโครงสร้างคอนกรีตอื่นหรือโครงสร้างประเภทอื่น เช่น เหล็กรูปพรรณ โดยลักษณะการยึดรั้งประเภทนี้ ได้แก่ กำแพงคอนกรีตที่อยู่ระหว่างเสาหรือ พื้นคอนกรีตที่อยู่ระหว่างคานขนาดใหญ่ เป็นต้น ซึ่งการยึดรั้ง



ภายนอกนี้ก็เป็นอีกสาเหตุที่ทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวเนื่องมาจากการหดตัวแบบแห้งเช่นกัน



ภาพที่ 8 กลไกการเกิดรอยแตกร้าวจากการยัดรีงภายนอก

ดังนั้นการเกิดการแตกร้าวเนื่องมาจากการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีต จึงเกิดจากคอนกรีตหดตัวเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำประกอบกับมีการยัดรีงเกิดขึ้น จากกลไกดังกล่าว จะทำให้คอนกรีตเกิดหน่วยแรงดึงภายใน (Tensile Stress) เมื่อหน่วยแรงดึงภายในมากกว่า กำลังรับแรงดึงของคอนกรีต (Tensile Strength) จะส่งผลให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวเกิดขึ้น และจะทำให้โครงสร้างเกิดความเสียหายในภายหลังได้

### 3. ปัจจัยที่ก่อให้เกิดรอยแตกร้าวสำหรับโครงสร้างโบราณสถาน

โบราณสถานในประเทศไทย ส่วนใหญ่ใช้วัสดุก่อสร้างส่วนใหญ่เป็นวัสดุธรรมชาติ ที่ถูกประดิษฐ์คิดค้นตามภูมิปัญญาของบรรพบุรุษในอดีต ด้วยกาลเวลาที่ยาวนาน ประกอบกับปัจจัยทางธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้โบราณสถานเกิดการชำรุดทรุดโทรมมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อความเข้าใจถึงสาเหตุและสภาพปัญหาที่แท้จริงของโบราณสถาน [4] ปัจจัยที่ก่อให้เกิดรอยแตกร้าวในโครงสร้างโบราณสถาน ประกอบด้วย

### ลักษณะภูมิอากาศ

มีอิทธิพลต่อการเสื่อมสภาพของโบราณสถานเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ซึ่งมีคุณลักษณะเฉพาะคือมีความชื้นสูงเกือบตลอดปี เอื้อต่อการเจริญเติบโตของวัชพืช จุลินทรีย์ที่ค่อยๆกัดกร่อนโบราณสถานอย่างช้าๆ ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของโบราณสถานมาก



ภาพที่ 9 ปัญหาวัชพืชเนื่องจากสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย

### 3.2 ความชื้นหรือน้ำ

เป็นต้นเหตุการเสื่อมสภาพของโบราณสถานและโบราณวัตถุเกือบทุกชนิด ทั้งในรูปของไอน้ำในบรรยากาศ หรือน้ำให้ดิน โดยน้ำหรือความชื้นจะเป็นตัวกลางปฏิกิริยาระหว่างวัตถุและสิ่งแวดล้อม โดยจะเกิดปฏิกิริยา Ionization, oxidation และ hydrolysis นอกจากนี้ไอน้ำยังสามารถเป็นตัวทำลายวัตถุต่างๆ ได้ ด้วยเหตุนี้โครงสร้างโบราณสถานในสิ่งแวดล้อมลักษณะนี้จึงเสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็ว กาวหรือวัสดุเชื่อมประสานสามารถเสื่อมสภาพและอ่อนตัว ทำให้เกิดคราบและเสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิจะส่งผลให้โบราณสถานเกิดการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น โดยเฉพาะในโครงสร้างอิฐ, หิน, ปูน ฯลฯ ทำให้เกิดแรงดันภายในเนื้อวัสดุทำให้วัสดุสามารถแตกเป็นเสี่ยงๆ ได้

### 3.3 แสงแดด

แสงแดดเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของอินทรีย์วัตถุ เนื่องจากแสงแดดมีรังสีที่มีช่วงความยาวคลื่นสั้นโดยเฉพาะรังสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งมีพลังงานสูงมากพอที่จะทำให้เกิดพันธะ(Bond) ระหว่างอะตอมแตกออกได้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีโฟโตเคมีคัล (Photochemical reaction) ซึ่งยังผลให้อินทรีย์วัตถุโดยเฉพาะสีย้อม สีทาบ้าน สามารถเสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็วและสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีออกซิเจนและความชื้นร่วมด้วย จะทำให้เกิดการเปลี่ยนสีจากลักษณะสีขาวเป็นสีเหลืองๆ



ภาพที่ 10 คราบเหลืองๆจากปัญหาแสงแดด

### 3.4 ก๊าซพิษจากแหล่งอุตสาหกรรม

บริเวณที่อยู่ใกล้เคียงกับแหล่งอุตสาหกรรม มักจะประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของโบราณสถานอย่างยิ่ง โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อรวมตัวกับไอน้ำในบรรยากาศ จะเกิดกรดคาร์บอนิก (Carbonic acid) ในขณะที่ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะรวมตัวกับน้ำเป็นกรดซัล

ฟูรัส (Sulphurous acid) เมื่อถูกออกซิไดส์จะเกิดกรดซัลฟูริก (Sulphuric acid) กรดเหล่านี้ทำให้วัสดุทุกชนิดสามารถเสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะ โครงสร้างโบราณสถานที่ใช้วัสดุ ก่อที่ประกอบด้วยหินคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบกรดเหล่านี้จะค่อยๆละลายคาร์บอเนตจนทำให้โครงสร้างโบราณสถานเสื่อมสภาพ ขาดความแข็งแรง นอกจากนี้บริเวณพื้นผิวภายนอกของโบราณสถานยังจะเกิดการสึกกร่อน ก่อให้เกิดคราบเปื้อนของกรดเกลือ ซึ่งกรดเกลือนี้จะเป็นตัวการสำคัญที่สามารถกัดกร่อนวัสดุได้ทุกชนิด แม้กระทั่ง โลหะที่แข็งแรง แม้ว่ากรดเกลือจะมีความเข้มข้นเล็กน้อย แต่หากเกิดเหตุการณ์เดิมซ้ำๆ ในระยะยาว จะทำให้โบราณสถานเกิดการเสื่อมสภาพไปอย่างถาวร

### 3.5 กรด ต่าง เกลือ

กรด ต่าง เกลือ หรือสารเคมีอื่นๆที่ปะปนในบรรยากาศในรูปของไอน้ำ รวมไปถึง น้ำใต้ดิน ล้วนมีผลต่อการเสื่อมสภาพของโบราณสถาน เนื่องจากสารเคมีเหล่านี้ อยู่ในสถานะพร้อมทำปฏิกิริยาตลอดเวลา หากมีความชื้นร่วมอยู่ด้วย ปฏิกิริยาก็จะสามารถเกิดได้เร็วขึ้น [5] กรดเกลือหลายชนิดสามารถดูดความชื้นได้เมื่อมีอนุภาคฝุ่นละอองเข้ามาเปลี่ยนแปลง เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูง เกลือจะดูดความชื้นจากบรรยากาศและคายออก แต่เมื่อความชื้นลดลง น้ำจะค่อยๆเกิดการระเหย ทำให้สารละลายเข้มข้นจับตัวกันเป็นผลึกเกลืออยู่ในบริเวณช่องว่างนั้น ขนาดของผลึกจะขยายเพิ่มจนเกิดการกระแทกหรือดันให้วัตถุกระแทกออก โดยเกลือที่มีผลต่อโครงสร้างโบราณสถาน ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต และโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งผลึกเกลือเหล่านี้จะทวีความรุนแรงมากขึ้น เมื่อมีอนุภาคฝุ่นละอองเข้ามาพร้อมกับผลึกนั้นด้วย โดยฝุ่นละอองสามารถสะสมความชื้นไว้บริเวณผิวหน้าของวัตถุได้ดี ทำให้ผลึกเกลือทวีความรุนแรงมากขึ้น

### 3.6 วัชพืช

วัชพืช พืชชั้นต่ำ จุลินทรีย์ จะมีผลอย่างมากต่อการเสื่อมสภาพของโบราณสถาน โดยเฉพาะในเขตอากาศร้อนชื้น ทั้งนี้เนื่องจากภูมิอากาศที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของวัชพืช ทำให้วัชพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยเฉพาะในส่วนของรากที่ทำหน้าที่ชอนไชเพื่อเกาะยึดและดูดซึมสารอาหาร เมื่อวัชพืชเหล่านี้เจริญเติบโตบนโบราณสถาน เหล่ารากพืชทั้งหลายก็จะทำหน้าที่เสมือนลิ้มที่ทำให้เนื้อวัสดุก่อเกิดการแตกร้าว หลุดกะเทาะ ยิ่งหากเป็นรากของพืชขนาดใหญ่ อาจทำให้โบราณสถานเกิดการทรุด เอียงตัว หรือพังทลายได้ เมื่อพืชเหล่านั้นตายลง ก็จะกลายเป็นอาหารแก่พืชอื่นๆ และอมน้ำไว้มาก ทำให้โบราณสถานอยู่ในสภาพชื้นแฉะ เกิดการสึกกร่อนได้ง่าย จุลินทรีย์ที่พบบนโบราณสถาน ได้แก่ มอส สาหร่าย ไคเลน รา แบคทีเรียต่างๆ เป็นต้น



ภาพที่ 11 ปัญหาที่เกิดจากวัชพืช

#### 4. วิธีการวัดขนาดรอยแตกร้าวโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

##### หลักการประเมินความกว้างรอยแตกร้าว ตามมาตรฐาน PCA

[6] กระบวนการวัดรอยร้าวคอนกรีต จัดเป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับการตรวจสอบรอยร้าวเพื่อการซ่อมแซมคอนกรีตที่เหมาะสม ซึ่งข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นประกอบด้วยตำแหน่งที่ตั้งอาคาร, รูปแบบรอยร้าว, ความยาวรอยร้าว, ความกว้างรอยร้าว, อายุของรอยร้าวที่เกิดขึ้น รวมไปถึงการพิจารณารอยร้าวว่าเป็นรอยร้าวที่หยุดการเคลื่อนตัวแล้ว (Dormant) หรือเป็นรอยร้าวที่ยังไม่หยุดการเคลื่อนตัว (Dormant) ซึ่งด้วยข้อมูลเหล่านี้ จะช่วยให้การประเมินสาเหตุของการเกิดรอยร้าวและระดับความรุนแรงของรอยร้าวได้อย่างเหมาะสม สำหรับการประเมินสภาพความรุนแรงของความกว้างรอยร้าว ขึ้นกับปัจจัยหลายๆด้าน ทั้งในส่วนของประเภทอาคาร, สภาพภูมิอากาศและประเภทของรอยแตกร้าว [7] โดยมาตรฐานของสมาคมซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Portland Cement Association (PCA)) ได้กล่าวถึงหลักการประเมินความกว้างรอยแตกที่ควรจะเป็น [8]ซึ่งตารางที่ 1 จะเป็นตารางแสดงความกว้างรอยแตกที่ออกแบบสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กตามมาตรฐาน ACI เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ในตารางที่ 1 จะสามารถทำการประเมินและแยกประเภทรอยแตก ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 กว้างรอยแตกที่ออกแบบไว้สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

ประเภทโครงสร้าง	ความกว้างรอยร้าว(นิ้ว)
โครงสร้างภายใน	
สภาพแห้ง	0.016
สภาพเปียกหรือแห้ง	0.012
โครงสร้างภายนอก	0.008
โครงสร้างกันซึม	0.004

### ตารางที่ 2 ระดับความรุนแรงของความกว้างรอยแตกคอนกรีต

ประเภทรอยแตก	ความกว้าง รอยร้าว(นิ้ว)	CW
เล็กมาก (กันซึมได้)	CW	0.004
เล็ก (ภายนอก)	$0.004 < CW$	0.008
ปานกลาง (ภายใน-เปียก)	$0.008 < CW$	0.012
กว้าง (ภายใน-แห้ง)	$0.012 < CW$	0.016
รุนแรง	$CW > 0.016$	-

หลักการประเมินความกว้างรอยแตกร้าว ตามมาตรฐานต่างๆ

การวัดความกว้างรอยแตกร้าวบริเวณผิวหน้าโครงสร้างคอนกรีตควรเป็นไปตาม  
เกณฑ์มาตรฐาน ต่างๆ ที่สำคัญ [9] ดังแสดงในตารางที่ 3

# วารสารคอนกรีต

## TCA e-magazine



ประเภทโครงสร้าง	ความกว้างรอยร้าว(มม.)
ACI 224R.90 [10]	
อากาศแห้ง	0.41
อากาศชื้น, ร้อนชื้น	0.30
โครงสร้างใต้น้ำทะเล	0.25
โครงสร้างกั้นน้ำ	0.10
ACI 318-89 [11]	
โครงสร้างภายใน	0.41
โครงสร้างภายนอก	0.33
ACI 350R-89 [12]	
โครงสร้างในสภาวะทั่วไป	0.27
โครงสร้างในสภาวะรุนแรง	0.22
CEB/FIP Modal Code 1990 [13]	
โครงสร้างในสภาวะร้อนชื้น	0.30

ตารางที่ 3 การประเมินความกว้างรอยแตกร้าวตามมาตรฐานแบบต่างๆ

### สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310  
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>



### หลักการประเมินความกว้างรอยแตกร้าว ตามมาตรฐานประเทศอังกฤษ

จากข้อกำหนดมาตรฐานการใช้คอนกรีตในงานก่อสร้างประเทศอังกฤษ [14] ได้กำหนดกรณีเบื้องต้นของการตรวจสอบความกว้างรอยร้าวโดยทั่วไป ซึ่งความกว้างรอยร้าวกว้างสุดที่สามารถยอมรับได้ มีค่าเท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร โดยจะวัดที่บริเวณผิวคอนกรีต ด้วยสมมติฐานที่ด้วยความกว้างของรอยร้าวจะลดลงอย่างค่อนข้างรวดเร็วที่ระดับความลึกจากผิวคอนกรีต ซึ่งสมมติฐานนี้จะเกิดขึ้นจริงได้ในกรณีที่รอยร้าวที่เกิดขึ้นเป็นรอยร้าวที่เกิดจากคอนกรีตที่สัมผัสกับอุณหภูมิสูง หรือคอนกรีตเกิดการทรุดตัวในขณะสถานะคอนกรีตสด

### การประมาณความกว้างรอยร้าวคอนกรีตจากแรงกระทำภายนอก

เมื่อโครงสร้างรับแรงกระทำภายนอก จะก่อให้เกิด Tensile Stresses ซึ่งก่อให้เกิดค่าความดึงเครียดและส่งผลให้คอนกรีตเกิดรอยแตกร้าวขึ้น นอกจากนี้ ยังมีการสร้างสมการสำหรับประเมินความกว้างรอยร้าวที่ยอมรับได้ สำหรับงานโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก [15] ดังสมการที่ 1

$$w = 0.076 \beta f_s \sqrt[3]{d_c A} \times 10^{-3} \text{ (in-lb)} \dots\dots(1)$$

$$\text{หรือ } w = 0.046 \beta f_s \sqrt[3]{d_c A} \times 10^{-6} \text{ (SI)} \dots\dots(2)$$

เมื่อ

$w$  = ความกว้างรอยร้าวมากที่สุดที่น่าจะเป็นไปได้

$\beta$  = ค่าอัตราส่วนระยะห่างระหว่างกลางแกน N.A. และบริเวณพื้นผิว Tension face โดยมี

ค่าประมาณ 1.2 สำหรับโครงสร้างคาน

$f_s$  = ค่าความเครียดเหล็กเสริม (MPa)

$d_c$  = ค่าความหนาของส่วนที่ครอบคลุมบริเวณส่วนที่รับแรงดึง (จากศูนย์กลางเหล็กเสริมความหนาของ Concrete ที่ปกคลุมในช่วง tension fiber ถึงจุดศูนย์กลางของเหล็กเส้นที่ใกล้ที่สุด)

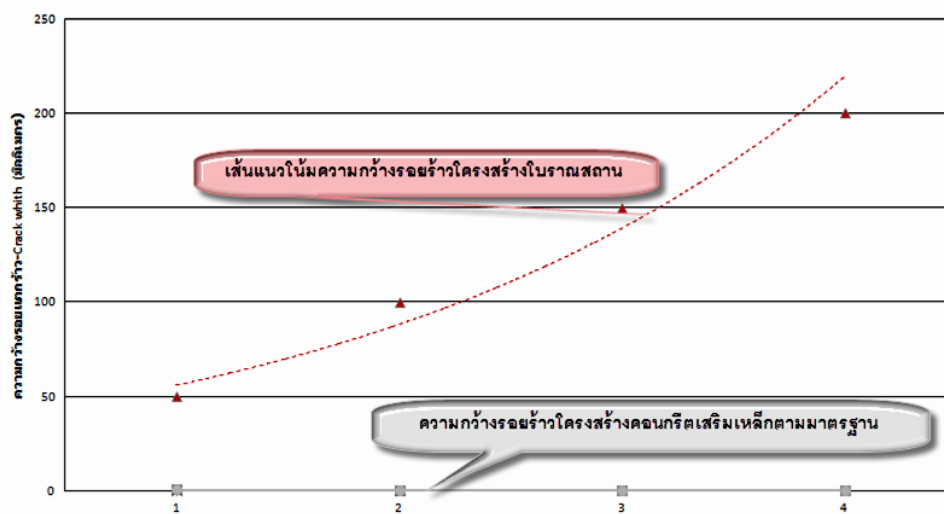
ในขณะเดียวกัน สมการนี้ได้ถูกนำมาแก้ไขเพื่อการปรับปรุงแก้ไขข้อมูลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยกำหนดความกว้างรอยร้าวให้มีค่าในช่วงระหว่าง 0.015 นิ้ว (0.38 มม.) หรือ 0.015 นิ้ว (0.38 มม.)

เมื่อพิจารณาถึงความกว้างรอยร้าวที่เกิดขึ้น สาเหตุหลักอีกประการหนึ่งที่สำคัญ คือ การซึมของน้ำในบริเวณรอยแตก โดยเมื่อน้ำเกิดการแข็งตัวและขยายตัวเมื่ออุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลง จะทำให้บริเวณรอยแตกที่มีน้ำแทรกซึมอยู่จะดันให้คอนกรีตเกิดการปริแตกตามขอบรอยร้าวมากขึ้น ซึ่งหากน้ำแทรกซึมเข้าไปในบริเวณที่เป็นโครงสร้างหลักของอาคาร หรือบริเวณในเหล็กเสริมคอนกรีต จะส่งผลให้เหล็กเสริมเกิดการผุกร่อน นอกจากนี้เหล่าสนิมที่เข้ามาทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะเข้าไปแทรกเกาะบริเวณพื้นที่ผิวเหล็กเสริม ทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวและปริแตกเพิ่มมากขึ้น

### 5. ทิศทางการวิจัยด้านการเลือกวิธีการวัดขนาดรอยแตกร้าวสำหรับโครงสร้างโบราณสถาน

เมื่อพิจารณาโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กกับโครงสร้างโบราณสถาน พบว่า โครงสร้างโบราณสถาน มีโอกาสเสื่อมสภาพได้ง่ายกว่าโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป เนื่องจากโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถควบคุมการแตกร้าวของโครงสร้างได้จากการควบคุมคุณภาพวัสดุก่อสร้าง และการออกแบบที่มีความถูกต้อง เหมาะสม อีกทั้งด้วยคุณภาพวัสดุก่อสร้างในปัจจุบันเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีคุณภาพ และผ่านการพัฒนาคุณภาพวัสดุมากมายสามารถดำเนินการพัฒนาวัสดุและปรับปรุงคุณภาพการก่อสร้างได้โดยง่าย แตกต่างจากโครงสร้างโบราณสถานที่ใช้วัสดุก่อโบราณ อีกทั้งยังเสื่อมสภาพได้ง่ายจากคุณภาพวัสดุและสภาวะแวดล้อม โอกาสการเสื่อมสภาพและอัตราการสึกกร่อนของโครงสร้างจึงมีอัตราที่สูงกว่าโครงสร้างอาคารทั่วไป ดังนั้นวิธีการวัดรอยร้าวสำหรับโครงสร้างโบราณสถาน จึงควรมีลักษณะที่เฉพาะเจาะจง เพื่อการประเมินความเสียหายของโครงสร้างเป็นไปอย่างเหมาะสม จากการเปรียบเทียบข้อมูลการตรวจวัดความกว้างรอยร้าวอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปตามมาตรฐาน กับอัตราการเกิดรอยร้าวในโบราณสถาน พบว่า

แนวโน้มความกว้างรอยร้าวที่เกิดขึ้นในโบราณสถาน มีขนาดใหญ่กว่าความกว้างรอยแตกร้าวในโครงสร้างอาคารทั่วไป ดังแสดงในกราฟ



ภาพที่ 12 กราฟเปรียบเทียบแนวโน้มความกว้างรอยร้าวในโบราณสถานกับความกว้างรอยแตกร้าวทั่วไป

#### 4. บทสรุป

การวิเคราะห์ขนาดความกว้างรอยร้าวสำหรับโครงสร้างโบราณสถาน ควรมีรูปแบบการวิเคราะห์ความกว้างที่แตกต่างจากโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป เนื่องจากความเสื่อมสภาพและความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงใน มีค่ามากกว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

### 5. ข้อเสนอแนะ

เพื่อการวิเคราะห์ความกว้างรอยร้าวที่เหมาะสมกับโครงสร้างโบราณสถาน จึงขอเสนอลักษณะรูปแบบการประเมินความรุนแรงของความกว้างรอยแตกร้าวสำหรับโครงสร้างโบราณสถาน ดังนี้

ตารางที่ 4 การประเมินความรุนแรงรอยร้าวสำหรับโครงสร้างโบราณสถาน

ประเภทรอยแตก	ความกว้างรอยร้าว(มิลลิเมตร)	CW
เล็กมาก	CW	5
เล็ก	$5 < CW$	10
ปานกลาง	$10 < CW$	15
ค่อนข้างรุนแรง	$15 < CW$	20
รุนแรง	$CW > 20$	-

### เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, พ.ศ.2551, มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต,
- [2] ธเนศ วีระศิริ, พ.ศ.2549, รอยร้าว..สัญญาณเตือนภัย, บทความพิเศษ โยธาสาร ฉบับเดือนกันยายน-ตุลาคม 2549
- [3] American Concrete Institute's Committee 223 Report Standard Practice for the Use of Shrinkage Compensating Concrete (ACI 223-98)

- [4] จิราภรณ์ อรัณยะนาค, การเสื่อมสภาพของโบราณสถานและโบราณวัตถุ,  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [5] บัญชา จิวเดช, พ.ศ. 2553, การทำนายการเสื่อมสภาพในระยะแรกของโครงสร้างโบราณ  
สถานที่สร้างด้วยอิฐดินเผาด้วยวิธีการทดสอบแบบเร่งโดยกรดกำมะถัน, วิทยานิพนธ์  
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [6] Bruce A. Suprenant and Kim D. Basham, 1993, Evaluating cracks in concrete walls,
- [7] Building Movements and Joints, 1982, Portland Cement Association (PCA),
- [8] American Concrete Institute's Committee 224 Report, Control of Cracking in Concrete  
Structures, (ACI 224R-80, Revised 1984)
- [9] Nicholars J. Carino and James R. Clifton, 1995, Perdition of Cracking in concrete  
Structures, Building and Fire Research Laboratory
- [10] ACI 224R-90, Control of Cracking in Concrete Structures, *ACI Annual of Concrete  
Practice, Part 3*, American Concrete Institute, Detroit, MI, 1992.
- [11] ACI 318-89, Building Code Requirements for Reinforced Concrete, *ACI Manual of  
Concrete Practice, Part 3*, American Concrete Institute, Detroit, MI, 1992.

- [12] ACI 350R-89, Environmental Engineering Concrete Structures, *ACI Manual of Concrete Practice, Part 4*, American Concrete Institute, Detroit, MI, 1992.
- [13] CEB/FIP Model Code 1990- Final Draft, Chapters 4-10, Information Bulletin 204, Comity EuroInternational du Beton, Lausanne, Switzerland
- [14] British Standard Code of Practice, BS8110:Part2; the structural Use of concrete
- [15] ACI 318 and the AASHTO, Standard Specification for Highway Bridges