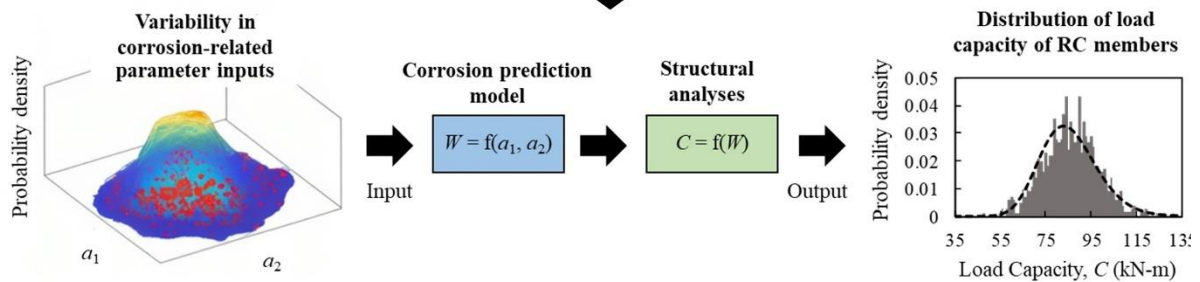
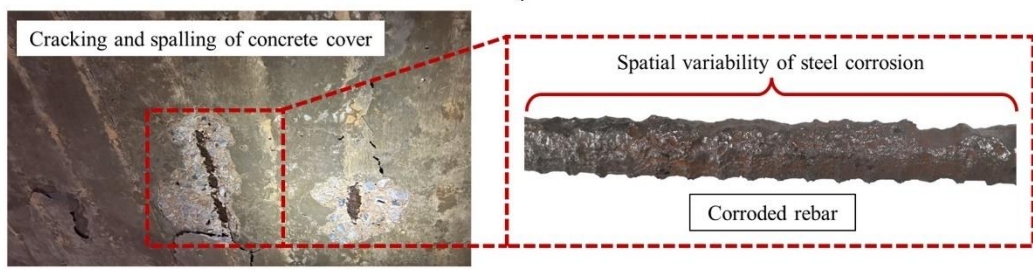
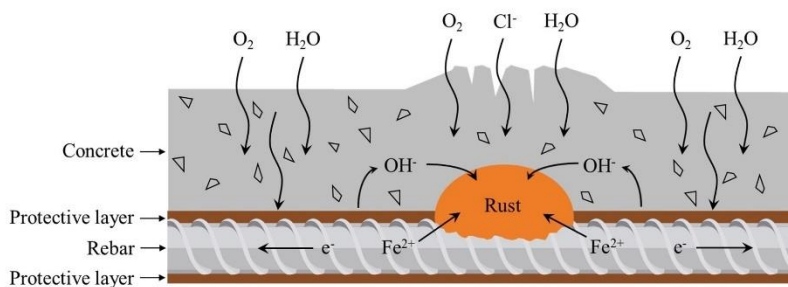


การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้สภาพแวดล้อมคลอไรด์สูง

PERFORMANCE ASSESSMENT FOR DETERIORATED RC STRUCTURES DUE TO CHLORIDE-INDUCED CORROSION

ดร.ศุภศิษฏ์ ศรีวรานันท์
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 ความเชี่ยวชาญ : การเสื่อมสภาพของโครงสร้างคอนกรีต การวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของโครงสร้าง และวิศวกรรมโครงสร้าง



1. บทนำ

การกัดกร่อนของเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (reinforced concrete - RC) เป็นปัญหาที่สำคัญและทำลายอย่างมากในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา เนื่องจากกระบวนการกัดกร่อนนี้สามารถทำให้คอนกรีตเสื่อมสภาพและสูญเสียกำลังในการรับน้ำหนักบรรทุกอย่างมีนัยสำคัญ และในกรณีที่ร้ายแรงที่สุด อาจทำให้โครงสร้างเกิดการวิบัติได้ ดังนั้น การบำรุงรักษาและการแทนที่โครงสร้างที่มีการเสื่อมสภาพ จึงเป็นข้อกังวลที่ต้องเร่งหาทางจัดการร่วมกันทั่วโลก [1] โดยในปีพ.ศ. 2555 ได้มีการคาดการณ์ว่ารัฐบาลประเทศสหรัฐอเมริกาจำเป็นต้องเพิ่มงบประมาณประจำปีจาก 12.8 พันล้านดอลลาร์สหรัฐขึ้นไปเป็น 20.5 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ เพื่อปรับปรุงโครงสร้างสะพานที่มีการเสื่อมสภาพให้ได้อย่างครบถ้วนภายในปีพ.ศ. 2571 [1] ส่วนข้อมูลจากกรมทางหลวงแห่งประเทศไทยในปีพ.ศ. 2565 นั้น พบว่ามีสะพานภายใต้การกำกับดูแลมากกว่า 60% ที่มีอายุการใช้งานเกินกว่า 30 ปี และในสะพานจำนวนนี้ พบว่ามีมากกว่าครึ่งที่มีปัญหาจากการเสื่อมสภาพ [2] ดังนั้น การประเมินความเสียหายของโครงสร้าง RC จากปัญหาการกัดกร่อนของเหล็กเสริมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้วิศวกรและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถออกแบบหรือวางแผนการบำรุงรักษาโครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3]

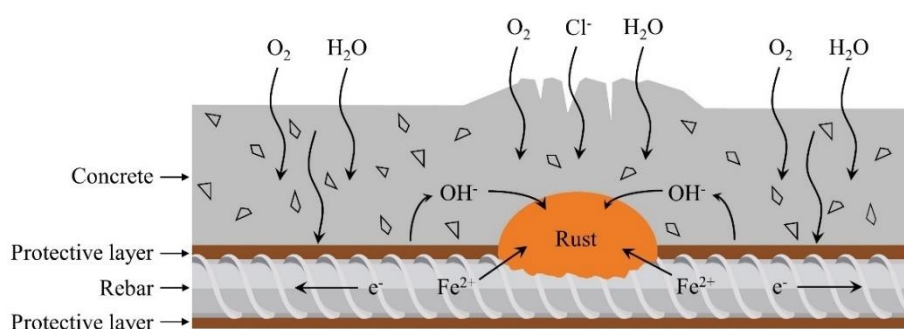
เพื่อที่จะประเมินการเสื่อมสภาพจากการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในโครงสร้าง RC ได้อย่างถูกต้องนั้น จึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงกลไกการกัดกร่อนดังกล่าวและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น คุณภาพของวัสดุที่ใช้ งานและสภาพแวดล้อมโดยรอบของโครงสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสัมผัสกับน้ำเค็มหรือน้ำทะเล ซึ่งมีประจุคลอไรด์ (chloride ion) ประกอบอยู่ โดยประจูดังกล่าวมีคุณสมบัติในการกัดกร่อนต่อเหล็กเสริม และถือว่าเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักของการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง RC ที่พบในปัจจุบัน [4] ดังนั้นการประเมินการซึมผ่านของประจุคลอไรด์และอัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริม รวมถึงการประเมินความน่าจะเป็นของกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง RC ที่ได้รับอิทธิพลจากกระบวนการกัดกร่อนดังกล่าวจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอภาพรวมของกลไกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกัดกร่อนในเหล็กเสริมของโครงสร้าง RC ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีคลอไรด์สูง และเพื่อชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของแบบจำลองความน่าจะเป็นที่ใช้ในการประเมินการกัดกร่อน นอกจากนี้ บทความนี้ยังเน้นถึงความสำคัญของการพิจารณาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ (spatial variability) ในกระบวนการกัดกร่อน รวมถึงนำเสนอภาพรวมของการการประเมินความน่าจะเป็นของกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างด้วยความเข้าใจถึงภาพรวมของหลักการดังกล่าวทั้งหมด จะช่วยให้สามารถคาดการณ์การเสื่อมสภาพ

ของโครงสร้างได้อย่างได้แก่อย่างยั่งยืน ซึ่งนำไปสู่การออกแบบ, การบำรุงรักษา และการซ่อมแซมโครงสร้าง RC ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงสามารถรับประกันถึงความปลอดภัยและความคงทนของโครงสร้างในระยะยาวได้อย่างแท้จริง

2. กลไกการกัดกร่อนของเหล็กเสริมภายใต้สภาพแวดล้อมคลอไรด์สูง

กลไกการกัดกร่อนหรือการเกิดสนิมในเหล็กเสริมนั้นมีสาเหตุหลักมาจากการซึมผ่านของสารที่มีคุณสมบัติกัดกร่อนต่อโครงสร้าง RC เช่น ประจุคลอไรด์ในน้ำเค็มหรือน้ำทะเล ซึ่งประจุดังกล่าวสามารถซึมผ่านเนื้อคอนกรีตเข้าไปถึงเหล็กเสริม และเมื่อความเข้มข้นของประจุคลอไรด์ที่ผิวเหล็กเกินเกณฑ์วิกฤต (critical chloride threshold) จะส่งผลให้ชั้นฟิล์มป้องกันที่ผิวเหล็ก (protective layer) ถูกทำลายลง และนำไปสู่กระบวนการทางไฟฟ้าเคมี โดยที่กระบวนการนี้ประกอบไปด้วยขั้วสองขั้วคือ ขั้วให้ประจุ (anode) ที่เนื้อเหล็ก และขั้วรับประจุ (cathode) ซึ่งเป็นส่วนของน้ำและออกซิเจน ผลของกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีระหว่างขั้วทั้งสองนี้จะทำให้เกิดสนิม (rust) ขึ้นบนผิวของเหล็ก และทำให้หน้าตัดของเหล็กเสริมลดลง ส่งผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างโดยรวม [4] นอกจากนี้ สนิมเหล็กเป็นสารประกอบมีปริมาณมากกว่าเนื้อของเหล็กเดิมประมาณ 2-6 เท่า [5] ดังนั้นจึงทำให้เกิดแรงดันภายในเนื้อของคอนกรีต และส่งผลให้เกิดการแตกร้าวหรือการกระเทาะออกของเนื้อคอนกรีต ซึ่งทำให้คอนกรีตบริเวณนั้นสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักตามมา ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การกระเทาะออกของเนื้อคอนกรีตอันเนื่องมาจากกระบวนการกัดกร่อนในเหล็กเสริม

ปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการกัดกร่อนในเหล็กเสริมของโครงสร้าง RC ได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (water to cement ratio), ระยะหุ้มของคอนกรีตเสริมเหล็ก (concrete covering), คุณภาพของคอนกรีต และสภาพแวดล้อมโดยรอบ [3, 4] นอกจากนี้ การเกิดรอยร้าวในคอนกรีตสามารถเร่งให้ประจุคลอไรด์แทรกซึมผ่านเข้าสู่เนื้อคอนกรีตได้เร็วยิ่งขึ้น ส่งผลให้อัตราการเกิดสนิมใน

เหล็กเสริมเพิ่มขึ้นตามมา [3] ดังนั้นการทำความเข้าใจอิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้ต่อกระบวนการกัดกร่อนของเหล็กเสริมจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อที่จะสามารถประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง RC ในสภาพแวดล้อมที่คลอไรด์สูงได้อย่างถูกต้อง

3. แบบจำลองการแทรกซึมของประจุคลอไรด์ในเนื้อคอนกรีต

การทำนายการแทรกซึมของประจุคลอไรด์ในเนื้อคอนกรีตจะทำให้สามารถประมาณอัตราการเกิดสนิมในเหล็กเสริมของโครงสร้าง RC ได้ ซึ่งที่ผ่านมามีการนำแบบจำลองความน่าจะเป็น (probabilistic model) มาใช้ เพื่ออธิบายความไม่แน่นอน (uncertainty) และความแปรปรวน (variability) ที่พบในคุณสมบัติของวัสดุ, สภาพแวดล้อม และกลไกการแทรกซึมของประจุคลอไรด์ ในส่วนนี้ จะมีการนำเสนอเกี่ยวกับแบบจำลองการแพร่กระจายของฟิสิกส์ และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของประจุคลอไรด์ที่ปรากฏ

3.1 แบบจำลองการแพร่กระจายของฟิสิกส์

แบบจำลองการแพร่กระจาย (diffusion model) ตามกฎข้อที่สองของฟิสิกส์สามารถนำมาใช้ในการอธิบายอัตราการแทรกซึมของประจุคลอไรด์ในเนื้อคอนกรีต ดังแสดงในสมการที่ 1 [6]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) \tag{1}$$

โดยที่ C คือ ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่ระยะ x จากผิวของคอนกรีต ณ เวลา t ส่วน D คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (diffusion coefficient)

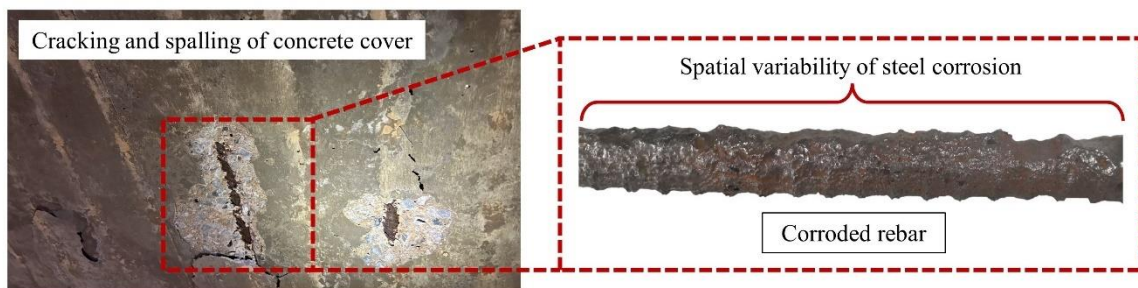
อย่างไรก็ดี แบบจำลองของฟิสิกส์มีข้อจำกัดภายใต้สมมติฐานว่าการแทรกซึมของประจุคลอไรด์นั้นเกิดจากกลไกการการแพร่กระจายเพียงประการเดียวเท่านั้น แต่ในความเป็นจริง ประจุคลอไรด์จะซึมผ่านเนื้อคอนกรีตโดยอาศัยกลไกการแพร่กระจายแบบสมบูรณได้เฉพาะในกรณีที่คอนกรีตมีการอิมิตัวด้วยน้ำเท่านั้น [7]

3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของคลอไรด์ที่ปรากฏ

เมื่อตระหนักถึงข้อจำกัดของแบบจำลองการแพร่กระจายของฟิสิกส์ จึงได้มีการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของคลอไรด์ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายที่ปรากฏ (apparent diffusion coefficient) ซึ่งพิจารณาครอบคลุมถึงผลกระทบของปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแพร่ของประจุคลอไรด์ เช่น ระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตและอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ เป็นต้น โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่ปรากฏนี้จะมีการแปรผันกับอายุการใช้งานของโครงสร้าง [3, 4, 7]

การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของคลอไรด์ที่ปรากฏในแบบจำลองการแพร่กระจายผ่านของคลอไรด์ร่วมกับปัจจัยการแตกร้าวของคอนกรีต จะช่วยให้สามารถประมาณระดับความเข้มข้นของคลอไรด์ภายในเนื้อคอนกรีต, เวลาเริ่มต้นของการเกิดสนิมในเหล็กเสริม และอัตราการกัดกร่อนตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้าง ได้อย่างถูกต้องยิ่งขึ้นตามมา [4]

4. การพิจารณาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ในกระบวนการเสื่อมสภาพของวัสดุ



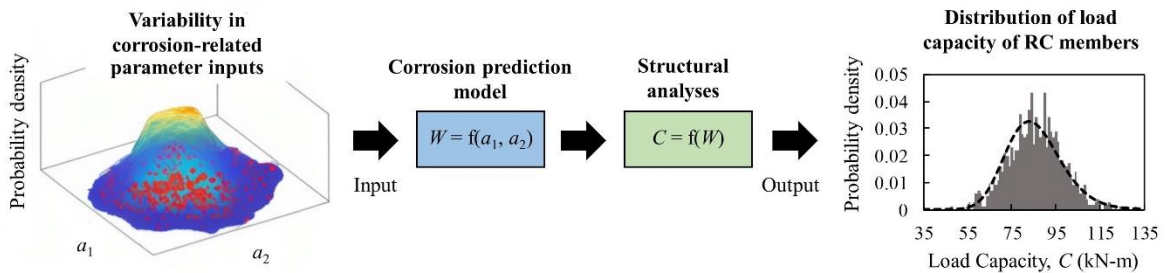
รูปที่ 2 ความไม่สม่ำเสมอของรอยแตกร้าวบนผิวคอนกรีตและพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม

กระบวนการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง RC ภายใต้สภาวะแวดล้อมคลอไรด์สูงนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่มีความแปรปรวนเชิงพื้นที่ (spatial variability) [8] ยกตัวอย่างเช่น รอยแตกร้าวที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งสังเกตได้โดยทั่วไปบนผิวของคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีคุณสมบัติความแปรปรวนเชิงพื้นที่ ได้แก่ ความเข้มข้นของประจุคลอไรด์บนผิวและในเนื้อคอนกรีต, คุณสมบัติของวัสดุคอนกรีต และสภาพแวดล้อมของโครงสร้าง เป็นต้น [9] ปรากฏการณ์นี้จะส่งผลให้เกิดกระบวนการเกิดสนิมที่ไม่คงที่ตลอดหน้าตัดของเหล็กเสริม (non-uniform corrosion) (ดูรูปที่ 2) ซึ่งหากละเอียดถึงปรากฏการณ์ดังกล่าวในการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง จะทำให้ได้ค่าประเมินของ

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่สูงกว่าความเป็นจริง และส่งผลต่อความปลอดภัยในการใช้งานของโครงสร้างตามมา [8, 9] ดังนั้น การพิจารณาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ที่ร่วมกับแบบจำลองการแทรกซึมของประจุคลอไรด์ จะทำให้สามารถประเมินกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง RC ที่เสื่อมสภาพได้อย่างถูกต้องยิ่งขึ้น โดยหลักการแล้ว สามารถทำได้โดยการเพิ่มคุณสมบัติความแปรปรวนเชิงพื้นที่ เข้าไปยังตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองความน่าจะเป็นในการทำนายการกักร่อนของสนิมในเหล็กเสริม รายละเอียดสามารถอ้างอิงได้จากบทความดังต่อไปนี้ [8-11]

5. การประเมินความน่าจะเป็นของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกในโครงสร้าง RC

ผลของการประมาณเวลาเริ่มต้นการเกิดสนิมในเหล็กเสริมและอัตราการกักร่อนโดยพิจารณาความแปรปรวนเชิงพื้นที่นั้น สามารถนำมาใช้ประมาณการสูญเสียพื้นที่หน้าตัดตลอดความยาวของเหล็กเสริม และท้ายที่สุดจึงนำค่าประมาณของพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่ลดลงนี้ ไปใช้ในการประเมินความน่าจะเป็นของกำลังของการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง โดยในปัจจุบันมีวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ วิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo method) [11]



รูปที่ 3 แผนภาพของวิธีมอนติคาร์โลสำหรับการประเมินกำลังการรับน้ำหนักของโครงสร้าง RC ที่ได้รับอิทธิพลจากการกักร่อนของเหล็กเสริม

วิธีมอนติคาร์โล เป็นวิธีการที่อาศัยการสุ่มตัวอย่างของปัจจัยหรือตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองการทำนายการเสื่อมสภาพของโครงสร้างจากการกักร่อน เพื่อประเมินความน่าจะเป็นของกำลังการรับน้ำหนักของโครงสร้าง **รูปที่ 3** แสดงหลักการของวิธีมอนติคาร์โล ซึ่งพิจารณาความแปรปรวนของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกักร่อน ผ่านแบบจำลองของการทำนายและการวิเคราะห์โครงสร้างไปยังตัวแปรผลลัพธ์ โดยตัวแปรผลลัพธ์นี้จะบ่งบอกถึงความน่าจะเป็นของกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างที่เสื่อมสภาพ วิธีนี้สามารถนำไปใช้กับระบบที่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรจำนวนมากได้อย่าง

มีประสิทธิภาพ รายละเอียดของวิธีมอนิเตอร์โวลในการประเมินกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างสามารถอ้างอิงได้จากบทความต่อไปนี้ [3, 9–11]

ผลของการประเมินกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกนั้น สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความเชื่อมั่น (reliability analysis) ของโครงสร้างต่อไป เพื่อที่วิศวกรและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องจะสามารถออกแบบหรือวางแผนการบำรุงรักษาโครงสร้าง RC ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด [12]

6. สรุป

การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง RC ภายใต้สภาพแวดล้อมคลอไรด์สูงนั้น จำเป็นต้องมีความเข้าใจในกลไกการเกิดสนิมของเหล็กเสริม แล้วจึงนำแบบจำลองการแทรกซึมของประจุคลอไรด์มาประยุกต์ใช้ รวมถึงการพิจารณาปัจจัยความแปรปรวนเชิงพื้นที่และความไม่แน่นอนในคุณสมบัติของวัสดุ, สภาพแวดล้อม และกลไกการเสื่อมสภาพ จากผลการประเมินเวลาเริ่มต้นการเกิดสนิมและอัตราการกัดกร่อนจากแบบจำลองข้างต้น จะทำให้สามารถประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง RC ในสภาพแวดล้อมที่คลอไรด์สูงได้อย่างถูกต้องครอบคลุม

อนึ่ง ยังคงมีความจำเป็นในการค้นคว้าเพิ่มเติม เพื่อพัฒนาวิธีการประเมินเหล่านี้ในแง่ของประสิทธิภาพและความแม่นยำ โดยผสมผสานความก้าวหน้าในด้านวัสดุศาสตร์ เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ และการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อให้มั่นใจถึงความทนทานและอายุการใช้งานของโครงสร้าง RC ในระยะยาวได้อย่างแท้จริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ASCE. (2013). *2013 report card for America's infrastructure*. <http://www.infrastructurereportcard.org>
- [2] Department of Highways. (n.d.). *Bridge Maintenance and Management System (BMMS)*. <http://www.doh.go.th>
- [3] Akiyama, M., Frangopol, D. M., & Yoshida, I. (2010). Time-dependent reliability analysis of existing RC structures in a marine environment using hazard associated with airborne chlorides. *Engineering Structures*, 32(11), 3768–3779. <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2010.08.021>

- [4] Papakonstantinou, K. G., & Shinozuka, M. (2013). Probabilistic model for steel corrosion in reinforced concrete structures of large dimensions considering crack effects. *Engineering Structures*, 57, 306–326.
<https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2013.06.038>
- [5] Zhao, Y., Yu, J., Hu, B., & Jin, W. (2012). Crack shape and rust distribution in corrosion-induced cracking concrete. *Corrosion Science*, 55, 385–393.
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2011.11.002>
- [6] Englund, S., & Sørensen, J. D. (1998). A probabilistic model for chloride-ingress and initiation of corrosion in reinforced concrete structures. *Structural Safety*, 20(1), 69–89. [https://doi.org/10.1016/S0167-4730\(97\)00022-2](https://doi.org/10.1016/S0167-4730(97)00022-2)
- [7] Boddy, A., Bentz, E., Thomas, M. D. A., & Hooton, R. D. (1999). An overview and sensitivity study of a multimechanistic chloride transport model. *Cement and Concrete Research*, 29(6), 827–837. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00045-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00045-9)
- [8] Stewart, M. G. (2004). Spatial variability of pitting corrosion and its influence on structural fragility and reliability of RC beams in flexure. *Structural Safety*, 26(4), 453–470. <https://doi.org/10.1016/J.STRUSAFE.2004.03.002>
- [9] Stewart, M. G., & Mullard, J. A. (2007). Spatial time-dependent reliability analysis of corrosion damage and the timing of first repair for RC structures. *Engineering Structures*, 29(7), 1457–1464. <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2006.09.004>
- [10] Srivaranun, S., Akiyama, M., Bocchini, P., Christou, V., Frangopol, D. M., Fukushima, H., & Masuda, K. (2021). Effect of the interaction of corrosion pits among multiple tensile rebars on the reliability of RC structures: Experimental and numerical investigation. *Structural Safety*, 93, 102115. <https://doi.org/10.1016/J.STRUSAFE.2021.102115>
- [11] Shafei, B., & Alipour, A. (2015). Application of large-scale non-Gaussian stochastic fields for the study of corrosion-induced structural deterioration. *Engineering Structures*, 88, 262–276. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.12.024>

- [12] Frangopol, D. M., Dong, Y., & Sabatino, S. (2017). Bridge life-cycle performance and cost: analysis, prediction, optimisation and decision-making. *Structure and Infrastructure Engineering*, 13(10), 1239–1257.
<https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1267772>

เกี่ยวกับผู้แต่งบทความ

ดร.ศุภศิษฏ์ ศรีวรานันท์ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จบการศึกษาระดับปริญญาโท (วิศวกรรมโยธา) จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ Master of Engineering (Structures) และ PhD (Civil Engineering) จาก Waseda University ประเทศญี่ปุ่น มีความสนใจงานวิจัยด้านการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง การวิเคราะห์ความเค้นของโครงสร้าง การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง การประเมินและการจัดการโครงสร้างพื้นฐาน

การอ้างอิงบทความ (citation)

ศุภศิษฏ์ ศรีวรานันท์ (2566), "การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้สภาพแวดล้อมคลอไรด์สูง (Performance Assessment for Deteriorated RC Structures due to Chloride-Induced Corrosion)," *วารสารคอนกรีต, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย*, ปีที่ 17, ฉบับที่ 1), บทความหมายเลข TCA_M 170101, มกราคม-เมษายน, 9 หน้า.

Srivarun, S. (2023) "Performance Assessment for Deteriorated RC Structures due to Chloride-Induced Corrosion," *TCA Magazine, Thailand Concrete Association*, Vol. 17, Issue 1, Paper ID TCA_M 170101, January - April, 9 pages.