การศึกษาการเสื่อมสภาพของคอนกรีตสำหรับเสาสะพานในจังหวัดนครนายก และการทดสอบคุณสมบัติการขัดสีของมอร์ต้าร์ซ่อมแซม และกำลังเสาจำลอง

A Study of Concrete Deterioration for Bridge Column in Nakhon Nayok Province and the Abrasion Test of Repairing Mortar and Experiment of Column Models

ชนาพันธ์ ถิระโคตร[1] ธนะสิทธิ์ คำริแง[1] พงศภัค กะดี่ทอง[1] และ ศุภชัย สินถาวร[1*]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
63 หมู่ 7 ตำบลองครักษ์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120

Chanaphan Tiracort[1], Thanasit Khamringae[1], Pongsapuk Kadeetong[1] and Suppachai Sinthaworn[1*]

[1] Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University
63 Moo7 Rangsit-Nakhon Nayok Road, Ongkharak, Nakhon Nayok, Thailand, 21620

[*]ผู้รับผิดชอบบทความ: suppachai@g.swu.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 08-1409-8507

Received: 2 November 2020, Revised: 5 October 2021, Accepted: 11 January 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการเสื่อมสภาพของเสาคอนกรีตในสะพาน และความสามารถในการรับน้ำหนักของ เสาคอนกรีตเสริมเหล็กหลังการบำรุงรักษา โดยจำลองการเสื่อมสภาพของเสาคอนกรีต 2 รูปแบบ คือ 1. การเสื่อมสภาพแบบผิวเรียบ 2. การเสื่อมสภาพแบบผิวขรุขระ โดยใช้เสาตัวอย่างในการทดสอบขนาด 20×20×60 ซม. ซึ่งจะทำการซ่อมแซมเสาที่มีการเสื่อมสภาพแบบผิวขรุขระด้วยการฉาบซ่อมด้วยมอร์ต้าร์ และบ่มด้วยการทาสารละลายโซเดียมซิลิเกต พร้อมกับทดสอบความต้านทานการขัดสีของวัสดุซ่อมแซมด้วยวิธี Rotating-Cutter Method ดัดแปลงจากมาตรฐาน ASTM C944 จากผลการทดสอบพบว่า เสาคอนกรีตที่มีการเสื่อมสภาพแบบผิวเรียบสูญเสียกำลังรับน้ำหนักร้อยละ 4.13 และเสาคอนกรีตที่มีการเสื่อมสภาพแบบผิวขรุขระสูญเสียกำลังรับน้ำหนักร้อยละ 7.67 เมื่อเทียบกับเสาคอนกรีตปกติ ส่วนเสาคอนกรีตเสื่อมสภาพแบบผิวขรุขระหลังการซ่อมแซมสามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.34 เมื่อเทียบกับเสาคอนกรีตปกติ สำหรับวัสดุซ่อมพบว่า การบ่มมอร์ต้าร์ด้วยการทาสารละลายโซเดียมซิลิเกตเพิ่มความต้านทานต่อการขัดสีร้อยละ 0.3 โดยมวล จากมอร์ต้าร์ปกติ และมีกำลังรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.41

คำสำคัญ คอนกรีตเสริมเหล็ก เสา ซ่อมแซม การกัดกร่อน โซเดียมซิลิเกต การเสื่อมสภาพ

Abstract

This project aimed to study the deterioration of concrete piers in bridge. The residual capacity of reinforced concrete deteriorated columns were studied through two selected deterioration types which are smooth surface deterioration and rough surface deterioration. The tested models of reinforced concrete column were generated as the short column specimen, 20x20x60 cm. The abrasion resistance of repairing mortars and the capacity of columns were experimented by Rotating-Cutter Method which is modified from ASTM C944. The result shows that the capacity of smooth surface deteriorated column decreases by 4.13% whereas that of

rough surface deteriorated column decreases by 7.67%. The rough surface models were repaired by plastering mortar and apply sodium silicate on the surface. After plastering, strength of the repaired columns was increased by 12.34%. In addition, the repairing material shows that plastering mortar with sodium silicate demonstrates higher abrasion resistance 0.3% by weight than normal mortar, and compressive strength increases by 6.41%.
Keywords: Reinforced Concrete, Pier, Repair, Erosion, Sodium Silicate, Deterioration.

1. บทนำ

สะพานข้ามแม่น้ำลำคลอง คือโครงสร้างสำคัญที่เชื่อมต่อระหว่างสองฝั่งที่มีแม่น้ำ ซึ่งจะมีสะพานที่ทำจากไม้ เหล็กรูปพรรณ หรือ คอนกรีตเสริมเหล็ก

สำหรับเสาสะพาน ที่มักใช้เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก เสาส่วนประกอบสำคัญในการรับแรงอัด เมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลานานคอนกรีตเสริมเหล็ก มักจะเกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งสาเหตุที่ทำให้คอนกรีตเสื่อมสภาพมีด้วยกันหลายด้าน ได้แก่ ด้านกายภาพ (Physical) ด้านเคมี (Chemical) ด้านกล (Mechanical) ด้านชีวภาพ (Biological) เช่น การกัดกร่อนของสารเคมีหรือน้ำที่มีสภาวะเป็นกรด ความเสียหายที่มาจากความแรงของกระแสน้ำ ฯลฯ และอาจมีปัจจัยเร่งความเสียหาย ในส่วนที่มีน้ำขึ้นน้ำลงเป็นประจำ คอนกรีตจึงอยู่ในสภาวะเปียกสลับแห้ง อยู่เป็นประจำ ทำให้เร่งการกัดกร่อน อันเนื่องมากจากคลอไรด์ หรือ สารอื่น ๆ ในน้ำ [1]

การสึกกร่อน (Erosion) เป็นความเสียหายที่พบเป็นจำนวนมากสำหรับเสาสะพาน โดยผิวหน้าคอนกรีตซึ่งเป็นผลจากการเคลื่อนไหวของน้ำอาจมีอนุภาคของแข็งแขวนลอยปนอยู่ กลไกที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการกัดกร่อนซีเมนต์เพสต์ที่เชื่อมประสานที่จับยึดมวลรวมบริเวณผิว การกัดกร่อน ในลักษณะดังกล่าวหากเกิดขึ้นติดต่อกันเป็นเวลานานพออาจขยายเป็นความเสียหายรุนแรงได้ [2]

คอนกรีตมักถูกพิจารณาในลักษณะวัสดุสองสถานะ “Two - Phase Material” โดยพิจารณาเฉพาะสองส่วนประกอบหลักคือซีเมนต์เพสต์ที่เชื่อมประสาน และมวลรวมที่เป็นวัสดุแทรกซึ่งยึดโยงเข้าด้วยกันเป็นโครงข่ายแข็งแรง อย่างไรก็ตาม ส่วนต่อระหว่างผิวมวลรวมและซีเมนต์เพสต์ ซึ่งไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันกับวัสดุทั้งสอง และเนื่องจากคอนกรีตมีมวลรวมปริมาณมากเมื่อเทียบกับปริมาตรทั้งหมด คือไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 - 60 ทำให้มีบริเวณรอยต่อหรือ Interfacial Transition Zone (ITZ) ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างไปจากบริเวณอื่น ๆ ITZ [1] จัดเป็นจุดอ่อนหนึ่งของคอนกรีต ดังนั้นในการพัฒนาคอนกรีตให้มีความคงทน ต่อการกัดกร่อนจึงควรพัฒนา ITZ ด้วย

สารละลายโซเดียมซิลิเกต ซึ่งมีสมบัติเป็นด่างสามารถใช้เป็นวัสดุทาผิวหน้าคอนกรีต เพื่อลดปัญหาในด้านการแตกร้าวบนผิวหน้าของคอนกรีต เนื่องจากสารละลายโซเดียมซิลิเกต จะทำปฏิกิริยา กับสารประกอบแคลเซียม ไฮดรอกไซด์ (ซึ่งเป็นผลิตผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น) เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต จึงส่งผลทำให้ผิวหน้าคอนกรีต มีความแข็งแรงและมีความทึบน้ำมากขึ้น ทำให้ผิวของคอนกรีตมีความต้านทานการขัดสีและการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์มากขึ้นด้วย [3]

ดังนั้นการซ่อมแซมเสาสะพานจากปัญหาการสึกกร่อนโดยใช้การฉาบด้วยมอร์ต้าร์และใช้สารละลายโซเดียมซิลิเกตเป็นสารเพิ่มความคงทนจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการหาแนวทางในการบำรุงรักษาโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ศึกษาหารูปแบบการเสื่อมสภาพ ของเสาสะพานคอนกรีต โดยการสุ่ม ใน อำเภอองครักษ์ และ อำเภอเมืองจังหวัดนครนายก

2.2 ศึกษาคุณสมบัติการขัดสีของมอร์ต้าร์ที่คาดว่าจะใช้เป็นวัสดุซ่อมแซม โดยมีการใช้ สารละลายโซเดียมซิลิเกตทาผิวหน้าวัสดุซ่อม

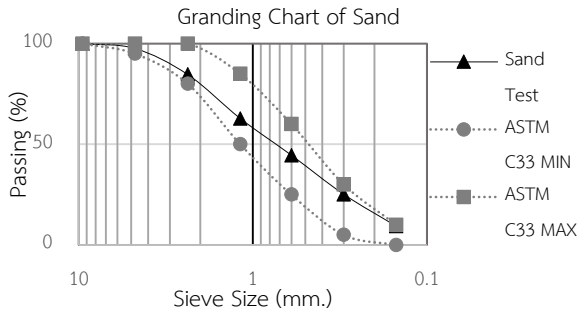
2.2 ศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักของแบบจำลอง เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ใน 3 ลักษณะ คือ 1) มีความเสียหายของผิว 2) ไม่มีความเสียหาย และ 3) มีการซ่อมแซมผิว

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหารูปแบบการเสื่อมสภาพของคอนกรีตจากเสาสะพานในจังหวัดนครนายก เมื่อทราบรูปแบบ จะทำการออกแบบส่วนมอร์ต้าร์และสารเคลือบผิวคอนกรีต และ ทำการทดสอบการขัดสี ทดสอบแบบจำลองเสาปกติ เสาที่เสียหาย และเสาที่บำรุงรักษาแล้ว โดยมีรายละเอียดของการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงในรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อทดสอบกำลังรับน้ำหนักและวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมประกอบด้วย 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 2) ทรายแม่น้ำขนาดตามมาตรฐาน ASTM C33 แสดงขนาดคละดังรูปที่ 1 3) มวลรวมหยาบใช้หินขนาด 3/4” (20 มม.) 4) สารละลายโซเดียมซิลิเกต คุณสมบัติของสารละลายโซเดียมซิลิเกตแสดงในตารางที่ 1 (5) เหล็กข้ออ้อยขนาด DB12 (SD30) และเหล็กปลอกขนาด RB6 (SR24)



รูปที่ 1 ขนาดคละของมวลรวมละเอียดที่ใช้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของสารละลายโซเดียมซิลิเกต

คุณสมบัติ	ค่าที่ปรากฏ
อัตราส่วนโดยโมล	2.3
Total Alkaline (as % Na_2O)	16.50 $\pm$ 1.0
Silicon Content (as % SIO_2)	35.25 $\pm$ 1.0
Mole Ratio	2.00 - 2.30
Specific Gravity (at 20° C)	1.620 - 1.720

3.2 การเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดสอบ

การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก หล่อตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กและจำลองการเสื่อมสภาพของเสาคอนกรีตขนาด 20x20 ซม. สูง 60 ซม.เสริมเหล็กยืน 4DB12 และเหล็กปลอก RB6 ระยะเรียง 20 ซม. ทำการบ่มด้วยการหุ้มแผ่นพลาสติกใส จนถึง อายุทดสอบที่ 28 วัน อัตราส่วนผสมคอนกรีตแสดงดังตารางที่ 2 ติดตั้งอุปกรณ์มาตรวัดความเครียด และอุปกรณ์วัดระยะขจัด อุปกรณ์วัดแรงเข้ากับตัวอย่างเพื่อใช้ขณะทดสอบ ทั้งนี้จำนวนตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก จำนวน 4 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร

วัสดุ	น้ำหนัก (กิโลกรัม/ลบ.ม.)
ซีเมนต์	375
มวลรวมละเอียด	744
มวลรวมหยาบ	1,012
น้ำ	205
รวม	2,337

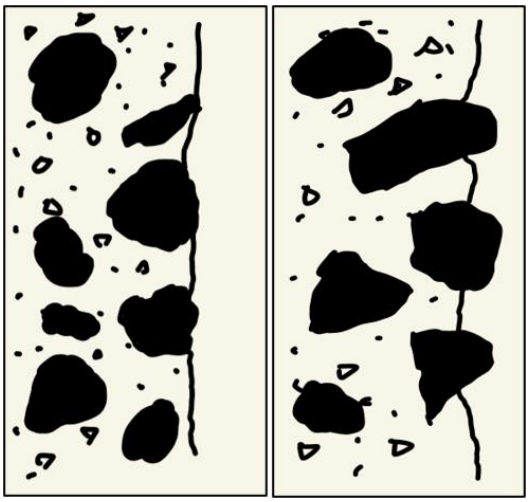
ตารางที่ 3 ประเภทและหมายเลขของตัวอย่างเสาคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ จำนวน 8 ต้น

หมายเลขตัวอย่าง	รูปแบบการเสื่อมสภาพ	วิธีการซ่อมแซม
C1-N, C2-N	-	-
C1-SSB, C2-SSB	แบบผิวเรียบ	-
C1-RSB, C1-RSB	แบบผิวขรุขระ	-
C1-RSA, C2-RSA	แบบผิวขรุขระ	ฉาบผิวด้วยมอร์ต้าร์ ทาเคลือบด้วยโซเดียวซิลิเกต

ทั้งนี้กำลังอัดคอนกรีตที่ใช้ในแบบจำลองที่อายุ 28 วัน มีค่าในช่วง 335-340 กก./ซม.^{2} (จากตัวอย่างทรงกระบอกมาตรฐานสูง 30 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม.) ขณะที่กำลังของคอนกรีตตามแบบของสะพาน จะเป็นคอนกรีต ค.3 (ตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง) กำลังไม่น้อยกว่า 250 กก./ซม.^{2} และจากงานวิจัยก่อนหน้าพบว่าค่าประมาณจากการทดสอบรีบาวด์แฮมเมอร์ ได้ค่าประมาณ 300 กก./ซม.^{2} [4]

การจำลองการเสื่อมสภาพของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบ่งเป็นการจำลองเสาที่เสื่อมสภาพแบบผิวเรียบและผิวขรุขระ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยมีขั้นตอนวิธีการทำดังนี้ (1) หล่อคอนกรีตลงในแบบทำการถอดแบบหล่อหลังจากคอนกรีตเริ่มแข็งตัวประมาณ 1 ชั่วโมงครึ่งถึง 2 ชั่วโมง คอนกรีต

จะเริ่มคงรูปร่างได้ (2) ทำการเอามอร์ต้าร์บริเวณผิวออกด้วยการขูดด้วยฟองน้ำ กำหนดความลึกด้วยความกว้างของหน้าตัด แบบผิวเรียบขูดผิวออกด้านละ 0.25 ซม. และแบบผิวขรุขระขูดผิวออกด้านละ 0.5 ซม. จากเดิมหน้าตัดเสาความกว้าง 20 ซม. สำหรับการซ่อมด้วยการฉาบมอร์ต้าร์จะฉาบให้ได้ความหนาด้านละ 0.5 ซม. สำหรับแบบผิวขรุขระขูด เพื่อให้ได้ขนาดเสาเท่าเดิม จากนั้นบ่มรออายุทดสอบที่ 28 วัน



(ก) (ข)

รูปที่ 2 (ก) จำลองการเสื่อมสภาพแบบผิวเรียบ (ข) จำลองการเสื่อมสภาพแบบผิวขรุขระ

การซ่อมแซมเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสื่อมสภาพแบบผิวขรุขระ ก่อนการฉาบซ่อมตรวจสอบสภาพเนื้อคอนกรีตและทำความสะอาดพื้นผิวเพื่อเพิ่มความยึดติดให้กับวัสดุซ่อมแซมปรับสภาพความชื้นด้วยน้ำ เลือกใช้ซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 1:1 หลังการฉาบซ่อมแซม 24 ชั่วโมง ทำการบ่มคอนกรีตด้วยการทาสารละลายโซเดียมซิลิเกตทันที ทาผิวหน้าของเสาจำนวน 3 รอบแต่ละรอบห่างกันเป็นเวลา 2 ชั่วโมงหลังจากนั้นบ่มในอากาศจนถึงเวลาทดสอบ

การทดสอบความต้านทานการขัดสีและวิธีการซ่อมแซมเสาจากการเสื่อมสภาพ เลือกใช้วิธีการซ่อมแซมเสาด้วยวิธีการฉาบด้วยมอร์ต้าร์ตามอัตราส่วนผสมดังตารางที่ 4 (เก็บตัวอย่างมอร์ต้าขนาด 5x5x5 ซม. ทดสอบค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน ในช่วง 445-452 กก./ซม.^{2}) และนำไปทดสอบความต้านทานการขัดสีเพื่อศึกษาประสิทธิภาพความคงทนของวัสดุที่นำมาใช้ซ่อมแซม โดยดัดแปลงมาจากวิธี Rotating-Cutter Method ตามมาตรฐาน ASTM C944

ตารางที่ 4 อัตราส่วนผสมของมอร์ต้าร์ที่ใช้ในการซ่อมแซม

วัสดุ	อัตราส่วนผสม
ซีเมนต์ (Cement)	1
มวลรวมละเอียด (Sand)	2.75
น้ำต่อซีเมนต์ (w/c)	0.485

หล่อตัวอย่างมอร์ต้าร์ทรงลูกบาศก์ขนาด 10×10×10 ซม. จำนวน 6 ตัวอย่าง แบ่งเป็นตัวอย่างมอร์ต้าร์ธรรมดา บ่มน้ำเป็นเวลา 7 วัน จำนวน 3 ตัวอย่าง และตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่ใช้ซ่อมแซม ด้วยการทาสารละลายโซเดียมซิลิเกตทันทีหลังจากถอดแบบที่อายุ 24 ชั่วโมง ทาผิวหน้าจำนวน 3 รอบ โดยแต่ละรอบจะห่างกันเป็นเวลา 2 ชั่วโมงหลังจากนั้นบ่มตัวอย่างในอากาศเป็นเวลา 7 วัน จำนวน 3 ตัวอย่าง ก่อนนำตัวอย่างทั้ง 2 แบบไปทดสอบการขัดสี นำตัวอย่างคอนกรีตใส่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานกับชุดทดสอบการขัดสี ดังแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นนำมอร์ต้าร์ทั้ง 6 ตัวอย่างนำมาขัดด้วยหัวขัด (Dressing Wheel) โดยมีความเร็วในการขัด 200 รอบต่อนาทีภายใต้แรงกด 197$\pm$ 2 นิวตัน เป็นเวลารอบละ 2 นาที จำนวน 3 ด้านไม่ซ้ำกัน บันทึกค่าการสูญเสียน้ำหนัก เพื่อนำมาเปรียบเทียบความทนทานต่อการขัดสี ระหว่างมอร์ต้าร์ปกติ และมอร์ต้าร์ที่ทาด้วยโซเดียมซิลิเกต

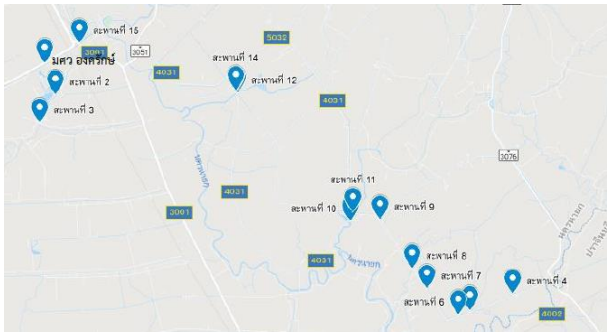
(ก) (ข)

รูปที่ 3 (ก) ขั้นตอนการขัดสี (ข) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนและหลังการขัดสี

4. บทสรุป

4.1 สาเหตุการเสื่อมสภาพของคอนกรีต

จากการสุ่มสำรวจรูปแบบการเสื่อมสภาพของคอนกรีตจากเสาสะพานใน อำเภอองครักษ์ และอำเภอเมือง จังหวัดนครนายก เป็นจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 15 สะพาน ตามตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตำแหน่งสะพานที่ทำการสำรวจ

ทำการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีตรวจพินิจ พบการเสื่อมสภาพของคอนกรีตแบ่งตามลักษณะการเสื่อมสภาพที่คล้ายกัน แบ่งเป็น 2 แบบ คือ

4.1.1 การเสื่อมสภาพแบบผิวเรียบ

พบการเสื่อมสภาพแบบผิวเรียบของคอนกรีตจากตัวอย่างของเสาสะพานซอยโยธาธิการ (แยก นย.4031 กม. 7 + 400) อธิบายลักษณะเบื้องต้นที่ได้จากการสังเกตเป็นความเสียหายการสึกกร่อนของพื้นผิวคอนกรีต ผิวของคอนกรีตรอบ ๆ ของเสาหายไปแบบเรียบอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งเห็นผิวของมวลรวมหยาบดังแสดงในรูปที่ 5

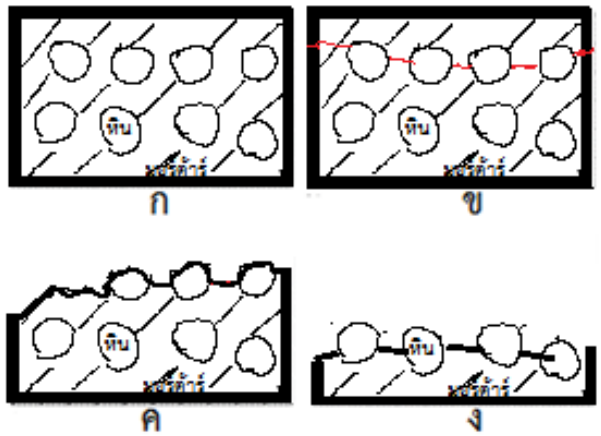
การเสื่อมสภาพแบบผิวเรียบของคอนกรีตตามลำดับเวลา (แสดงในรูปที่ 6) ของคอนกรีตที่ถูกขัดสีด้วยน้ำที่มีทรายเป็นองค์ประกอบ พื้นผิวคอนกรีตต้องผ่านการขัดสีก่อน จากนั้นจะค่อย ๆ เผยวัสดุประสานและมวลรวมที่อยู่ด้านใน ความรุนแรงของแรงกระแทกนี้สัมพันธ์กับความเร็วการไหลและความดันไฮดรอลิกของน้ำ รวมไปถึงผลกระทบของอนุภาคของแข็ง (เช่น เม็ดทรายที่มีในน้ำ) บนพื้นผิวจะส่งผลให้เกิดการแตกตัวของอินเตอร์เฟสระหว่างองค์ประกอบคอนกรีต จนในที่สุดก็เกิดการกระทำการสึกกร่อนที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวคอนกรีต [5]

รูปที่ 5 ความเสียหายของสะพานซอยโยธาธิการและลักษณะสภาพลำน้ำ (ฤดูแล้ง)

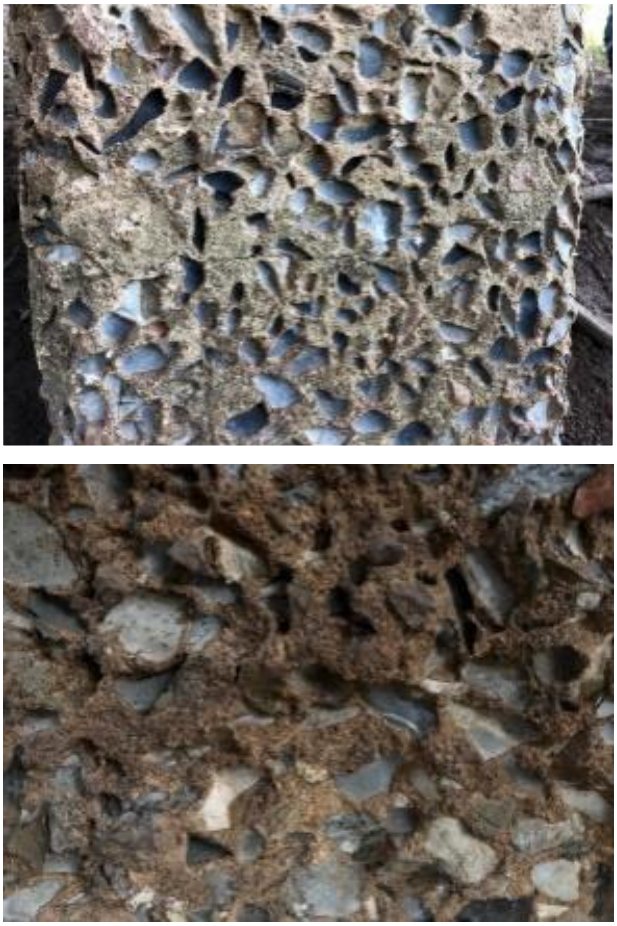
เมื่อนำรูปแบบสภาพความเสียหายของคอนกรีตที่ได้จากการสำรวจมาเปรียบเทียบกับสภาพความเสียหายของคอนกรีตจากงานวิจัยอื่น [5] พบว่าสภาพความเสียหายของคอนกรีตมีลักษณะใกล้เคียงกัน จากสภาพของพื้นผิวคอนกรีตมีการสึกกร่อนแบบผิวเรียบอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งเห็นมวลรวมหยาบ ซึ่งเกิดจากการขัดสีหรือการเลื่อนไปมาของวัตถุและในสภาพแวดล้อมของเสาสะพานที่ตั้งอยู่ในแม่น้ำที่มีกระแสน้ำพัดพาตลอดเวลาจึงทำให้เกิดการพัดพาตะกอนหรือเม็ดทรายกระทบกับพื้นผิวคอนกรีตทำให้เกิดการขัดสี ซึ่งเป็นสาเหตุของการสึกกร่อนของพื้นผิวคอนกรีตที่พบเจอได้

4.1.2 การเสื่อมสภาพแบบผิวขรุขระ

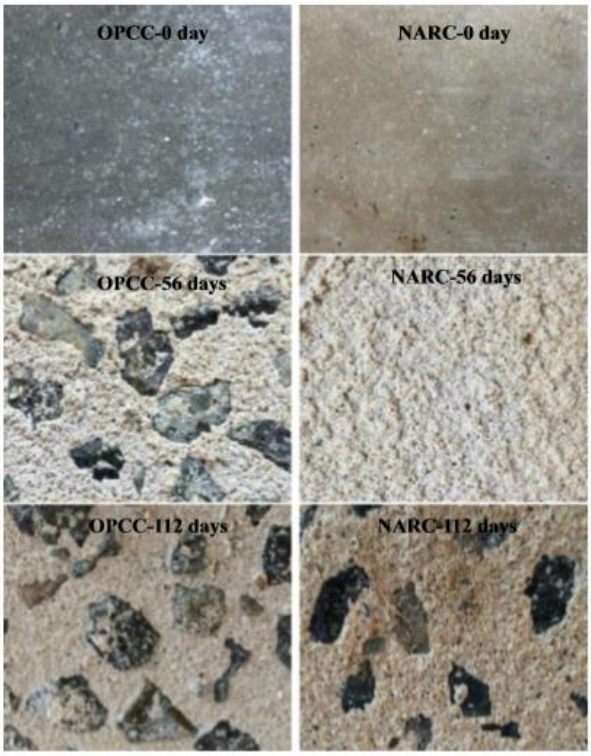
การเสื่อมสภาพแบบผิวขรุขระที่พบเจอตัวอย่างจากเสาสะพาน ให้เป็นการเสื่อมสภาพแบบผิวขรุขระลักษณะความเสียหายที่ได้จากการสังเกต แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ 1) แบบพื้นผิวมอร์ต้าร์หลุดหน้ามวลรวมหยาบ 2) แบบพื้นผิว



รูปที่ 6 ลำดับการสึกกร่อนของพื้นผิวคอนกรีต[5] (ก) ผิวปกติ (ข) พื้นผิวคอนกรีตภายใต้การเสียดสี (ค) การสูญเสียมวลรวมหยาบและมอร์ต้าร์จากพื้นผิวคอนกรีต (ง) การสูญเสียมวลรวมหยาบและมอร์ต้าร์จากพื้นผิวคอนกรีตรุนแรง



รูปที่ 7 การเสื่อมสภาพแบบผิวขรุขระ



(ก)

(ข)

รูปที่ 8 (ก) ภาพพื้นผิวของคอนกรีตแนวปะการังเทียมใหม่และ คอนกรีตธรราดา ถูกโจมตีโดยกรดซัลฟิวริกชีวภาพ [6] (ข) การเสื่อมสภาพของพื้นผิวคอนกรีตเป็นผลมาจากความเป็นกรดของน้ำ [7]

มอร์ต้าร์ลึกกว่าระดับมวลรวมหยาบ โดยการเสื่อมสภาพของคอนกรีตของทั้งสอง มีลักษณะคล้ายกัน คือ เป็นการสูญเสียผิวมอร์ต้าร์ ซึ่งต่างกันที่ระดับความลึกของการสูญเสียมอร์ต้าร์(อาจเนื่องด้วยเวลา) แสดงลักษณะการเสื่อมสภาพแบบผิวขรุขระ ดังรูปที่ 7

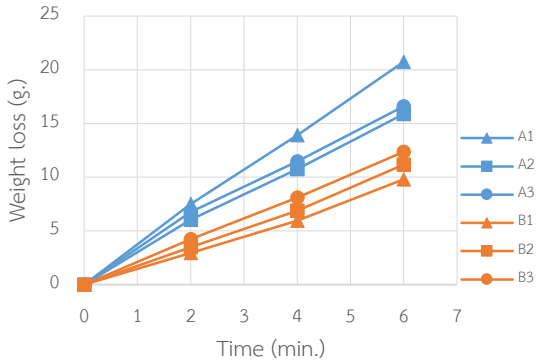
เปรียบเทียบลักษณะของการเสื่อมสภาพของคอนกรีตที่ทำการสำรวจกับคอนกรีตจากงานวิจัยของ Yu และคณะ (2017). แสดงดังรูปที่ 8 พื้นผิวของ คอนกรีตธรรมดา และคอนกรีตแนวปะการังเทียมใหม่ ที่ถูกกัดกร่อนโดยกรดซัลฟิวริกชีวภาพในวันที่ 0, 56 และ 112 จะเห็นได้ว่าหลังจากการโจมตีของกรดซัลฟิวริกชีวภาพเป็นเวลา 56 วันพื้นผิวของ คอนกรีตธรรมดาดูเหมือนจะเป็นสีขาวพร้อมรูพรุน นอกจากนี้เมทริกซ์ของชิ้นงานเริ่มอ่อนตัวลงและมวลรวมหยาบถูกเปิดเผยเนื่องจากการละลายของมอร์ต้าร์ที่ยึด ติดเมทริกซ์ไว้ [6]

จากงานวิจัยของ Yu และคณะ (2017) ลักษณะการเสื่อมสภาพของคอนกรีตที่พบจากการสำรวจ มีลักษณะการเสื่อมสภาพของคอนกรีต คล้ายกับความเสียหายของคอนกรีตที่ระยะเวลา 56 วันและ 112 วัน ของกรดซัลฟิวริกชีวภาพ อาจเป็นข้อสังเกตได้ว่า เสาตอม่อสะพานสัมผัสกับกรดชีวภาพ หรือกรดอื่นในสภาพแวดล้อมได้ดังรูปที่ 8 (ข) ซึ่งจำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม อย่างไรก็ตามคอนกรีตที่พบในการสำรวจ คือรูปแบบพื้นผิวมอร์ต้าร์หลุดหน้ามวลรวมหยาบ และการเสื่อมสภาพแบบพื้นผิวมอร์ต้าร์ลึกกว่าระดับมวลรวมหยาบ ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบมีสาเหตุจากการเสื่อมสภาพจากกรด (ทั้งนี้ได้ทำการวัดความเป็นกรดด่างในบริเวณเสาตอม่อสะพาน พบว่ามีค่าความเป็นกรดอ่อน pH มีค่าระหว่าง 6.15 ถึง 7.85 น้ำในฤดูแล้ง) อาจแตกต่างกันที่ระยะเวลาและความรุนแรงของการกัดกร่อนจากงานวิจัยของก่อนหน้า [6] [7]

4.2 วัสดุสำหรับการซ่อมแซมเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

4.2.1 ผลทดสอบการขัดสีของมอร์ต้าร์

การทดสอบความต้านทานการขัดสีของมอร์ต้าร์ แบบไม่ทาสารละลายโซเดียมซิลิเกต (A1-3) และ แบบทาสารละลายโซเดียมซิลิเกต (B1-3) พบว่าเมื่อระยะเวลาการขัดสีมากขึ้น ค่าการสูญเสียน้ำหนักจะมากขึ้น โดยค่าการสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าร์ตัวอย่าง A1-3 ที่ เวลา 6 นาที มีค่า 16-20 กรัม คิดเป็นค่าร้อยละการสูญเสียของเท่ากับ 0.97 0.73 และ 0.78 ตามลำดับ และค่าการสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าร์ตัวอย่าง B1-3 ที่เวลา 6 นาที เท่ากัน มีค่า 10-12 กรัม ตามลำดับ คิดเป็นค่าร้อยละการสูญเสียเท่ากับ 0.46-0.58 จากการทดสอบแสดงดังรูปที่ 9 พบว่ามอร์ต้าร์แบบทาสารละลายโซเดียมซิลิเกตมีความทนทาน มากกว่า ไม่ทาสารละลายโซเดียมซิลิเกต เพียงเล็กน้อย



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาทดสอบและค่าการสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าร์แบบทาและไม่ทาสารละลายโซเดียมซิลิเกต

4.2.2 กำลังอัดของมอร์ต้าร์

จากผลการทดสอบพบว่าที่มอร์ต้าร์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.485 ค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่อายุบ่ม 28 วันของตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่ไม่ทา และทาด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 320 และ 341 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 10 จากการทดสอบพบว่าการบ่มมอร์ต้าร์มาตรฐาน ด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกตนั้นจะเพิ่มค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ให้มีค่ามากขึ้นร้อยละ 6.41 และ ค่าความต้านทานต่อการขัดสีให้กับผิวของมอร์ต้าร์เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก เมื่อสังเกตถึงค่ากำลังอัดและค่าการสูญเสียน้ำหนักจะมีความสอดคล้องกัน คือ เมื่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์มีค่าเพิ่มมากขึ้น จะทำให้มอร์ต้าร์มีค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการขัดสีลดลง และยังแสดงให้เห็นว่าการบ่มมอร์ต้าร์ด้วยการทาสารละลายโซเดียมซิลิเกตช่วยเพิ่มกำลังอัด และความทนทานต่อการขัดสี

4.3 ผลการทดสอบแบบจำลองเสาสะพาน

4.3.1 เสาตัวอย่างก่อนซ่อมแซม

เมื่อทำการทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กโดยเพิ่มแรงกระทำตามแนวแกน จนกระทั่งตัวอย่างเกิดการวิบัติและมีรอยแตกร้าวเพิ่มมากขึ้นจนเสาไม่สามารถรับแรงกระทำเพิ่ม

ต่อไปได้ โดยมีเสาดังนี้ เสาคอนกรีตแบบไม่มีการเสื่อมสภาพ (C1-N, C2-N) เสาคอนกรีตเสื่อมสภาพแบบผิวเรียบ (C1-SSB, C2-SSB) และเสาเสื่อมสภาพแบบผิวขรุขระ (C1-RSB, C2-RAB) ดังแสดงในรูปที่ 11-13

เสาคอนกรีตแบบไม่มีการเสื่อมสภาพ ได้กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาตัวอย่าง C1-N มีค่าเท่ากับ 82.96 ตัน และเสาตัวอย่าง C2-N มีค่าเท่ากับ 79.97 ตัน ซึ่งได้ค่าประมาณร้อยละ 64 ของสมการกำลังประลัยของเสาตาม ACI-318-19 (127 ตัน) และหากรวมตัวคูณลดกำลังจากลักษณะการรับแรงอัด (0.8) กำลังประลัยที่ยอมให้จะมีค่าประมาณ 100 ตัน ซึ่งค่าที่ทดสอบได้ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของการอัดแน่นของคอนกรีต จากทักษะฝีมือแรงงานที่ไม่ดีนัก อย่างไรก็ตาม ในมุมมองของการเปรียบเทียบกำลังของเสายังสามารถทำได้ เนื่องด้วยทุกเสามีคุณภาพ และควบคุมวิธีการผลิตตัวอย่างที่คุณภาพเท่ากัน

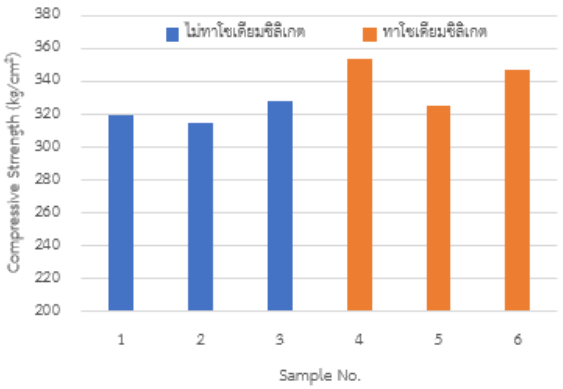
เสาคอนกรีตเสื่อมสภาพแบบผิวเรียบ ได้กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาตัวอย่าง C1-SSB มีค่าเท่ากับ 76.16 ตัน และเสาตัวอย่าง C2-SSB มีค่าเท่ากับ 80.03 ตัน

เสาเสื่อมสภาพแบบผิวขรุขระ ได้กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาตัวอย่าง C1-RSB มีค่าเท่ากับ 74.03 ตัน และเสาตัวอย่าง C2-RSB มีค่าเท่ากับ 76.40 ตัน

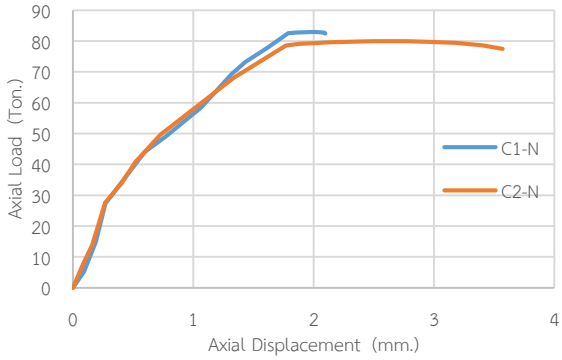
4.3.2 เสาตัวอย่างที่มีการซ่อมแซมผิว

ตัวอย่างเสา C1-RSA และ C2-RSA จำลองการเสียหายที่ผิวแบบขรุขระ เสาทั้งสองก่อนทดสอบ จะถูกซ่อมแซมโดยวิธีการฉาบผิวด้วยมอร์ต้าร์ เมื่อทดสอบเสา C1-RSA สามารถรับน้ำหนักได้ 89.63 ตัน มีค่าการเสียรูปตามแนวแกนเท่ากับ 4.91 มม. เสา C2-RSA สามารถรับน้ำหนักได้ 93.40 ตัน มีค่าการเสียรูปตามแนวแกนเท่ากับ 3.70 มม. ภายใต้การเพิ่มแรงกระทำตามแนวแกน ดังแสดงในรูปที่ 14

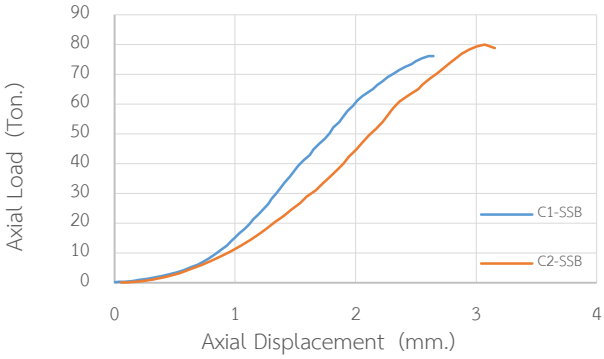
เสาที่ซ่อมผิวแล้ว RSA รับน้ำหนักได้เฉลี่ย 91.5 ตัน จากเสาเสื่อมสภาพเดิมที่ไม่มีการซ่อมผิวรับได้เฉลี่ย 75.2 ตัน ซึ่งแสดงว่าการซ่อมด้วยมอร์ต้าร์ใหม่ และบ่มหรือทาด้วยโซเดียมซิลิเกต ทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้น 16.3 ตัน แต่ถ้าพิจารณากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ใหม่ที่ทาด้วยโซเดียมซิลิเกตสามารถรับกำลังอัดได้สูงสุดประมาณ 350 กก./ซม.^{2} การซ่อมเสาให้มีขนาดเท่าเดิมจะมีพื้นที่ของมอร์ต้าร์ใหม่ประมาณ 38 ซม.^{2} ซึ่งจะทำให้ได้กำลังอัดเพิ่มเท่าประมาณ 350x38/1000 = 13.3 ตัน ซึ่งน้อยกว่า กำลังรับแรงอัดที่ได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ด้วยการยึดติดจากการฉาบ ไม่อาจทำให้คอนกรีตกลายเป็นเนื้อเดียวเหมือนเสาที่หล่อปกติได้ จึงไม่สามารถรับแรงได้เหมือนการหล่อคอนกรีตตั้งแต่แรก



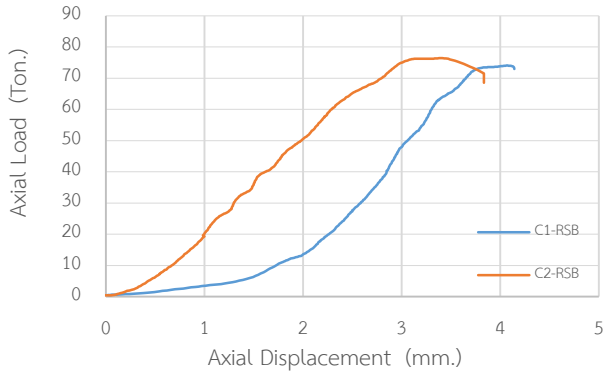
รูปที่ 10 ค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วันของมอร์ต้าร์ โดยการทาและ ไม่ทาผิวด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกต



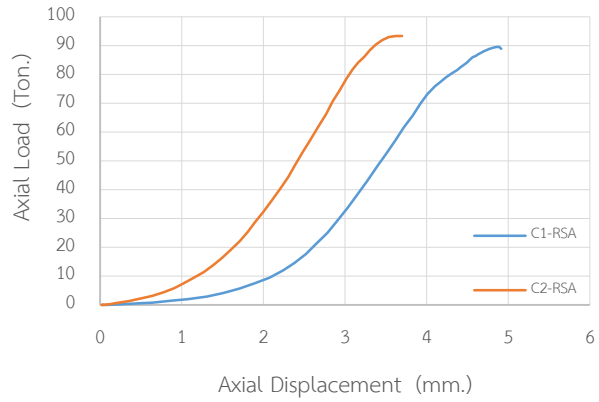
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตามแนวแกนกับระยะที่เปลี่ยนแปลงตามแกนของเสา C1-N, C2-N



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตามแนวแกนกับระยะที่เปลี่ยนแปลงตามแกนของเสา C1-SSB, C2-SSB



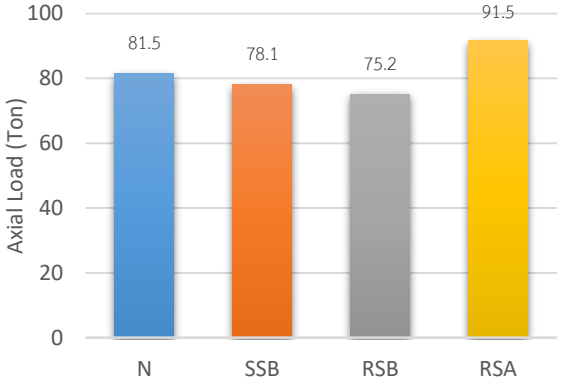
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตามแนวแกนกับระยะที่



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตามแนวแกนกับระยะที่เปลี่ยนแปลงตามแกนของเสา C1-RSA, C2-RSA

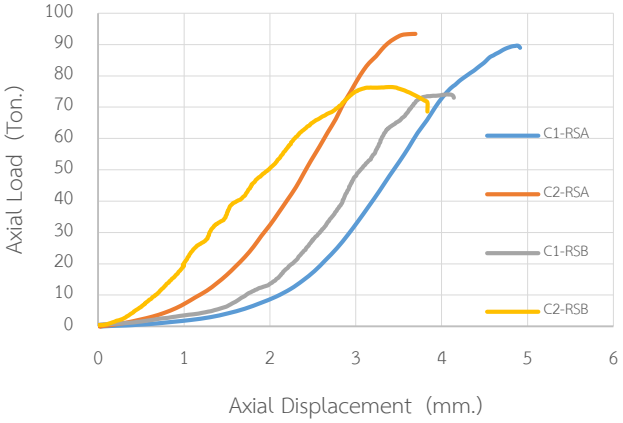
4.3.3 การเปรียบเทียบกำลังของเสาที่สภาวะต่าง ๆ

เมื่อนำค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตที่ปกติ (N) ที่เสื่อมสภาพ (SSB, RSB) และหลังซ่อมแซม (RSA) เปรียบเทียบกัน พบว่ากำลังรับน้ำหนักเฉลี่ยของเสาคอนกรีตจะลดลงจากผิวเรียบ และเป็นแบบผิวขรุขระตามลำดับ เมื่อทำการซ่อมแซมด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยนี้แล้ว พบว่าก่อนซ่อมแซม มีค่าเท่ากับ 75.2 ตัน และกำลังรับน้ำหนักเฉลี่ยของเสาคอนกรีตแบบผิวขรุขระหลังซ่อมแซม มีค่าเท่ากับ 91.5 ตัน จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการซ่อมแซมผิวของเสาคอนกรีตแล้ว ตัวอย่างเสาคอนกรีตสามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 12 เมื่อเทียบกับเสาปกติ ทั้งนี้อาจเนื่องด้วยกำลังของมอร์ต้าร์ที่นำมาซ่อมแซมมีกำลังมากกว่ากำลังคอนกรีตเดิม ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 ค่าเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตก่อนและหลังซ่อมแซม

เมื่อสังเกตในรูปที่ 16 พบว่าเส้นกราฟในช่วงแรกของกำลังรับน้ำหนักและความเครียดมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงแสดงถึงช่วงอิลาสติกของเสา เมื่อเปรียบเทียบค่าความชันของกราฟในช่วงแรกของเสาก่อนซ่อม และหลังซ่อมแซมจะเห็นว่าเส้นกราฟของตัวอย่างเสาหลังซ่อมแซมมีช่วงของความชันเส้นตรงมากกว่าเสาก่อนการซ่อมแซม เมื่อสังเกตแนวแกนในแกนแนวนอนของกราฟหรือค่าความเครียดจะพบว่าตัวอย่างเสาหลังทำการซ่อมแซมมีแนวโน้มมีค่าความเครียดที่มากกว่าหรือมีการเปลี่ยนรูปของเสามากกว่าแบบเสาตัวอย่างก่อนการซ่อมแซมภายใต้น้ำหนักกดที่เท่ากัน ทั้งนี้รูปแบบการวิวัติของเสา N, SSB, RSB และ RSA แสดงไว้ในรูปที่ 17



รูปที่ 16 ค่าเปรียบเทียบแรงตามแนวแกนกับระยะที่เปลี่ยนแปลงตามแกนของเสาก่อนและหลังการซ่อมแซม

รูปที่ 17 ตัวอย่างลักษณะการวิบัติของเสาสถานะต่าง ๆ

5. บทสรุป

จากการดำเนินงานศึกษารูปแบบการเสื่อมสภาพของเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก สุ่มตัวอย่างในจังหวัดนครนายกและหาแนวทางบำรุงรักษาได้ข้อสรุปดังนี้

รูปแบบที่พบสำหรับการเสื่อมสภาพพบ 2 รูปแบบ คือ 1) การกร่อนแบบผิวเรียบ ซึ่งอาจเกิดจากการเสื่อมสภาพจากการขัดสีหรือทางกล 2) การกร่อนแบบผิวขุระ ซึ่งอาจเกิดจากการขัดสีและการเสื่อมสภาพจากสารชีวภาพ หรือกรดในน้ำ

มอร์ต้าร์สำหรับการซ่อมแซมบำรุงรักษา สามารถใช้มอร์ต้าร์มาตรฐานร่วมกับบ่มด้วยการทาโซเดียมซิลิเกตและยังสามารถเพิ่มกำลังอัดและความทนทานต่อการขัดสีเพิ่มขึ้นจากมอร์ต้าร์ปกติ จากผลการทดสอบพบว่ามอร์ต้าร์มีกำลังอัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.41 และเพิ่มความทนทานต่อการขัดสีให้กับผิวของมอร์ต้าร์มีการสูญเสียน้ำหนักลดลงร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก

การเสื่อมสภาพแบบผิวเรียบ เทียบกับเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีการเสื่อมสภาพ จากการสูญเสียผิวคอนกรีตทำให้เสียกำลังร้อยละ 4.1 การเสื่อมสภาพแบบผิวขรุขระที่เทียบกับเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีการเสื่อมสภาพ จากการสูญเสียผิวคอนกรีตทำให้เสียกำลังร้อยละ 7.6

การฉาบซ่อมแซมจากเสาที่มีการเสื่อมสภาพแบบผิวขรุขระ ใช้วัสดุมอร์ต้าร์มาตรฐานและบ่มด้วยการทาสารละลายโซเดียมซิลิเกตสามารถทำให้เสากลับมารับน้ำหนักได้ปกติ ทั้งนี้ในการทดสอบใช้มอร์ต้าร์ซึ่งมีกำลังมากกว่าคอนกรีตเดิม เสาที่ซ่อมบำรุงแล้วมีกำลังรับน้ำหนัก เฉลี่ย 91.5 ตัน ซึ่งมากกว่ากำลังเสาสภาพปกติเดิมถึงร้อยละ 12.34 ทั้งนี้การฉาบไม่อาจให้ผลของกำลังอัดในส่วนที่ฉาบเทียบเท่ากับการหล่อเป็นเนื้อเดียวตั้งแต่แรกได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายจิรวัฒน์ ทรัพย์พิทยากร ในการสนับสนุนอุปกรณ์บางส่วนสำหรับใช้ในการทดสอบ แม้จะเป็นช่วงเวลาวิกฤติจาก Covid-19 และ ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สำหรับการสนับสนุนทุนในการศึกษาวิจัย ภายใต้ทุนการทำโครงงาน

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Sujjavanich S. Advanced Concrete Technology. Bangkok: Rojchana Printing Limited Partnership; 2017. Thai.

[2] Dechpolmataya S, Sinthaworn S. Deterioration of Concrete Bridges of the Rural Road Department. Annual Concrete Conference 6th ,2010 October 20- 22, Phetburi, Thailand. Thai.

[3] Tuantong T, Tangchirapat W, Jaturapitakkul C, Songpiriyakij S. Abrasion Resistance and Rapid Chloride Permeability of Concrete Coated with Sodium Silicate Solution. KMUTT Research and Development Journal. 2019;30(1): 55-68. Thai.

[4] Srinakharinwirot university. Development plan for rural road (the 3rd phase). PTE Engineering Co. Ltd. Report number: 1, 2019. Thai.

[5] Liu WY, Yen T, Hsu TH. Abrasion Erosion of Concrete by Water-borne Sand, Cement and Concrete Research. 2006;36: 1814-1820.

[6] Yang Y, Ji T, Lin X, Chen C, & Yang Z. Biogenic sulfuric acid corrosion resistance of new artificial reef concrete. Construction and Building Materials. 2018; 158: 33-41.

[7] Trejo D. Analysis and assessment of microbial biofilm - mediated concrete deterioration. Dissertation, Ph.D.(Departmentof Transportation). United States of America: Graduate school University Transportation Centers; 2008.