

การก่อสร้างสะพานโดยใช้เหล็กต้านทานการกัดกร่อนในบรรยากาศ Bridge Construction with Atmospheric Corrosion Resisting Steel

อภิชัย วชิระปราการพงษ์, พุทธิพงศ์ ทะสิทธิ์วัฒนา*, อภิชาติ บุรณะกุลกิจการ และ ธันวา วิบูลย์ศรีณย์

สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวงชนบท กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: noteri@gmail.com

บทคัดย่อ

กรมทางหลวงชนบทดำเนินการก่อสร้างสะพานบนถนนสาย รย.4060 จำนวน 2 แห่ง ความยาวสะพาน 630 และ 420 เมตร ในจังหวัดระยอง และจันทบุรี ตามลำดับ เพื่อแก้ไขปัญหาการกัดกร่อนของโครงสร้างสะพานและพื้นผิวจราจรที่เกิดจากมลพิษทางอากาศและน้ำจืดปนเปื้อน การเลือกใช้เหล็กกล้าเคลือบสังกะสี (Galvanized Steel) แทนเหล็กกล้าธรรมดาจะช่วยลดการกัดกร่อนและยืดอายุการใช้งานของสะพานได้

โครงสร้างส่วนบนเลือกใช้เป็นคานเหล็กประกอบ หน้าตัดรูปตัวโอ ความยาว 30 เมตร เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ทำให้สามารถลดขนาดโครงสร้างส่วนล่างซึ่งเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก และลดจำนวนเสาเข็มลงได้ ทำให้ใช้พื้นที่ทางน้อยลง นอกจากนี้การเลือกใช้คานเหล็กซึ่งผลิตในโรงงานยังสามารถเร่งรัดงานก่อสร้างให้เสร็จได้โดยเร็ว บรรเทาผลกระทบต่อประชาชนและลดการรบกวนสัตว์ป่าที่อาศัยใกล้เคียงพื้นที่ก่อสร้างลงได้ แต่การใช้เหล็กก็มีข้อเสีย คือ เมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดสนิมที่ผิวเหล็กและทำให้เนื้อเหล็กถูกกัดกร่อน จำเป็นต้องตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพานเป็นประจำ ดังนั้น เพื่อลดภาระและค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาในอนาคตเนื่องจากสะพานตั้งอยู่ในพื้นที่ห่างไกล กรมทางหลวงชนบทจึงได้เลือกใช้เหล็กต้านทานการกัดกร่อนในบรรยากาศ (Atmospheric Corrosion Resisting Steel หรือ Weathering Steel) ตาม มอก.2982-2562 ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการใช้เหล็ก และค่อนข้างใหม่สำหรับการก่อสร้างในประเทศไทย โดยวัสดุดังกล่าวมีชั้นคุณภาพเทียบเท่ากับเหล็กปกติ แต่ต้านทานการกัดกร่อนได้ดี จึงทนทานและมีอายุการใช้งานยาวนานกว่า

บทความนี้นำเสนอประสบการณ์การใช้เหล็กต้านทานการกัดกร่อนตลอดจนการวิเคราะห์ความคุ้มค่าโดยอ้างอิงข้อมูลจากการทำงานจริงพบว่าเหล็กต้านทานการกัดกร่อนมีราคาสูงกว่าเหล็กปกติประมาณร้อยละ 18 แต่สามารถลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาการป้องกันสนิมลงได้ รวมทั้งในระยะยาวสามารถลดภาระการบำรุงรักษาลงได้ จึงกล่าวได้ว่าการใช้เหล็กต้านทานการกัดกร่อนมีความคุ้มค่าในการนำมาใช้ก่อสร้างสะพาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ห่างไกลที่บำรุงรักษาได้ยาก

คำสำคัญ: การก่อสร้างสะพาน, สะพานเหล็ก, เหล็กต้านทานการกัดกร่อนในบรรยากาศ, มอก.2982-2562

Abstract

The Department of Rural Roads (DRR) has built two bridges on Rayong 4060 Road, in Rayong and Chanthaburi Province. The bridges are 630 meters and 420 meters long, respectively. This project has been collaborated with the Ministry of Natural Resources and Environment, to protect wild elephants from car accidents on the road between Khao Ang Rue Nai Wildlife Sanctuary and Khao Chamao - Khao Wong Natural Park.

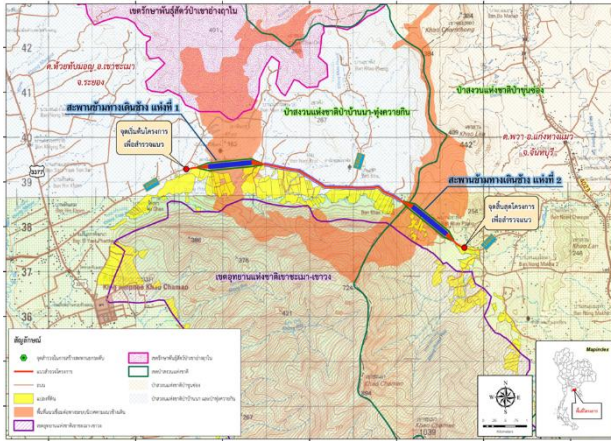
Steel was used for making 30-meter-long I-shaped plate girders, so that bridge dead load can be reduced. Reinforced concrete substructure becomes smaller, and the number of bored piles can be decreased, causing the least required right of way. Furthermore, the application of steel can accelerate the project duration and mitigate the environmental impact on people and wildlife living nearby. Nevertheless, corrosion is still a major drawback of steel structure. Periodic inspection and maintenance are necessary. So, to cut down the future burden, especially for bridges in distant area, DRR has introduced the atmospheric corrosion resisting steel, or so-called weathering steel, according to TIS 2982-2562. This alternative construction material is rather new for construction in Thailand.

In this paper, the use of weathering steel will be described. Comparison with conventional steel will be also mentioned. It has been found that material cost for the application of weathering steel is about 18% higher than that of conventional steel. However, usage of weathering steel can curtail cost and time for corrosion protection. In long term, the maintenance burden can be taken away as well. So, it can be said that weathering steel is worth as a sustainable building material, especially in remote area.

Keywords: bridge construction, steel bridge, weathering steel, atmospheric corrosion resisting steel, TIS 2982-2562

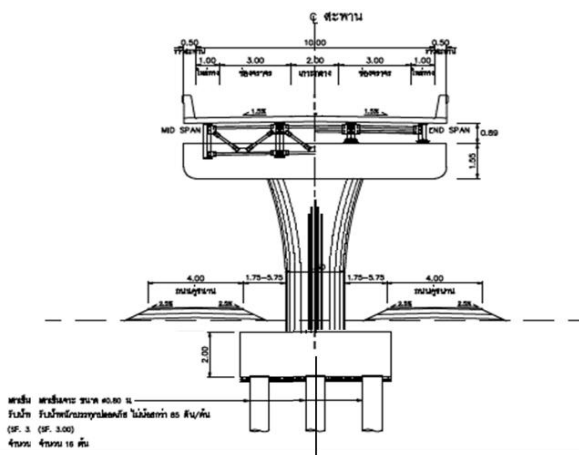
1. ความเป็นมาและลักษณะโครงสร้างสะพาน

ถนนสาย รย.4060 เป็นเส้นทางที่สำคัญเชื่อมระหว่างอำเภอเขาชะเมา จังหวัดระยอง และอำเภอแกลงทางแนว จังหวัดจันทบุรี ตั้งอยู่ระหว่างเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤๅไนและเขตอุทยานแห่งชาติเขาชะเมา-เขาวง เมื่อสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสภาวะโลกร้อน ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งอาหารสำหรับช้างป่าในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลดลง ช้างป่าจึงออกหากินนอกพื้นที่เข้ามาในเขตอุทยานแห่งชาติ จึงมักเดินตัดผ่านถนนที่มีรถยนต์สัญจรอยู่เป็นประจำ ทำให้เกิดอุบัติเหตุรถยนต์ชนช้าง หรือช้างทำอันตรายต่อรถยนต์อยู่บ่อยครั้ง กรมทางหลวงชนบทจึงได้แก้ไขปัญหาดังกล่าวร่วมกับกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช โดยได้ออกแบบและก่อสร้างสะพานในบริเวณที่ได้สำรวจแล้วพบว่าเป็นเส้นทางเดินประจำของช้าง จำนวน 2 แห่ง ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยเมื่อก่อสร้างสะพานแล้วเสร็จ รถยนต์จะใช้สะพานในการสัญจร ส่วนถนนด้านล่างจะถูกขุดรื้อและปรับพื้นที่ เพื่อให้เป็นเส้นทางเดินถาวรของช้าง



รูปที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งของสะพาน

สะพานแห่งที่ 1 ตั้งอยู่ระหว่าง กม.ที่ 4+525.00 ถึง กม.ที่ 5+155.00 ความยาวรวม 630 เมตร แบ่งออกเป็น 21 ช่วง ความยาวช่วงละ 30 เมตร ส่วนสะพานแห่งที่ 2 ตั้งอยู่ระหว่าง กม.ที่ 9+517.25 ถึง กม.ที่ 9+937.25 ความยาวรวม 420 เมตร แบ่งออกเป็น 14 ช่วง ความยาวช่วงละ 30 เมตร โครงสร้างสะพานทั้งสองแห่งมีลักษณะเหมือนกัน คือ โครงสร้างส่วนบนเป็นคานเหล็กประกอบ หน้าตัดรูปตัวไอ รองรับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก รองรับ 2 ช่องจราจร ผิวจราจรกว้าง 8 เมตร ไหล่ทางกว้างข้างละ 1 เมตร และขยายออกอีกข้างละ 3 เมตร เฉพาะบริเวณเหนือทางเดินช้าง เพื่อให้เจ้าหน้าที่และประชาชนผู้สนใจได้ศึกษาพฤติกรรมของช้าง รูปที่ 2 แสดงหน้าตัดทั่วไปของสะพาน เสาตอม่อของสะพานเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีคานขวางไว้รองรับโครงสร้างส่วนบน ฐานรากเป็นแบบเสาเข็มเจาะ



รูปที่ 2 หน้าตัดทั่วไปของสะพาน

2. การพิจารณาเลือกใช้เหล็ก

การเลือกใช้เหล็กเป็นคานสะพานมีข้อดี คือ น้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับโครงสร้างคอนกรีต ทำให้สามารถลดขนาดโครงสร้างส่วนล่างและจำนวนเสาเข็มลงได้ ต้องการพื้นที่เขตทางน้อย นอกจากนั้นการก่อสร้างคานเหล็กซึ่งผลิตในโรงงานยังสามารถเร่งรัดงานก่อสร้างให้เสร็จได้โดยเร็ว แต่อย่างไรก็ตามการใช้เหล็กก็ยังมีข้อเสีย คือ เมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดสนิม ที่ผิวเหล็กและทำให้เนื้อเหล็กถูกกัดกร่อน ส่งผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้าง จึงจำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันไม่ให้เหล็กเกิดสนิมหรือถูกกัดกร่อน ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป คือ การเคลือบป้องกันผิว (Coating) โดยการทาสี

(Painting) การชุบสังกะสีเหลว (Galvanizing) หรือการดำเนินการทั้งสองขั้นตอนข้างต้น (Duplex System) แต่วิธีการทั้งสองก็ยังมีข้อด้อย คือ การทาสีทำให้เกิดสารระเหยซึ่งทำให้เกิดการระคายเคืองส่งผลกระทบต่ออายุอาศัยของสัตว์ป่าและสิ่งแวดล้อม ขณะที่การชุบสังกะสีเหลว เมื่อเวลาผ่านไป ชั้นสังกะสีจะถูกกัดกร่อนทำให้ความหนาของชั้นสังกะสีลดลง จำเป็นต้องบำรุงรักษาสะพานอยู่เป็นระยะ

การป้องกันการเป็นสนิมและถูกกัดกร่อนของเหล็กด้วยหลักการปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Cathodic Protection) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ วิธีการใช้วัสดุสละยวเสียอิเล็กตรอนแทนเหล็ก (Sacrificial Anode) และการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Impressed Current) ซึ่งวิธีการนี้มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง และยังคงหมั่นตรวจสอบอุปกรณ์อยู่เป็นประจำ

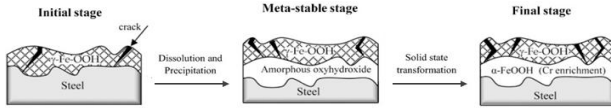
อีกวิธีการหนึ่ง ซึ่งลดภาระการบำรุงรักษาโครงสร้างได้ คือ การใช้วัสดุที่ต้านทานการเป็นสนิมและถูกกัดกร่อน (Corrosion-Resistant Material) ได้แก่ เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) โลหะผสม (Alloy) และเหล็กต้านทานการกัดกร่อน (Weathering Steel) ซึ่งไม่จำเป็นต้องบำรุงรักษาในระยะยาว แต่เหล็กกล้าไร้สนิมและโลหะผสมมีปัญหาเรื่องคุณสมบัติด้านการรับแรงไม่เท่ากับการใช้เหล็กคาร์บอนปกติ ขณะที่เหล็กต้านทานการกัดกร่อนยังคงมีคุณสมบัติด้านการรับแรงเป็นไปตามมาตรฐาน

จากการพิจารณาข้อดีและข้อด้อยของการป้องกันการเป็นสนิมและถูกกัดกร่อนของเหล็กด้วยวิธีการข้างต้น กรมทางหลวงชนบทจึงได้ตัดสินใจเลือกใช้เหล็กต้านทานการกัดกร่อน หรือตามมอก. 2982-2562 เรียกว่า “เหล็กต้านทานการกัดกร่อนในบรรยากาศ (Atmospheric Corrosion Resisting Steel)” แต่การใช้เหล็กชนิดดังกล่าวนับว่าเป็นเรื่องค่อนข้างใหม่สำหรับประเทศไทย จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างเพื่อกำหนดมาตรฐานการควบคุมคุณภาพวัสดุ รวมทั้งวิเคราะห์เปรียบเทียบกับ การก่อสร้างด้วยเหล็กปกติ เพื่อประเมินความคุ้มค่าของการนำเหล็กต้านทานการกัดกร่อนมาใช้ก่อสร้างสะพาน

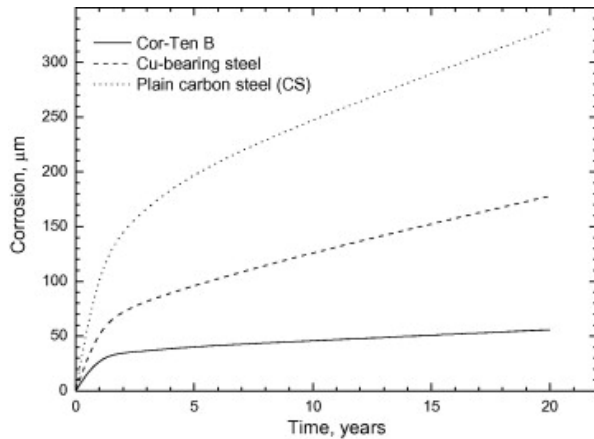
3. เหล็กต้านทานการกัดกร่อน

เหล็กต้านทานการกัดกร่อนเป็นเหล็กโลหะผสมต่ำ (Low-Alloy Steel) เกิดจากการปรับปรุงส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน โดยเพิ่มปริมาณทองแดง โครเมียม นิกเกิล ฟอสฟอรัส ซิลิกอน และแมงกานีส รวมกัน 1-5% โดยน้ำหนัก [1] มีชื่อที่รู้จักกันว่า Cor-Ten เนื่องจากเหล็กชนิดนี้ นอกจากจะต้านทานการกัดกร่อนได้ดีแล้ว ยังมีกำลังรับแรงดึงสูงอีกด้วย โดยเหล็ก Cor-Ten แยกได้ 2 ชนิด คือ Cor-Ten A มีคุณสมบัติเป็นไปตาม ASTM A242 และ Cor-Ten B ที่มีความแข็งแรงสูงขึ้น มีคุณสมบัติเป็นไปตาม ASTM A588

เมื่อเหล็กต้านทานการกัดกร่อนสัมผัสกับออกซิเจนและความชื้น ในช่วงแรกจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ทำให้เกิดสนิมเหล็กที่ผิวเหล็กเช่นเดียวกับเหล็กปกติ แต่ต่อมากจะเกิดการตกตะกอนของสารที่มีรูปร่างและส่วนประกอบไม่แน่นอน (Amorphous) และพัฒนาต่อไปเป็นชั้นสนิมที่มีความเสถียร เรียกว่า “พาทินา (Patina)” มีสีเข้มหรือสีดำ แต่ทั้งนี้สีของพาทินาจะขึ้นกับชนิดและปริมาณของธาตุที่เป็นส่วนประกอบ ชั้นพาทินานี้จะป้องกันไม่ให้ออกซิเจนและความชื้นสัมผัสกับเนื้อเหล็ก ทำให้สามารถยับยั้งไม่ให้เหล็กถูกกัดกร่อนต่อไปได้ รูปที่ 3 แสดงกลไกการเกิดพาทินาของเหล็กต้านทานการกัดกร่อน การพัฒนาของพาทินานี้จะยังคงเกิดขึ้นในระยะยาว เป็นหลายปีหรือหลายสิบปี ส่งผลให้เหล็กต้านทานการกัดกร่อนจะมีสีแตกต่างกันไปตามระยะเวลาที่ผ่านมา โดยเริ่มแรกจะมีสีน้ำตาลสลับลายสนิมเหล็ก และจะเริ่มมีสีเข้มหรือสีดำ เมื่อระยะเวลาผ่านไป



รูปที่ 3 การเกิดพาดินาของเหล็กด้านทานการกัดกร่อน [2]



รูปที่ 4 การกัดกร่อนของเหล็กประเภทต่างๆ [3]

รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบการกัดกร่อนของเหล็กปกติ เหล็กที่มีทองแดงเป็นส่วนประกอบสำคัญ และเหล็กด้านทานการกัดกร่อน พบว่า การกัดกร่อนของเหล็กทั้ง 3 ประเภทเกิดขึ้นเร็วในช่วงปีแรก และอัตราการกัดกร่อนจะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป ทั้งนี้ เหล็กด้านทานการกัดกร่อน มีการกัดกร่อนน้อยที่สุด คือ การกัดกร่อนไม่ถึง 30 μm ที่ระยะเวลา 1 ปี และประมาณ 50 μm ที่ระยะเวลา 20 ปี ขณะที่เหล็กปกติถูกกัดกร่อนมากกว่าหลายเท่า คือ ประมาณ 100 μm ที่ระยะเวลา 1 ปี และมากกว่า 300 μm ที่ระยะเวลา 20 ปี

เหล็กด้านทานการกัดกร่อนถูกนำมาใช้ก่อสร้างอาคารและสะพานหลายแห่งทั่วโลกตั้งแต่เมื่อประมาณ 50 ปีก่อน ตัวอย่างเช่น Hokkaido Centennial Memorial Tower ประเทศญี่ปุ่น ก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี ค.ศ. 1969 [4] หรือ Sipoonkorpi Bridge ประเทศฟินแลนด์ ซึ่งก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี ค.ศ. 1975 [5] ซึ่งปัจจุบันพบว่าอาคารและสะพานเหล่านี้มีสภาพที่ดีและยังคงมีการใช้งานอยู่ ในหลายประเทศได้มีการกำหนดมาตรฐานวัสดุสำหรับเหล็กด้านทานการกัดกร่อน เช่นเดียวกับประเทศไทย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้กำหนด มอก. 2982-2562 เหล็กกล้าทรงแบนรีดร้อนที่ต้านการกัดกร่อนในบรรยากาศสำหรับงานโครงสร้างเชื่อมประกอบ [6]

แม้ว่าเหล็กด้านทานการกัดกร่อนจะมีข้อดี และนิยมนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่การใช้งานเหล็กด้านทานการกัดกร่อนก็ยังมีข้อจำกัด คือ ไม่ควรนำไปใช้ใกล้ทะเลหรือในบริเวณที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์สูง เนื่องจากคลอไรด์ไอออนที่มีความเข้มข้นสูงจะไปยับยั้งการตกตะกอนและการเกิดขึ้นของพาดินา จึงไม่สามารถป้องกันสนิมและถูกกัดกร่อนได้ [7]

4. การควบคุมคุณภาพวัสดุ

ในการก่อสร้างสะพานบนถนนสาย รย.4060 ด้วยเหล็กด้านทานการกัดกร่อน ตามมาตรฐาน มอก. 2982-2562 นั้น ได้เลือกใช้เหล็กแผ่นชั้นคุณภาพ SMA490AW มีกำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) อยู่ในช่วง 490 ถึง 610 MPa และค่าความเค้นที่จุดคราก (Yield Stress) ไม่ต่ำกว่า 365 MPa สำหรับเหล็กแผ่นที่หนาไม่เกิน 16 มม. หรือไม่ต่ำกว่า 355 MPa สำหรับเหล็กแผ่นที่หนาระหว่าง 16-40 มม.

4.1 การตรวจสอบส่วนประกอบทางเคมี

เพื่อยืนยันว่าเหล็กแผ่นที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง เป็นเหล็กด้านทานการกัดกร่อน จึงได้ตัดชิ้นส่วนเหล็กแผ่นทุกขนาดความหนาที่ใช้ในโครงการ และนำไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมี ด้วยเทคนิค OES (Optical Emission Spectrometer) ซึ่งเป็นวิธีการที่ดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว และมีความแม่นยำสูง ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ที่ได้เปรียบเทียบกับเกณฑ์ข้อกำหนดตาม มอก. พบว่าเหล็กแผ่นทุกขนาดความหนา มีส่วนประกอบทางเคมีเป็นไปตามมาตรฐานทั้งสิ้น

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กด้านทานการกัดกร่อน

ธาตุ	มอก. 2982- 2562	ความหนาของเหล็กแผ่น					
		6 มม.	10 มม.	12 มม.	18 มม.	25 มม.	32 มม.
C	≤ 0.18	0.1046	0.0955	0.1112	0.1196	0.1211	0.1100
Si	0.15-0.65	0.3979	0.2403	0.2782	0.2385	0.2357	0.2977
Mn	≤ 1.40	0.9958	1.0484	1.0599	1.0753	1.0695	1.0584
P	≤ 0.035	0.0171	0.0101	0.0102	0.0134	0.0128	0.0120
S	≤ 0.035	0.0084	0.0027	0.0026	0.0040	0.0037	0.0049
Cu	0.30-0.50	0.3633	0.3516	0.3313	0.3362	0.3379	0.3758
Cr	0.45-0.75	0.5148	0.4639	0.4645	0.4633	0.4582	0.4622
Ni	0.05-0.30	0.1988	0.1867	0.1720	0.1799	0.1803	0.2022

หมายเหตุ หน่วย : ร้อยละ

ตารางที่ 2 ค่า C_{eq} , P_{cm} และ I ของเหล็กด้านทานการกัดกร่อน

ดัชนี	มอก. 2982- 2562	ความหนาของเหล็กแผ่น					
		6 มม.	10 มม.	12 มม.	18 มม.	25 มม.	32 มม.
C_{eq}	≤ 0.41	0.3951	0.3777	0.3966	0.4059	0.4053	0.3963
P_{cm}	≤ 0.24	0.2149	0.1998	0.2161	0.2243	0.2252	0.2181
I	≥ 6.0	6.76	6.33	6.33	6.34	6.33	6.47

หมายเหตุ หน่วย : ไม่มี

จากผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีข้างต้น ได้นำมาคำนวณค่าสมมูลคาร์บอน (Carbon Equivalent Value; C_{eq}) และส่วนประกอบที่ไวต่อการแตกร้าวจากการเชื่อม (Percentage of Carbon and other Alloying Elements; P_{cm}) ดัชนีดังกล่าวจะบ่งบอกความเสี่ยงของการเกิดรอยแตกร้าวจากการเชื่อม ซึ่งสำหรับเหล็กแผ่นชั้นคุณภาพ SMA490AW ความหนาไม่เกิน 50 มม. C_{eq} และ P_{cm} ต้องมีค่าไม่เกิน 0.41 และ 0.24 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าเหล็กด้านทานการกัดกร่อนที่นำมาใช้ในโครงการนี้ มีค่าดัชนีทั้งสองเป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนด รวมทั้งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของ International Institute of Welding (IIW) พบว่าเหล็กแผ่นที่นำมาใช้มีความสามารถในการเชื่อม (Weldability) อยู่ในระดับดีมาก [8] สามารถนำไปตัดและเชื่อมประกอบเป็นคานได้

นอกจากนั้น ได้คำนวณดัชนีด้านทานการกัดกร่อนในบรรยากาศ (Atmospheric Corrosion Index; I) ซึ่งตามเกณฑ์ข้อกำหนด เหล็กด้านทานการกัดกร่อนต้องมีค่า I ไม่น้อยกว่า 6.0 ซึ่งจากตารางที่ 2 เช่นกันพบว่าเหล็กแผ่นที่นำมาทดสอบ ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดทุกตัวอย่าง จึงเชื่อมั่นได้ว่าเหล็กแผ่นที่นำมาใช้ในโครงการเป็นเหล็กด้านทานการกัดกร่อนตามมาตรฐาน มอก.

4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกล

เพื่อตรวจสอบชั้นคุณภาพของแผ่นเหล็กด้านทานการกัดกร่อนที่ใช้ จึงได้นำชิ้นส่วนเหล็กแผ่นทุกขนาดความหนาทดสอบคุณสมบัติทางกล ประกอบด้วย ค่าความเค้นที่จุดคราก (Yield Stress) กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) และความยืด (Elongation) ตามมาตรฐาน มอก. 2172 เล่ม 1-2556 [9] ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล ของเหล็กแผ่น พบว่าเหล็กแผ่นทั้งหมดมีคุณสมบัติทางกลเป็นไปตามเกณฑ์ มาตรฐาน จึงกล่าวได้ว่าเหล็กแผ่นที่นำมาใช้ในโครงการทั้งหมดมี ชั้นคุณภาพ SMA490AW ตามมาตรฐาน มอก. ถูกต้องตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในแบบก่อสร้าง

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกลของเหล็กด้านทานการกัดกร่อน

คุณสมบัติ	มอก. 2982- 2562	ความหนาของเหล็กแผ่น					
		6 มม.	10 มม.	12 มม.	18 มม.	25 มม.	32 มม.
ความเค้นคราก	> 365	475.60	413.76	488.03			
	> 355				469.43	477.87	424.73
กำลังรับแรงดึง	490-610	584.48	577.02	554.95	540.67	558.77	511.81
ความยืด	> 15	20.1	20.1	19.4			
	> 19				23.7	22.1	24.3

หมายเหตุ หน่วย : MPa สำหรับความเค้นครากและกำลังรับแรงดึง
ร้อยละ สำหรับความยืด

5. การก่อสร้างคานสะพาน

เหล็กแผ่นที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้วจะถูกนำไปตัดและเจาะรู สำหรับการยึดต่อกับสลักเกลียว รวมทั้งเชื่อมประกอบในลักษณะคาน ประกอบ ด้วยวิธี Shielded Metal Arc Welding (SMAW) ในโรงงานด้วย เครื่องจักรที่ทำงานอัตโนมัติและควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Aided Manufacturing: CAM) และเชื่อมเก็บรายละเอียดด้วยวิธี Flux Cored Arc Welding (FCAW) โดยช่างเชื่อมที่มีประสบการณ์และความชำนาญ ทั้งนี้ ได้อ้างอิงมาตรฐานการเชื่อมตาม AWS D1.5 [10]

สำหรับการเชื่อมเหล็กด้านทานการกัดกร่อน ลวดเชื่อมที่ใช้ต้องมี คุณสมบัติด้านทานการกัดกร่อนด้วยเช่นกัน เพื่อป้องกันไม่ให้รอยเชื่อมถูก กัดกร่อน เป็นจุดอ่อนให้คานสะพานได้รับความเสียหายจากการเป็นสนิม และถูกกัดกร่อนต่อเนื่องมาได้ ซึ่งทำให้ประโยชน์ของการเลือกใช้เหล็ก

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบทางเคมีของลวดเชื่อม

ธาตุ	AWS A5.5 / AWS A5.29	E8018-W2		E81T1-W2
		2.6 มม.	3.2 มม.	1.2 มม.
C	≤ 0.12	0.051	0.056	0.08
Si	0.35-0.80	0.68	0.68	0.46
Mn	0.50-1.30	0.88	0.92	1.08
P	≤ 0.030	0.009	0.011	0.019
S	≤ 0.030	0.008	0.007	0.009
Cu	0.30-0.75	0.39	0.39	0.53
Cr	0.45-0.70	0.55	0.54	0.53
Ni	0.40-0.80	0.46	0.46	0.46

หมายเหตุ หน่วย : ร้อยละ

ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางกลของลวดเชื่อม

คุณสมบัติ	AWS A5.5 / AWS A5.29	E8018-W2		E81T1-W2
		φ 2.6 มม.	φ 3.2 มม.	φ 1.2 มม.
ความเค้นคราก	> 470	563	535	578
กำลังรับแรงดึง	550-690	644	628	629
ความยืด	> 19	24	26	22

หมายเหตุ หน่วย : MPa สำหรับความเค้นครากและกำลังรับแรงดึง
ร้อยละ สำหรับความยืด

ตารางที่ 6 ผลทดสอบรอยเชื่อม

การทดสอบ	คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ	
		SMAW	FCAW
การรับแรงดึง ของการเชื่อมทั้งหมด	ความเค้นคราก	473.42	532.20
	กำลังรับแรงดึง	576.00	588.64
	ความยืด	32	24
	หน้าตัดที่ลดลง	71.72	59.43
การรับแรงดึง แบบลดขนาดหน้าตัด	กำลังรับแรงดึง	610.83	620.43
	ตำแหน่งที่วิบัติ	แผ่นเหล็ก	แผ่นเหล็ก
การดัดโค้งด้านข้าง		ไม่มีการแยกตัว	ไม่มีการแยกตัว
การกัดกร่อนเชื่อม		สมบูรณ์	สมบูรณ์
การดูดซับพลังงาน		95.2	62.0

หมายเหตุ หน่วย : MPa สำหรับความเค้นครากและกำลังรับแรงดึง
ร้อยละ สำหรับความยืดและหน้าตัดที่ลดลง
J สำหรับการดูดซับพลังงาน

ด้านทานการกัดกร่อนสูญเสียไป มาตรฐาน AWS A5.5 [11] สำหรับการเชื่อมแบบ SMAW ได้กำหนดลวดเชื่อม รหัส EXX18-WX ขณะที่ A5.29 [12] สำหรับการเชื่อมแบบ FCAW ได้กำหนด EXXTX-W2 สำหรับเหล็ก ด้านทานการกัดกร่อน ซึ่งจากการตรวจสอบทั้งตลาดพบว่า ลวดเชื่อมที่สามารถนำมาใช้งานได้มีเพียง E7018-W1 E8018-W2 สำหรับการเชื่อมแบบ SMAW และ E81T1-W2 สำหรับการเชื่อมแบบ FCAW ดังนั้นเพื่อให้ รอยเชื่อมต่างๆ มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน จึงได้เลือกลวดเชื่อม E8018-W2 และ E81T1-W2 สำหรับการก่อสร้างคานสะพานในโครงการนี้ ซึ่ง คุณสมบัติของลวดเชื่อมที่ใช้แสดงอยู่ในตารางที่ 4 และ 5

เพื่อให้เกิดความมั่นใจในประเด็นความแข็งแรงของรอยเชื่อม ดังนั้น ก่อนการก่อสร้าง จึงได้ทดลองนำแผ่นเหล็กความหนา 25 มม. มาเชื่อม แบบร่องเดี่ยวรูปตัววี (Single V-Groove Weld) ด้วยลวดเชื่อมข้างต้น แล้วนำไปทดสอบการรับแรงดึงของการเชื่อมทั้งหมด (All Weld Metal Tension Test) และแบบลดขนาดหน้าตัด (Reduced Section Tension Test) การดัดโค้งด้านข้าง (Side Bend Test) การกัดกร่อนเชื่อม (Macro-etch Test) และการดูดซับพลังงานจากการกระแทก (Absorbed Energy Impact Test) ซึ่งผลทดสอบแสดงอยู่ในตารางที่ 6 พบว่าการวิบัติจากแรง ดึงเกิดที่แผ่นเหล็ก ไม่ได้เกิดที่รอยเชื่อมแต่อย่างใด ไม่พบรอยแตกร้าวหรือ การแยกตัวของรอยเชื่อมจากการดัดโค้ง 180 องศา รอยเชื่อมเมื่อกัดด้วย กรดมีสภาพสมบูรณ์ดี ไม่มีโพรงหรือวัสดุอ่อนแทรกตัวอยู่ และสามารถดูดซับ พลังงานจากแรงกระแทกได้ดี คือ มีค่าการดูดซับพลังงานมากกว่า 27 J จึงเชื่อมั่นได้ว่าการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมที่เลือกใช้มีคุณสมบัติเป็นที่พึงพอใจ สามารถนำมาใช้ในการผลิตคานสะพานได้

เมื่อผลิตคานสะพานแล้วเสร็จ ได้ตรวจสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมทั้งหมด (100%) ด้วยวิธี Ultrasonic Test (UT) ตามมาตรฐาน ASTM E164-19 [13] พบว่ารอยเชื่อมทั้งหมดมีสภาพสมบูรณ์ดี นอกจากนั้นได้นำคานสะพานที่ละคูมายึดด้วยคานยึดรั้ง (Bracing) และวางแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ เพื่อตรวจวัดค่าการแอ่นตัวภายใต้น้ำหนักของคานและพื้นสะพาน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าเผื่อการแอ่นตัว (Camber) ที่กำหนดไว้เพื่อการผลิตคาน คือ 50 มม. จึงเชื่อมั่นได้ว่าการผลิตคานสะพานเป็นไปอย่างมีคุณภาพและมีระดับพื้นสะพานสอดคล้องกับแบบก่อสร้าง

ตามที่กล่าวมาข้างต้น การใช้เหล็กดันทานการกักร่อนไม่จำเป็นต้องทาสีหรือเคลือบผิวเพื่อกันสนิม เนื่องจากชั้นพาดินจะช่วยป้องกันการเป็นสนิมและถูกกัดกร่อนในระยะยาวได้ แต่เนื่องจากสีของเหล็กดันทานการกักร่อนในระยะแรกจะเป็นสีคล้ายสนิมเหล็ก อาจเกิดความเข้าใจผิดว่าเหล็กที่นำมาใช้ก่อสร้างสะพานเป็นสนิมตั้งแต่ต้น ทำให้เกิดความไม่เชื่อมั่นในความมั่นคงแข็งแรงได้ จึงได้ประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนในพื้นที่ได้รับทราบถึงการนำเหล็กดันทานการกักร่อนมาใช้ และบริษัทผู้รับจ้างก่อสร้างได้ให้ความอนุเคราะห์ทาสีรองพื้น (Primer) ความหนาไม่น้อยกว่า 75 ไมครอน โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย เพื่อให้ผิวเหล็กในระยะแรกเมื่อเปิดใช้ไม่มีลักษณะเป็นสีคล้ายสนิม

จากนั้นได้ขนส่งคานเหล็กด้วยรถกึ่งพ่วงไปยังพื้นที่ก่อสร้าง ยกติดตั้งด้วยรถเครนขนาด 100 ตัน จำนวน 2 คัน และดำเนินการก่อสร้างพื้นสะพานต่อไป โดยการวางแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ และเชื่อมเหล็กรับแรงเฉือน (Shear Stud) เพื่อถ่ายเทแรงเฉือนระหว่างคานเหล็กและพื้นสะพานคอนกรีตให้สามารถรับแรงร่วมกันในลักษณะหน้าตัดประกอบ (Composite Section) ได้ และเทคอนกรีตกำลังสูงเชื่อมระหว่างแผ่นพื้นกับคานเหล็ก และระหว่างแผ่นพื้นด้วยตนเอง

6. การประเมินความคุ้มค่า

เพื่อประเมินความคุ้มค่าของการนำเหล็กดันทานการกักร่อนมาใช้ในการก่อสร้างสะพาน จึงได้เปรียบเทียบประเด็นด้านราคา ระยะเวลา และคุณภาพ กับการป้องกันสนิมเหล็กด้วยวิธีที่ใช้ปกติทั่วไป ได้แก่ การทาสี การชุบสังกะสีเหลว และการดำเนินการสองขั้นตอน คือ นำไปชุบสังกะสีเหลว เมื่อแห้งแล้วจึงนำไปทาสีเพื่อเคลือบผิวอีกชั้น

6.1 การประเมินด้านราคา

การพิจารณาราคาก่อสร้างสำหรับการป้องกันสนิมด้วยวิธีปกติ คิดจากกระบวนการทำงานโดยใช้เหล็กแผ่นชั้นคุณภาพ SM490 ตามมอก.1499-2563 [14] ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้โดยทั่วไป และมีคุณสมบัติเชิงกลเทียบเท่ากับเหล็กดันทานการกักร่อนชั้นคุณภาพ SMA490AW

ตารางที่ 7 แสดงผลการประเมินด้านราคาก่อสร้างคานเหล็ก โดยคิดเป็นราคาต่อหน้าหนักของเหล็กเพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบ ทั้งนี้ การประเมินราคาดังกล่าวไม่รวมส่วนเผื่อของวัสดุ ค่าขนส่ง ค่าติดตั้ง และค่าใช้จ่ายทางอ้อม

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบด้านราคา

รายการ	ทาสี	ชุบสังกะสีเหลว	ดำเนินการสองขั้นตอน	เหล็กดันทานการกักร่อน
ค่าวัสดุ	42.00	42.00	42.00	49.50
ค่างานตัดประกอบ	16.30	16.30	16.30	20.72
ค่างานป้องกันสนิม	9.65	16.80	26.45	-
รวมทั้งหมด	67.95	75.10	84.75	70.22

หมายเหตุ หน่วย : บาท/กิโลกรัม

ราคาค่าวัสดุเหล็กแผ่น ใช้วิธีสืบราคาจากผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่ายในประเทศ พบว่าในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2568 เหล็ก SMA490AW มีราคา 49.50 บาท/กิโลกรัม แพงกว่าเหล็ก SM490 ที่ราคา 42.00 บาท/กิโลกรัม ประมาณร้อยละ 18 ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณการผลิตเหล็กดันทานการกักร่อนมีน้อย ต้นทุนการผลิตจึงสูงกว่า แต่ถ้านอกเขตตลาดมีความต้องการเหล็กชนิดดังกล่าวมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้น คาดว่าราคาเหล็ก SMA490AW จะลดลงและจะแพงกว่าเหล็ก SM490 ไม่นานนัก

การคิดค่างานตัดประกอบ ประกอบด้วย ค่าแรงงานและค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร ซึ่งใช้ตามบัญชีค่าแรงงาน/ดำเนินการ ของกรมบัญชีกลาง และราคาค่าลวดเชื่อม ซึ่งสืบราคาจากผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่ายในประเทศ พบว่าขั้นตอนการตัดประกอบของเหล็กทั้งสองชนิดเหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่ชนิดของลวดเชื่อม โดยราคาค่างานการตัดประกอบด้วยเหล็ก SMA490AW สูงกว่าการตัดประกอบด้วยเหล็ก SM490 ประมาณ 4.72 บาท/กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 27 ทั้งนี้ คาดว่าความแตกต่างจะลดลงถ้าปริมาณการสั่งซื้อลวดเชื่อมสำหรับเหล็กดันทานการกักร่อนมีมากขึ้น

สำหรับการคิดราคาค่างานป้องกันสนิม กรณีการทาสีจะคิดราคาค่าแรงงานจากบัญชีค่าแรงงาน/ดำเนินการ กรมบัญชีกลาง และราคาค่าวัสดุจากฐานข้อมูลวัสดุก่อสร้าง กระทรวงพาณิชย์ โดยแยกการทำงานเป็นการเตรียมผิว การทาสีรองพื้น การทาสีกันสนิม และการทาสีทับหน้า ตามมาตรฐาน ส่วนกรณีชุบสังกะสีเหลว ใช้การสืบราคาจากโรงงาน โดยจากขนาดบ่อชุบที่มีในประเทศซึ่งมีความกว้างไม่เกิน 18 เมตร ทำให้การชุบสังกะสีเหลวสำหรับคานยาว 30 เมตร จึงต้องดำเนินการ 2 ครั้ง

เมื่อสรุปราคารวมค่างานทั้งสามส่วน พบว่า การใช้เหล็ก SMA490AW มีราคาแพงกว่าการป้องกันสนิมของเหล็ก SM490 โดยการทาสี แต่ถูกกว่าการป้องกันสนิมด้วยการชุบสังกะสีเหลว และการดำเนินการสองขั้นตอน

6.2 การประเมินด้านระยะเวลา

การประเมินระยะเวลาใช้วิธีการแยกการทำงานออกเป็นขั้นตอนต่างๆ และเก็บข้อมูลระยะเวลาของการทำงานจริงในแต่ละขั้นตอน แล้วจึงนำมารวมกันเป็นระยะเวลารวม ทั้งนี้ การก่อสร้างคานเหล็กจะดำเนินการเป็นชุดแต่ละชุดประกอบด้วยคานสะพานจำนวน 8 ตัว เพื่อให้มีปริมาณมากพอสำหรับการทาสีหรือชุบสังกะสีเหลวต่อไป โดยการทำงานตัดประกอบคานสะพาน 1 ชุด ใช้ระยะเวลาการทำงานประมาณ 3 วัน

การป้องกันสนิมโดยการทาสี สำหรับคานสะพาน 1 ชุด จะใช้ระยะเวลาการทำงานอย่างน้อย 3 วัน ประกอบด้วยการเตรียมผิว การทาสีรองพื้น รวม 1 วัน การสีกันสนิม 1 วัน และการสีทับหน้าอีก 1 วัน ส่วนการชุบสังกะสีเหลวใช้ระยะเวลาดำเนินการ 2 วัน สำหรับการเตรียมผิวและการชุบจำนวน 2 ครั้ง ส่วนการดำเนินการสองขั้นตอน ต้องชุบสังกะสีเหลวให้เสร็จก่อนแล้วจึงนำไปทาสี ใช้ระยะเวลารวม 5 วัน ไม่รวมการขนส่ง (ถ้ามี) แต่ถ้าใช้เหล็กดันทานการกักร่อนก็ไม่ต้องนำมาดำเนินการป้องกันสนิม จึงใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างคานเหล็กน้อยที่สุด ดังแสดงผลการประเมินด้านระยะเวลาในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบด้านระยะเวลา

รายการ	ทาสี	ชุบสังกะสีเหลว	ดำเนินการสองขั้นตอน	เหล็กดันทานการกักร่อน
งานตัดประกอบ	3	3	3	3
งานป้องกันสนิม	3	2	5	-
รวมทั้งหมด	6	5	8	3

หมายเหตุ หน่วย : วัน/ชุด

6.3 การประเมินด้านคุณภาพ

การประเมินด้านคุณภาพแตกต่างจากการประเมินด้านราคาและระยะเวลา เนื่องจากไม่ได้เป็นการพิจารณาเชิงปริมาณ ทำให้ดำเนินการได้ยาก ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ใช้วิธีการให้คะแนนตามเกณฑ์การพิจารณาในประเด็นต่างๆ ประกอบด้วยด้านความมั่นคงแข็งแรง ความทนทาน ความสวยงามหรือรูปลักษณ์ภายนอก และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยแต่ละประเด็นมีคะแนนเต็ม 5 คะแนน โดย 5 หมายถึงดีที่สุด และมีคุณภาพพลดหล่นกันไปจนตามคะแนนที่ประเมิน

ตารางที่ 9 แสดงผลการประเมินด้านคุณภาพของการป้องกันสนิมเหล็กด้วยวิธีการต่างๆ พบว่า ด้านความมั่นคงแข็งแรง ทุกวิธีมีคะแนนเท่ากัน เนื่องจากวิธีการป้องกันสนิมไม่ได้ส่งผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้าง

ด้านความทนทาน ในโครงการนี้ได้เก็บตัวอย่างแผ่นเหล็ก SMA490AW และ SM490 ที่มีการป้องกันสนิมด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบการเกิดสนิมและตรวจวัดการถูกกัดกร่อน ซึ่งปัจจุบันอยู่ในระหว่างการดำเนินการ ดังนั้นเพื่อประเมินเปรียบเทียบด้านความทนทาน จึงได้รวบรวมข้อมูลจากการรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยจากต่างประเทศ พบว่า ปัจจุบันมีโครงสร้างอาคารและสะพานที่ก่อสร้างจากเหล็กด้านทนทานการกัดกร่อนมีการใช้งานต่อเนื่องกันมานานกว่า 50 ปี ขณะที่ในระยะเวลาเดียวกัน ชิ้นส่วนของทาสีจะเกิดการหลุดร่อนได้ง่าย และความหนาของชั้นสังกะสีจะเกิดบางลงไปตามระยะเวลา

ด้านความสวยงาม การทาสีและการดำเนินการสองชั้นตอนจะมีความสวยงามมากที่สุด คือ สามารถกำหนดให้มีสีตามต้องการได้ แต่การทาสีจะมีข้อดีน้อยกว่าการดำเนินการสองชั้นตอนเล็กน้อย คือ เมื่อสีทับหน้าหลุดร่อนแล้ว จะเห็นเป็นสีป้องกันสนิม ส่วนเหล็กที่ผ่านการชุบสังกะสีจะมีความมั่นใจว่าซึ่งอาจมีปัญหาการสะท้อนแสงหากมีการใช้งานภายนอก ขณะที่เหล็กด้านทนทานการกัดกร่อนมีความสวยงามต่ำที่สุด เนื่องจากผิวของโครงสร้างในช่วงแรกมีสีคล้ายสนิม ซึ่งอาจทำให้เกิดความเข้าใจผิดได้

ด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าการทาสีจะมีสารระเหยเกิดขึ้น ซึ่งทำให้เกิดความระคายเคืองต่อคนและสิ่งมีชีวิตที่อยู่ใกล้เคียงได้ หรือหากสัมผัสหรือได้รับในปริมาณมากอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ รวมทั้งส่งผลต่อสภาวะบรรยากาศได้อีกด้วย ขณะที่การชุบด้วยสังกะสีต้องใช้เชื้อเพลิงจำนวนมาก เพื่อให้เกิดความร้อนทำให้สังกะสีสลายสถานะเป็นของเหลว เหล็กด้านทนทานการกัดกร่อนไม่มีประเด็นข้างต้น จึงมีคะแนนด้านความมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

เมื่อสรุปในภาพรวมแล้ว ในด้านคุณภาพเหล็กด้านทนทานการกัดกร่อนได้รับคะแนนมากที่สุด แต่ทั้งนี้การประเมินด้านคุณภาพยังไม่สามารถประเมินเป็นตัวเลขที่ชัดเจนได้ในขณะนี้ จึงต้องการการศึกษาวิเคราะห์เพิ่มเติมในระยะยาว เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบได้ในเชิงตัวเลข และได้ผลการเปรียบเทียบที่ชัดเจน

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบด้านคุณภาพ

รายการ	ทาสี	ชุบสังกะสีเหลว	ดำเนินการสองชั้นตอน	เหล็กด้านทนทานการกัดกร่อน
ความมั่นคงแข็งแรง	5	5	5	5
ความทนทาน	2	3	4	5
ความสวยงาม	4	3	5	2
มิตรต่อสิ่งแวดล้อม	3	4	2	5
รวมทั้งหมด	14	15	16	17

หมายเหตุ หน่วย : ไม่มี

6.4 การประเมินภาพรวม

เมื่อพิจารณาภาพรวมทั้งสามประเด็นแล้ว พบว่า การใช้เหล็กด้านทนทานการกัดกร่อนแม้ว่าในปัจจุบันจะมีต้นทุนค่าแผ่นเหล็กและลวดเชื่อมที่สูงกว่าการใช้เหล็กปกติทั่วไป แต่เนื่องจากขั้นตอนการทำงานที่ลดลง ไม่ต้องทาสีหรือชุบสังกะสีเหลวเพื่อป้องกันสนิมแล้ว ทำให้ราคาค่าก่อสร้างโดยรวมไม่ได้แพงมากนัก และถ้านำประเด็นเรื่องความทนทานมาพิจารณาร่วมด้วยแล้ว การทาสีหรือการชุบสังกะสีเหลวยังต้องการงบประมาณเพิ่มเติมเพื่อบำรุงรักษาเป็นระยะ ซึ่งทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมกับค่าบำรุงรักษาในระยะยาวของการทาสีหรือการชุบสังกะสีเหลวสูงกว่าการใช้เหล็กด้านทนทานการกัดกร่อน นอกจากนี้ การใช้เหล็กด้านทนทานการกัดกร่อนมีขั้นตอนการทำงานน้อยกว่า จึงสามารถเร่งรัดการก่อสร้างให้แล้วเสร็จได้โดยเร็วได้ด้วย

7. บทสรุป

กรมทางหลวงชนบทได้ก่อสร้างสะพานบนถนนสาย รย.4060 ซึ่งตั้งอยู่ห่างไกลจากตัวเมือง และเป็นพื้นที่ที่หาหินของข้างป่า จึงได้ตัดสินใจเลือกใช้เหล็กด้านทนทานการกัดกร่อน ตาม มอก. 2982-2562 มาใช้ก่อสร้างคานสะพาน โดยวัสดุดังกล่าวเป็นวัสดุทางเลือกใหม่ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเป็นวัสดุที่มีความทนทาน และสามารถลดภาระการบำรุงรักษาในระยะยาวได้

การควบคุมงานก่อสร้าง จำเป็นต้องทดสอบส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กด้วย เพื่อป้องกันความสับสนในการนำเหล็กปกติมาใช้งาน รวมทั้งลวดเชื่อมที่ใช้จะต้องเป็นชนิดพิเศษที่มีเนื้อวัสดุเช่นเดียวกับเหล็กด้านทนทานการกัดกร่อน เพื่อป้องกันไม่ให้อายุเชื่อมเป็นจุดอ่อนทำให้เหล็กเป็นสนิมและถูกกัดกร่อนต่อไปได้ด้วย ทั้งนี้ การก่อสร้างด้วยเหล็กด้านทนทานการกัดกร่อนสามารถนำมาตรฐาน AWS มาอ้างอิงได้

จากการประเมินความคุ้มค่าด้านราคา ระยะเวลา และคุณภาพของการป้องกันการสนิมเหล็กด้วยวิธีการต่างๆ พบว่าการใช้เหล็กด้านทนทานการกัดกร่อนมีราคาไม่ได้แพงกว่าการป้องกันสนิมเหล็กด้วยวิธีการปกติมากนัก แต่มีข้อดีคือก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากไม่จำเป็นต้องนำเหล็กไปทาสีหรือชุบสังกะสีเหลวเพื่อป้องกันสนิม มีความทนทานและความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชนและสัตว์ป่าที่อาศัยใกล้กับพื้นที่ก่อสร้างอีกด้วย อย่างไรก็ตาม กรมทางหลวงชนบทจะติดตามสภาพการใช้งานของสะพาน รวมถึงศึกษาวิจัยตัวอย่างวัสดุ เพื่อเปรียบเทียบในประเด็นด้านความทนทานต่อไป

ในขณะที่เปิดใช้งานโครงสร้าง เหล็กด้านทนทานการกัดกร่อนจะมีสีคล้ายสนิม อาจทำให้เกิดความเข้าใจผิดว่าเหล็กเป็นสนิม และอาจดูไม่สวยงามได้ในระยะแรกของการใช้วัสดุนี้จำเป็นต้องประชาสัมพันธ์เพื่อให้ประชาชนโดยทั่วไปได้รับทราบ และไม่นำเหล็กด้านทนทานการกัดกร่อนไปใช้ในพื้นที่ใกล้ทะเลหรือบริเวณที่สัมผัสกับคลอไรด์ในปริมาณมาก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย สำหรับความอนุเคราะห์ในการทดสอบแผ่นเหล็กที่ใช้ในโครงการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] de la Fuente, D. (2022). Weathering steels. *Encyclopedia of Materials: Metals and Alloys*, 2, pp. 129-139.
- [2] Fu, J. D., Wan, S., Yang, Y., Su, Q., Han, W. W. and Zhu, Y.B. (2021). Accelerated corrosion behavior of weathering steel Q345qDNH for bridge in industrial atmosphere. *Construction and Building Materials*, 306.

- [3] Morcillo, M., Chico, B., Diaz, I., Cano, H. and de la Fuente, D. (2013). Atmospheric corrosion data of weathering steels. A review. *Corrosion Science*, 77, pp. 6-24.
- [4] Velarde, P. A. H. and Tinoco, M. A. P. (2019). Main advantages of steel in bridges construction using improved corrosion. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 6, pp. 323-327.
- [5] Sayeenathan, M. (2022). *High-Strength Weathering Steel for Bridge Construction*, SAAB.
- [6] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2562). เหล็กกล้าทรงแบนรีดร้อนที่ต้านทานการกัดกร่อนในบรรยากาศ สำหรับงานโครงสร้างเชื่อมประกอบ, มอก. 2982-2562.
- [7] Guo, X. Y., Kang, J. F., Zhu, J. S. and Duan, M. H. (2019). Corrosion behavior and mechanical property degradation of weathering steel in marine atmosphere. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31.
- [8] Alhassan, M. and Bashiru, Y. (2021). Carbon equivalent fundamentals in evaluating the weldability of microalloy and low alloy steels. *World Journal of Engineering and Technology*, 9, pp. 782-792.
- [9] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2556). วัสดุโลหะ - การทดสอบแรงดึง เล่ม 1 : การทดสอบที่อุณหภูมิห้อง, มอก. 2172 เล่ม 1-2556.
- [10] American Welding Society (2020). *Bridge Welding Code*, AASHTO/AWS D1.5/D1.5M: 2020.
- [11] American Welding Society (2014). *Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*, AWS A5.5/A5.5M: 2022.
- [12] American Welding Society (2014). *Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding*, AWS A5.29/A5.29M: 2022.
- [13] American Society of Testing Materials (2019). *Standard Practice for Contact Ultrasonic Testing of Weldments*, ASTM E164-19.
- [14] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2563). เหล็กกล้าทรงแบนรีดร้อนสำหรับงานโครงสร้างเชื่อมประกอบ, มอก. 1499-2563.