

การป้องกันการกัดกร่อนของสะพานเหล็ก PROTECTION OF STEEL BRIDGES AGAINST CORROSION

ดร.สมเกียรติ รุ่งทองใบสุรีย์

อาจารย์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

DR.SOMKIAT RUNGTHONGBAISUREE

Lecturer

KMIT Thonburi

บทคัดย่อ

การกัดกร่อนเป็นสาเหตุที่สำคัญสาเหตุหนึ่งของการชำรุดของสะพานเหล็ก สะพานที่เกิดการชำรุดอาจไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน ในการที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาการกัดกร่อนของสะพานเหล็กได้จำเป็นจะต้องทราบถึงสาเหตุต่างๆของการกัดกร่อน บทความนี้ได้รวบรวมถึงสาเหตุสำคัญๆที่ก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนของสะพานเหล็ก แนวทางในการป้องกันการกัดกร่อน เริ่มตั้งแต่ข้อพิจารณาในการออกแบบเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาการกัดกร่อน รวมไปถึงแนวทางในการบำรุงดูแลรักษาสะพานเหล็ก หลังจากที่ได้ก่อสร้างเรียบร้อยแล้ว เพื่อให้สะพานเหล็กนั้นสามารถใช้งานได้โดยปลอดภัยจากปัญหาการกัดกร่อน

SUMMARY

Corrosion deterioration of steel bridges is one of the most important causes of deficient bridge. Deficient bridge may be unsafe for public use. In order to avoid corrosion problem, various causes of corrosion deterioration should be clarified. In this paper, various causes of corrosion deterioration are pointed out. The aims of this investigation are to draw attention to design considerations to avoid corrosion problem, and to give the recommendations for bridge maintenance and inspection against corrosion.

บทนำ

ปัญหาการกีดคร่อนเริ่มได้รับความสนใจจากนักวิจัยหลังจากที่ได้พบว่า การกีดคร่อนเป็นสาเหตุที่สำคัญสาเหตุหนึ่งที่สามารถนำไปสู่การวิบัติของสะพานเหล็กได้ เช่น การวิบัติของสะพาน Clapham Junction ในปี ค.ศ. 1965 [1] และการวิบัติของสะพาน Point Pleasant ในปี ค.ศ. 1967 [2-6]

สะพานเป็นจำนวนมากได้ถูกรื้อออกและสร้างขึ้นมาใหม่เนื่องจากปัญหาการกีดคร่อน เช่น สะพาน Marlow ที่สร้างข้ามแม่น้ำเทมส์ ณ กรุงมาร์โล [7], ที่ประเทศญี่ปุ่น 64% ของสะพานที่ถูกรื้อออกและสร้างขึ้นมาใหม่เกิดจากปัญหาการกีดคร่อน [8-11] ที่ประเทศสหรัฐอเมริกาในแต่ละปีต้องสูญเสียเงินไปเป็นจำนวนถึง 30.4 ล้านดอลลาร์ เนื่องจากปัญหาการกีดคร่อนของสะพาน [12]

ในปัจจุบันได้มีการออกแบบสร้างสะพานเหล็กเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีมาตรการที่จะใช้ในการป้องกันสะพานเหล็กเหล่านี้ให้ปลอดภัยจากปัญหาการกีดคร่อน การป้องกันการกีดคร่อนของสะพานสามารถเริ่มทำได้ตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบ และหลังจากที่สะพานได้รับการออกแบบและก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วการบำรุงดูแลรักษาถือเป็นมาตรการที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่จะช่วยป้องกันสะพานเหล็กให้ปลอดภัยจากปัญหาการกีดคร่อนได้

ข้อพิจารณาในการออกแบบ

การป้องกันการกีดคร่อนของสะพานเหล็กสามารถเริ่มกระทำได้ตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบ การบำรุงดูแลรักษาสะพานหลังจากก่อสร้างแล้วจะสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ เฉพาะกรณีที่สะพานนั้นได้รับการออกแบบที่ดีเท่านั้น การออกแบบที่ดีจำเป็นต้องออกแบบให้ทุกชิ้นส่วนของสะพานนั้นสามารถที่จะเข้าไปตรวจสอบได้ตลอดเวลาที่ต้องการหลังจากที่ได้ก่อสร้างเรียบร้อยแล้ว สะพาน Point Pleasant เป็นตัวอย่างของการออกแบบที่ไม่ดีตัวอย่างหนึ่ง เนื่องจากชิ้นส่วนของสะพานที่เกิดการกีดคร่อนจนเป็นสาเหตุที่นำไปสู่การวิบัติของสะพานนั้นอยู่ในตำแหน่งที่ไม่สามารถที่จะเข้าไปตรวจสอบได้ [2] แม้ว่าชิ้นส่วนสะพานที่เป็นต้นเหตุของการวิบัตินั้นจะเกิดการกีดคร่อนมาเป็นเวลานานแล้วก็ตาม แต่ก็ไม่สามารถตรวจสอบพบได้ ถึงแม้จะมีการตรวจสอบสะพานนี้อย่างละเอียดเป็นประจำทุก ๆ 2 ปีก็ตาม

ข้อพิจารณาในการออกแบบที่ดีโดยทั่ว ๆ ไป คือควรจะต้องออกแบบให้สะพานนั้นไม่เกิดการกีดคร่อนได้ง่าย สิ่งต่าง ๆ ที่อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการกีดคร่อนควรจะพิจารณาหลักเบื้องต้นของโครงสร้างควรจะออกแบบให้สามารถเข้าได้ถึงเพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบดูแลรักษาในภายหลัง พื้นผิวของเหล็กโครงสร้างทั้งหมดควรมีมาตรการในการป้องกันการกีดคร่อนเช่น การทาสี ทุกชิ้นส่วนของสะพานควรจะออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะที่จะไม่สามารถทำให้เกิดการกีดคร่อนได้ เป็นต้น

ฐานรอง (Bearings)

ฐานรอง เป็นส่วนของสะพานที่เกิดการกัดกร่อนได้ง่ายที่สุด สาเหตุหลักเกิดจากการสะสมของดิน ทรายและสิ่งสกปรกอื่น ๆ ซึ่งมักจะหลั่งร่วงลงมาจากรอยต่อบริเวณคอสะพานหรือรอยต่อเหนือฐานรองรวมทั้งน้ำที่ไหลผ่านลงมาจากตามรอยต่อดังกล่าว

การป้องกันปัญหาดังกล่าวอาจทำได้โดยการออกแบบรอยต่อบริเวณคอสะพานหรือรอยต่อเหนือฐานรองให้เป็นรอยต่อชนิดที่น้ำไหลผ่านไม่ได้ เพื่อป้องกันไม่ให้ดิน ทราย และสิ่งสกปรกอื่น ๆ รวมทั้งน้ำไหลผ่านรอยต่อลงไปยังสะสมที่ฐานรองได้ ระดับของฐานรองควรจะต้องสูงเหนือค่อม่อพอควร เพื่อป้องกันการสะสมของสิ่งสกปรกต่าง ๆ ค่อม่อควรออกแบบให้มีความลาดเอียงเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการกักขังน้ำได้ (รูปที่ 1 [13]) นอกจากนี้การใช้ฐานรองยาง (Rubber bearing) ก็สามารถแก้ปัญหาการกัดกร่อนได้

คาน (Beams or stringers)

ปัญหาหลักที่เกิดกับคาน คือบริเวณของปีกคานมักจะเป็นที่สะสมของฝุ่น และสิ่งสกปรกต่าง ๆ รวมทั้งน้ำที่มักจะเกิดการกักขังบนปีกคานทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ง่าย เพื่อป้องกันปัญหานี้ปีกคานควรออกแบบให้มีความลาดเอียงไม่น้อยกว่า 2 องศา (รูปที่ 2 [13]) ควรหลีกเลี่ยงชิ้นส่วนโครงสร้างที่เป็นมันแหลมหรือมีขอบคม เนื่องจากส่วนของโครงสร้างที่เป็นมุมแหลมหรือมีขอบคมนั้นยากต่อการทาสี ป้องกันการกัดกร่อน (รูปที่ 3 [14]) ควรออกแบบปีกคานให้มีความกว้างเท่ากันตลอดความยาวคาน ถ้ามีความจำเป็นที่จะต้องลดขนาดของปีกคาน ควรใช้วิธีลดความหนาของปีกคานแทน ทุกส่วนของคานควรออกแบบให้มีลักษณะที่จะไม่ทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละออง ความชื้นหรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ ได้ และควรออกแบบให้อากาศสามารถถ่ายเทได้สะดวก

พื้นสะพาน (Reinforced concrete decks)

พื้นสะพานที่รั่วซึมเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรงและรวดเร็วของส่วนของโครงสร้างเหล็กที่อยู่ใต้พื้นสะพาน เนื่องจากเกลือที่สะสมอยู่บนพื้นสะพานรวมทั้งคลอไรด์ที่อยู่ในคอนกรีตสามารถละลายและไหลมากับน้ำผ่านพื้นสะพานที่รั่วซึมมายังส่วนของโครงสร้างเหล็กที่อยู่ต่ำกว่าได้ ซึ่งทั้งเกลือและคลอไรด์นั้นเป็นสารเร่งที่จะทำให้เหล็กเกิดการกัดกร่อนได้อย่างรวดเร็ว [15-17]

การออกแบบพื้นสะพานให้เป็นชนิดที่น้ำซึมผ่านไม่ได้จะช่วยป้องกันปัญหานี้ได้ พื้นสะพานควรออกแบบให้มีความลาดเอียงเพียงพอเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำขังบนผิวจราจร (รูปที่ 4 [18]) และควรมีการออกแบบระบบระบายน้ำเพื่อให้สามารถระบายออกจากพื้นสะพานได้อย่างรวดเร็วก่อนที่จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการชำรุดเสียหายของพื้นสะพานได้

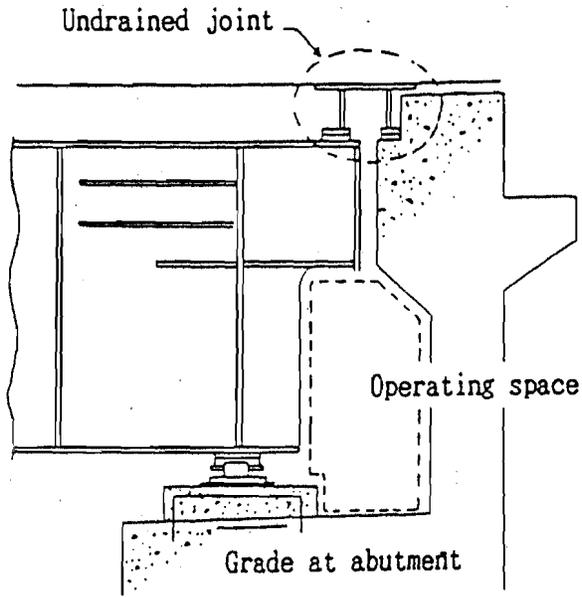


Fig. 1 Undrained joint between approach and bridge deck and grade at abutment should be provided.

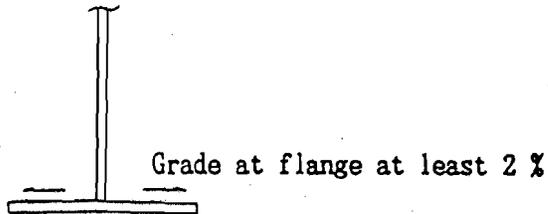


Fig. 2 Grade at flange to prevent water-traps

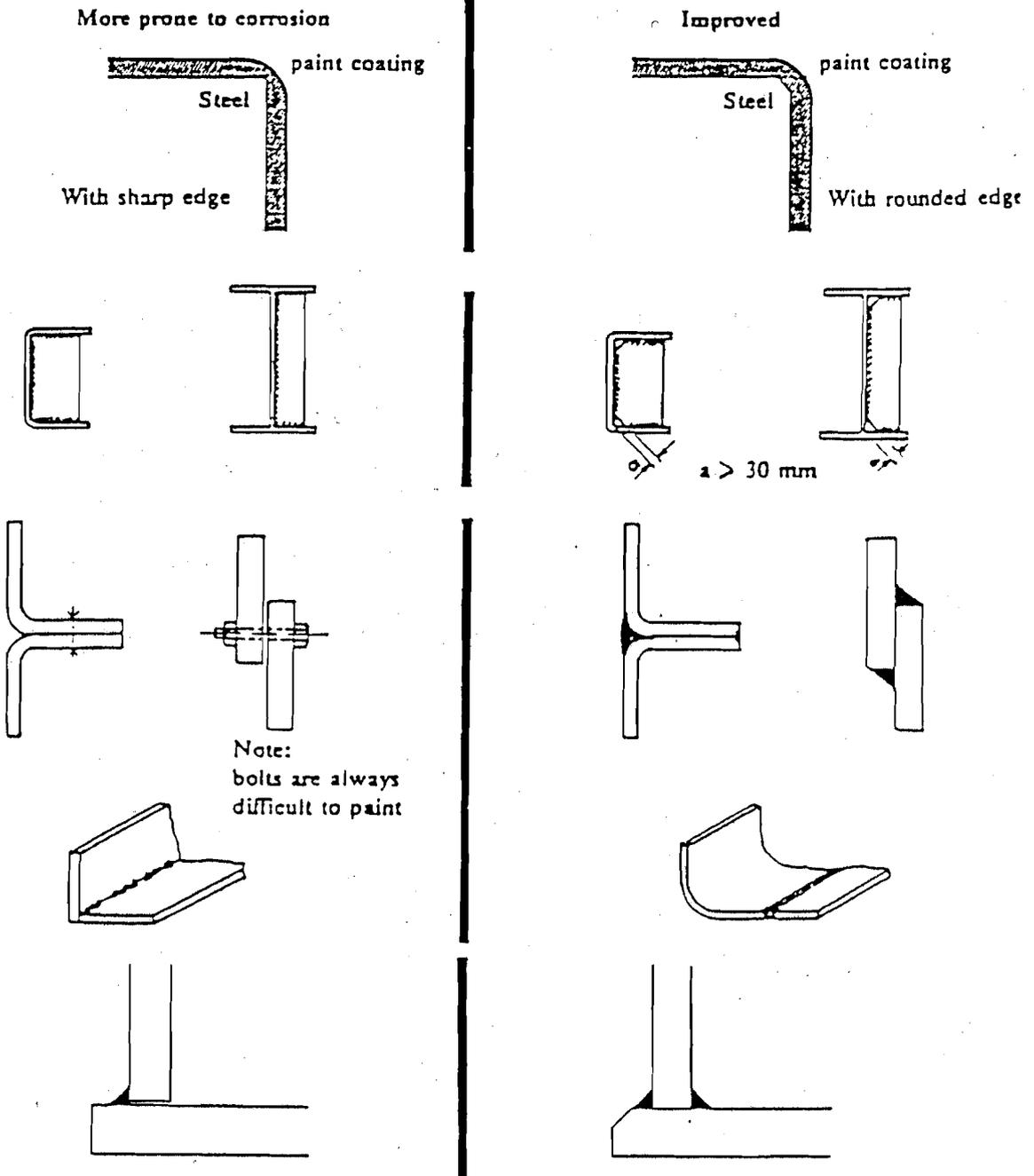
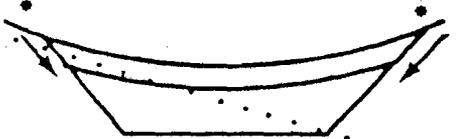
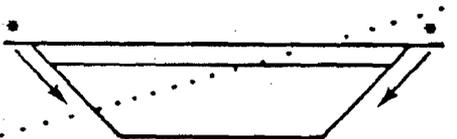


Fig. 3 Structures with rounded angles to avoid corrosion. Edges and corners are corrosion sensitive points even when protected by coating.

CASE	GRADE AT BRIDGE	RURAL PAVING (NO CURBS ON APPROACH PAVEMENT)	URBAN PAVING (CURBS ON APPROACH PAVEMENT)
A	 <p data-bbox="199 666 614 691">ONE END HIGHER THAN THE OTHER</p>	USE CATCH BASINS AT LOW END ONLY	USE CATCH BASINS AT BOTH SIDES
B	 <p data-bbox="199 859 614 884">BOTH ENDS LOWER THAN CENTER</p>	USE CATCH BASINS AT BOTH ENDS	USE CATCH BASINS AT BOTH ENDS
C	 <p data-bbox="199 1052 614 1078">BOTH ENDS HIGHER THAN CENTER</p>	USE NO CATCH BASINS. USE DRAINS ON BRIDGE DECK	USE CATCH BASINS AT BOTH ENDS AND DRAINS ON BRIDGE DECK
D	 <p data-bbox="199 1246 614 1271">FLAT GRADE</p>	USE CATCH BASINS AT BOTH ENDS ONLY WHEN NO DRAINS ARE USED ON BRIDGE DECK	USE CATCH BASINS AT BOTH ENDS

Note: Positive bridge-end drainage is required.

Fig. 4 Grade at bridge deck to prevent water-traps

แนวค้ำยันสะพาน (Deck expansion joints)

แนวค้ำยันสะพาน เป็นจุดที่มักก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับส่วนของโครงสร้างสะพานที่อยู่ต่ำกว่า เกลือคลอไรด์ที่สะสมอยู่บนสะพานจะถูกชะล้างแล้วไหลผ่านแนวค้ำยันไปยังโครงสร้างเหล็กส่วนอื่น ๆ นอกจากนี้ ฝุ่น ดิน ทราย และสิ่งสกปรกอื่น ๆ ก็จะถูกชะล้างแล้วไหลตามลงไปด้วย สิ่งสกปรกต่าง ๆ เหล่านี้จะไหลไปกับน้ำและจะไปสะสมอยู่บนโครงสร้างเหล็กส่วนอื่น ๆ เช่น บนปีกของคาน หรือบริเวณฐานรอง ซึ่งเป็นผลให้โครงสร้างเหล็กบริเวณนั้นเกิดการกัดกร่อนได้ง่าย

การป้องกันอาจทำได้หลายวิธี เช่น ออกแบบพื้นสะพานให้มีแนวค้ำยันที่สอดคล้องกับตำแหน่งที่จำเป็นต้องมีแนวค้ำยัน จะออกแบบเป็นแนวค้ำยันที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ หรืออาจมีการออกแบบติดตั้งระบบระบายน้ำที่อาจจะไหลผ่านแนวค้ำยันไปสู่ภายนอกของสะพานไม่ให้ไหลลงไปยังโครงสร้างเหล็กส่วนอื่น ๆ ได้

ช่องระบายน้ำ (Drainage holes)

การออกแบบช่องระบายน้ำจากผิวจราจรบนสะพาน หากไม่ได้มีการคำนึงถึงตำแหน่งที่เหมาะสมแล้ว ละอองน้ำจากช่องระบายน้ำเหล่านี้อาจสร้างปัญหาการกัดกร่อนให้กับโครงสร้างสะพานส่วนอื่น ๆ ได้อย่างมาก

ข้อพิจารณาในการออกแบบ คือไม่ควรจะเปิดช่องระบายน้ำให้อยู่เหนือโครงสร้างส่วนอื่น ๆ ของสะพานในแนวตั้งเดียวกัน ควรจะมีการติดตั้งท่อที่ช่องระบายน้ำโดยที่ปลายเปิดของท่อระบายน้ำควรอยู่ต่ำกว่าส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างสะพานทั้งหมด วัสดุที่ใช้ทำท่อควรจะเป็นวัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี

การบำรุงดูแลรักษาสะพาน

เหตุผลสำคัญของการบำรุงดูแลรักษาสะพานคือ เพื่อให้สะพานนั้นสามารถใช้งานได้โดยปลอดภัย การดูแลรักษาอาจทำได้หลายระดับ โดยทั่วไปแล้วการดูแลรักษาสะพานจะเกี่ยวข้องกับการทำงานสะอาด การป้องกันสะพานจากปัญหาการกัดกร่อน การซ่อมแซมส่วนของสะพานที่เกิดการชำรุดเสียหายก่อนที่จะเป็นสาเหตุทำให้สะพานวิบัติได้ การตรวจสอบสะพานนั้นนอกจากจะต้องตรวจสอบว่ามีส่วนใดเกิดการชำรุดเสียหายหรือไม่แล้ว ยังจำเป็นต้องตรวจสอบให้ทราบถึงปัญหาหรือสาเหตุที่ทำให้เกิดการชำรุดเสียหายนั้นด้วย เพื่อที่จะได้ใช้เป็นแนวทางในการป้องกันต่อไป

มาตรการสำคัญของการบำรุงดูแลรักษาสะพานสิ่งแรก คือการออกตรวจสอบสะพาน การตรวจสอบควรจะทำอย่างสม่ำเสมอ ควรมีการทำตารางรายการกำหนดวันออกตรวจสอบสะพานแต่ละสะพานอย่างชัดเจนแน่นอน การตรวจสอบโดยทั่วไปควรจะทำอย่างน้อยทุก ๆ 6 เดือน และทุก ๆ 4 ครั้งของการตรวจสอบควรจะเป็นการตรวจสอบอย่างละเอียด ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการตรวจสอบมากกว่าปกติ

เบร้ง (Bearings)

ฐานรองกึ่งชนิดยึดแน่น ยึดหมุนหรือชนิดที่เคลื่อนที่ได้ควรตรวจสอบว่ายังใช้งานได้ตามหน้าที่หรือไม่ ฐานรองที่ชำรุดอาจก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับส่วนอื่น ๆ ของสะพานได้ ฐานรองที่เกิดการกัดกร่อนต้องได้รับการแก้ไขโดยทันที เช่นนั้นแล้วไม่เพียงแต่ฐานรองเท่านั้นที่จะเกิดชำรุดเสียหายแต่ยังจะส่งผลให้ส่วนอื่น ๆ ของสะพาน เช่น เกิดการชำรุดเสียหายได้ ฝุ่น ดิน ทราย หรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ หากพบว่ามีส่วนอยู่บนฐานรองหรือบริเวณใต้เคียงควรล้างทำความสะอาดออกให้หมด หากมีน้ำขังบริเวณฐานรองควรระบายออกโดยทันทีและตรวจสอบถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดน้ำขังพร้อมทั้งดำเนินการหาวิธีป้องกันโดยเร่งด่วน

คาน (Beams or stringers)

ปัญหาที่มักเกิดกับคานในระหว่างการใช้งานของสะพานคือ การสะสมของฝุ่นและสิ่งสกปรกต่าง ๆ บนปีกคาน บริเวณผิวล่างของปีกคานควรได้รับการตรวจสอบเป็นพิเศษ เพราะเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายเนื่องจากการกลิ้งตัวของน้ำที่ผิวเหล็ก ควรตรวจสอบว่ามีส่วนใดของคานที่เกิดการกัดกร่อนเนื่องจากน้ำที่รั่วซึมจากพื้นสะพานหรือไม่ หากพบต้องรีบแก้ไขโดยด่วน สีที่ทาเหล็กต้องตรวจสอบว่ายังอยู่ในสภาพดีหรือไม่ หมุดขันและสลักเกลียวต้องอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดี และปราศจากการกัดกร่อน

สะพาน (Reinforced concrete decks)

พื้นสะพานควรได้รับการตรวจสอบว่าเกิดการชำรุด เช่น รอยร้าว รอยแตก หรือหลุดล่อนหรือไม่หากพบต้องรีบแก้ไขโดยเร่งด่วน เพราะน้ำที่ไหลผ่านรอยแตก ร้าวเหล่านี้สามารถทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างหลักที่อยู่ด้านล่างได้ ระบบระบายน้ำของสะพานทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ หากมีขยะหรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ ไปอุดช่องระบายน้ำควรทำความสะอาดให้หมด ก่อระบายน้ำหากมีต้องตรวจสอบว่าเกิดการชำรุดหรือไม่ น้ำที่ไหลผ่านท่อระบายน้ำทำให้เกิดความเสียหายกับส่วนอื่น ๆ ของสะพานหรือไม่

แนวต่อพื้นสะพาน (Deck expansion joints)

แนวต่อพื้นสะพานเป็นส่วนของสะพานที่ต้องมีไว้เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากการหดขยายตัวของพื้นสะพาน วัสดุที่ใช้อุดช่องว่างแนวต่อพื้นสะพานต้องอยู่ในสภาพที่ดีไม่ชำรุด หากพบว่ามีส่วนใดชำรุดต้องถอดออกเปลี่ยนใหม่ แนวต่อพื้นสะพานชนิดที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ ต้องตรวจสอบว่ามีน้ำรั่วซึมผ่านแนวต่อหรือไม่ สำหรับแนวต่อแบบให้น้ำไหลผ่านได้ ต้องตรวจสอบว่าน้ำที่ไหลผ่านแนวต่อนั้นไปทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างสะพานส่วนอื่น ๆ หรือไม่ หากมีต้องรีบแก้ไขโดยเร็ว

คอสสะพาน (Approaches)

คอสสะพานควรตรวจสอบว่าอยู่ระดับเดียวกับพื้นสะพานหรือไม่ ความลาดเอียงของถนนและพื้นสะพานบริเวณคอสสะพานควรต่อเนื่องกัน มิเช่นนั้นอาจทำให้เกิดน้ำหนักกระแทก (Impact load) บนพื้นสะพานบริเวณใกล้เคียงได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้พื้นสะพานชำรุดเสียหาย การทรุดตัวของถนนบริเวณคอสสะพานก็อาจทำให้เกิดน้ำหนักกระแทกได้เช่นกัน แนวต่อระหว่างถนนและพื้นสะพานต้องอยู่ในสภาพที่ดีไม่ชำรุดและไม่ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับโครงสร้างของสะพานส่วนอื่น ๆ เช่น ฐานรอง เป็นต้น

บทสรุป

การป้องกันการกัดกร่อนของสะพานเหล็กสามารถเริ่มกระทำได้ตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบ การออกแบบที่ดีจะต้องคำนึงถึงความสะดวกของการบำรุงดูแลรักษา ทุกชิ้นส่วนของสะพานจะต้องออกแบบให้เข้าได้ถึงและสามารถที่จะทำการตรวจสอบได้ทุกเวลาที่ต้องการระหว่างการใช้งาน หลังจากทีสะพานได้ก่อสร้างเสร็จและเปิดใช้งานแล้ว การป้องกันกากรัดกร่อนจะเกี่ยวข้องกับการบำรุงดูแลรักษา มาตรการที่สำคัญคือจะต้องออกทำการตรวจสอบสะพานโดยสม่ำเสมอ หากมีการออกแบบที่ดีและมีการบำรุงดูแลรักษาที่ดีแล้วสะพานนั้นก็ยังสามารถใช้งานได้โดยปลอดภัยจากปัญหาการกัดกร่อน

เอกสารอ้างอิง

1. Smith, D. W. : Bridge failures; Proc. Inst Civ. Engrs, Vol. 60, Part 1, pp367-382, Aug., 1976
2. Ogawa, K. : Planning of bridges in marine environment; Proc. of the Construction Technology Research, No. 4, pp 413-427, Feb., 1983 (In Japanese)
3. Fisher, J. W. : Fatigue and fracture in steel bridges, John Wiley & Sons, 1984
4. Kayser, J. R. and Nowak, A. S.: Evaluation of corroded steel bridges; Bridges and Transmission Line Structures, ASCE Publication, pp 35-46, 1987
5. Junichi, H. : Maintenance situation of overseas long-span bridges; The Roads, pp 105-110, July, 1989 (In Japanese)

Miki, C. : Maintenance technology of bridge structures; The Roads, pp 24-28, June, 1989 (In Japanese)

Wadsworth, H. and Waterhouse, A. : Modern techniques and problems in the restoration of Marlow Suspension Bridge; Proc. ICE, Vol. 37, pp 297-316, June, 1967

Nishimura, A. : Durability of steel structures; JSSC Vol. 5, No. 47, pp 1-14, 1969 (In Japanese)

Report on the investigation on durability of steel structures; JSSC Vol.5, No. 39, pp 1-30, 1969 (In Japanese)

1. Corrosion characteristics and corrosion prevention of Honshu-Shikoku Connecting Bridge; Report of the Honshu-Shikoku connecting Bridge Research Group, March, 1973 (In Japanese)
1. Narita, N. : The new concept of road bridge, design-survival; Dobuku Gijutsu Shiryo, Vol. 24, No. 10, pp 509-510, 1989 (In Japanese)
2. Tracy, A. W. : ASTM. STP, No. 175, 65, 1955
3. Rungthongbaisuree, S. : Fundamental investigations on corrosion deterioration of steel structures; Doctoral dissertation, Dept. of Civil Engineering, Kyoto University, 305 pp, Dec., 1990
4. Protection of steel structures against corrosion by coatings; Publication of ECCS-Technical Committee 4-Corrosion, First edition, 1987
5. Brueke, N. and Bushman, J. : Corrosion and cathodic protection of steel reinforced concrete bridge decks; Publication No. FHWA-IP-88-007, Federal Highway Administration, Dec., 1988
16. Cavalier, P. and Vassie, P. : Investigation and repair of reinforcement corrosion in a bridge deck; Proc.Instn Civ.Engrs, Vol. 70, Part 1, pp 461-480, Aug., 1989

17. Seki, H., Matsui, K., Matsushima, M., and Kaneko, Y. : Chloride-induced damage evaluation of concrete bridges ; Proc. of JSCE No. 402/v-10, pp 179-188, Feb., 1989

18. Woo, D. : Bridge drainage system needs criteria ; Public Roads, Vol. 52, No. 2, pp 29-36, Sept., 1988