

การป้องกันการกัดกร่อนของสะพานเหล็ก PROTECTION OF STEEL BRIDGES AGAINST CORROSION

ดร.สมเกียรติ อุ่งทองใบสุธี

อาจารย์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

DR.SOMKIAT RUNGTHONGBAISUREE

Lecturer
KMIT Thonburi

บทคัดย่อ

การกัดกร่อนเป็นสาเหตุที่สำคัญสาเหตุหนึ่งของการชำรุดของสะพานเหล็ก สะพานที่เกิดการชำรุดอาจไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน ในกรณีจะหลักเลี้ยงปั๊หาการกัดกร่อนของสะพานเหล็กได้ร้าบเป็นจะต้องทราบดึงสาเหตุค่างๆของ การกัดกร่อน บทความนี้ได้รวบรวมถึงสาเหตุสำคัญๆที่ก่อให้เกิดปั๊หาการกัดกร่อนของสะพานเหล็ก แนวทางในการป้องกันการกัดกร่อน เวิ่งตั้งแต่ข้อพิจารณาในการออกแบบเพื่อที่จะหลักเลี้ยงปั๊หาการกัดกร่อน ไปถึงแนวทางในการบำรุงดูแลรักษาสะพานเหล็ก หลังจากที่ได้ก่อสร้างเรียบร้อยแล้ว เพื่อกำชับให้สะพานเหล็กนั้นสามารถใช้งานได้โดยปลอดภัยจากปั๊หาการกัดกร่อน

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

ปัญหาการกัดกร่อนเริ่มได้รับความสนใจจากนักวิจัยหลังจากที่ได้พบว่า การกัดกร่อนเป็นสาเหตุที่สำคัญสาเหตุหนึ่งที่สามารถนำไปสู่การวินิจฉัยของสะพานเหล็กได้ เช่น การวินิจฉัยของสะพาน Clapham Junction ในปี ค.ศ. 1965 [1] และการวินิจฉัยของสะพาน Point Pleasant ในปี ค.ศ. 1967 [2-6]

สะพานเป็นจั่วนวนมากได้ถูกรื้อออกและสร้างขึ้นใหม่เนื่องจากปัญหาการกัดกร่อน เช่น สะพาน Marlow ที่สร้างขึ้นมาแม้แต่เกณฑ์ ณ. กรุงมาร์โล [7] ก็ประทे�ศที่ปูน 64% ของสะพานที่ถูกรื้อออกและสร้างขึ้นใหม่เกิดจากปัญหาการกัดกร่อน [8-11] ก็ประทे�ศสหราชอาณาจักรในแต่ละปีต้องสูญเสียเงินไปเป็นจำนวนถึง 30.4 ล้านเหรียญสหราชอาณาจักร เนื่องจากปัญหาการกัดกร่อนของสะพาน [12]

ในปัจจุบันได้มีการออกแบบสร้างสะพานเหล็กเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ จึงเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีมาตรการที่จะใช้ในการป้องกันสะพานเหล็กเหล่านี้ให้ปลอดภัยจากปัญหาการกัดกร่อน การป้องกันการกัดกร่อนของสะพานสามารถเริ่มทำได้ด้วยการลดข้อตอนของการออกแบบ และหลังจากที่สะพานได้รับการออกแบบและก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วการบำรุงดูแลรักษาต้องเป็นมาตรการที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่จะช่วยป้องกันสะพานเหล็กให้ปลอดภัยจากปัญหาการกัดกร่อนได้

ข้อพิจารณาในการออกแบบ

การป้องกันการกัดกร่อนของสะพานเหล็กสามารถเริ่มกระทำได้ดังนี้ด้วยการลดข้อตอนของการออกแบบ การบำรุงดูแลรักษาสะพานหลังจากก่อสร้างแล้วจะสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนhalbการนี้ที่สะพานนี้ได้รับการออกแบบที่ดีเท่านั้น การออกแบบที่ดีจะเป็นต้องออกแบบให้ทุกชิ้นส่วนของสะพานนั้นสามารถที่จะเข้าไปตรวจสอบได้ทุกเวลาที่ต้องการหลังจากที่ได้ก่อสร้างเรียบร้อยแล้ว สะพาน Point Pleasant เป็นตัวอย่างของการออกแบบที่ไม่ดีด้วยอย่างหนึ่ง เนื่องจากนี้ส่วนของสะพานที่เกิดการกัดกร่อนจะเป็นสาเหตุที่นำไปสู่การวินิจฉัยของสะพานนั้นและในตำแหน่งที่ไม่สามารถที่จะเข้าไปตรวจสอบได้ [2] จนว่ามีส่วนของสะพานที่เป็นต้นเหตุของการวินิจฉัยจะเกิดการกัดกร่อนมาเป็นเวลานานแล้วก็ตาม และที่ไม่สามารถตรวจสอบบนได้ อันนี้จะมีการตรวจสอบสะพานนี้อย่างละเอียดเป็นประจำทุก ๆ 2 ปีก็ตาม

ข้อพิจารณาในการออกแบบที่ดีโดยทั่วไป คือควรจะออกแบบให้สะพานนี้ไม่เกิดการกัดกร่อนได้ง่าย ลังค้าง ๆ ก็อาจเป็นสาเหตุที่เกิดการกัดกร่อนคร่าวจะพิจารณาหลักเลี้ยง ทุกชิ้นส่วนของโครงสร้างควรจะออกแบบให้สามารถเข้าได้ถึงเพื่อบรรยากาศในการตรวจสอบดูแลรักษาในภายหลัง ทั้งนี้ผู้ของเหล็กโครงสร้างทั้งหมดควร มีมาตรการในการป้องกันการกัดกร่อนเช่น การทาสี ทุกชิ้นส่วนของสะพานควรจะออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะที่จะไม่สามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ เป็นต้น

ฐานรอง (Bearings)

ฐานรอง เป็นส่วนของสะพานที่เกิดการกัดกร่อนได้ง่ายที่สุด สาเหตุหลักเกิดจากการสะสมของดิน กระยะและลิ่งสกปรกอื่น ๆ ซึ่งมักจะหล่อร่องลงมาจากรอยต่อบริเวณขอบสะพานหรือรอยต่อเนื่องฐานรองรวมกับน้ำที่ไหลผ่านลงมาตามรอยต่อตั้งกล่าว

การป้องกันปีกหานดังกล่าวอาจทำได้โดยการออกแบบบรรยายต่อไปนี้ เช่น การออกแบบสะพานหรือรอยต่อเนื่องฐานรองให้เป็นรอยต่อชนิดที่น้ำไหลผ่านไม่ได้ เพื่อป้องกันน้ำที่ดิน กระยะ และลิ่งสกปรกอื่น ๆ รวมทั้งน้ำที่ไหลผ่านรอยต่อลงไปสะสมที่ฐานรองได้ ระดับของฐานรองควรจะอยู่สูงเหนือตอนน้ำพื้นที่ เพื่อป้องกันการสะสมของลิ่งสกปรกค้าง ความม่อคระออกแบบให้มีความลาดเอียงเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการกัดลึกลงน้ำได้ (รูปที่ 1 [13]) นอกจากนี้ การใช้ฐานรองยาง (Rubber bearing) ก็สามารถกีดขวางการกัดกร่อนได้

คาน (Beams or stringers)

ปีกหานหลักที่เกิดกับคาน คือบริเวณของปีกคานมักจะเป็นที่สะสมของฝุ่น และลิ่งสกปรกค้าง ๆ รวมกับน้ำที่มักจะเกิดการกัดลึกลงบนปีกคานทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ง่าย เพื่อป้องกันปีกหานนี้ปีกคานควรจะออกแบบให้มีความลาดเอียงไม่น้อยกว่า 2 องศา (รูปที่ 2 [13]) ควรหลีกเลี่ยงชั้นส่วนของโครงสร้างที่เป็นมุนแนลมหรือมีขอบคม เนื่องจากส่วนของโครงสร้างที่เป็นมุนแนลมหรือมีขอบคมนั้นหากต่อการทาสี ป้องกันการกัดกร่อน (รูปที่ 3 [14]) ควรจะออกแบบปีกคานให้มีความกว้างเท่ากับผลลัพธ์ความพยายาม ถ้ามีความจำเป็นที่จะต้องลดขนาดของปีกคาน ควรใช้วิธีลดความหนาของปีกคานแทน ทุกส่วนของคานควรจะออกแบบให้มีลักษณะที่จะไม่ทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นและอ่อง ความชื้นหรือลิ่งสกปรกค้าง ๆ ได้ และควรจะออกแบบให้อากาศสามารถถ่ายเทได้สะดวก

พื้นสะพาน (Reinforced concrete decks)

พื้นสะพานที่ร้าวซึมเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรงและรวดเร็วของส่วนของโครงสร้างเหล็กที่อยู่ใต้พื้นสะพาน เนื่องจากเกลือที่สะสมอยู่บนพื้นสะพานรวมทั้งคลอรไรด์ที่อยู่ในคอนกรีตสามารถละลายและไหลมาติดกับผ่านพื้นสะพานที่ร้าวซึมมากยังส่วนของโครงสร้างเหล็กที่อยู่ต่ำกว่าได้ ซึ่งทั้งเกลือและคลอรไรด์นั้นเป็นสารเร่งที่จะทำให้เหล็กเกิดการกัดกร่อนได้อย่างรวดเร็ว [15-17]

การออกแบบพื้นสะพานให้เป็นชนิดที่น้ำซึมผ่านไม่ได้จะช่วยป้องกันปีกหานน้ำได้ พื้นสะพานควรจะออกแบบให้มีความลาดเอียงเพียงพอเมื่อป้องกันน้ำที่น้ำซึมผิวน้ำ (รูปที่ 4 [18]) และควรมีการออกแบบระบบระบายน้ำเพื่อให้น้ำสามารถระบายน้ำออกจากพื้นสะพานได้อย่างรวดเร็วที่จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการชำรุดเสื่อมหายของพื้นสะพานได้

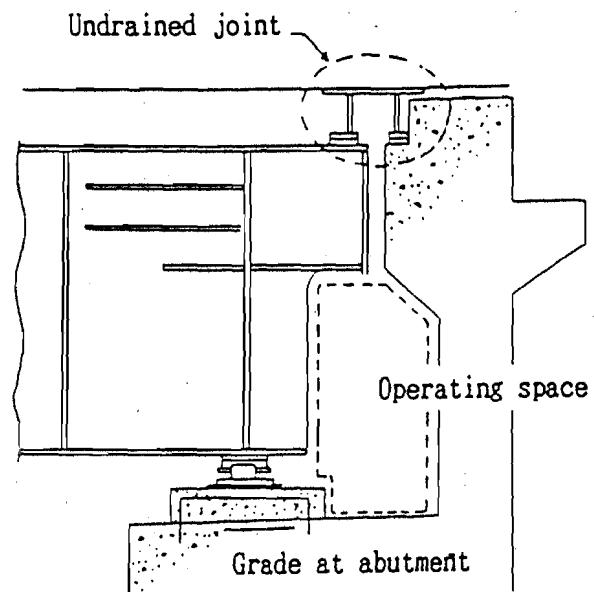


Fig. 1 Undrained joint between approach and bridge deck and grade at abutment should be provided.

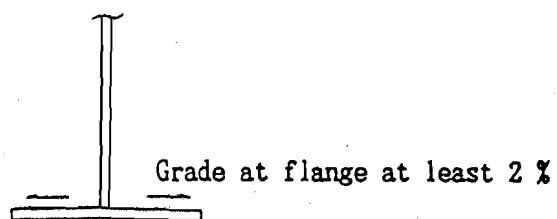
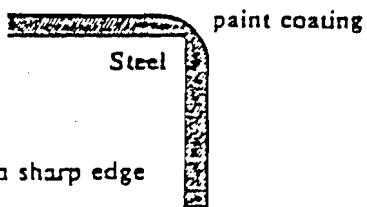
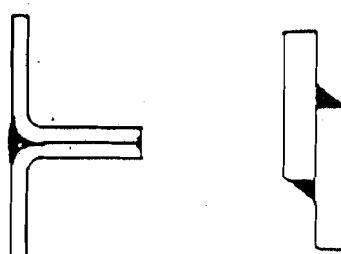
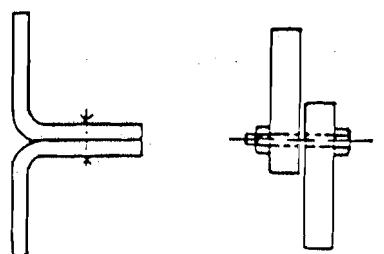
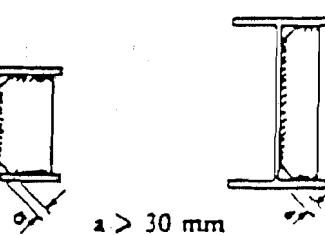
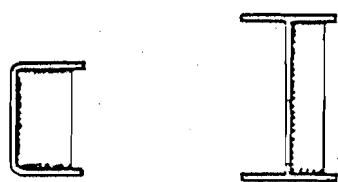
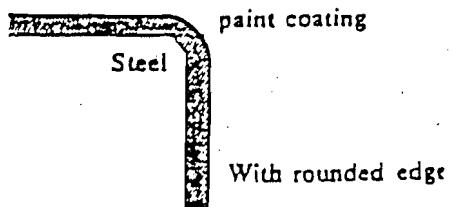


Fig. 2 Grade at flange to prevent water-traps

More prone to corrosion**Improved**

Note:
bolts are always
difficult to paint

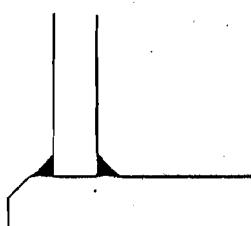
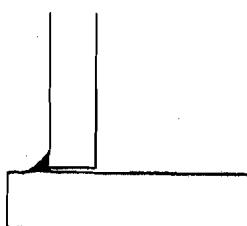
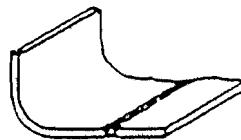
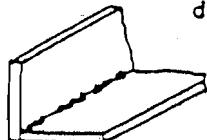
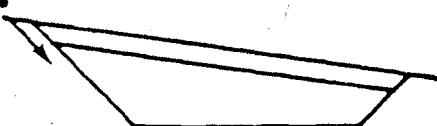
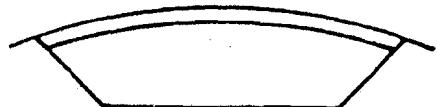
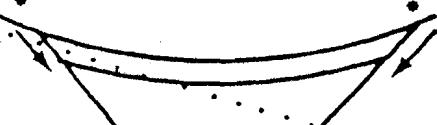
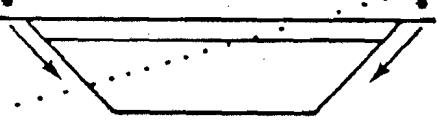


Fig. 3 Structures with rounded angles to avoid corrosion. Edges and corners are corrosion sensitive points even when protected by coating.

CASE	GRADE AT BRIDGE	RURAL PAVING (NO CURBS ON APPROACH PAVEMENT)	URBAN PAVING (CURBS ON APPROACH PAVEMENT)
A	 ONE END HIGHER THAN THE OTHER	USE CATCH BASINS AT LOW END ONLY	USE CATCH BASINS AT BOTH SIDES
B	 BOTH ENDS LOWER THAN CENTER	USE CATCH BASINS AT BOTH ENDS	USE CATCH BASINS AT BOTH ENDS
C	 BOTH ENDS HIGHER THAN CENTER	USE NO CATCH BASINS. USE DRAINS ON BRIDGE DECK	USE CATCH BASINS AT BOTH ENDS AND DRAINS ON BRIDGE DECK
D	 FLAT GRADE	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

แนวต่อหินสะพาน (Deck expansion joints)

แนวต่อหินสะพาน เป็นจุดที่มักก่อให้เกิดปัญหากับส่วนของโครงสร้างสะพานที่อยู่ต่ำกว่า เกลือคลอไรค์ที่จะสมออยู่บนสะพานจะถูกซักล้างแล้วไหหล่อผ่านแนวต่อหินไปยังโครงสร้างเหล็กส่วนอื่น ๆ นอกจากนี้ ฝัน ติ่น กระษ และลิ่งสักปรากอื่น ๆ ก็จะถูกซักล้างแล้วไหหล่อตามลงไปด้วย สิ่งสักปรากต่าง ๆ เหล่านี้จะไหหลีบกันแน่นและจะไปประสานอยู่บนโครงสร้างเหล็กส่วนอื่น ๆ เช่น บนปีกของคาน หรือบริเวณฐานรอง ซึ่งเป็นผลให้โครงสร้างเหล็กบริเวณนั้นเกิดการกัดกร่อนได้ง่าย

การป้องกันอาจทำได้หลายวิธี เช่น ออกแบบแนวต่อหินให้มีแนวต่อหินอ้อยที่สูงค่าแห่งที่จำเป็นต้องมีแนวต่อค่าวจะออกแบบเป็นแนวต่อชนิดที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ หรืออาจมีการออกแบบติดตั้งระบบระบายน้ำที่อาจจะไหหล่อผ่านแนวต่อหอกไปปลุกภัยนกของสะพานไม่ให้ไหหลงไปยังโครงสร้างเหล็กส่วนอื่น ๆ ได้

ช่องระบายน้ำ (Drainage holes)

การออกแบบช่องระบายน้ำจากผิวน้ำบนสะพาน หากไม่ได้มีการคำนึงถึงค่าแห่งที่เหมาะสมแล้ว จะออกน้ำจากช่องระบายน้ำเหล่านี้อาจสร้างปัญหาการกัดกร่อนให้กับโครงสร้างสะพานส่วนอื่น ๆ ได้อ่องมาก

ข้อพิจารณาในการออกแบบ คือไม่ควรจะเปิดช่องระบายน้ำให้อยู่เหนือโครงสร้างส่วนอื่น ๆ ของสะพานในแนวตั้งเดียวกัน ควรจะมีการติดตั้งท่อที่ช่องระบายน้ำโดยที่ปลายน้ำจะต้องห่อระบายน้ำห่างกว่าส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างสะพานทั้งหมด วัสดุที่ใช้ทำท่อควรจะเป็นวัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี

การบำรุงดูแลรักษาสะพาน

เหตุผลสำคัญของการบำรุงดูแลรักษาสะพานคือ เพื่อให้สะพานนั้นสามารถใช้งานได้โดยปลอดภัย การดูแลรักษาอาจทำได้หลายระดับ โดยทั่วไปแล้วการดูแลรักษาสะพานจะเกี่ยวข้องกับการทำความสะอาด การป้องกันสะพานจากปัญหาการกัดกร่อน การซ่อมแซมส่วนของสะพานที่เกิดการชำรุดเสื่อยหายก่อนที่จะเป็นสาเหตุทำให้สะพานวิบัติได้ การตรวจสอบสะพานนั้นนอกจากจะต้องตรวจสอบครุ่นว่ามีส่วนใดที่เกิดการชำรุดเสื่อยหายหรือไม่นแล้ว ยังจำเป็นจะต้องตรวจสอบให้ทราบถึงปัญหาหรือสาเหตุที่ทำให้เกิดการชำรุดเสื่อยหายนั้นด้วย เพื่อกำจัดสาเหตุที่เป็นแนวทักษะในการป้องกันต่อไป

มาตรการสำคัญของการบำรุงดูแลรักษาสะพานล้วนแรก คือการออกแบบตรวจสอบโครงสร้าง การตรวจสอบความคงทนของส่วนต่างๆ ความมีการท่าทางร่างกายการก้าวหน่วงวันออกตรวจสอบสะพานแต่ละสะพานอย่างชัดเจนนั่นเอง การตรวจสอบโดยทั่วไปควรจะกระทำการท่องน้ำอย่างน้อยทุก ๆ 6 เดือน และทุก ๆ 4 ครั้งของการตรวจสอบควรจะเป็นการตรวจสอบอย่างละเอียด ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการตรวจสอบมากกว่าปกติ

ฐานรองทั้งชนิดอัดแน่น อิฐมุนหนรือชนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Bearings)

ฐานรองทั้งชนิดอัดแน่น อิฐมุนหนรือชนิดที่เคลื่อนที่ได้ควรจะตรวจสอบว่าซึ่งไฉ้งงานได้ด้านหน้าที่หรือไม่ ฐานที่ใช้อาจก่อให้เกิดปัญหาภัยส่วนอื่น ๆ ของสะพานได้ ฐานรองที่เกิดการกัดกร่อนต้องได้รับการแก้ไขโดยไม่ เช่นนี้แล้วนี่เป็นอย่างเดียวที่ฐานรองเท่านั้นที่จะเกิดชำรุดเสียหายแต่สังจะส่งผลให้ส่วนอื่น ๆ ของสะพาน เช่น การกัดกร่อนจะทำให้ฐานรองหักตัวไป ทำให้สะพานไม่สามารถเดินทางได้ หรือสูงสุดที่สุด หากพบว่ามีสะสนธิอยู่บนฐานรองหรือบริเวณเดียวกันนี้ เช่นเดียวกันให้แก้ไขโดยทันที หากมีน้ำขังบริเวณฐานรองควรยกทันทีและตรวจสอบดังสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้น รวมถึงความสะอาดของฐานรอง

บalk (Beams or stringers)

ปัญหาที่มักเกิดกับคนในระบบท่วงการใช้งานของสะพานคือ การสะสนธิของบalk และลิ้งสักปรกต่าง ๆ บalk คือ รากผู้ล่างของปึกคานควรได้รับการตรวจสอบเป็นพิเศษ เนื่องจากการกัดกร่อนได้จาง่ายเนื่องจากการกลับตัวของน้ำที่ผิวน้ำ ควรตรวจสอบว่ามีส่วนใดของคานที่เกิดการกัดกร่อนเนื่องจากน้ำที่รั่วซึมจากหน้าที่ของสะพานหรือไม่ หากต้องรื้อบalk ทั้งคัน ลักษณะเดียวกันต้องตรวจสอบว่าซึ่งอยู่ในสภาพดีหรือไม่ หมุดยึดและล็อกเกลือด้าต้องอยู่ในสภาพดีใช้งานได้ดี และปราศจากการกัดกร่อน

สะพาน (Reinforced concrete decks)

หันส่วนควบคุมการได้รับการตรวจสอบว่าเกิดการชำรุด เช่น รอยร้าว รอยแยก หรือหลุดล่อนหรือไม่ หากพบต้องแก้ไขโดยเร่งด่วน เพราะน้ำที่ไหลผ่านร่องรอยแตกร้าวเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างหลักที่อยู่ด้านล่างได้ ระบบระบายน้ำของสะพานท่าน้ำที่ได้อ่ายมีประสิทธิภาพหรือไม่ หากมีช่องร่องสักปรกติ ท่าน้ำที่รั่วซึมต้องตรวจสอบดูว่าเกิดการชำรุดหรือไม่ ท่าน้ำที่ไม่สามารถผ่านต่อไปได้ หรือระบบหัวน้ำหักตัวไม่สามารถผ่านต่อไปได้ หันส่วนของสะพานหรือไม่

แนวต่อพื้นสะพาน (Deck expansion joints)

แนวต่อพื้นสะพานเป็นส่วนของสะพานที่ต้องมีไว้เพื่อบองกันความเสียหายที่อาจเกิดจากการหดหดขยายด้วยของพื้นที่ วัสดุที่ใช้ต้องช่องว่างแนวต่อพื้นสะพานต้องอยู่ในสภาพที่ดีไม่ชำรุด หากพบว่ามีส่วนใดชำรุดต้องถอนออก ปล่อยใหม่ แนวต่อพื้นสะพานชนิดที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ ต้องตรวจสอบว่ามีน้ำรั่วซึมผ่านแนวต่อพื้นหรือไม่ สำหรับแนวต่อพื้นที่อยู่บนพื้นที่ไม่หล่อผ่านได้ ต้องตรวจสอบว่ามีน้ำที่ไหลผ่านแนวต่อพื้นไปทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างสะพานส่วนอื่น ๆ หรือไม่ หากมีช่องร่องรื้อบalk ทันที

គេវត្ថាន (Approaches)

บกส์รป

การบังการการกัดกร่อนของสะพานเหล็กสามารถเริ่มกระทำได้ตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบ การออกแบบที่ดีจะต้องคำนึงถึงความสำคัญของการบำรุงรักษา ทุกชิ้นส่วนของสะพานจะต้องออกแบบให้เข้าใจดีและสามารถก่อสร้างได้ทุกเวลาที่ต้องการระหว่างการใช้งาน หลังจากที่สะพานได้ก่อสร้างเสร็จและเปิดใช้งานแล้ว การบังการการกัดกร่อนจะเกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษา มาตรการที่สำคัญคือจะต้องออกทำการตรวจสอบสะพานโดยสม่ำเสมอ หากมีการออกแบบที่ดีและมีการบำรุงรักษาที่ดีแล้วสะพานนั้นก็จะสามารถใช้งานได้โดยปลอดภัยจากการกัดกร่อน

ເອກສາຣອ້າງອິນ

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. Runghthongbaisuree, 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

6. 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