

การเปรียบเทียบพฤติกรรมของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในสะพานคอนกรีตอัดแรง เมื่อรับน้ำหนักของรถบรรทุกไทยตามข้อกำหนดใหม่ของกรมทางหลวง และรถบรรทุกตามมาตรฐานของสมาคมทางและการขนส่งสหรัฐอเมริกา (AASHTO-HL93)

Comparison of stresses analyses on the prestressed concrete bridge subjected to Thai trucks according to the Department of Highway's Regulation and the AASHTO standard truck

อัฐวิทย์ สุจริตพงศ์^{1,*} วรียส ธีรคุลย์กุล^{2,*} และ ภูมิเกียรติ สว่างวงศ์³

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ.กรุงเทพมหานคร

³สาขาวิชาเทคโนโลยีโยธาและสถาปัตยกรรม คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ จ.ศรีสะเกษ

*Corresponding author; E-mail address asujaritpong@yahoo.com, wareeyot.t@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอความแตกต่างของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในสะพานคอนกรีตอัดแรง เมื่อรับน้ำหนักของรถบรรทุกไทยที่ประกาศใช้ใหม่ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง และรถบรรทุกตามมาตรฐานของสมาคมทางหลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกา เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยมีการกำหนดให้ใช้น้ำหนักบรรทุกที่หลากหลายตามประกาศใหม่ของกรมทางหลวงสำหรับการออกแบบสะพาน ส่วนการออกแบบสะพานแบบดั้งเดิมจะอ้างอิงจากมาตรฐานของสมาคมทางหลวงและการขนส่งอเมริกาก็อย่างแพร่หลาย โดยนำเอาน้ำหนักบรรทุกและค่าตัวคูณกำลัง รวมทั้งทั้งวิธีการออกแบบมาใช้งาน ทั้งนี้การศึกษาจะใช้วิธีการจำลองโครงสร้างสะพานคอนกรีตอัดแรงแบบต่อเนื่องสามช่วงสะพาน ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์รับน้ำหนักบรรทุกไทยตามประกาศของกรมทางหลวงที่ประกาศใช้ใหม่และน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐานของสมาคมทางหลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกา โดยกำหนดให้น้ำหนักกระทำบนสะพานที่มีความยาวช่วงเท่ากับ 35 เมตร จำนวน 3 ช่วง ความยาวสะพานรวมทั้งหมดเท่ากับ 105 เมตร พร้อมเปรียบเทียบพฤติกรรมของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในสะพานคอนกรีตอัดแรงกับค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ เพื่อศึกษาความเหมาะสมของการกำหนดน้ำหนักบรรทุกและการนำมาปรับใช้สำหรับการออกแบบสะพานในประเทศไทย

คำสำคัญ: โครงสร้างสะพาน, คอนกรีตอัดแรง, น้ำหนักบรรทุกมาตรฐานกรมทางหลวง, น้ำหนักบรรทุกมาตรฐานของสมาคมทางหลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกา

Abstract

This paper presents a comparison of stresses on the prestressed concrete bridge subjected to truck loads according to new regulations announced by the department of highway

and the AASHTO standard truck. In these regulations, various types of truck loads were allowed to use in bridge design while the AASHTO standard truck loads were widely used for the existing bridges. The three-span of prestressed concrete bridges were simulated and analyzed by the finite element method. These models were subjected to the loads according to new regulations announced by the department of highway and AASHTO standard truck. The bridge models have spans of 35 meters and the total length is 105 meters. The analyses were carried out to determine the stresses induced in the cross-section of a prestressed concrete bridge and then compared to the allowable stresses. The conclusions were made for each type of truck loads which can affect the serviceability of the bridge.

Keywords: Structural bridge, Prestressed concrete, Truck load according to the Department of Highway, AASHTO standard truck loads

1. บทนำ

ในอดีตที่ผ่านมากรมทางหลวงได้มีประกาศ เรื่อง การกำหนดพิถันน้ำหนักของรถบรรทุกสิบล้อ ตั้งแต่ก่อนปี พ.ศ. 2519 จนถึงปี พ.ศ. 2548 นั้น ต่อมารถบรรทุกในประเทศไทยได้มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้นจึงได้มีประกาศผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดิน และผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน ฉบับที่ 1 ถึง 8 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ถึง 2558 [1-8] เรื่องห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักลงเพลาเกินกว่าที่ได้กำหนด หรือโดยที่ยานพาหนะนั้นอาจทำให้ทางหลวงเสียหายจากการสัญจรบนทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดิน และทางหลวงสัมปทาน ซึ่งมีผลบังคับใช้กับรถกึ่งพ่วง 6 เพลา 22 ล้อ และกำหนดพิถัน

น้ำหนักของรถพ่วง 7 เพลา 24 ล้อ แต่เนื่องจากสะพานเดิมในประเทศไทย ที่ได้มีการก่อสร้างเสร็จก่อนมีประกาศดังกล่าวยังคงรับน้ำหนักบรรทุกตาม การออกแบบตามมาตรฐานของสมาคมทางหลวงและการขนส่ง สหรัฐอเมริกา ด้วยวิธีตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกใช้งานแบบเดิม และต่อมา ได้มีการกำหนดวิธีการออกแบบและน้ำหนักบรรทุกใหม่ เรียกว่า วิธีตัวคูณ เพิ่มและความต้านทานน้ำหนัก HL-93 [9] ซึ่งประกอบด้วย น้ำหนัก ยุทโธปกรณ์ (Tandem Load) น้ำหนักบรรทุก (Truck Load) และ น้ำหนักช่องจราจร (Lane Load) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาความ แตกต่างของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในสะพานคอนกรีตอัดแรง เมื่อรับน้ำหนัก บรรทุกแต่ละประเภทตามประกาศต่าง ๆ ใหม่ของกรมทางหลวงและ น้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐานการกำหนดวิธีการออกแบบและน้ำหนัก บรรทุกใหม่ของสมาคมทางหลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกา และนำผลที่ ได้จากการวิจัยมาวิเคราะห์ความเหมาะสมของการกำหนดน้ำหนัก บรรทุก และปรับใช้สำหรับการออกแบบสะพานในประเทศไทย โดย พิจารณาจากสภาวะการใช้งานของโครงสร้างเดิมเป็นหลัก

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นภายในสะพาน คอนกรีตอัดแรง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการรับน้ำหนักบรรทุกตามประกาศ ต่าง ๆ ของกรมทางหลวงและน้ำหนักบรรทุก HL-93 ตามมาตรฐานของ สมาคมทางหลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกาเทียบกับค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ของคอนกรีต ลวดอัดแรง และเหล็กเสริม โดยการจำลองโครงสร้างสะพาน คอนกรีตอัดแรงแบบต่อเนื่องสามช่วงสะพาน ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พร้อมทั้งเสนอความเหมาะสมของการกำหนดน้ำหนักบรรทุกไทย เพื่อนำมาปรับใช้สำหรับการออกแบบสะพาน

3. ทบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษางานวิจัยและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการ ออกแบบสะพาน และการรับน้ำหนักบรรทุกไทยและน้ำหนักบรรทุกตาม มาตรฐานของสมาคมทางหลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกา พร้อมทั้งการใช้ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการจำลองโครงสร้างสะพาน มีรายละเอียด ดังนี้

Tabsh, S. W. and Tabatabai, M. (2544) [10] งานวิจัยศึกษา น้ำหนักของรถบรรทุกที่ไม่มีประกาศใช้งานตามกฎหมายและมีขนาดเกิน กว่าที่กำหนด ซึ่งไม่สามารถคำนวณด้วยวิธีตัวคูณความต้านทานและ น้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐานของสมาคมทางหลวงและการขนส่ง สหรัฐอเมริกา สำหรับสะพาน 126 แห่ง เพื่อพัฒนาค่าตัวแปรการกระจาย น้ำหนักบนสะพานอย่างง่าย จากผลการวิเคราะห์เมื่อเพิ่มความกว้างของล้อ รถบรรทุกทำให้ค่าตัวแปรการกระจายน้ำหนักมีค่าลดลง และส่งผลต่อแรง เฉือนมากกว่าโมเมนต์ดัด โดยเฉพาะคานรองรับสะพานที่มีระยะห่างมาก ส่วนคานรองรับสะพานที่มีระยะห่างน้อยจะไม่ได้รับผลกระทบ เนื่องจากล้อ รถบรรทุกจะกระทำต่อพื้นที่รับแรงของคานรองรับเดียวเสมอ

กรรณิการ์ ริมตุลิต และ สมโพธิ์ วิวิธเกตุรงค์ (2548) [11] งานวิจัย ศึกษาการออกแบบสะพานในประเทศไทย ที่มีการนำน้ำหนักบรรทุกตาม

มาตรฐานของสมาคมทางหลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกามาใช้ แต่ เนื่องด้วยรถบรรทุกที่มีการใช้งานของประเทศไทยหรือรถสิบล้อ มีลักษณะ รูปร่าง น้ำหนักบรรทุก และน้ำหนักของเพลาคู่ที่แตกต่างไปจากมาตรฐานที่ นำมาใช้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของสะพานนั้น ๆ ทั้งนี้ใน การศึกษามุ่งเน้นเพื่อคำนวณหาและเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน สูงสุดสมบูรณ์ โดยไม่รวมแรงกระทำและค่าการกระจายน้ำหนักของล้อ สำหรับสะพานช่วงเดียวที่มีความยาวช่วงเท่ากับ 10 ถึง 38 เมตร รับน้ำหนัก บรรทุกสิบล้อและรถบรรทุกตามมาตรฐานของสมาคมทางหลวงและการ ขนส่งสหรัฐอเมริกา จากผลการศึกษาพบว่า รถบรรทุกสิบล้อ น้ำหนักบรรทุก รวมไม่เกิน 26, 28 และ 35 ตัน เกิดค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนสมบูรณ์ มากกว่าน้ำหนักบรรทุกประเภท HS20-44 ตามมาตรฐานของสมาคมทาง หลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกาในทุกความยาวช่วงสะพาน และเมื่อ เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนสูงสุดสมบูรณ์มีค่ามากกว่าเท่ากับ 20.80 และ 20.01 สำหรับความยาวช่วงสะพานเท่ากับ 10 ถึง 20 เมตร

สุนิติ สุภาพ และ ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด (2554) [12] งานวิจัยศึกษา พฤติกรรมของคานสะพานช่วงเดียวธรรมดาที่มีความยาวช่วงสะพานเท่ากับ 5 ถึง 60 เมตร รับน้ำหนักบรรทุกไทยเทียบกับน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน ของสมาคมทางหลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกา เพื่อศึกษาสัดส่วนของ แรงเฉือนและสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่า แต่ ละช่วงความยาวสะพานเกิดจากรถบรรทุกต่างชนิดกันและไม่ได้เกิดจากรถ บรรทุกที่มีน้ำหนักรวมมากที่สุด จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างจะได้ สัดส่วนแรงเฉือนและสัดส่วนโมเมนต์ดัดมีค่าแปรผันตามความยาวช่วง สะพานเท่ากับ 1.12 ถึง 1.89 และ 1.26 ถึง 1.67 ตามลำดับ ทั้งนี้สัดส่วนที่ ได้สามารถนำไปปรับเพิ่มค่ากำลังออกแบบของน้ำหนักบรรทุกจรตาม มาตรฐานของสมาคมทางหลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกา เพื่อให้ สอดคล้องกับน้ำหนักบรรทุกไทย

สุนิติ สุภาพ และ ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด (2554) [13] งานวิจัยศึกษา การออกแบบสะพานสำหรับวิศวกรรมออกแบบในประเทศไทย โดยการปรับ น้ำหนักบรรทุกตามประกาศต่าง ๆ ของกรมทางหลวงให้สอดคล้องกับ น้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐานของสมาคมทางหลวงและการขนส่ง สหรัฐอเมริกา ซึ่งค่าดังกล่าวมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้จึงทำการศึกษา พฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานระบบคานต่อเนื่องสามช่วงที่มี ความยาวช่วงสะพานไม่เท่ากัน ซึ่งมีความยาวช่วงสะพานเท่ากับ 90 ถึง 180 เมตร เพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนแรงเฉือนและสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุด จากผลการศึกษาพบว่า แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงสุดในแต่ละรูปแบบ สะพาน ส่วนใหญ่เกิดจากรถบรรทุกแบบกึ่งพ่วงน้ำหนักบรรทุกรวม 45 ตัน และจากการวิเคราะห์โครงสร้างยังพบอีกว่า แต่ละความยาวช่วงสะพานมี ค่าอยู่ระหว่าง 1.312 ถึง 1.954 เท่าของน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐานของ สมาคมทางหลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกา และมีค่ามากกว่าสัดส่วนที่ได้ จากการศึกษาสะพานช่วงเดียวธรรมดาถึงร้อยละ 27.76 ทั้งนี้สัดส่วนที่ได้ สามารถนำไปปรับเพิ่มค่ากำลังออกแบบของน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน ของสมาคมทางหลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกา เพื่อให้สอดคล้องกับ น้ำหนักบรรทุกไทย

สุนิติ สุภาพ และ ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด (2555) [14] งานวิจัยศึกษาสะพานระบบคานต่อเนื่องสามช่วง ซึ่งมีความยาวช่วงสะพานเท่ากับ 90 ถึง 180 เมตร รับน้ำหนักบรรทุกที่มีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบสะพานเป็นวิธีตัวค้ำเพิ่มและความต้านทานน้ำหนัก ซึ่งมีการกำหนดน้ำหนักบรรทุก HL-93 ที่แตกต่างไปจากน้ำหนักบรรทุกเดิมของไทย HS20-44 และน้ำหนักบรรทุกทุกตามประกาศต่าง ๆ ของกรมทางหลวง ผลการศึกษพบว่า แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงสุดในแต่ละรูปแบบสะพานที่พิจารณาจากน้ำหนักบรรทุกไทยส่วนใหญ่เกิดจากรถบรรทุกแบบกึ่งพวงที่มีน้ำหนักบรรทุกรวม 45 ตัน และจากผลการวิเคราะห์โครงสร้างจะได้สัดส่วนแรงเฉือนและสัดส่วนโมเมนต์ดัดสำหรับแต่ละความยาวช่วงสะพานเมื่อเทียบกับน้ำหนักบรรทุก HL-93 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.974 ถึง 1.413 และมีค่ามากกว่าสัดส่วนที่ได้จากการศึกษาสะพานช่วงเดียวธรรมดาร้อยละ 23.25 สัดส่วนที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นตัวคูณปรับค่ากำลังที่ต้องการของสะพานรับน้ำหนักบรรทุกจร HL-93 เพื่อให้ผลตอบสนองสูงสุดสอดคล้องกับน้ำหนักบรรทุกไทยตามประกาศต่าง ๆ ของกรมทางหลวง

ภูมิเกียรติ สว่างวงศ์ (2559) [15] งานวิจัยศึกษาขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างและออกแบบสะพานแบบต่อเนื่องสามช่วงที่มีการก่อสร้างด้วยวิธีโครงสร้างยื่นสมดุลงรับน้ำหนักบรรทุกและการใช้งานตามการก่อสร้างจริง โดยจะเปลี่ยนน้ำหนักบรรทุกตามขั้นตอนต่าง ๆ ของการก่อสร้าง จากสภาพน้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างกันในแต่ละขั้นตอนนำมาซึ่งการพิจารณาผลของการสูญเสียแรงดึงของลวดอัดแรงที่เกิดขึ้นทันทีทันใดหลังการถ่ายแรงและการสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นตามเวลาระหว่างการก่อสร้างจนถึงขั้นตอนการใช้งาน โดยการก่อสร้างดังกล่าวจะเปลี่ยนสภาพจากช่วงคานยื่นช่วงเดียวเป็นคานช่วงต่อเนื่องเมื่อมีการก่อสร้างเสร็จแล้ว ทั้งนี้เพื่อศึกษาโมเมนต์ดัด แรงเฉือน แรงบิด และหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทั้ง 3 ขั้นตอนในการก่อสร้างเทียบกับค่าขีดจำกัดกำลังต้านทานของโครงสร้าง ผลการวิเคราะห์โครงสร้างในแต่ละขั้นตอนก่อสร้าง หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตอัดแรง และลวดอัดแรงมีค่าน้อยกว่าค่าปลอดภัยในการออกแบบ และเมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกจรกระทำร่วม ค่าหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะมีค่าแปรผันตามน้ำหนักบรรทุกจร

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

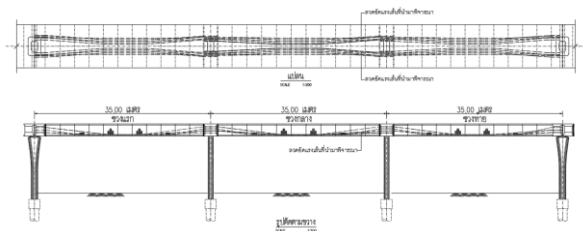
4.1 การจำลองโครงสร้างสะพาน ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

งานวิจัยนี้เป็นการจำลองโครงสร้างสะพานด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของสะพานคอนกรีตอัดแรงแบบต่อเนื่อง ซึ่งใช้คอมพิวเตอร์ในการสร้างและการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยโปรแกรม Midas Civil 2019

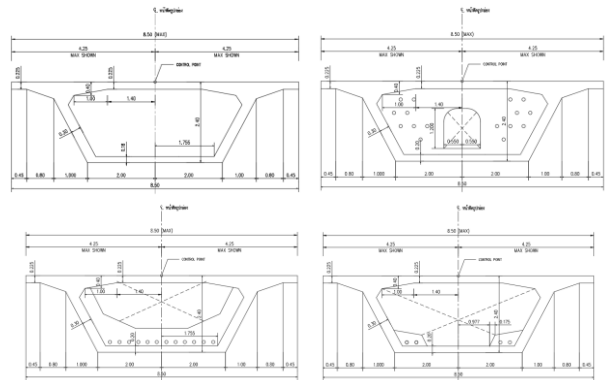
สะพานคอนกรีตอัดแรงหน้าตัดรูปกล่องแบบต่อเนื่องมีความยาวช่วงเท่ากับ 35 เมตร จำนวน 3 ช่วง ความยาวสะพานรวมทั้งหมดเท่ากับ 105 เมตร ขนาดหน้าตัดกว้าง 8.50 เมตร ลึก 2.40 เมตร จำนวน 2 ช่องจราจร ดังแสดงในรูปที่ 1 และกำหนดให้มีจุดรองรับดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ในการจำลองหน้าตัดคอนกรีตอัดแรงนั้น ประกอบด้วยหน้าตัดทั้งหมด 4 รูปแบบ กล่าวคือ หน้าตัดมาตรฐาน (Standard Segmental) หน้าตัด

บริเวณหัวเสา (Pier Segmental) และหน้าตัดบริเวณปรับแนวลวดอัดแรง (Deviator Segmental) จำนวน 2 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 1 แผนและรูปด้านสะพานคอนกรีตอัดแรงแบบต่อเนื่องสามช่วง



รูปที่ 2 ขนาดหน้าตัดสะพานคอนกรีตอัดแรงหน้าตัดมาตรฐาน หน้าตัดบริเวณหัวเสา และหน้าตัดบริเวณปรับแนวลวดอัดแรง มีหน่วยเป็นเมตร

ตารางที่ 1 ประเภทของแต่ละจุดรองรับ

จุดรองรับที่ 1	จุดรองรับที่ 2	จุดรองรับที่ 3	จุดรองรับที่ 4
แบบเคลื่อนที่ได้ (Roller Support)	แบบยึดหมุน (Pinned Support)	แบบยึดหมุน (Pinned Support)	แบบเคลื่อนที่ได้ (Roller Support)

คอนกรีตที่ใช้ในงานสะพานคอนกรีตอัดแรงจะต้องมีกำลังอัดประลัยเท่ากับ 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ลวดอัดแรงใช้ในงานสะพานคอนกรีตอัดแรงคือ ลวดเกลียวอัดแรงชนิดลวด 7 เส้น และมีการคลายแรงดึงต่ำ (low relaxation) เกรด 270 (มีกำลังดึงประลัยอย่างน้อย 270,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ 18,980 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) เนื้อที่หน้าตัดขนาด 15.2 มิลลิเมตร

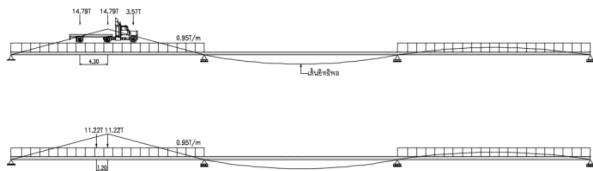
เหล็กเสริมไม่อัดแรงที่ใช้ในงานสะพานคอนกรีตอัดแรงคือ เหล็กข้ออ้อย (deformed bar) มีความต้านทานแรงดึงที่จุดครากเท่ากับ 4,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (SD40)

4.2 การจัดวางน้ำหนักบรรทุก

การจัดวางน้ำหนักบรรทุกตามประกาศต่าง ๆ ของกรมทางหลวงกำหนดให้รถบรรทุกเพียงคันเดียวและรถบรรทุกหลายคันเคลื่อนที่เป็นขบวนในแต่ละช่องจราจร โดยมีระยะห่างระหว่างเพลาลังของรถคันหน้าถึงเพลาลังของรถคันหลังที่ตามมาเท่ากับ 9.14 เมตร เต็มช่วงสะพานและเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน

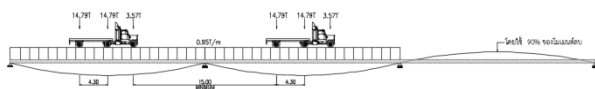
การจัดวางน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO (LRFD) มีรายละเอียดดังนี้ [16]

(1) การหาค่าโมเมนต์บวกสูงสุด (Maximum positive moment) ประกอบด้วยน้ำหนักบรรทุกทุก (Truck Load) หรือน้ำหนักยูโทโกรรณ (Tandem Load) จำนวนหนึ่งคันต่อหนึ่งช่องจราจรกระทำร่วมกับน้ำหนักช่องจราจร (Lane Load) ดังแสดงในรูปที่ 3



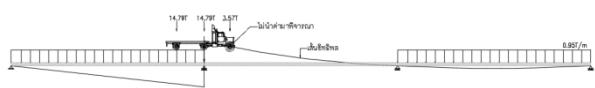
รูปที่ 3 เส้นอิทธิพลที่ทำให้เกิดค่าโมเมนต์บวกสูงสุด

(2) การหาค่าโมเมนต์ลบสูงสุด (Maximum negative moment) ประกอบด้วยน้ำหนักบรรทุกทุก (Truck Load) จำนวนสองคันต่อหนึ่งช่องจราจรกระทำร่วมกับน้ำหนักช่องจราจร (Lane Load) โดยใช้ 90% ของโมเมนต์ลบในการออกแบบสะพานดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 เส้นอิทธิพลที่ทำให้เกิดค่าโมเมนต์ลบสูงสุด

(3) การหาค่าแรงเฉือนสูงสุด (Maximum shear force) ประกอบด้วยน้ำหนักบรรทุกทุก (Truck Load) จำนวนหนึ่งคันต่อหนึ่งช่องจราจรกระทำร่วมกับน้ำหนักช่องจราจร (Lane Load) กรณีนี้ไม่ต้องพิจารณาน้ำหนักล้อหน้า เนื่องจากจะทำให้แรงเฉือนลดน้อยลงดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 เส้นอิทธิพลที่ทำให้เกิดค่าแรงเฉือนสูงสุด

4.3 รูปแบบและน้ำหนักบรรทุก

ในการศึกษาจะเลือกใช้เพียงบางรูปแบบของรถบรรทุกตามประกาศของกรมทางหลวงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 จนถึงปี พ.ศ. 2558 ตามที่ได้มีการปรับปรุงเรื่อยมาดังแสดงในรูปที่ 6 ที่น้ำหนักบรรทุกทุกมีผลต่อหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับสะพานสูงสุดและน้ำหนักบรรทุกทุกตามมาตรฐานของสมาคมทางหลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกา ด้วยวิธีตัวคูณเพิ่มและความต้านทานน้ำหนัก HL-93 จำนวนทั้งสิ้น 17 รูปแบบ ซึ่งประกอบด้วย

- (1) รถบรรทุก (น้ำหนักรวมไม่เกิน 25 ตัน) พ.ศ. 2548
- (2) รถบรรทุก (น้ำหนักรวมไม่เกิน 30 ตัน) พ.ศ. 2548
- (3) รถกึ่งพวง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 36 ตัน) พ.ศ. 2548

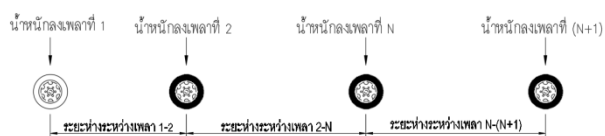
- (4) รถกึ่งพวง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 41 ตัน) พ.ศ. 2548
- (5) รถกึ่งพวง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 50 ตัน) พ.ศ. 2548
- (6) รถกึ่งพวง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 50.5 ตัน) พ.ศ. 2548
- (7) รถกึ่งพวง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 50.5 ตัน) พ.ศ. 2548
- (8) รถพวง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 47 ตัน) พ.ศ. 2548
- (9) รถกึ่งพวง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 49 ตัน) พ.ศ. 2552
- (10) รถกึ่งพวง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 47 ตัน) พ.ศ. 2552
- (11) รถกึ่งพวง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 45 ตัน) พ.ศ. 2552
- (12) รถกึ่งพวง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 50.5 ตัน) พ.ศ. 2552
- (13) รถพวง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 50.5 ตัน) พ.ศ. 2552
- (14) รถพวง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 50.5 ตัน) พ.ศ. 2552
- (15) รถพวง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 50.5 ตัน) พ.ศ. 2552
- (16) น้ำหนักยูโทโกรรณ (Tandem Load) น้ำหนักรวมไม่เกิน 22.42 ตัน หรือ 220 กิโลนิวตัน กระทำร่วมกับน้ำหนักช่องจราจร (Lane Load) AASHTO HL-93 ขนาด 0.95 ตันต่อเมตร หรือ 9.30 กิโลนิวตันต่อเมตร
- (17) น้ำหนักบรรทุกทุก (Truck Load) น้ำหนักรวมไม่เกิน 33.13 ตัน หรือ 325 กิโลนิวตัน กระทำร่วมกับน้ำหนักช่องจราจร (Lane Load) AASHTO HL-93 ขนาด 0.95 ตันต่อเมตร หรือ 9.30 กิโลนิวตันต่อเมตร



รูปที่ 6 รูปแบบรถบรรทุกตามประกาศต่าง ๆ ของกรมทางหลวง

เนื่องจากตามประกาศต่าง ๆ ของกรมทางหลวงไม่ได้กำหนดระยะห่างระหว่างเพลารถบรรทุกหรือตัวรถลากจูง ในการศึกษาจึงได้อ้างอิงข้อมูลจากผู้วิจัยที่ได้มีการรวบรวมข้อมูลระยะห่างระหว่างเพลารถบรรทุกแต่ละรูปแบบที่มีใช้และผลิตในประเทศไทยดังแสดงในรูปที่ 7 สำหรับขนาดน้ำหนักบรรทุกต่อเพลารถและระยะห่างระหว่างเพลารถที่ใช้วิเคราะห์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ตามลำดับ

ในการวิเคราะห์โครงสร้างเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ (Moving Load) จะอาศัยหลักการของเส้นอิทธิพล (Influence Line) โดยการจำลองโครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ทั้งนี้การวิเคราะห์โครงสร้างจะไม่พิจารณาผลของแรงกระแทก (Dynamic Impact Effect) กระทำต่อโครงสร้างสะพาน



รูปที่ 7 น้ำหนักลงเพลารถและระยะห่างระหว่างเพลารถที่ใช้วิเคราะห์

ตารางที่ 2 ขนาดน้ำหนักบรรทุกที่ใช้วิเคราะห์

รูปแบบ น้ำหนัก บรรทุก*	น้ำหนักต่อเพลลา (ตัน)						
	1	2	3	4	5	6	7
(1)	5	10	10	-	-	-	-
(2)	5	5	10	10	-	-	-
(3)	5	10	10	11	-	-	-
(4)	5	5	10	10	11	-	-
(5)	5	10	10	10	10	-	-
(6)	5	5	10	10	10	10	-
(7)	5	10	10	8.5	8.5	8.5	-
(8)	5	10	10	8	8	8	-
(9)	5	10	10	7.4	7.3	7.3	-
(10)	5	10	10	6.7	6.7	6.6	-
(11)	5	5	10	10	6.9	6.8	6.8
(12)	5	10	10	11	11	-	-
(13)	5	10	10	9.5	8	8	-
(14)	5	5	10	10	7.5	6.5	6.5
(15)	5	5	10	10	10.25	10.25	-
(16)**	11.21	11.21	-	-	-	-	-
(17)**	3.57	14.78	14.78	-	-	-	-

* อ้างอิงตามรูปแบบบรรทุกแบบรถบรรทุกที่ใช้วิเคราะห์

** กระทำร่วมกับน้ำหนักช่องจราจร (Lane Load) ขนาด 0.95 ตันต่อเมตร

ตารางที่ 3 ระยะห่างระหว่างเพลลาที่ใช้วิเคราะห์

รูปแบบ น้ำหนัก บรรทุก*	ระยะระหว่างเพลลา (เมตร)					
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
(1)	4.025	1.250	-	-	-	-
(2)	1.300	3.300	1.250	-	-	-
(3)	3.025	1.250	6.825	-	-	-
(4)	1.300	3.025	1.250	6.825	-	-
(5)	3.025	1.250	6.825	1.250	-	-
(6)	1.300	3.025	1.250	6.825	1.250	-
(7)	3.025	1.250	6.825	1.250	1.250	-
(8)	3.025	1.250	5.825	1.250	1.250	-
(9)	3.025	1.250	4.825	1.25	1.250	-
(10)	3.025	1.250	3.325	1.250	1.250	-
(11)	1.300	3.025	1.250	6.825	1.250	1.250
(12)	4.025	1.250	4.715	4.300	-	-
(13)	4.025	1.250	3.325	4.025	1.250	-
(14)	1.300	3.300	1.250	3.325	4.025	1.250
(15)	1.300	3.300	1.250	4.775	4.300	-
(16)**	1.200	-	-	-	-	-
(17)**	4.300	9.000	-	-	-	-

* อ้างอิงตามรูปแบบบรรทุกแบบรถบรรทุกที่ใช้วิเคราะห์

** กระทำร่วมกับน้ำหนักช่องจราจร (Lane Load) ขนาด 0.95 ตันต่อเมตร

4.4 ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้

(1) สำหรับคอนกรีตอัดแรงที่สภาวะการใช้งาน หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตจะต้องมีค่าไม่เกินค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ อ้างอิงตามมาตรฐาน AASHTO (LRFD) ดังแสดงในสมการที่ (1) และสมการที่ (2)

หน่วยแรงอัด :

$$f_c = -0.45 f_c' \quad (1)$$

หน่วยแรงดึง :

$$f_t = +1.60 (f_c')^{1/2} \quad (2)$$

โดยที่ f_c คือ ค่าหน่วยแรงอัดในคอนกรีต

f_t คือ ค่าหน่วยแรงดึงในคอนกรีต

f_c' คือ กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอก
ที่อายุ 28 วัน

(2) สำหรับลวดอัดแรงที่สภาวะใช้งานภายหลังการสูญเสียแรงดึง หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในลวดอัดแรงจะต้องมีค่าไม่เกินค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ อ้างอิงตามมาตรฐาน AASHTO (LRFD) ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$f_{pe} = +0.80 f_{py} \quad (3)$$

โดยที่ f_{pe} คือ ค่าหน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงที่สภาวะการใช้งานภายหลังการสูญเสียแรงดึง

f_{py} คือ ความต้านทานแรงดึงที่จุดครากของลวดอัดแรง

(3) สำหรับสะพานคอนกรีตอัดแรง หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริมจะต้องมีค่าไม่เกินค่าที่น้อยสุดของค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ อ้างอิงตามมาตรฐาน AASHTO (LRFD) ดังแสดงในสมการที่ (4) และสมการที่ (5)

$$V_n = V_c + V_s \quad (4)$$

$$V_n = (f_c')^{1/2} b_v d_v \quad (5)$$

โดยที่ $V_c = 0.166 K (f_c' b_v d_v)^{1/2}$

$$V_s = \frac{A_v f_y d_v}{s}$$

$$K = \left(1 + \frac{f_{pc}}{0.166 (f_c')^{1/2}}\right)^{1/2} \leq 2.0$$

โดยที่ b_v คือ ความกว้างประสิทธิภาพของแผ่นตั้ง

d_v คือ ความลึกประสิทธิภาพของหน้าตัด

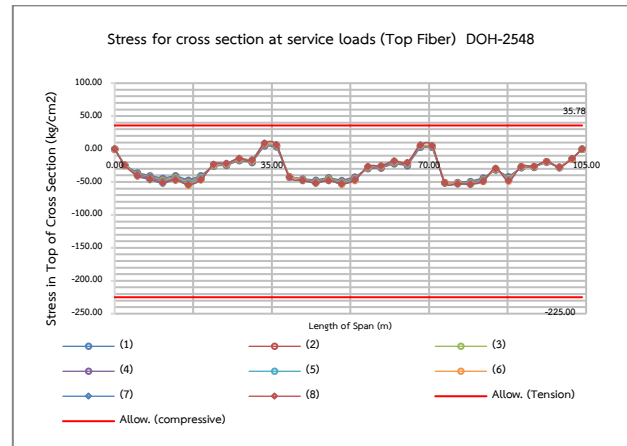
f_{pc}	คือ ความยาวเส้นรอบรูปของหน้าตัด
K	คือ ตัวแปรของค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้น
s	คือ ระยะห่างเหล็กรับแรงเฉือน
V_c	คือ ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ในคอนกรีต
V_n	คือ ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ในหน้าตัด
V_s	คือ ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ในเหล็กเสริม

5. ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

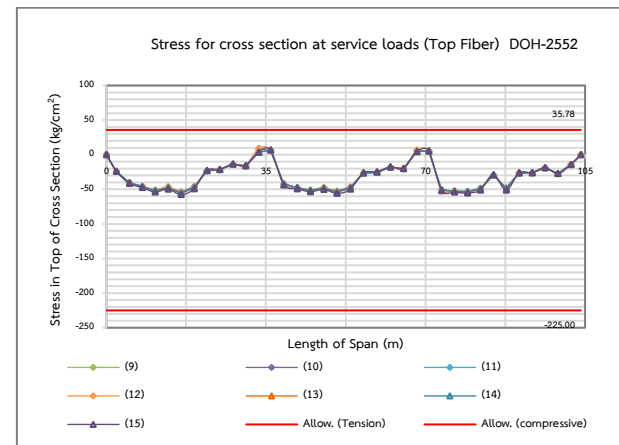
จากผลการวิจัยพฤติกรรมของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในสะพานคอนกรีตอัดแรงแบบต่อเนื่องสามช่วง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกทุกตามประกาศต่าง ๆ ของกรมทางหลวงและน้ำหนักบรรทุกทุกตามมาตรฐานของสมาคมทางหลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกา ด้วยวิธีตัวคูณเพิ่มและความต้านทานน้ำหนัก HL-93 โดยวิธีการจำลองโครงสร้างสะพานคอนกรีตอัดแรงแบบต่อเนื่องสามช่วงสะพานที่มีความยาวช่วงสะพานที่มีความยาวช่วงเท่ากับ 35 เมตร ความยาวสะพานรวมทั้งหมดเท่ากับ 105 เมตร พร้อมเปรียบเทียบพฤติกรรมของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในสะพานคอนกรีตอัดแรงกับค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐาน AASHTO (LRFD) และนำมาผลที่ได้จากการวิจัยมาวิเคราะห์ความเหมาะสมของการกำหนดน้ำหนักบรรทุกทุกและปรับใช้สำหรับการออกแบบสะพานในประเทศไทย โดยพิจารณาจากสถานะการใช้งานของโครงสร้างเดิมเป็นหลัก ซึ่งผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่ผิวบน ขณะรับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน

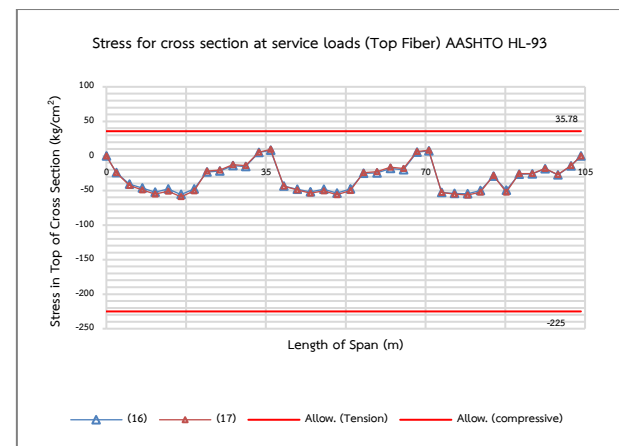
จากผลการวิเคราะห์พบว่า หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่ผิวบน ขณะรับน้ำหนักบรรทุกทุกประเภท (7) รถกึ่งพวง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 50.5 ตัน) ตามประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2548 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 9.12 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และขณะรับน้ำหนักบรรทุกทุกประเภท (17) ตามมาตรฐาน AASHTO HL-93 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 9.43 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าหน่วยแรงดึงสูงสุดในคอนกรีตที่ผิวบนเปรียบเทียบกับค่าหน่วยแรงดึงของคอนกรีตที่ยอมให้สำหรับน้ำหนักของรถบรรทุกทุกตามประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2548 และประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2552 และตามมาตรฐาน AASHTO HL-93 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 8 ถึงรูปที่ 10 ตามลำดับ



รูปที่ 8 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่ผิวบน เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกตามประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2548



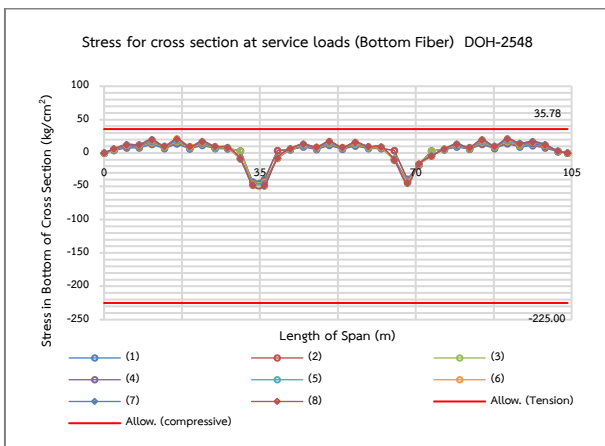
รูปที่ 9 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่ผิวบน เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกตามประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2552



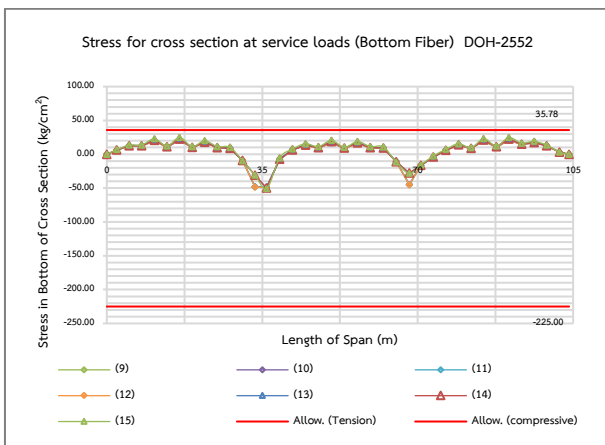
รูปที่ 10 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่ผิวบน เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกตามมาตรฐาน AASHTO HL-93

5.2 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่ผิวล่าง ขณะรับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน

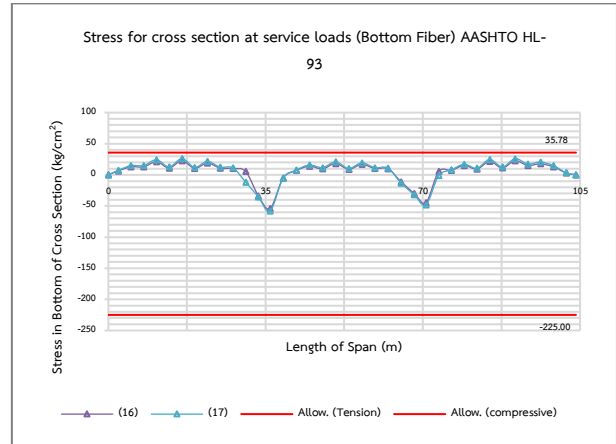
จากผลการวิเคราะห์พบว่า หน่วยแรงดึงในคอนกรีตที่ผิวล่าง ขณะรับน้ำหนักบรรทุกประเภท (13) รถพ่วง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 50.5 ตัน) ตามประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2552 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 22.61 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และขณะรับน้ำหนักบรรทุกประเภท (17) ตามมาตรฐาน AASHTO HL-93 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 26.17 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าหน่วยแรงดึงสูงสุดในคอนกรีตที่ผิวล่างเปรียบเทียบกับค่าหน่วยแรงดึงของคอนกรีตที่ยอมให้สำหรับน้ำหนักของรถบรรทุกตามประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2548 ประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2552 และตามมาตรฐาน AASHTO HL-93 แสดงไว้ในรูปที่ 11 ถึงรูปที่ 13 ตามลำดับ



รูปที่ 11 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่ผิวล่าง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตามประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2548



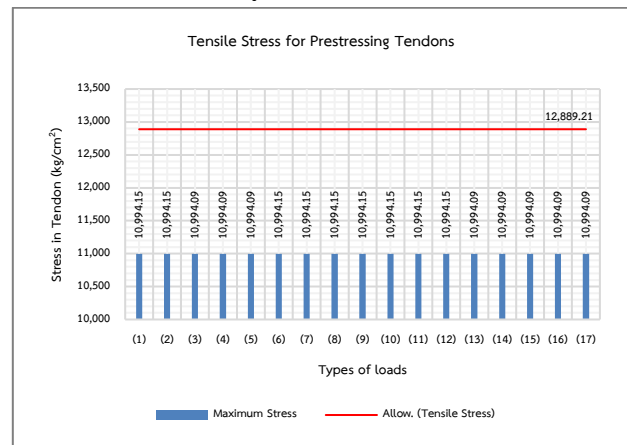
รูปที่ 12 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่ผิวล่าง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตามประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2552



รูปที่ 13 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่ผิวล่าง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO HL-93

5.3 หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในลวดอัดแรงภายหลังการสูญเสียแรงดึง

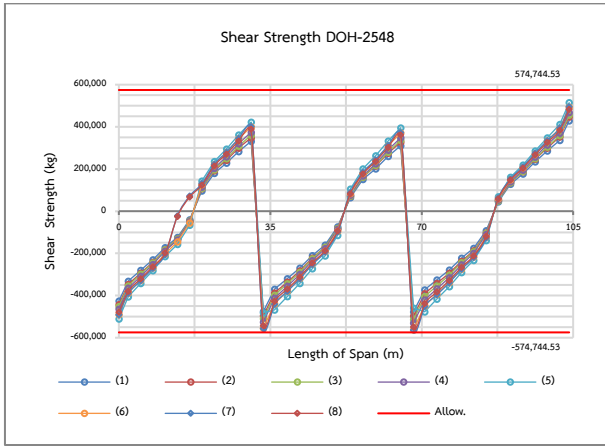
จากผลการวิเคราะห์ค่าหน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงภายหลังการสูญเสียแรงดึง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกประเภท (1)-(12) ตามประกาศต่าง ๆ ของกรมทางหลวง โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 10,994.15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่าหน่วยแรงดึงที่วิเคราะห์ได้จากน้ำหนักบรรทุกประเภท (13)-(17) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 10,994.09 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 14



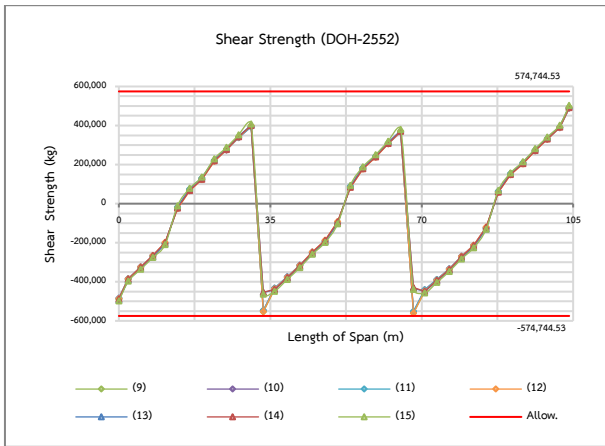
รูปที่ 14 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในลวดอัดแรงภายหลังการสูญเสียแรงดึง

5.4 หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริมในหน้าตัด

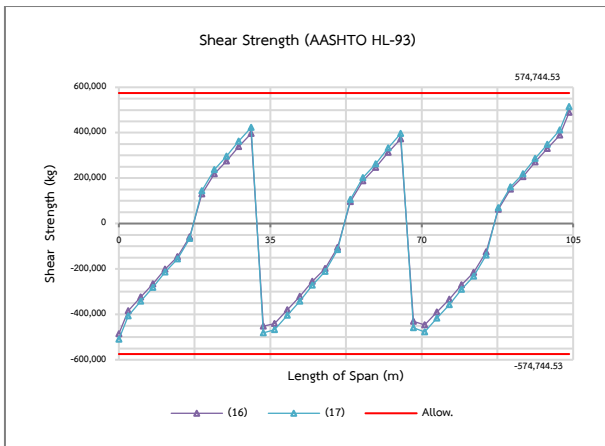
จากผลการวิเคราะห์หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริม ขณะรับน้ำหนักบรรทุกประเภท (7) ชนิดรถกึ่งพ่วง (น้ำหนักรวมไม่เกิน 50.5 ตัน) ตามประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2548 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 563,436.71 กิโลกรัม และขณะรับน้ำหนักบรรทุกประเภท (17) ตามมาตรฐาน AASHTO HL-93 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 514,879.74 กิโลกรัม ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดในคอนกรีตและเหล็กเสริมในหน้าตัดเปรียบเทียบกับค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้สำหรับน้ำหนักของรถบรรทุกตามประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2548 ประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2552 และตามมาตรฐาน AASHTO HL-93 แสดงไว้ในรูปที่ 15 ถึงรูปที่ 17 ตามลำดับ



รูปที่ 15 หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในหน้าตัด เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตามประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2548



รูปที่ 16 หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในหน้าตัด เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตามประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2552



รูปที่ 17 หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในหน้าตัด เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO HL-93

6. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในสะพานคอนกรีตอัดแรงเมื่อรับน้ำหนักกระทำของรถบรรทุกตามประกาศต่าง ๆ

ของกรมทางหลวงและน้ำหนักบรรทุกทุกตามมาตรฐานของสมาคมทางหลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกา ด้วยวิธีตัวคูณเพิ่มและความต้านทานน้ำหนักบรรทุก HL-93 โดยพิจารณาหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในคอนกรีตลวดอัดแรง และเหล็กเสริม ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐาน AASHTO (LRFD) โดยผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

(1) น้ำหนักบรรทุกทุกตามมาตรฐาน AASHTO HL-93 ทำให้เกิดค่าหน่วยแรงดึงที่ผิวบนและล่างของคอนกรีตสูงสุด และมีค่ามากกว่าค่าหน่วยแรงดึงที่มากที่สุดเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกทุกตามประกาศต่าง ๆ ของกรมทางหลวงคิดเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 1.03 และ 1.16 (สำหรับผิวบนและผิวล่าง) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามากที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน AASHTO HL-93 และมีค่าน้อยกว่าค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ในคอนกรีตคิดเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 0.26 และ 0.73 (สำหรับผิวบนและผิวล่าง) ตามลำดับ จึงมีความปลอดภัย หากพิจารณาใช้น้ำหนักดังกล่าวในการออกแบบสะพานในประเทศไทยตามมาตรฐาน AASHTO (LRFD)

(2) น้ำหนักบรรทุกทุกตามประกาศต่าง ๆ ของกรมทางหลวงทำให้เกิดค่าหน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงมากกว่าค่าหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกทุกตามมาตรฐาน AASHTO HL-93 เท่ากับ 0.06 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามากที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์ตามประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2548 และประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2552 และมีค่าน้อยกว่าค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ในลวดอัดแรงคิดเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 0.85 จึงควรนำค่าหน่วยแรงดึงดังกล่าวไปพิจารณาร่วมในการปรับน้ำหนักบรรทุก สำหรับกรณีที่ต้องการออกแบบสะพานในประเทศไทยตามมาตรฐาน AASHTO (LRFD)

(3) น้ำหนักบรรทุกทุกตามประกาศต่าง ๆ ของกรมทางหลวง ทำให้เกิดค่าหน่วยแรงเฉือนในคอนกรีตและเหล็กเสริมมากกว่าค่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกทุกตามมาตรฐาน AASHTO HL-93 คิดเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 1.09 เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามากที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์ตามประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2548 และประกาศของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2552 และมีค่าน้อยกว่าค่าหน่วยแรงเฉือนรวมที่ยอมให้ในหน้าตัดคิดเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 0.98 จึงควรนำค่าหน่วยแรงเฉือนดังกล่าวไปพิจารณาร่วมในการปรับน้ำหนักบรรทุก สำหรับกรณีที่ต้องการออกแบบสะพานในประเทศไทยตามมาตรฐาน AASHTO (LRFD)

(4) หากวิศวกรไทยจำเป็นต้องออกแบบตามมาตรฐาน AASHTO (LRFD) ควรพิจารณาหน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงและหน่วยแรงเฉือนรวมในหน้าตัดที่อาจเพิ่มค่าขึ้นได้ เพื่อให้สอดคล้องกับน้ำหนักบรรทุกทุกตามประกาศต่าง ๆ ของกรมทางหลวง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อัฐวิทย์ สุจริตพงศ์ สำหรับหลักการ แนวความคิด ตลอดจนองค์ความรู้ต่าง ๆ และคำปรึกษาในการวิจัยครั้งนี้ ว่าที่ร้อยตรีภูมิเกียรติ สว่างวงศ์ สำหรับหลักการใช้งานและองค์ความรู้เกี่ยวกับโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างสะพาน ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมทางหลวง (2548). ประกาศผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินและผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน เรื่อง ห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักลงเพลากินกว่าที่ได้กำหนดหรือโดยที่ยานพาหนะนั้นอาจทำให้ทางหลวงเสียหายเดินบนทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงสัมปทาน. ราชกิจจานุเบกษา, เล่มที่ 122 ตอนพิเศษ 150ง, หน้า 19-25.
- [2] กรมทางหลวง (2552). ประกาศผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินและผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน เรื่อง ห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักลงเพลากินกว่าที่ได้กำหนดหรือโดยที่ยานพาหนะนั้นอาจทำให้ทางหลวงเสียหายเดินบนทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงสัมปทาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2552. ราชกิจจานุเบกษา, เล่มที่ 126 ตอนพิเศษ 92ง, หน้า 2-7.
- [3] กรมทางหลวง (2552). ประกาศผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินและผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน เรื่อง ห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักลงเพลากินกว่าที่ได้กำหนดหรือโดยที่ยานพาหนะนั้นอาจทำให้ทางหลวงเสียหายเดินบนทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงสัมปทาน (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2552. ราชกิจจานุเบกษา, เล่มที่ 126 ตอนพิเศษ 174ง, หน้า 116-117.
- [4] กรมทางหลวง (2554). ประกาศผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินและผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน เรื่อง ห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักลงเพลากินกว่าที่ได้กำหนดหรือโดยที่ยานพาหนะนั้นอาจทำให้ทางหลวงเสียหายเดินบนทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงสัมปทาน (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2554. ราชกิจจานุเบกษา, เล่มที่ 128 ตอนพิเศษ 161ง, หน้า 9-10.
- [5] กรมทางหลวง (2555). ประกาศผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินและผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน เรื่อง ห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักลงเพลากินกว่าที่ได้กำหนดหรือโดยที่ยานพาหนะนั้นอาจทำให้ทางหลวงเสียหายเดินบนทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงสัมปทาน (ฉบับที่ 5) พ.ศ. 2555. ราชกิจจานุเบกษา, เล่มที่ 129 ตอนพิเศษ 197ง, หน้า 52-53.
- [6] กรมทางหลวง (2556). ประกาศผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินและผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน เรื่อง ห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักลงเพลากินกว่าที่ได้กำหนดหรือโดยที่ยานพาหนะนั้นอาจทำให้ทางหลวงเสียหายเดินบนทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงสัมปทาน (ฉบับที่ 6) พ.ศ. 2556. ราชกิจจานุเบกษา, เล่มที่ 130 ตอนพิเศษ 8ง, หน้า 6-7.
- [7] กรมทางหลวง (2556). ประกาศผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินและผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน เรื่อง ห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักลงเพลากินกว่าที่ได้กำหนดหรือโดยที่ยานพาหนะนั้นอาจทำให้ทางหลวงเสียหายเดินบนทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงสัมปทาน (ฉบับที่ 7) พ.ศ. 2556. ราชกิจจานุเบกษา, เล่มที่ 130 ตอนพิเศษ 190ง, หน้า 90-93.
- [8] กรมทางหลวง (2558). ประกาศผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินและผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน เรื่อง ห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักลงเพลากินกว่าที่ได้กำหนดหรือโดยที่ยานพาหนะนั้นอาจทำให้ทางหลวงเสียหายเดินบนทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงสัมปทาน (ฉบับที่ 8) พ.ศ. 2558. ราชกิจจานุเบกษา, เล่มที่ 132 ตอนพิเศษ 57ง, หน้า 24-25.
- [9] American Association of State Highway and Transportation Officials (2007). *AASHTO LRFD Bridge Specifications*. Washington DC, pp. 22-23.
- [10] Tabsh, S. W. and Tabatabai, M. (2001). Live Load Distribution in Girder Bridges Subject to Oversized Trucks, *Journal of Bridge Engineering*. Vol.6, No.1, pp. 9-16.
- [11] กรรณิการ์ ริมดุสิต และ สมโพธิ์ วิวิธเจริญวงศ์ (2548). การเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของคานสะพานช่วงเดียวที่เกิดจากรถบรรทุกสิบล้อและรถบรรทุกมาตรฐานของสมาคมทางหลวงและการขนส่งสหรัฐอเมริกา. *การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43*, 1-4 กุมภาพันธ์ 2548, หน้า 60-67.
- [12] สุนิติ สุภาพ และ ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด (2554). การเปรียบเทียบแรงภายในของสะพานช่วงเดียวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกไทยกับน้ำหนักทางหลวงตามมาตรฐาน AASHTO. *วารสารวิจัยและพัฒนาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, ปีที่ 22, ฉบับที่ 1, หน้า 25-35.
- [13] สุนิติ สุภาพ และ ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด (2554). การเปรียบเทียบผลตอบสนองสูงสุดของสะพานต่อเนื่อง 3 ช่วง เนื่องจากรถบรรทุกไทยและน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO. *วารสารวิจัยและพัฒนาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, ปีที่ 34, ฉบับที่ 3, หน้า 317-334.
- [14] สุนิติ สุภาพ และ ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด (2555). สัดส่วนผลตอบสนองสูงสุดของคานสะพานต่อเนื่อง 3 ช่วง เนื่องจากรถบรรทุกไทยและน้ำหนักบรรทุกจร HL-93. *วารสารวิจัยและพัฒนาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, ปีที่ 35, ฉบับที่ 4, หน้า 501-518.
- [15] ภูมิเกียรติ สว่างวงศ์ (2559). การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงที่ก่อสร้างแบบคานยื่นสมดุคตาม AASHTO LRFD HL-93. วิทยานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ประเทศไทย.
- [16] ทศพล ปันแก้ว และ มนต์เกียรติ์ ชนินทรลีลา (2558). *การออกแบบสะพาน*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 156-157.