

การเปรียบเทียบผลตอบสนองของสะพานต่อเนื่อง 3 ช่วง เนื่องจากรถบรรทุกไทยและน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO

สุนิติ สุภาพ¹ และ ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด¹

มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

บทคัดย่อ

น้ำหนักบรรทุกจรตามประกาศต่างๆ ของกรมทางหลวงมีความแตกต่างจากน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) วิศวกรออกแบบส่วนใหญ่จึงนิยมใช้ตัวปรับค่าน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มเข้าไปกับน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO จากการศึกษาเบื้องต้นในสะพานช่วงเดียวธรรมดา บทความนี้จึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกจรของสะพานระบบคานต่อเนื่อง 3 ช่วงยาวไม่เท่ากันและมีความยาวช่วงรวมตั้งแต่ 90-180 เมตร เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรของไทยกับน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO เพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนแรงเฉือนและสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุด ผลการศึกษาพบว่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงสุดในแต่ละรูปแบบสะพานส่วนใหญ่เกิดจากรถบรรทุกแบบกึ่งพ่วงน้ำหนักบรรทุกรวม 45 ตัน จากผลการวิเคราะห์ที่โครงสร้าง ได้สัดส่วนแรงเฉือนและสัดส่วนโมเมนต์ดัดสำหรับแต่ละความยาวช่วงสะพานมีค่าอยู่ระหว่าง 1.312-1.954 เท่าของน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO และยังมีค่ามากกว่าสัดส่วนที่ได้จากการศึกษาสะพานช่วงเดียวธรรมดาที่มีความยาวช่วงเท่ากันสำหรับสะพานต่อเนื่องบางรูปแบบอย่างมีนัยสำคัญสูงสุดถึงร้อยละ 27.76 สัดส่วนที่ได้สามารถนำไปปรับเพิ่มค่ากำลังออกแบบของน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO เพื่อให้สอดคล้องกับน้ำหนักบรรทุกจรไทยได้

* Corresponding author : suniti.suparp@yahoo.com

¹ อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

A Comparison of Maximum Responses of Three-Span Continuous Bridges Due to Thai Trucks with AASHTO Highway Live Loadings

Suniti Suparp^{1*} and Panuwat Joyklad¹

Kasem Bundit University, Pattanakarn Rd., Suanluang, Bangkok 10250

Abstract

Thai truck weights rated by Highway Department are different from the highway live loadings specified by the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) standard specifications. For bridge design practice in Thailand, the engineers intentionally multiply AASHTO design live loads by a mark-up factor. These mark-up factors are derived from simply supported beams with several span lengths. This article has studied the maximum responses of three-unequal-span continuous bridges with the total length ranging from 90-180 meters due to Thai truck loads and the AASHTO loads. This study aims to calculate the maximum shear ratios and bending moment ratios of the continuous beam bridges. The results show that, in each type of bridge, the maximum shear and bending moment are mostly caused by the truck which has 45 tons total weight. From the structural analysis, the shear ratios and the moment ratios, varying from 1.312-1.954, are computed associated with various bridge span lengths. Furthermore, the ratios in some type of continuous bridge are 27.76% greater than those found from the previous simply supported beam bridges having the same span length. These ratios could be applied as multipliers to the AASHTO loads; therefore, the bridge responses are comparable to those of Thai truck loads.

* Corresponding author : suniti.suparp@yahoo.com

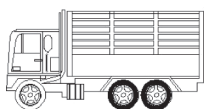
¹ Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering.

1. บทนำ

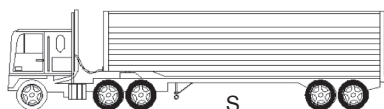
การออกแบบโครงสร้างสะพานในประเทศไทยต้องพิจารณาน้ำหนักบรรทุกตามประกาศต่างๆ ของกรมทางหลวง [1-5] อย่างไรก็ตามวิศวกรออกแบบส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวรับค่าน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มเข้าไปกับน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) [6] ซึ่งประกอบด้วย HS20-44 (Truck) หรือ HS20-44 (UCL) โดยจะใช้รูปแบบน้ำหนักบรรทุกชนิดที่ทำให้เกิดแรงภายในบนสะพานมากกว่า ทั้งนี้มาตรฐาน AASHTO อนุญาตให้สามารถปรับค่าน้ำหนักบรรทุกจรตามสัดส่วนได้ หากน้ำหนักยานพาหนะมีค่าแตกต่างจากที่กำหนด อย่างไรก็ตามที่ผ่านมาตัวปรับค่าน้ำหนักบรรทุกจรดังกล่าวได้จากการศึกษาในสะพานช่วงเดียวและสะพานต่อเนื่องที่มีความยาวช่วงเท่ากัน [7-9] บทความนี้จึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานสะพานต่อเนื่อง 3 ช่วงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในประเทศไทยตามประกาศฯ ของกรมทางหลวง โดยคานต่อเนื่องมีความยาวช่วงที่ไม่เท่ากันและคำนึงถึงผลของความแข็งเชิงดัด (Flexural rigidity) ของคานในแต่ละช่วงด้วย เพื่อเปรียบเทียบแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงสุดของคานสะพาน และหาสัดส่วนของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกไทยกับน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO รวมทั้งเปรียบเทียบสัดส่วนดังกล่าวกับผลการศึกษาที่ได้จากสะพานช่วงเดียวด้วย ผลการศึกษาคั้งนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์ออกแบบสะพานในประเทศไทยที่ยังนิยมใช้น้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO

2. รูปแบบและน้ำหนักบรรทุก

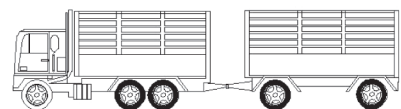
ปี พ.ศ. 2548 กรมทางหลวงได้กำหนดรูปแบบและน้ำหนักบรรทุกไว้ในการประกาศ [1] ตามประกาศฉบับนี้ได้กำหนดชนิดยานพาหนะซึ่งประกอบด้วยยานพาหนะชนิดรถเดี่ยว (Single Unit) ยานพาหนะชนิดรถลากจูงและรถกึ่งพ่วง (Semi-Trailer) และยานพาหนะชนิดรถลากจูงและรถพ่วง (Full Trailer) ดังรูปที่ 1 อนึ่ง กรมทางหลวงชนบทได้กำหนดยานพาหนะที่สามารถวิ่งบนถนนในเขตความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบทเองเช่นเดียวกัน โดยออกประกาศ [10] มีรายละเอียดน้ำหนักและรูปแบบรถบรรทุกคล้ายกับประกาศฯ ของกรมทางหลวง ปี พ.ศ. 2548 ต่อมากรมทางหลวงได้ออกหนังสืออนุญาตและประกาศเพิ่มเติมอีกหลายฉบับ [2-5] ซึ่งได้กำหนดรูปแบบรถบรรทุกและยานพาหนะที่ใช้ขนส่งวัสดุขนาดใหญ่เพิ่มเติม กำหนดน้ำหนักลงเพลาและน้ำหนักรวมของรูปแบบรถแต่ละชนิดให้เหมาะสม รวมถึงกำหนดระยะห่างระหว่างสลักพ่วง (King Pin) กับศูนย์กลางของเพลาน้ำหนักที่ 1 (ระยะ S ในรูปที่ 1) ของยานพาหนะชนิดรถลากจูงและรถกึ่งพ่วงให้สัมพันธ์กับน้ำหนักลงเพลาอีกด้วย กล่าวโดยสรุปคือ ถ้าพิจารณารูปแบบรถบรรทุกตามประกาศทั้งหมดของกรมทางหลวง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548-2552 ข้างต้นสรุปรูปแบบรถบรรทุก น้ำหนักลงเพลา ระยะห่างระหว่างเพลาและน้ำหนักรวม เป็นแบบยานพาหนะชนิดรถเดี่ยว 4 ประเภท แบบยานพาหนะชนิดรถลากจูงและรถกึ่งพ่วง 26 ประเภท และแบบยานพาหนะชนิดรถลากจูงและรถพ่วงอีก 14 ประเภท [11]



Single Unit (Truck)



Single Unit (Truck) + Semi-Trailer



Single Unit (Truck) + Full Trailer

รูปที่ 1 รูปแบบยานพาหนะที่กำหนดไว้ในประกาศฯ ของกรมทางหลวง [1]

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาผลกระทบการออกแบบสะพานเนื่องจากความแตกต่างของรูปแบบและน้ำหนักของรถบรรทุกจริงกับน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO พบว่าในบางความยาวช่วงสะพานหรือในบางประเภทของรถบรรทุก หน่วยแรงที่คำนวณได้จากน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO ให้ค่าที่ไม่มีความปลอดภัย [12, 13] ซึ่งควรมีการปรับปรุงเพื่อให้สอดคล้องกับน้ำหนักบรรทุกจรแต่ละพื้นที่ สำหรับประเทศไทย สมบัติและคณะ [14] ได้ศึกษาผลกระทบดังกล่าวด้วยโดยได้ตรวจสอบความปลอดภัยของคานสะพานเนื่องจากรถบรรทุกไทยวิ่งเป็นขบวนที่ระยะห่างระหว่างรถบรรทุกเท่าๆ กัน และนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับ HS20-44 โดยได้ทำการเลือกรถบรรทุกที่เป็นที่นิยมในประเทศไทยจำนวน 7 ลักษณะ (จากทั้งหมด 72 ลักษณะตามประกาศของกรมทางหลวง) อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ได้จำกัดความยาวของคานสะพานไว้เพียง 37.16 เมตร ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าหน่วยแรงในคานสะพานเนื่องจากรถบรรทุกไทยมีค่ามากกว่าผลการคำนวณจาก HS20-44 สูงสุดถึงร้อยละ 26 ในขณะที่ วรรณิการ์และคณะ [15] ได้ทำการเปรียบเทียบหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในสะพานแบบคานเนื่องจากรถสิบล้อไทยที่บรรทุกน้ำหนักเกินจาก 21 ตันไปเป็น 26, 28 และ 35 ตัน ตามลำดับ เปรียบเทียบกับ HS20-44 บนสะพานช่วงเดียวที่มีความยาวช่วงตั้งแต่ 10 ถึง 38 เมตร และจัดรถวิ่งเป็นขบวนติดกัน โดยรูปแบบของรถบรรทุกที่ใช้ในการวิเคราะห์จำลองมาจากรถบรรทุกที่มีจำหน่ายอยู่ในประเทศไทย ผลการวิเคราะห์พบว่าสำหรับคานช่วงสั้นที่มีความยาวช่วงไม่เกิน 15 เมตร การออกแบบสะพานโดยใช้ HS20-44 สามารถใช้แทนรถสิบล้อไทยขนาด 21 ตัน ได้อย่างปลอดภัย ในขณะที่ความยาวช่วงที่มีค่าเกิน 15 เมตร เป็นต้นไป ค่าหน่วยแรงสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับ HS20-44 จะมีค่ามากกว่าถึงร้อยละ 94.69 ที่ความยาวช่วง 38 เมตร และหากทำการเพิ่มน้ำหนักของรถสิบล้อไทยให้เป็น 28 และ 35 ตัน จะมีหน่วยแรงส่วนเกินเมื่อเปรียบเทียบกับ HS20-44 ที่ความยาวสูงสุดคือ 38 เมตร ถึงร้อยละ 170.64 และร้อยละ 238.30 ตามลำดับ ต่อมา สุนิติและคณะ [7-9] ได้เปรียบเทียบแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในคานสะพานช่วงเดียวที่มีความยาวช่วงตั้งแต่

5-60 เมตร และสะพานต่อเนื่อง 3 ช่วงที่มีความยาวช่วงเท่ากันและมีความยาวสะพานรวมตั้งแต่ 90 เมตรถึง 180 เมตร เนื่องจากรถบรรทุกไทยตามประกาศของกรมทางหลวงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548-2552 พบว่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงสุดในแต่ละความยาวช่วงสะพานเกิดจากรถบรรทุกรูปแบบต่างชนิดกันและไม่จำเป็นต้องเกิดจากรถบรรทุกที่มีน้ำหนักบรรทุกรวมมากที่สุด จากผลการวิเคราะห์ที่โครงสร้างได้เสนอสัดส่วนแรงเฉือนและสัดส่วนโมเมนต์ดัดที่สัมพันธ์กับความยาวช่วงสะพาน โดยสัดส่วนที่เสนอนี้สามารถนำไปปรับเพิ่มค่ากับน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO เพื่อให้สอดคล้องกับน้ำหนักรถบรรทุกไทยได้

ตัวอย่างงานวิจัยข้างต้นมีประโยชน์ต่องานออกแบบงานสะพานในประเทศไทยอย่างมาก อย่างไรก็ตามก็มิได้มีการพิจารณารูปแบบสะพานต่อเนื่องที่มีความยาวช่วงไม่เท่ากันและผลของความแข็งเชิงดัดของคานต่อเนื่องในแต่ละช่วงสะพาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพิจารณาปัจจัยทั้งสองดังกล่าวซึ่งจะทำให้เกิดการประยุกต์ใช้ได้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น

4. วิธีการศึกษา

4.1 การจำลองโครงสร้าง

คานสะพานที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นแบบคานต่อเนื่อง 3 ช่วง (Three-Span Continuous Beam) ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งมีความยาวช่วงไม่เท่ากัน โดยมีความยาวรวมตั้งแต่ 90 เมตรถึง 180 เมตร ซึ่งแนะนำโดย Federal Highway Administration (FHWA) [16] และมีค่าใกล้เคียงกับความยาวรวมของสะพานต่อเนื่องส่วนใหญ่ในประเทศไทย การกำหนดความยาวช่วงสะพานจะมีเงื่อนไขดังนี้ คือ (1) $L_1 \leq 30$ เมตร (2) $L_2 \leq L_1$ (3) $L_2 \leq 100$ เมตร และ (4) $90 \text{ เมตร} \leq L_2 + 2L_1 \leq 180$ เมตร

โดยทั่วไปค่าโมเมนต์เฉื่อยของหน้าตัดในคานต่อเนื่องจะมีผลต่อการค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของคานแต่ละช่วง ดังนั้นเพื่อให้ลักษณะของสะพานที่ทำการวิเคราะห์ครอบคลุมทุกกรณีที่อาจเกิดขึ้นได้ ในแต่ละรูปแบบสะพานที่ทำการวิเคราะห์จะกำหนดสัดส่วนโมเมนต์เฉื่อยของช่วงกลาง (I_2) กับช่วงริม (I_1) จำนวน 3 รูปแบบ

ด้วยกัน โดยกำหนดชื่อเป็น Con.1, Con.2 และ Con.3 ซึ่งหมายถึง สัดส่วน I_2/I_1 เท่ากับ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ อนึ่งหากความยาวช่วงสะพานเท่ากันทั้ง 3 ช่วง จะกำหนดให้สัดส่วน I_2/I_1 เท่ากับ 1 เท่านั้น เมื่อกำหนดเงื่อนไขดังที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด สามารถสรุปรูปแบบคานสะพานที่ทำการวิเคราะห์ได้ 52 รูปแบบดังแสดงในตารางที่ 1

ในการศึกษาจะพิจารณาผลการวิเคราะห์เฉพาะผลตอบสนองของโครงสร้าง M_{AB}^+ และ M_{BC}^+ (โมเมนต์บวกสูงสุดภายในคานช่วง AB และ BC ตามลำดับ) V_{AB} และ V_{BC} (ค่าแรงเฉือนสูงสุดภายในคานช่วง AB และ BC ตามลำดับ) M_B^- (โมเมนต์ลบสูงสุดที่ฐานรองรับ B) รายละเอียดต่างๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2 โดยที่ M_{CD}^+ เท่ากับ M_{AB}^+ , M_C^- เท่ากับ M_B^- และ V_{CD} เท่ากับ V_{AB}

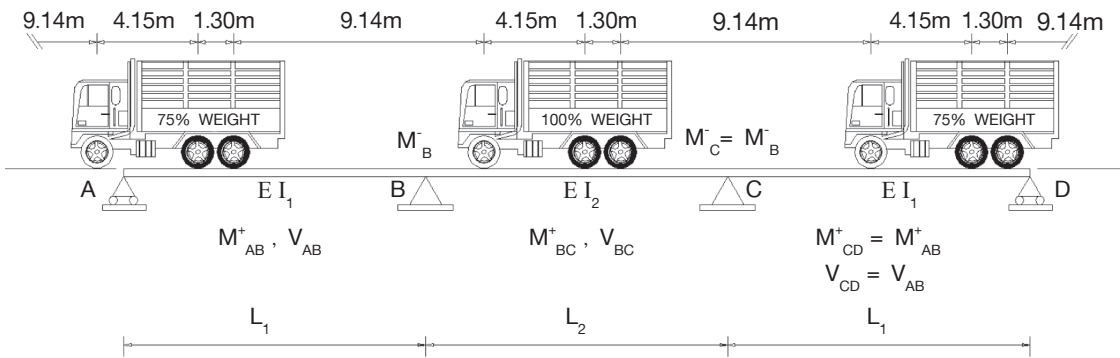
4.2 รถบรรทุกและรูปแบบการวางน้ำหนักบรรทุก

ในการศึกษาได้ใช้น้ำหนักบรรทุกไทยตามประกาศฯ ของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2548 2550 และ 2552 [1-5] กับน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO โดยในการวิเคราะห์ที่โครงสร้างสะพาน จะเลือกใช้รถบรรทุกบางรูปแบบที่มีผลต่อแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง เกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกรถบรรทุกจะคำนึงถึง 3 ปัจจัยด้วยกัน คือ (1) น้ำหนักบรรทุก กล่าวคือ หากรถบรรทุกประเภทเดียวกันนั้นมีความยาวช่วงรถหรือมีระยะห่างระหว่างเพลาท่ากันแล้วรถบรรทุกที่มีน้ำหนักมากกว่าก็จะทำให้เกิดแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงกว่า (2) ระยะห่างระหว่างเพลาท่ากัน กล่าวคือหากรถบรรทุกมีระยะห่างระหว่างเพลาน้อยเมื่อแล่นต่อกันบนสะพานจะทำให้มีน้ำหนักมากกระทำบนสะพานมากกว่ารถบรรทุกที่มีระยะห่างระหว่างเพลามากกว่า และ (3) ไม่พิจารณารูปแบบรถบรรทุกที่จะยกเลิกในวันที่ 31 ธันวาคม 2555 จากปัจจัยข้างต้น จะได้รถบรรทุกที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยมี

รูปแบบและน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ AASHTO (Truck และ UCL) 2 ประเภท แบบยานพาหนะชนิดรถเดี่ยว 2 ประเภท แบบยานพาหนะชนิดรถลากจูงและรถกึ่งพ่วง 9 ประเภท และแบบยานพาหนะชนิดรถลากจูงและรถพ่วง 4 ประเภท เท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 2 อย่างไรก็ตามในประกาศฯ ของกรมทางหลวงไม่ได้กำหนดระยะห่างระหว่างเพลารถของรถบรรทุกหรือระยะห่างระหว่างเพลารถของตัวรถลากจูงกับเพลารถพ่วง ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลรถบรรทุกที่มีใช้และผลิตในประเทศ [9] จึงนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ในการกำหนดระยะห่างระหว่างเพลารถของรถบรรทุกชนิดต่างๆ

การจัดวางน้ำหนักบรรทุกไทยได้กำหนดให้รถบรรทุกเพียงคันเดียวและรถบรรทุกหลายคันเคลื่อนที่เป็นขบวนในแต่ละช่องจราจร ซึ่งกำหนดให้รถบรรทุกทุกประเภทมีระยะห่างระหว่างเพลาลังของรถคันหน้าถึงเพลานำรถของคันที่ตามมามีระยะเท่ากับ 9.14 เมตร (30 ฟุต) [6 : Appendix B] รถบรรทุกจะถูกจัดวางเป็นขบวนในลักษณะวิ่งไปในทิศทางและในช่องจราจรเดียวกัน จำนวน 1 ช่องจราจร โดยมีจำนวนรถบรรทุกเคลื่อนที่เต็มช่วงความยาวสะพาน และจัดให้รถบรรทุกที่มีน้ำหนักขนาดร้อยละ 75 วางสลับกันในขบวน ดังแสดงในรูปที่ 2

การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาผลตอบสนองต่ำสุดหรือสูงสุดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ จะอาศัยหลักการของเส้นอิทธิพล (Influence-Based Enveloping Analysis) โดยได้นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาเป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณ ซึ่งจะช่วยจัดน้ำหนักบรรทุกเพื่อให้เกิดผลตอบสนองต่ำสุดหรือสูงสุดได้ตามเส้นอิทธิพลของผลตอบสนองนั้นๆ ทั้งนี้การวิเคราะห์โครงสร้างจะไม่รวมผลของแรงกระแทก เนื่องจากสมมติให้ค่าแรงกระแทกระหว่างน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AAHTO และรถบรรทุกไทยมีค่าเท่ากัน



รูปที่ 2 คานสะพานต่อเนื่องและรูปแบบการวางน้ำหนักบรรทุกเป็นขบวน

5. ผลการศึกษา

5.1 สัดส่วนแรงเฉือนสูงสุดและสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุด

จากรูปแบบการจำลองโครงสร้างและการจัดวางน้ำหนักบรรทุกรูปแบบต่างๆ สามารถวิเคราะห์ผลตอบสนองของคานสะพานต่อเนื่องได้ เนื่องจากโครงสร้างที่ทำการวิเคราะห์มีความสมมาตร ดังนั้นจึงพิจารณาเฉพาะ M_{AB}^+ , M_B^- , M_{BC}^+ , V_{AB} และ V_{BC} เท่านั้น จากนั้นจึงนำผลตอบสนองที่ได้จาก HS20-44 (Max.) ไปเปรียบเทียบกับผลตอบสนองที่ได้จากน้ำหนักบรรทุกไทยแต่ละ

รูปแบบแล้วบันทึกค่าสัดส่วนที่สูงที่สุดในแต่ละรูปแบบ โครงสร้างสะพาน จะได้เป็นสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุดและสัดส่วนแรงเฉือนสูงสุดเนื่องจากน้ำหนักรถบรรทุกไทยตามประกาศของกรมทางหลวงกับน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO ของผลตอบสนองชนิดต่างๆ ดังแสดงตามตารางที่ 3 จากผลการวิเคราะห์พบว่าสัดส่วนดังกล่าวส่วนใหญ่ได้มาจากรถบรรทุกแบบ Semi45(2) ยกเว้นในช่องตารางที่มีตัวอักษรยกกับไว้ โดยตัวอักษร ก และ ข หมายถึงค่าสัดส่วนดังกล่าวนั้นเกิดจากรถบรรทุกแบบ Full50.5(1) และ Full50.5(2) ตามลำดับ

ตารางที่ 1 รูปแบบคานสะพานต่อเนื่อง 3 ช่วงที่ใช้ในการวิเคราะห์

รูปแบบ สะพาน	ความยาวช่วงสะพาน (ม.)		สัดส่วน I_2/I_1	รูปแบบ สะพาน	ความยาวช่วงสะพาน (ม.)		สัดส่วน I_2/I_1
	L_1	L_2			L_1	L_2	
30-30I1	30	30	Con.1	40-60I1	40	60	Con.1
30-40I1	30	40	Con.1	40-60I2	40	60	Con.2
30-40I2	30	40	Con.2	40-60I3	40	60	Con.3
30-40I3	30	40	Con.3	40-70I1	40	70	Con.1
30-50I1	30	50	Con.1	40-70I2	40	70	Con.2
30-50I2	30	50	Con.2	40-70I3	40	70	Con.3
30-50I3	30	50	Con.3	40-80I1	40	80	Con.1
30-60I1	30	60	Con.1	40-80I2	40	80	Con.2
30-60I2	30	60	Con.2	40-80I3	40	80	Con.3
30-60I3	30	60	Con.3	40-90I1	40	90	Con.1
30-70I1	30	70	Con.1	40-90I2	40	90	Con.2
30-70I2	30	70	Con.2	40-90I3	40	90	Con.3
30-70I3	30	70	Con.3	40-100I1	40	100	Con.1
30-80I1	30	80	Con.1	40-100I2	40	100	Con.2
30-80I2	30	80	Con.2	40-100I3	40	100	Con.3
30-80I3	30	80	Con.3	50-50I1	50	50	Con.1
30-90I1	30	90	Con.1	50-60I1	50	60	Con.1
30-90I2	30	90	Con.2	50-60I2	50	60	Con.2
30-90I3	30	90	Con.3	50-60I3	50	60	Con.3
30-100I1	30	100	Con.1	50-70I1	50	70	Con.1
30-100I2	30	100	Con.2	50-70I2	50	70	Con.2
30-100I3	30	100	Con.3	50-70I3	50	70	Con.3
40-40I1	40	40	Con.1	50-80I1	50	80	Con.1
40-50I1	40	50	Con.1	50-80I2	50	80	Con.2
40-50I2	40	50	Con.2	50-80I3	50	80	Con.3
40-50I3	40	50	Con.3	60-60I1	60	60	Con.1

ตารางที่ 2 รูปแบบและน้ำหนักบรรทุกทุกที่ใช้ในการวิเคราะห์

รูปแบบรถ (น้ำหนักรวม : ตัน)	น้ำหนักต่อเพลลา (ตัน)	ตามมาตรฐาน / ประกาศฯ	หมายเหตุ
HS20-44(Truck) (33.13)		AASHTO [1]	1. HS20-44(Max.) คือรูปแบบรถที่ ให้ค่าแรงภายใน สูงสุดที่ได้จาก รูปแบบรถ ระหว่าง HS20- 44(Truck) และ HS20-44(UCL) 2. ระยะห่างระหว่าง เพลลาที่กำหนดใน รูปแบบรถชนิด ต่างๆ
HS20-44(UCL) (0.95L+8.16/11.83)	CONCENTRATED LOAD 8.16 T (80 kN) FOR MOMENT 11.83 T (116 kN) FOR SHEAR UNIFORM LOAD 0.95 T/m (9.3 kN/m)	AASHTO [1]	
Truck25 (25)		ปทล.(2548) หมวด 2 ข้อ 15	
Truck30 (30)		ปทล.(2548) หมวด 2 ข้อ 18	
Semi36 (36)		ปทล.(2548) หมวด 2 ข้อ 19(2)	
Semi41 (41)		ปทล.(2548) หมวด 2 ข้อ 19(2)	
Semi45(1) (45)		ปทล.(2548) หมวด 2 ข้อ 19(4)	
Semi50 (50)		ปทล.(2548) หมวด 2 ข้อ 19(4)	
Semi50.5(1) (50.5)		ปทล.(2548) หมวด 2 ข้อ 19(5)	
Semi49 (49)		ปทล.(2552) ข้อ 19/3(1)	
Semi47 (47)		ปทล.(2552) ข้อ 19/3(2)	
Semi45(2) (45)		ปทล.(2552) ข้อ 19/3(3)	
Semi50.5(2) (50.5)		ปทล.(2552) ข้อ 19/4	
Full47 (47)		ปทล.(2548) หมวด 2 ข้อ 20(2)	
Full50.5(3) (50.5)		ปทล.(2552) ข้อ 20/3	
Full50.5(1) (50.5)		ปทล.(2552) ข้อ 20/1	
Full50.5(2) (50.5)		ปทล.(2552) ข้อ 20/2	

Axle Distance (mm)	
A	4025
B	1250
C	1300
D	3300
E	1250
F	3025
G	1250
H	6825
I	1300
J	3025
K	1250
L	5825
M	1250
N	4825
O	3325
P	4775
Q	4300
R	3325
S	4025
T	1250

3. ปทล.คือ
ประกาศฯ กรม
ทางหลวง และ
L คือ ความยาว
ช่วงสะพาน

ตารางที่ 3 ค่าสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุดและแรงเฉือนสูงสุดเนื่องจากรถบรรทุกไทยกับน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO

รูปแบบโครงสร้างสะพาน	สัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุด			สัดส่วนแรงเฉือนสูงสุด	
	M_{AB}^+	M_B^-	M_{BC}^+	V_{AB}	V_{BC}
30-30I1	1.413	1.698	1.312	1.660	1.619
30-40I1	1.421	1.785	1.451	1.747	1.763
30-40I2	1.403	1.752	1.457	1.713	1.755
30-40I3	1.399	1.737	1.457	1.710	1.755
30-50I1	1.426	1.749	1.520	1.802	1.817
30-50I2	1.425	1.846	1.535	1.803	1.818
30-50I3	1.414	1.823	1.542	1.795	1.819
30-60I1	1.411 ⁿ	1.754	1.565	1.827	1.858
30-60I2	1.411 ⁿ	1.824	1.581	1.824	1.857
30-60I3	1.401 ⁿ	1.877	1.589	1.820	1.857
30-70I1	1.409 ^p	1.754	1.578	1.845	1.892
30-70I2	1.416	1.805	1.598	1.838	1.892
30-70I3	1.412	1.844	1.595	1.833	1.892
30-80I1	1.409	1.788	1.606	1.873	1.909
30-80I2	1.421	1.828	1.619	1.866	1.907
30-80I3	1.418	1.859	1.627	1.859	1.906
30-90I1	1.411	1.809	1.649	1.898	1.933
30-90I2	1.427	1.839	1.670	1.889	1.934
30-90I3	1.426	1.863	1.681	1.880	1.934
30-100I1	1.390 ⁿ	1.826	1.686	1.924	1.951
30-100I2	1.402	1.850	1.708	1.914	1.951
30-100I3	1.403	1.868	1.720	1.905	1.951
40-40I1	1.516	1.836	1.454	1.779	1.783
40-50I1	1.497	1.853	1.526	1.793	1.831
40-50I2	1.499	1.819	1.540	1.793	1.835
40-50I3	1.497	1.770	1.547	1.792	1.837
40-60I1	1.507	1.830	1.572	1.810	1.866
40-60I2	1.512	1.886	1.565	1.806	1.868
40-60I3	1.511	1.833	1.595	1.803	1.869
40-70I1	1.504	1.820	1.583	1.822	1.897
40-70I2	1.509	1.882	1.594	1.825 ⁿ	1.899
40-70I3	1.509	1.886	1.600	1.811	1.900
40-80I1	1.509	1.829	1.611	1.843	1.912
40-80I2	1.516	1.883	1.627	1.835	1.912

ตารางที่ 3 (ต่อ) ค่าสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุดและแรงเฉือนสูงสุดเนื่องจากรถบรรทุกไทยกับน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO

รูปแบบโครงสร้างสะพาน	สัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุด			สัดส่วนแรงเฉือนสูงสุด	
	M_{AB}^+	M_B^-	M_{BC}^+	V_{AB}	V_{BC}
40-8013	1.516	1.924	1.632	1.829	1.911
40-9011	1.490	1.838	1.658	1.863	1.936
40-9012	1.496	1.883	1.678	1.852	1.938
40-9013	1.497	1.915	1.689	1.844	1.939
40-10011	1.503	1.852	1.695	1.884	1.953
40-10012	1.511	1.883	1.717	1.873	1.954
40-10013	1.514	1.908	1.729	1.863	1.954
50-5011	1.571	1.827	1.531	1.862	1.846
50-6011	1.579	1.887	1.577	1.871	1.876
50-6012	1.566	1.827	1.591	1.872	1.879
50-6013	1.554	1.781	1.598	1.872	1.881
50-7011	1.580	1.866	1.586	1.876	1.904
50-7012	1.569	1.878	1.597	1.875	1.907
50-7013	1.558	1.828	1.603	1.874	1.909
50-8011	1.581	1.865	1.616	1.889	1.916
50-8012	1.573	1.924	1.629	1.886	1.917
50-8013	1.562	1.881	1.636	1.884	1.917
60-6011	1.625	1.887	1.581	1.898	1.888

หมายเหตุ : ช่องที่มีตัวอักษรยก ก, ช่องที่มีตัวอักษรยก ข และช่องที่ไม่ได้กำหนดตัวอักษร หมายถึงค่าสัดส่วนดังกล่าวนั้นเกิดจากรถบรรทุกแบบ Full50.5(1) Full50.5(2) และ Semi45(2) ตามลำดับ

5.2 การเปรียบเทียบสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุดและแรงเฉือนสูงสุดของคานสะพานต่อเนื่องกับคานสะพานช่วงเดียว

ค่าสัดส่วนผลตอบแทนของโครงสร้างสูงสุดที่ได้จากการวิเคราะห์คานสะพานต่อเนื่อง ได้นำมาเปรียบเทียบกับสัดส่วนสูงสุดที่ได้จากคานสะพานช่วงเดียว โดยสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุดและแรงเฉือนสูงสุดเนื่องจากรถบรรทุกไทยกับน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO ของคานสะพานช่วงเดียวได้นำมาจากสถิติและคณะ [9]

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมด M_{AB}^+ , M_B^- , M_{BC}^+ , V_{AB} และ V_{BC} นำมาสรุปเป็นตารางแยกตามสัดส่วนโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดคานต่อเนื่องดังแสดงใน

ตารางที่ 4 ถึงตารางที่ 8 ตามลำดับ และนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนดังกล่าวสูงสุดกับความยาวช่วงสะพานดังรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 7 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณารูปที่ 3 และสะพานช่วงที่ 1 จะเห็นว่าค่าสัดส่วนโมเมนต์ดัด M_{AB}^+ สูงสุดของคานสะพานต่อเนื่องจะมีค่ามากกว่าสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ได้จากคานสะพานช่วงเดียวในความยาวช่วงสะพานที่ 30 เมตร อยู่ร้อยละ 5.78 ไปจนถึงที่ความยาวช่วงสะพานที่ 60 เมตร ค่าสัดส่วนจะมีค่ามากกว่าเพียงร้อยละ 0.56 จะเห็นว่าเมื่อความยาวช่วงสะพานเพิ่มมากขึ้น ความแตกต่างระหว่างสัดส่วนโมเมนต์ดัด M_{AB}^+ ของคานสะพานต่อเนื่องกับคานสะพานช่วงเดียวจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อพิจารณารูปที่ 4 และสะพานช่วงที่ 2 จะเห็นว่าค่าสัดส่วนโมเมนต์ดัด M_B^- สูงสุดของคานสะพานต่อเนื่องจะมีค่ามากกว่าสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ได้จากคานสะพานช่วงเดียวในความยาวช่วงสะพานที่ 30 เมตรอยู่ร้อยละ 25.87 ไปจนถึงความยาวช่วงสะพาน 100 เมตรซึ่งจะมีค่าสัดส่วนมากกว่าเพียงร้อยละ 7.86

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5 และสะพานช่วงที่ 2 จะเห็นว่าค่าสัดส่วนโมเมนต์ดัด M_{BC}^+ สูงสุดของคานสะพาน

ต่อเนื่องจะมีค่าน้อยกว่าสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ได้จากคานสะพานช่วงเดียวอยู่เล็กน้อยประมาณร้อยละ 2.74 และร้อยละ 2.26 ที่ความยาวช่วงสะพาน 30 เมตร และ 100 เมตร ตามลำดับ จะเห็นว่าที่ทุกความยาวช่วงสะพานค่าสัดส่วนโมเมนต์ดัด M_{BC}^+ สูงสุดของคานสะพานต่อเนื่องจะน้อยกว่าที่ได้จากคานสะพานช่วงเดียวที่มีความยาวช่วงเท่ากัน

ตารางที่ 4 สัดส่วนโมเมนต์ชนิดบวกสูงสุดที่บริเวณกึ่งกลางคานสะพานช่วงที่ 1 (M_{AB}^+)

รูปแบบโครงสร้างสะพาน	ความยาวสะพานช่วงที่ 1 (ม.)			
	30	40	50	60
Con.1	1.426	1.516	1.581	1.625
Con.2	1.427	1.516	1.573	*
Con.3	1.426	1.516	1.562	*
สัดส่วนสูงสุด (คานต่อเนื่อง)	1.427	1.516	1.581	1.625
สัดส่วนสูงสุด (คานช่วงเดียว)	1.349	1.469	1.565	1.616
ร้อยละความแตกต่าง	5.78	3.20	1.02	0.56

* ความยาวช่วงสะพานเท่ากันทั้ง 3 ช่วง จะกำหนดให้สัดส่วน I_2/I_1 เท่ากับ 1 เท่านั้น

ตารางที่ 5 สัดส่วนโมเมนต์ชนิดลบสูงสุดที่บริเวณฐานรองรับ B (M_B^-)

รูปแบบโครงสร้างสะพาน	ความยาวสะพานช่วงที่ 2 (ม.)							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Con.1	1.698	1.836	1.853	1.887	1.866	1.865	1.838	1.852
Con.2	*	1.752	1.846	1.886	1.882	1.924	1.883	1.883
Con.3	*	1.737	1.823	1.877	1.886	1.924	1.915	1.908
สัดส่วนสูงสุด (คานต่อเนื่อง)	1.698	1.836	1.853	1.887	1.886	1.924	1.915	1.908
สัดส่วนสูงสุด (คานช่วงเดียว)	1.349	1.469	1.565	1.616	1.619	1.664	1.723	1.769
ร้อยละความแตกต่าง	25.87	24.98	18.40	16.77	16.49	15.63	11.14	7.86

* ความยาวช่วงสะพานเท่ากันทั้ง 3 ช่วง จะกำหนดให้สัดส่วน I_2/I_1 เท่ากับ 1 เท่านั้น

ตารางที่ 6 สัดส่วนโมเมนต์ชนิดบวกสูงสุดที่บริเวณกึ่งกลางคานสะพานช่วงที่ 2 (M_{BC}^+)

รูปแบบโครงสร้างสะพาน	ความยาวสะพานช่วงที่ 2 (ม.)							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Con.1	1.312	1.454	1.531	1.581	1.586	1.616	1.658	1.695
Con.2	*	1.457	1.540	1.591	1.598	1.629	1.678	1.717
Con.3	*	1.457	1.547	1.598	1.603	1.636	1.689	1.729
สัดส่วนสูงสุด (คานต่อเนื่อง)	1.312	1.457	1.547	1.598	1.603	1.636	1.689	1.729
สัดส่วนสูงสุด (คานช่วงเดียว)	1.349	1.469	1.565	1.616	1.619	1.664	1.723	1.769
ร้อยละความแตกต่าง	-2.74	-0.82	-1.15	-1.11	-0.99	-1.68	-1.97	-2.26

* ความยาวช่วงสะพานเท่ากันทั้ง 3 ช่วง จะกำหนดให้สัดส่วน I_2/I_1 เท่ากับ 1 เท่านั้น

ตารางที่ 7 สัดส่วนแรงเฉือนสูงสุดในช่วงที่ 1 (V_{AB})

รูปแบบโครงสร้างสะพาน	ความยาวสะพานช่วงที่ 1 (ม.)			
	30	40	50	60
Con.1	1.924	1.884	1.889	1.898
Con.2	1.914	1.873	1.886	*
Con.3	1.905	1.863	1.884	*
สัดส่วนสูงสุด (คานต่อเนื่อง)	1.924	1.884	1.889	1.898
สัดส่วนสูงสุด (คานช่วงเดียว)	1.506	1.752	1.826	1.861
ร้อยละความแตกต่าง	27.76	7.53	3.45	1.99

* ความยาวช่วงสะพานเท่ากันทั้ง 3 ช่วง จะกำหนดให้สัดส่วน I_2/I_1 เท่ากับ 1 เท่านั้น

ตารางที่ 8 สัดส่วนแรงเฉือนสูงสุดในช่วงที่ 2 (V_{BC})

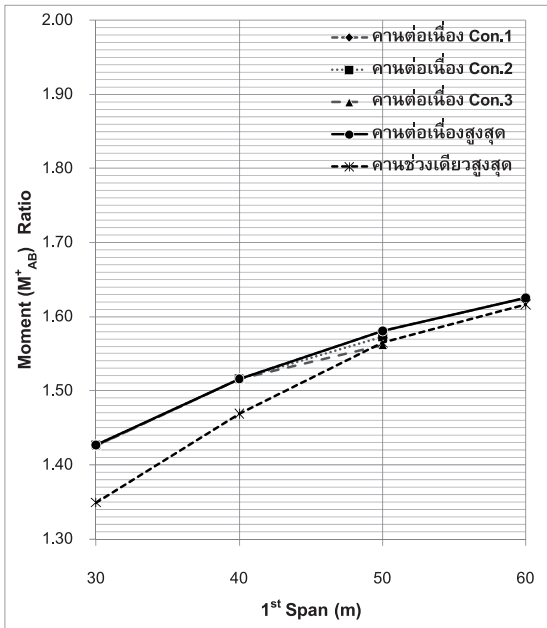
รูปแบบโครงสร้างสะพาน	ความยาวสะพานช่วงที่ 2 (ม.)							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Con.1	1.619	1.783	1.846	1.888	1.904	1.916	1.936	1.953
Con.2	*	1.755	1.835	1.879	1.907	1.917	1.938	1.954
Con.3	*	1.755	1.837	1.881	1.909	1.917	1.939	1.954
สัดส่วนสูงสุด (คานต่อเนื่อง)	1.619	1.783	1.846	1.888	1.909	1.917	1.939	1.954
สัดส่วนสูงสุด (คานช่วงเดียว)	1.506	1.752	1.826	1.861	1.898	1.907	1.939	1.954
ร้อยละความแตกต่าง	7.50	1.77	1.10	1.45	0.58	0.52	0.00	0.00

* ความยาวช่วงสะพานเท่ากันทั้ง 3 ช่วง จะกำหนดให้สัดส่วน I_2/I_1 เท่ากับ 1 เท่านั้น

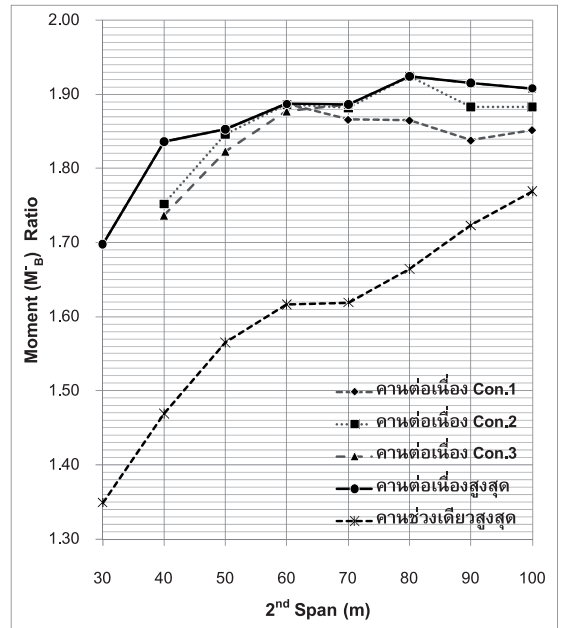
เมื่อพิจารณารูปที่ 6 และสะพานช่วงที่ 1 จะเห็นว่าค่าสัดส่วนแรงเฉือน V_{AB} สูงสุดของคานสะพานต่อเนื่องจะมีค่ามากกว่าสัดส่วนแรงเฉือนสูงสุดที่ได้จากคานสะพานช่วงเดียวในความยาวช่วงสะพานที่ 30 เมตรอยู่ร้อยละ 27.76 และที่ความยาวช่วงสะพานที่ 60 เมตรค่าสัดส่วนยังคงมีค่ามากกว่าอยู่ร้อยละ 1.99 จะเห็นว่าเมื่อความยาวช่วงสะพานเพิ่มมากขึ้นค่าสัดส่วนแรงเฉือน V_{AB} สูงสุดของคานสะพานต่อเนื่องจะลดลง ส่วนคานสะพาน

ช่วงเดียวค่าสัดส่วนแรงเฉือน V_{AB} สูงสุดจะเพิ่มขึ้น

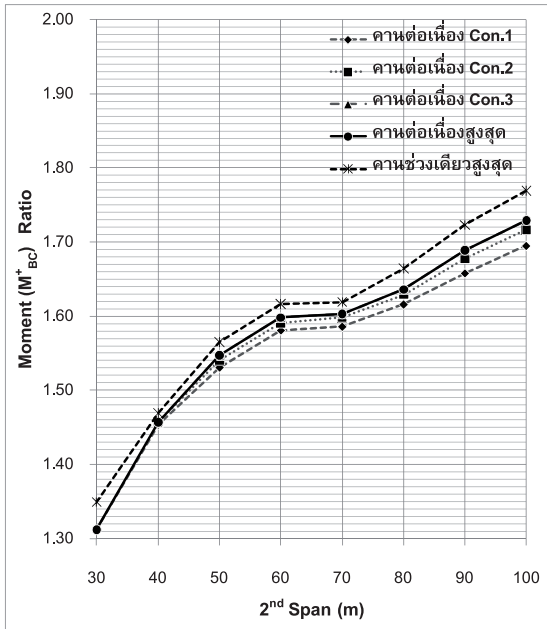
เมื่อพิจารณารูปที่ 7 และช่วงที่ 2 ของสะพาน จะเห็นว่าค่าสัดส่วนแรงเฉือน V_{BC} สูงสุดของคานสะพานต่อเนื่องจะมีค่ามากกว่าสัดส่วนแรงเฉือนสูงสุดที่ได้จากคานสะพานช่วงเดียวในความยาวช่วงสะพานที่ 30 เมตรอยู่ร้อยละ 7.50 ไปจนถึงความยาวช่วงสะพาน 90 เมตร และ 100 เมตร มีค่าสัดส่วนแรงเฉือนสูงสุดเท่ากัน



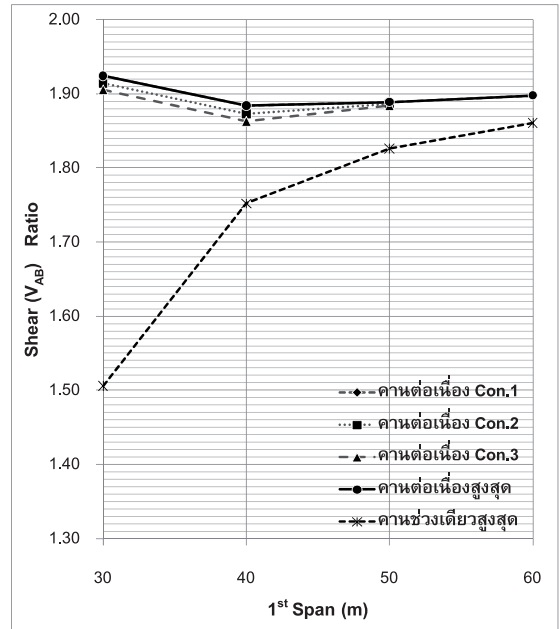
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมเมนต์บวกสูงสุดของสะพานช่วงที่ 1 (M_{AB}^+) กับความยาวช่วงสะพานช่วงที่ 1



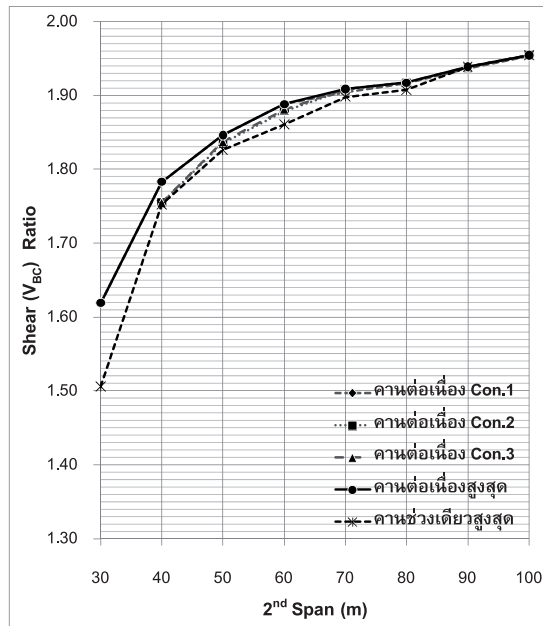
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมเมนต์ลบสูงสุดที่ฐานรองรับ B (M_B^-) กับความยาวช่วงสะพานช่วงที่ 2



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมเมนต์บวกสูงสุดของ สะพานช่วงที่ 2 (M^+_{BC}) กับความยาวช่วงสะพานช่วงที่ 2



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนแรงเฉือนสูงสุดในช่วงที่ 1 (V_{AB}) กับความยาวช่วงสะพานช่วงที่ 1



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนแรงเฉือนสูงสุดในช่วงที่ 2 (V_{BC}) กับความยาวช่วงสะพานช่วงที่ 2

6. อภิปรายผล

ในทางปฏิบัติ ตัวปรับค่าน้ำหนักบรรทุกจรมักใช้ค่าคงที่ค่าเดียวซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับความยาวช่วงสะพาน อย่างไรก็ตาม การใช้งานลักษณะดังกล่าวไม่อาจจะหาค่าตอบสนองทุกชนิดที่เทียบเท่ารถบรรทุกไทยได้ ยกตัวอย่างเช่นรูปแบบโครงสร้างสะพาน 30-30I1 ได้สัดส่วน M_{AB}^+ , M_{B-} , M_{BC}^+ , V_{AB} และ V_{BC} เท่ากับ 1.413, 1.698, 1.312, 1.660 และ 1.619 ตามลำดับ หากใช้สัดส่วนของผลตอบสนองค่าใดค่าหนึ่งเพื่อปรับค่าน้ำหนักบรรทุกก็อาจส่งผลให้การประมาณผลตอบสนองอื่นมากหรือน้อยเกินไป ซึ่งส่งผลให้การประมาณค่าแรงภายในเพื่อการออกแบบชิ้นส่วนที่อาจได้ผลออกมาในด้านที่ไม่ปลอดภัยหรือไม่ประหยัดได้ ดังนั้นเมื่อต้องการผลตอบสนองชนิดใดเพื่อการออกแบบ ควรใช้สัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับผลตอบสนองชนิดนั้นๆ อย่างไรก็ตามเนื่องจากตัวปรับค่าน้ำหนักบรรทุกจรมักใช้กันในปัจจุบันได้มาจากการศึกษาคานสะพานช่วงเดียว การศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งที่จะเปรียบเทียบสัดส่วนผลตอบสนองที่ได้รับหาคานสะพานต่อเนื่องและคานสะพานช่วงเดียว และพบว่าหากต้องการวิเคราะห์คานต่อเนื่องด้วยสัดส่วนดังกล่าวที่ใช้ในคานสะพานช่วงเดียวสำหรับการพิจารณาผลตอบสนอง M_{AB}^+ , M_{BC}^+ , V_{AB} และ V_{BC} จะให้ค่าความแตกต่างที่ยอมรับได้ (น้อยกว่าร้อยละ 5) ยกเว้น M_{AB}^+ ที่ความยาวช่วงที่ 1 น้อยกว่า 40 เมตร V_{AB} ที่ความยาวช่วงที่ 1 น้อยกว่า 40 เมตร และ V_{BC} ที่ความยาวช่วงที่ 2 น้อยกว่า 40 เมตร ส่วนการพิจารณาผลตอบสนอง M_{B-} จะให้ค่าสัดส่วนที่แตกต่างกันมากในทุกช่วงความยาวของช่วงที่ 2 อย่างไรก็ตามแม้ว่าคานสะพานช่วงเดียวจะไม่เกิดโมเมนต์ลบ แต่การศึกษาครั้งนี้เป็นการเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นความแตกต่างของสัดส่วนดังกล่าว เพราะในทางปฏิบัติสัดส่วนเพิ่มอาจใช้ค่าเดียวกันได้ อนึ่งจะสังเกตเห็นว่าผลกระทบเนื่องจากความไม่เท่ากันของความแกร่งเชิงตัดของหน้าตัดสะพานแต่ละช่วง จะส่งผลต่อความแตกต่างของสัดส่วนผลตอบสนองของคานต่อเนื่อง (เมื่อเทียบกับสัดส่วนของคานที่มีหน้าตัดคงที่) เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ยกเว้นผลตอบสนอง M_{B-} ที่มีความแตกต่างของสัดส่วนดังกล่าว (ระหว่าง Con.3 กับ Con.1) มากที่สุดอยู่ระหว่างร้อยละ -5.39 ถึงร้อยละ 4.19 ซึ่งน่าจะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หากไม่คิดถึงผลของความ

ไม่เท่ากันของความแกร่งเชิงตัดของหน้าตัดสะพาน

7. สรุปและข้อเสนอแนะ

บทความนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานสะพานต่อเนื่อง 3 ช่วงที่มีความยาวแต่ละช่วงไม่เท่ากัน และมีความยาวช่วงรวมตั้งแต่ 90 เมตรถึง 180 เมตร เนื่องจากรถบรรทุกไทยตามประกาศฯ ของกรมทางหลวง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548-2552 โดยคำนึงถึงผลของความแข็งแกร่ง และนำมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักบรรทุกจรมตามมาตรฐาน AASHTO จากการศึกษาพบว่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงสุดในแต่ละช่วงความยาวสะพานส่วนใหญ่จะเกิดจากรถบรรทุกแบบ Semi45(2) จากนั้นจึงทำการหาสัดส่วนแรงเฉือนและสัดส่วนโมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักรถบรรทุกไทยกับน้ำหนักบรรทุกจรมตามมาตรฐาน AASHTO ที่สัมพันธ์กับความยาวช่วงสะพาน จะเห็นว่าสัดส่วนโมเมนต์ดัดและสัดส่วนแรงเฉือนจะมากกว่าสัดส่วนเดียวกันที่ได้จากคานช่วงเดียวสูงสุดถึงร้อยละ 25.87 และร้อยละ 27.76 ตามลำดับ ในกรณีที่มีความแกร่งเชิงตัดของแต่ละช่วงสะพานไม่เท่ากัน จะส่งผลต่อความแตกต่างของสัดส่วนผลตอบสนองคานต่อเนื่องน้อย (เมื่อเทียบกับสัดส่วนของคานที่มีหน้าตัดคงที่) โดยค่ามากที่สุดอยู่ระหว่างร้อยละ -5.39 ถึงร้อยละ 4.19 อย่างไรก็ตามเพื่อให้สัดส่วนดังกล่าวมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ควรตรวจสอบสัดส่วนดังกล่าวอีกครั้งด้วยการวิเคราะห์โครงสร้างอย่างละเอียด โดยจำลองโครงสร้างแบบ 3 มิติ ซึ่งผลที่ได้จะนำมาเป็นข้อมูลในการปรับปรุงมาตรฐานการออกแบบสะพานในประเทศไทยในอนาคตได้

8. เอกสารอ้างอิง

1. Department of Highways, 2005, *Declaration of Director of Motorways, Director of The National Highways, and Director of Concession Highways: Forbidding Any Vehicles with Weight, Net Weight Carrying, Over Weight on Each Axle, or Any Damaged on the Highways, Motorways, and Concession Highways*, The Government Gazette, No. 122, Special Session 150ง., Dec 28, 2005, pp. 19-25. (In Thai)

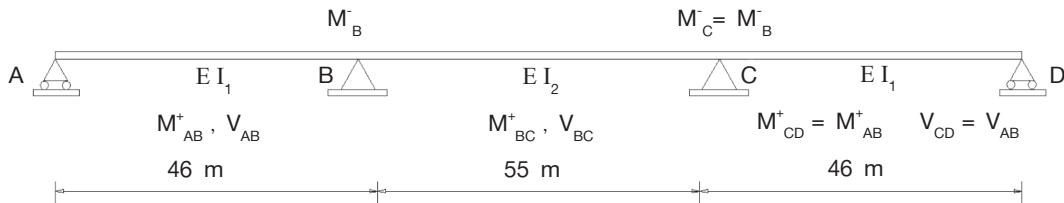
2. Department of Highways, 2007, *Permitted Certificate of คค0606/9704*, Dec 21, 2007. (In Thai)
3. Department of Highways, 2008, *Declaration of Department of Highways at คค0643/530: Regulation of Permission for Driving any Vehicles on Motorways, National Highways, and Concession Highways by the Declaration of Department of Motorways, National Highways, and Concession Highways on Dec 22, 2005, (Sep 30, 2008)*. (In Thai)
4. Department of Highways, 2009(a), *Declaration of Director of Motorways, Director of The National Highways, and Director of Concession Highways: Forbidding Any Vehicles with Weight, Net Weight Carrying, over Weight on Each Axle, or Any Damaged on the Highways, Motorways, and Concession Highways (Vol. 2) in 2009*, The Government Gazette, No. 126, Special Session 92จ., Jun 30, 2009, pp. 2-7. (In Thai)
5. Department of Highways, 2009(b), *Declaration of Director of Motorways, Director of The National Highways, and Director of Concession Highways: Forbidding Any Vehicles with Weight, Net Weight Carrying, over Weight on Each Axle, or Any Damaged on the Highways, Motorways, and Concession Highways (Vol. 3) in 2009*, The Government Gazette, No. 126, Special Session 174จ., Nov 30, 2009, pp. 116-117. (In Thai)
6. AASHTO, 2002, *AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges*, 17th Edition, AASHTO, Washington DC.
7. Suparp, S. and Joyklad, P., 2011, "A Study on Load-Carrying Behavior of Simple-Supported Bridge Due to Thai Truck Loads", *Kasem Bundit Engineering Journal*, Vol. 1, No. 1 (January-June 2011). (In Thai)
8. Suparp, S. and Joyklad, P., 2011, "A Study on Load-Carrying Behavior of Three-Span Continuous Bridge Due to Thai Truck Loads", *Proceeding of the 16th National Convention on Civil Engineering*, May 2011, Pattaya, Chonburi, Thailand. (In Thai)
9. Suparp, S. and Joyklad, P., 2011, "A Comparison of Internal Forces of Simple Supported Bridges Due to Thai Truck Loads with AASHTO Highway Loads", *Research and Development Journal of the Engineering Institute of Thailand*, Vol. 22, No. 1. (In Thai)
10. Department of Rural Roads, 2005, *Declaration of Director of Rural Roads: Forbidding any Vehicles with Weight, Net Weight Carrying, over Weight on Each Axle, or Any Damaged on the Highways Occupied by Department of Rural Roads*, The Government Gazette, No. 122, Special Session 151จ., Dec 29, 2005, pp. 9-13. (In Thai)
11. Suriyo, J., Madsen, M. and Dumchue, A., 2009, *A Study on Load-Carrying Behavior of Simple Supported Bridge Due to Thai Truck Loads*, Project Report, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University. (In Thai)
12. Barker, R.M. and Puckett, J.A., 2005, *Design of Highway Bridge: An LRFD Approach*, 2nd Edition, John Wiley and Son, Inc., New Jersey.
13. 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, Jan-Feb.
14. Sritanet, S. and Attasaeranewong, S., 1999, "Structural Safety of Superstructure of Don Muang Tollway Project Due to Thai Truck Loads", *Proceeding of the 16th National Convention on Civil Engineering*, May 1999, Pattaya, Chonburi, Thailand. (In Thai)
15. Vivithkeyoonwong, S. and Rimdusit, K., 2005, "A Comparison of Bending Moments and

End Shears of Simple Span Bridge Girders Due to The Ten-Wheel Truck with the AASHTO Standard Truck”, *Proceeding of the 43th Kasetsart University Annual Conference*, Bangkok, Thailand. (In Thai)

16. FHWA, 1980, *Integral, No-Joint Structures and Required Provisions for Movement*, FHWA Technical Advisory T5140.13, Federal Highway Administration, Washington DC, Oct. 3.

9. ภาคผนวก : การประยุกต์ใช้งาน

จากผลการศึกษาข้างต้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับตัวอย่างคานสะพานต่อเนื่อง 3 ช่วงดังรูปที่ 8 โดยสะพานช่วง AB, BC และ CD มีความยาวช่วงเท่ากับ 46, 55 และ 46 เมตร ตามลำดับ โดยกำหนดให้ สัดส่วน I_2/I_1 เท่ากับ 1.30



รูปที่ 8 ตัวอย่างคานสะพานต่อเนื่อง 3 ช่วง

จากน้ำหนักรถบรรทุกไทย 15 รูปแบบ และน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO 2 รูปแบบ สามารถวิเคราะห์หาสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุดและแรงเฉือนสูงสุด

เนื่องจากน้ำหนักรถบรรทุกไทยตามประกาศของกรมทางหลวงกับน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO ได้และนำมาสรุปไว้ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าสัดส่วนผลตอบแทนของโครงสร้างสูงสุดของสะพานตัวอย่าง

ผลตอบแทนของโครงสร้าง	ความยาวช่วงสะพาน (ม.)	สัดส่วนสูงสุด	ความแตกต่างจากผลการศึกษา	
			สะพานช่วงเดียว	สะพานต่อเนื่อง
M_{AB}^+	46	1.536	+0.4%	-0.9%
M_B^-	55	1.850	+16.4%	-1.1%
M_{BC}^+	55	1.555	-2.2%	-1.3%
V_{AB}	46	1.838	+2.1%	-2.0%
V_{BC}	55	1.871	+1.4%	+0.2%

หมายเหตุ : สัดส่วนสูงสุดของสะพานช่วงเดียวกับสะพานต่อเนื่องที่ได้จากผลการศึกษามีค่าที่ต่ำกว่าค่าที่แสดงในรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 7

จากการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุดและแรงเฉือนสูงสุดของคานสะพานตัวอย่างพบว่าค่าสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุดและแรงเฉือนสูงสุดของ M_{AB}^+ , M_B^- , M_{BC}^+ และ V_{AB} ที่ได้จะอยู่ภายใต้กราฟสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุดและแรงเฉือนสูงสุดของโครงสร้างสะพานต่อเนื่อง 3 ช่วง

ยกเว้นค่าสัดส่วนของแรงภายใน V_{BC} ซึ่งมีค่าสัดส่วนสูงกว่าเพียงร้อยละ 0.2 อย่างไรก็ตาม ค่าสัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุดและแรงเฉือนสูงสุดของ M_{AB}^+ , M_B^- , V_{AB} และ V_{BC} ที่ได้จะมากกว่าโครงสร้างสะพานช่วงเดียว ซึ่งสัดส่วน M_B^- มีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 16.4 สำหรับ

ลัดส่วน M^+_{BC} จะมีค่าน้อยกว่าลัดส่วนที่ได้จากสะพานช่วงเดียวเพียงร้อยละ 2.2 เท่านั้น จากผลที่ได้จะเห็นว่า ลัดส่วนโมเมนต์ดัดสูงสุดและแรงเฉือนสูงสุดของคานต่อเนื่องที่ได้จากการศึกษาข้างต้นสามารถนำไปประยุกต์

ใช้ในการปรับเพิ่มค่ากำลังออกแบบของน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO เพื่อให้สอดคล้องกับน้ำหนักบรรทุกทุกไทยได้