

ผลกระทบของมุมเฉียงที่มีต่อการกระจายน้ำหนักบรรทุกทุกไทย  
ในสะพานคอนกรีตความยาวช่วงปานกลาง

EFFECTS OF SKEW ANGLES ON LIVE LOAD DISTRIBUTIONS OF  
THAI TRUCKS IN MEDIUM-SPAN CONCRETE BRIDGES

ธีรวุฒิ ชัยนี<sup>1</sup> และ สุนิติ สุภาพ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 1761 ถนนพัฒนาการ แขวง/เขต สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250  
<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 1761 ถนนพัฒนาการ  
แขวง/เขต สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250

Thirawut Chaini<sup>1</sup> and Suniti Suparp<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Master of Engineering Program in Civil Engineering, Graduate School, Kasem Bundit  
University 1761 Pattanakarn Rd., Suanluang, Bangkok. 10250 Thailand

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University 1761  
Pattanakarn Rd., Suanluang, Bangkok. 10250 Thailand

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ศึกษาผลกระทบของมุมเฉียงที่มีต่อการกระจายน้ำหนักบรรทุกทุกไทยและน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO (HS20-44) เปรียบเทียบกับสูตรการคำนวณตัวคูณการกระจายน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO ในสะพานคอนกรีตความยาวช่วงปานกลาง 2 รูปแบบ 3 ความยาวช่วง ได้แก่ (1) Multiple Box Girder ที่มีความยาวช่วง 20 เมตร (MB-20) และ (2) I-Girder ที่มีความยาวช่วง 30 และ 35 เมตร (IG-30 และ IG-35) โดยมีมุมเฉียงที่ปลายสะพานตั้งแต่ 0 ถึง 30 องศา ผลการศึกษาพบว่ามุมเฉียงที่ปลายสะพานมีผลทำให้แรงเฉือนสูงสุดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสะพานที่ไม่มีมุมเฉียง ในตรงกันข้าม มุมเฉียงจะทำให้โมเมนต์ดัดสูงสุดลดลงเพียงเล็กน้อยยกเว้น MB-20 โมเมนต์ดัดของคานภายนอกจะเพิ่มขึ้นสูงสุดด้วยสัดส่วนเท่ากับ 1.17 เมื่อพิจารณาแรงภายในแล้วพบว่า ค่าแรงเฉือนที่ได้จากสูตรการคำนวณจะน้อยกว่าค่าแรงเฉือนที่ได้จาก HS20-44 และรถบรรทุกไทยทุกรูปแบบสะพาน โดยแรงเฉือนสูงสุดจากรถบรรทุกไทยมีค่ามากกว่าด้วยสัดส่วนเท่ากับ 3.49, 1.48 และ 1.54 สำหรับ MB-20, IG-30 และ IG-35 ตามลำดับ โดยแรงเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นในรูปแบบสะพานที่มีมุมเฉียง 30 องศา สำหรับโมเมนต์ดัดสูงสุดจากรถบรรทุกไทยมีค่าน้อยกว่าโมเมนต์ดัดสูงสุดจากรถบรรทุกไทยเมื่อเทียบกับ

รูปแบบสะพานยกเว้นคานภายใน MB-20 ที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกไทยซึ่งมีค่ามากกว่าโมเมนต์ตัดจากสูตรการคำนวณด้วยสัดส่วนสูงสุดเท่ากับ 1.15 สำหรับสะพานที่มีมุมเฉียง 30 องศา  
คำสำคัญ: การกระจายน้ำหนักบรรทุกจร, รถบรรทุกไทย, สะพาน, มุมเฉียง

### ABSTRACT

This paper aimed to study the effects of skew angles on live load distributions in medium-span concrete bridges due to Thai trucks and AASHTO standard live load (HS20-44) compared with those calculated from AASHTO live load distribution formula. Two types and three spans of bridges, including (1) Multiple Box Girder with 20-meter span; MB-20, (2) I-Girder with 30- and 35-meter span; IG-30 and IG-35, were selected to study. The bridge skew angles of 0 up to 30 degree were also incorporated for each bridge type. It was found that the maximum shear forces were increased with the increasing of the skew angles. Conversely, the maximum bending moments were slightly decreased except those of exterior girders on MB-20 which were increased with the ratio of 1.17. Furthermore, the shear forces according to the AASHTO formula were less than those from Thai trucks. The shear ratios between Thai trucks and the AASHTO formula were 3.49, 1.48 and 1.54 for MB-20, IG-30 and IG-35, respectively. The maximum shear forces were observed at the bridges with the skew angle of 30 degree. The maximum bending moments due to HS20-44 and Thai trucks were less than those obtained from the AASHTO formula excluding the moments of interior girders calculated from MB-20 due to Thai truck. The maximum bending moment ratio was 1.15 at the skew angle of 30 degree.

**KEYWORDS:** live load distributions, Thai trucks, bridges, skew angles

### 1. บทนำ

การออกแบบโครงสร้างสะพานจะมีความยุ่งยากในการหาค่าแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ตัดสูงสุดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นน้ำหนักบรรทุกจรเคลื่อนที่ อีกทั้งยังต้องพิจารณาการกระจายน้ำหนักที่อาจมีความไม่สม่ำเสมอตลอดหน้าตัดอีกด้วย ยิ่งถ้าหากรูปแบบโครงสร้างสะพานมีจำนวนช่องจราจรมากด้วยแล้ว ยิ่งต้องใช้เวลาและมีความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้นไปอีก มาตรฐาน AASHTO [1] จึงได้แนะนำสูตรการคำนวณตัวคูณการกระจายน้ำหนักบรรทุกจรโดยให้ขึ้นอยู่กับรูปแบบโครงสร้าง ความยาวช่วงสะพาน ระยะห่างระหว่างคานตามยาว จำนวนช่องจราจร แต่ไม่ได้คำนึงถึงมุมเฉียงที่ปลายสะพาน อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาพบว่า น้ำหนัก

รถบรรทุกไทยมากกว่าน้ำหนักบรรทุกจรออกแบบตามมาตรฐาน AASHTO [2-4] อีกทั้งยังพบอีกว่า มุมเฉียงที่ปลายสะพานมีผลต่อการกระจายน้ำหนักของแรงภายในที่เกิดขึ้น [5-7] บทความนี้จึงศึกษาผลของมุมเฉียงที่มีต่อการกระจายน้ำหนักในสะพานเนื่องจากรถบรรทุกไทย น้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO (HS20-44) เปรียบเทียบกับแรงภายในที่ได้จากสูตรการคำนวณตัวคูณกระจายน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO [1] ซึ่งสะพานส่วนใหญ่ในประเทศไทยถูกสร้างและออกแบบตามมาตรฐานนี้

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเปรียบเทียบแรงภายในของสะพานช่วงเดี่ยวธรรมดาเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกไทย เปรียบเทียบกับน้ำหนักบรรทุกจร HS20-44 [2] พบว่าแรงเฉือนสูงสุดจากรถบรรทุกไทยจะมากกว่า HS20-44 ด้วยสัดส่วน 1.15, 1.25, 1.50, 1.75 และ 1.90 โมเมนต์ดัดจะมากกว่าด้วยสัดส่วน 1.30, 1.30, 1.35, 1.50 และ 1.65 ของช่วงความยาวสะพาน 10, 20, 30, 40 และ 60 เมตร ตามลำดับ สำหรับการเปรียบเทียบแรงภายในของสะพานต่อเนื่อง 3 ช่วง จากน้ำหนักบรรทุกไทย เปรียบเทียบกับน้ำหนักบรรทุกจร HS20-44 [3] โดยพิจารณาทั้งคานช่วงริมและคานช่วงกลาง พบว่าแรงเฉือนสูงสุดเนื่องจากรถบรรทุกไทยมากกว่า HS20-44 ด้วยสัดส่วน 1.92 และ 1.95 ตามลำดับ โมเมนต์ดัดชนิดบวกสูงสุดมากกว่า HS20-44 ด้วยสัดส่วน 1.61 และ 1.73 ตามลำดับ และโมเมนต์ดัดชนิดลบสูงสุดที่จุดรองรับภายในมากกว่าด้วยสัดส่วน 1.94 นอกจากนี้ยังมีการศึกษา สัดส่วนแรงเฉือนและสัดส่วนโมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกไทยกับน้ำหนักบรรทุกจร HL-93 ที่สัมพันธ์กับความยาวช่วงสะพาน [4] พบว่าสัดส่วนโมเมนต์ดัดและสัดส่วนแรงเฉือนจะมากกว่าสัดส่วนเดียวกันที่ได้จากคานช่วงเดี่ยวสูงสุดร้อยละ 12.69 และ 23.25 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาในภาพรวมและเปรียบเทียบกับน้ำหนักบรรทุกไทยแล้วจะเห็นว่า น้ำหนักบรรทุกจรแบบ HL-93 จะให้สัดส่วนผลตอบสนองสูงสุดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับที่ได้จากน้ำหนักบรรทุกจรแบบ HS 20-44 ประมาณร้อยละ 20 ถึง 30 จากผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่ารถบรรทุกไทยทำให้เกิดแรงภายในสูงสุดในโครงสร้างช่วงเดี่ยวธรรมดา มากกว่าน้ำหนักบรรทุกจร HS20-44 ทุกรูปแบบและทุกความยาวช่วงสะพาน

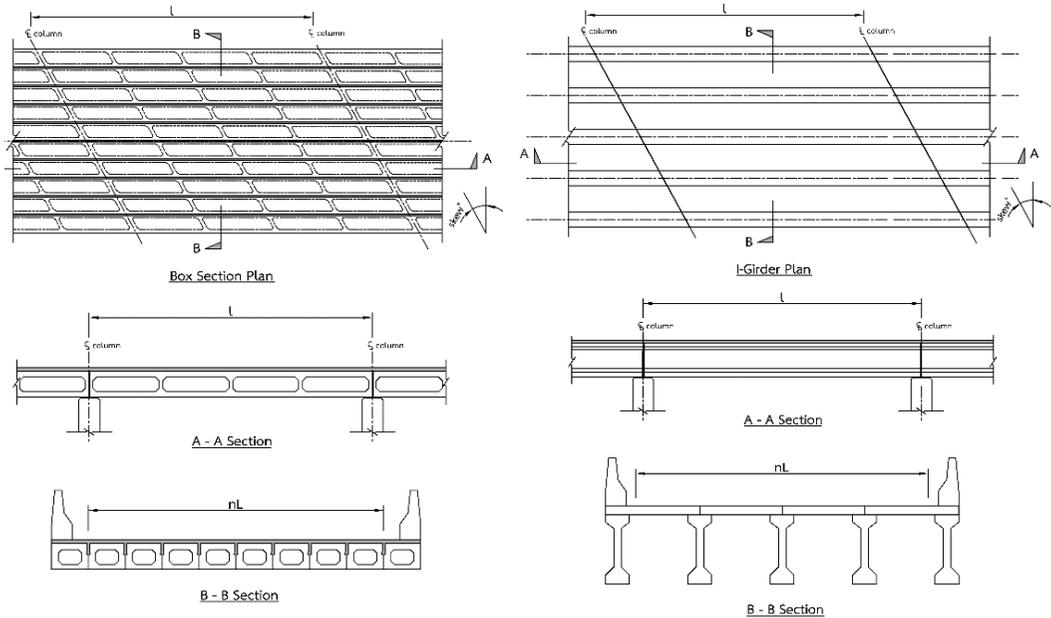
สะพานในประเทศไทยส่วนใหญ่จะก่อสร้างตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง ซึ่งใช้ได้กับสะพานที่มีมุมเฉียงมากที่สุดถึง 30 องศา (การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับทำเลที่ตั้งของสะพาน) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษพบว่า มุมเฉียงมีผลต่อพฤติกรรมการรับน้ำหนักของสะพานด้วย โดยได้มีการศึกษาผลกระทบของมุมเฉียงที่ปลายสะพานที่มีต่อแรงภายในโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ เปรียบเทียบกับค่าที่แนะนำตามมาตรฐาน AASHTO [5] พบว่าค่าโมเมนต์ดัดที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อสะพานมีมุมเฉียงที่น้อยกว่า 20 องศา แต่เมื่อมีมุมเฉียงที่ปลายสะพานมากขึ้น ค่าโมเมนต์ดัดตามมาตรฐาน AASHTO จะมากกว่าที่ได้จากการวิเคราะห์สะพานที่มีมุมเฉียงถึง 20% เมื่อ

สะพานมีมุมเฉียงที่ 30 องศา และมากกว่าถึง 100% เมื่อสะพานมีมุมเฉียงที่ 50 องศา อย่างไรก็ตามยังมีการศึกษาการกระจายน้ำหนักบรรทุกทุกในโครงสร้างช่วงเดียวธรรมดาและมีมุมเฉียงที่ปลายสะพานรูปแบบ I-Girder โดยทำการวิเคราะห์หาสัดส่วนการกระจายน้ำหนักบรรทุก ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นโครงสร้างสะพานจริงกับค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในโครงสร้างสะพานบนแบบจำลอง [6] พบว่ามุมเฉียงที่ปลายสะพานมีผลต่อตัวคุณการกระจายน้ำหนักอย่างมาก เมื่อสะพานมีมุมเฉียงเท่ากับ 60 องศา สัดส่วนการกระจายน้ำหนักจะมีค่าลดลงมา 24% สำหรับคานภายใน และสัดส่วนการกระจายน้ำหนักจะมีค่าลดลงมา 26.3% สำหรับคานภายนอก โดยสัดส่วนการกระจายน้ำหนักจะมีค่าเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับความยาวช่วงสะพานที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาผลกระจายน้ำหนักในโครงสร้างสะพานที่มีมุมเฉียงสูงมากที่ปลายสะพาน [7] โดยเปรียบเทียบกันระหว่างผลการทดสอบภาคสนามของโครงสร้างสะพานจริงกับการวิเคราะห์โครงสร้างตามมาตรฐาน AASHTO LRFD จากการศึกษาพบว่าค่าตัวคุณการกระจายน้ำหนักบรรทุกทุกจรที่แนะนำโดย AASHTO LRFD สำหรับโมเมนต์ดัดบวกรอบคolum และปลอดภัยต่อโครงสร้างต่างกับโมเมนต์ดัดลบสูงสุดที่มีค่าน้อยกว่าที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างสะพานจริงซึ่งตามมาตรฐาน AASHTO LRFD ค่าตัวคุณการกระจายน้ำหนักบรรทุกทุกจรที่แนะนำจะไม่คำนึงถึงรูปแบบสะพานว่าเป็นโครงสร้างช่วงเดียวธรรมดาหรือต่อเนื่อง จากผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่ามุมเฉียงของสะพานมีผลอย่างมากต่อการกระจายน้ำหนักบรรทุกทุกจร

### 3. วิธีการศึกษา

#### 3.1 รูปแบบสะพานที่ใช้ในการวิจัย

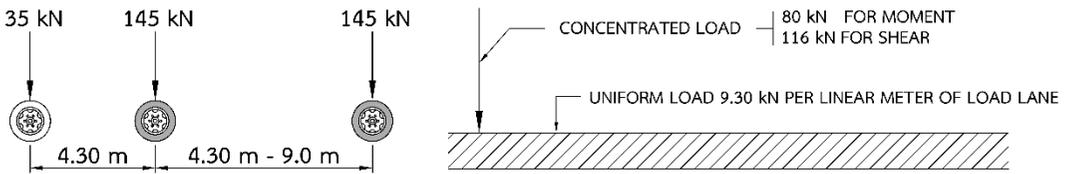
สำหรับรูปแบบโครงสร้างสะพานที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้อ้างอิงรูปแบบมาตรฐานโครงสร้างสะพานของหน่วยงานรับผิดชอบในไทย เช่น กรมโยธาธิการ กรมทางหลวงชนบท เป็นต้น ในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้รูปแบบโครงสร้างสะพานช่วงเดียว 2 รูปแบบ 3 ความยาวช่วง ได้แก่ รูปแบบ (1) Multiple Box Girder ที่มีความยาวช่วง 20 เมตร (MB-20) และ (2) I-Girder ที่มีความยาวช่วง 30 และ 35 เมตร (IG-30 และ IG-35) โดยในแต่ละรูปแบบสะพานจะพิจารณามุมเฉียงที่ปลายสะพาน 0, 10, 20 และ 30 องศา ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 สะพานแบบ Multiple Box Girder และ I-Girder

### 3.2 น้ำหนักบรรทุกจรที่ใช้ในการวิเคราะห์

รูปแบบน้ำหนักบรรทุกจรมาตรฐาน AASHTO [1] ซึ่งกำหนดน้ำหนักบรรทุกจรสูงสุดสำหรับการออกแบบไว้คือ HS20-44 โดยมีอยู่ 2 รูปแบบ ได้แก่ Truck Load และ Lane Load ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 Truck Load และ Lane Load ตามมาตรฐาน AASHTO [1]

สำหรับรูปแบบรถบรรทุกไทยที่ประกาศโดยกรมทางหลวงจากประกาศทั้งสิ้น 7 ฉบับ ตั้งแต่ประกาศฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2548) จนถึงประกาศฉบับที่ 7 (พ.ศ. 2556) [8-14] มีรถบรรทุกไทยทั้งสิ้น 3 ชนิด 41 รูปแบบ ได้แก่ ยานพาหนะชนิดรถเดี่ยว (Single Unit) มี 4 รูปแบบ ยานพาหนะชนิดรถลากจูงและกึ่งรถพ่วง (Semi-Trailer) 24 รูปแบบ และยานพาหนะชนิดรถลากจูงและรถพ่วง (Full-Trailer) 13 รูปแบบ [2,3] อย่างไรก็ตามจากการพิจารณาลักษณะน้ำหนักลงเพลลาที่เป็นขั้วคู่ ระยะห่างระหว่างเพลลาที่อยู่ใกล้ ๆ กันและน้ำหนักบรรทุกรวมที่มากที่สุดในแต่ละรูปแบบของ

รถบรรทุกนั้น จะสามารถพิจารณาบรรทุกเพียงบางรูปแบบที่ให้ผลตอบสนองสูงสุดได้ จากเหตุผลดังกล่าวจะได้รูปแบบรถบรรทุกไทยที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ทั้งสิ้น 3 ชนิด 15 รูปแบบ ได้แก่ ยานพาหนะชนิดรถเดี่ยว 2 รูปแบบ ยานพาหนะชนิดรถลากจูงและกึ่งรถพ่วง 9 รูปแบบ และ ยานพาหนะชนิดรถลากจูงและรถพ่วง 4 รูปแบบ [4] ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รถบรรทุกไทยที่ใช้วิเคราะห์

		รูปแบบรถบรรทุก						
ยานพาหนะชนิดรถเดี่ยว (Truck)								
ยานพาหนะชนิดรถลากจูง และกึ่งรถพ่วง (Semi)								
ยานพาหนะชนิดรถลากจูง และรถพ่วง (Full)								
รูปแบบ	น้ำหนักรวม (ตัน)	น้ำหนักบรรทุกต่อเพลลา (ตัน)						
		F1	F2	R1	R2	T1	T2	T3
Truck25	25	-	5	10	10			
Truck30	30	5	5	10	10			
Semi36	36	-	5	10	10	11	-	-
Semi41	41	5	5	10	10	11	-	-
Semi45(1)	45	-	5	10	10	10	10	-
Semi50	50	5	5	10	10	10	10	-
Semi50.5	50.5	-	5	10	10	8.5	8.5	8.5

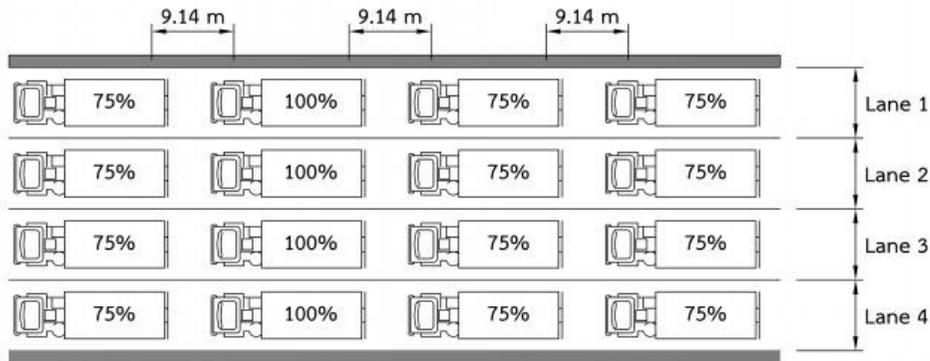
ตารางที่ 1 รถบรรทุกไทยที่ใ้ในการใช้วิเคราะห์ (ต่อ)

รูปแบบ	น้ำหนักรวม (ตัน)		น้ำหนักบรรทุกต่อเพลลา (ตัน)						
			F1	F2	R1	R2	T1	T2	T3
Semi49	49		-	5	10	10	8	8	8
Semi47	47		-	5	10	10	7.4	7.3	7.3
Semi45(2)	45		-	5	10	10	6.7	6.7	6.6
Semi50.5(2)	50.5		5	5	10	10	6.9	6.8	6.8
Full47	47		-	5	10	10	11	11	-
Full50.5(1)	50.5		-	5	10	10	8.5	8.5	8.5
Full53(2)	53		5	5	10	10	8	7.5	7.5
Full50.5(2)	50.5		5	5	10	10	7.5	6.5	6.5
ระยะห่างระหว่างเพลลา (มิลลิเมตร)									
รูปแบบ	a	b	c	d	e	f	X	Y	Z
Truck25	-	4455	1335	-	-	-	2000	1840	-
Truck30	1785	3100	1335	-	-	-	2025	1840	-
Semi36	-	3240	1350	7025	-	-	2015	1840	1835
Semi41	1785	1825	1350	7025	-	-	2015	1840	1835
Semi45(1)	-	3240	1350	7025	1340	-	2015	1840	1835
Semi50	1785	1825	1350	7025	1340	-	2015	1840	1835
Semi50.5	-	3240	1350	7025	1340	1340	2015	1840	1835
Semi49	-	3240	1350	6025	1340	1340	2015	1840	1835
Semi47	-	3240	1350	5025	1340	1340	2015	1840	1835
Semi45(2)	-	3240	1350	3525	1340	1340	2015	1840	1835
Semi50.5(2)	1785	1825	1350	7025	1340	1340	2015	1840	1835
Full47	-	4455	1350	3842	5240	-	2015	1840	1835
Full50.5(1)	-	3240	1350	7025	1340	1340	2015	1840	1835
Full53(2)	1785	3100	1350	4788	3620	1350	2015	1840	1835
Full50.5(2)	1785	3100	1350	4788	3620	1350	2015	1840	1835

### 3.3 รูปแบบการวางน้ำหนักของรถบรรทุกไทย

การจัดรูปแบบการวางน้ำหนักรถบรรทุกไทยบนโครงสร้างสะพานจะเคลื่อนที่เป็นรูปแบบขบวนและเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน มาตรฐาน AASHTO [1] ได้กำหนดให้ระยะห่างระหว่าง

เพลาลังของรถบรรทุกคันแรกกับเพลารอกของคันที่ตามมาเท่ากับ 9.14 เมตร และให้พิจารณา น้ำหนักรถคันที่สองเป็น 100% ส่วนคันอื่นให้คิดเป็น 75% ของน้ำหนักรถบรรทุก ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 รูปแบบการวางน้ำหนักของรถบรรทุกไทย

### 3.4 ตัวคูณการกระจายน้ำหนักบรรทุกจร

มาตรฐาน AASHTO [1] แนะนำสูตรการคำนวณตัวคูณการกระจายน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load Distribution Factor; DF) เพื่อความสะดวกต่อการวิเคราะห์โครงสร้าง โดยจะแบ่งตามรูปแบบโครงสร้างสะพาน สำหรับรูปแบบโครงสร้างสะพานที่ใช้ในการศึกษา จะมีค่าตัวคูณการกระจายน้ำหนักบรรทุกจรดังแสดงตามตารางที่ 2 และตารางที่ 3 สำหรับรูปแบบสะพาน Multiple Box Girder และ I-Girder ตามลำดับ ทั้งนี้แรงภายในที่ได้จากสูตรการคำนวณตัวคูณการกระจายน้ำหนักบรรทุกจรจะได้จากแรงภายในที่ได้จากคานช่วงเดี่ยวธรรมดาโดยคติน้ำหนักครึ่งหนึ่งของน้ำหนักบรรทุกจรแบบ HS20-44 รวมกับน้ำหนักบรรทุกจรกระทำคูณด้วย DF แล้วนำมาเปรียบเทียบกับแรงภายในของโครงสร้างสะพานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร HS20-44 และรถบรรทุกไทย

ตารางที่ 2 ตัวคูณการกระจายน้ำหนักบรรทุกจร สำหรับสะพานแบบ Multiple Box Girder

1. ความกว้างของหน้าตัดคาน (ฟุต)	S	3.248	3.248	3.248
2. จำนวนช่องจราจร	$N_L$	2	3	4
3. ความกว้างของสะพานระยะวัดตั้งฉากขอบนอกของหน้าตัดคามตัวริม (ฟุต)	W	29.331	42.323	48.786
4. ความยาวของโครงสร้างสะพาน (ฟุต)	L	65.617	65.617	65.617

ตารางที่ 2 ตัวคูณการกระจายน้ำหนักบรรทุกจร สำหรับสะพานแบบ Multiple Box Girder (ต่อ)

5. $K = 0.7$ if Non voided rectangular beam $= 0.8$ if Rectangular beam with circular voided $= 1.0$ if Box section beam $= 2.2$ if Channel ,Tee beam	K	1.0	1.0	1.0
6. $C = K(W/L)$ for $W/L < 1$ $= K$ for $W/L \geq 1$	W/L C	0.447 0.447	0.645 0.645	0.744 0.744
7. $D = (5.75 - 0.5N_L) + 0.7N_L(1 - 0.2C)^2$	D	5.911	5.843	5.779
8. Distribution of Load Factor $DF = S/D$	DF	0.550	0.556	0.562

ตารางที่ 3 ตัวคูณการกระจายน้ำหนักบรรทุกจร สำหรับสะพานแบบ I-Girder

1. ระยะห่างระหว่างคาน (ฟุต)	S	7.382	7.382	7.382
2. จำนวนช่องจราจร	$N_L$	2	3	4
3. ตัวคูณการกระจายน้ำหนักบรรทุกจรคานภายใน กรณี 1 ช่องจราจร $DF = S/7.0$ เมื่อ $S \leq 10$ ฟุต $DF = -$ เมื่อ $S > 10$ ฟุต กรณีมากกว่า 1 ช่องจราจร $DF = S/5.5$ เมื่อ $S \leq 14$ ฟุต $DF = -$ เมื่อ $S > 14$ ฟุต	$DF_{int}$	1.342	1.342	1.342
4. ตัวคูณการกระจายน้ำหนักบรรทุกจรคานภายนอก $DF = S/5.5$ เมื่อ $S \leq 6$ ฟุต $DF = S/(4.0 + 0.25S)$ เมื่อ $6 < S < 14$ ฟุต $DF = DF_{int}$ เมื่อ $S \geq 14$ ฟุต	$DF_{ext}$	1.263	1.263	1.263

### 3.5 น้ำหนักบรรทุกเพิ่มเนื่องจากการเคลื่อนที่

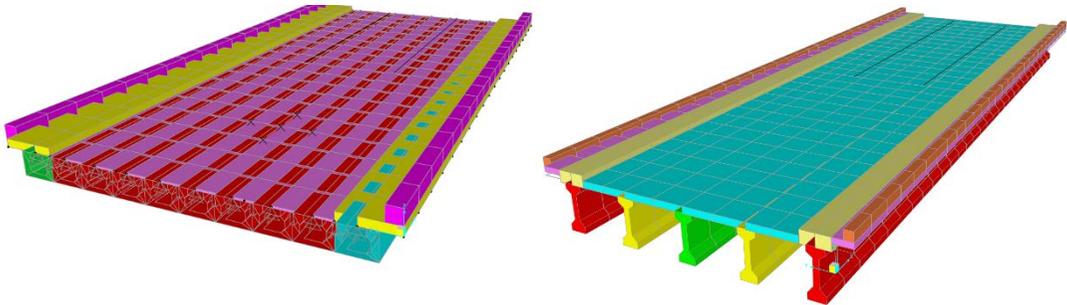
มาตรฐาน AASHTO [1] ได้กำหนดตัวคูณเพิ่มค่าสำหรับน้ำหนักบรรทุกจรที่เกิดจากแรงกระแทกซึ่งจะแปรผันตามความยาวช่วงสะพาน ค่าน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเนื่องจากการเคลื่อนที่สำหรับช่วงสะพาน 20 เมตร 30 เมตร และ 35 เมตร เป็น 25.86%, 22.06% และ 20.55% ตามลำดับ

### 3.6 ตัวคูณลดค่าเนื่องจากจำนวนช่องจราจร

สะพานที่ใช้ในการศึกษาในแต่ละรูปแบบมี 2, 3 และ 4 ช่องจราจร เมื่อคำนึงถึงความน่าจะเป็นที่จะมีรถอยู่ในช่องจราจร มาตรฐาน AASHTO [1] จึงได้กำหนดตัวคูณลดค่าเนื่องจากจำนวนช่องจราจรสำหรับ 2, 3, และ 4 ช่องจราจร เป็น 100%, 90% และ 75% ของน้ำหนักบรรทุกจรรวมตามลำดับ

### 3.7 แบบจำลองโครงสร้างสะพาน

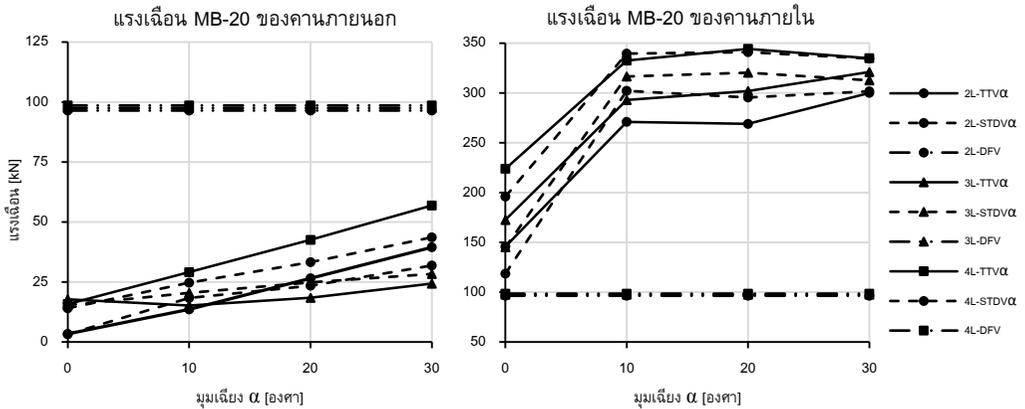
ในการวิเคราะห์โครงสร้างสะพาน ได้จำลองโครงสร้างให้แผ่นพื้นเป็น Shell Element และคานเป็น Beam Element ทั้งรูปแบบสะพาน MB-20, IG-30 และ IG-35 ดังรูปที่ 4



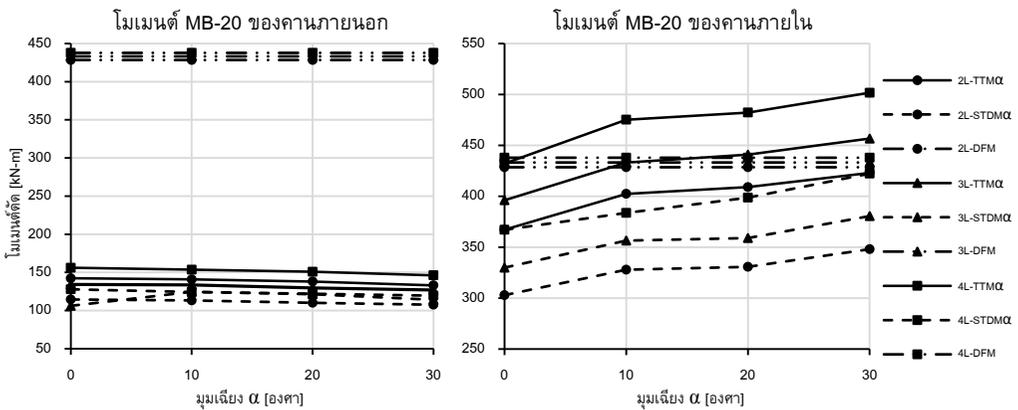
รูปที่ 4 แบบจำลองโครงสร้างสะพาน MB-20, IG-30 และ IG-35

## 4. ผลการศึกษา

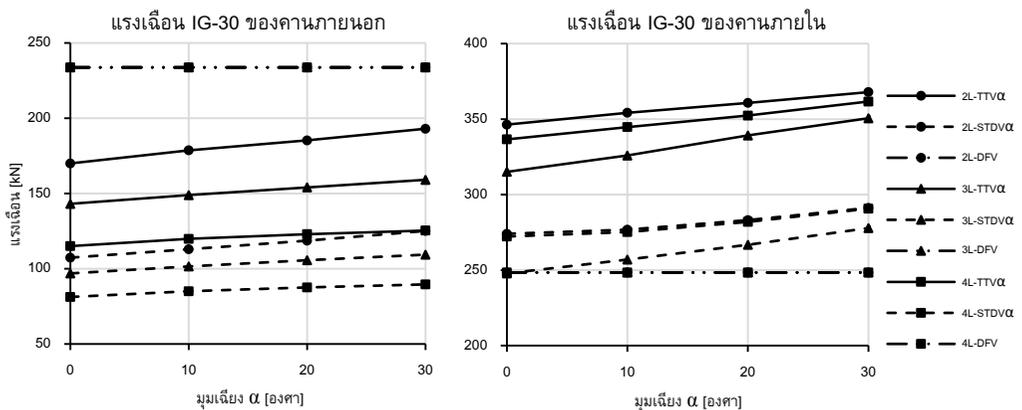
แรงภายในของโครงสร้างเนื่องจาก HS20-44 และรถบรรทุกไทยที่นำมาพิจารณา ได้แก่ แรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุกจรรวมน้ำหนักบรรทุกกระแทกของคานภายนอกและคานภายในแล้วนำมาเปรียบเทียบสูตรการคำนวณตัวคูณการกระจายน้ำหนักบรรทุกจรรวมตามมาตรฐาน AASHTO ดังแสดงในรูปที่ 5 ถึง 10 ซึ่งแสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดของรูปแบบสะพาน MB-20, IG-30 และ IG-35 โดยสัญลักษณ์ที่แสดงในกราฟ มีความหมายดังนี้ (1) 2, 3 และ 4 คือ จำนวนช่องจราจร (2) L คือ น้ำหนักบรรทุกจรรวมกับน้ำหนักบรรทุกกระแทก (3) DF คือ การกระจายน้ำหนักบรรทุกจรรวมของ AASHTO (4) TT คือ รถบรรทุกไทย (5) STD คือ น้ำหนักบรรทุกจรรวม HS20-44 (6) V คือ แรงเฉือนสูงสุด (7) M คือ โมเมนต์ดัดสูงสุด และ (8)  $\alpha$  คือ มุมเฉียงที่ปลายสะพาน 0, 10, 20 และ 30 องศา



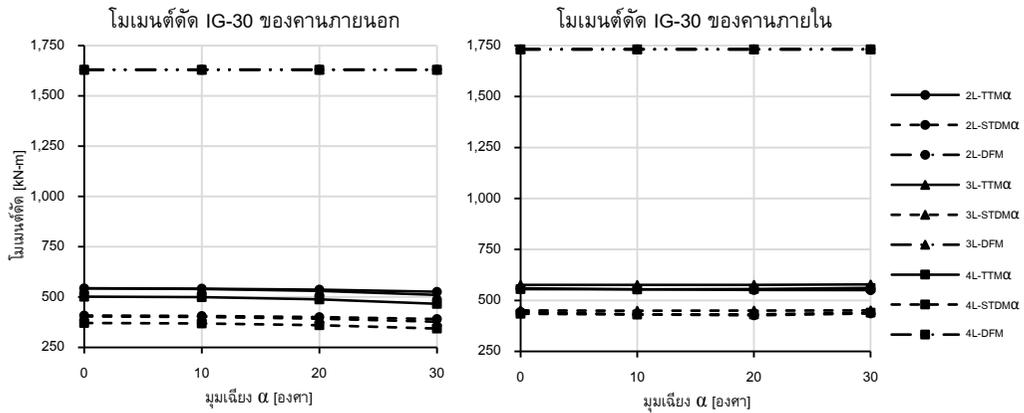
รูปที่ 5 แรงเฉือน MB-20 ของคานภายนอกและคานภายใน



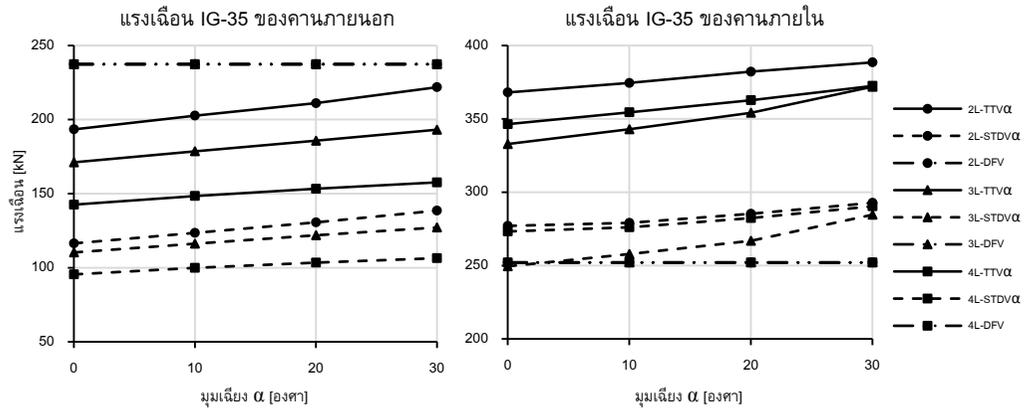
รูปที่ 6 โมเมนต์ตัด MB-20 ของคานภายนอกและคานภายใน



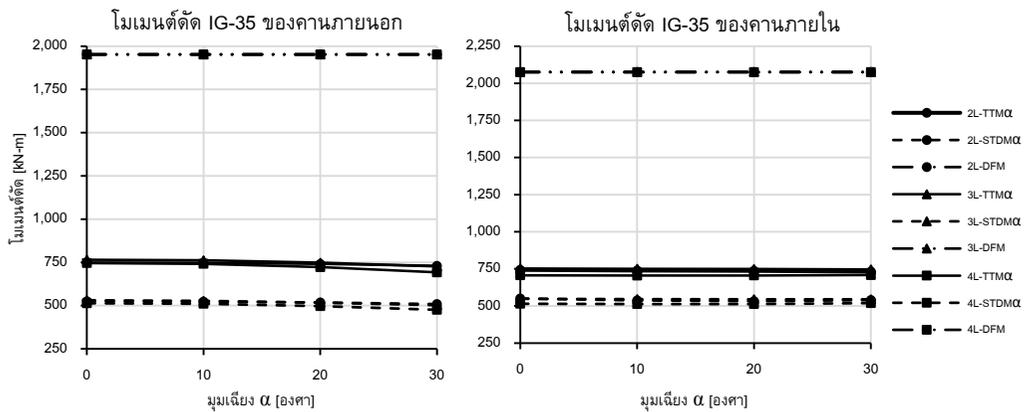
รูปที่ 7 แรงเฉือน IG-30 ของคานภายนอกและคานภายใน



รูปที่ 8 โมเมนต์ดัด IG-30 ของคานภายนอกและคานภายใน



รูปที่ 9 แรงเฉือน IG-35 ของคานภายนอกและคานภายใน



รูปที่ 10 โมเมนต์ดัด IG-35 ของคานภายนอกและคานภายใน

จากผลการวิเคราะห์พบว่า มุมเฉียงที่ปลายสะพานมีผลทำให้แรงเฉือนสูงสุดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสะพานที่ไม่มีมุมเฉียง โดยแรงเฉือนจาก HS20-44 เพิ่มขึ้นด้วยสัดส่วน 9.81, 1.17 และ 1.19 สำหรับ MB-20, IG-30 และ IG-35 ตามลำดับ จากรถบรรทุกไทยเพิ่มขึ้นด้วยสัดส่วน 11.64, 1.14 และ 1.15 ตามลำดับ ในตรงกันข้าม มุมเฉียงจะทำให้โมเมนต์ดัดสูงสุดทั้งที่ได้จาก HS20-44 และรถบรรทุกไทยลดลงเพียงเล็กน้อยด้วยสัดส่วนประมาณ 0.93 สำหรับ IG-30 และ IG-35 ยกเว้น MB-20 ที่โมเมนต์ดัดจะเพิ่มขึ้นด้วยสัดส่วน 1.17 และ 1.16 สำหรับ HS20-44 (คานภายใน) และรถบรรทุกไทย (คานภายนอก) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาแรงภายในของโครงสร้างเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร HS20-44 และรถบรรทุกไทยของคานภายนอกและคานภายในแล้วนำมาเปรียบเทียบกับแรงภายในจากสูตรการคำนวณตัวคูณการกระจายน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO พบว่าแรงเฉือนสูงสุดของคานภายนอกเนื่องจาก HS20-44 และรถบรรทุกไทยจะน้อยกว่าแรงเฉือนจากการกระจายน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO ทุกรูปแบบสะพาน แต่สำหรับคานภายใน แรงเฉือนสูงสุดที่ได้จาก HS20-44 และรถบรรทุกไทยจะมากกว่าการกระจายน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO ทุกรูปแบบสะพานแม้ว่าสะพานจะไม่มีมุมเฉียงที่ปลายสะพานก็ตาม แรงเฉือนสูงสุดของ MB-20 ที่ได้จาก HS20-44 จะมากกว่าด้วยสัดส่วนเท่ากับ 3.46 และรถบรรทุกไทยจะมากกว่า ด้วยสัดส่วนเท่ากับ 3.49 สำหรับ IG-30 แรงเฉือนสูงสุดจาก HS20-44 จะมากกว่าด้วยสัดส่วนเท่ากับ 1.17 และรถบรรทุกไทยจะมากกว่าด้วยสัดส่วนเท่ากับ 1.48 อีกทั้งแรงเฉือนสูงสุดของ IG-35 ที่ได้จาก HS20-44 จะมากกว่าด้วยสัดส่วนเท่ากับ 1.16 และรถบรรทุกไทยจะมากกว่ามีสัดส่วนเท่ากับ 1.54 โดยแรงเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นในรูปแบบสะพานที่มีมุมเฉียง 30 องศา

สำหรับการพิจารณาโมเมนต์ดัดสูงสุดของคานภายในและคานภายนอกพบว่าโมเมนต์ดัดสูงสุดเนื่องจาก HS20-44 และรถบรรทุกไทยจะน้อยกว่าโมเมนต์ดัดสูงสุดจากสูตรการกระจายน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO เกือบทุกรูปแบบสะพาน ยกเว้น MB-20 ที่โมเมนต์ดัดของคานภายในจะมากกว่าที่ได้จากสูตรการกระจายน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO ด้วยสัดส่วนสูงสุดเท่ากับ 1.15 ที่สะพานมีมุมเฉียง 30 องศา สัดส่วนสูงสุดที่ได้สรุปไว้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สัดส่วนแรงภายในของน้ำหนักรบรรทุกกับสูตรการกระจายน้ำหนักรบรรทุก

รูปแบบสะพาน	น้ำหนักรบรรทุก	แรงเฉือนสูงสุด			โมเมนต์ตัดสูงสุด		
		สัดส่วน	ช่องจราจร	มุมเฉียง	สัดส่วน	ช่องจราจร	มุมเฉียง
คานภายนอก	MB-20 STD	0.44	4	30	0.29	4	0
	MB-20 TT	0.58	4	30	0.36	4	0
คานภายใน	MB-20 STD	3.46	4	20	0.96	4	30
	MB-20 TT	3.49	4	20	1.15	4	30
คานภายนอก	IG-30 STD	0.54	2	30	0.25	2	0
	IG-30 TT	0.83	2	30	0.33	2	0
คานภายใน	IG-30 STD	1.17	2	30	0.26	3	0
	IG-30 TT	1.48	2	30	0.33	3	30
คานภายนอก	IG-35 STD	0.58	2	30	0.27	3	0
	IG-35 TT	0.93	3	30	0.39	3	0
คานภายใน	IG-35 STD	1.16	2	30	0.27	2	0
	IG-35 TT	1.54	2	30	0.36	3	0

## 5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่า สูตรการคำนวณตัวคูณการกระจายน้ำหนักรบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO [1] ไม่ได้คำนึงถึงมุมเฉียงที่ปลายสะพาน โดยจากผลการวิเคราะห์ห้อย่างละเอียดพบว่า มุมเฉียงที่ปลายสะพานจะมีผลทำให้แรงเฉือนสูงสุดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสะพานที่ไม่มีมุมเฉียงทั้งที่ได้จาก HS20-44 และรถบรรทุกไทย โดย HS20-44 เพิ่มขึ้นสูงสุดด้วยสัดส่วน 9.81, 1.17 และ 1.19 สำหรับ MB-20, IG-30 และ IG-35 ตามลำดับ จากรถบรรทุกไทยเพิ่มขึ้นสูงสุดด้วยสัดส่วนเท่ากับ 11.64, 1.14 และ 1.15 ตามลำดับ ในตรงกันข้าม มุมเฉียงจะมีผลต่อโมเมนต์ตัดสูงสุดโดยทำให้ค่าลดลงเพียงเล็กน้อยด้วยสัดส่วนประมาณ 0.93 สำหรับ IG-30 และ IG-35 ตามลำดับ ยกเว้น MB-20 ที่โมเมนต์ตัดของคานภายนอกจะเพิ่มขึ้นด้วยสัดส่วนเท่ากับ 1.17 เมื่อนำแรงภายในที่ได้จาก HS20-44 และรถบรรทุกไทยเปรียบเทียบกับแรงภายในที่ได้จากการกระจายน้ำหนักรบรรทุกมาตรฐาน AASHTO พบว่าค่าแรงเฉือนตามสูตรการกระจายน้ำหนักรบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO ของคานภายในทุกรูปแบบสะพานน้อยกว่าค่าแรงเฉือนที่ได้จาก HS20-44 และรถบรรทุกไทย โดยแรงเฉือนสูงสุดจากรถบรรทุกไทยมีค่ามากกว่าด้วยสัดส่วนเท่ากับ 3.49, 1.48 และ 1.54 สำหรับ MB-20, IG-30 และ IG-35 ตามลำดับ โดยแรงเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นในรูปแบบสะพานที่มีมุมเฉียง 30 องศา สำหรับโมเมนต์ตัดสูงสุดจาก HS20-44 และรถบรรทุกไทยมีค่าน้อยกว่าโมเมนต์ตัดสูงสุดจากสูตรการกระจายน้ำหนักรบรรทุกเกือบทุกรูปแบบสะพาน

ยกเว้นคานภายในของ MB-20 ที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกไทยซึ่งมีค่ามากกว่าโมเมนต์ดัดจากสูตรกระจายน้ำหนักบรรทุกจรด้วยสัดส่วนสูงสุดเท่ากับ 1.15 สำหรับสะพานที่มีมุมเฉียง 30 องศา จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า สะพานที่มีมุมเฉียงที่ปลายสะพานจะเกิดโมเมนต์บิดขึ้นที่มุมของปลายสะพาน ทำให้มีการกระจายน้ำหนักแตกต่างจากสะพานที่ไม่มีมุมเฉียง ซึ่งมีผลทำให้เกิดแรงเฉือนเพิ่มขึ้นที่มุมป้านของสะพานและอาจเกิดแรงยกที่มุมแหลมของปลายสะพาน ทำให้จตุรรองรับแต่ละจุดของสะพานมีแรงปฏิกิริยาสูงสุดไม่เท่ากัน อีกทั้งโมเมนต์บิดส่งผลให้โมเมนต์ดัดที่กลางสะพานลดลงอีกด้วยเนื่องจากการบิดตัวของสะพานที่มีมุมเฉียง ค่าแรงเฉือนจากการกระจายน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO อาจจะไม่เพียงพอสำหรับการออกแบบสะพานสำหรับการรองรับน้ำหนักบรรทุกทุกไทยโดยเฉพาะสะพานที่มีมุมเฉียง ควรทำการวิเคราะห์โครงสร้างอย่างละเอียดเพื่อให้ได้แรงภายในที่ถูกต้องและครบถ้วน ทั้งนี้ค่าโมเมนต์ดัดจากการกระจายน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO จะครอบคลุมสำหรับคานภายนอกและคานภายในทุกรูปแบบสะพาน

## References

- [1] AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). (2002). **Standard Specifications for Highway Bridges**. 17 th edition.
- [2] Suriyo, J. (2009). **A Study on Live Loads of Simple-Supported Bridge Due to Thai Trucks**. Project Report. Civil Engineering. Kasem Bundit University. (In Thai)
- [3] Chaini, T. and Semachai, W. (2010). **A Study on Live Load of Three-Span Continuous Bridge Due to Thai Trucks**. Project Report. Civil Engineering. Kasem Bundit University. (In Thai)
- [4] Suparp, S. and Joyklad, P. (2011). "Maximum Response Ratios of Three-Span Continuous Bridge Girders Due to Thai Trucks and HL-93 Live Loadings". **KMUTT Re-search and Development Journal**. Vol. 35. No. 4. (In Thai)
- [5] Menassa, C. (2007). "Influence of Skew Angle on Reinforced Concrete Slab Bridges". **Journal of Bridge Engineering**. ASCE.
- [6] Khaloo Ali, R. and Mirzabozorg, H. (2003). "Load Distribution Factors in Simply Supported Skew Bridges". **Journal of Bridge Engineering**. ASCE.
- [7] Huang, H. (2004). "Load Distribution for Highly Skewed Bridge Testing and Analysis". **Journal of Bridge Engineering**. ASCE.

- [8] 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. (In Thai)
- [9] Department of Highways. (2007). **Permitted certificate of M10606/9704.** (In Thai)
- [10] Department of Highways. (2008). **Declaration of Department of Highways at M1064-3/530 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.** (In Thai)
- [11] Department of Highways. (2009). **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. (In Thai)
- [12] Department of Highways. (2009). **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. (In Thai)
- [13] Department of Highways. (2011). **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.4) in 2011.** The Government Gazette. (In Thai)
- [14] 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 occupied by Department of Rural Roads.** The Government Gazette. (In Thai)

### ประวัติผู้เขียนบทความ



**ธีรวุฒิ ชัยยี** นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถนนพัฒนาการ แขวง/เขต สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250 โทรศัพท์ 092-4707979 E-mail: thirawutengineer@gmail.com จบการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ปัจจุบันทำงาน ตำแหน่ง Design Engineer บริษัท อาจีกาว่า แอนด์ เอสซีไอ จำกัด



**สุนิติ สุภาพ** ผู้ช่วยศาสตราจารย์และอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถนนพัฒนาการ แขวง/เขต สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250 E-mail: s.sunithi@gmail.com