

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบสะพานรถไฟ



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยจันทรเสถียร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

พฤศจิกายน 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยจันทรเสถียร


วิทยานิพนธ์ เรื่อง “การวิเคราะห์และเปรียบเทียบน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบสะพานรถไฟ”

ของ นายวันรุ่ง ทรงปัญญาวุฒิ

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



.....ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติภูมิ รอดสิน)


.....ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร.ทรงศักดิ์ สุธาสุประดิษฐ์)


.....กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร.รัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา)


.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

อนุมัติ


.....
(ดร.ภาณุ พุทวงศ์)

รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน ปฏิบัติราชการแทน

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

17 พ.ย. 2559

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ ดร.ทรงศักดิ์ สุธาสูประดิษฐ์ ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้อุทิศส่วเวลาอันมีค่ามาเป็นທີ່ปรึกษา พร้อมทั้งให้คำแนะนำ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ อันประกอบไปด้วย ดร.รัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้วกรรมการ และรองศาสตราจารย์ ดร.กิตติภูมิ รอดสิน กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์นี้ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

กราบขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นอย่างสูงทุกท่านที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ให้คำปรึกษา ดูแล และอำนวยความสะดวก ในการดำเนินงานวิจัย

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแต่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ของระบบประปาในประเทศและผู้ที่เกี่ยวข้องบ้างไม่มากก็น้อย

วันรุ่ง ทรงปัญญาวุฒิ

ชื่อเรื่อง	การวิเคราะห์และเปรียบเทียบน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบสะพาน รถไฟ
ผู้วิจัย	วันรุ่ง ทรงปัญญาวุฒิ
สถานที่ที่ปรึกษา	ดร.ทรงศักดิ์ สุทธาสุประดิษฐ์
กรรมการที่ปรึกษา	ดร.รัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วศ.ม. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2559
คำสำคัญ	น้ำหนักบรรทุกจร แรงเค้น โมเมนต์ดัด Load Model

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันสะพานรถไฟในประเทศไทยในแต่ละโครงการได้ใช้มาตรฐานการออกแบบที่แตกต่างกัน อาทิเช่น มาตรฐานการออกแบบของยุโรป และมาตรฐานการออกแบบของไทย และอาจมีมาตรฐานของประเทศอื่นเข้ามาใช้เพิ่มในอนาคต จากการศึกษาพบว่า ในแต่ละมาตรฐานนั้น มีการกำหนดน้ำหนักบรรทุกจรที่ใช้ในการออกแบบที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกจรที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟของสหภาพยุโรป, ประเทศรัสเซีย, การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) และประเทศจีน โดยผลวิเคราะห์แรงเค้นและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในสะพานช่วงเดียวและสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง ความยาว 2- 80 เมตร พบว่าค่าแรงเค้นและโมเมนต์ดัดที่สูงสุดและน้อยสุดคือ Load Model CK 14 (รัสเซีย) และ Load Model DL 16 (รฟท.) ตามลำดับของสะพานทั้ง 2 แบบ จากการเปรียบเทียบเป็นอัตราส่วนโมเมนต์บวกและลบของสะพานช่วงเดียวและสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง พบว่า Load Model U 20 ของรฟท. มีค่าโมเมนต์บวกและลบต่างกับมาตรฐานอื่นสูงสุดถึง 80 % ซึ่งข้อมูลของผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะสามารถช่วยให้วิศวกรสามารถเลือกค่าน้ำหนักบรรทุกจรที่เหมาะสม ในกรณีที่มีการประยุกต์ใช้มาตรฐานหลายชนิดในโครงการเดียวกัน รวมทั้งการออกแบบโครงสร้างที่อาจจะต้องรองรับรถไฟหลากหลายชนิดในอนาคตอีกด้วย

Title	ANALYSIS AND COMPARISON OF TRAFFIC LOAD MODELS FOR RAILWAY BRIDGES
Author	Vanrung Songpanyawut
Advisor	Songsak Suthasupradit, D.Eng.
Co - Advisor	Rattapoohm Parichatprecha, D.Eng.
Academic Paper	Thesis M.Eng in Civil Engineering, Naresuan University, 2016
Keywords	Live load, Shear force, Bending Moment, Load Model

ABSTRACT

Recently, railway bridges in Thailand have used several different design standards such as European standard, Japanese standard, Thailand standard, Etc. this study found that each design standards provide different definition of bridge live loads. This study aims to analysis and compare the effect of live loads specified in the railway bridge design standards of Europe, Russia, State Railway of Thailand (SRT) and China. The results of shear forced and bending moment of simple span bridge and two-span continuous bridge with span lengths ranging from 2 to 80 m have been investigated. The results showed that, Load Model CK 14 (Russia) gives maximum shear forced, bending moment and Load Model DL 16 (SRT) gives minimum for both bridge cases. It was also found that Thailand's Load Model U 20 (SRT) gives the bending moment differ from other standards up to 80%. The results of this study can be useful for engineers to select the suitable live loads for design of railway bridge in their projects.

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
สะพานรถไฟ.....	4
ประเภทของสะพานที่ใช้ในงานวิจัย.....	7
น้ำหนักบรรทุก (Live Load) ที่กระทำต่อสะพานรถไฟ ของแต่ละมาตรฐาน.....	9
น้ำหนักกระแทก (Impact factor, I) ของแต่ละมาตรฐาน การออกแบบสะพานรถไฟ.....	14
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	17
ศึกษาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงบนสะพานรถไฟ.....	18
วิธีจำลองและวิเคราะห์โครงสร้างสะพาน.....	18
4 ผลการวิจัย.....	21
ผลการวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ดัด (Bending Moment) และ แรงเฉือน (Shearing Force) สูงสุด.....	21
ผลการวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ดัด (Bending Moment) และ แรงเฉือน (Shearing Force) สูงสุดที่ใช้ในการออกแบบสะพาน.....	28
ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกจรของแต่ละ มาตรฐานการออกแบบสะพานกรณีคุณค่า Impact factor (I).....	30

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 บทสรุป.....	33
ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดและ แรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นของแต่ละมาตรฐานการออกแบบ.....	33
ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สำหรับ การออกแบบของแต่ละมาตรฐานการออกแบบ.....	35
ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ที่ใช้สำหรับ การออกแบบของน้ำหนักบรรทุกจร Load Model U 20 กับ โมเมนต์ที่ใช้สำหรับการออกแบบของน้ำหนักบรรทุก ทุกมาตรฐานที่กำหนดไว้ในขอบเขต.....	37
บรรณานุกรม.....	38
ภาคผนวก.....	40
ประวัติผู้วิจัย.....	48

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 คำน้หนัก Load Model SW/0, SW/2.....	11
2 ค่า uniformly distributed line load ของ CK 14.....	12



สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	ตัวอย่างน้ำหนักบรรทุก E-80 ของประเทศสหรัฐอเมริกา.....	1
2	สะพานรถไฟข้ามแม่น้ำแคว.....	4
3	สะพานรถไฟข้ามคลองบ้านแม่เทียบ.....	5
4	สะพานข้ามหุบเขาปางงะ.....	5
5	รายละเอียดของโครงสร้างส่วนบนของสะพานรถไฟ.....	6
6	โครงสร้างสะพานส่วนบนและส่วนล่าง.....	7
7	สะพานรถไฟช่วงเดียว.....	8
8	โครงสร้างจำลอง 2 มิติ สะพานรถไฟช่วงเดียว.....	8
9	สะพานรถไฟต่อเนื่อง 2 ช่วง.....	9
10	โครงสร้างจำลอง 2 มิติ สะพานรถไฟแบบต่อเนื่อง 2 ช่วง.....	9
11	น้ำหนักบรรทุก Load Model 71 ที่กระทำลงบนสะพาน.....	10
12	น้ำหนักบรรทุก Load Model SW/0, SW/2 ที่กระทำลงบนสะพาน.....	11
13	น้ำหนักบรรทุก Load model CK 14 ที่กระทำลงบนสะพาน.....	12
14	น้ำหนักบรรทุก Load model DL 16 ที่กระทำลงบนสะพาน.....	13
15	น้ำหนักบรรทุก Load model U 20 ที่กระทำลงบนสะพาน.....	13
16	น้ำหนักบรรทุก Load model ZK ที่กระทำลงบนสะพาน.....	14
17	ค่าอัตราส่วนค่าน้ำหนักกระทำกับความยาวสะพานช่วงเดียว.....	16
18	ค่าอัตราส่วนค่าน้ำหนักกระทำกับความยาวสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง.....	16
19	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	17
20	ข้อมูลน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดตามแต่ละมาตรฐาน.....	19
21	ค่าแรงเฉือนและโมเมนต์สูงสุดในช่วงความยาวนั้น ๆ.....	19
22	ค่าแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพานช่วงเดียว ช่วงความยาว 2 -20 เมตร.....	21
23	ค่าแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพานช่วงเดียว ช่วงความยาว 2 - 80 เมตร.....	22

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
24	ค่าโมเมนต์สูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพานช่วงเดียว ช่วงความยาว 2 - 80 เมตร.....	23
25	ค่าแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง ช่วงความยาว 2 - 20 เมตร.....	24
26	ค่าแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง ช่วงความยาว 20 - 80 เมตร.....	24
27	ค่าโมเมนต์บวกสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง ช่วงความยาว 2 - 20 เมตร.....	25
28	ค่าโมเมนต์บวกสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง ช่วงความยาว 20 - 80 เมตร.....	26
29	ค่าโมเมนต์ลบสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง ช่วงความยาว 2 - 20 เมตร.....	27
30	ค่าโมเมนต์ลบสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง ช่วงความยาว 2 - 80 เมตร.....	27
31	ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดกรณีคุณค่า Impact factor ของสะพานช่วงเดียว ช่วงความยาว 2 - 80 เมตร.....	28
32	ค่าโมเมนต์บวกสูงสุดกรณีคุณค่า Impact factor ของสะพาน ต่อเนื่อง 2 ช่วงช่วงความยาว 2 - 80 เมตร.....	29
33	ค่าโมเมนต์ลบสูงสุดกรณีคุณค่า Impact factor ของสะพาน ต่อเนื่อง 2 ช่วงช่วงความยาว 2 - 80 เมตร.....	29
34	ค่าอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์สูงสุดกรณีคุณค่า Impact factor ของแต่ละมาตรฐานเทียบกับ มาตรฐาน รพท. ในสะพานช่วงเดียว.....	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
35 ค่าอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์บวกสูงสุดกรณีคุณค่า Impact factor ของแต่ละมาตรฐานเทียบกับ มาตรฐาน รฟท. ในสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง.....	31
36 ค่าอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ลบสูงสุดกรณีคุณค่า Impact factor ของแต่ละมาตรฐานเทียบกับ มาตรฐาน รฟท. ในสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง.....	31

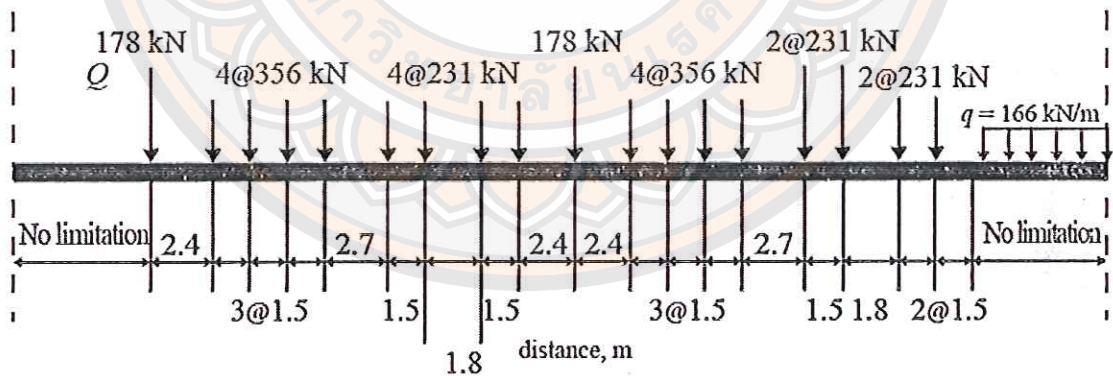


บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันสะพานรถไฟมีด้วยกันมากมายหลายแบบทั้งแบบเหล็ก คอนกรีตเสริมแรง และคอนกรีตอัดแรง ซึ่งในหลาย ๆ ประเทศก็ได้มีมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟเป็นของตัวเอง อาทิเช่น มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (American Railway Engineering and Maintenance of Way Association : AREMA), มาตรฐานของสหภาพยุโรป (International Union of Railway : UIC), มาตรฐานของประเทศอังกฤษ (British Standard : BS) ฯลฯ ซึ่งในประเทศไทยนั้นยังไม่มีมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟเป็นของตัวเอง จึงต้องนำมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟของประเทศอื่นเข้ามาใช้แทนโดยส่วนใหญ่ใช้มาตรฐานของสหภาพยุโรป นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานของประเทศจีน เกาหลีและญี่ปุ่นที่มีแนวโน้มในการนำมาใช้ในประเทศไทยอีกด้วย ซึ่งในกรณีที่ต้องนำมาตรฐานมาใช้ร่วมกันนั้น อาจเกิดปัญหาของความไม่สอดคล้องของแต่ละมาตรฐาน อาทิเช่น ความแตกต่างของค่าน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบสะพานรถไฟ เป็นต้น



ภาพ 1 ตัวอย่างน้ำหนักบรรทุก E-80 ของประเทศสหรัฐอเมริกา

ความแตกต่างกันของน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบนั้นยังส่งผลต่อด้านต้นทุนในการก่อสร้างสะพานรถไฟอีกด้วย เนื่องจากหาค่าของน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบสะพาน

รถไฟมีค่าต่ำก็จะสามารถลดต้นทุนในการก่อสร้างได้อีกด้วยเหตุผลข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกของมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟประเทศต่างๆ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการออกแบบสะพานรถไฟในประเทศไทย

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟของมาตรฐานสหภาพยุโรป (EN 1991-2, EN 2003) มาตรฐานประเทศรัสเซีย (SNIIP, 1984), มาตรฐานการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท. , 2544) และมาตรฐานประเทศจีน (ZK Standard, 2009)
2. เพื่อทราบถึงมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟที่เหมาะสมและเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการรถไฟแห่งประเทศไทยในอนาคต

ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการออกแบบน้ำหนักบรรทุกของมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟประเทศต่างๆ โดยทำการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัด (Bending Moment) และแรงเฉือน (Shearing Force) ที่ได้จากน้ำหนักกดเพลามาตรฐานของมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟตามประเทศต่าง ๆ ที่กระทำลงบนสะพานรถไฟ จากการจำลองโครงสร้างรถไฟ 2 มิติ ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง และทำการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัด (Bending Moment) สูงสุดของแต่ละมาตรฐานเทียบกับ มาตรฐานการรถไฟแห่งประเทศไทย โดยแบ่งประเภทของสะพานรถไฟ และมาตรฐานการออกแบบสะพานดังต่อไปนี้

1. ประเภทของสะพาน
 - 1.1 สะพานรถไฟแบบคานช่วงเดียว ช่วงความยาว 2 - 80 เมตร
 - 1.2 สะพานรถไฟแบบคานต่อเนื่อง 2 ช่วง ช่วงความยาว 2 - 80 เมตร
2. ขอบเขตของงานวิจัย ด้านการทดสอบ
 - 2.1 มาตรฐานสะพานรถไฟสหภาพยุโรป (EN 1991-2, EN 2003)
 - 2.2 มาตรฐานสะพานรถไฟประเทศรัสเซีย (SNIIP, 1984)
 - 2.3 มาตรฐานการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท. , 2544)
 - 2.4 มาตรฐานสะพานรถไฟประเทศจีน (ZK Standard)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เนื่องจากประเทศยังไม่มีมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟเป็นของตัวเอง จึงทำให้น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบสะพานรถไฟต้องนำของมาตรฐานประเทศอื่น ๆ เข้ามาใช้งานวิจัยนี้จึงจัดทำเพื่อช่วยให้เป็นข้อมูลสำหรับวิศวกรในการตัดสินใจเลือกค่าน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมสำหรับสะพานรถไฟในประเทศไทยและเป็นหนึ่งในแนวทางการสร้างมาตรฐานการออกแบบระบบรางในประเทศไทยสืบต่อไป



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ส่วนของเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นจะเป็นการอธิบายสะพานรถไฟ ,ประเภทของสะพานที่ใช้ในงานวิจัย, น้ำหนักบรรทุกของมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟในประเทศต่าง ๆ, น้ำหนักกระแทก (Impact factor, I) ของมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟในประเทศต่าง ๆ และหลักการทั่วไปของการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์สะพานรถไฟ

สะพานรถไฟ

สะพานรถไฟเป็นสิ่งก่อสร้างที่สร้างเพื่อข้ามแม่น้ำ, คลอง, ห้วย, หุบเขา ฯลฯ เพื่อเชื่อมทางที่อยู่คนละฝั่งเข้าหากันทำให้รถไฟสามารถข้ามไปได้ โครงสร้างของสะพานรถไฟจะต้องรับน้ำหนักคงที่ (น้ำหนักตัวสะพานเอง, Dead load) ซึ่งเป็นแรงกระทำอยู่กับที่ รับน้ำหนักบรรทุกจร (น้ำหนักของรถไฟ, Live load), น้ำหนักกระแทก (Impact factor) ฯลฯ โดยแรงหรือน้ำหนักกระทำจะส่งผลต่อโครงสร้าง เช่น แรงปฏิกิริยา (Reaction), แรงเฉือน (Shear), โมเมนต์ดัด (Bending Moment) ฯลฯ

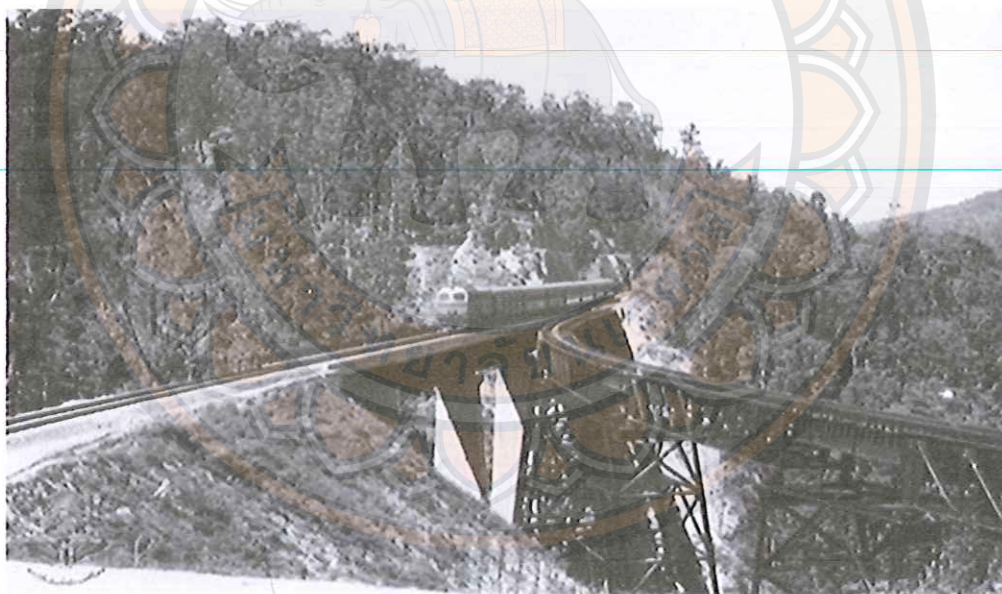


ภาพ 2 สะพานรถไฟข้ามแม่น้ำแคว



ภาพ 3 สะพานรถไฟข้ามคลองบ้านแม่เทียบ

ที่มา: การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2551



ภาพ 4 สะพานข้ามหุบเขาปางแจะ

ที่มา: การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2549

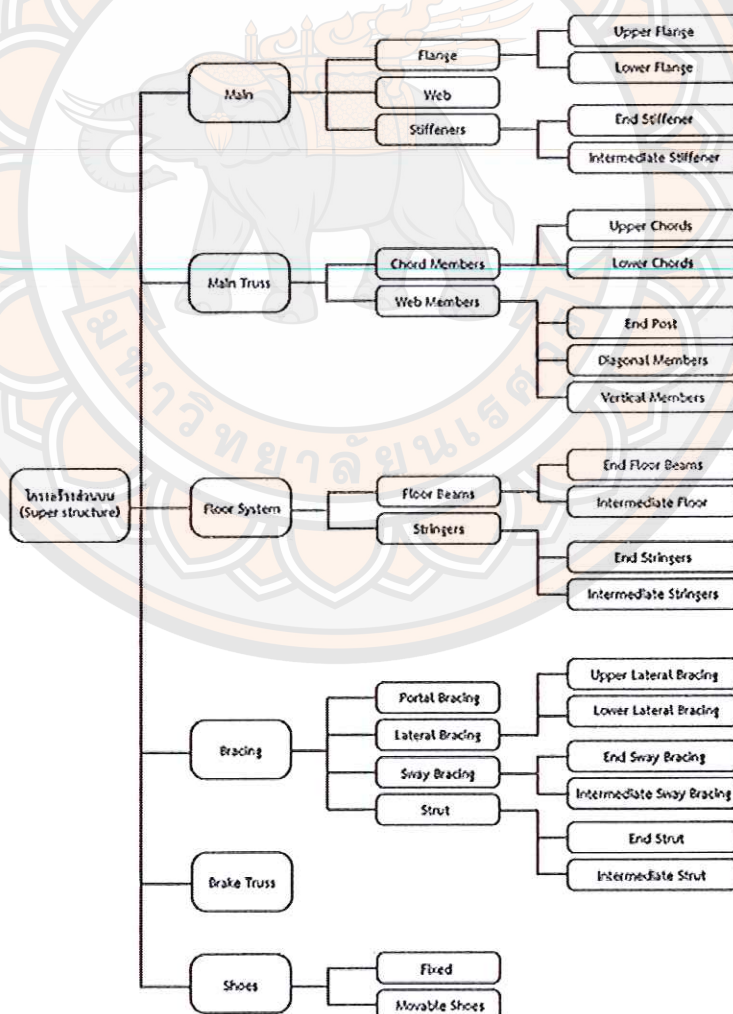
องค์ประกอบของสะพานรถไฟสามารถแบ่งโครงสร้างออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ โครงสร้างส่วนบน (Superstructure) กับโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure)

1. โครงสร้างส่วนบน (Superstructure)

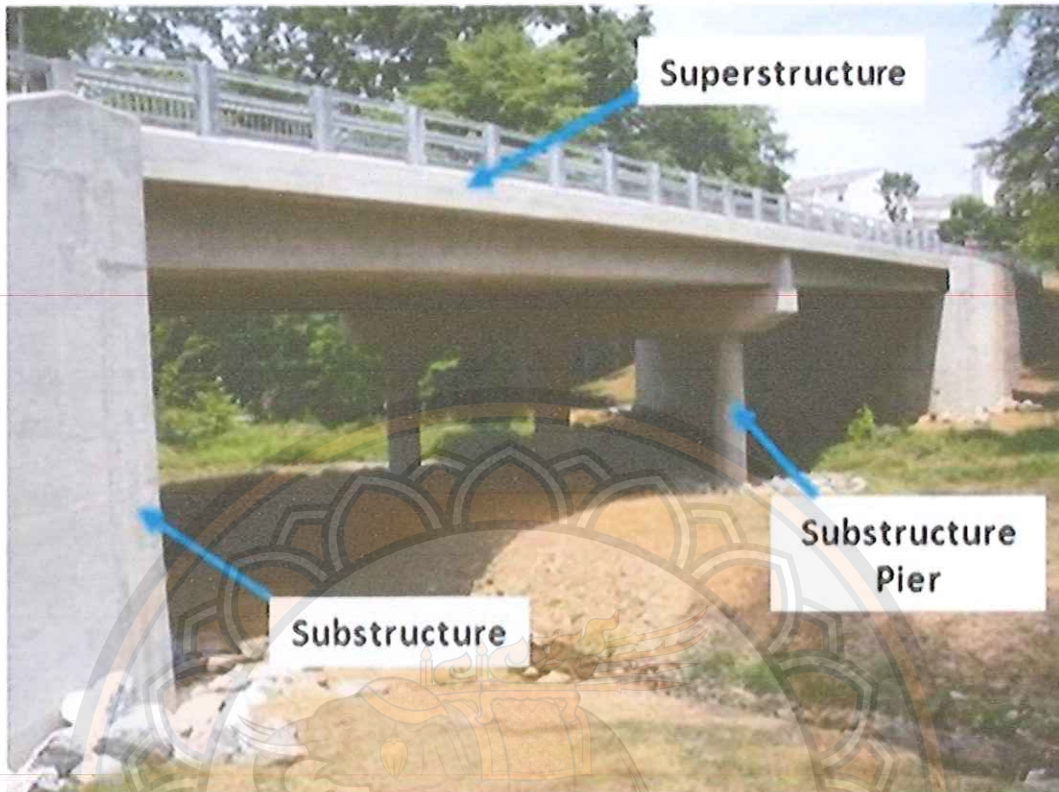
โครงสร้างส่วนบนเป็นโครงสร้างหลักของสะพาน มีหน้าที่รับน้ำหนักของยานพาหนะที่วิ่งบนสะพาน และน้ำหนักของตัวสะพานแล้วถ่ายน้ำหนักลงไปสู่โครงสร้างรายละเอียดของโครงสร้างส่วนบนแสดงเป็นแผนผังได้ดังภาพ 5

2. โครงสร้างส่วนล่าง (Substructure)

โครงสร้างส่วนล่างได้แก่ ตอม่อ (รวมถึงฐานรากของตอม่อด้วย) โดยตอม่อมีหน้าที่รับน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนบนแล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินฐานราก ตอม่อแบ่งออกเป็น ตอม่อริมฝั่งแม่น้ำ (Abutment) และตอม่อกลางน้ำ (Pier)



ภาพ 5 รายละเอียดของโครงสร้างส่วนบนของสะพานรถไฟ



ภาพ 6 โครงสร้างสะพานส่วนบนและส่วนล่าง

ที่มา: Dan C. Svrjcek, 2014

ประเภทของสะพานที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้สะพานที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมด 2 ประเภท คือ สะพานช่วงเดียว และ สะพานต่อเนื่องสองช่วง สะพานทั้ง 2 ประเภทใช้ขนาดความยาว 2 - 80 เมตร ในการจำลองโครงสร้าง

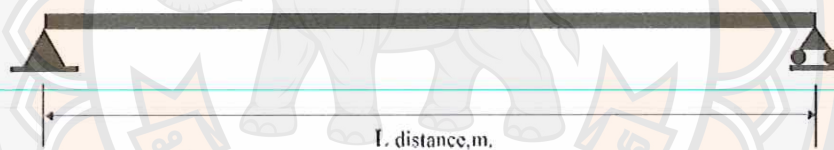
1. สะพานช่วงเดียว (Simple Bridge)

สะพานช่วงเดียว คือสะพานที่ปลายทั้งสองข้างของ Main Girder มี Supports ทั้งสองฝั่งเป็น Hinge Support และ Roller Support อยู่อย่างละฝั่ง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Simply Supported โดยสะพานส่วนใหญ่มักจะเป็นสะพานช่วงเดียว ดังภาพ 7 และมีโครงสร้างจำลอง 2 มิติ ดังภาพ 8



ภาพ 7 สะพานรถไฟช่วงเดียว

ที่มา: D. Cantero, et al., 2016



ภาพ 8 โครงสร้างจำลอง 2 มิติ สะพานรถไฟช่วงเดียว

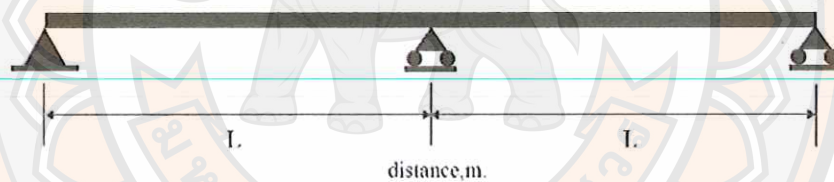
2. สะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง (Continuous Bridge)

สะพานต่อเนื่อง คือ สะพานที่ Main Girder มี Support รองรับเกินกว่า 2 จุด โดย Support ของสะพานต่อเนื่องจะเป็น Support หนึ่ง Support ใดเป็นแบบ Hinge Support และที่เหลือเป็นแบบ Roller Support ดังภาพ 9 สะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง เป็นโครงสร้างแบบ Indeterminate Structure จึงออกแบบยุ่งยากกว่าสะพานช่วงเดียว แต่มีข้อดีคือสามารถออกแบบให้ขนาดของหน้าตัด Girder เล็กกว่าสะพานช่วงเดียวช่วยให้ประหยัดในการก่อสร้างกรณีที่กำลังก่อสร้างสะพานที่มีขนาดช่วงยาวๆ มีโครงสร้างจำลอง 2 มิติ ดังภาพ 10



ภาพ 9 สะพานรถไฟต่อเนื่อง 2 ช่วง

ที่มา: D. Cantero, et al., 2016



ภาพ 10 โครงสร้างจำลอง 2 มิติ สะพานรถไฟต่อเนื่อง 2 ช่วง

น้ำหนักบรรทุก (Live Load) ที่กระทำต่อสะพานรถไฟของแต่ละมาตรฐาน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกของแต่ละมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟดังนี้

1. น้ำหนักบรรทุก (Live Load) ที่กระทำต่อสะพานรถไฟของแต่ละมาตรฐาน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกของแต่ละมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟดังนี้

1.1 Load Model 71 (LM71) เป็นน้ำหนักบรรทุกสำหรับการออกแบบสะพานรถไฟช่วงเดียวในการจราจรปกติ

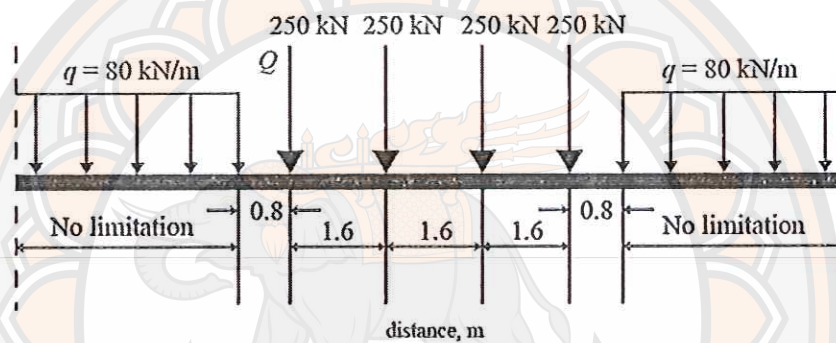
1.2 Load Model SW/0 (SW/0) เป็นน้ำหนักบรรทุกสำหรับการออกแบบสะพานรถไฟต่อเนื่องในการจราจรปกติ

1.3 Load Model SW/2 (SW/2) เป็นน้ำหนักบรรทุกทุกสำหรับการออกแบบสะพานรถไฟในการจราจรบนสะพานรถไฟหนาแน่น

1.4 Load Model HSLM เป็นน้ำหนักบรรทุกทุกสำหรับการออกแบบสะพานรถไฟที่วิ่งด้วยความเร็วเกิน 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

1.5 Load Model "unloaded train" เป็นน้ำหนักบรรทุกทุกสำหรับการตรวจสอบเสถียรภาพของสะพานรถไฟ

โดยงานวิจัยนี้ใช้น้ำหนักบรรทุก 3 ตัวคือ Load Model 71, Load Model SW/0 และ Load Model SW/2



ภาพ 11 น้ำหนักบรรทุกทุก Load Model 71 ที่กระทำลงบนสะพาน

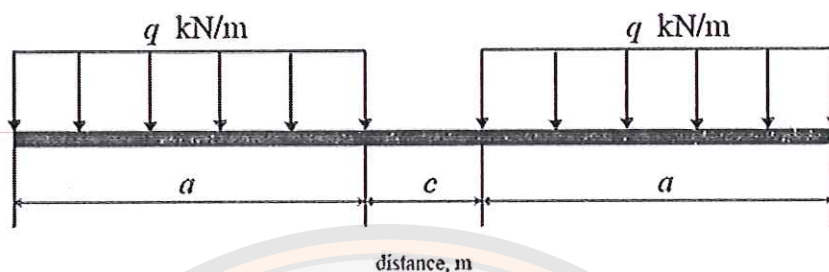
ที่มา: Marcel Tschumi, 2008

Load Model 71 (LM71) เป็นน้ำหนักบรรทุกทุกในการจราจรปกติ สำหรับการออกแบบสะพานรถไฟแบบช่วงเดียว มีน้ำหนักบรรทุกกระทำดังภาพ 11 ในกรณีที่พื้นที่นั้นการจราจรบนสะพานรถไฟนั้นมากหรือน้อยกว่าปกติ การออกแบบสะพานรถไฟจะต้องใช้ค่าแฟกเตอร์ α คูณเพิ่มใน Load Model 71 ค่าแฟกเตอร์ α ที่มากคุณนั้นมีค่าเท่ากับ 0.75, 0.83, 0.91, 1.00, 1.10, 1.21, 1.33 และ 1.46 ซึ่งค่าดังกล่าวไม่ได้มีการกำหนดว่าควรจะเป็นเท่าใดในแต่ละประเทศ

Load Model SW/0 (SW/0) เป็นน้ำหนักบรรทุกทุกในการจราจรปกติ สำหรับการออกแบบสะพานรถไฟแบบต่อเนื่อง

Load Model SW/2 (SW/2) เป็นน้ำหนักบรรทุกทุกสำหรับในกรณีการจราจรบนสะพานรถไฟหนาแน่น สามารถใช้ได้ทั้งการออกแบบสะพานรถไฟแบบช่วงเดียวและแบบต่อเนื่อง

Load Model SW/0 และ Load Model SW/2 มีระยะและน้ำหนักบรรทุกกระทำดัง
ภาพ 12 โดยที่ค่าของน้ำหนักบรรทุกสามารถหาได้จากตาราง 1



ภาพ 12 น้ำหนักบรรทุก Load Model SW/0, SW/2 ที่กระทำลงบนสะพาน

ที่มา: Notkus A.J. and Kamaitis Z., 2010

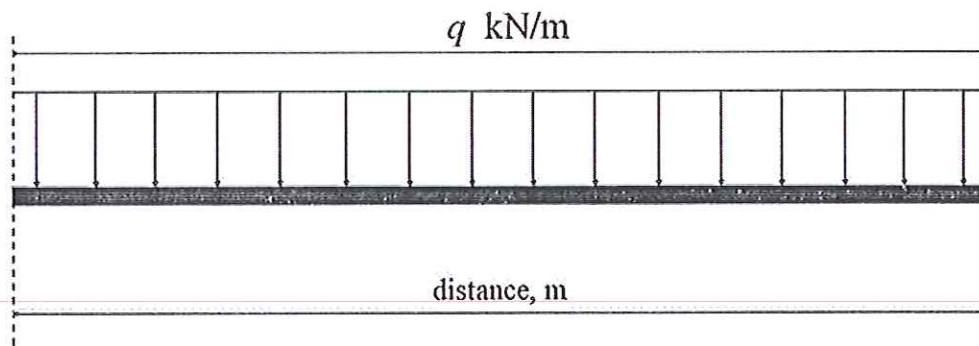
ตาราง 1 ค่าน้ำหนัก Load Model SW/0, SW/2

Load model	Property	a, m	c, m
SW/0	Filling ability	15	5.3
SW/2	Filling ability	25	7

ที่มา: Notkus A.J. and Kamaitis Z., 2010

2. มาตรฐานสะพานรถไฟประเทศรัสเซีย (SNiP, 1984)

น้ำหนักบรรทุกประเทศรัสเซียที่ใช้คือ Load Model CK14 (CK14) โดยเป็นน้ำหนักบรรทุกแบบ Uniformly Distributed Line Load ดังภาพ 13 มีน้ำหนักบรรทุกแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความยาวของสะพาน สามารถดูน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ได้ดังตาราง 2



ภาพ 13 น้ำหนักบรรทุก Load model CK 14 ที่กระทำลงบนสะพาน

ที่มา: Notkus A.J. and Kamaitis Z., 2010

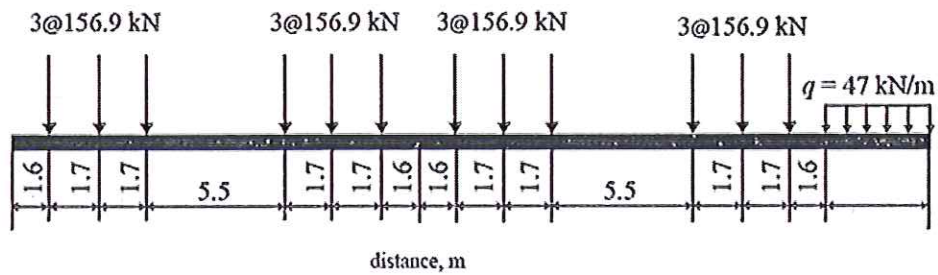
ตาราง 2 ค่า Uniformly Distributed Line Load ของ CK 14

Length, m	kN/m for V	kN/m for M
2	428	374
4	304	266
6	273	239
10	245	214
15	223	195
20	207	181
40	168	147
60	151	137
80	144	137
100	140	137

ที่มา: Notkus A.J. and Kamaitis Z., 2010

3. มาตรฐานการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท. , 2544)

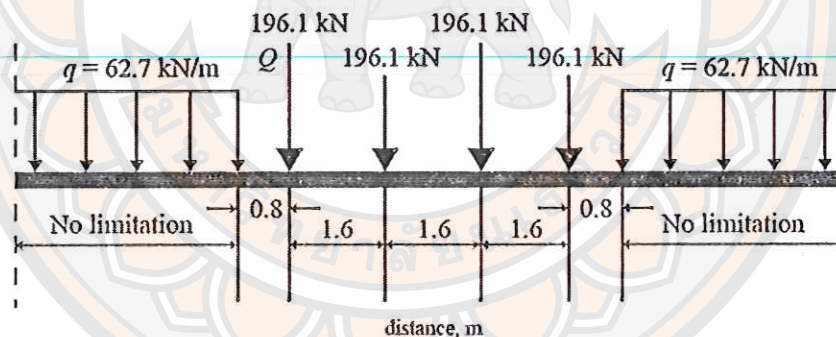
น้ำหนักบรรทุกของการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ที่นำมาวิจัยคือ Load Model DL16 (DL16) และ Load Model U20 (U20) ดังภาพ 14 และ 15 ตามลำดับ



ภาพ 14 น้ำหนักบรรทุก Load model DL 16 ที่กระทำลงบนสะพาน

ที่มา: ทวี ปานทอง, 2544

Load Model DL16 (DL16) เป็นน้ำหนักบรรทุกที่สมมุติว่าขบวนรถไฟประกอบด้วย หัวรถจักร 2 หัว มีเพลา (Axle) หัวละ 6 เพลา และมีน้ำหนักดเพลา (Axle load) เพลาละ 156.9 กิโลนิวตัน ลากจูงรถพ่วงซึ่งมีน้ำหนักเท่ากับ 47 กิโลนิวตันต่อเมตร และมีระยะห่างระหว่างเพลา ดังแสดงในภาพ 4 ใช้ออกแบบสำหรับปรับปรุงสะพานเพื่อให้ขบวนรถไฟวิ่งได้ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



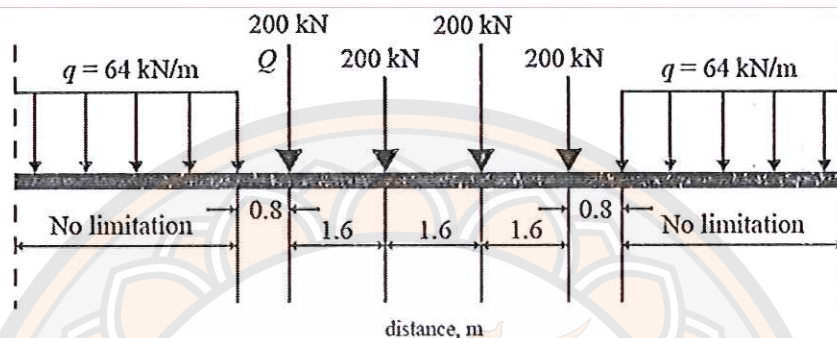
ภาพ 15 น้ำหนักบรรทุก Load model U20 ที่กระทำลงบนสะพาน

ที่มา: ทวี ปานทอง, 2544

ในปี พ.ศ. 2523 การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ได้อนุมัติให้ใช้ Load Model U20 (U20) ซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ออกแบบสำหรับออกแบบสะพานใหม่และแทนที่สะพานเดิม (ถ้ามี) มีรูปแบบเหมือนกันกับ Load Model 71 (LM71) แต่มีน้ำหนักเบากว่าเนื่องจากใช้ค่าแฟกเตอร์ α เท่ากับ 0.78 คุณเพิ่มเข้าไปที่น้ำหนักบรรทุก

4. มาตรฐานสะพานรถไฟประเทศจีน (ZK Standard, 2009)

Load model ZK หรือ ZK live load (ZK) เป็นน้ำหนักบรรทุกที่มีรูปแบบเหมือนกันกับ Load Model 71 (LM71) แต่คูณค่าแฟกเตอร์ α เท่ากับ 0.8 เข้าไปด้วย เป็นน้ำหนักบรรทุกสำหรับรถไฟความเร็วสูงมีน้ำหนักบรรทุกกระทำดังภาพ 16



ภาพ 16 น้ำหนักบรรทุก Load model ZK ที่กระทำลงบนสะพาน

ที่มา: Y. Edward Zhou, 2012

น้ำหนักกระแทก (Impact factor, I) ของแต่ละมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟ

น้ำหนักกระแทก คือ น้ำหนักที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำหนักบรรทุกบนสะพานรถไฟ

1. มาตรฐานสะพานรถไฟสหภาพยุโรป (EN 1991-2, EN 2003)

Load Model LM71 (LM71), Load Model SW/0 (SW/0) และ Load Model SW/2 (SW/2) ทั้ง 3 แบบนี้เมื่อนำไปออกแบบนั้นจะต้องคูณค่าน้ำหนักกระแทกเข้าไปในน้ำหนักบรรทุกใช้ค่าดังสมการที่ (1)

$$I = \frac{2.16}{\sqrt{L}} + 0.73, \quad (1)$$

$$1.0 \leq I \leq 2.0$$

โดย L คือ ความยาวของสะพานรถไฟ

2. มาตรฐานสะพานรถไฟประเทศรัสเซีย (SNIP, 1984)
มาตรฐานประเทศรัสเซียมีค่าน้ำหนักกระทงที่ต้องใช้ในการออกแบบดัง
สมการที่ (2)

$$I = 1 + \frac{10}{20 + L};$$

$$I \geq 1.15 \quad (2)$$

โดย L คือ ความยาวของสะพานรถไฟ

3. มาตรฐานการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท., 2544)

ในมาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) มีค่าน้ำหนักกระทงที่ใช้ในการ
ออกแบบมาจากกรรถไฟแห่งชาติญี่ปุ่น (JNR.) มาใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2504 จนถึงปัจจุบันนี้
มีรายละเอียดดังสมการที่ (3) และ (4)

$$\text{For } L \leq 30 \text{ m.} \quad I = 0.7 - \frac{L^2}{4000} \quad (3)$$

$$\text{For } L > 30 \text{ m.} \quad I = 0.14 - \frac{10}{L} \quad (4)$$

โดย L คือ ความยาวของสะพานรถไฟ

4. มาตรฐานสะพานรถไฟประเทศจีน (ZK Standard, 2009)

มาตรฐานจีนมีค่าน้ำหนักกระทงที่ใช้ในการออกแบบดังสมการที่ (5)

$$I = \frac{1.44}{L^{0.5} - 0.2} - 0.18 \geq 0.0 \quad (5)$$

โดย L คือ ความยาวของสะพานรถไฟ

กรณีที่ เป็นสะพานต่อเนื่องค่า L มีค่าดังสมการที่ (6)

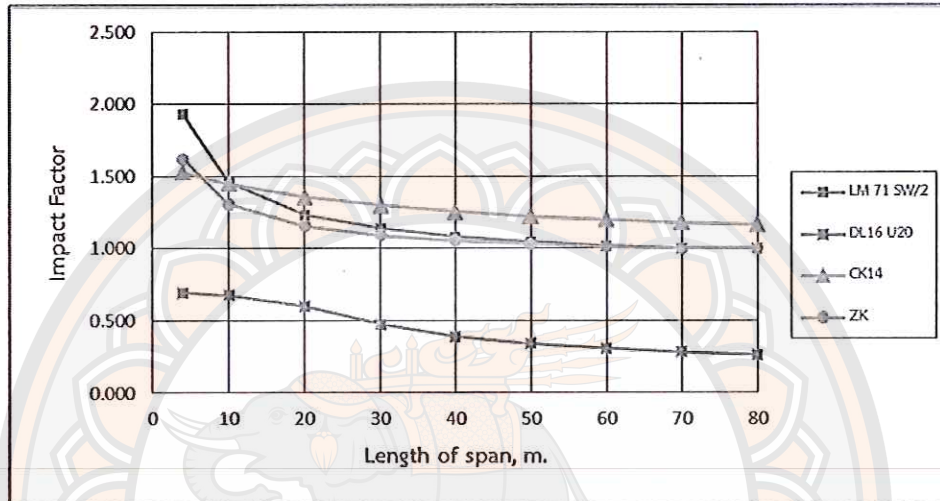
$$I = 0.14 - \frac{10}{L} \quad (6)$$

โดย n เป็นจำนวนช่วงของสะพาน

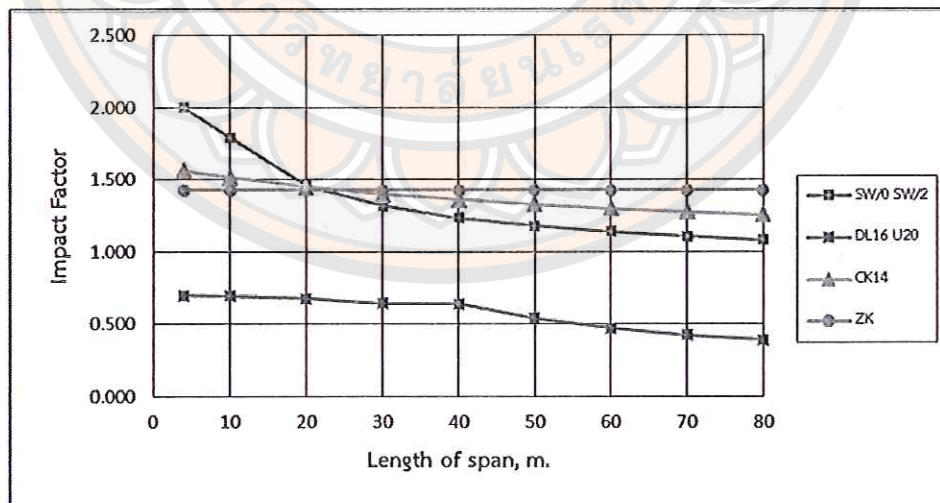
กรณีที่เป็นสะพานต่อเนื่องมากกว่า 5 ช่วง ขึ้นไปค่า L มีค่าดังสมการที่ (7)

$$L = 1.5 \cdot L_{avg} \quad (7)$$

โดย L_{avg} คือ ช่วงความยาวเฉลี่ยของสะพาน



ภาพ 17 ค่าอัตราส่วนค่าน้ำหนักกระทำกับความยาวสะพานช่วงเดียว

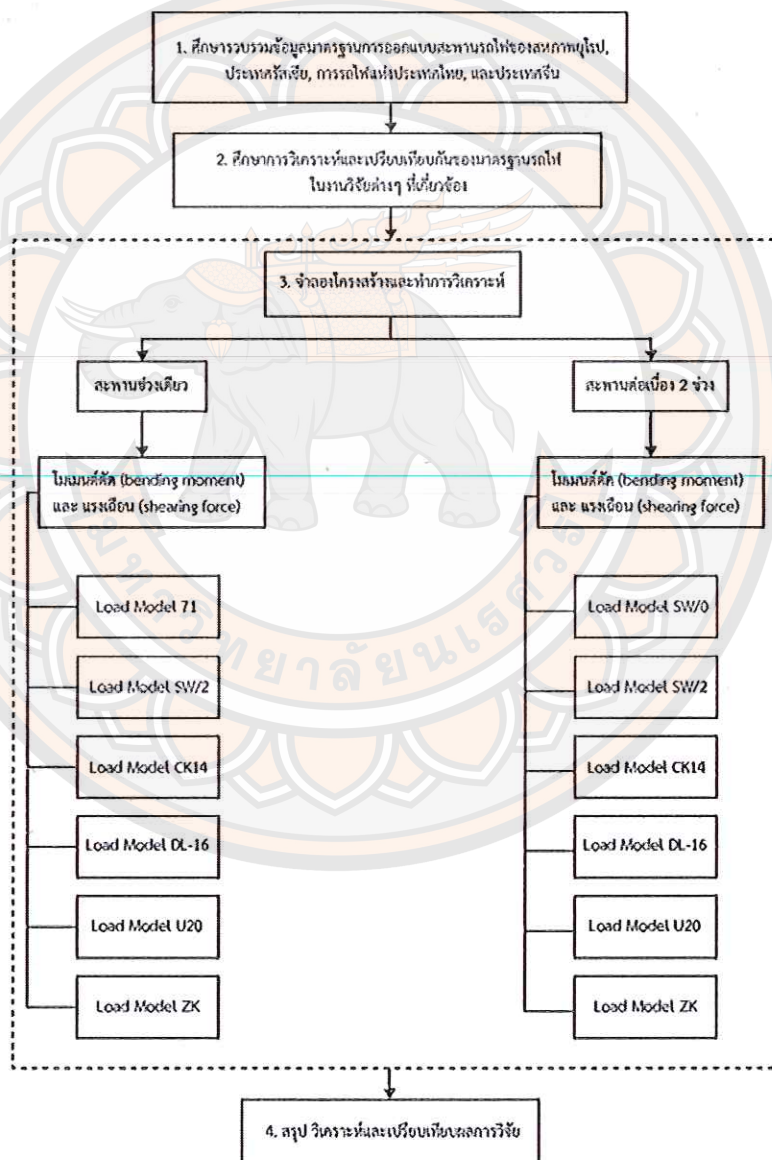


ภาพ 18 ค่าอัตราส่วนค่าน้ำหนักกระทำกับความยาวสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ภายใต้ขอบเขตการวิจัยที่กำหนดไว้ ดังแสดงใน ภาพ 19



ภาพ 19 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ศึกษาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงบนสะพานรถไฟ

น้ำหนักบรรทุกของสะพานรถไฟในแต่ละประเทศมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับเหตุผลต่างๆ เช่น การออกแบบให้เหมาะสมกับปริมาณความหนาแน่นของการจราจร เส้นทางขนส่งที่จำเป็นต้องบรรทุกสินค้าที่มีน้ำหนักมาก และค่าใช้จ่ายในกาก่อสร้างมีความเหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่ ฯลฯ ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาน้ำหนักบรรทุกของมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟช่วงเดียวและสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง ของประเทศต่าง ๆ ดังนี้

1. สหภาพยุโรป (EUROCODE, EN 1991-2: EN 2003)

ศึกษาน้ำหนักบรรทุก Load Model LM71 (LM71) สำหรับสะพานรถไฟช่วงเดียว, Load Model SW/0 (SW/0) สำหรับสะพานรถไฟต่อเนื่อง 2 ช่วง และ SW/2 (SW/2) สำหรับสะพานรถไฟช่วงเดียวและสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง

2. ประเทศรัสเซีย (SNiP, 1984)

ศึกษาน้ำหนักบรรทุก Load Model CK14 (CK14) สำหรับสะพานรถไฟช่วงเดียวและสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง

3. การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท., 2544)

ศึกษาน้ำหนักบรรทุก Load Model DL16 (DL16) และ Load Model U20 (U20) สำหรับสะพานรถไฟช่วงเดียวและสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง

4. ประเทศไต้หวัน (ZK Standard, 2009)

ศึกษาน้ำหนักบรรทุก Load Model ZK live load (ZK) สำหรับสะพานรถไฟช่วงเดียวและสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง

วิธีจำลองและวิเคราะห์โครงสร้างสะพาน

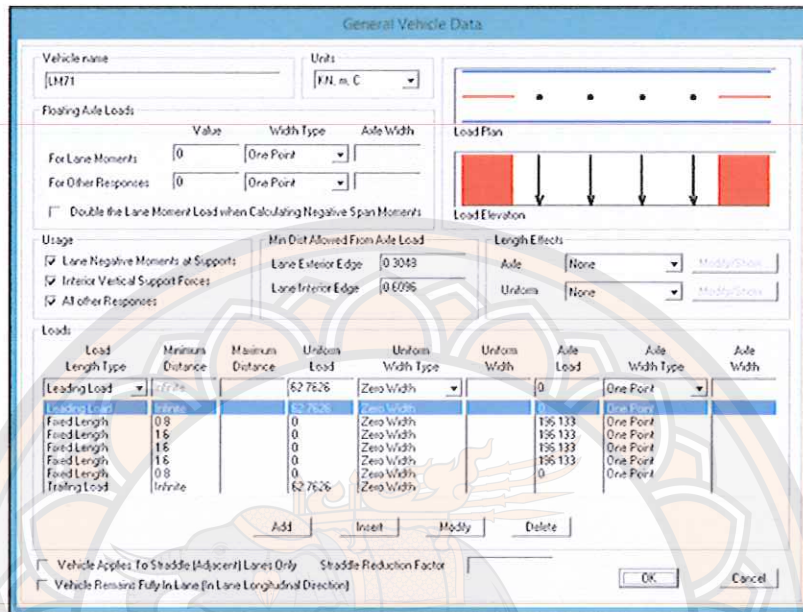
ในการศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกจรของมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟ ซึ่งทำการหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดด้วยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง โดยสร้างแบบจำลองโครงสร้าง 2 มิติ และวิเคราะห์โครงสร้างสะพานทั้งแบบ Simply Supported และแบบ 2-Span Continuous Support ในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างขึ้นกำหนดขนาดความยาวตามที่กำหนด

2. วาดแบบจำลองโครงสร้างสะพาน โดยทำ 2 กรณีคือ สะพานรถไฟช่วงเดียว และสะพานรถไฟต่อเนื่อง 2 ช่วง และสร้างจุดรองรับ (support) รองรับโครงสร้าง

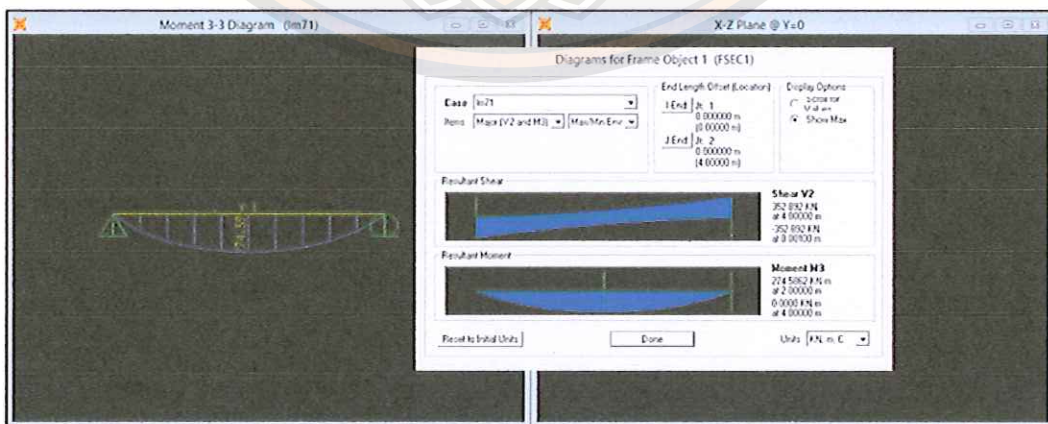
3. ตั้งค่าน้ำบรรทุกที่กระทำลงบนสะพานตามมาตรฐานต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในขอบเขต

ดั่งภาพ 20



ภาพ 20 ข้อมูลน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดตามแต่ละมาตรฐาน

4. วิเคราะห์โครงสร้างสะพานที่ถูกนำน้ำหนักบรรทุกกระทำตามแต่ละมาตรฐาน โดยแต่ละช่วงความยาวจะถูกกระทำด้วยน้ำหนักบรรทุกเพื่อให้ทราบถึงค่าโมเมนต์ดัด (Bending Moment) สูงสุด และแรงเฉือน (Shearing Force) สูงสุด ในช่วงความยาวนั้น ๆ ดั่งภาพ 21



ภาพ 21 ค่าแรงเฉือนและโมเมนต์สูงสุดในช่วงความยาวนั้น ๆ

5. นำค่าโมเมนต์ดัด (Bending Moment) และแรงเฉือน (Shearing Force) สูงสุดที่ได้มาในแต่ละช่วงความยาวมาพล็อตกราฟเพื่อทำการเปรียบเทียบในแต่ละมาตรฐาน

6. นำค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่คูณด้วยค่าน้ำหนักกระแทกของแต่ละมาตรฐานเพื่อให้ได้ค่าโมเมนต์สำหรับการออกแบบ (Md) มาพล็อตกราฟเพื่อทำการเปรียบเทียบในแต่ละมาตรฐาน

7. นำค่าโมเมนต์สำหรับการออกแบบ (Md) ของแต่ละมาตรฐานเทียบกับค่าโมเมนต์สำหรับการออกแบบ (Md) ของ Load Model U20 (มาตรฐาน รฟท.) เพื่อหาค่าค่าโมเมนต์สำหรับการออกแบบ (Md) ของมาตรฐานการออกแบบสะพานรถไฟที่ใกล้เคียงกับ Load Model U20 มากที่สุด



บทที่ 4

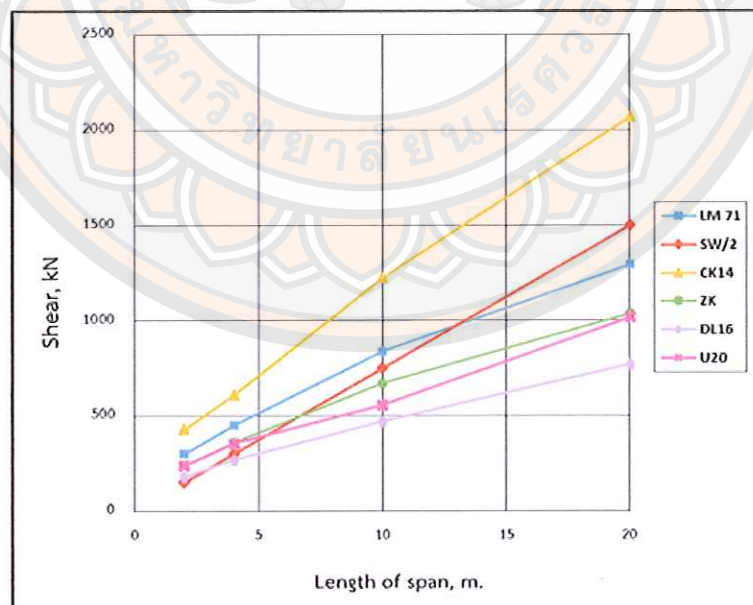
ผลการวิจัย

บทนี้เป็นการกล่าวถึงผลการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ที่กระทำลงบนสะพาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่า โมเมนต์ดัด (Bending Moment) และแรงเฉือน (Shearing Force) สูงสุดของแต่ละมาตรฐานการออกแบบ และผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่ใช้ในการออกแบบ (Md)

ผลการวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ดัด (Bending Moment) และแรงเฉือน (Shearing Force) สูงสุด

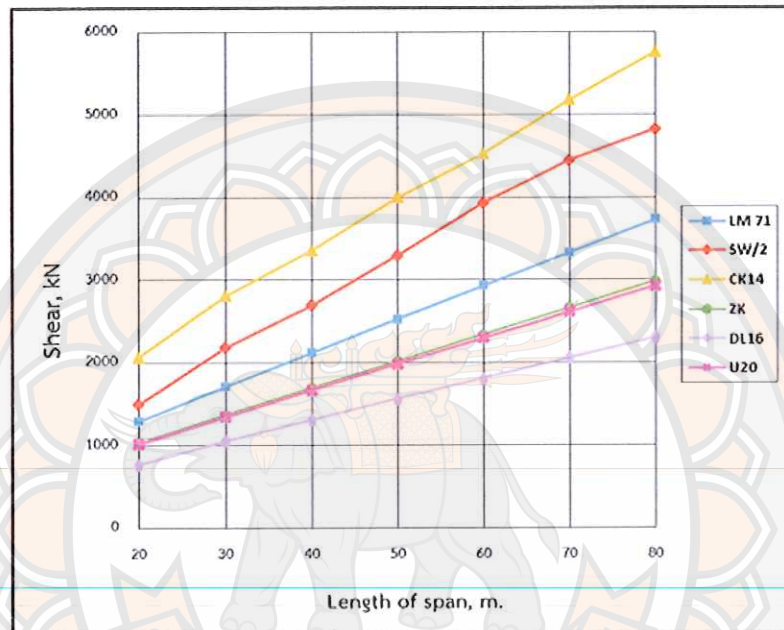
1. ค่าแรงเฉือนสูงสุดบนสะพานช่วงเดียว

ในช่วงความยาวสะพาน 2- 20 เมตร Load Model CK 14 ให้ค่าแรงเฉือนมากที่สุด รองลงมาคือ Load Model LM 71, SW/2, ZK และ Load Model U 20 ตามลำดับ โดยมาตรฐานที่ให้ค่าแรงเฉือนน้อยที่สุดคือ Load Model DL 16 ทั้งนี้ในช่วงความยาวก่อน 10 เมตร Load Model SW/2 ให้ค่าแรงเฉือนต่ำกว่า Load Model ZK และ Load Model U 20 ดังภาพ 22



ภาพ 22 ค่าแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพาน ช่วงเดียวช่วงความยาว 2 - 20 เมตร

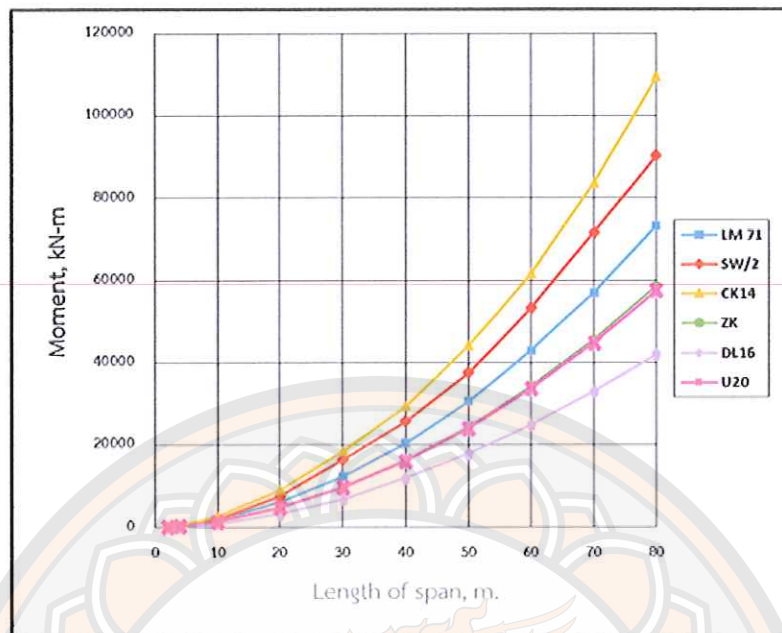
ในช่วงความยาว 20 – 80 เมตร Load Model CK 14 ให้ค่าแรงเฉือนมากที่สุด รองลงมาคือ Load Model SW/2 และ LM 71 ตามลำดับ โดยที่ Load Model ZK และ Load Model U 20 ทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน และมาตรฐานที่ให้ค่าแรงเฉือนน้อยที่สุดคือ Load Model DL 16 ดังภาพ 23



ภาพ 23 ค่าแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพาน ช่วงเดียวช่วงความยาว 2 - 80 เมตร

2. ค่าแรงโมเมนต์ดัดสูงสุดบนสะพานช่วงเดียว

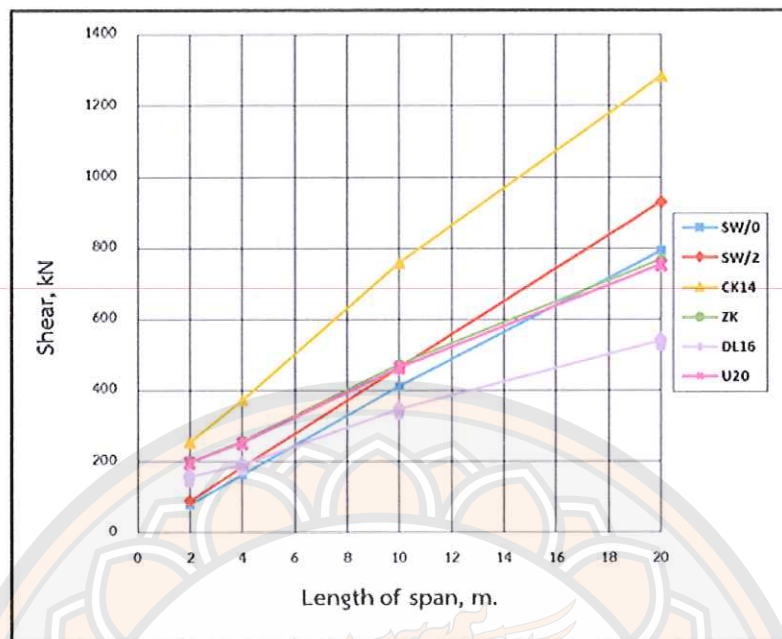
ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นมีลำดับค่าเช่นเดียวกับกับแรงเฉือน คือ Load Model CK 14 ให้ค่าโมเมนต์ดัดมากที่สุด รองลงมาเป็น Load Model SW/2, LM 71, ZK, U 20 และ DL 16 ตามลำดับ จากภาพ 24 จะเห็นได้ว่าค่าของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนสะพานช่วงเดียวมีแนวโน้มในทางเดียวกัน และมาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทย Load Model U 20 มีค่าใกล้เคียงกันกับมาตรฐานของประเทศจีน Load Model ZK มาก แต่ทั้งนี้ต้องดูผลของ Load Model ทั้งสองนี้ที่คูณค่า Impact factor (I) สำหรับออกแบบสะพาน ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



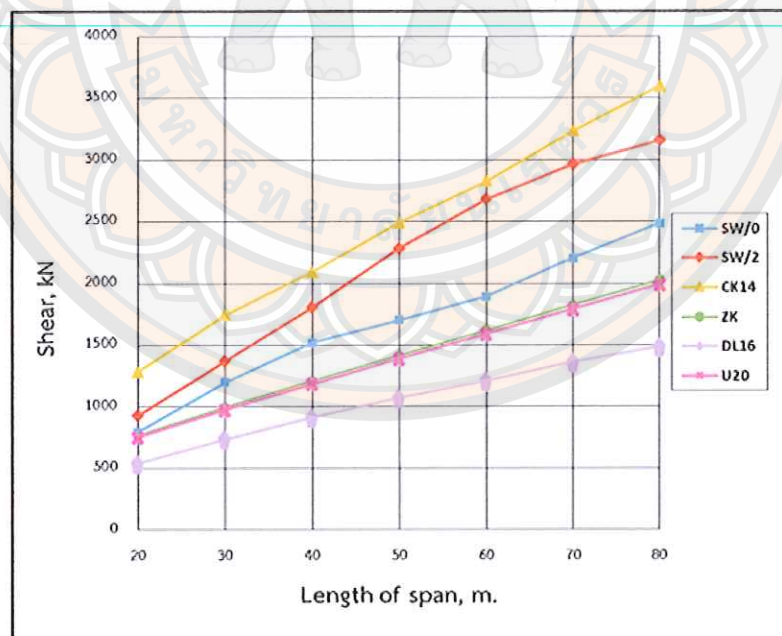
ภาพ 24 ค่าโมเมนต์สูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพาน
ช่วงเดียวช่วงความยาว 2 - 80 เมตร

3. ค่าแรงเฉือนสูงสุดบนสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง

ที่ช่วงความยาว 2- 20 เมตร Load Model ที่ให้ค่าแรงเฉือนมากที่สุดเป็นของ Load Model CK 14 รองลงมาเป็น Load Model SW/2 โดย Load Model SW/2 และ Load Model SW/0 จะให้แรงเฉือนน้อยกว่า Load Model ZK และ Load Model U 20 ในช่วงความยาว 10 เมตร โดยที่ Load Model ZK และ Load Model U 20 ทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน และมาตรฐานที่ให้ค่าแรงเฉือนน้อยที่สุดคือ Load Model DL 16 ดังภาพ 25 ที่ช่วงความยาว 20 – 80 เมตร Load Model ที่ให้ค่าแรงเฉือนมากที่สุดเป็นของ Load Model CK 14 รองลงมาเป็น Load Model SW/2 และ SW/0 โดยที่ Load Model ZK และ Load Model U 20 ทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน และมาตรฐานที่ให้ค่าแรงเฉือนน้อยที่สุดคือ Load Model DL 16 ดังภาพ 26 โดยจะสังเกตได้ว่าค่าแรงเฉือนในสะพานช่วงเดียวและสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วงนั้นมีลักษณะในทิศทางเดียวกัน



ภาพ 25 ค่าแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพาน
ต่อเนื่อง 2 ช่วง ช่วงความยาว 2 - 20 เมตร



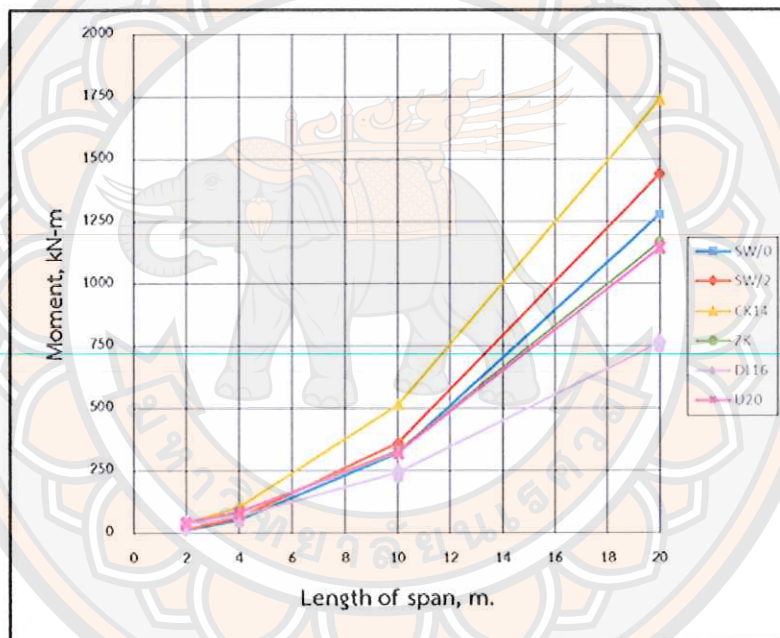
ภาพ 26 ค่าแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพาน
ต่อเนื่อง 2 ช่วง ช่วงความยาว 2 - 80 เมตร

4. ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดบนสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง

ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง สามารถแบ่งเป็นโมเมนต์บวกและโมเมนต์ดัดนี้

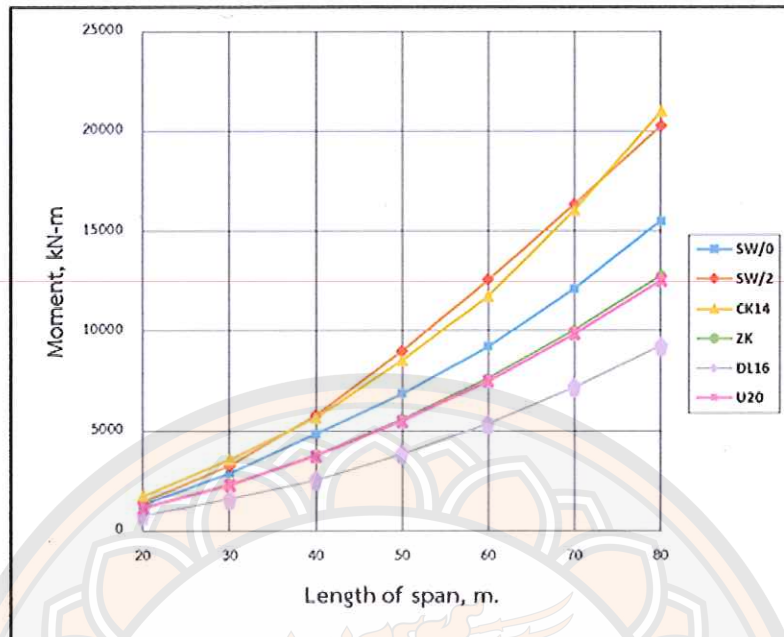
4.1 ค่าโมเมนต์บวก

ที่ช่วงความยาว 2 - 20 เมตร ค่าโมเมนต์บวก Load Model CK 14 ให้ค่ามากที่สุด โดย Load Model LM71, SW/2, ZK, U 20 รองลงมาตามลำดับ และน้อยที่สุดเป็น Load Model DL 16 ดังภาพ 27



ภาพ 27 ค่าโมเมนต์บวกสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง ช่วงความยาว 2 - 20 เมตร

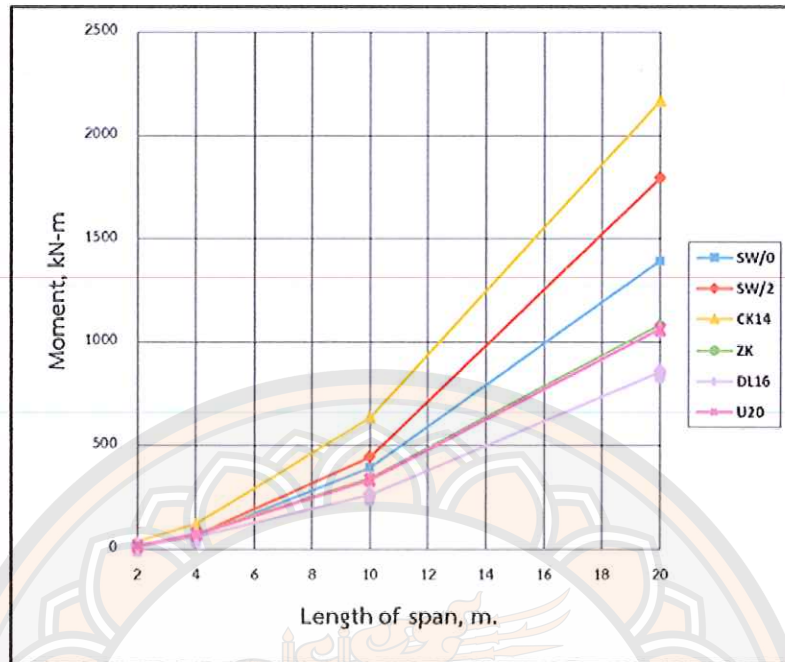
ที่ช่วงความยาวสะพาน 80 เมตร Load Model CK 14 ให้ค่ามากที่สุด แต่ช่วงความยาวระหว่าง 40 - 70 เมตร Load Model SW/2 ให้ค่ามากที่สุด ส่วนค่าโมเมนต์บวกที่น้อยที่สุดทุกช่วงความยาวถึง 80 เมตร เป็น Load Model U 20 ดังภาพ 28



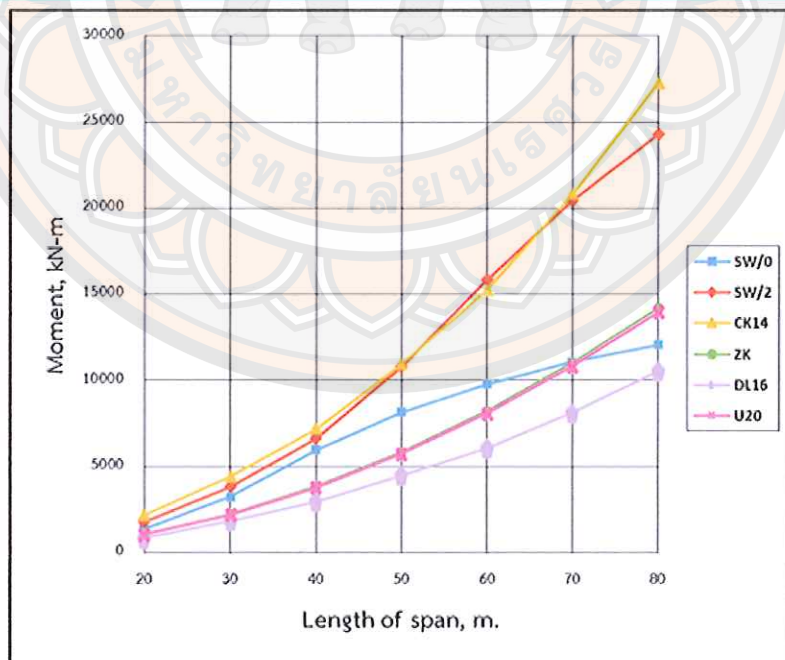
ภาพ 28 ค่าโมเมนต์บวกสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพาน
ต่อเนื่อง 2 ช่วง ช่วงความยาว 20 - 80 เมตร

4.2 ค่าโมเมนต์ลบ

ค่าโมเมนต์บวก Load Model CK14 ให้ค่ามากที่สุดโดยรองลงมาเป็น Load Model SW/2, SW/0, ZK, U20 ตามลำดับ และน้อยที่สุดเป็น Load Model DL16 ดังภาพ 29 ที่ช่วงความยาวสะพาน 80 เมตร Load Model CK14 ให้ค่ามากที่สุด แต่ช่วงความยาว 60 เมตร Load Model SW/2 ให้ค่ามากที่สุด โดย Load Model SW/0, ZK, U20 ให้ค่าโมเมนต์ลบรองลงมาตามลำดับ และค่าโมเมนต์ลบที่น้อยที่สุดทุกช่วงความยาวถึง 80 เมตร คือ Load Model DL16 ทั้งนี้เนื่องจากรูปแบบน้ำหนักบรรทุกของ Load Model SW/0 เป็น Uniform Load ไม่เต็มทั้งคาน ทำให้เมื่อทำการวิเคราะห์สะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง ค่าโมเมนต์ลบของ Load Model SW/0 จะมีค่าเพิ่มขึ้นค่อนข้างน้อย ลักษณะของกราฟจึงเป็นรูปประฆังคว่ำ ดังภาพ 30



ภาพ 29 ค่าโมเมนต์ลบลสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพาน
ต่อเนื่อง 2 ช่วง ช่วงความยาว 2 - 20 เมตร

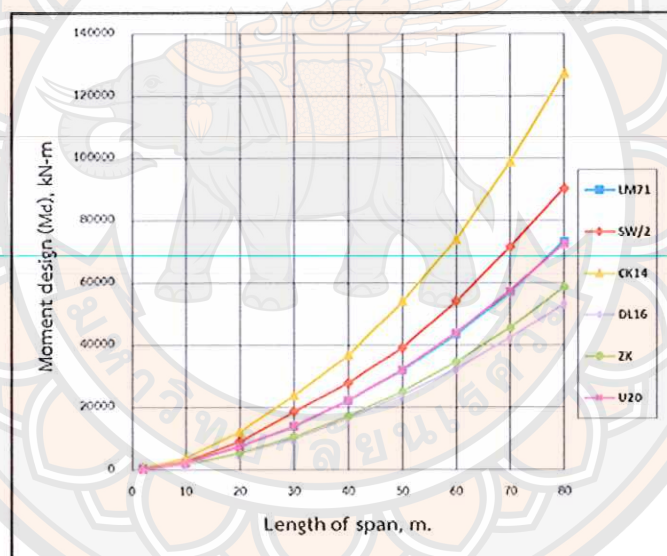


ภาพ 30 ค่าโมเมนต์ลบลสูงสุดของแต่ละมาตรฐานในสะพาน
ต่อเนื่อง 2 ช่วง ช่วงความยาว 20 - 80 เมตร

ผลการวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ดัด (Bending Moment) และแรงเฉือน (Shearing Force) สูงสุดที่ใช้ในการออกแบบสะพาน

1. ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ใช้ในการออกแบบสะพานบนสะพานช่วงเดียว

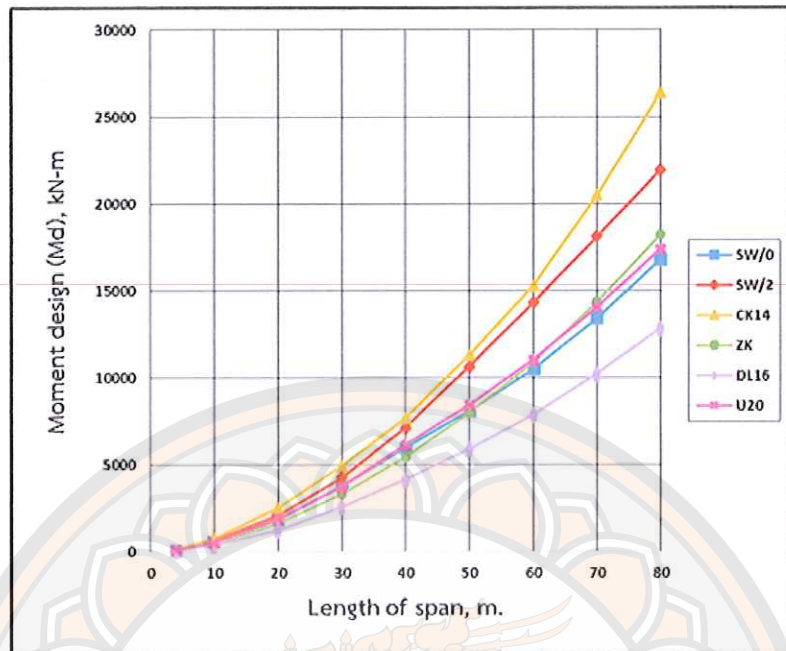
นอกจากค่าน้ำหนักบรรทุกทุกจรที่นำมาใช้ออกแบบแล้วยังต้องนำค่า Impact factor (I) มาคูณเข้าไปในตัวค่าน้ำหนักบรรทุกทุกจรเพิ่มจะได้ ค่าโมเมนต์สำหรับการออกแบบ (Moment design, Md) ภาพ 31 แสดงถึงค่าโมเมนต์สูงสุดของ Load Model CK 14 ส่วนค่าโมเมนต์ของ Load Model ZK ให้ค่าต่ำกว่า Load Model U20 โดย Load Model U 20 มีค่าใกล้เคียงกันกับ Load Model LM 71 จนเกือบจะเท่ากัน และ Load Model ที่ให้ค่าโมเมนต์ที่น้อยที่สุดคือ Load Model U 20 กรณีนี้เมื่อเทียบกับกรณีไม่คูณค่า Impact factor (I) แล้ว Load Model U 20 จะให้ค่าใกล้เคียงกันกับ Load Model ZK แต่เมื่อคูณแล้วจะมีค่าใกล้เคียงกันกับ Load Model LM 71



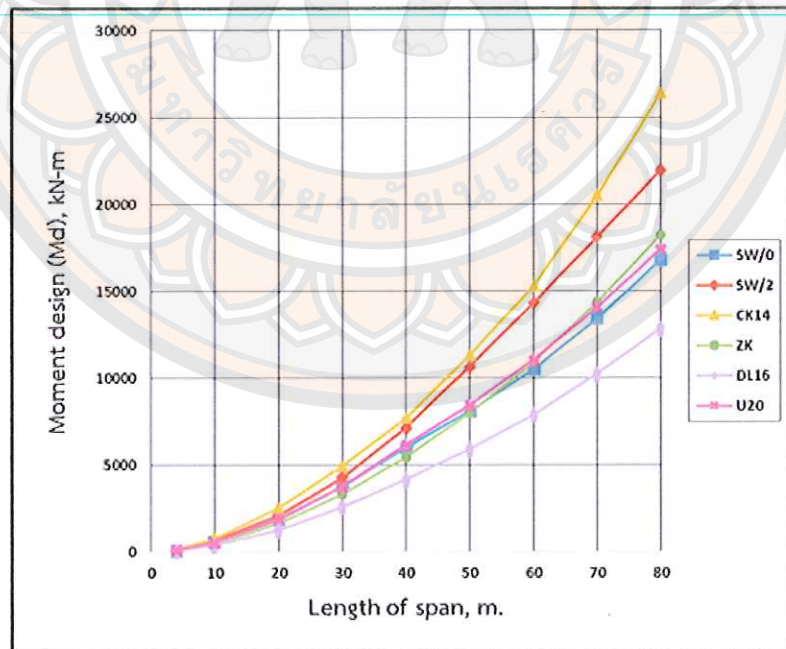
ภาพ 31 ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดกรณีคูณค่า Impact factor ของ สะพานช่วงเดียว ช่วงความยาว 2 - 80 เมตร

2. ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ใช้ในการออกแบบสะพานบนสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง

จากภาพ 32 และ 33 ทั้ง 2 มีค่าโมเมนต์สูงสุดเป็นของ Load Model CK 14 รองลงมา เป็น Load Model SW/2, Load Model ZK ส่วน Load Model U 20 และ Load Model SW/0 มีค่า ใกล้เคียงกัน และค่าโมเมนต์ที่น้อยที่สุดเป็นของ Load Model DL 16 แต่กรณีโมเมนต์ลบที่ช่วง 50 - 80 เมตร Load Model SW/0 มีค่าน้อยลงกว่า Load Model ZK, U 20 และ DL 16



ภาพ 32 ค่าโมเมนต์บวกสูงสุดกรณีคูณค่า Impact factor ของ สะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง ช่วงความยาว 2 - 80 เมตร

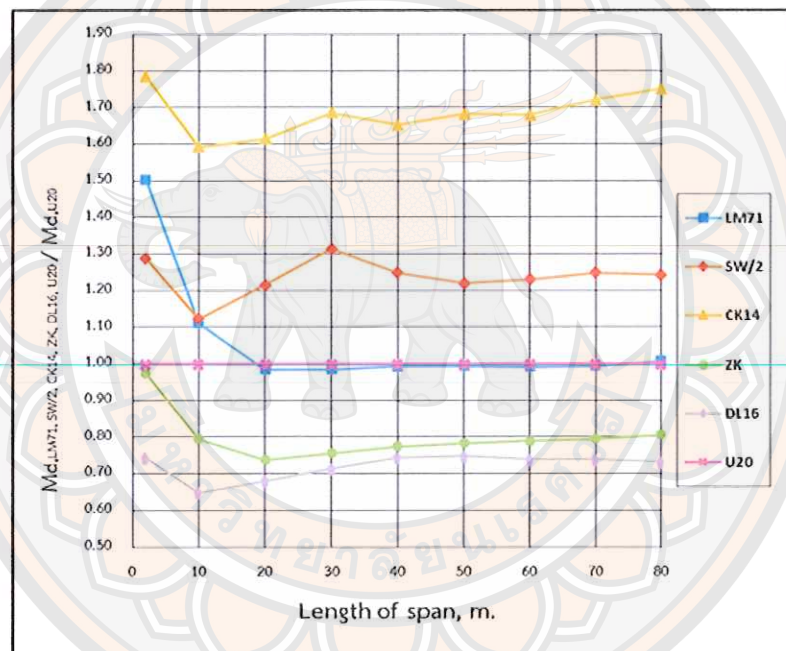


ภาพ 33 ค่าโมเมนต์ลบสูงสุดกรณีคูณค่า Impact factor ของ สะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง ช่วงความยาว 2 - 80 เมตร

ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกจรของแต่ละมาตรฐานการออกแบบสะพานกรณีคูณค่า Impact factor (I)

1. สะพานรถไฟช่วงเดียว

จากภาพ 34 แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุดของแต่ละมาตรฐานกับ Load Model U 20 พบว่ามาตรฐานของประเทศศรีสเซียให้ค่ามากกว่าถึง 50 - 80 % รองลงมาเป็น Load Model SW/2 ประมาณ 10 - 30 % ส่วน Load Model LM 71 จะให้ค่ามากกว่าในช่วงความยาวสะพาน 2 - 15 เมตร ประมาณ 10 - 50 % แต่ที่ช่วงความยาวสะพาน 20 - 80 มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก และ Load Model ZK กับ Load Model DL 16 มีค่าน้อยกว่าอยู่ประมาณ 20 - 35 %

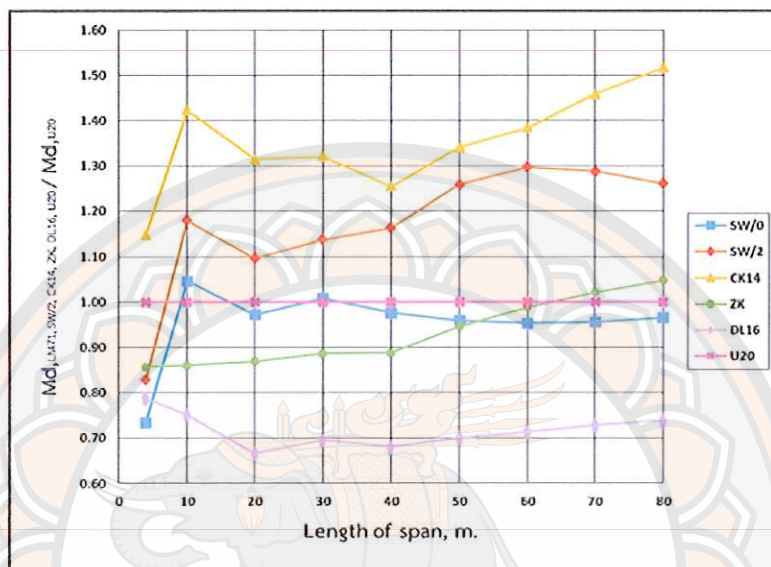


ภาพ 34 ค่าอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์สูงสุดกรณีคูณค่า Impact factor แต่ละมาตรฐานเทียบกับมาตรฐาน รฟท. ในสะพานช่วงเดียว

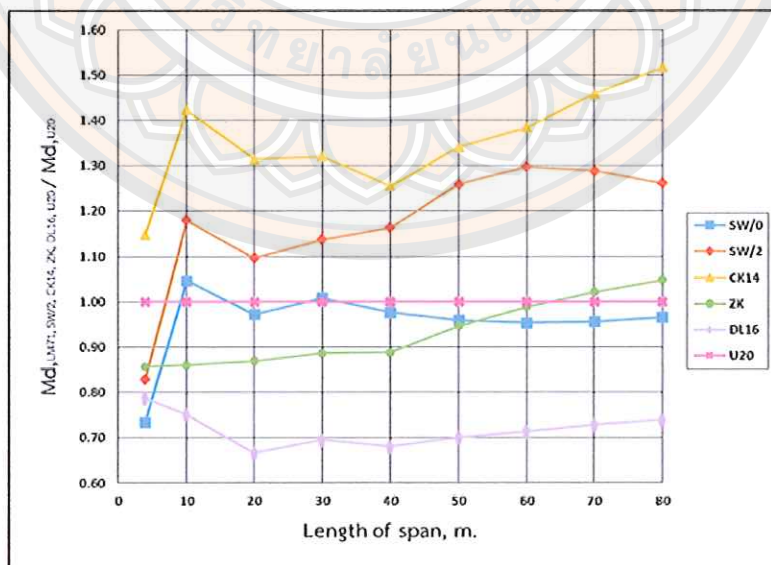
2. สะพานรถไฟต่อเนื่อง 2 ช่วง

จากภาพ 35 แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์บวกสูงสุดของแต่ละมาตรฐานกับ Load Model U 20 พบว่ามาตรฐานของประเทศศรีสเซียให้ค่ามากกว่าถึง 10 - 50 % ช่วงความยาวสะพาน 2 - 5 เมตร Load Model SW/2 ให้ค่าน้อยกว่าประมาณ 20 % แต่เมื่อความยาว 10 - 80 เมตรนั้นให้ค่ามากกว่าประมาณ 10 - 30 % ส่วน Load Model SW/0 จะให้ค่าน้อยกว่าในช่วงความยาวสะพานก่อน 10 เมตร ประมาณเกือบ 30 % แต่ที่ช่วงความยาวสะพานระหว่าง

10 - 80 เมตร มีค่าที่ใกล้เคียงและมีค่าน้อยกว่าเพียงเล็กน้อย สำหรับ Load Model ZK นั้นในช่วงความยาวสะพาน 2 - 50 เมตรมีค่าน้อยกว่าประมาณ 10 % แต่ในช่วง 60 - 80 เมตรมีค่ามากกว่าประมาณ 5 % และ Load Model DL 16 มีค่าน้อยกว่าประมาณ 20 - 35 %



ภาพ 35 ค่าอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์บวกสูงสุดกรณีคุณค่า Impact factor แต่ละมาตรฐานเทียบกับมาตรฐาน รพท. ในสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง



ภาพ 36 ค่าอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ลบสูงสุดกรณีคุณค่า Impact factor แต่ละมาตรฐานเทียบกับมาตรฐาน รพท. ในสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง

จากภาพ 36 แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ลบสูงสุดของแต่ละมาตรฐานกับ Load Model U 20 พบว่ามาตรฐานทั้ง 2 ของรัสเซียให้ค่ามากกว่าถึง 40 - 80 % ช่วงความยาวสะพาน 2 - 5 เมตร Load Model SW/2 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 10 - 50 % ส่วนของ Load Model SW/2 จะให้ค่ามากกว่าในช่วงความยาวสะพาน 2 - 55 เมตร ประมาณ 10 - 25 % แต่ในช่วงความยาวสะพาน 55 - 80 มีค่าน้อยกว่าประมาณ 5 - 30 % สำหรับ Load Model.ZK นั้นในช่วงความยาวสะพาน 2 - 50 เมตร มีค่าน้อยกว่าประมาณ 15 % แต่ในช่วง 60 - 80 เมตรมีค่ามากกว่าประมาณ 5 % และ Load Model DL 16 ให้ค่าน้อยกว่าประมาณ 20 - 25 %



บทที่ 5

บทสรุป

บทนี้เป็นการสรุปผลของการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกของแต่ละมาตรฐานการออกแบบสะพาน ค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนสูงสุด ศึกษาปัจจัยและแนวทางในการลดการหดตัวของคอนกรีต โดยแบ่งการสรุปออกเป็น 3 ส่วน คือ ผลของการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละมาตรฐานการออกแบบ ผลของการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สำหรับการออกแบบสะพาน และผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ที่ใช้สำหรับการออกแบบของน้ำหนักบรรทุก Load Model U 20 กับโมเมนต์ที่ใช้สำหรับการออกแบบของน้ำหนักบรรทุกทุกมาตรฐานที่กำหนดไว้ในขอบเขต ซึ่งมีรายละเอียดการสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นของแต่ละมาตรฐานการออกแบบ

1. สะพานช่วงเดียว

ในช่วงสะพานสั้น 2 – 10 เมตร น้ำหนักบรรทุกที่ให้ค่าแรงเฉือนมากที่สุดคือ Load Model CK14 รองลงมาเป็น Load Model LM 71 ,Load Model ZK, Load Model U 20, Load Model SW/2 และ Load Model DL 16 ตามลำดับ โดยมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 607 กิโลนิวตัน, 449 กิโลนิวตัน, 359 กิโลนิวตัน, 352 กิโลนิวตัน, 299 กิโลนิวตัน และ 270 กิโลนิวตัน ตามลำดับ แต่ในช่วงความยาวสะพาน 20 – 80 เมตร น้ำหนักบรรทุกที่ให้ค่าแรงเฉือนมากที่สุดคือ Load Model CK14 รองลงมาเป็น Load Model SW/2, Load Model LM 71, Load Model ZK, Load Model U 20 และ Load Model DL 16 ตามลำดับ โดยมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 5759 กิโลนิวตัน, 4827 กิโลนิวตัน, 3,737 กิโลนิวตัน, 2,990 กิโลนิวตัน, 2,932 กิโลนิวตัน และ 2,308 กิโลนิวตัน ตามลำดับ

เช่นเดียวกันกับค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด น้ำหนักบรรทุกที่ให้ค่ามากที่สุดคือ Load Model CK 14 รองลงมาเป็น Load Model LM71 ,Load Model SW/2 , Load Model ZK, Load Model U20 และ Load Model DL16 ตามลำดับ โดยมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 532 กิโลนิวตัน-เมตร, 350 กิโลนิวตัน-เมตร, 300 กิโลนิวตัน-เมตร, 280 กิโลนิวตัน-เมตร, 274 กิโลนิวตัน-เมตร และ

203 กิโลนิวตัน-เมตร ตามลำดับ แต่ในช่วงความยาวสะพาน 20 – 80 เมตร น้ำหนักบรรทุกที่ทำให้ค่าโมเมนต์ดัดมากที่สุดคือ Load Model CK 14 รองลงมาเป็น Load Model SW/2, Load Model LM71, Load Model ZK, Load Model U 20 และ Load Model DL 16 ตามลำดับ โดยมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 109,446 กิโลนิวตัน-เมตร, 90,343 กิโลนิวตัน-เมตร, 73,299 กิโลนิวตัน-เมตร, 58,639 กิโลนิวตัน-เมตร, 57,505 กิโลนิวตัน-เมตร และ 42,058 กิโลนิวตัน-เมตร ตามลำดับ

2. สะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง

ในช่วงสะพานสั้น 2 - 10 เมตร น้ำหนักบรรทุกที่ทำให้ค่าแรงเฉือนมากที่สุดคือ Load Model CK 14 รองลงมาเป็น Load Model ZK ,Load Model U 20, Load Model SW/2, Load Model SW/0 และ Load Model DL 16 ตามลำดับ โดยมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 757 กิโลนิวตัน, 474 กิโลนิวตัน, 465 กิโลนิวตัน, 464 กิโลนิวตัน, 411 กิโลนิวตัน และ 347 กิโลนิวตัน ตามลำดับ แต่ในช่วงความยาวสะพาน 20 - 80 เมตร น้ำหนักบรรทุกที่ทำให้ค่าแรงเฉือนมากที่สุดคือ Load Model CK 14 รองลงมาเป็น Load Model SW/2, Load Model SW/0, Load Model ZK, Load Model U 20 และ Load Model DL 16 ตามลำดับ โดยมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 3,596 กิโลนิวตัน, 3,159 กิโลนิวตัน, 2,483 กิโลนิวตัน, 2,026 กิโลนิวตัน, 1,987 กิโลนิวตัน และ 1,483 กิโลนิวตัน ตามลำดับ ในส่วนของโมเมนต์ดัดในสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง นั้นจะมี 2 ค่าคือค่าโมเมนต์บวก และ โมเมนต์ลบ มีค่าโมเมนต์ดัดดังนี้

2.1 โมเมนต์บวก

ช่วงความยาวสะพาน 2 – 30 เมตร น้ำหนักบรรทุกที่ให้ค่าโมเมนต์บวกสูงสุดคือ Load Model CK 14 รองลงมาเป็น Load Model SW/2, Load Model SW/0, Load Model ZK, Load Model U 20 และ Load Model DL 16 ตามลำดับ โดยมีค่าโมเมนต์บวกเท่ากับ 3,543 กิโลนิวตัน, 3,240 กิโลนิวตัน-เมตร, 2,873 กิโลนิวตัน-เมตร, 2,330 กิโลนิวตัน-เมตร, 2,285 กิโลนิวตัน-เมตร และ 1,589 กิโลนิวตัน-เมตร ตามลำดับ ช่วงความยาวสะพาน 40 - 70 เมตร น้ำหนักบรรทุกที่ให้ค่าโมเมนต์บวกสูงสุดคือ Load Model SW/2 รองลงมาเป็น Load Model CK 14, Load Model SW/0, Load Model ZK, Load Model U 20 และ Load Model DL 16 ตามลำดับ โดยมีค่าโมเมนต์บวกเท่ากับ 16,351 กิโลนิวตัน-เมตร, 16,056 กิโลนิวตัน-เมตร, 12,127 กิโลนิวตัน-เมตร, 10,057 กิโลนิวตัน-เมตร, 9,862 กิโลนิวตัน-เมตร และ 7,184 กิโลนิวตัน-เมตร ตามลำดับ และช่วงความยาวสะพาน 80 เมตร น้ำหนักบรรทุกที่ให้ค่าโมเมนต์บวกสูงสุดคือ Load Model CK 14 รองลงมาเป็น Load Model SW/2, Load Model SW/0, Load Model ZK, Load Model U 20 และ Load Model DL 16 ตามลำดับ โดยมีค่าโมเมนต์บวกเท่ากับ 21,000

กิโลนิวตัน-เมตร, 20,285 กิโลนิวตัน-เมตร, 15,521 กิโลนิวตัน-เมตร, 12,771 กิโลนิวตัน-เมตร, 12,524 กิโลนิวตัน-เมตร และ 9,254 กิโลนิวตัน-เมตร ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้ค่าโมเมนต์บวกสูงสุดคือ Load Model CK 14 รองลงมาเป็น Load Model SW/2, Load Model SW/0, Load Model ZK, Load Model U 20 และ Load Model DL 16 ตามลำดับ โดยมีค่าโมเมนต์ลบเท่ากับ 21,000 กิโลนิวตัน-เมตร, 20,285 กิโลนิวตัน-เมตร, 15,521 กิโลนิวตัน-เมตร, 12,771 กิโลนิวตัน-เมตร, 12,524 กิโลนิวตัน-เมตร และ 9,254 กิโลนิวตัน-เมตร ตามลำดับ

2.2 โมเมนต์ลบ

ช่วงความยาวสะพาน 2 - 50 เมตร น้ำหนักบรรทุกที่ทำให้ค่าโมเมนต์ลบสูงสุดคือ Load Model CK 14 รองลงมาเป็น Load Model SW/2, Load Model SW/0, Load Model ZK, Load Model U 20 และ Load Model DL 16 ตามลำดับ โดยมีค่าโมเมนต์ลบเท่ากับ 10,952 กิโลนิวตัน-เมตร, 10,809 กิโลนิวตัน-เมตร, 8,160 กิโลนิวตัน-เมตร, 5,849 กิโลนิวตัน-เมตร, 5,735 กิโลนิวตัน-เมตร และ 4,487 กิโลนิวตัน-เมตร ตามลำดับ ช่วงความยาวสะพาน 60 เมตร น้ำหนักบรรทุกที่ทำให้ค่าโมเมนต์ลบสูงสุดคือ Load Model SW/2 รองลงมาเป็น Load Model CK 14, Load Model SW/0, Load Model ZK, Load Model U 20 และ Load Model DL 16 ตามลำดับ โดยมีค่าโมเมนต์ลบเท่ากับ 15,837 กิโลนิวตัน-เมตร, 15,253 กิโลนิวตัน-เมตร, 9,793 กิโลนิวตัน-เมตร, 8,230 กิโลนิวตัน-เมตร, 7,487 กิโลนิวตัน-เมตร และ 5,346 กิโลนิวตัน-เมตร ตามลำดับ และช่วงความยาวสะพาน 70 - 80 เมตร น้ำหนักบรรทุกที่ทำให้ค่าโมเมนต์ลบสูงสุดคือ Load Model CK 14 รองลงมาเป็น Load Model SW/2, Load Model ZK, Load Model U 20, Load Model SW/0 และ Load Model DL 16 ตามลำดับ โดยมีค่าโมเมนต์ลบเท่ากับ 27,255 กิโลนิวตัน-เมตร, 24,284 กิโลนิวตัน-เมตร, 14,218 กิโลนิวตัน-เมตร, 13,943 กิโลนิวตัน-เมตร, 12,071 กิโลนิวตัน-เมตร และ 10,533 กิโลนิวตัน-เมตรตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สำหรับการออกแบบของแต่ละมาตรฐานการออกแบบ

1. สะพานช่วงเดียว

น้ำหนักบรรทุกจรที่ทำให้ค่าโมเมนต์สำหรับการออกแบบสูงสุดคือ Load Model CK 14 รองลงมาเป็น Load Model SW/2 ,Load Model LM 71, Load Model U 20, Load Model ZK และ Load Model DL 16 ตามลำดับ โดยมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 127,356 กิโลนิวตัน-เมตร, 90,343

กิโลวัตต์-เมตร, 73,299 กิโลวัตต์-เมตร, 72,744 กิโลวัตต์-เมตร, 58,639 กิโลวัตต์-เมตร และ 53,204 กิโลวัตต์-เมตร ตามลำดับ

2. สะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง

2.1 โม่เมนต์บวก

ช่วงความยาวสะพาน 2 - 80 เมตร น้ำหนักบรรทุกที่ให้ค่าโมเมนต์บวกสูงสุดคือ Load Model CK 14 รองลงมาเป็น Load Model SW/2, Load Model ZK, Load Model U 20, Load Model SW/0 และ Load Model DL 16 ตามลำดับ โดยมีค่าโมเมนต์บวกเท่ากับ 26,400 กิโลวัตต์, 21,962 กิโลวัตต์-เมตร, 18,239 กิโลวัตต์-เมตร, 17,408 กิโลวัตต์-เมตร, 16,805 กิโลวัตต์-เมตร และ 12,863 กิโลวัตต์-เมตร ตามลำดับ

2.2 โม่เมนต์ลบ

ช่วงความยาวสะพาน 2 - 50 เมตร น้ำหนักบรรทุกที่ให้ค่าโมเมนต์ลบสูงสุดคือ Load Model CK 14 รองลงมาเป็น Load Model SW/2, Load Model SW/0, Load Model U20, Load Model ZK และ Load Model DL 16 ตามลำดับ โดยมีค่าโมเมนต์ลบเท่ากับ 14,536 กิโลวัตต์-เมตร, 12,755 กิโลวัตต์-เมตร, 9,628 กิโลวัตต์-เมตร, 8,833 กิโลวัตต์-เมตร, 8,353 กิโลวัตต์-เมตร และ 6,910 กิโลวัตต์-เมตร ตามลำดับ และช่วงความยาวสะพาน 60 - 80 เมตร น้ำหนักบรรทุกที่ให้ค่าโมเมนต์ลบสูงสุดคือ Load Model CK 14 รองลงมาเป็น Load Model SW/2, Load Model ZK, Load Model U 20, Load Model DL 16 และ Load Model SW/0 ตามลำดับ โดยมีค่าโมเมนต์ลบเท่ากับ 34,264 กิโลวัตต์-เมตร, 26,292 กิโลวัตต์-เมตร, 20,305 กิโลวัตต์-เมตร, 19,381 กิโลวัตต์-เมตร, 14,641 กิโลวัตต์-เมตร และ 13,069 กิโลวัตต์-เมตร ตามลำดับ

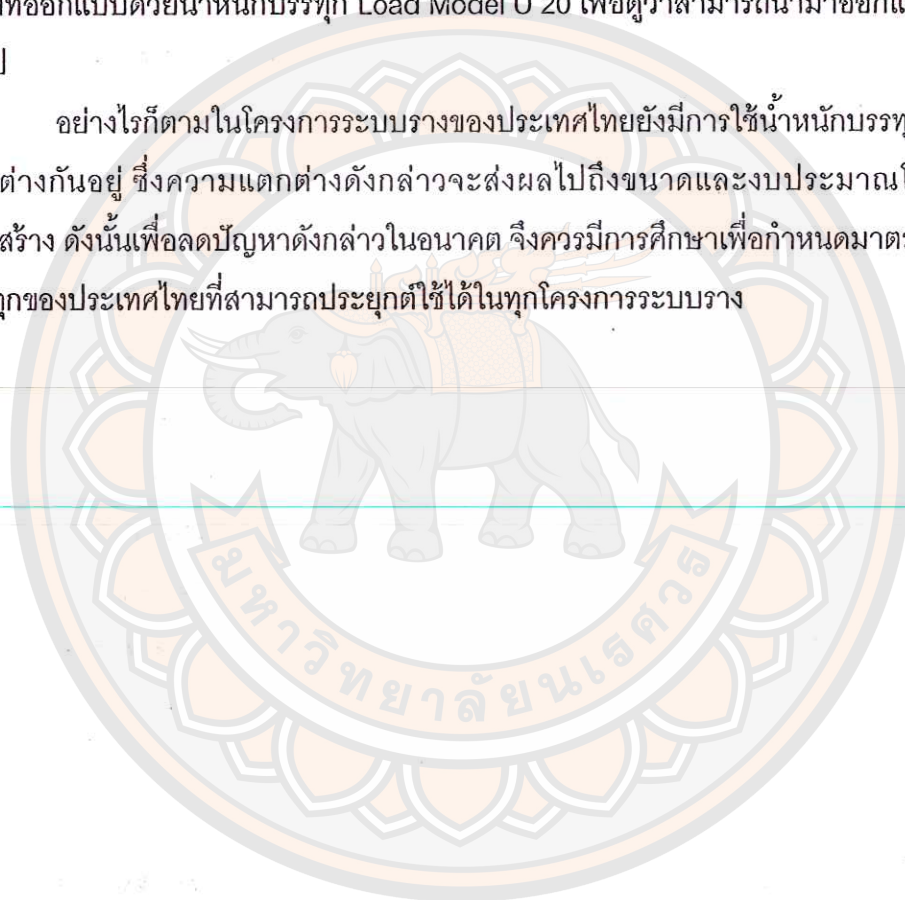
ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ที่ใช้สำหรับการออกแบบของน้ำหนักบรรทุกจร Load Model U 20 กับโมเมนต์ที่ใช้สำหรับการออกแบบของน้ำหนักบรรทุกทุกมาตรฐานที่กำหนดไว้ในขอบเขต

จากผลการวิเคราะห์พบว่า น้ำหนักบรรทุก Load Model CK 14 และ Load Model SW/2 ให้ค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงกว่าน้ำหนักบรรทุก Load Model U 20 ซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกของประเทศไทยอย่างเห็นได้ชัด ทั้งในสะพานช่วงเดี่ยวและสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง และน้ำหนักบรรทุก Load Model LM 71 ก็มีค่าที่ใกล้เคียงกันกับ Load Model U 20 ในสะพานช่วง

เดียว จะเห็นได้ว่าน้ำหนักรบรรทุกทั้ง 3 แบบ หากดูที่ค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดนั้นสามารถนำมา ออกแบบแทนน้ำหนักรบรรทุก Load Model U 20 ได้

นอกจากนี้ น้ำหนักรบรรทุกที่มีค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดต่ำกว่า Load Model U 20 หากจะนำมาออกแบบแทนที่ควรมีการปรับเพิ่มค่าแฟกเตอร์ α มากขึ้น ทั้งนี้ยังต้องดูผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มค่าแฟกเตอร์ α ที่เกินค่าที่กำหนดไว้ในสมการด้วย และควรมีการศึกษาการ ออกแบบสะพานรถไฟที่ใช้น้ำหนักรบรรทุกของมาตรฐานอื่นๆ ที่นำเข้ามาปรับปรุงแทนที่สะพานรถไฟที่ออกแบบด้วยน้ำหนักรบรรทุก Load Model U 20 เพื่อดูว่าสามารถนำมาออกแบบได้หรือไม่ต่อไป

อย่างไรก็ตามในโครงการระบบรางของประเทศไทยยังมีการใช้น้ำหนักรบรรทุกออกแบบที่แตกต่างกันอยู่ ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวจะส่งผลไปถึงขนาดและงบประมาณโดยรวมของ โครงสร้าง ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวในอนาคต จึงควรมีการศึกษาเพื่อกำหนดมาตรฐานน้ำหนักรบรรทุกของประเทศไทยที่สามารถประยุกต์ใช้ได้ในทุกโครงการระบบราง





บรรณานุกรม

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บรรณานุกรม

- ทวี ปานทอง. (2544). *สะพานรถไฟของ รฟท.*, กรุงเทพฯ: การรถไฟแห่งประเทศไทย.
- Algirdas Jonas Notkus and Zenonas Kamaitis. (2010). *Analysis and Comparison of Eurocode and Snip Traffic Load Models for Railway Bridges*. Retrieved January 29, 2016, from http://leidykla.vgtu.lt/conferences/Konferencija_Modern_Building_2010/003/0120.html
- Y. Edward Zhou, Suoting HU, Zaitian Ke, & Bin Niu. (2012). *Considerations for Development of High Speed Rail Bridge Design Standards*. Retrieved January 18, 2016, from https://www.arena.org/files/library/2012_Conference_Proceedings/Considerations_For_Development-High-Speed_Rail_Bridge_Design_Standards.pdf
- Midhun Sankar, & Priya Jacob. (2013). *Comparison of Design Standards for Steel Railway Bridges*. Retrieved March 8, 2016, from http://ijera.com/papers/Vol3_issue2/GC3211311138.pdf
- Marcel Tschumi. (2008). *Railway Actions. Selected Chapters from EN 1991-2 and ANNEX A2 of EN 1990*. Retrieved January 13, 2016, from https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS2008/EN1991_9_Tschumi.pdf
- California High Speed Rail Authority. (2012). *Design Criteria*. Retrieved January 18, 2016, from https://www.hsr.ca.gov/docs/programs/construction/HSR_13_06_B3_PtC_Sub1_CHSTP_Design_Criteria.pdf
- European Standard. (2010). *Eurocode - Basis of structural design*. Retrieved January 13, 2016, from <https://eurocodes.fi/1990/1990/EN%201990-AC-2010.pdf>
- European Standard. (2010). *Eurocode 1: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges*. Retrieved January 13, 2016, from <https://law.resource.org/pub/eu/eurocode/en.1991.2.2003.pdf>



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์

บันทึกรายละเอียดผลการทดลอง

1. คำน้่านักกระทบ (Impact factor) ของแต่ละมาตรฐาน

L(m)	M (kN)			
	LM 71, SW/0 SW/2	DL16, U20	CK14	ZK
2	1.30	1.00	1.15	2.00
4	2.00	1.70	1.56	1.62
10	1.46	1.68	1.45	1.31
20	1.24	1.60	1.36	1.16
30	1.14	1.48	1.30	1.09
40	1.08	1.39	1.26	1.06
50	1.04	1.34	1.23	1.03
60	1.02	1.31	1.20	1.01
70	1.00	1.28	1.18	1.00
80	1.00	1.27	1.16	1.00

2. ค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบนสะพานช่วงเดียว

L(m)	V (kN)					
	LM 71	SW/2	DL16	U20	CK14	ZK
2	299.70	149.80	180.29	235.16	427.50	239.80
4	449.81	299.85	270.55	352.89	607.70	359.85
10	837.31	749.85	470.64	555.12	1224.76	669.84
20	1294.57	1499.78	771.88	1015.63	2069.69	1035.66
30	1713.67	2187.32	1056.09	1344.43	2812.22	1370.94
40	2123.20	2697.90	1315.72	1665.74	3359.70	1698.58
50	2528.90	3298.30	1565.65	1984.05	3999.70	2023.17
60	2932.70	3937.30	1813.90	2300.86	4529.70	2346.16
70	3335.50	4446.20	2063.14	2616.81	5179.70	2668.40
80	3737.50	4827.90	2308.91	2932.23	5759.70	2990.00

3. ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนสะพานช่วงเดียว

L(m)	M (kN-m)					
	LM 71	SW/2	DL16	U20	CK14	ZK
2	125.80	74.90	78.45	98.89	186.90	100.64
4	350.00	300.00	203.98	274.59	532.00	280.00
10	1855.20	1874.90	944.07	1455.46	2675.00	1484.16
20	6074.99	7499.60	3239.89	4766.03	9049.50	4859.99
30	12294.58	16405.47	6878.46	9645.49	18448.77	9835.66
40	20514.00	25799.30	11981.32	16094.19	29398.50	16411.51
50	30638.00	37625.20	17963.91	24036.55	44219.60	24510.45
60	42953.90	53292.60	24912.11	33698.78	61647.90	34363.12
70	57073.50	71659.40	33059.05	44776.00	83751.40	45658.80
80	73299.60	90343.10	42058.52	57505.92	109446.90	58639.68

4. ค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบนสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง

L(m)	V (kN)					
	LM 71	SW/2	DL16	U20	CK14	ZK
2	79.12	89.23	156.81	197.49	254.61	201.38
4	162.94	183.76	190.91	252.86	372.43	257.85
10	411.45	464.0	347.86	465.05	757.94	474.22
20	792.88	929.51	539.48	753.15	1282.73	768.00
30	1197.32	1369.85	734.65	974.79	1743.13	994.01
40	1518.91	1806.63	912.25	1184.79	2090.96	1208.15
50	1702.86	2284.67	1068.60	1388.58	2493.44	1415.96
60	1892.21	2682.13	1206.86	1589.11	2825.25	1620.44
70	2201.75	2964.48	1359.42	1788.64	3232.70	1823.91
80	2483.95	3159.36	1483.62	1987.23	3596.05	2026.41

5. ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง

L(m)	SW/0		SW/2		DL16	
	M+	M-	M+	M-	M+	M-
2	13.44	12.62	15.15	14.23	33.49	11.91
4	51.87	59.88	58.50	67.54	65.43	55.63
10	320.04	394.84	360.95	445.30	242.98	260.85
20	1277.62	1394.84	1440.92	1795.29	763.09	854.88
30	2873.61	3250.96	3240.91	3820.54	1589.61	1835.52
40	4842.39	5958.80	5773.59	6622.71	2542.51	2959.96
50	6856.27	8160.14	9003.00	10809.80	3838.59	4487.05
60	9229.93	9793.51	12564.31	15837.58	5346.90	6054.10
70	12127.02	11067.62	16351.02	20451.67	7184.57	8127.82
80	15521.96	12071.15	20285.13	24284.54	9254.25	10533.41

5. ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง (ต่อ)

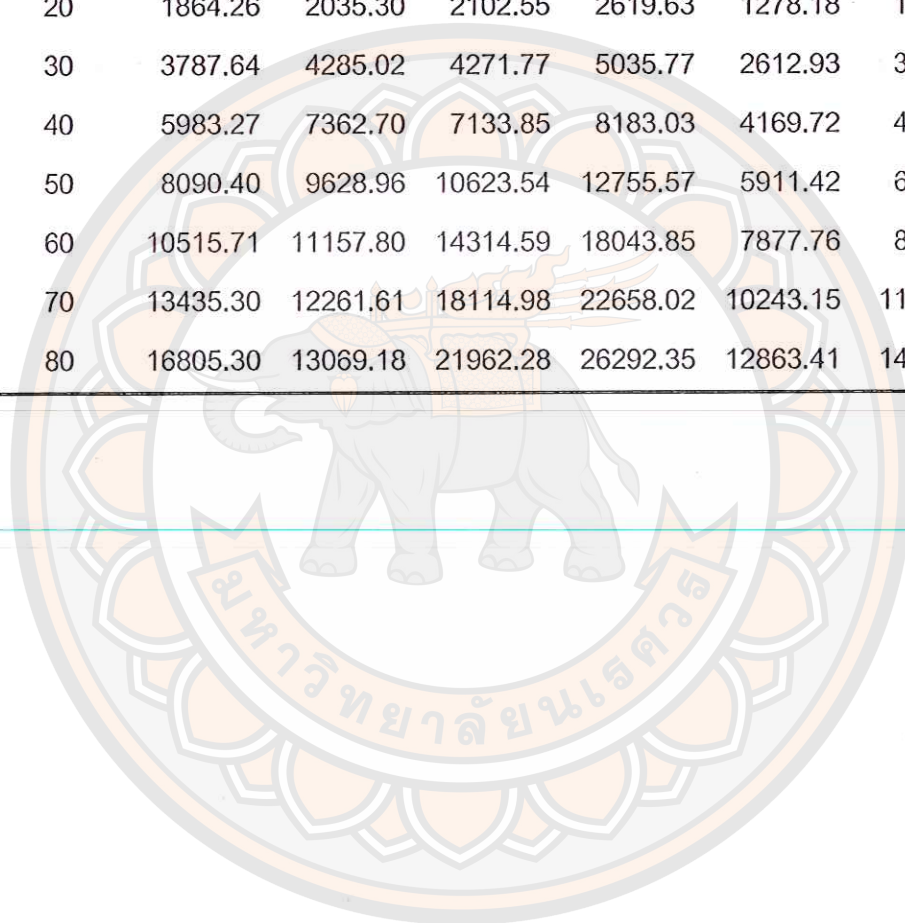
L(m)	U20		CK14		ZK	
	M+	M-	M+	M-	M+	M-
2	41.87	16.67	37.79	35.49	42.69	17.00
4	83.11	71.76	103.73	119.77	84.75	73.18
10	323.45	335.14	514.95	635.30	329.83	341.74
20	1144.69	1063.90	1738.71	2166.32	1167.26	1084.87
30	2285.62	2200.05	3543.40	4422.83	2330.69	2243.43
40	3738.39	3774.65	5658.11	7195.26	3812.09	3849.08
50	5479.43	5735.94	8522.84	10952.17	5587.47	5849.04
60	7487.33	8070.92	11745.10	15253.80	7634.95	8230.05
70	9862.99	10811.50	16056.12	20827.85	10057.45	11024.66
80	12524.41	13943.19	21000.18	27255.60	12771.34	14218.10

6. ค่าโมเมนต์ที่ใช้ในการออกแบบที่เกิดขึ้นบนสะพานช่วงเดียว

L(m)	M (kN-m)					
	LM 71	SW/2	DL16	U20	CK14	ZK
2	700.00	600.00	345.95	465.70	831.25	453.60
10	2707.05	2735.80	1581.31	2437.90	3878.75	1938.48
20	7506.27	9266.52	5183.83	7625.64	12307.32	5623.34
30	14007.28	18690.85	10145.73	14227.10	23983.40	10749.10
40	22210.07	27932.35	16654.03	22370.92	36958.11	17316.09
50	31997.15	39294.31	24071.63	32208.97	54169.01	25235.34
60	43651.71	54158.37	32551.83	44033.07	73977.48	34735.29
70	57073.50	71659.40	42410.04	57441.21	98826.65	45658.80
80	73299.60	90343.10	53204.02	72744.99	127356.39	58639.68

7. ค่าโมเมนต์ที่ใช้ในการออกแบบที่เกิดขึ้นบนสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง

L(m)	SW/0		SW/2		DL16	
	M+	M-	M+	M-	M+	M-
2	103.73	119.77	116.99	135.07	111.16	94.52
10	573.15	707.10	646.41	797.48	411.55	441.82
20	1864.26	2035.30	2102.55	2619.63	1278.18	1431.92
30	3787.64	4285.02	4271.77	5035.77	2612.93	3017.13
40	5983.27	7362.70	7133.85	8183.03	4169.72	4854.34
50	8090.40	9628.96	10623.54	12755.57	5911.42	6910.05
60	10515.71	11157.80	14314.59	18043.85	7877.76	8919.71
70	13435.30	12261.61	18114.98	22658.02	10243.15	11587.95
80	16805.30	13069.18	21962.28	26292.35	12863.41	14641.43



7. ค่าโมเมนต์ที่ใช้ในการออกแบบที่เกิดขึ้นบนสะพานต่อเนื่อง 2 ช่วง (ต่อ)

L(m)	U 20		CK14		ZK	
	M+	M-	M+	M-	M+	M-
2	141.21	121.92	162.08	187.13	121.04	104.51
10	547.85	567.64	779.79	962.03	471.04	488.06
20	1917.35	1782.03	2521.14	3141.16	1667.00	1549.35
30	3757.00	3616.33	4960.76	6191.97	3328.55	3203.93
40	6130.96	6190.43	7695.03	9785.55	5444.20	5497.02
50	8438.33	8833.35	11312.13	14536.51	7979.68	8353.23
60	11031.33	11891.16	15268.64	19829.94	10903.77	11753.65
70	14061.80	15414.10	20502.43	26595.57	14363.43	15744.74
80	17408.93	19381.03	26400.23	34264.19	18239.25	20305.41