



รายงานการวิจัย

การวิเคราะห์และออกแบบสะพานขึงด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

Analysis and Design of Cable-Stayed Bridge with Finite Element

เอนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2562

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์และออกแบบสะพานขึงด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

Analysis and Design of Cable-Stayed Bridge with Finite Element

เอนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ทุนอุดหนุน ประเภทโครงการวิจัยสนับสนุนการขอผลงานทางวิชาการ

งบประมาณเงินรายได้ของมหาวิทยาลัย

ประจำปีงบประมาณ 2562

(ก)

ชื่องานวิจัย	การวิเคราะห์และออกแบบสะพานจึงด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์
ผู้วิจัย	เอนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์
สาขาวิชา	สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีเสร็จวิจัย 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้การวิเคราะห์และออกแบบสะพานจึงด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์เนื่องจาก รถบรรทุกไทยตามประกาศฯ ของกรม ทางหลวง [2,3,5,6] เปรียบเทียบกับน้ำหนักทางหลวงตาม มาตรฐาน AASHTO โดยคานสะพานมีความยาวช่วงตั้งแต่ 5-60 เมตร จากการศึกษาพบว่าแรงเฉือน และโมเมนต์ดัดสูงสุด ในแต่ละช่วงความยาวสะพานจะเกิดจากรถบรรทุกต่างชนิดกัน และรถบรรทุก ที่มีน้ำหนักรวมมากที่สุดไม่จำเป็นต้องทำให้เกิด แรงเฉือนหรือโมเมนต์ดัดสูงสุด จากนั้นจึงทำการ หาสัดส่วน แรงเฉือน (SR) และสัดส่วนโมเมนต์ดัด (MR) เนื่องจาก น้ำหนักรถบรรทุกไทยกับ น้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO ที่สัมพันธ์กับความยาวช่วงสะพาน เพื่อเป็นการ เปรียบเทียบและนำไปปรับค่าน้ำหนักทางหลวงตามมาตรฐาน AASHTO สำหรับการวิเคราะห์ ออกแบบสะพาน ภายในประเทศไทย จากผลการศึกษาสำหรับรูปแบบ รถบรรทุกที่มีระยะห่าง ระหว่างเพลาน้อยที่สุด (Minimum Axle Distance) สัดส่วนแรงเฉือน (SR) สามารถแบ่งเป็น 4 ช่วง คือ (1) $SR=1.15$ เมื่อ $5 \leq L \leq 10$ (2) $SR=0.0110L+1.040$ เมื่อ $10 \leq L \leq 20$ (3) $SR=0.0260L+0.740$ เมื่อ $20 \leq L \leq 40$ และ (4) $SR=0.0055L+1.560$ เมื่อ $40 \leq L \leq 60$ สำหรับสัดส่วนโมเมนต์ดัด (MR) สามารถ แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ (1) $MR=1.29$ เมื่อ $5 \leq L \leq 20$ และ (2) $MR=0.0095L+1.100$ เมื่อ $20 \leq L \leq 60$ โดย สัดส่วนแรงเฉือนและสัดส่วนโมเมนต์ดัดสำหรับรูปแบบ รถบรรทุกที่มีระยะห่างระหว่างเพลามาก ที่สุด (Maximum Axle Distance) จะน้อยกว่าประมาณ 5% ที่ความยาวช่วง สะพาน 60 เมตร อย่างไรก็ตาม ควรตรวจสอบสัดส่วนดังกล่าว อีกครั้งด้วยการวิเคราะห์โครงสร้างอย่างละเอียดให้มาก รูปแบบ ขึ้น รวมถึงควรศึกษาโดยใช้คานสะพานต่อเนื่องด้วย ซึ่งผลที่ได้สามารถนำมาเป็นข้อมูลในการ ปรับปรุงมาตรฐาน การออกแบบสะพานในประเทศไทยในอนาคตได้

คำสำคัญ : สะพานจึง, ไฟไนต์เอลิเมนต์, สะพานช่วงหลัก

Research Analysis and Design of Cable–Stayed Bridge with Finite Element
Researcher Dr. Anekpong Thammathiwat
Major Industrial Technology
 Phetchabun Rajabhat University **Year** 2019

Abstract

This research has analyzed and designed the bridge stretching with finite element method because Thai trucks according to the announcement of the Department of Highways [2,3,5,6] compare with the highway weight according to AASHTO standards. The length ranges from 5–60 meters. The study found that the shear strength and maximum bending moment Each bridge length is caused by different types of trucks. And the truck with the highest total weight does not need to cause Shear strength or maximum bending moment Then, the shear strength (SR) and the moment of bending (MR) proportions were determined due to the weight of the Thai truck and the AASHTO standard load in relation to the bridge length in order to compare and adjust the highway weight according to the AASHTO standard. For bridge design analysis Within Thailand From the results of the study for the model Trucks with the minimum axle distance (SR) can be divided into 4 ranges (1) $SR = 1.15$ when $5 \leq L \leq 10$ (2) $SR = 0.0110L + 1.040$ when $10 \leq L \leq 20$ (3) $SR = 0.0260L + 0.740$ on $20 \leq L \leq 40$ and (4) $SR = 0.0055L + 1.560$ when $40 \leq L \leq 60$ for the proportion of bending moment (MR) can be divided into 2 phases: (1) $MR = 1.29$ on $5 \leq L \leq 20$ and (2) $MR = 0.0095L + 1.100$ on $20 \leq L \leq 60$ by shear proportions and bending moment proportions for the model The truck with the maximum axle distance is less than about 5% at the length of the bridge 60 meters. However, the proportion should be checked. Again with a detailed analysis of the structure, more forms, and should be studied by using the bridge beam continuously Which results can be used as data for improving standards Future bridge design in Thailand.

Keyword : Stretched bridge, finite element, main span bridge

(ค)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2562 โดยผ่านความเห็นชอบจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบคุณดร.บุญช่วย สุทธิรักษ์ ที่ให้คำแนะนำในการวิจัย ตลอดจนบุคคลอื่นที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ช่วยในการประสานงาน และเก็บข้อมูลการวิจัยในครั้งนี้

เอนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์

สิงหาคม 2562

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ก
Abstract.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 แนวคิดการออกแบบสะพานจึง.....	3
2.2 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	6
2.3 หลักการวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	7
2.3.1 ชนิดของเอลิเมนต์.....	7
2.3.2 การแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย.....	7
2.3.3 การกำหนดจุดต่อและความกว้างแถบ.....	8
2.3.4 ฟังก์ชันการกระจัด	8
2.3.5 การนำไปสู่ผลเฉลยแม่นยำ.....	8
2.4 การวิเคราะห์ปัญหามิติเดียว	9
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	11
3.1 การสร้างแบบจำลอง	11
3.2 การแบ่งโครงสร้างเป็นเอลิเมนต์ย่อยและการเลือกชนิดของเอลิเมนต์	12
3.3 การกำหนดเงื่อนไขการจำลอง.....	13
3.4 การทดสอบโปรแกรม	13

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	18
4.1 แรงเหวี่ยงสูงสุดและโมเมนต์คัตสูงสุด.....	18
4.2 สัดส่วนแรงเหวี่ยงและสัดส่วนโมเมนต์คัต	20
4.3 การตรวจสอบสัดส่วนแรงภายใน	21
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	24
5.1 สรุปผลการวิจัย	24
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	25
5.3 ข้อเสนอแนะ	26
เอกสารอ้างอิง.....	27
ประวัติผู้วิจัย	29

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ชนิดของโครงสร้างพื้นสะพาน	4
รูปที่ 2.2 ชนิดของ Tower	5
รูปที่ 3.1 โครงสร้างแบบจำลองสะพานขึง	12
รูปที่ 3.2 น้ำหนักบรรทุกทุกที่ใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบ	13
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งเคเบิลที่ใช้วิเคราะห์	14
รูปที่ 3.4 สติฟเนสแนวตั้งเทียบเท่า	14
รูปที่ 3.5 แรงอัดที่กระทำกับโครงสร้างสะพาน	15
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งคานในจตุรรองรับโครงสร้างสะพาน	15
รูปที่ 3.7 การวิเคราะห์คานโดยทั่วไป	15
รูปที่ 3.8 Winkler formulation model	16
รูปที่ 3.9 การวิเคราะห์คานในลักษณะฐานรองรับยืดหยุ่น	16
รูปที่ 3.10 แบบจำลองการรับน้ำหนักของโครงสร้างสะพาน	16
รูปที่ 3.11 น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำกับเสาสูงของสะพาน	17
รูปที่ 3.12 การเสียรูปของเสาสูงของสะพาน	17
รูปที่ 4.1 2D-Model-Joints	19
รูปที่ 4.2 2D-Model-Element	19
รูปที่ 4.3 แรงอัดในโครงสร้างสะพานหลัก	21
รูปที่ 4.4 โมเมนต์ในโครงสร้างสะพานหลัก	22
รูปที่ 4.5 ลักษณะการเสียรูปของสะพานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร	22
รูปที่ 4.6 ระยะการเสียรูปของสะพาน	23
รูปที่ 4.7 แบบจำลองการวิเคราะห์สะพานขึง	23

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

สะพานขึง (cable-stayed bridge) เป็นสะพานรูปแบบหนึ่งที่มีหนึ่งหอคอยหรือมากกว่า ซึ่งมีสายเคเบิลในการพยุงพื้นสะพาน สะพานขึงเป็นสะพานที่ต้องการช่วงพื้นสะพานยาวเพื่อหลีกเลี่ยงการก่อสร้างตอม่อกลางน้ำเหมาะสำหรับสะพานที่ต้องการช่วงความยาวพื้นสะพานระหว่าง 150-900 เมตร โครงสร้างหลักประกอบด้วยเคเบิล (Cable) ซึ่งโยงยึดพื้นสะพานช่วงหลัก (Main Span) ไว้กับเสาสูง (Pylon) โดยมีพื้นสะพานช่วงริม (Side Span) อยู่บนฝั่งทำหน้าที่ยึดรั้งพื้นสะพานช่วงหลัก ในส่วนของฮาร์ปหรือการออกแบบแนวขนาน สายเคเบิลเกือบจะขนานกันเพื่อที่จะให้ความสูงและการเชื่อมต่อของหอคอยได้สัดส่วน ในส่วนของแผ่น สายเคเบิลทั้งหมดเชื่อมต่อหรือผ่านส่วนบนสุดของหอคอย การออกแบบของแผ่นเหนือกว่าในด้านโครงสร้าง เพราะสายเคเบิลจับใกล้ชิดกับส่วนบนสุดของหอคอย แต่มีช่องว่างของแต่ละสายอย่างเพียงพอ ซึ่งปรับปรุงด้านการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม และการเข้าถึงสายเคเบิลแต่ละสายได้อย่างดีในการดูแลรักษา

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) หรือที่เรียกย่อๆ ว่า FEM คือเทคนิควิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการหาคำตอบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยพร้อมๆ กับสมการปริพันธ์ ผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีนี้มีพื้นฐานมาจากทั้งการกำจัดสมการเชิงอนุพันธ์อย่างสมบูรณ์ (สำหรับปัญหาที่อยู่ในสภาวะคงที่) หรือการปรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ให้กลายเป็นระบบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์สามัญซึ่งเป็นปริพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยการใช้เทคนิคมาตรฐานทางคณิตศาสตร์เช่น Euler method Runge-Kutta methods ในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้น ปัญหาพื้นฐานคือการสร้างสมการที่สามารถประมาณค่าสมการที่กำลังสนใจศึกษาแต่มีความแน่นอนทางตัวเลข ซึ่งหมายความว่าความคลาดเคลื่อนในข้อมูลนำเข้า (input) และการคำนวณระหว่างกลางจะไม่ถูกรวมเข้าไป และส่งผลให้ข้อมูลส่งออก (output) ไร้ความหมาย ซึ่งวิธีการนั้นมีหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นทางเลือกที่ดีในการแก้ปัญหาสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยในขอบเขตที่ซับซ้อน (complex domains) (เช่น ในรถยนต์หรือท่อส่งน้ำมัน) เมื่อขอบเขตมีการเปลี่ยนแปลง (เช่น ในช่วงปฏิกิริยาโซลิดสเตตที่ขอบเขตมีการเคลื่อนที่ (solid state reaction with a moving boundary)) หรือเมื่อผลแม่นยำตรงที่ต้องการมีการเปลี่ยนแปลงตลอดขอบเขต หรือเมื่อผลลัพธ์ไม่มีความราบเรียบ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาและออกแบบสะพานจิงด้วยการใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้แบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์สามมิติในการวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติรวมทั้งขนาดของการสั่นสะเทือนจากภาระต่างๆ เสาและตอม่อถูกจำลองด้วยเอลิเมนต์คาน ส่วนสะพานจำลองด้วยเอลิเมนต์เชลล์ ทรีสส์ และคาน เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างสะพานให้ใกล้เคียงคุณสมบัติของโครงสร้างจริง สายเคเบิลจำลองด้วยเอลิเมนต์ทรีสส์จำนวนห้าเอลิเมนต์ต่อเส้น ในการวิเคราะห์นั้นจะอ้างอิงข้อมูลจากอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน ของระบบตรวจสอบของสะพาน ที่ติดตั้งเอาไว้แล้วที่การทางพิเศษแห่งประเทศไทย ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พฤติกรรมทางพลศาสตร์ของข้อมูลที่ได้นั้นจะถูกนำมาเทียบเคียงกับผลการสั่นสะเทือนอิสระของแบบจำลองเอลิเมนต์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

การวิเคราะห์และออกแบบสะพานจิงด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์ในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างสะพานจิง

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์และออกแบบสะพานจิงด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยการวิเคราะห์และออกแบบสะพานจึงด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ มีแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 1) แนวคิดการออกแบบสะพานจึง
- 2) ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- 3) การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยวิธีแปรผัน
- 4) การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง
- 5) ฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์และการอินทิเกรตเอลิเมนต์เมทริกซ์เชิงตัวเลข
- 6) วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อการวิเคราะห์ปัญหาของแข็ง
- 7) ไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 8) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดการออกแบบสะพานจึง

สะพานจึง (Cable-stayed bridges) ถูกสร้างเป็นจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 คานที่ยาวถูกซึงจากหอหรือเสาสูงด้วยของค้ำอาคารรับแรงดึงแนวทแยงที่ทำจากเคเบิลหรือเชือก ลวดขนาน สะพานรูปแบบนี้แห่งแรกๆ มีเพียงแค่สามเคเบิลบนแต่ละด้านของหอสูง ความหมายว่า คานได้รับการรองรับเพิ่มเติมแค่เพียงไม่กี่จุดเนื่องจากยังมีโมเมนต์ดัดอีกมากที่เหลือให้ด้านทานทำให้ต้องการคานที่ถี่มาก ในขณะที่พัฒนาวิธีการนี้เราได้เรียนรู้ว่า การใช้เคเบิลจำนวนมากโดยมีระยะห่างน้อยๆ จะไม่เป็นเพียงแค่การทำให้การก่อสร้างง่ายขึ้น แต่ยังทำให้ตัวโครงสร้างง่ายขึ้นด้วย เมื่อระยะห่างระหว่างตัวยึดที่พื้นลดลงเป็น 6.00 ถึง 12.00 เมตร โมเมนต์ดัดของคานจะมีค่าน้อยมาก และคานก็จะเล็กลงตามโมเมนต์ดัดที่ลดลง การพัฒนาี้สามารถทำให้สร้างอาคารสะพานที่มีช่วงห่างยาวมาก (300 เมตรถึง 1,800 เมตร) ด้วยคานตามยาวที่มีความถี่น้อยกว่าธรรมดา สำหรับด้าน ความสวยงามการที่พื้นที่สูงๆ มาเชื่อมต่อกับเคเบิลที่เล็กจะทำให้ดูมีน้ำหนักเบามาก ซึ่งการจัดเรียงเคเบิลที่เป็นธรรมชาติที่สุดและมีประสิทธิภาพทางเทคนิคมากที่สุดคือ รูปร่างพัด (Fan shape) โดยเคเบิลทั้งหมดจะเริ่มจากจุดสูงสุดของเสาสูงอีกวิธีคือ รูปร่างพิณ (Harp shape) โดยเคเบิลทั้งหมดจะขนานและกระจายอย่างเท่ากันตลอดทั้งความสูงของเสา คานรูปร่างพิณมีข้อได้เปรียบทางด้านความสวยงามคือ เคเบิลในระนาบแนวดิ่งทั้งสองยังคงความขนานทำมุมเฉียง และหลีกเลี่ยงการตัดกันทำให้แลดูเป็นระเบียบอย่างไรก็ตาม การตัดกันของเคเบิล



Twin I Girder



Single rectangular box section

Central box girder and
side single web girders

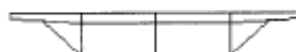
Single Trapezoidal box girder



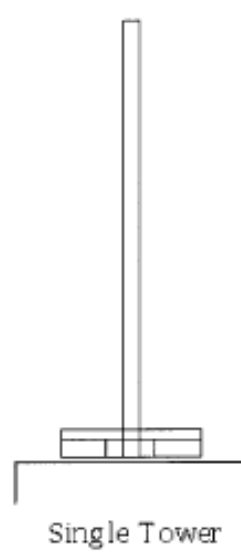
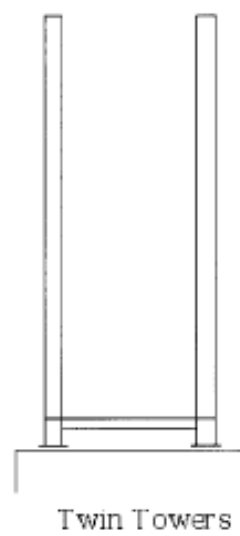
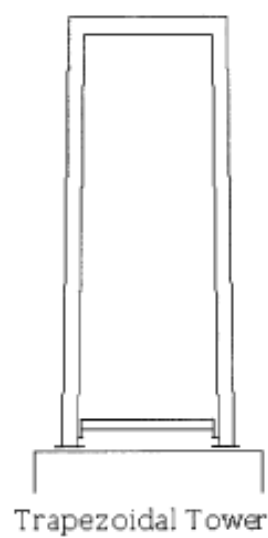
Twin rectangular box girder



Twin trapezoidal box Girder

Single Twin cellular box
girder and sloping struts

รูปที่ 2.1 ชนิดของโครงสร้างพื้นสะพาน



รูปที่ 2.2 ชนิดของ Tower

2.2 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEA) จะถูกใช้เพื่อแก้ปัญหา ตั้งแต่ปัญหาง่ายๆ จนถึงปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก วิศวกรออกแบบจะใช้ FEA ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ด้วยการเพิ่มขั้นตอนการวิเคราะห์เข้าไปในกระบวนการออกแบบ เพิ่มเครื่องมือช่วยในการกำหนดคุณสมบัติของชิ้นส่วนที่ใช้ในการคำนวณ ส่วนการวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่มีความยุ่งยากอาจจะต้องคำนวณขั้นสูง ตัวอย่างเช่น รอยแตกร้าวจากการเคลื่อนที่ของรถยนต์, งานขึ้นรูปโลหะ งานการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของขนาดที่ส่งผลต่อความแข็งแรง เป็นต้น

นอกจากการเกิดภาวะของพลวัตของการปรับตัวของความหลากหลายทางวัฒนธรรมแล้ว ยังเกิดกระแสของท้องถิ่นนิยมเกิดขึ้น โดยมีความเชื่อว่า การพัฒนาประเทศที่ผ่านมาไม่ได้คำนึงถึงแก่นแท้หรือรากฐานทางวัฒนธรรมของคนท้องถิ่นนิยมให้มากขึ้น หากการพัฒนามุ่งไปสู่กระแสของโลกาภิวัตน์แต่เพียงอย่างเดียวก็ย่อมจะทำให้เกิดความไม่สมดุลของการพัฒนาประเทศ ประเทศละเลยภูมิปัญญาท้องถิ่นในอดีต มุ่งแต่การพัฒนาทางด้านวัตถุ ขาดการพัฒนาทางด้านจิตใจ ย่อมจะเกิดผลกระทบของการพัฒนาประเทศ กลายเป็นปัญหาต่างๆตามมา เช่น ปัญหาการย้ายถิ่น ปัญหาความยากจน ปัญหาสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรม ปัญหายาเสพติด และปัญหาอื่นๆ

2.3 หลักการวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ภาษาเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสื่อสารของมนุษย์ มนุษย์ติดต่อกันได้ เข้าใจกันได้ก็ด้วยอาศัยภาษาเป็นเครื่องช่วยที่ดีที่สุด เป็นสิ่งช่วยยืดยาวให้มนุษย์มีความผูกพันต่อกัน เนื่องจากแต่ละภาษาต่างก็มีระเบียบแบบแผนของตน ซึ่งเป็นที่ตกลงกันในแต่ละชาติแต่ละกลุ่มชน การพูดภาษาเดียวกันจึงเป็นสิ่งที่ทำให้คนรู้สึกว่าเป็นพวกเดียวกัน มีความผูกพันต่อกันในฐานะที่เป็นชาติเดียวกัน ขณะเดียวกัน ภาษาเป็นวัฒนธรรมอย่างหนึ่งของมนุษย์ และเป็นเครื่องแสดงให้เห็นวัฒนธรรม ส่วนอื่นๆ ของมนุษย์ด้วย เราจึงสามารถศึกษาวัฒนธรรมตลอดจนเอกลักษณ์ของชนชาติต่างๆ ได้จากศึกษาภาษาของชนชาตินั้นๆ โดยภาษาศาสตร์ มีระบบกฎเกณฑ์ ผู้ใช้ภาษาต้องรักษากฎเกณฑ์ในภาษาไว้ด้วย อย่างไรก็ตาม กฎเกณฑ์ในภาษานั้นไม่ตายตัวเหมือนกฎวิทยาศาสตร์ แต่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามธรรมชาติของภาษา เพราะเป็นสิ่งที่มนุษย์ตั้งขึ้น จึงเปลี่ยนแปลงไปตามกาลสมัยตามความเห็นชอบของส่วนรวม ภาษาเป็นศิลปะ มีความงดงามในกระบวนการใช้ภาษา กระบวนการใช้ภาษานั้น มีระดับและลีลา ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายด้าน เช่น บุคคล กาลเทศะ ประเภทของเรื่อง การที่จะอธิบายถึงความหลากหลายทางภาษาต่างๆ จะต้องมีความเข้าใจทฤษฎีทางภาษาศาสตร์

2.3.1 ชนิดของเอลิเมนต์

ภาษาศาสตร์เป็นวิชาที่ว่าด้วยรายละเอียดของภาษา โดยอาศัยข้อมูลจากคำพูดที่เราใช้พูดกัน ลักษณะเด่นของภาษาศาสตร์คือการพิจารณาข้อมูลที่ได้มาอย่างมีเหตุผล ไม่นำตนเองเข้าไปเกี่ยวพัน แต่อาศัยวิธีการทางวิทยาศาสตร์เป็นหลัก ส่วนประกอบที่สำคัญของภาษาคือ วิชาสัทวิทยา (Phonetics) และวิชาภาษาศาสตร์ (Linguistics) ซึ่งทั้งสองรวมกันเรียกว่า สาขาวิชาภาษาศาสตร์ (Linguistic Science)

2.3.2 การแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย

ภาษาศาสตร์เป็นวิชาที่ว่าด้วยรายละเอียดของภาษา โดยอาศัยข้อมูลจากคำพูดที่เราใช้พูดกัน ลักษณะเด่นของภาษาศาสตร์คือการพิจารณาข้อมูลที่ได้มาอย่างมีเหตุผล ไม่นำตนเองเข้าไปเกี่ยวพัน แต่อาศัยวิธีการทางวิทยาศาสตร์เป็นหลัก ส่วนประกอบที่สำคัญของภาษาคือ วิชาสัทวิทยา (Phonetics) และวิชาภาษาศาสตร์ (Linguistics) ซึ่งทั้งสองรวมกันเรียกว่า สาขาวิชาภาษาศาสตร์ (Linguistic Science)

2.3.3 การกำหนดจุดต่อและความกว้างแถบ

ภาษาศาสตร์เป็นวิชาที่ว่าด้วยรายละเอียดของภาษา โดยอาศัยข้อมูลจากคำพูดที่เราใช้พูดกัน ลักษณะเด่นของภาษาศาสตร์คือการพิจารณาข้อมูลที่ได้มาอย่างมีเหตุผล ไม่นำตนเองเข้าไปเกี่ยวพัน แต่อาศัยวิธีการทางวิทยาศาสตร์เป็นหลัก ส่วนประกอบที่สำคัญของภาษาคือ วิชาสัทวิทยา (Phonetics) และวิชาภาษาศาสตร์ (Linguistics) ซึ่งทั้งสองรวมกันเรียกว่า สาขาวิชาภาษาศาสตร์ (Linguistic Science)

2.3.4 ฟังก์ชันการกระจัด

ภาษาศาสตร์เป็นวิชาที่ว่าด้วยรายละเอียดของภาษา โดยอาศัยข้อมูลจากคำพูดที่เราใช้พูดกัน ลักษณะเด่นของภาษาศาสตร์คือการพิจารณาข้อมูลที่ได้มาอย่างมีเหตุผล ไม่นำตนเองเข้าไปเกี่ยวพัน แต่อาศัยวิธีการทางวิทยาศาสตร์เป็นหลัก ส่วนประกอบที่สำคัญของภาษาคือ วิชาสัทวิทยา (Phonetics) และวิชาภาษาศาสตร์ (Linguistics) ซึ่งทั้งสองรวมกันเรียกว่า สาขาวิชาภาษาศาสตร์ (Linguistic Science)

2.3.5 การนำไปสู่ผลเฉลยแม่นยำตรง

ภาษาศาสตร์เป็นวิชาที่ว่าด้วยรายละเอียดของภาษา โดยอาศัยข้อมูลจากคำพูดที่เราใช้พูดกัน ลักษณะเด่นของภาษาศาสตร์คือการพิจารณาข้อมูลที่ได้มาอย่างมีเหตุผล ไม่นำตนเองเข้าไปเกี่ยวพัน แต่อาศัยวิธีการทางวิทยาศาสตร์เป็นหลัก ส่วนประกอบที่สำคัญของภาษาคือ วิชาสัทวิทยา (Phonetics) และวิชาภาษาศาสตร์ (Linguistics) ซึ่งทั้งสองรวมกันเรียกว่า สาขาวิชาภาษาศาสตร์ (Linguistic Science)

2.4 การวิเคราะห์ปัญหามิติเดียว

ในสังคมฐานความรู้ การจะอยู่รอดและการดำรงไว้ซึ่งความหลากหลายทางภาษาของกลุ่มชาติพันธุ์ต่างๆ จำเป็นที่จะต้องเรียนรู้ที่จะจัดการกับทุนทางปัญญา (Intellectual Assets) แต่อย่างไรก็ตาม การจัดการความรู้ยังเป็นศาสตร์ที่จะต้องมีการพัฒนาและประยุกต์ใช้ให้แพร่หลายมากขึ้น ประเด็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับความรู้ คือ

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ \dots \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & . & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -k_1 & k_1 + k_2 & . & -k_2 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ \dots \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} \quad (2.1)$$

โดยอาศัยวิธีการแบ่งกัน (partitioning) สมการ (2.1) เขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & -k_2 \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} \quad (2.2)$$

ซึ่งสามารถหาค่า u_2 , u_3 ได้โดยคูณสมการ (2.2) ด้วย ...ตลอด คือ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุนิติ สุภาพ และ ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด (2554: 25) ศึกษาเปรียบเทียบแรงภายในของสะพานช่วงเดียวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกไทยกับน้ำหนักทางหลวง ตามมาตรฐาน AASHTO ผลการศึกษาพบว่าแรงเฉือนและโมเมนต์คัตสูงสุดในแต่ละความยาวช่วงสะพานเกิดจากรถบรรทุกต่างชนิดกันและไม่จำเป็นต้องเกิดจากรถบรรทุกที่มีน้ำหนักรวมมากที่สุด จากผลการวิเคราะห์โครงสร้าง สัดส่วนแรงเฉือนและสัดส่วนโมเมนต์คัตมีค่าแปรผันตามความยาวตั้งแต่ 1.12-1.89 และ 1.26-1.67 ตามลำดับ สัดส่วนที่เสนอสามารถนำไปปรับเพิ่มค่ากับน้ำหนักทางหลวงตามมาตรฐาน AASHTO เพื่อให้สอดคล้องกับน้ำหนักบรรทุกทุกไทยได้

สุวิทย์ วงศ์ทองดี และ กฤดาฤทธิ์ ชมภูมิ่ง (2558: 25) วิเคราะห์และศึกษาพฤติกรรมในการรับแรงคัตของคานสะพานรูปกล่องขึ้นส่วนสำเร็จภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบสถิตด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยในการสร้างแบบจำลองได้ใช้เอลิเมนต์แผ่นบางสำหรับคานคอนกรีต เอลิเมนต์โครงถักสำหรับลวดอัดแรง และเอลิเมนต์สัมผัสสำหรับรอยต่อระหว่างขึ้นส่วนสำเร็จ และทำการเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของคานขนาดเท่าของจริงเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์และความเหมาะสมของสมมติฐานและเงื่อนไขที่พิจารณารวมถึงประสิทธิภาพของเอลิเมนต์และแบบจำลองที่ใช้ จากการศึกษาพบว่าผลการวิเคราะห์ให้ผลที่สอดคล้องกับผลการทดสอบ และสามารถแสดงพฤติกรรมและความสามารถในการรับแรงคัตของคานได้ในช่วงของสภาวะน้ำหนักบรรทุกออกแบบใช้งานไปจนถึงน้ำหนักบรรทุกออกแบบสูงสุด นอกจากนี้ยังได้นำเสนอผลวิเคราะห์ของค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและลวดอัดแรง รวมถึงผลของการเปิดออกของหน้าตัดบริเวณรอยต่อของขึ้นส่วนสำเร็จที่มีต่อพฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานรวมถึงลักษณะการกระจายของค่าความเครียดบนหน้าตัดคานและการเปลี่ยนตำแหน่งของแกนสะเทินเมื่อคานเข้าสู่สภาวะ Decompression ไปจนถึงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด

บทที่ 3

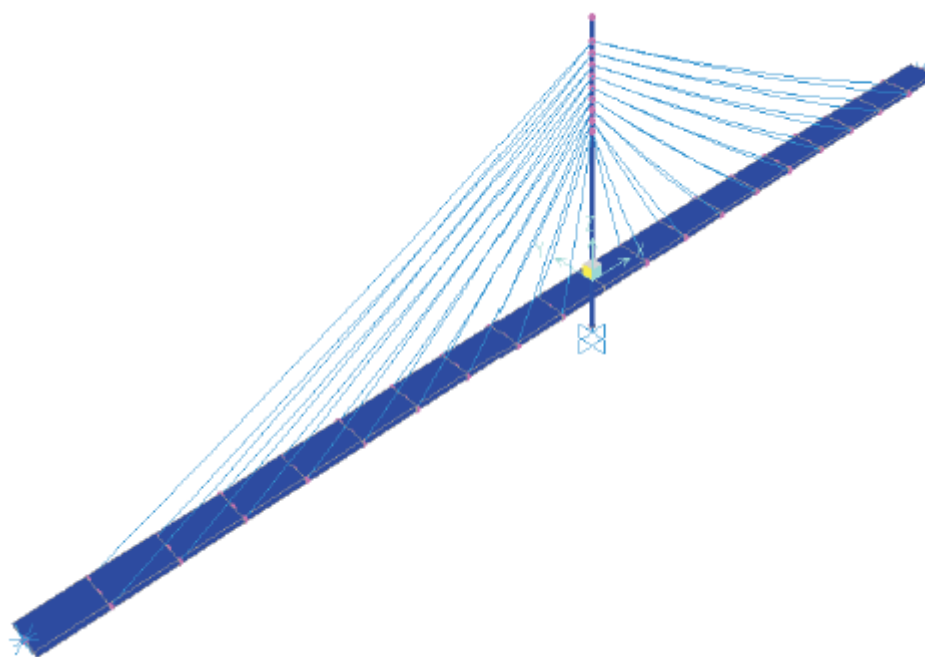
วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยการวิเคราะห์และออกแบบสะพานจึงด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีขั้นตอนการเตรียมแบบจำลองโครงสร้างสะพานจึง ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ จะเริ่มจากการสร้างแบบจำลองการแบ่งอิลลิเมนต์ การทดสอบสมบัติวัสดุ การกำหนดเงื่อนไขการจำลอง และการวิเคราะห์โดยโปรแกรมจะสร้างและแก้ระบบสมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะดำเนินการ โดยใช้วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์โดยผู้วิจัยกำหนดวิธีการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังนี้

- 1) การสร้างแบบจำลอง
- 2) การพิจารณาแบ่งอิลลิเมนต์
- 3) การทดสอบสมบัติวัสดุ
- 4) การกำหนดเงื่อนไขการจำลอง
- 5) การทดสอบโปรแกรม

3.1 การสร้างแบบจำลอง

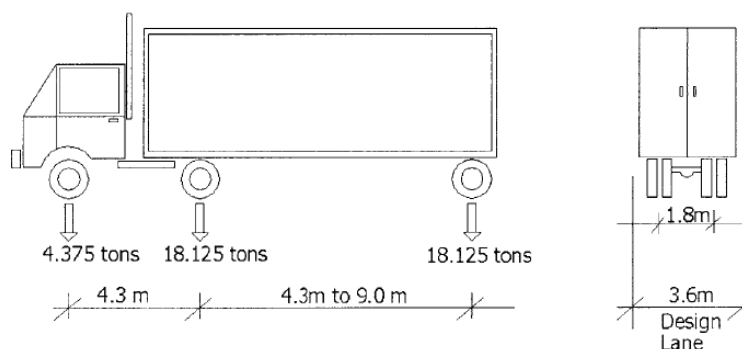
โครงสร้างสะพานจึงที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ เป็นโครงสร้างสะพานจึง ที่มีหนึ่งเสาสูง (Pylon) ในกระบวนการสร้างแบบจำลอง CAD model ใช้โปรแกรม SpaulI ขึ้นรูปชิ้นงาน และประกอบเป็นโครงสร้างสะพานจึงดังที่แสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งส่วนประกอบของโครงสร้างสะพาน สามารถแบ่งส่วนประกอบหลักของโครงสร้างออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ โครงสร้างหลักประกอบด้วย เคเบิล (Cable) ซึ่งโยงยึดพื้นสะพานช่วงหลัก (Main Span) ไว้กับเสาสูง (Pylon) โดยมีพื้นสะพาน ช่วงริม (Side Span) อยู่บนฝั่งทำหน้าที่ยึดรั้งพื้นสะพานช่วงหลัก ในส่วนของฮาร์ปหรือการออกแบบแนวขนาน สายเคเบิลเกือบจะขนานกันเพื่อที่จะให้ความสูงและการเชื่อมต่อของหอคอยได้ สดุดส่วน ในส่วนของแผ่น สายเคเบิลทั้งหมดเชื่อมต่อหรือผ่านส่วนบนสุดของหอคอย การออกแบบของแผ่นเหนือกว่าในด้านโครงสร้าง เพราะสายเคเบิลจบบใกล้กับส่วนบนสุดของหอคอย แต่มีช่องว่างของแต่ละสายอย่างเพียงพอ ซึ่งปรับปรุงด้านการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม และการเข้าถึงสายเคเบิลแต่ละสายได้อย่างดีในการดูแลรักษา



รูปที่ 3.1 โครงสร้างแบบจำลองสะพานขึง

3.2 การแบ่งโครงสร้างเป็นเอลิเมนต์ย่อยและการเลือกชนิดของเอลิเมนต์

การแบ่งโครงสร้างออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย จะต้องคำนึงรูปร่างลักษณะของโครงสร้างเดิม คือ แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element model) จะต้องเหมือนหรือสอดคล้องกับโครงสร้างเดิมมากที่สุด คือ บริเวณที่มีส่วนเว้าส่วนโค้ง หรือมีรู หรือตรงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างฉับพลันก็จำเป็นต้องแทนด้วยเอลิเมนต์ที่มีขนาดเล็กเพียงพอที่จะให้ผลการวิเคราะห์ได้ถูกต้องแม่นยำ ส่วนบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากนักก็อาจจะแทนด้วยเอลิเมนต์นั้น จะต้องคำนึงถึงรูปร่างลักษณะของโครงสร้าง และการกระทำของโหลด รวมทั้งความละเอียดของผลเฉลยที่ผู้วิเคราะห์ต้องการ คือ อาจจะเลือกใช้เอลิเมนต์ชนิดมิติเดียว สองมิติ สามมิติ หรือเอลิเมนต์ชนิดแกนสมมาตรก็ได้ ตามความเหมาะสม



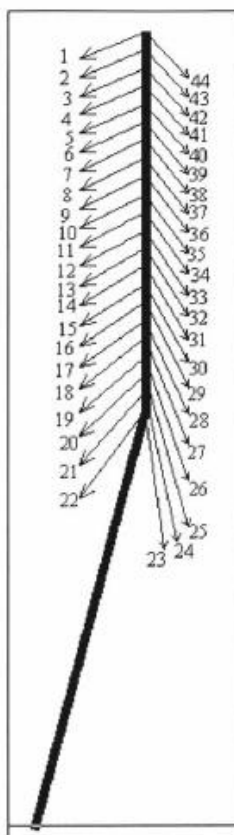
รูปที่ 3.2 น้ำหนักรถบรรทุกที่ใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบ

3.3 การกำหนดเงื่อนไขการจำลอง

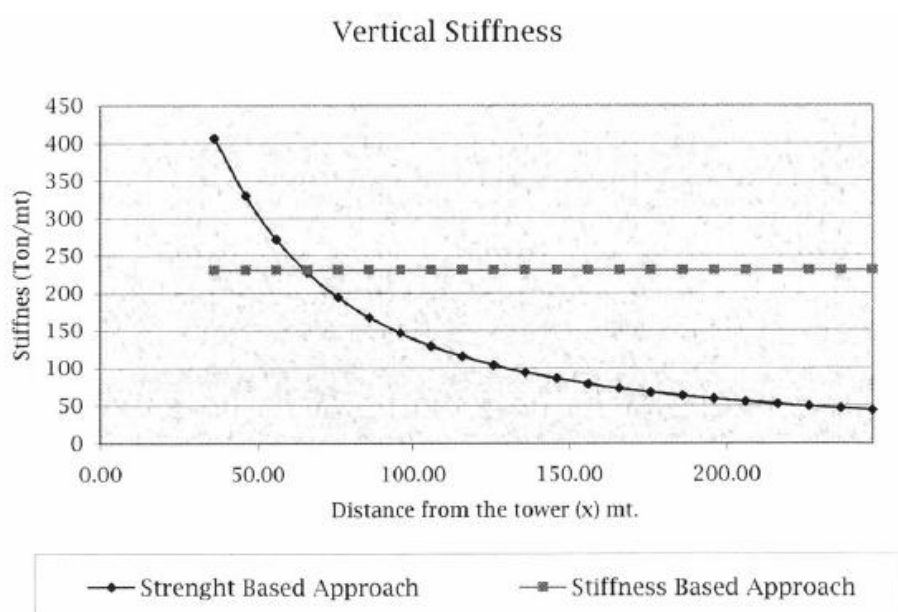
การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้วิธีการพรรณนาวิเคราะห์ (Descriptive Analysis) โดยใช้ข้อมูลต่าง ๆ ที่รวบรวมได้มาประมวลผลในรูปของการพรรณนา ความเรียง หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

3.4 การทดสอบโปรแกรม

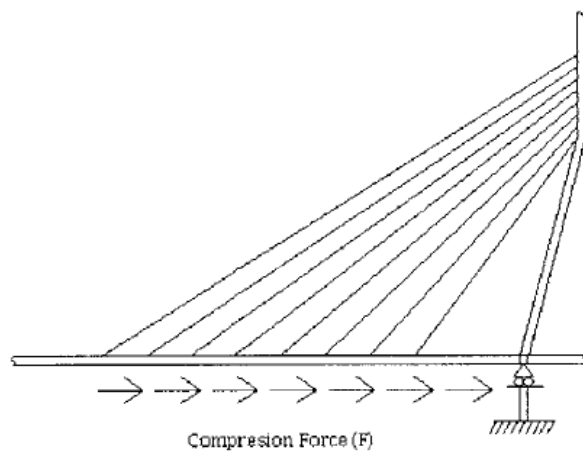
การทดสอบโปรแกรมโดยการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEA) จะถูกใช้เพื่อแก้ปัญหา ตั้งแต่ปัญหาง่ายๆ จนถึงปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก วิศวกรออกแบบจะใช้ FEA ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ด้วยการเพิ่มขั้นตอนการวิเคราะห์เข้าไปในกระบวนการออกแบบ เพิ่มเครื่องมือช่วยในการกำหนดคุณสมบัติของชิ้นส่วนที่ใช้ในการคำนวณ ส่วนการวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่มีความยุ่งยากอาจจะต้องคำนวณขั้นสูง ตัวอย่างเช่น รอยแตกร้าวจากการเคลื่อนที่ของรถยนต์, งานขึ้นรูปโลหะ งานการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของขนาดที่ส่งผลต่อความแข็งแรง เป็นต้น



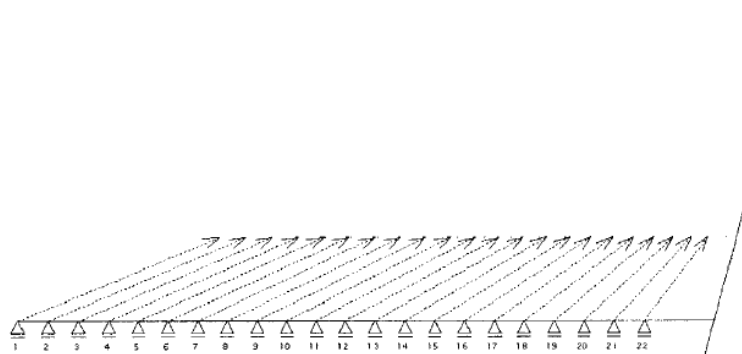
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งเคเบิลที่ใช้วิเคราะห์



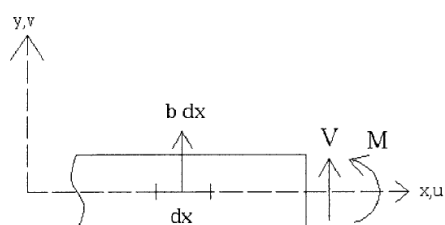
รูปที่ 3.4 สติฟเนสแนวตั้งเทียบเท่า



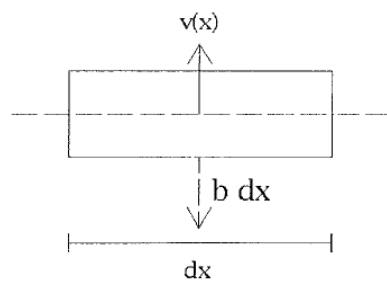
รูปที่ 3.5 แรงอัดที่กระทำกับ โครงสร้างสะพาน



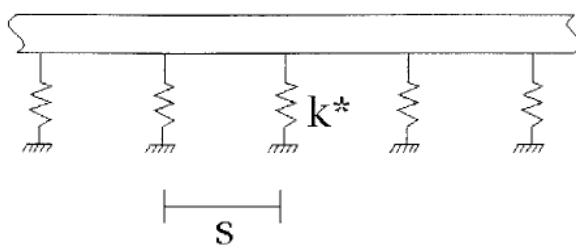
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งคานในจุดรองรับ โครงสร้างสะพาน



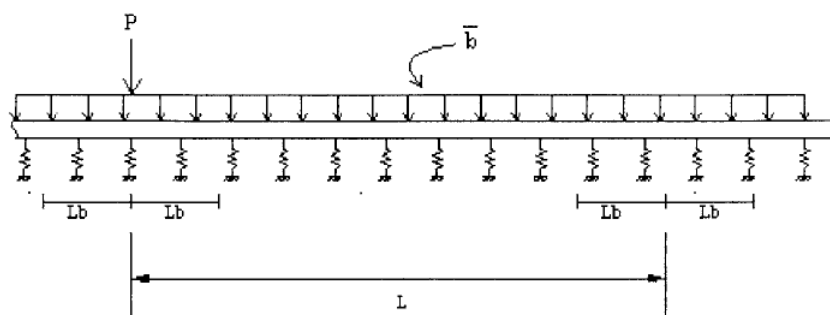
รูปที่ 3.7 การวิเคราะห์คานโดยทั่วไป



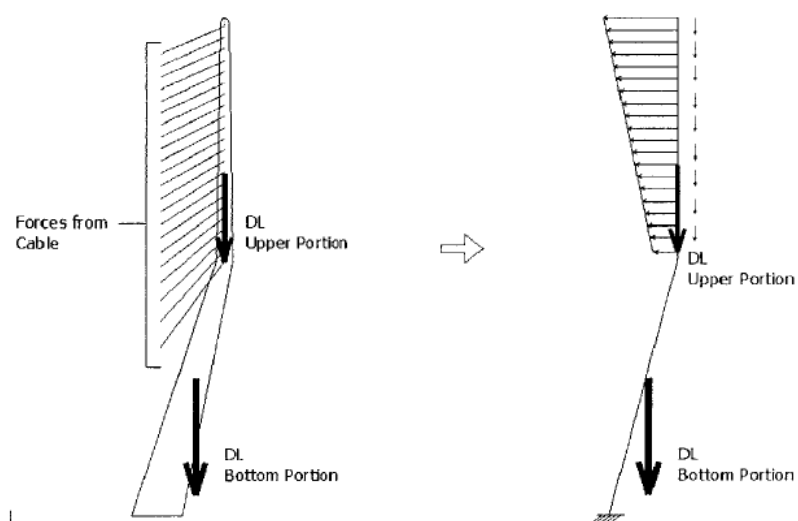
รูปที่ 3.8 Winkler formulation model



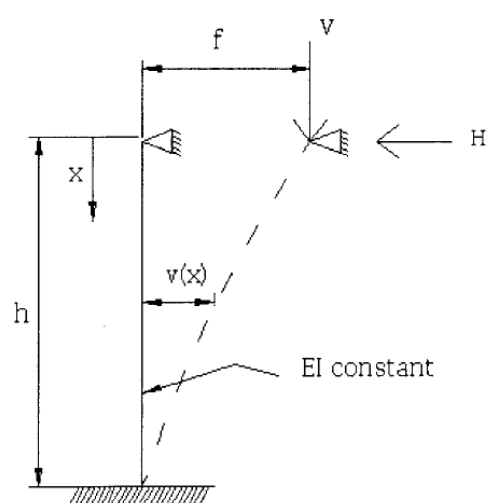
รูปที่ 3.9 การวิเคราะห์คานในลักษณะฐานรองรับยืดหยุ่น



รูปที่ 3.10 แบบจำลองการรับน้ำหนักของโครงสร้างสะพาน



รูปที่ 3.11 น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำกับเสาสูงของสะพาน



รูปที่ 3.12 การเสี้ยวรูปของเสาสูงของสะพาน

บทที่ 4

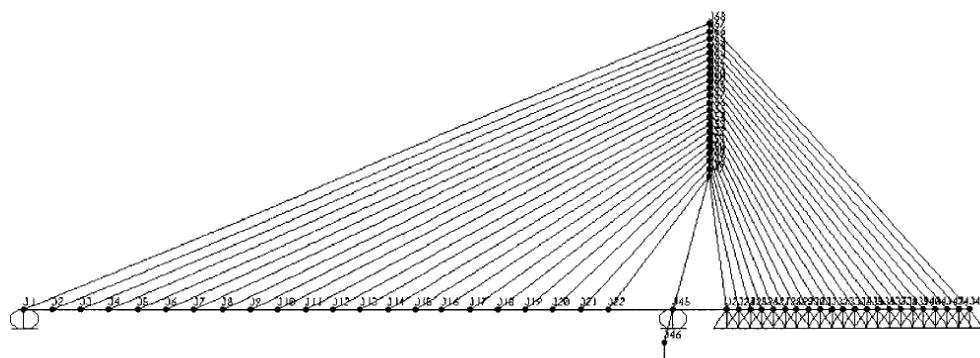
ผลการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยการวิเคราะห์และออกแบบสะพานซึ่งด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีขั้นตอนการเตรียมแบบจำลองโครงสร้างสะพานซึ่งก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ จะเริ่มจากการสร้างแบบจำลองการแบ่งอิลลิเมนต์ การทดสอบสมบัติวัสดุ การกำหนดเงื่อนไขการจำลอง และการวิเคราะห์โดยโปรแกรมจะสร้างและแก้ระบบสมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะดำเนินการโดยใช้วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์โดย ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

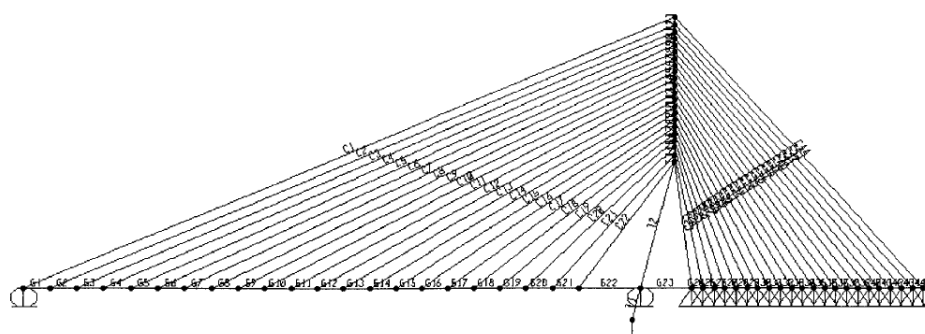
4.1 แรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุด

จากการวิเคราะห์คานสะพานช่วงเดียวธรรมดาเนื่องจาก น้ำหนักทางหลวงตามมาตรฐาน AASHTO และน้ำหนัก รถบรรทุกไทยตามตารางที่ 1 พบว่าแรงเฉือนสูงสุดและ โมเมนต์ดัดสูงสุดเกิดที่บริเวณฐานรองรับและที่บริเวณกึ่งกลาง คานตามลำดับ และมีค่ามากขึ้นเมื่อความยาวช่วงคานมากขึ้น รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนสูงสุดกับช่วง ความยาวสะพาน เมื่อพิจารณาช่วงความยาวสะพาน 15 เมตร จะเห็นว่าแรงเฉือนสูงสุดเกิดจากรถบรรทุกแบบ Full50.5(1) และแบบ Semi45(2) โดยที่ช่วงความยาวอื่นๆ เกิดจากรถลากจูงและรถกึ่งพ่วง (Semi-Trailer) รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุดกับช่วงความยาวสะพาน เมื่อ พิจารณาวัดความยาวสะพาน 25 และ 30 เมตร จะเห็นว่า โมเมนต์ดัดสูงสุดเกิดจากรถบรรทุกแบบ Semi45(2) และแบบ Full50.5(2) โดยที่ช่วงความยาวอื่นๆ โมเมนต์ดัดสูงสุดเกิด จากรถลากจูงและรถกึ่งพ่วง (Semi-Trailer) จากผลการ วิเคราะห์พบว่าค่าแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดเกิดจากรถบรรทุกต่างชนิดกันในแต่ละความยาวช่วงสะพานและ ไม่จำเป็นต้องเกิดจากรถบรรทุกที่มีน้ำหนักรวมมากที่สุด

จากรูปที่ 3 และรูปที่ 4 จะเห็นว่าค่าแรงเฉือนสูงสุดและ โมเมนต์คัตสูงสุดที่ได้จากรถบรรทุกที่มีระยะห่างระหว่างเพลาน้อยที่สุดจะมากกว่าที่ได้จากรถบรรทุกที่มีระยะห่างระหว่างเพลามากที่สุดเท่ากับ 4.4% สำหรับแรงเฉือนสูงสุดและ 4.3% สำหรับโมเมนต์คัตสูงสุด ที่ความยาวช่วงสะพาน 60 เมตร



รูปที่ 4.1 2D-Model-Joints



รูปที่ 4.2 2D-Model-Element

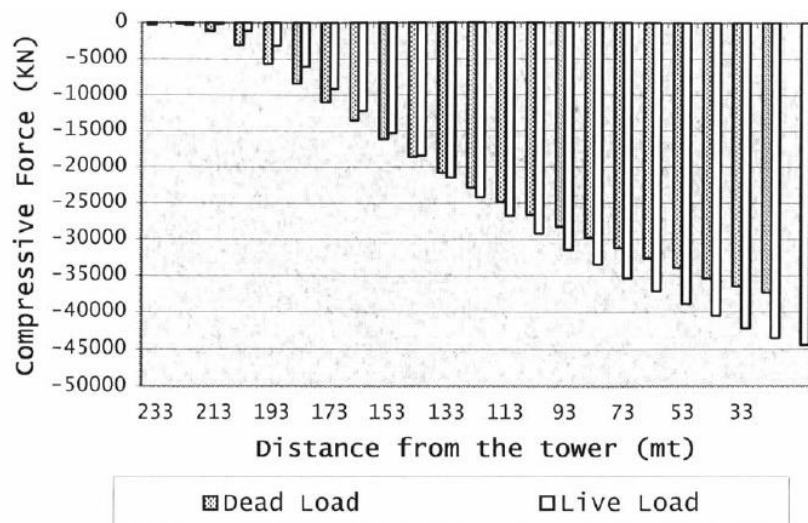
4.2 สัดส่วนแรงเฉือนและสัดส่วนโมเมนต์คด

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างสะพาน เมื่อนำแรงเฉือน สูงสุดและโมเมนต์คดสูงสุดที่ได้จากกรอบบรรทุกไทย เปรียบเทียบกับที่ได้จากน้ำหนักทางหลวงตามมาตรฐาน AASHTO (HS20-44(Max.)) จะได้สัดส่วนแรงเฉือนสูงสุด และสัดส่วนโมเมนต์คดสูงสุดสำหรับรถบรรทุกไทยกับ HS20-44(Max.) จากนั้นจึงนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนแรงเฉือนสูงสุด (SR) และ สัดส่วนโมเมนต์คดสูงสุด (MR) กับความยาวช่วงสะพาน (L:เมตร) ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 พบว่าสัดส่วนแรงเฉือนสูงสุด และสัดส่วนโมเมนต์คดสูงสุดในแต่ละช่วงความยาวสะพานมีค่ามากกว่า 1.00 แสดงว่าหากใช้น้ำหนักทางหลวงตาม มาตรฐาน AASHTO ในการวิเคราะห์โครงสร้างสะพาน จะต้องเพิ่มค่าแรงเฉือนหรือโมเมนต์คดที่ได้ขึ้นไปอีกเพื่อให้สอดคล้องกับที่ได้จากน้ำหนักบรรทุกทุกตามประกาศฉบับต่างๆ ของกรมทางหลวง โดยสัดส่วนแรงเฉือนสูงสุดและ โมเมนต์คดสูงสุดที่ได้จากกรอบบรรทุกที่มีระยะห่างระหว่างเพลาน้อยที่สุดจะมากกว่าที่ได้จากกรอบบรรทุกที่มีระยะห่างระหว่าง เพลามากที่สุดประมาณ 5% ที่ความยาวช่วงสะพาน 60 เมตร

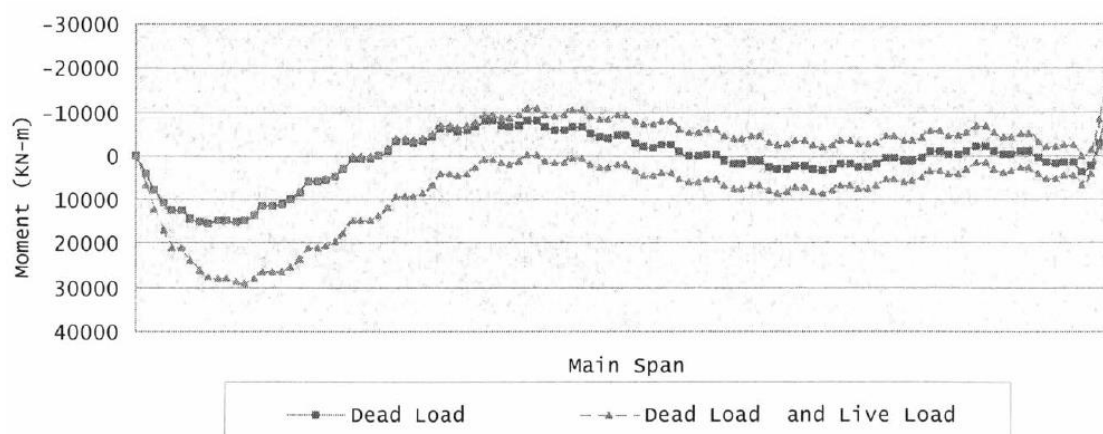
ตารางที่ 2 แสดงสัดส่วนแรงเฉือนและสัดส่วนโมเมนต์ คดที่เสนอสำหรับคูณเพิ่มกับแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์คด สูงสุดที่ได้จาก HS20-44(Max.) ตามลำดับ สัดส่วนที่เสนอ จะพิจารณาให้ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์มากที่สุดและให้มี ความสะดวกใช้งานในทางปฏิบัติด้วย สำหรับแต่ละช่วงความ ยาวสะพานที่กำหนด สัดส่วนดังกล่าวสามารถพิจารณาเป็น ค่าคงที่หรือแปรผันตรงกับความยาวช่วงสะพานซึ่งสามารถ เขียนเป็นสมการอย่างง่ายได้และแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 5 และ รูปที่ 6

4.3 การตรวจสอบสัดส่วนแรงภายใน

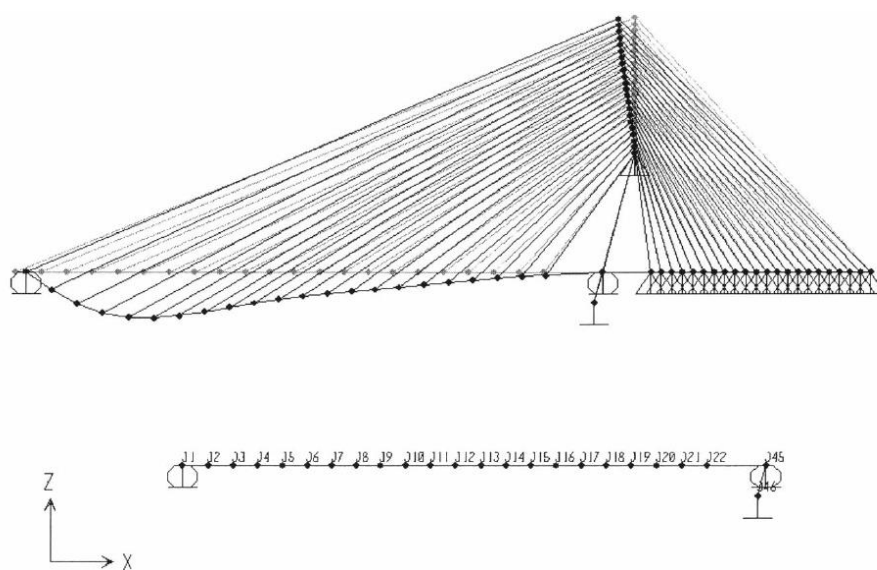
จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างสะพาน เมื่อนำแรงเฉือน สูงสุดและโมเมนต์ คัดสูงสุด ที่ได้ จาการถบรรทุกไทย เปรียบเทียบกับที่ได้จากน้ำหนักทางหลวงตามมาตรฐาน AASHTO (HS20-44(Max.)) จะได้สัดส่วนแรงเฉือนสูงสุด และสัดส่วนโมเมนต์คัดสูงสุดสำหรับรถบรรทุกไทยกับ HS20-44(Max.) จากนั้นจึงนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนแรงเฉือนสูงสุด (SR) และ สัดส่วนโมเมนต์คัดสูงสุด (MR) กับความยาวช่วงสะพาน (L:เมตร) ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 พบว่าสัดส่วนแรงเฉือนสูงสุด และสัดส่วนโมเมนต์คัดสูงสุดในแต่ละช่วงความยาว สะพานมี ค่ามากกว่า 1.00 แสดงว่าหากใช้น้ำหนักทางหลวงตาม มาตรฐาน AASHTO ในการ วิเคราะห์ โครงสร้าง สะพาน จะต้องเพิ่มค่าแรงเฉือนหรือโมเมนต์คัดที่ได้ขึ้นไปอีกเพื่อให้ สอดคล้องกับที่ได้จากน้ำหนักรถบรรทุกตามประกาศฉบับ ต่างๆ ของกรมทางหลวง โดยสัดส่วน แรงเฉือนสูงสุดและ โมเมนต์คัดสูงสุดที่ได้จาการถบรรทุกที่มีระยะห่างระหว่างเพลาน้อยที่สุดจะ มากกว่าที่ได้จาการถบรรทุกที่มีระยะห่างระหว่าง เพลามากที่สุดประมาณ 5% ที่ความยาวช่วง สะพาน 60 เมตร



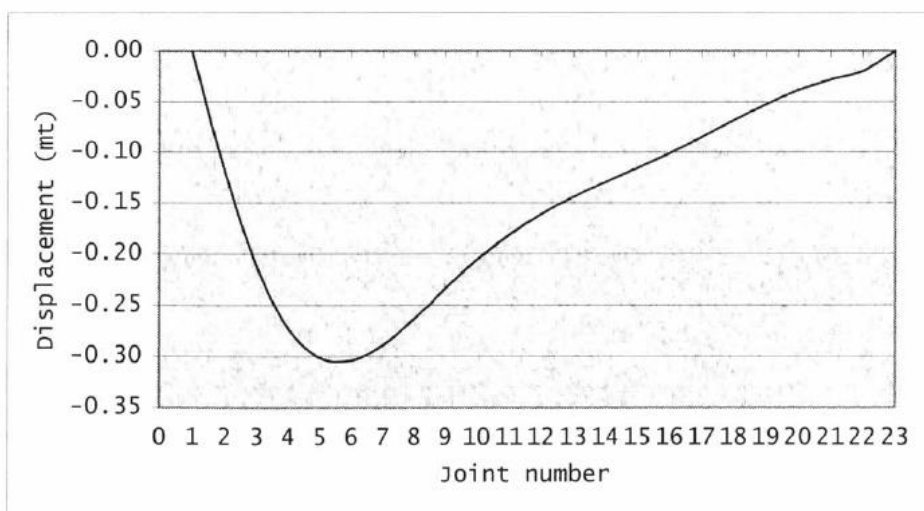
รูปที่ 4.3 แรงอัดในโครงสร้างสะพานหลัก



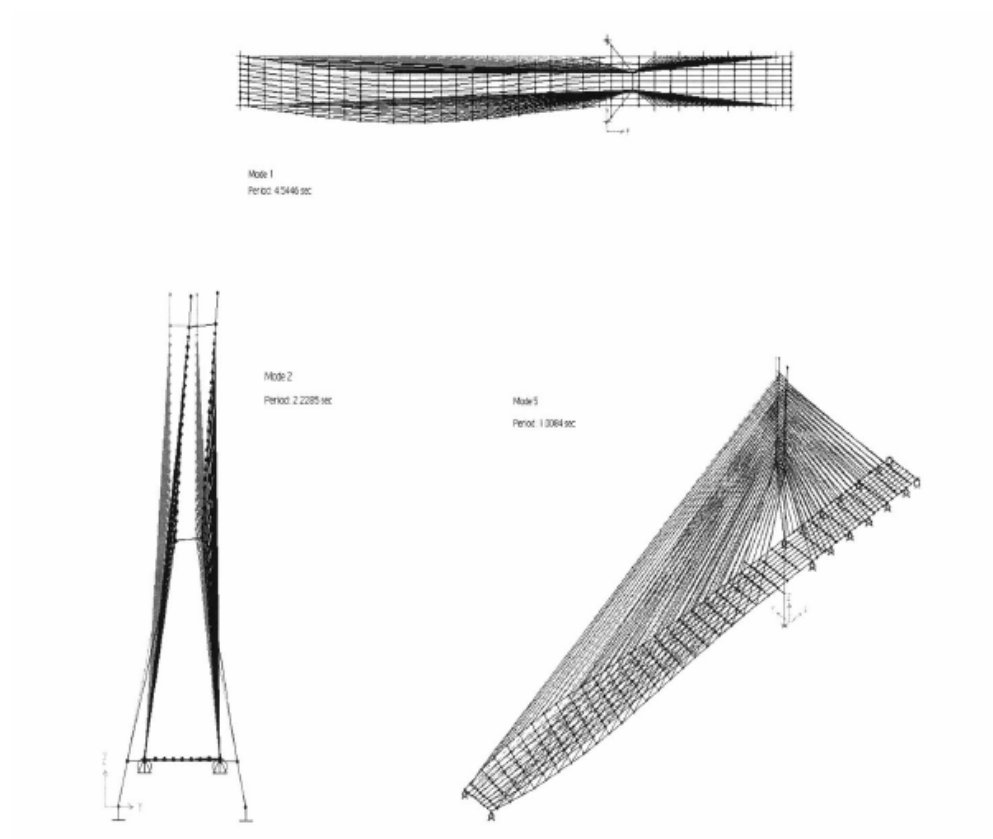
รูปที่ 4.4 โมเมนต์ในโครงสร้างสะพานหลัก



รูปที่ 4.5 ลักษณะการเสียรูปของสะพานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร



รูปที่ 4.6 ระยะการเสยรูปของสะพาน



รูปที่ 4.7 แบบจำลองการวิเคราะห์สะพานขึง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การดำเนินงานวิจัยการวิเคราะห์และออกแบบสะพานจึงด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีขั้นตอนการเตรียมแบบจำลองโครงสร้างสะพานซึ่ง ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ จะเริ่มจากการสร้างแบบจำลองการแบ่งอิลลิเมนต์ การทดสอบสมบัติวัสดุ การกำหนดเงื่อนไขการจำลอง และการวิเคราะห์โดยโปรแกรมจะสร้างและแก้ระบบสมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะดำเนินการโดยใช้วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รับการวิเคราะห์และออกแบบสะพานจึงด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์เนื่องจาก รถบรรทุกไทยตามประกาศฯ ของกรม ทางหลวง [2,3,5,6] เปรียบเทียบกับน้ำหนักทางหลวงตาม มาตรฐาน AASHTO โดยคันสะพานมีความยาวช่วงตั้งแต่ 5-60 เมตร จากการศึกษาพบว่าแรงเฉือน และโมเมนต์คดสูงสุด ในแต่ละช่วงความยาวสะพานจะเกิดจากรถบรรทุกต่างชนิดกัน และรถบรรทุก ที่มีน้ำหนักรวมมากที่สุดไม่จำเป็นต้องทำให้เกิด แรงเฉือนหรือโมเมนต์คดสูงสุด จากนั้นจึงทำการ หาสัดส่วน แรงเฉือน (SR) และสัดส่วนโมเมนต์คด (MR) เนื่องจาก น้ำหนักรถบรรทุกไทยกับ น้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO ที่สัมพันธ์กับความยาวช่วงสะพาน เพื่อเป็นการ เปรียบเทียบและนำไปปรับค่าน้ำหนักทางหลวงตามมาตรฐาน AASHTO สำหรับการวิเคราะห์ ออกแบบสะพาน ภายในประเทศไทย จากผลการศึกษาสำหรับรูปแบบ รถบรรทุกที่มีระยะ ห่างระหว่างเพลาน้อยที่สุด (Minimum Axle Distance) สัดส่วนแรงเฉือน (SR) สามารถแบ่งเป็น 4 ช่วง คือ (1) $SR=1.15$ เมื่อ $5 \leq L \leq 10$ (2) $SR=0.0110L+1.040$ เมื่อ $10 \leq L \leq 20$ (3) $SR=0.0260L+0.740$ เมื่อ $20 \leq L \leq 40$ และ (4) $SR=0.0055L+1.560$ เมื่อ $40 \leq L \leq 60$ สำหรับสัดส่วนโมเมนต์คด (MR) สามารถ แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ (1) $MR=1.29$ เมื่อ $5 \leq L \leq 20$ และ (2) $MR=0.0095L+1.100$ เมื่อ $20 \leq L \leq 60$ โดย สัดส่วนแรงเฉือนและสัดส่วนโมเมนต์คดสำหรับรูปแบบ รถบรรทุกที่มีระยะห่างระหว่างเพลามาก ที่สุด (Maximum Axle Distance) จะน้อยกว่าประมาณ 5% ที่ความยาวช่วง สะพาน 60 เมตร อย่างไรก็ตามควรตรวจสอบสัดส่วนดังกล่าว อีกครั้งด้วยการวิเคราะห์โครงสร้างอย่างละเอียดให้มาก รูปแบบ ขึ้น รวมถึงควรศึกษาโดยใช้คันสะพานต่อเนื่องด้วย ซึ่งผลที่ได้สามารถนำมาเป็นข้อมูลในการ ปรับปรุงมาตรฐาน การออกแบบสะพานในประเทศไทยในอนาคตได้

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

เนื่องจากสะพานจึงเป็นสะพานที่มีช่วงสะพานยาวมาก น้ำหนักของตัวสะพานจึงมักจะเป็นตัวกำหนดขนาดและพื้นที่หน้าตัดของตัวสะพานเอง เมื่อทำการเปรียบเทียบเส้นอิทธิพลของโมเมนต์ดัดในตัวสะพานแล้วจะเห็นว่า การวิเคราะห์ทั้งสองวิธีให้รูปร่างของเส้นอิทธิพลคล้ายกัน ยกเว้นที่จุดต่อ 4 ซึ่งให้รูปร่างของเส้นอิทธิพลแตกต่างกันมากขึ้น ที่เป็นดังนี้เพราะในการวิเคราะห์โดยวิธีประมาณไม่ได้รวมความแข็งแกร่ง (stiffness) ของหอสูงเอาไว้ในการคำนวณ จะเห็นได้ว่าตรงจุดต่อ 7 ซึ่งไม่ได้ขึ้นอยู่กับความแข็งแกร่งของหอสูงนั้น จะได้เส้นอิทธิพลที่คล้ายกันมาก อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์โดยวิธีประมาณจะให้ค่าโมเมนต์ดัดในตัวสะพานสูงกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีละเอียด ส่วนการเปรียบเทียบเส้นอิทธิพลของแรงดึงในเส้นเคเบิล จะเห็นว่าการวิเคราะห์โดยวิธีประมาณจะให้ค่าแรงดึงน้อยกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีละเอียด เนื่องจากถ้าเกิดโมเมนต์ดัดในตัวสะพานมากขึ้น แรงดึงในเส้นเคเบิลจะน้อยลง อย่างไรก็ตามอาจสรุปได้ว่าการวิเคราะห์สะพานจึง ให้ความปลอดภัยเพียงพอ และสะดวกรวดเร็ว ในการออกแบบพื้นที่หน้าตัดขั้นต่ำของตัวสะพาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรศึกษาคาดการณ์ความเสียหายของสะพานจิงภายใต้ภาระกระทำซ้ำๆด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- 2) ควรศึกษาวิเคราะห์พลศาสตร์ของสะพานจิงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- 3) ควรศึกษาแรงดึงภายในสายเคเบิลในสะพานจิงจากผลการตอบสนองทางพลศาสตร์
- 4) ควรศึกษาการตอบสนองทางพลศาสตร์ของสะพานจิงเนื่องจากน้ำหนักรรทุกพลวัตด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เอกสารอ้างอิง

- Amselle, J.-L. (2000). *Branchements. Anthropologie de l'universalité des cultures*. Paris, FR: Flammarion.
- Barth, Fredrik. *Ethnic Groups and Boundaries*. Boston : Little Brown and Company, 1969.
- Bloch, B. and Trager, G. L. (1942). *Outline of Linguistics Analysis*. Baltimore : Linguistic Society of American, 1942.
- Brown, J. Marvin. (1965). *From Ancient Thai to Modern Dialects*. In *From Ancient Thai to Modern Dialects, and Other Writings on Historical Thai Linguistics*. Bangkok: White Lotus.
- Cohen A. Yehudi. *Culture as Adaptation*. In Cohen A. Yehudi (ed.). *Man in Adaptation The Cultural Present*. Chicago: ALDINE Publishing Company, 1969.
- Comte, Auguste. 1988. "The Enlightenment and the Founding of Sociology in France", In *Sociological Theory*, pp. 9-15. George, Ritzer, 2 nd ed. New York : University of Maryland.
- Davies, Henry R. Yunnan. Cambridge, Cambridge University Press. 1909.
- Derbyshire, A.E. *A Description of English*. New Delhi : Arnold Heinemann, 1967.
- Encyclopædia Britannica* (15th edition, Index preface ed.). 1976.
- Hall, R.A. *An Introduction to Descriptive Linguistics*. New Delhi: Oxford and IBH Publishing Co., 1970.
- Huynh Van Phuc. จากมุสลิมในเวียดนามหลังนโยบายได้ขมัย การปรับปรนวิถีชีวิตทางเศรษฐกิจ ศาสนปฏิบัติและชาติพันธุ์สัมพันธ์. ดุษฎีนิพนธ์ สาขาวิชาไทศึกษา คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2554.
- Jan Aart Scholte. *Globalization: A Critical Introduction*. 2nd ed. New York : Palgrave Macmillan, 2005.
- Jandt, F.E. (1998). *Intercultural Communication : An introduction*. (2nd Ed.). Thousand Oaks : Sage Publication.
- Jane Bennett. *The Enchantment of Modern Life*. New Jersey: Princeton University Press, . 2001.
- John P. Hughee. *The Science of Language: An Introduction to Linguistics*. New York: Random House, Inc., 1962.

- Keyes, Charles F. *Ethnic Adaptation and Identity: The Karen on the Frontier with Burma*. Pennsylvania : Institute for the Study of Human Issues, 1979.
- Keyes, Charles F. *Ethnicity and the Nation States: Asian Perspective*. Empire to Modern States, 2003.
- Krauss, Michael. 1992. The world's languages in crisis. *Language* 68. 4-10.
- Lybeck, K. (2002). Cultural identification and second language pronunciation of Americans in Norway. *The Modern Language Journal*, 86(2), 174-191.
- Lyons, J. *New Horizons in Linguistics*. Harmondsworth: Penguin, 1970.
- McGee, Peter. "Cross Cultural Awareness." *The Milestone*. 1(1) 2003, 13-22.
- Noam Chomsky. *Syntactic Structures*. Netherlands: 's - Gravenhage, 1957.
- Noam, Chomsky. *Syntactic Structures*. The Hague : Mouton, 1957.
- Padolsky, E. (2007). Enoch padolsky & theory of acculturation. Retrieved February 13, 2007, from http://www.eng.fju.edu.tw/worldlit/diaspora/assimilation_theory.htm
- Parsons, Talcott, and Edward A. Shils. 1951. "Categories of the Orientation and Organization of Action." In *Theory of Action*. New York: Harper and Row, pp.53-109.
- Redfield, A., Smith, M. J., & Patricia, R. L. (1936). *Middle range theory for nursing* (2nd ed.). New York: Springer.
- Rockerche □, A. (2007). *Dictionnaires international des termes Littéraires*. Retrieved February 11, 2007, from <http://www.ditl.info/arttest/art108.html>
- Rudmin, F.W. (2003). *Catalogue of acculturation constructs: Descriptions of 120 Taxonomies*, 1918. Retrieved February 12, 2007, from <http://www.ac.wvu.edu/culture/rudmin.htm>
- Sjolie, A.N. 2004. Associations between activities and low back pain in adolescents. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 14(6): 352 – 359.
- Skinner, B. F. (1962). *Walden Two*. New York: The MacMillan Company.
- Sodowsky, G. R., & Plake, B. S. (1992). A study of acculturation differences among in ternational people and suggestions for sensitivity to within-group differences. *Journal of Counseling and Development*, 71, 53-59.
- Spair, Edward. *Language: An introduction to the study of speech*. New York: Harcourt Brace, 1921

ภาคผนวก ก ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ดร. เอนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr. Anekpong Thammathiwat

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3679800154743

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำ

4. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) : anekpong_1@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ) สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

วิศวกรรมโยธา

วิศวกรรมปฐพี

วิศวกรรมโครงสร้าง

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

7.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

หัวหน้าแผนงานวิจัย

1) “การสร้างระบบเตือนภัยและเฝ้าระวังภัยพิบัติของจังหวัดเพชรบูรณ์” แหล่งทุน
งบประมาณแผ่นดิน โดยผ่านความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ
2557

ประกอบด้วยโครงการวิจัย

1.1) การสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับระบบเตือนภัยและเฝ้าระวังน้ำ
หลากของจังหวัดเพชรบูรณ์

1.2) การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมเพื่อการจัดทำระบบเตือนภัยสำหรับ
พื้นที่เสี่ยงภัยดินโคลนถล่มบริเวณพื้นที่ลาดเชิงเขาของจังหวัดเพชรบูรณ์

1.3) การประเมินระดับกำลังด้านทุนแผ่นดินไหวสำหรับอาคารสาธารณะใน
จังหวัดเพชรบูรณ์ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม

1.4) การสร้างชุมชนแห่งการเรียนรู้เพื่อเฝ้าระวังภัยพิบัติของจังหวัดเพชรบูรณ์
หัวหน้าโครงการวิจัย

1) “เครื่องอบข้าวเปลือกพลังงานไมโครเวฟอัตโนมัติ” แหล่งทุน เครือข่ายการวิจัย
ภาคเหนือตอนล่าง มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีงบประมาณ 2554

2) “การมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการน้ำของจังหวัดเพชรบูรณ์ตามแนวปรัชญา
เศรษฐกิจพอเพียงอย่างยั่งยืน” แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ปีงบประมาณ 2555

3) “การพัฒนาศักยภาพโรงไฟฟ้าพลังน้ำทำอ่างเก็บน้ำห้วยป่าเลาโดยใช้กระบวนการ
แบบมีส่วนร่วม” แหล่งทุน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ พ.ศ.2555

4) “การประยุกต์ใช้งานไมโครเวฟในการผลิตคอนกรีตมวลเบาสำหรับ
อุตสาหกรรมก่อสร้างไทย” แหล่งทุน มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีงบประมาณ 2556

5) “การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมเพื่อการพัฒนาหลักสูตรภาษาอังกฤษของ
สถานศึกษาระดับประถมศึกษาที่สนองการอยู่ร่วมกันอย่างสันติสุขของประชาคมอาเซียนอย่าง
ยั่งยืน” แหล่งทุน งบประมาณแผ่นดิน โดยผ่านความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัย
แห่งชาติ ปีงบประมาณ 2556

6) “การศึกษารายละเอียดของโรงไฟฟ้าพลังน้ำห้วยป่าเลา” แหล่งทุน มหาวิทยาลัย
ราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีงบประมาณ 2558

7) “การศึกษาคุณสมบัติด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมของเนื้อดินปั้นและน้ำ
เคลือบสำหรับผลิตเครื่องปั้นดินเผา บ้านแก่งเป้า อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์” แหล่งทุน
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ปีงบประมาณ 2558

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1) “การบูรณาการการจัดการระบบการผลิตของกลุ่มผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ บ้านสะ
เดียง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ในเชิงธุรกิจชุมชน” แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการการ
อุดมศึกษา ปีงบประมาณ 2554

2) “การศึกษาความหลากหลายทางภาษาและวัฒนธรรมของจังหวัดเพชรบูรณ์”
แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ปีงบประมาณ 2555

3) “การวิจัยเพื่อพัฒนาครูภายในจังหวัดเพชรบูรณ์ด้วยภูมิปัญญาการทอผ้าไหม”
แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ปีงบประมาณ 2555

4) “การวิจัยกระบวนการพัฒนาทักษะการวิจัยของนักศึกษาคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์” แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ปีงบประมาณ 2556

5) “การพัฒนาสังคมแห่งความหลากหลายทางภาษาและวัฒนธรรมของจังหวัดเพชรบูรณ์สู่สังคมแห่งการเรียนรู้อย่างยั่งยืน” แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ปีงบประมาณ 2557

7.4 ผลงานตีพิมพ์วารสารวิชาการและการประชุมวิชาการ

1) Thammathiwat, A. and Chim-oye, W. “Behavior of Strength and Pore Pressure of Soft Bangkok Clay under Cyclic Loading” *Thammasat International Journal of Science and Technology*, Vol. 9, No. 4, October-December, 2004, pp. 21-28

2) Thammathiwat, A. “Application of cyclic behavior of soft clay to the road settlement prediction” *International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICCEE-2004)* July 27 to 28, 2004 Faculty Club (Gakushi-Kaikan), Hiroshima University Higashi-Hiroshima, Japan, pp. 241-250

3) Thammathiwat, A. and Chim-oye, W. “Effect of Permeant Liquid on the Swell Volume and Permeability of Geosynthetic Clay Liners” *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.15, 2010, pp.1183-1197

4) เอนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, วีรยา นิยมอ้อย “การคาดคะเนการทรุดตัวของถนน โดยใช้ผลการทดสอบแรงอัดสามทิศทางแบบวัฏจักร”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9, ชะอำ, จ.เพชรบุรี, 19-21 พฤษภาคม 2547

5) วีรยา นิยมอ้อย, เอนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์ “อิทธิพลของสารละลายที่มีต่อคุณสมบัติการพองตัวและการซึมผ่านของแผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียว” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์* 16, 3 (ก.ย.-ธ.ค. 2551)

6) Anekpong Thammathiwat, Dr.Samran Tao-Ngoen, “Application of H.M. the King’s Sufficiency Economy Philosophy in Integrated Water Resources Management”, *The International Conference : Education, Language, Society, Science and Engineering in ASEAN its Neighbors*, Kunming, China, 23-28 February 2013