



รายงานการวิจัย

การประยุกต์ใช้วิธีการถดถอยเชิงพหุ
สำหรับการออกแบบโครงสร้างเหล็ก

Application of Multiple Regression Method
for Steel Design

ทักษกร พรบุญญานนท์ Thaksakorn Pornbunyanon

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2563

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณรายได้ ประจำปี 2563 เพื่อให้ผู้วิจัยทำการศึกษาศึกษาการสร้างสมการออกแบบโครงสร้าง เหล็กอย่างง่าย โดยใช้หลักการของวิธีการถดถอยเชิงพหุในการสร้างสมการ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในรูปแบบของสมการอย่างง่ายเพียงสมการเดียว ทำให้ลดระยะเวลาที่ใช้และข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการออกแบบโครงสร้างเหล็ก และสามารถนำสมการที่ได้ไปใช้ในการทำงานจริงไม่ว่าจะเป็นการออกแบบ หรือการตรวจสอบโครงสร้างในหน่วยงานจริง และเพื่อเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการออกแบบโครงสร้างสำหรับ วิศวกรโยธา สถาปนิก ผู้รับเหมา หรือนักวิชาการผู้ที่สนใจ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้ กระทั่งผู้วิจัยปฏิบัติงานจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ทักษกร พรบุญญานนท์

สิงหาคม 2564

การประยุกต์ใช้วิธีการถดถอยเชิงพหุสำหรับการออกแบบโครงสร้างเหล็ก

ทักษกร พรบุญญานนท์¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสมการอย่างง่ายสำหรับออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรับแรงตามแนวแกนและแรงดัดร่วมกัน โดยใช้วิธีการถดถอยเชิงพหุ สำหรับสร้างสมการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กตามมาตรฐานวิศวกรรมแห่งประเทศไทยโดยวิธี LRFD โดยข้อมูลที่ใช้ในการสร้างสมการ คือ ความยาวชิ้นส่วนมีค่าระหว่าง 4 ถึง 10 เมตร รับแรงอัดตามแนวแกนระหว่าง 1 ถึง 100 ตัน และค่าโมเมนต์ดัดที่ปลายทั้งสองข้างระหว่าง 10 ถึง 100 ตัน.เมตร โดยจากผลการวิจัยจะได้สมการออกแบบ คือ $Z_x = 36.255L + 6.088P + 47.926M - 154.187$ ซึ่งสมการดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้จริง และได้ขนาดของหน้าตัดใกล้เคียงวิธีการคำนวณตามมาตรฐาน แต่จะลดขั้นตอนการคำนวณและประหยัดเวลามากกว่าการออกแบบโดยวิธีคำนวณตามมาตรฐาน

คำสำคัญ : การออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็ก, สมการถดถอยเชิงพหุ

¹วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Application of Multiple Regression Method for Steel Design

Thaksakorn Pornbunyanon¹

Abstract

This research aims to create a simple equation for the design of structural steel parts for axial loads and joint bending loads. Using the multiple regression method. For constructing the design equation of steel structure parts according to the Engineering Standards of Thailand by LRFD method. The data used to create the equation are: part length is between 4 and 10 meters, axial compressive strength between 1 and 100 tons, and The bending moment at both ends is between 10 and 100 t.m. From the research results, the design equation is as follows: $Z_x = 36.255L + 6.088P + 47.926M - 154.187$ which such equations can be put into practical use and the size of the cross-section is close to the standard calculation method. But it reduces the calculation process and saves more time than standard computational design.

keywords: Design of Steel Member, Multiple Linear Regression

¹College of Industrial Technology and Management., Rajamangala University of Technology Srivijaya.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่สำคัญ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สหสัมพันธ์	3
2.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ	4
2.3 การออกแบบโครงสร้างหลัก	5
2.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ ที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 การเตรียมข้อมูล	8
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล	9
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 งานทบทวนเอกสาร ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	10
4.2 งานจัดเตรียมข้อมูลการออกแบบโครงสร้างหลัก	10
4.3 งานสร้างสมการออกแบบโครงสร้างหลักโดยวิธีถดถอยเชิงพหุ	10
4.4 สรุปผลการศึกษา	15
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	
5.1 สรุปผลการศึกษา	16
บรรณานุกรม	17
ภาคผนวก ก	18
ประวัติผู้วิจัย	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

การออกแบบโครงสร้างหลักโดยปกตินั้น จะทำการออกแบบโดยอ้างอิงจากมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างที่กำหนดโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ซึ่งในมาตรฐานการออกแบบนั้น เพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งขนาดของโครงสร้างเพียงหนึ่งชิ้นส่วนในโครงสร้างใหญ่ จะมีขั้นตอนการวิเคราะห์ และคำนวณหลายขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การหาขนาดของแรงที่เกิดขึ้น พฤติกรรมการรับแรงของชิ้นส่วน คำนวณหาขนาดของชิ้นส่วน รวมไปถึงการตรวจสอบระยะโก่งและความปลอดภัยของชิ้นส่วนที่ได้ ทำให้ใช้ระยะเวลาในการคำนวณและออกแบบนานมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ หรือมีความซับซ้อน ซึ่งผู้วิจัยได้เป็นผู้สอนรายวิชาการการออกแบบโครงสร้างหลัก พบว่านักศึกษาจะ ใช้เวลานานในการทำ ความเข้าใจและปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ ออกแบบ และตรวจสอบ โครงสร้างที่ได้ให้มีความถูกต้องตามมาตรฐานการออกแบบ และในบางรายอาจพบเจอข้อผิดพลาด เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากขั้นตอนการคำนวณที่มีหลายขั้นตอน ซึ่งถ้าคำนวณผิดพลาดในขั้นตอนใด ขั้นตอนหนึ่งก็จะส่งผลให้ขั้นตอนการออกแบบต่อไปมีความผิดพลาด

ดังนั้นผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่า เพื่อที่จะลดระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ คำนวณออกแบบ และ ตรวจสอบผลที่ได้ รวมไปถึงการลดขั้นตอนในการคำนวณเพื่อลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น และเพื่อ พัฒนานวัตกรรมทางการศึกษาในชั้นเรียนโดยการสร้างแนวทางใหม่ๆ สำหรับเนื้อหาในหลักสูตรการ เรียน รวมไปถึงพัฒนาความโดดเด่นเฉพาะทางในด้านการปฏิบัติ ผู้วิจัยจึงอยากจะทำการศึกษาและ สร้างสมการอย่างง่ายในการออกแบบโครงสร้างหลัก โดยใช้หลักการของวิธีการถดถอยเข้ามาช่วยใน การแก้ไขปัญหานี้

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษการสร้างสมการออกแบบโครงสร้างหลักอย่างง่าย โดยใช้หลักการ ของวิธีการถดถอยเชิงพหุในการสร้างสมการ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในรูปแบบของสมการอย่างง่ายเพียง สมการเดียว เพื่อให้นักศึกษาได้ลดระยะเวลาที่ใช้และข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการออกแบบ โครงสร้างหลักขณะเรียนและปฏิบัติ จนสามารถถ่ายทอดและขยายผลจากการเรียนสู่การออกไปใช้ ในการทำงานจริงไม่ว่าจะเป็นการออกแบบ หรือการตรวจสอบโครงสร้างในหน่วยงานจริง และเพื่อเป็น อีกหนึ่งแนวทางในการออกแบบโครงสร้างสำหรับ วิศวกรโยธา สถาปนิก ผู้รับเหมา หรือนักวิชาการผู้ ที่สนใจ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 สร้างสมการอย่างง่ายเพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยใช้หลักการของวิธีการถดถอย

1.2.2 เปรียบเทียบผลการออกแบบที่ได้จากสมการจากงานวิจัยกับการออกแบบโดยมาตรฐานการออกแบบจากวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้จะสร้างสมการอย่างง่ายสำหรับการออกแบบโครงสร้างเหล็กเท่านั้น

1.3.2 งานวิจัยนี้จะสร้างสมการสำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างรับแรงแนวแกนและแรงดัดเท่านั้น

1.3.3 งานวิจัยนี้จะใช้หลักการสหสัมพันธ์และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุในการสร้างสมการอย่างง่าย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ในด้านวิชาการ งานวิจัยนี้ทำการสร้างสมการอย่างง่ายในการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งเพื่อใช้ในการเรียนการสอน หรืองานวิจัยอื่น ๆ ต่อไป

1.4.2 ในด้านสังคมและชุมชน สามารถนำงานที่ได้ไปใช้เป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบโครงสร้างอย่างง่ายในชุมชน หรืองานออกแบบทางวิศวกรรมใหญ่ๆ สำหรับอุตสาหกรรมโรงงานได้

1.4.3 ในด้านการเผยแพร่ สามารถเข้าร่วมงานประชุมทางวิชาการในระดับประเทศหรือนานาชาติได้ไม่น้อยกว่า 1 ฉบับ หรือสามารถผลิตบทความทางวิชาการในระดับประเทศหรือนานาชาติได้ไม่น้อยกว่า 1 ฉบับ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่สำคัญ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สหสัมพันธ์ (Correlation)

การหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงปริมาณ 2 ชุด หรือมากกว่านั้น ถ้าใช้เทคนิคการทดสอบไคสแควร์จะต้องแบ่งข้อมูลเชิงปริมาณออกเป็นกลุ่มๆ เสียก่อนแล้วจึงนับความถี่ ซึ่งการทำเช่นนี้จะสูญเสียรายละเอียดของชุดข้อมูลไป เทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เป็นเทคนิคการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงปริมาณตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไป และสามารถบอกได้ว่าข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันนั้นมีความสัมพันธ์กันในทิศทางใด

สหสัมพันธ์เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหรือตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับใด และมีความสัมพันธ์กันในทิศทางใด เช่น ความสูงกับน้ำหนักของคนมีความสัมพันธ์กันมากหรือน้อย และมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันหรือตรงข้ามกัน การหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหรือตัวแปร 2 ตัว เรียกว่าสหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation) ส่วนการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหรือตัวแปรมากกว่า 2 ตัว เรียกว่า สหสัมพันธ์เชิงพหุ (Multiple Correlation)

วิธีการดูลักษณะความสัมพันธ์ สามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้

1. แผนภาพการกระจาย เป็นวิธีการดูลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูลอย่างคร่าวๆ โดยดูจากลักษณะการกระจาย หรือ แนวโน้มของจุดเมื่อเทียบกับเส้นความสัมพันธ์

2. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับตัวสถิติที่ใช้วัดค่าสหสัมพันธ์อย่างง่ายว่ามีความสัมพันธ์กันมากหรือน้อยเพียงใด คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งในกรณีของสหสัมพันธ์อย่างง่าย ตัวสถิตินี้เรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ρ หรือ ρ_{xy} ในกรณีที่เป็นค่าพารามิเตอร์ r และ r_{xy} หรือ ในกรณีที่เป็นค่าสถิติ โดยที่ ρ และ r จะไม่มีหน่วยและมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1

วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับประเภทของข้อมูลหรือตัวแปร เช่น สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พี สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ซึ่งใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงปริมาณ หรือตัวแปรแบบต่อเนื่อง สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ρ ซึ่งคิดค้นโดย คาร์ล เพียร์สัน บางครั้งอาจเรียกว่า Pearson Product-Moment Correlation Coefficient ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\rho = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \mu_y)^2}} \quad (2.1)$$

โดยที่ ρ คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน, σ_{xy} คือ ความแปรปรวนร่วมของตัวแปร x และ y , σ_x และ σ_y คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปร x และ y , μ_x และ μ_y คือ ค่าเฉลี่ย

ของตัวแปร x และ y การทดสอบนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันใช้สถิติทดสอบที (t-test) โดยมีสมมติฐานศูนย์ว่า ตัวแปรทั้งสองตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นเมื่อการทดสอบมีนัยสำคัญ แปลความหมายได้ว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่างจากศูนย์) แต่ไม่ได้หมายความว่าตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์กันมาก การที่จะแปลความหมายว่าตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใดต้องนำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไปเทียบกับตารางการแปลความหมาย ซึ่งนักสถิติกำหนดเป็นช่วงของค่าไว้หลายแบบ ตัวอย่างเช่นของ Best (1977:240) ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ระดับความสัมพันธ์
0.81 - 1.00	มีความสัมพันธ์กันมาก
0.51 - 0.80	มีความสัมพันธ์กันปานกลาง
0.21 - 0.50	มีความสัมพันธ์กันน้อย
0.01 - 0.20	มีความสัมพันธ์กันน้อยมาก
0.00	ไม่มีความสัมพันธ์กัน

2.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis)

เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะประมาณหรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรหนึ่งจากตัวแปรอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์ กับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ โดยจะต้องมีการกำหนดหรือทราบค่าของตัวแปรอื่นๆ ล่วงหน้า ในที่นี้เรียกว่าตัวแปรอิสระ จึงจะทำให้ทราบค่าของตัวแปรอีกตัวหนึ่ง ซึ่งในที่นี้เรียกว่าตัวแปรตาม เช่น เมื่อทราบว่าขนาดของแรงที่ขึ้นส่วนสามารถรับได้กับขนาดของชิ้นส่วนมีความสัมพันธ์กันแล้ว และคิดว่าขนาดของแรงที่ขึ้นส่วนสามารถรับได้ขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นส่วน นั่นคือ ขนาดของชิ้นส่วนเป็นตัวแปรอิสระ และขนาดของแรงที่ขึ้นส่วนสามารถรับได้เป็นตัวแปรตาม หมายความว่าเมื่อกำหนดขนาดของชิ้นส่วนจะทำให้ประมาณหรือพยากรณ์ขนาดของแรงที่ขึ้นส่วนสามารถรับได้ได้ และสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงของขนาดแรงที่สามารถรับได้เมื่อขนาดชิ้นส่วนมีการเปลี่ยนแปลง โดยอาศัยหลักการของการวิเคราะห์การถดถอย ดังนั้นวัตถุประสงค์ของ การวิเคราะห์การถดถอย คือพยากรณ์ค่าตัวแปรตามในอนาคต เมื่อกำหนดค่าตัวแปรอิสระ

ถ้าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน และตัวแปรตามถูกพยากรณ์ด้วยตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว จะเรียกว่าการถดถอยอย่างง่าย ซึ่งสมการพยากรณ์อย่างง่าย คือ

$$Y = bX + a \quad (2.2)$$

เมื่อ Y และ X คือ ตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตามลำดับ ส่วน b และ a คือค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าคงที่ แต่ถ้าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน และตัวแปรตามถูกพยากรณ์ด้วยตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัว จะเรียกว่า การถดถอยพหุคูณ ซึ่งสมการพยากรณ์พหุคูณจะอยู่ในรูป

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + a \quad (2.3)$$

เมื่อ n คือ จำนวนของตัวแปรอิสระในสมการถดถอย

2.3 การออกแบบโครงสร้างเหล็ก (Steel Design)

ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย องค์อาคารรับแรงอัดที่มีหน้าตัดสม่ำเสมอตลอดความยาวจะมีค่ากำลังรับแรงอัด เท่ากับ $\phi_C P_n$

$$\phi_C = 0.85, \quad P_n = A_g F_{cr} \quad (2.4)$$

สำหรับกรณี $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y \quad (2.5)$$

สำหรับกรณี $\lambda_c > 1.5$

$$F_{cr} = \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) F_y \quad (2.6)$$

โดย

$$\lambda_c = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (2.7)$$

- เมื่อ A_g คือ พื้นที่หน้าตัดรวมของชิ้นส่วน
 F_y คือ หน่วยแรงครากต่ำสุดที่กำหนด
 E คือ อีลาสติกโมดูลัสของเหล็ก
 K คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล
 l คือ ความยาวช่วงที่ไม่มีการค้ำยัน
 r คือ รัศมีไจเรชั่นรอบแกนที่โค้งเดาะ

สำหรับการออกแบบของอาคารรับแรงดัดที่มีหน้าตัดสม่ำเสมอตลอดความยาวคาน จะมีกำลังรับแรงดัดเท่ากับ $\phi_b M_n$

$$\phi_C = 0.90, \quad M_n = M_p \quad (2.8)$$

$$M_p = F_y Z \leq 1.5 M_y, \quad M_y = F_y S \quad (2.9)$$

สำหรับการโค้งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากแรงบิด กำลังรับแรงดัดของคานที่มีพฤติกรรมโค้งเดาะด้านข้างเนื่องจากแรงบิด จะคำนวณจาก

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (2.10)$$

- เมื่อ L_b คือ ระยะระหว่างจุดค้ำยันเพื่อป้องกันการดัด
 L_p คือ ขีดจำกัดของระยะที่ไม่มีการค้ำยัน
 L_r คือ ขีดจำกัดของระยะที่ไม่มีการค้ำยัน

M_r คือ ชีตจำกัดของโมเมนต์โค้งเดาะ

$$L_p = 1.76r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \quad L_p = \frac{0.13r_y E}{M_p} \sqrt{JA} \quad (2.11)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัด

J คือ ค่าคงที่การบิด

2.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

รักษ์เกียรติ และคณะ (2550) ได้ใช้หลักการทางสถิติการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น พหุคูณในการอธิบายถึงพฤติกรรมการใช้ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อสุขภาพของประชาชนในเขตอำเภอหาดใหญ่ และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อสุขภาพ จากกลุ่มตัวอย่าง 400 ราย พบว่า รายได้เฉลี่ยต่อเดือน ราคาสินค้า และประสบการณ์เดิมในการใช้ผลิตภัณฑ์ มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ตามสมการ $Y = 0.15X_1 + 0.15X_2 + 0.40X_3$ เมื่อ X_1, X_2, X_3 คือ รายได้เฉลี่ยต่อเดือน ราคาสินค้า และประสบการณ์เดิมในการใช้ผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ

สมเกียรติ และ กิตาการ (2556) ได้ทำนายค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดรายวันของก๊าซโอโซนที่ระดับผิว โดยใช้หลักการทางสถิติการวิเคราะห์สมการถดถอยมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริง และได้ตัวแบบการถดถอยส่วนประกอบหลักที่ใช้ทำนายค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดรายวันของก๊าซโอโซนที่ระดับผิวโลก คือ

$$\text{Log}O_3 = 38.4 - 1.84T + SR - 6.25CH_4 + HC - 12.3PM_{10} - 7.34P + 1.87R$$

โดยที่ตัวแปรอิทธิพลต่างๆคือ อุณหภูมิและการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรคาร์บอนฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 16 ไมครอน ความดันและปริมาณน้ำฝนตามลำดับ

ศรัณย์ และ น้อมจิต (2557) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคะแนนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขตพระโขนง โดยใช้หลักการทางสถิติวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น พหุคูณ จากจำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 260 คนจาก 6 โรงเรียน ได้ผลสรุปของคะแนนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนในรูปของสมการ คือ $Y = 44.745 + 4.067X_1 - 3.817X_2 + 0.350X_3 + 0.448X_4$ เมื่อ X_1, X_2, X_3, X_4 คือ แรงจูงใจในการเรียน การเรียนพิเศษ เพศ และเจตคติต่อการเรียน

อนุชา และ บัณฑิต (2559) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการถดถอยแบบเส้นเชิงเส้นพหุคูณในการทำนายปริมาณ NOx จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สของหัวพันไพว์สดุพูนแบบเม็ดกลมอัดแน่น และสามารถเสนอสมการความสัมพันธ์ที่สามารถใช้ทำนายปริมาณ NOx ได้อย่างน่าเชื่อถือ โดยใช้ทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม ดังนี้

$$NOx = -2.099H + 33.443\phi - 8.048V + 1.055HV + 11.839\phi V - 1.492H\phi V$$

เมื่อ H, V, ϕ คือ ความสูงของชั้นวัสดุพูน อัตราความเร็วเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงแก๊สผสมก่อนระหว่างแอลฟิกับอากาศ และ อัตราส่วนสมมูล ตามลำดับ

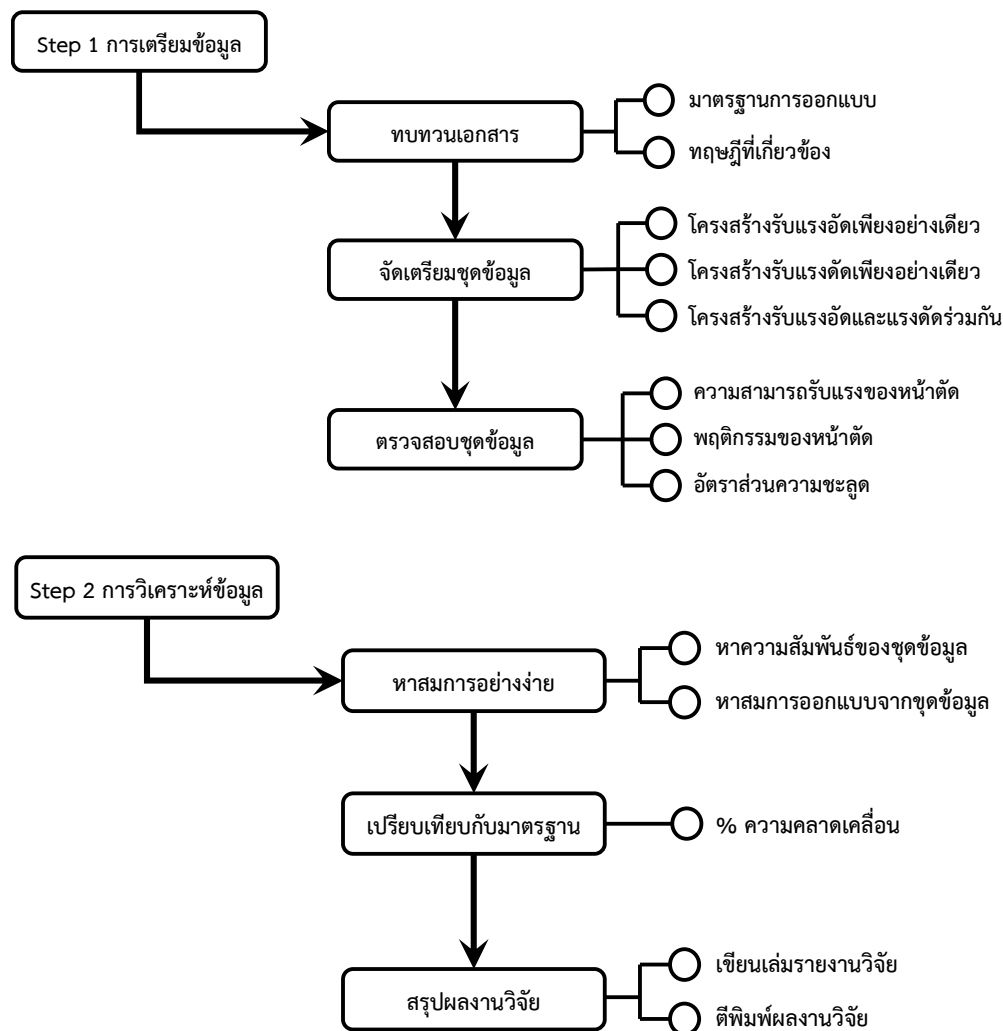
รัตนพร และ วรณี (2560) ได้สร้างสมการพยากรณ์การใช้พลังงานด้วยการวิเคราะห์การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ ในโรงงานผลิตเครื่องเสียงดีรยอนต์ ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อ

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าคือ ปริมาณผลิตภัณฑ์รวม และจำนวนวันทำงานในส่วนสำนักงาน ซึ่งสามารถสร้างสมการพยากรณ์การใช้พลังงานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปัจจัยที่มีผลกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 4 รูปแบบ และมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างค่าไฟฟ้าจริงและค่าไฟฟ้าพยากรณ์เพียง 2.45%

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานวิจัยถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ 1. การเตรียมข้อมูลที่ต้องใช้ในงานวิจัย และ 2. การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้หลักสถิติ โดยแสดงดังรูปที่ 3.1 และมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมข้อมูล

จะทำการจัดเตรียมข้อมูลที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ โดยจะเริ่มตั้งแต่การศึกษาทบทวนมาตรฐานการออกแบบและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจึงทำการจัดเตรียมชุดข้อมูล โดยในชุดข้อมูลนั้นจะมีค่าตัวแปรหลายอย่าง นั่นคือ ขนาดของชิ้นส่วน แรงที่ชิ้นส่วนจะต้องรับ พฤติกรรมการรับแรง

ขนาดของหน้าต่างชิ้นส่วน แรงที่ขนาดหน้าต่างได้รับได้จริง รวมไปถึงระยะการโก่งตัวต่างๆที่เกิดขึ้นตามพฤติกรรมการรับแรง โดยจะใช้ข้อมูลที่มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับโครงสร้างจริงและการออกแบบในปัจจุบัน ซึ่งแบ่งชุดข้อมูลได้ดังนี้ ข้อมูลของชิ้นส่วนรับแรงอัดตามแนวแกนไม่น้อยกว่า 250 ข้อมูล ข้อมูลของชิ้นส่วนรับแรงดัดไม่น้อยกว่า 250 ข้อมูล และข้อมูลของชิ้นส่วนรับแรงอัดตามแนวแกนและแรงดัดร่วมกัน ไม่น้อยกว่า 250 ข้อมูล และชุดข้อมูลดังกล่าวจะเป็นชุดข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และตรวจสอบตามมาตรฐานการออกแบบโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการเตรียมข้อมูล โดยใช้หลักสถิติเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ นั่นคือ การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละตัว โดยใช้วิธีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน และหาสมการความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลโดยใช้หลักการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ ซึ่งจะได้สมการออกแบบโครงสร้างอย่างง่ายเพียงสมการเดียว จากนั้นเปรียบเทียบผลที่ได้จากการออกแบบโดยสมการจากงานวิจัยกับการออกแบบโดยมาตรฐานการออกแบบ หลังจากนั้นจะทำการอภิปรายและสรุปผล รวมไปถึงการตีพิมพ์ผลงานวิจัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยจะรายงานผลการวิจัยในงานวิจัยนี้ โดยแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อย่อยอ้างอิงจากแผนดำเนินงานโครงการวิจัยตลอดโครงการ ดังนี้ 1) ทบทวนเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง, 2) การเตรียมชุดข้อมูลสำหรับงานวิจัย, 3) การสร้างสมการและวิเคราะห์ผลที่ได้ และ 4) สรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน

4.1 งานทบทวนเอกสาร ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โดยในหัวข้อนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ทบทวน และทำความเข้าใจในทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งงานวิจัยที่มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งได้สรุปใจความสำคัญในบทที่ 2 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

4.2 งานจัดเตรียมชุดข้อมูลการออกแบบโครงสร้างเหล็ก

ในการจัดเตรียมชุดข้อมูลสำหรับใช้ในงานวิจัย จะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ตามพฤติกรรมการรับแรงของโครงสร้าง ดังนี้ 1) ชุดข้อมูลของชิ้นส่วนรับแรงอัดตามแนวแกน 2) ชุดข้อมูลของชิ้นส่วนรับแรงดัด 3) ชุดข้อมูลของชิ้นส่วนรับแรงตามแนวแกนและแรงดัดร่วมกัน ซึ่งมีรายละเอียดของตัวแปรสำคัญดังนี้

ความยาวของชิ้นส่วนที่ใช้ มีค่าระหว่าง 4 ถึง 10 เมตร

ขนาดของแรงอัดตามแนวแกน มีค่าระหว่าง 1 ถึง 100 ตัน

ขนาดของโมเมนต์ดัดที่ปลายทั้งสองด้าน มีค่าระหว่าง 10 ถึง 100 ตัน.เมตร

โดยตัวแปรสำคัญเหล่านี้จะใช้ในการสร้างชุดข้อมูลการออกแบบชิ้นส่วน โดยมีชุดข้อมูลทั้งหมด 1130 ชุด ซึ่งทุกข้อมูลได้ตรวจสอบความถูกต้องและความปลอดภัยของชิ้นส่วนตามมาตรฐานการออกแบบเรียบร้อยแล้ว

4.3 งานสร้างสมการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธีดัดถอยเชิงพหุ

ผลการวิจัยในส่วนนี้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 สมการออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงอัดเพียงอย่างเดียว

ในการถีออกแบบชิ้นส่วนรับแรงอัดตามแนวแกนเพียงอย่างเดียว ผลการออกแบบที่ได้ส่วนมากจะระบุเป็นขนาดของพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ต้องการ ซึ่งจะแตกต่างจากกรณีที่ออกแบบชิ้นส่วนรับแรงดัด ดังนั้นกรณีชิ้นส่วนรับแรงอัดตามแนวแกนเพียงอย่างเดียว สามารถสร้างสมการย่อยที่อยู่ในรูปของพื้นที่หน้าตัดได้ โดยผลที่ได้มีดังนี้

ในขั้นต้นจะตรวจสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยใช้วิธีการทดสอบสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ซึ่งแสดงค่าดังตารางที่ 4.1 จากนั้นจึงนำข้อมูลดังกล่าวไปหาสมการความสัมพันธ์โดยวิธีดัดถอยเชิงพหุ โดยค่าจากตารางที่ 4.1 สามารถสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน ความยาวของชิ้นส่วน และขนาดของแรงอัดที่กระทำต่อชิ้นส่วน มีความสัมพันธ์ต่อกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และขนาดของแรงอัดจะมีความสัมพันธ์มากกับขนาดของพื้นที่หน้าตัด (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.914) ส่วนขนาดของความยาวชิ้นส่วนจะมีความสัมพันธ์กันน้อย (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.290)

ตาราง 4.1 ค่าการทดสอบสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

ขนาดของพื้นที่หน้าตัด (A_g) (ซม.^2)	ความยาว (L) (เมตร)	แรงอัด (P) (ตัน)
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ แบบเพียร์สัน	0.290	0.914
ระดับนัยสำคัญ	0.000	0.000

ซึ่งเมื่อนำชุดข้อมูลดังกล่าวไปสร้างสมการความสัมพันธ์โดยใช้วิธีถดถอยเชิงพหุ จะได้

$$A_g = 2.323L + 0.556P + 6.869 \quad (4.1)$$

โดย A_g คือ ค่าพื้นที่ของหน้าตัดเหล็ก (ซม.^2)

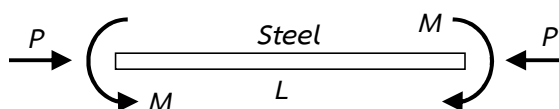
L คือ ความยาวของโครงสร้างที่ต้องการออกแบบ (เมตร)

P คือ แรงอัดตามแนวแกนที่โครงสร้างต้องรับ (ตัน)

และมีค่า $R^2 = 0.920$ โดยสมการที่ 4.1 เป็นสมการออกแบบอย่างง่าย และค่าพื้นที่ของหน้าตัดเหล็กที่ได้จากสมการดังกล่าวจะเป็นค่าน้อยที่สุดที่สามารถเลือกใช้ได้ และชิ้นส่วนที่ได้จากสมการจะสามารถรับแรงได้อย่างปลอดภัยผ่านข้อกำหนดตามมาตรฐานการออกแบบโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

4.3.2 สมการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรับแรงดัดและแรงอัดร่วมกัน

ในการสร้างสมการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน จะมีแบบจำลองของชิ้นส่วน แสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่มีความเกี่ยวข้องกันแสดงดังในรูป



รูปที่ 4.1 โครงสร้างเหล็กรับแรงอัดตามแนวแกนและแรงดัด

โดยการการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงดัด ผลที่ได้จากการออกแบบจะระบุเป็นค่าคุณสมบัติของหน้าตัดที่แตกต่างจากการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงแนวแกน ซึ่งในการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงดัดนั้นจะระบุเป็นค่าโมดูลัสของหน้าตัดที่ต้องการ โดยผลการวิจัยที่ได้มีดังนี้ การหาความสัมพันธ์ของตัวแปรในชุดข้อมูล โดยวิธีทดสอบค่าสหสัมพันธ์เพียร์สัน ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยจากตารางที่ 4.2 สามารถสรุปได้ว่า ค่าโมดูลัสของหน้าตัด มีความสัมพันธ์กับความยาว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และมีความสัมพันธ์กับแรงอัดและโมเมนต์ดัด ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีระดับความสัมพันธ์กับโมเมนต์ดัดมากที่สุด (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.966) และมีความสัมพันธ์กับค่าความ

ยาวน้อยที่สุด (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.099) ดังนั้นสามารถใช้ตัวแปรทั้ง 4 ตัว ในการสร้างสมการ ออกแบบโครงสร้างโดยวิธีถดถอยเชิงพหุได้

ตาราง 4.2 ค่าการทดสอบสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

โมดูลัสของหน้าตัด (Z_x) (ชม. ³)	ความยาว (L) (เมตร)	แรงอัด (P) (ตัน)	โมเมนต์ดัด (M) (ตัน-เมตร)
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ แบบเพียร์สัน	0.099	0.239	0.966
ระดับนัยสำคัญ	0.018	0.000	0.000

สมการออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกันโดยวิธีถดถอยเชิงพหุ คือ

$$Z_x = 36.255L + 6.088P + 47.926M - 154.187 \quad (4.2)$$

โดย Z_x คือ ค่าโมดูลัสของหน้าตัดเหล็ก (ชม.³)

L คือ ความยาวของโครงสร้างที่ต้องการออกแบบ (เมตร)

P คือ แรงอัดตามแนวแกนที่โครงสร้างต้องรับ (ตัน)

M คือ โมเมนต์ดัดมากที่สุดที่ปลายทั้งสองด้านของโครงสร้าง (ตัน-เมตร)

และมีค่า $R^2 = 0.986$ ซึ่งสมการที่ 4.2 เป็นสมการออกแบบอย่างง่ายสำหรับโครงสร้างรับแรงดัด และค่าโมดูลัสของหน้าตัดเหล็กที่ได้จากสมการดังกล่าวจะเป็นค่าน้อยที่สุดที่สามารถเลือกใช้ได้ โดยที่ชิ้นส่วนที่ได้จะสามารถรับแรงได้อย่างปลอดภัยและผ่านข้อกำหนดตามมาตรฐานการออกแบบโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

4.3.3 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากสมการ

โดยในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบการออกแบบโดยวิธีมาตรฐานกับผลที่ได้จากการออกแบบโดยใช้สมการในงานวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตัวอย่างการใช้งานสมการ 4.2

ออกแบบขนาดของเสาที่มีความยาว 5 เมตร ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน พบว่า มีแรงตามแนวแกนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ 55 ตัน น้ำหนักบรรทุกจร 5 ตัน พร้อมกับโมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร 15 ตัน-เมตร โดยเสามีการยึดที่จุดปลายทั้งบนและล่างทำให้ไม่มีการเคลื่อนด้านข้าง

ขั้นตอนการออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบโดยวิศวกรรมสถาน วิธี (LRFD)

1. คำนวณกำลังแรงอัดปรับค่าและกำลังแรงดัดปรับค่า

1.1 น้ำหนักคงที่อย่างเดียว $P_n = 1.4P_D = 77$ ตัน

$$\begin{aligned}
 M_n &= 1.4M_D = 21 \text{ ตัน-เมตร} \\
 1.2 \text{ น้ำหนักคงที่และน้ำหนักจร} \quad P_n &= 1.2P_D + 1.6P_L = 74 \text{ ตัน} \\
 M_n &= 1.2M_D + 1.6M_L = 42 \text{ ตัน-เมตร}
 \end{aligned}$$

จากการพิจารณาพบว่า แรงรวมในกรณี 1.2 ให้ค่าแรงดัดที่สูง ดังนั้นจะทำการออกแบบจากแรงรวมในกรณีนี้ เมื่อได้หน้าตัดเหล็กแล้วจะทำการตรวจสอบความสามารถในการรับแรงรวมกรณี 1.1 ต่อไป

2. ประมาณขนาดของเสา

จากสมการ $P_{r,eq} = P_r + 2M_{rx}/d$ เลือกใช้ขนาดเสา W350 จะได้

$$P_{r,eq} = 74 + (2 \times 42 \times 100)/35 = 314 \text{ ตัน}$$

เลือก W350×350×156 กก./ม. ($A = 198.4$ ตร.ซม., $r_y = 8.53$ ซม.)

$$\text{จะได้ } (KL/r)_y = 1 \times 500/8.53 = 59$$

$$\text{ดังนั้น จะได้ } \phi F_{cr} = 0.9 \times 2045 = 1841 \text{ กก./ตร.ซม.}$$

$$\text{ตรวจสอบ } P_c = \phi F_{cr} A = 1841 \times 198.4/1000 = 365 \text{ ตัน} > P_{r,eq} = 314 \text{ ตัน} \quad \text{ใช้ได้}$$

3. ตรวจสอบกำลังของคาน-เสา

จากตารางเหล็ก W350×350×156 กก./ม. มีคุณสมบัติหน้าตัดดังนี้

$$Z_x = 2708 \text{ ซม.}^3, r_x = 14.7 \text{ ซม.}, r_y = 8.53 \text{ ซม.}, L_p = 429 \text{ ซม.}, L_r = 1828 \text{ ซม.},$$

3.1 คำนวณ P_r, M_r (รวมผลของ $P\Delta$) จะได้

$$P_r = P_n + B_2 P_l \text{ และ } M_r = B_1 M_n + B_2 M_l$$

3.1.1 จากแรงในข้อ 1.2 $P_n = 74$ ตัน และ $P_l = 0$ ตัน จะได้ $P_r = 74$ ตัน

3.1.2 เนื่องจากไม่มีน้ำหนักกระทำตลอดความยาวของเสา และเสาโค้งแบบความโค้งเดียว

$$\text{จะได้ } C_m = 0.6 - 0.4(M_1/M_2) = 1.0$$

3.1.3 เนื่องจาก $(KL/r)_x = 1 \times 500/14.7 = 34$ จะได้

$$P_{elx} = \frac{\pi^2 EA}{(KL/r)_x^2} = \frac{\pi^2 (2 \times 10^6) (198.4)}{(34)^2 \times 1000} = 3385 \text{ ตัน}$$

$$\begin{aligned}
 B_{1x} &= \frac{C_m}{1 - \alpha P_r/P_{elx}} \geq 1.0 \\
 &= \frac{1}{1 - 74/3385} = 1.021
 \end{aligned}$$

3.1.4 จากแรงในข้อ 1.2 $M_n = 42$ ตัน-เมตร และ $M_l = 0$ ตัน-เมตร จะได้

$$M_r = 1.021 \times 42 = 43 \text{ ตัน-เมตร}$$

3.2 คำนวณ P_c, M_c

3.2.1 กำลังแรงอัดตามแนวแกนในระนาบที่สามารถรับได้ P_{cx}

เนื่องจาก $(KL/r)_x = 34$ ดังนั้น $F_{cr} = 2307$ กก./ตร.ซม.

$$P_{cx} = \phi F_{cr} A = 0.9 \times 2307 \times 198.4 / 1000 = 412 \text{ ตัน}$$

3.2.2 กำลังแรงอัดตามแนวแกนออกระนาบที่สามารถรับได้ P_{cy}

เนื่องจาก $(KL/r)_y = 59$ ดังนั้น $F_{cr} = 2045$ กก./ตร.ซม.

$$P_{cy} = \phi F_{cr} A = 0.9 \times 2045 \times 198.4 / 1000 = 365 \text{ ตัน}$$

3.2.3 กำลังแรงดัดในระนาบที่สามารถรับได้ M_{cx}

เนื่องจากเป็นหน้าตัดอัดแน่น จะได้

$$M_n = M_p = Z_x F_y = 2708 \times 2450 / 10^6 = 66.3 \text{ ตัน-เมตร}$$

$$M_{cx} = \phi M_n = 0.9 \times 66.3 = 59.7 \text{ ตัน-เมตร}$$

3.2.4 กำลังดัดนอกระนาบที่สามารถรับได้ M_{cy}

เนื่องจาก $L_p < L < L_r$ ($429 < 500 < 1828$) ดังนั้น

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left(\frac{L - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$\text{จะได้ } M_n = 1 [66.3 - (66.3 - 1422)(0.051)] = 72.1 > 66.3$$

$$\text{ดังนั้นจะได้ } M_{cy} = \phi M_n = 59.7 \text{ ตัน-เมตร}$$

3.3 ตรวจสอบกำลังของคาน-เสา (แรงรวมจากข้อ 1.2)

3.3.1 การดัดในระนาบ

เนื่องจาก $P_r/P_{cx} = 74/412 = 0.1796 < 0.2$ ดังนั้น จะได้

$$\frac{P_r}{2P_{cx}} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \leq 1.0$$

$$\frac{74}{2 \times 412} + \frac{42}{59.7} = 0.793 < 1.0$$

ใช้ได้

3.3.2 การดัดนอกระนาบ

$$\frac{P_r}{P_{cy}} \left(1.5 - 0.5 \frac{P_r}{P_{cy}} \right) + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right)^2 \leq 1.0$$

$$\frac{74}{365} \left(1.5 - 0.5 \frac{74}{365} \right) + \left(\frac{42}{59.7} \right)^2 = 0.778 < 1.0$$

ใช้ได้

4. ตรวจสอบกำลังของคาน-เสา (แรงรวมจากข้อ 1.1)

จะได้ $P_r = P_n = 77$ ตัน และ $M_n = 21$ ตัน-เมตร

$$B_{1x} = 1.023 \text{ ดังนั้น } M_r = 21.5 \text{ ตัน-เมตร}$$

4.1 การดัดในระนาบ

เนื่องจาก $P_r/P_{cx} = 77/412 = 0.1869 < 0.2$ ดังนั้น จะได้

$$\frac{P_r}{2P_{cx}} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \leq 1.0$$

$$\frac{77}{2 \times 412} + \frac{21.5}{59.7} = 0.453 < 1.0$$

ใช้ได้

4.2 การดัดนอกระนาบ

$$\frac{P_r}{P_{cy}} \left(1.5 - 0.5 \frac{P_r}{P_{cy}} \right) + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right)^2 \leq 1.0$$

$$\frac{77}{365} \left(1.5 - 0.5 \frac{77}{365} \right) + \left(\frac{21.5}{59.7} \right)^2 = 0.424 < 1.0$$

ใช้ได้

ดังนั้น จากการออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบโดยวิศวกรรมสถาน วิธี (LRFD) จะได้ขนาดหน้าตัดคือ **W350×350×156** กก./ม.

คำนวณขนาดหน้าตัดโดยใช้สมการ 4.2

$$\text{จะได้ } Z_x = 36.255(5) + 6.088(74) + 47.926(42) - 154.187 = 2490 \text{ ซม.}^3$$

ดังนั้น เลือกใช้ขนาดเหล็กที่มีค่า $Z_x > 2490$ ซม.³

โดยหน้าตัดขนาด **W350×350×156** กก./ม. ซึ่งเป็นขนาดที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐานการออกแบบโดยวิศวกรรมสถาน วิธี (LRFD) มีค่า $Z_x = 2708 > 2490$ ซม.³ ดังนั้นสามารถใช้ได้ หรือ อาจเลือกใช้ขนาด **W350×350×137** กก./ม. ซึ่งมีค่า $Z_x = 2493$ ซม.³ โดยเป็นค่าที่ใกล้เคียงมากกับค่าที่ได้จากสมการ 4.2 ก็สามารถใช้ได้ เนื่องจากค่าที่ได้จากสมการที่ 4.2 เป็นค่าน้อยสุดที่ใช้ได้และปลอดภัย ทั้งนี้เมื่อนำขนาด **W350×350×137** กก./ม. ไปคำนวณตามมาตรฐานการออกแบบ จะได้

$$\frac{P_r}{2P_{cx}} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} = 0.91 < 1.0$$

ใช้ได้

ซึ่งจากตัวอย่างจะเห็นได้ว่าสมการออกแบบโครงสร้างเหล็กที่ได้จากงานวิจัย ให้ค่าที่มีความใกล้เคียงกับการออกแบบตามมาตรฐานปกติ ทั้งนี้ยังสามารถช่วยลดขั้นตอนและระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบได้อย่างมาก และยังสามารถช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการออกแบบที่มีหลายขั้นตอนได้อีกด้วย

4.4 สรุปผลการศึกษา

โดยในส่วนของการสรุปผลการศึกษา จะกล่าวถึงในบทที่ 5 ต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการศึกษา

โดยจากการวิจัยนี้ จะได้สมการการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรับแรงแนวแกนและแรงดัดร่วมกัน คือ

$$Z_x = 36.255L + 6.088P + 47.926M - 154.187$$

ซึ่งสมการดังกล่าวจะได้ค่าของโมดูลัสของหน้าตัดชิ้นส่วนที่ต้องการ โดยค่าที่ได้จะเป็นค่าน้อยที่สุดที่ทำให้ชิ้นส่วนยังมีความปลอดภัยในการใช้งาน ทั้งนี้ สมการดังกล่าวสามารถใช้ได้หลายกรณี เช่น ในกรณีออกแบบชิ้นส่วนรับแรงดัดเพียงอย่างเดียวไม่มีแรงตามแนวแกน สามารถแทนค่าตัวแปร P เป็นศูนย์ในสมการได้ หรือ ในกรณีที่รับแรงตามแนวแกนเพียงอย่างเดียวไม่รับแรงดัด ก็สามารถแทนค่าตัวแปร M เป็นศูนย์ในสมการได้ แต่ทั้งนี้ในกรณีชิ้นส่วนรับแรงแนวแกนเพียงอย่างเดียว ค่าที่ได้จากสมการจะได้เป็นค่าโมดูลัสของหน้าตัด ทั้งนี้ในกรณีออกแบบชิ้นส่วนรับแรงตามแนวแกน ค่าที่ต้องการจะเป็นค่าขนาดของหน้าตัด ทำให้ต้องไปแปลงค่าที่ได้จากสมการดังกล่าวให้เป็นค่าพื้นที่ของหน้าตัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงสร้างสมการย่อยสมสำหรับการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงแนวแกนเพียงอย่างเดียว นั่นคือ

$$A_g = 2.323L + 0.556P + 6.869$$

โดยจากสมการนี้ ค่าที่ได้จะเป็นค่าพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน และจากการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงตามแนวแกนโดยใช้สมการทั้งสองในการออกแบบ พบว่าขนาดชิ้นส่วนที่ได้ จะมีขนาดที่เท่าหรือใกล้เคียงกัน

บรรณานุกรม

- [1] รักษ์เกียรติ จิรินทร์ และคณะ. 2550. ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อสุขภาพของผู้บริโภค ในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. **วารสารสงขลานครินทร์ฉบับสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์** 13(2): 218-232.
- [2] รัตนาพร อินทรพานิชย์ และ วรณี มังคละศิริ. 2560. การสร้างสมการพยากรณ์การใช้พลังงานด้วยการวิเคราะห์การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ: กรณีศึกษา โรงงานผลิตเครื่องเสียงติตรถยนต์. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 25(5): 893-905
- [3] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. 2556. มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัท โกลบอล กราฟฟิค จำกัด, กรุงเทพฯ.
- [4] ศรีณย์ จันทรศรี และ น้อมจิต กิตติโชติพานิชย์. 2557. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคะแนนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 6 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ ในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขตพระโขนง. **วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง** 23(1): 62-79.
- [5] สมเกียรติ พันธุ์ศิริ และ กิตาการ สายธนู. 2556. การทำนายค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดรายวันของก๊าซโอโซนที่ระดับพื้นผิวโลกด้วยตัวแบบการถดถอยส่วนประกอบหลัก. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา** 18(1): 144-152.
- [6] อนุชา กล้าน้อย และ บัณฑิต กฤตาคม. 2559. การประยุกต์ใช้การถดถอยแบบเส้นตรงเชิงพหุคูณในการทำนายปริมาณ NO_x จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สของหัวพันไฟว์สตุพรุนแบบเม็ดกลมอัดแน่น. **วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.** 9(1): 31-38.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลในการสร้างสมการออกแบบโครงสร้างเหล็ก
(ความยาว แรงแนวแกน โมเมนต์ดัดที่ปลาย
ขนาดพื้นที่หน้าตัด และโมดูลัสของหน้าตัดที่ต้องการ)

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
3	0	10	45		63.5	513
3	0	20	60	200	104.7	1015
3	0	30	91	300	119.8	1465
3	0	40	104	300	146	2070
3	0	50	130	350	198.4	2708
3	0	60	136	350	218.7	3600
3	0	70	159	400	218.7	3600
3	0	80	181	400	250.7	3920
3	0	90	204	400	295.4	4954
3	0	100	227	400	295.4	4954
3	1	10	46	400	63.5	513
3	1	20	61	200	104.7	1015
3	1	30	91	300	119.8	1465
3	1	40	104	300	146	2070
3	1	50	130	350	198.4	2708
3	1	60	137	350	218.7	3600
3	1	70	159	400	218.7	3600
3	1	80	182	400	250.7	3920
3	1	90	205	400	295.4	4954
3	1	100	227	400	295.4	4954
3	10	10	50	400	63.5	513
3	10	20	65	200	104.7	1015
3	10	30	95	300	119.8	1465
3	10	40	108	300	146	2070
3	10	50	134	350	198.4	2708
3	10	60	141	350	218.7	3600

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
3	10	70	163	400	218.7	3600
3	10	80	186	400	250.7	3920
3	10	90	209	400	295.4	4954
3	10	100	231	400	295.4	4954
3	20	10	54	400	83.69	698
3	20	20	70	200	110.8	1353
3	20	30	100	300	134.8	1577
3	20	40	113	300	146	2070
3	20	50	139	350	198.4	2708
3	20	60	145	350	218.7	3600
3	20	70	168	400	218.7	3600
3	20	80	190	400	250.7	3920
3	20	90	213	400	295.4	4954
3	20	100	236	400	295.4	4954
3	30	10	59	400	83.69	698
3	30	20	74	200	110.8	1353
3	30	30	104	300	134.8	1577
3	30	40	117	300	146	2070
3	30	50	143	350	198.4	2708
3	30	60	150	350	218.7	3600
3	30	70	172	400	218.7	3600
3	30	80	195	400	250.7	3920
3	30	90	218	400	295.4	4954
3	30	100	240	400	295.4	4954
3	40	10	63	400	83.69	698
3	40	20	79	200	110.8	1353
3	40	30	109	300	134.8	1669

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
3	40	40	122	300	166.6	2247
3	40	50	148	350	198.4	2708
3	40	60	154	350	218.7	3600
3	40	70	177	400	218.7	3600
3	40	80	200	400	254.9	4207
3	40	90	222	400	295.4	4954
3	40	100	245	400	295.4	4954
3	50	10	68	400	83.69	698
3	50	20	83	200	110.8	1353
3	50	30	113	300	134.8	1669
3	50	40	126	300	166.6	2247
3	50	50	152	350	198.4	2708
3	50	60	159	350	218.7	3600
3	50	70	181	400	218.7	3600
3	50	80	204	400	254.9	4207
3	50	90	227	400	295.4	4954
3	50	100	249	400	360.7	6239
3	60	10	63	400	84.7	859
3	60	20	88	250	110.8	1353
3	60	30	105	300	146	2070
3	60	40	131	350	166.6	2247
3	60	50	157	350	198.4	2708
3	60	60	163	350	218.7	3600
3	60	70	186	400	254.9	4207
3	60	80	209	400	254.9	4207
3	60	90	231	400	295.4	4954
3	60	100	254	400	360.7	6239

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
3	70	10	68	400	84.7	859
3	70	20	92	250	110.8	1353
3	70	30	109	300	146	2070
3	70	40	135	350	166.6	2247
3	70	50	161	350	202	2927
3	70	60	168	350	218.7	3600
3	70	70	190	400	254.9	4207
3	70	80	213	400	254.9	4207
3	70	90	236	400	295.4	4954
3	70	100	259	400	360.7	6239
3	80	10	73	400	84.7	859
3	80	20	97	250	119.8	1465
3	80	30	114	300	146	2070
3	80	40	140	350	173.9	2493
3	80	50	166	350	202	2927
3	80	60	172	350	218.7	3600
3	80	70	195	400	254.9	4207
3	80	80	218	400	295.4	4954
3	80	90	240	400	295.4	4954
3	80	100	263	400	360.7	6239
3	90	10	71	400	104.7	1015
3	90	20	101	300	119.8	1465
3	90	30	119	300	146	2070
3	90	40	144	350	173.9	2493
3	90	50	170	350	202	2927
3	90	60	177	350	218.7	3600
3	90	70	200	400	254.9	4207

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
3	90	80	222	400	295.4	4954
3	90	90	245	400	295.4	4954
3	90	100	268	400	360.7	6239
3	100	10	76	400	104.7	1015
3	100	20	106	300	119.8	1465
3	100	30	123	300	146	2070
3	100	40	149	350	173.9	2493
3	100	50	175	350	202	2927
3	100	60	181	350	218.7	3600
3	100	70	204	400	254.9	4207
3	100	80	227	400	295.4	4954
3	100	90	249	400	295.4	4954
3	100	100	272	400	360.7	6239
4	0	10	45	200	63.5	513
4	0	20	60	300	104.7	1015
4	0	30	91	300	119.8	1465
4	0	40	104	350	146	2070
4	0	50	130	350	198.4	2708
4	0	60	136	400	218.7	3600
4	0	70	159	400	218.7	3600
4	0	80	181	400	250.7	3920
4	0	90	204	400	295.4	4954
4	0	100	227	400	295.4	4954
4	1	10	46	200	63.5	513
4	1	20	61	300	104.7	1015
4	1	30	91	300	119.8	1465
4	1	40	104	350	146	2070

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
4	1	50	130	350	198.4	2708
4	1	60	137	400	218.7	3600
4	1	70	159	400	218.7	3600
4	1	80	182	400	250.7	3920
4	1	90	205	400	295.4	4954
4	1	100	227	400	295.4	4954
4	10	10	50	200	83.69	698
4	10	20	65	300	104.7	1015
4	10	30	95	300	119.8	1465
4	10	40	108	350	146	2070
4	10	50	134	350	198.4	2708
4	10	60	141	400	218.7	3600
4	10	70	163	400	218.7	3600
4	10	80	186	400	250.7	3920
4	10	90	209	400	295.4	4954
4	10	100	231	400	295.4	4954
4	20	10	54	200	83.69	698
4	20	20	70	300	110.8	1353
4	20	30	100	300	134.8	1577
4	20	40	113	350	146	2070
4	20	50	139	350	198.4	2708
4	20	60	145	400	218.7	3600
4	20	70	168	400	218.7	3600
4	20	80	190	400	250.7	3920
4	20	90	213	400	295.4	4954
4	20	100	236	400	295.4	4954
4	30	10	59	200	83.69	698

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
4	30	20	74	300	110.8	1353
4	30	30	104	300	134.8	1577
4	30	40	117	350	146	2070
4	30	50	143	350	198.4	2708
4	30	60	150	400	218.7	3600
4	30	70	172	400	218.7	3600
4	30	80	195	400	250.7	3920
4	30	90	218	400	295.4	4954
4	30	100	240	400	295.4	4954
4	40	10	63	200	83.69	698
4	40	20	79	300	110.8	1353
4	40	30	109	300	134.8	1669
4	40	40	122	350	166.6	2247
4	40	50	148	350	198.4	2708
4	40	60	154	400	218.7	3600
4	40	70	177	400	218.7	3600
4	40	80	200	400	254.9	4207
4	40	90	222	400	295.4	4954
4	40	100	245	400	295.4	4954
4	50	10	59	250	84.7	859
4	50	20	83	300	110.8	1353
4	50	30	100	350	146	2070
4	50	40	126	350	166.6	2247
4	50	50	152	350	198.4	2708
4	50	60	159	400	218.7	3600
4	50	70	181	400	218.7	3600
4	50	80	204	400	254.9	4207

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
4	50	90	227	400	295.4	4954
4	50	100	249	400	360.7	6239
4	60	10	63	250	84.7	859
4	60	20	88	300	110.8	1353
4	60	30	105	350	146	2070
4	60	40	131	350	166.6	2247
4	60	50	157	350	198.4	2708
4	60	60	163	400	218.7	3600
4	60	70	186	400	254.9	4207
4	60	80	209	400	254.9	4207
4	60	90	231	400	295.4	4954
4	60	100	254	400	360.7	6239
4	70	10	68	250	84.7	859
4	70	20	92	300	110.8	1353
4	70	30	109	350	146	2070
4	70	40	135	350	202	2927
4	70	50	161	350	202	2927
4	70	60	168	400	218.7	3600
4	70	70	190	400	254.9	4207
4	70	80	213	400	254.9	4207
4	70	90	236	400	295.4	4954
4	70	100	259	400	360.7	6239
4	80	10	67	300	104.7	1015
4	80	20	97	300	119.8	1465
4	80	30	114	350	146	2070
4	80	40	140	350	173.9	2493
4	80	50	166	350	202	2927

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
4	80	60	172	400	218.7	3600
4	80	70	195	400	254.9	4207
4	80	80	218	400	295.4	4954
4	80	90	240	400	295.4	4954
4	80	100	263	400	360.7	6239
4	90	10	71	300	104.7	1015
4	90	20	101	300	119.8	1465
4	90	30	119	350	146	2070
4	90	40	144	350	173.9	2493
4	90	50	170	350	202	2927
4	90	60	177	400	218.7	3600
4	90	70	200	400	254.9	4207
4	90	80	222	400	295.4	4954
4	90	90	245	400	295.4	4954
4	90	100	268	400	360.7	6239
4	100	10	76	300	104.7	1015
4	100	20	106	300	134.8	1577
4	100	30	123	350	146	2070
4	100	40	149	350	173.9	2493
4	100	50	159	400	218.7	3600
4	100	60	181	400	218.7	3600
4	100	70	204	400	254.9	4207
4	100	80	227	400	295.4	4954
4	100	90	249	400	295.4	4954
4	100	100	272	400	360.7	6239
5	0	10	45	200	63.5	513
5	0	20	60	300	104.7	1015

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
5	0	30	91	300	119.8	1465
5	0	40	104	350	146	2070
5	0	50	130	350	198.4	2708
5	0	60	136	400	218.7	3600
5	0	70	159	400	218.7	3600
5	0	80	181	400	250.7	3920
5	0	90	204	400	295.4	4954
5	0	100	227	400	295.4	4954
5	1	10	46	200	63.5	513
5	1	20	61	300	104.7	1015
5	1	30	91	300	119.8	1465
5	1	40	104	350	146	2070
5	1	50	130	350	198.4	2708
5	1	60	137	400	218.7	3600
5	1	70	159	400	218.7	3600
5	1	80	182	400	250.7	3920
5	1	90	205	400	295.4	4954
5	1	100	227	400	295.4	4954
5	10	10	50	200	83.69	698
5	10	20	65	300	104.7	1015
5	10	30	95	300	119.8	1465
5	10	40	108	350	146	2070
5	10	50	134	350	198.4	2708
5	10	60	141	400	218.7	3600
5	10	70	163	400	218.7	3600
5	10	80	186	400	250.7	3920
5	10	90	209	400	295.4	4954

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
5	10	100	231	400	295.4	4954
5	20	10	54	200	83.69	698
5	20	20	70	300	110.8	1353
5	20	30	100	300	134.8	1577
5	20	40	113	350	146	2070
5	20	50	139	350	198.4	2708
5	20	60	145	400	218.7	3600
5	20	70	168	400	218.7	3600
5	20	80	190	400	250.7	3920
5	20	90	213	400	295.4	4954
5	20	100	236	400	295.4	4954
5	30	10	59	200	83.69	698
5	30	20	74	300	110.8	1353
5	30	30	104	300	134.8	1669
5	30	40	117	350	146	2070
5	30	50	143	350	198.4	2708
5	30	60	150	400	218.7	3600
5	30	70	172	400	218.7	3600
5	30	80	195	400	254.9	4207
5	30	90	218	400	295.4	4954
5	30	100	240	400	295.4	4954
5	40	10	54	250	84.7	859
5	40	20	79	300	110.8	1353
5	40	30	109	300	134.8	1669
5	40	40	122	350	166.6	2247
5	40	50	148	350	198.4	2708
5	40	60	154	400	218.7	3600

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
5	40	70	177	400	218.7	3600
5	40	80	200	400	254.9	4207
5	40	90	222	400	295.4	4954
5	40	100	245	400	295.4	4954
5	50	10	59	250	84.7	859
5	50	20	83	300	110.8	1353
5	50	30	100	350	146	2070
5	50	40	126	350	166.6	2247
5	50	50	152	350	198.4	2708
5	50	60	159	400	218.7	3600
5	50	70	181	400	254.9	4207
5	50	80	204	400	254.9	4207
5	50	90	227	400	295.4	4954
5	50	100	249	400	360.7	6239
5	60	10	63	250	84.7	859
5	60	20	88	300	110.8	1353
5	60	30	105	350	146	2070
5	60	40	131	350	173.9	2493
5	60	50	157	350	202	2927
5	60	60	163	400	218.7	3600
5	60	70	186	400	254.9	4207
5	60	80	209	400	254.9	4207
5	60	90	231	400	295.4	4954
5	60	100	254	400	360.7	6239
5	70	10	62	300	104.7	1015
5	70	20	92	300	119.8	1465
5	70	30	109	350	146	2070

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
5	70	40	135	350	173.9	2493
5	70	50	161	350	202	2927
5	70	60	168	400	218.7	3600
5	70	70	190	400	254.9	4207
5	70	80	213	400	295.4	4954
5	70	90	236	400	295.4	4954
5	70	100	259	400	360.7	6239
5	80	10	67	300	104.7	1015
5	80	20	97	300	119.8	1465
5	80	30	114	350	146	2070
5	80	40	140	350	173.9	2493
5	80	50	166	350	202	2927
5	80	60	172	400	218.7	3600
5	80	70	195	400	254.9	4207
5	80	80	218	400	295.4	4954
5	80	90	240	400	295.4	4954
5	80	100	263	400	360.7	6239
5	90	10	71	300	104.7	1015
5	90	20	101	300	134.8	1577
5	90	30	119	350	146	2070
5	90	40	144	350	173.9	2493
5	90	50	154	400	218.7	3600
5	90	60	177	400	218.7	3600
5	90	70	200	400	254.9	4207
5	90	80	222	400	295.4	4954
5	90	90	245	400	295.4	4954
5	90	100	268	400	360.7	6239

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
5	100	10	76	300	110.8	1353
5	100	20	106	300	134.8	1577
5	100	30	123	350	166.6	2247
5	100	40	149	350	202	2927
5	100	50	159	400	218.7	3600
5	100	60	181	400	218.7	3600
5	100	70	204	400	254.9	4207
5	100	80	227	400	295.4	4954
5	100	90	249	400	295.4	4954
5	100	100	272	400	360.7	6239
6	0	10	45	200	63.5	513
6	0	20	60	300	104.7	1015
6	0	30	91	300	119.8	1465
6	0	40	104	350	146	2070
6	0	50	130	350	198.4	2708
6	0	60	136	400	218.7	3600
6	0	70	159	400	218.7	3600
6	0	80	181	400	250.7	3920
6	0	90	204	400	295.4	4954
6	0	100	227	400	295.4	4954
6	1	10	46	200	63.5	513
6	1	20	61	300	104.7	1015
6	1	30	91	300	119.8	1465
6	1	40	104	350	146	2070
6	1	50	130	350	198.4	2708
6	1	60	156	350	202	2927
6	1	70	159	400	218.7	3600

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
6	1	80	182	400	250.7	3920
6	1	90	205	400	295.4	4954
6	1	100	227	400	295.4	4954
6	10	10	50	200	83.69	698
6	10	20	65	300	104.7	1015
6	10	30	95	300	134.8	1577
6	10	40	108	350	146	2070
6	10	50	134	350	198.4	2708
6	10	60	160	350	202	2927
6	10	70	163	400	218.7	3600
6	10	80	186	400	250.7	3920
6	10	90	209	400	295.4	4954
6	10	100	231	400	295.4	4954
6	20	10	54	200	83.69	698
6	20	20	70	300	110.8	1353
6	20	30	100	300	134.8	1577
6	20	40	113	350	146	2070
6	20	50	139	350	198.4	2708
6	20	60	145	400	218.7	3600
6	20	70	168	400	218.7	3600
6	20	80	190	400	250.7	3920
6	20	90	213	400	295.4	4954
6	20	100	236	400	295.4	4954
6	30	10	59	200	83.69	698
6	30	20	74	300	110.8	1353
6	30	30	104	300	134.8	1669
6	30	40	117	350	166.6	2247

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
6	30	50	143	350	198.4	2708
6	30	60	150	400	218.7	3600
6	30	70	172	400	218.7	3600
6	30	80	195	400	254.9	4207
6	30	90	218	400	295.4	4954
6	30	100	240	400	295.4	4954
6	40	10	54	250	84.7	859
6	40	20	79	300	110.8	1353
6	40	30	96	350	146	2070
6	40	40	122	350	166.6	2247
6	40	50	148	350	198.4	2708
6	40	60	154	400	218.7	3600
6	40	70	177	400	218.7	3600
6	40	80	200	400	254.9	4207
6	40	90	222	400	295.4	4954
6	40	100	245	400	360.7	6239
6	50	10	59	250	84.7	859
6	50	20	83	300	110.8	1353
6	50	30	100	350	146	2070
6	50	40	126	350	166.6	2247
6	50	50	152	350	198.4	2708
6	50	60	159	400	218.7	3600
6	50	70	181	400	254.9	4207
6	50	80	204	400	254.9	4207
6	50	90	227	400	295.4	4954
6	50	100	249	400	360.7	6239
6	60	10	63	250	84.7	859

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
6	60	20	88	300	119.8	1465
6	60	30	105	350	146	2070
6	60	40	131	350	173.9	2493
6	60	50	157	350	202	2927
6	60	60	163	400	218.7	3600
6	60	70	186	400	254.9	4207
6	60	80	209	400	254.9	4207
6	60	90	231	400	295.4	4954
6	60	100	254	400	360.7	6239
6	70	10	62	300	104.7	1015
6	70	20	92	300	119.8	1465
6	70	30	109	350	146	2070
6	70	40	135	350	173.9	2493
6	70	50	161	350	202	2927
6	70	60	168	400	218.7	3600
6	70	70	190	400	254.9	4207
6	70	80	213	400	295.4	4954
6	70	90	236	400	295.4	4954
6	70	100	259	400	360.7	6239
6	80	10	67	300	104.7	1015
6	80	20	97	300	119.8	1465
6	80	30	114	350	146	2070
6	80	40	140	350	173.9	2493
6	80	50	150	400	218.7	3600
6	80	60	172	400	218.7	3600
6	80	70	195	400	254.9	4207
6	80	80	218	400	295.4	4954

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
6	80	90	240	400	295.4	4954
6	80	100	263	400	360.7	6239
6	90	10	71	300	104.7	1015
6	90	20	101	300	134.8	1577
6	90	30	119	350	146	2070
6	90	40	144	350	198.4	2708
6	90	50	170	350	202	2927
6	90	60	177	400	218.7	3600
6	90	70	200	400	254.9	4207
6	90	80	222	400	295.4	4954
6	90	90	245	400	295.4	4954
6	90	100	268	400	360.7	6239
6	100	10	76	300	110.8	1353
6	100	20	106	300	134.8	1669
6	100	30	123	350	166.6	2247
6	100	40	149	350	198.4	2708
6	100	50	159	400	218.7	3600
6	100	60	181	400	218.7	3600
6	100	70	204	400	254.9	4207
6	100	80	227	400	295.4	4954
6	100	90	249	400	295.4	4954
6	100	100	272	400	360.7	6239
7	0	10	45	200	63.5	513
7	0	20	60	300	104.7	1015
7	0	30	91	300	119.8	1465
7	0	40	104	350	146	2070
7	0	50	130	350	198.4	2708

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
7	0	60	136	400	218.7	3600
7	0	70	159	400	218.7	3600
7	0	80	181	400	250.7	3920
7	0	90	204	400	295.4	4954
7	0	100	227	400	295.4	4954
7	1	10	46	200	63.5	513
7	1	20	61	300	104.7	1015
7	1	30	91	300	119.8	1465
7	1	40	104	350	146	2070
7	1	50	130	350	198.4	2708
7	1	60	137	400	202	2927
7	1	70	159	400	218.7	3600
7	1	80	182	400	250.7	3920
7	1	90	205	400	295.4	4954
7	1	100	227	400	295.4	4954
7	10	10	50	200	83.69	698
7	10	20	65	300	104.7	1015
7	10	30	95	300	134.8	1577
7	10	40	108	350	146	2070
7	10	50	134	350	198.4	2708
7	10	60	141	400	202	2927
7	10	70	163	400	218.7	3600
7	10	80	186	400	250.7	3920
7	10	90	209	400	295.4	4954
7	10	100	231	400	295.4	4954
7	20	10	54	200	83.69	698
7	20	20	70	300	110.8	1353

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
7	20	30	100	300	134.8	1577
7	20	40	113	350	146	2070
7	20	50	139	350	198.4	2708
7	20	60	145	400	218.7	3600
7	20	70	168	400	218.7	3600
7	20	80	190	400	250.7	3920
7	20	90	213	400	295.4	4954
7	20	100	236	400	295.4	4954
7	30	10	50	250	83.69	698
7	30	20	74	300	110.8	1353
7	30	30	104	300	134.8	1669
7	30	40	117	350	166.6	2247
7	30	50	143	350	198.4	2708
7	30	60	150	400	218.7	3600
7	30	70	172	400	218.7	3600
7	30	80	195	400	254.9	4207
7	30	90	218	400	295.4	4954
7	30	100	240	400	295.4	4954
7	40	10	54	250	84.7	859
7	40	20	79	300	110.8	1353
7	40	30	96	350	146	2070
7	40	40	122	350	166.6	2247
7	40	50	148	350	198.4	2708
7	40	60	154	400	218.7	3600
7	40	70	177	400	218.7	3600
7	40	80	200	400	254.9	4207
7	40	90	222	400	295.4	4954

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
7	40	100	245	400	360.7	6239
7	50	10	53	300	84.7	859
7	50	20	83	300	110.8	1353
7	50	30	100	350	146	2070
7	50	40	126	350	166.6	2247
7	50	50	152	350	198.4	2708
7	50	60	159	400	218.7	3600
7	50	70	181	400	254.9	4207
7	50	80	204	400	254.9	4207
7	50	90	227	400	295.4	4954
7	50	100	249	400	360.7	6239
7	60	10	57	300	84.7	859
7	60	20	88	300	119.8	1465
7	60	30	105	350	146	2070
7	60	40	131	350	173.9	2493
7	60	50	157	350	202	2927
7	60	60	163	400	218.7	3600
7	60	70	186	400	254.9	4207
7	60	80	209	400	254.9	4207
7	60	90	231	400	295.4	4954
7	60	100	254	400	360.7	6239
7	70	10	62	300	104.7	1015
7	70	20	92	300	119.8	1465
7	70	30	109	350	146	2070
7	70	40	135	350	173.9	2493
7	70	50	161	350	202	2927
7	70	60	168	400	218.7	3600

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
7	70	70	190	400	254.9	4207
7	70	80	213	400	295.4	4954
7	70	90	236	400	295.4	4954
7	70	100	259	400	360.7	6239
7	80	10	67	300	104.7	1015
7	80	20	97	300	119.8	1465
7	80	30	114	350	146	2070
7	80	40	140	350	173.9	2493
7	80	50	150	400	218.7	3600
7	80	60	172	400	218.7	3600
7	80	70	195	400	254.9	4207
7	80	80	218	400	295.4	4954
7	80	90	240	400	295.4	4954
7	80	100	263	400	360.7	6239
7	90	10	71	300	104.7	1015
7	90	20	93	350	134.8	1577
7	90	30	119	350	146	2070
7	90	40	132	400	198.4	2708
7	90	50	154	400	218.7	3600
7	90	60	177	400	218.7	3600
7	90	70	200	400	254.9	4207
7	90	80	222	400	295.4	4954
7	90	90	245	400	295.4	4954
7	90	100	268	400	360.7	6239
7	100	10	76	300	110.8	1353
7	100	20	97	350	134.8	1669
7	100	30	123	350	166.6	2247

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
7	100	40	149	350	198.4	2708
7	100	50	159	400	218.7	3600
7	100	60	181	400	218.7	3600
7	100	70	204	400	254.9	4207
7	100	80	227	400	295.4	4954
7	100	90	249	400	295.4	4954
7	100	100	272	400	360.7	6239
8	0	10	45	200	63.5	513
8	0	20	60	300	104.7	1015
8	0	30	91	300	119.8	1465
8	0	40	104	350	146	2070
8	0	50	130	350	198.4	2708
8	0	60	136	400	218.7	3600
8	0	70	159	400	218.7	3600
8	0	80	181	400	250.7	3920
8	0	90	204	400	295.4	4954
8	0	100	227	400	295.4	4954
8	1	10	46	200	63.5	513
8	1	20	61	300	104.7	1015
8	1	30	91	300	119.8	1465
8	1	40	104	350	146	2070
8	1	50	130	350	198.4	2708
8	1	60	137	400	202	2927
8	1	70	159	400	218.7	3600
8	1	80	182	400	250.7	3920
8	1	90	205	400	295.4	4954
8	1	100	227	400	295.4	4954

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
8	10	10	50	200	83.69	698
8	10	20	65	300	104.7	1015
8	10	30	95	300	134.8	1577
8	10	40	108	350	146	2070
8	10	50	134	350	198.4	2708
8	10	60	141	400	202	2927
8	10	70	163	400	218.7	3600
8	10	80	186	400	250.7	3920
8	10	90	209	400	295.4	4954
8	10	100	231	400	295.4	4954
8	20	10	54	200	83.69	698
8	20	20	70	300	110.8	1353
8	20	30	100	300	134.8	1577
8	20	40	113	350	146	2070
8	20	50	139	350	198.4	2708
8	20	60	145	400	218.7	3600
8	20	70	168	400	218.7	3600
8	20	80	190	400	250.7	3920
8	20	90	213	400	295.4	4954
8	20	100	236	400	295.4	4954
8	30	10	50	250	83.69	698
8	30	20	74	300	110.8	1353
8	30	30	104	300	134.8	1669
8	30	40	117	350	166.6	2247
8	30	50	143	350	198.4	2708
8	30	60	150	400	218.7	3600
8	30	70	172	400	218.7	3600

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
8	30	80	195	400	254.9	4207
8	30	90	218	400	295.4	4954
8	30	100	240	400	295.4	4954
8	40	10	54	250	84.7	859
8	40	20	79	300	110.8	1353
8	40	30	96	350	146	2070
8	40	40	122	350	166.6	2247
8	40	50	148	350	198.4	2708
8	40	60	154	400	218.7	3600
8	40	70	177	400	218.7	3600
8	40	80	200	400	254.9	4207
8	40	90	222	400	295.4	4954
8	40	100	245	400	360.7	6239
8	50	10	53	300	84.7	859
8	50	20	83	300	110.8	1353
8	50	30	100	350	146	2070
8	50	40	126	350	166.6	2247
8	50	50	152	350	198.4	2708
8	50	60	159	400	218.7	3600
8	50	70	181	400	254.9	4207
8	50	80	204	400	254.9	4207
8	50	90	227	400	295.4	4954
8	50	100	249	400	360.7	6239
8	60	10	57	300	84.7	859
8	60	20	88	300	119.8	1465
8	60	30	105	350	146	2070
8	60	40	131	350	173.9	2493

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
8	60	50	157	350	202	2927
8	60	60	163	400	218.7	3600
8	60	70	186	400	254.9	4207
8	60	80	209	400	254.9	4207
8	60	90	231	400	295.4	4954
8	60	100	254	400	360.7	6239
8	70	10	62	300	104.7	1015
8	70	20	92	300	119.8	1465
8	70	30	109	350	146	2070
8	70	40	135	350	173.9	2493
8	70	50	145	400	202	2927
8	70	60	168	400	218.7	3600
8	70	70	190	400	254.9	4207
8	70	80	213	400	295.4	4954
8	70	90	236	400	295.4	4954
8	70	100	259	400	360.7	6239
8	80	10	67	300	104.7	1015
8	80	20	88	350	134.8	1577
8	80	30	114	350	146	2070
8	80	40	140	350	173.9	2493
8	80	50	150	400	218.7	3600
8	80	60	172	400	218.7	3600
8	80	70	195	400	254.9	4207
8	80	80	218	400	295.4	4954
8	80	90	240	400	295.4	4954
8	80	100	263	400	360.7	6239
8	90	10	71	300	110.8	1353

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
8	90	20	93	350	134.8	1577
8	90	30	119	350	146	2070
8	90	40	132	400	198.4	2708
8	90	50	154	400	218.7	3600
8	90	60	177	400	218.7	3600
8	90	70	200	400	254.9	4207
8	90	80	222	400	295.4	4954
8	90	90	245	400	295.4	4954
8	90	100	268	400	360.7	6239
8	100	10	76	300	110.8	1353
8	100	20	97	350	134.8	1669
8	100	30	123	350	166.6	2247
8	100	40	149	350	198.4	2708
8	100	50	159	400	218.7	3600
8	100	60	181	400	218.7	3600
8	100	70	204	400	254.9	4207
8	100	80	227	400	295.4	4954
8	100	90	249	400	360.7	6239
8	100	100	272	400	360.7	6239
9	0	10	45	200	63.5	513
9	0	20	60	300	104.7	1015
9	0	30	91	300	119.8	1465
9	0	40	104	350	146	2070
9	0	50	130	350	198.4	2708
9	0	60	136	400	218.7	3600
9	0	70	159	400	218.7	3600
9	0	80	181	400	250.7	3920

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
9	0	90	204	400	295.4	4954
9	0	100	227	400	295.4	4954
9	1	10	46	200	63.5	513
9	1	20	61	300	104.7	1015
9	1	30	91	300	119.8	1465
9	1	40	104	350	146	2070
9	1	50	130	350	198.4	2708
9	1	60	137	400	202	2927
9	1	70	159	400	218.7	3600
9	1	80	182	400	250.7	3920
9	1	90	205	400	295.4	4954
9	1	100	227	400	295.4	4954
9	10	10	50	200	83.69	698
9	10	20	65	300	104.7	1015
9	10	30	95	300	134.8	1577
9	10	40	108	350	146	2070
9	10	50	134	350	198.4	2708
9	10	60	141	400	202	2927
9	10	70	163	400	218.7	3600
9	10	80	186	400	250.7	3920
9	10	90	209	400	295.4	4954
9	10	100	231	400	295.4	4954
9	20	10	54	200	83.69	698
9	20	20	70	300	110.8	1353
9	20	30	100	300	134.8	1577
9	20	40	113	350	146	2070
9	20	50	139	350	198.4	2708

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
9	20	60	145	400	218.7	3600
9	20	70	168	400	218.7	3600
9	20	80	190	400	250.7	3920
9	20	90	213	400	295.4	4954
9	20	100	236	400	295.4	4954
9	30	10	50	250	84.7	859
9	30	20	74	300	110.8	1353
9	30	30	104	300	134.8	1669
9	30	40	117	350	166.6	2247
9	30	50	143	350	198.4	2708
9	30	60	150	400	218.7	3600
9	30	70	172	400	218.7	3600
9	30	80	195	400	254.9	4207
9	30	90	218	400	295.4	4954
9	30	100	240	400	295.4	4954
9	40	10	54	250	84.7	859
9	40	20	79	300	110.8	1353
9	40	30	96	350	146	2070
9	40	40	122	350	166.6	2247
9	40	50	148	350	198.4	2708
9	40	60	154	400	218.7	3600
9	40	70	177	400	254.9	4207
9	40	80	200	400	254.9	4207
9	40	90	222	400	295.4	4954
9	40	100	245	400	360.7	6239
9	50	10	53	300	84.7	859
9	50	20	83	300	110.8	1353

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
9	50	30	100	350	146	2070
9	50	40	126	350	173.9	2493
9	50	50	152	350	202	2927
9	50	60	159	400	218.7	3600
9	50	70	181	400	254.9	4207
9	50	80	204	400	254.9	4207
9	50	90	227	400	295.4	4954
9	50	100	249	400	360.7	6239
9	60	10	57	300	104.7	1015
9	60	20	88	300	119.8	1465
9	60	30	105	350	146	2070
9	60	40	131	350	173.9	2493
9	60	50	157	350	202	2927
9	60	60	163	400	218.7	3600
9	60	70	186	400	254.9	4207
9	60	80	209	400	295.4	4954
9	60	90	231	400	295.4	4954
9	60	100	254	400	360.7	6239
9	70	10	62	300	104.7	1015
9	70	20	92	300	119.8	1465
9	70	30	109	350	146	2070
9	70	40	135	350	173.9	2493
9	70	50	145	400	202	2927
9	70	60	168	400	218.7	3600
9	70	70	190	400	254.9	4207
9	70	80	213	400	295.4	4954
9	70	90	236	400	295.4	4954

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
9	70	100	259	400	360.7	6239
9	80	10	67	300	110.8	1353
9	80	20	88	350	134.8	1577
9	80	30	114	350	146	2070
9	80	40	140	350	198.4	2708
9	80	50	150	400	218.7	3600
9	80	60	172	400	218.7	3600
9	80	70	195	400	254.9	4207
9	80	80	218	400	295.4	4954
9	80	90	240	400	295.4	4954
9	80	100	263	400	360.7	6239
9	90	10	71	300	110.8	1353
9	90	20	93	350	134.8	1669
9	90	30	119	350	166.6	2247
9	90	40	132	400	198.4	2708
9	90	50	154	400	218.7	3600
9	90	60	177	400	218.7	3600
9	90	70	200	400	254.9	4207
9	90	80	222	400	295.4	4954
9	90	90	245	400	360.7	6239
9	90	100	268	400	360.7	6239
9	100	10	76	300	110.8	1353
9	100	20	97	350	146	2070
9	100	30	123	350	166.6	2247
9	100	40	149	350	198.4	2708
9	100	50	159	400	218.7	3600
9	100	60	181	400	254.9	4207

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
9	100	70	204	400	254.9	4207
9	100	80	227	400	295.4	4954
9	100	90	249	400	360.7	6239
9	100	100	272	400	360.7	6239
10	0	10	45	200	63.5	513
10	0	20	60	300	104.7	1015
10	0	30	91	300	119.8	1465
10	0	40	104	350	146	2070
10	0	50	130	350	198.4	2708
10	0	60	136	400	218.7	3600
10	0	70	159	400	218.7	3600
10	0	80	181	400	250.7	3920
10	0	90	204	400	295.4	4954
10	0	100	227	400	295.4	4954
10	1	10	46	200	63.5	513
10	1	20	61	300	104.7	1015
10	1	30	91	300	119.8	1465
10	1	40	104	350	146	2070
10	1	50	130	350	198.4	2708
10	1	60	137	400	202	2927
10	1	70	159	400	218.7	3600
10	1	80	182	400	250.7	3920
10	1	90	205	400	295.4	4954
10	1	100	227	400	295.4	4954
10	10	10	50	200	83.69	698
10	10	20	65	300	110.8	1353
10	10	30	95	300	134.8	1577

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
10	10	40	108	350	146	2070
10	10	50	134	350	198.4	2708
10	10	60	141	400	202	2927
10	10	70	163	400	218.7	3600
10	10	80	186	400	250.7	3920
10	10	90	209	400	295.4	4954
10	10	100	231	400	295.4	4954
10	20	10	54	200	83.69	698
10	20	20	70	300	110.8	1353
10	20	30	100	300	134.8	1577
10	20	40	113	350	146	2070
10	20	50	139	350	198.4	2708
10	20	60	145	400	218.7	3600
10	20	70	168	400	218.7	3600
10	20	80	190	400	250.7	3920
10	20	90	213	400	295.4	4954
10	20	100	236	400	295.4	4954
10	30	10	50	250	84.7	859
10	30	20	74	300	110.8	1353
10	30	30	104	300	134.8	1669
10	30	40	117	350	166.6	2247
10	30	50	143	350	198.4	2708
10	30	60	150	400	218.7	3600
10	30	70	172	400	218.7	3600
10	30	80	195	400	254.9	4207
10	30	90	218	400	295.4	4954
10	30	100	240	400	295.4	4954

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
10	40	10	54	250	84.7	859
10	40	20	79	300	110.8	1353
10	40	30	96	350	146	2070
10	40	40	122	350	166.6	2247
10	40	50	148	350	198.4	2708
10	40	60	154	400	218.7	3600
10	40	70	177	400	254.9	4207
10	40	80	200	400	254.9	4207
10	40	90	222	400	295.4	4954
10	40	100	245	400	360.7	6239
10	50	10	53	300	104.7	1015
10	50	20	83	300	119.8	1465
10	50	30	100	350	146	2070
10	50	40	126	350	173.9	2493
10	50	50	152	350	202	2927
10	50	60	159	400	218.7	3600
10	50	70	181	400	254.9	4207
10	50	80	204	400	254.9	4207
10	50	90	227	400	295.4	4954
10	50	100	249	400	360.7	6239
10	60	10	57	300	104.7	1015
10	60	20	88	300	119.8	1465
10	60	30	105	350	146	2070
10	60	40	131	350	173.9	2493
10	60	50	157	350	202	2927
10	60	60	163	400	218.7	3600
10	60	70	186	400	254.9	4207

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
10	60	80	209	400	295.4	4954
10	60	90	231	400	295.4	4954
10	60	100	254	400	360.7	6239
10	70	10	62	300	110.8	1353
10	70	20	84	350	134.8	1577
10	70	30	109	350	146	2070
10	70	40	135	350	173.9	2493
10	70	50	145	400	218.7	3600
10	70	60	168	400	218.7	3600
10	70	70	190	400	254.9	4207
10	70	80	213	400	295.4	4954
10	70	90	236	400	295.4	4954
10	70	100	259	400	360.7	6239
10	80	10	67	300	110.8	1353
10	80	20	88	350	134.8	1669
10	80	30	114	350	166.6	2247
10	80	40	140	350	198.4	2708
10	80	50	150	400	218.7	3600
10	80	60	172	400	218.7	3600
10	80	70	195	400	254.9	4207
10	80	80	218	400	295.4	4954
10	80	90	240	400	295.4	4954
10	80	100	263	400	360.7	6239
10	90	10	71	300	110.8	1353
10	90	20	93	350	146	2070
10	90	30	119	350	166.6	2247
10	90	40	132	400	198.4	2708

Length (m)	Axial Force (tons)	End Moment (tons.m)	Area (Req.) (cm ²)	Select. W	A _g (cm ²)	Z _x (cm ³)
10	90	50	154	400	218.7	3600
10	90	60	177	400	254.9	4207
10	90	70	200	400	254.9	4207
10	90	80	222	400	295.4	4954
10	90	90	245	400	360.7	6239
10	90	100	268	400	360.7	6239
10	100	10	76	300	110.8	1353
10	100	20	97	350	146	2070
10	100	30	123	350	166.6	2247
10	100	40	149	350	198.4	2708
10	100	50	159	400	218.7	3600
10	100	60	181	400	254.9	4207
10	100	70	204	400	254.9	4207
10	100	80	227	400	295.4	4954
10	100	90	249	400	360.7	6239
10	100	100	272	400	360.7	6239

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายทักษกร พรบุญญานนท์
 ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Thaksakorn Pornbunyanon
 ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
 หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตั้งอยู่เลขที่ 99 หมู่ 4 ตำบลท้องเนียน อำเภอนนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช 80210 สำนักงาน : (0) 7575 24-36 # 6003, แฟกซ์ : (0) 7575 4028, มือถือ : (0) 80 868 2177 E-mail : thaksakorn.p@rmutsv.ac.th

ประวัติการศึกษา

Date of Graduation	Level	Cert., Degree	Major	Name of Institute/ Province
2018	Doctoral.	Ph.D.	Civil Engineering Structural Eng	Prince of Songkla university/Thailand, SKA
2011	Master:	M. ENG	Civil Engineering Structural Eng	Prince of Songkla university/Thailand, SKA
2008	Bachelor:	B. ENG	Civil Engineering	Prince of Songkla university/Thailand, SKA