การออกแบบแชสซีของรถบรรทุกกึ่งพ่วงอย่างเหมาะสม สำหรับกรณีรับภาระแรงกระจายสม่ำเสมอ

สิทธิเดช เพชราช

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
กุมภาพันธ์ 2567
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การออกแบบแชสซีของรถบรรทุกกึ่งพ่วงอย่างเหมาะสม
สำหรับกรณีรับภาระแรงกระจายสม่ำเสมอ

สิทธิเดช เพชราช

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
กุมภาพันธ์ 2567
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

OPTIMUM DESIGN OF SEMI-TRAILER TRUCK CHASSIS SUBJECTED TO A UNIFORMLY DISTRIBUTED LOAD

SITTIDECH PETCHARAT

A Thesis Submitted to University of Phayao

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Master of Engineering Degree in Mechanical Engineering

February 2024

Copyright 2024 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบแชสซีของรถบรรทุกกึ่งพ่วงอย่างเหมาะสม

สำหรับกรณีรับภาระแรงกระจายสม่ำเสมอ

ของ สิทธิเดช เพชราช

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย ฟองสมุทร)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม อรุณ)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นัทธิ์ธนนท์ พงษ์พานิช)

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงศ์ ดำรงวิริยะนุภาพ)

เรื่อง: การออกแบบแชสซีของรถบรรทุกกึ่งพ่วงอย่างเหมาะสม
สำหรับกรณีรับภาระแรงกระจายสม่ำเสมอ

ผู้วิจัย: สิทธิเดช เพชราช, วิทยานิพนธ์: วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2566

อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม อรุณ

คำสำคัญ: แชสซีรถบรรทุก, สมการสามโมเมนต์, ไฟไนต์เอลิเมนต์, การหาค่าเหมาะสมที่สุด

บทคัดย่อ

การออกแบบแชสซีของส่วนพ่วงของรถบรรทุกโดยทั่วไปนั้นจะพิจารณาให้แชสซีเป็นคานอย่างง่ายที่มีจุดรองรับ 2 ตำแหน่ง เนื่องจากวิธีดังกล่าวง่ายต่อการประเมินหาค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจากภาระโหลดบรรทุก แต่ค่าโมเมนต์ดัดที่ได้จากวิธีการนี้จะมีค่ามากกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง ส่งผลให้ขั้นตอนการเลือกขนาดของแชสซีทำให้ได้แชสซีที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าที่ควรจะเป็น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวทางสำหรับการออกแบบแชสซีของรถบรรทุกให้มีความถูกต้องมากขึ้น โดยใช้วิธีสมการสามโมเมนต์และวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการประเมินค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแชสซี และใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดเพื่อเลือกขนาดของแชสซีที่เหมาะสม จากการประยุกต์ใช้วิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยกับกรณีศึกษาซึ่งเป็นการออกแบบแชสซีรถบรรทุกกึ่งพ่วงรับภาระขนาด 30 ตัน พบว่า แชสซีที่ถูกออกแบบมีขนาดที่เหมาะสมกับภาระมากขึ้น โดยภายใต้เงื่อนไขค่าความปลอดภัยไม่ต่ำกว่า 4 แชสซี ที่ถูกออกแบบด้วยการพิจารณาให้เป็นคานอย่างง่ายนั้นมีน้ำหนักเท่ากับ 865 kg ในขณะที่แชสซีที่ถูกออกแบบด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ร่วมกับวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดมีน้ำหนักเท่ากับ 583 kg และแชสซีถูกออกแบบด้วยวิธีสมการสามโมเมนต์มีน้ำหนักเท่ากับ 710 kg และเมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีการที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่า ค่าความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในแชสซีมีความแตกต่างกันไม่เกิน 5% ดังนั้น วิธีได้นำเสนอในงานวิจัยนี้จึงสามารถใช้ในการออกแบบขนาดแชสซีได้อย่างถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ

Title: OPTIMUM DESIGN OF SEMI-TRAILER TRUCK CHASSIS SUBJECTED TO A UNIFORMLY DISTRIBUTED LOAD

Author: Sittidech Petcharat, Thesis: M.Eng. (Mechanical Engineering), University of Phayao, 2023

Advisor: Assistant Professor Dr. Sutham Arun

Keywords: Truck chassis, Three-moment equation, Finite element, Optimization

ABSTRACT

In the current design of chassis for semi-trailer trucks, the chassis is typically considered as a simply supported beam. Although, this approach is convenient for estimating the values of bending moment occurring throughout the chassis, it leads to an overestimation of the actuals bending moments. As a results, the chassis is designed to be larger than necessary. According to this issue, this research proposes a new approach to enhance the accuracy of chassis design of semi-trailer truck. This approach employs the three-moment equation method and finite element method to more accurately estimate the bending moment in the chassis. Subsequently, an optimization technique is applied to evaluate the optimum size of chassis. By applying the research method to a case study involving the design of semi-trailer truck chassis subjected to a uniform load 30 tons, it was found that the proposed approach results in a more optimal chassis size. The conventional method (simply supported beam) yields a chassis weight of 865 kg, while the chassis designed using the finite element method combined with an optimization technique weighs 583 kg, and the chassis designed using the three-moment equation method weighs 710 kg. In addition, when comparing the results from the research method with those from the finite element model, the differences were found to be within 5%. This indicates the acceptability of the proposed approach in this research.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม อรุณ ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชญ์พล ฟักแก้ว กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งยังเมตตาและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้า ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยาทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาแก่ข้าพเจ้า รวมทั้งให้คำแนะนำและคำปรึกษาแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ได้มอบทุนการศึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาให้แก่ข้าพเจ้าในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยให้กำลังใจ และกำลังสนับสนุนในการทำงาน การดำเนินชีวิต และการศึกษา และขอบคุณทุก ๆ ท่านที่มิได้กล่าวมา ณ ที่นี้ด้วย

สิทธิเดช เพชราช

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

อักษรย่อ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

ขอบเขตของงานวิจัย 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

ทฤษฎีคาน (Beam) 5

ทฤษฎีแรงเฉือนในคาน (Shearing force) 6

ทฤษฎีโมเมนต์ดัดในคาน (Bending moment) 7

ทฤษฎีสมการสามโมเมนต์ (Three-Moment Equation) 8

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) 11

วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) 17

วิธีการวิวัฒนาการ (Evolutionary algorithm) 18

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 23
การออกแบบโดยใช้วิธีสมการสามโมเมนต์ในการคำนวณแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ 23
แนวทางการออกแบบแชสซีรถบรรทุกโดยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ 28
ขั้นตอนออกแบบแชสซีของรถบรรทุกด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด 31
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....37
กรณีศึกษา.....37
การออกแบบโดยใช้วิธีสมการสามโมเมนต์.....38
การออกแบบด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด 43
บทที่ 5 บทสรุป 52
สรุปผลการวิจัย 52
ข้อเสนอแนะ.....52
บรรณานุกรม 54
ภาคผนวก 56
ภาคผนวก ก แสดงการหาค่า Element Stiffness Matrix ของคาน.....57
ภาคผนวก ข แสดงการหาค่า Element Stiffness Matrix ของคานเรียว.....58
ภาคผนวก ค การใช้งานชุดโปรแกรม 61
ประวัติผู้วิจัย 69

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงค่า L_0 และ R_0 ตามลักษณะของน้ำหนักบรรทุก 10

ตาราง 2 แสดงข้อมูลสัดส่วนของรถรถบรรทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 60 32

ตาราง 3 แสดงค่าโมเมนต์ดัดที่ตำแหน่งจุดรองรับ.....38

ตาราง 4 แสดงสมการโมเมนต์ดัดของคานต่อเนื่อง 39

ตาราง 5 แสดงเปรียบเทียบการแชสซีที่คำนวณโดยวิธีดั้งเดิมและวิธีสมการสามโมเมนต์.....40

ตาราง 6 แสดงคุณสมบัติของแชสซีที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม 44

ตาราง 7 แสดงเปรียบเทียบการแชสซีที่คำนวณโดยวิธีดั้งเดิมและวิธีการหา ค่าที่เหมาะสมที่สุด 45

ตาราง 8 แสดงการเปรียบเทียบขนาดและตำแหน่งของความเค้นสูงสุด 48

ตาราง 9 แสดงผลความเค้นดัดที่เกิดขึ้นของลักษณะโหลดรูปแบบต่าง ๆ..... 51

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 แสดง (ก) หัวลาก และ (ข) รถกึ่งพ่วง 1

ภาพ 2 แสดง (ก) รถกึ่งพ่วงหรือส่วนพ่วงของรถบรรทุก และ (ข) แผนภาพอิสระของ แชสซีรถบรรทุก 3

ภาพ 3 แสดงตัวอย่างคานประเภทดีเทอร์มิเนท; (ก) คานอย่างง่าย, (ข) คานปลายยื่น และ (ค) คานแขวน 5

ภาพ 4 แสดงตัวอย่างคานประเภทอินดีเทอร์มิเนท; (ก) คานที่มีจุดยึดสองข้าง, (ข) คานปลายยื่นที่มีจุดรองรับที่ปลายยื่น (ค) คานต่อเนื่อง 6

ภาพ 5 แสดง (ก) แรงเฉือนที่มีเครื่องหมายบวก (ข) แรงเฉือนที่มีเครื่องหมายลบ 6

ภาพ 6 แสดงตัวอย่างการเขียนแผนภาพแรงเฉือน 7

ภาพ 7 แสดง (ก) โมเมนต์ดัดที่เป็นค่าบวก และ (ข) โมเมนต์ดัดที่เป็นค่าลบ 7

ภาพ 8 แสดงตัวอย่างเขียนแผนภาพโมเมนต์ดัด 8

ภาพ 9 แสดงคานต่อเนื่องรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวทางของวิธีสมการสามโมเมนต์ 9

ภาพ 10 แสดงส่วนตัดของคานขณะรับโหลดแบบแรงกระจาย 11

ภาพ 11 แสดง natural coordinate mapping 13

ภาพ 12 แสดงการเสียรูปในรูปแบบต่าง ๆ (ก) การเสียรูปด้วยการโก่งที่โหนดซ้าย, (ข) การเสียรูปด้วยการโก่งที่โหนดขวา, (ค) มุมที่เกิดขึ้นด้วยการโก่งที่โหนดซ้าย และ (ง) มุมที่เกิดขึ้นด้วยการโก่งที่โหนดขวา 14

ภาพ 13 แสดงผลจากการวิจัยของ Rahman และคณะ 19

ภาพ 14 แสดงผลจากการวิจัยของ Muhammad และคณะ 20

ภาพ 15 แสดงผลจากการวิจัยของ Patil และคณะ 20

ภาพ 16 แสดงผลจากการวิจัยของ Patel และคณะ 21

ภาพ 17 แสดงผลจากการวิจัยของ Jembere และคณะ 21

ภาพ 18 แสดงแบบจำลองของแชสซีขณะรับโหลด 23

ภาพ 19 แสดงการแบ่งช่วงของคานตามแนวทางของวิธีการสามโมเมนต์ 24

ภาพ 20 แสดงผังวัตถุอิสระสำหรับภาคตัดคานช่วงต่าง ๆ 26

ภาพ 21 แสดงส่วนตัดขวางของคานเรียวขณะรับโหลดแบบแรงกระจาย 29

ภาพ 22 แสดงลักษณะส่วนตัดขวางและหน้าตัดของคานเรียว 30

ภาพ 23 แสดงเงื่อนไขสัดส่วนของรถรถบรรทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 60 32

ภาพ 24 แสดงการพิจารณาในการแบ่งช่วงของคาน 34

ภาพ 25 แสดงไดอะแกรมแสดงการทำงานของโปรแกรมที่ออกแบบ 36

ภาพ 26 แสดงแชสซีของบริษัท เกษมรุ่งเรืองขนส่ง จำกัด 37

ภาพ 27 แสดงผังวัตถุอิสระของแชสซีของบริษัท เกษมรุ่งเรืองขนส่ง จำกัด 38

ภาพ 28 แสดงตารางเหล็ก H-beam ปีกกว้างของบริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด.....40

ภาพ 29 แสดงลักษณะการกำหนด Boundary condition และโหลดของแบบจำลอง จากวิธีสมการสามโมเมนต์ 41

ภาพ 30 แสดงผลกระจายตัวของความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในแชสซีขณะรับน้ำหนักบรรทุก ของแบบจำลองจากวิธีสมการสามโมเมนต์.....42

ภาพ 31 แสดงการเปรียบเทียบผลกระจายตัวของความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในแชสซี ขณะรับน้ำหนักบรรทุกระหว่างวิธีสมการสามโมเมนต์และแบบจำลอง ทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....42

ภาพ 32 แสดงหน้าต่างโปรแกรมสำหรับการออกแบบแชสซีในโปรแกรม MS excel.....43

ภาพ 33 แสดงลักษณะของคานที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม 45

ภาพ 34 แสดงลักษณะการกำหนด Boundary condition และโหลดของแบบจำลอง จากวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด 46

ภาพ 35 แสดงผลกระจายตัวของความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในแชสซีขณะรับน้ำหนักบรรทุก ของแบบจำลองจากวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด.....47

ภาพ 36 แสดงการเปรียบเทียบผลกระจายตัวของความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในแชสซี ขณะรับน้ำหนักบรรทุกระหว่างวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดและแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....47

ภาพ 37 แสดง (ก) ลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 1 (ข) ลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 2 (ค) ลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 3.....48

ภาพ 38 แสดง (ก) แบบจำลองลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 1 (ข) แบบจำลองลักษณะ บรรทุกในรูปแบบที่ 2 (ค) แบบจำลองลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 3.....49

ภาพ 39 แสดงผลกระจายตัวของความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในแชสซีขณะรับน้ำหนักบรรทุกของ (ก) ลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 1 (ข) ลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 2 (ค) ลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 3 50

อักษรย่อ

V	=	แรงเฉือนภายใน
M	=	โมเมนต์ดัด
L_n	=	ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ
I	=	โมเมนต์ความเฉื่อย
q	=	แรงกระจาย
L_0, R_0	=	ค่าคงที่เนื่องจากภาระโหลด มีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำหนักบรรทุก
w	=	ฟังก์ชันการเสียรูป
E	=	โมดูลัสความยืดหยุ่น
v	=	ฟังก์ชันสมมติใด ๆ
φ	=	ฟังก์ชันรูปร่าง
C	=	ฟังก์ชันการเสียรูปที่ขอบของโดเมน
N	=	จำนวนนับใด ๆ
h	=	ความยาวของเอลิเมนต์
ζ	=	พิกัดแกนธรรมชาติ
θ	=	มุมที่เกิดขึ้นจากการโก่งของโหนด
a	=	ตัวแปรไม่ทราบค่าที่ทำการสมมติขึ้น
K^e_{beam}	=	stiffness matrix ของคานหน้าตัดคงที่
$[k]$	=	local stiffness matrix
$\{f\}$	=	element force vector
$[K]$	=	global stiffness matrix
$\{F\}$	=	global force vector
$\{D\}$	=	global deformation vector
$f(x)$	=	ฟังก์ชันใด ๆ
x	=	ตำแหน่งใด ๆ ในแนวแกน
$b_{1\to3}$	=	ตัวแปรสมมติเพื่อใช้แทนค่า
D_n	=	ระยะระหว่างปลายด้านซ้ายสุดของคาน และจุดรองรับจุดที่ n
R_n	=	แรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่จุดรองรับจุดที่ n

n	=	สัญลักษณ์ที่ใช้แทนตำแหน่งต่าง ๆ ของคาน กำหนดให้มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มจาก 0 ถึง 6
σ	=	ความเค้นดัด
C	=	ระยะจากแนวแกนสะเทินของหน้าตัดนั้นไปยังผิวล่างสุดหรือบนสุดของหน้าตัด
S	=	section modulus
SF	=	ค่าความปลอดภัย
σ_y	=	ค่าความเค้นครากของวัสดุที่ใช้ในการทำโครงสร้างแชสซี
H	=	ความสูงของหน้าตัดรูปตัวเอช
b	=	ความกว้างของหน้าตัดรูปตัวเอช
t_1	=	ความหนาช่วงปีกบนของหน้าตัดรูปตัวเอช
t_2	=	ความหนาช่วงกลางของหน้าตัดรูปตัวเอช
ϕ	=	อัตราส่วนความสูงระหว่าง H_L / H_R
$c_{1\to2}$	=	ตัวแปรสมมติเพื่อใช้แทนค่า
$K^e_{tapered}$	=	stiffness matrix ของคานเรียว
W	=	น้ำหนักของแชสซีที่ออกแบบ
ρ	=	ความหนาแน่นของวัสดุที่นำมาใช้ทำแชสซี
A	=	พื้นที่หน้าตัดของแชสซี
L	=	ความยาวรวมของแชสซี
$No.$	=	หมายเลขขนาดหน้าตัดจากตารางเหล็กของบริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การขนส่งเป็นงานบริการที่มีส่วนสำคัญอย่างมากกับหลายภาคธุรกิจ เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในการกระจายสินค้าออกสู่ตลาด จากข้อมูลในช่วงปี 2562–2564 พบว่า ธุรกิจการขนส่งสินค้าของประเทศไทยมีแนวโน้มเติบโตเฉลี่ยปีละ 1–2% (ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด (มหาชน), 2564, สื่อออนไลน์) และเนื่องจากการขนส่งด้วยรถบรรทุกเป็นรูปแบบการขนส่งที่สามารถเข้าถึงพื้นที่เป้าหมายได้ง่ายและสะดวก ทำให้การขนส่งด้วยรถบรรทุกเป็นที่นิยมและมีปริมาณสูงสุดเมื่อเทียบกับงานบริการขนส่งในรูปแบบอื่น ๆ (ทศพล นภาสวัสดิ์, 2566)

รถกึ่งพ่วง (semi–trailer) แบบ 6 เพลา (ภาพ 1) เป็นประเภทของรถบรรทุกที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในงานขนส่ง โดยรถกึ่งพ่วงถูกประกอบเข้ากับรถหัวลากซึ่งมีลักษณะเป็นรถบรรทุกที่มีเพียงส่วนหัว และส่วนท้ายของรถหัวลากจะถูกออกแบบไว้สำหรับติดตั้งจานลากเทรลเลอร์ (fifth wheel) เพื่อประกอบกับรถกึ่งพ่วง จากกฎหมายทางหลวงรถบรรทุกได้กำหนดไว้ว่า รถบรรทุกประเภทนี้สามารถบรรทุกน้ำหนักได้ระหว่าง 45–50.5 ตัน ขึ้นอยู่กับการวางระยะของสลักพ่วง (กรมทางหลวง, 2558, สื่อออนไลน์)

(ก) (ข)

ภาพ 1 แสดง (ก) หัวลาก และ (ข) รถกึ่งพ่วง

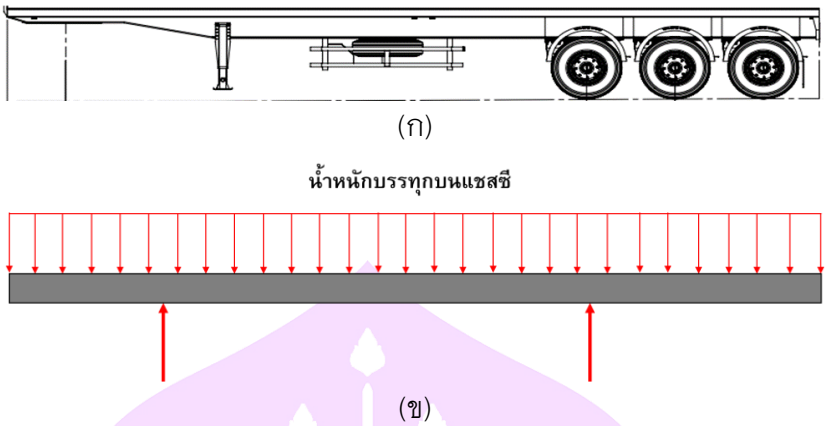
สำหรับขั้นตอนของการออกแบบและผลิตรถกึ่งพ่วงนั้น วิศวกรจะออกแบบแชสซี (chassis) ของรถกึ่งพ่วงให้มีความแข็งแรงสัมพันธ์กับน้ำหนักบรรทุกที่ทางกฎหมายกำหนด และยื่นเอกสารเพื่อขออนุมัติการรับรองแบบแชสซีแก่สำนักวิศวกรรมยานยนต์ (สนว.)

กรมการขนส่งทางบก โดยจะต้องแนบรายละเอียดการประเมินความแข็งแรงของแชสซีไปพร้อมกับเอกสารเพื่อยืนยันว่ารถกึ่งพ่วงที่ออกแบบนั้นมีความแข็งแรงเพียงพอในการรับน้ำหนักบรรทุกตามที่ขออนุญาติ เมื่อได้รับความเห็นชอบจาก สนว. เรียบร้อยแล้ว สวน. จะออกหมายเลขแชสซีให้แก่ผู้ผลิต เพื่อให้ผู้ผลิตสามารถดำเนินการผลิตรถกึ่งพ่วงตามแบบที่ได้ขออนุมัติไว้ ดังนั้นจะเห็นว่า ความแข็งแรงของแชสซีเป็นเงื่อนไขหลักที่ใช้ในการขออนุญาตผลิตรถกึ่งพ่วง

ขั้นตอนของการออกแบบแชสซีนั้น วิศวกรจะเริ่มต้นจากการกำหนดน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการซึ่งส่วนใหญ่จะพิจารณาจากน้ำหนักสูงสุดที่สามารถบรรทุกได้ตามกฎหมาย จากนั้นจึงนำข้อมูลน้ำหนักที่ต้องการไปใช้ในการคำนวณเพื่อเลือกขนาดเหล็กที่ใช้ในการขึ้นรูปแชสซีที่เหมาะสมกับค่าความปลอดภัยที่กำหนด อย่างไรก็ตามในการออกแบบแชสซีที่ดีนั้น นอกจากความแข็งแรงของโครงสร้างแล้ว น้ำหนักของแชสซียังถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญ เพราะหากแชสซีที่ออกแบบมีน้ำหนักเบา ย่อมหมายถึงต้นทุนการผลิตที่ลดลง ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกที่มากขึ้น และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ลดลงขณะวิ่งรถเปล่า

ปัจจุบัน วิศวกรจะออกแบบแชสซีโดยการพิจารณาให้แชสซีที่ออกแบบมีลักษณะเป็นคานอย่างง่าย (simply supported beam) ที่มีหน้าตัดคงที่ มีจุดรองรับคาน 2 จุด ได้แก่ บริเวณสลักพ่วง และบริเวณเพลากลาง และกำหนดให้น้ำหนักบรรทุกมีลักษณะเป็นแรงกระจายสม่ำเสมอกระทำตลอดแนวความยาวของแชสซี ซึ่งจะส่งผลให้แผนภาพอิสระแรงของแชสซีมีลักษณะตามที่ได้แสดงในภาพ 2(ข)

จากภาพ 2(ข) เมื่อกำหนดแผนภาพอิสระของแชสซีแล้ว วิศวกรจะคำนวณโมเมนต์ดัดและคำนวณความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในแชสซี จากนั้นจึงนำค่าความเค้นดัดสูงสุดที่ได้ไปคำนวณหาค่า section modulus ของหน้าตัดคานที่ให้ค่าความปลอดภัยไม่ต่ำกว่า 4 (วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน, 2556) เมื่อได้ค่า section modulus แล้ววิศวกรจะทำการเลือกขนาดเหล็กที่มีค่า section modulus ไม่ต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้จากตารางเหล็กเพื่อนำใช้ในการขึ้นรูปแชสซี



ภาพ 2 แสดง (ก) รถกึ่งพ่วงหรือส่วนพ่วงของรถบรรทุก และ (ข) แผนภาพอิสระของแชสซีรถบรรทุก

วิธีการออกแบบโดยพิจารณาให้โครงสร้างของแชสซีมีลักษณะเป็นคานอย่างง่ายที่มีหน้าตัดคงที่เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก เนื่องจากสามารถประเมินหาแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งจุดรองรับได้ทันทีจากสมการสมดุลแรง และสมการสมดุลโมเมนต์ และสามารถหาค่าความเค้นในคานได้ด้วยสมการพื้นฐานของรายวิชากลศาสตร์ของแข็ง แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโครงสร้างจริงของแชสซีของรถบรรทุก 6 เพลานั้น จะมีจุดรองรับทั้งหมด 5 ตำแหน่ง ได้แก่ บริเวณสลักพ่วง 1 ตำแหน่ง และบริเวณเต้าแหนบและเต้าโตงเตงอีก 4 ตำแหน่ง อีกทั้งยังถูกสร้างขึ้นด้วยคานที่มีหน้าตัดไม่คงที่ดังแสดงในภาพ 2(ก) ดังนั้นการประเมินค่าความเค้นด้วยสมมุติฐานของคานอย่างง่ายที่มีหน้าตัดคงที่จะส่งผลให้ค่าความเค้นที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจริงในแชสซี และเมื่อนำผลการคำนวณดังกล่าวไปใช้ในการเลือกขนาดเหล็ก ทำให้เหล็กที่ใช้ในการขึ้นรูปแชสซีมีขนาดที่ใหญ่ และมีน้ำหนักมากกว่าที่ควรจะเป็น ส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น และยังทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสในการบรรทุกสินค้า อีกทั้งยังทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงขึ้นในกรณีของการวิ่งรถเปล่า (ทศพล นภาสวัสดิ์, 2566)

จากที่กล่าวมาในข้างต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางในการออกแบบขนาดแชสซีรถบรรทุกใหม่ให้มีความถูกต้องมากขึ้น โดยได้นำองค์ความรู้จากทฤษฎีวิธีสมการสามโมเมนต์ (Three-Moment Equation) และวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) มาใช้ในการประเมินเพื่อหาค่าแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจริงในแชสซี และนำปัจจัยและเงื่อนไขอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อความเค้นนอกจากน้ำหนักบรรทุกมาใช้ในการสร้างสมการวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการออกแบบแชสซีของรถกึ่งพ่วงแบบ 6 เพลา โดยมีเป้าหมายให้แชสซี

ที่ได้รับการออกแบบมีน้ำหนักเบาภายใต้ค่าความปลอดภัยที่กำหนด ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะส่งผลให้การออกแบบแชสซีมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งยังสามารถเป็นแนวทางในการออกแบบแชสซีของรถบรรทุกประเภทอื่น ๆ ได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อนำเสนอแนวทางในการออกแบบแชสซีรถกึ่งพ่วงแบบ 6 เพลา
2. เพื่อสร้างสมการวัตถุประสงค์ (objective function) และชุดเงื่อนไข (constraints) สำหรับใช้ในการออกแบบโปรแกรมการคำนวณสำหรับผู้ที่ต้องการออกแบบแชสซีรถบรรทุก

ขอบเขตของงานวิจัย

1. แชสซีทำจากเหล็กรูปตัวเอช และมีจุดรองรับทั้งหมด 5 ตำแหน่ง
2. ภาระของแชสซีรถบรรทุกถูกกำหนดให้เป็นแบบแรงกระจายสม่ำเสมอ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. เป็นแนวทางในการออกแบบขนาดหน้าตัดของเหล็กแชสซีของส่วนพ่วงรถบรรทุก 6 เพลา
2. สามารถลดระยะเวลาในการออกแบบแชสซีรถบรรทุกกึ่งพ่วงแบบ 6 เพลาได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทที่ 2 กล่าวถึงองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัย โดยเนื้อหาในบทนี้จะเริ่มต้นจาก ทฤษฎีของคาน, แรงเฉือนในคาน, โมเมนต์ดัดในคาน, วิธีสมการสามโมเมนต์, วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์, วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด, วิธีการวิวัฒนาการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีคาน (Beam)

คานเป็นโครงสร้างที่วางตัวในแนวนอน รับแรงกระทำตั้งฉากกับแนวแกนของคาน ซึ่งแรงกระทำดังกล่าวจะส่งผลให้มีแรงภายในเกิดขึ้นกับคาน ได้แก่ โมเมนต์ดัด และแรงเฉือนคาน สามารถแบ่งประเภทตามลักษณะของการรองรับได้ดังต่อไปนี้

1. คานประเภทดีเทอร์มิเนท (Determinate beam)

คานประเภทดีเทอร์มิเนทเป็นคานที่สามารถหาค่าแรงปฏิกิริยาได้ด้วยวิธีทางสถิตยศาสตร์ปกติ ตัวอย่างของคานลักษณะนี้ ได้แก่ คานอย่างง่าย (Simply support beam), คานปลายยื่น (Cantilever beam) และคานแขวน (Overhanging beam) โดยแสดงไว้ดังภาพ 3

ภาพ 3 แสดงตัวอย่างคานประเภทดีเทอร์มิเนท; (ก) คานอย่างง่าย, (ข) คานปลายยื่น และ (ค) คานแขวน

2. คานประเภทอินดีเทอร์มิเนท (Indeterminate beam)

คานประเภทนี้เป็นคานที่มีตัวรองรับมากขึ้นเป็นพิเศษทำให้ไม่สามารถหาค่าแรงปฏิกิริยาของคานด้วยสมการสมดุลเพียงอย่างเดียว เนื่องจากจำนวนของแรงปฏิกิริยาที่ไม่ทราบค่า มีมากกว่าจำนวนของสมการสมดุล จึงต้องนำเงื่อนไขของการเสียรูปมาใช้การสร้างสมการเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา หรืออาจจำเป็นต้องสร้างทฤษฎีเฉพาะขึ้นมาเพื่อหาค่าแรงปฏิกิริยา เช่น ทฤษฎีสมการสามโมเมนต์ (Three moment) เป็นต้น ตัวอย่างของคาน

ประเภทนี้ ได้แก่ คานที่มีจุดยึดสองข้าง (Double end fixed), คานปลายยื่นที่มีจุดรองรับที่ปลายยื่น (Restrain beam) และคานต่อเนื่อง (Continuous beam) เป็นต้น ดังแสดงไว้ดังภาพ 4

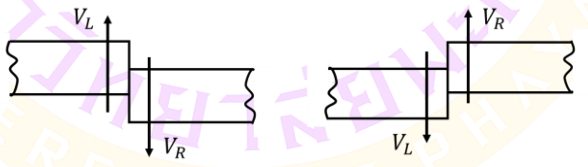
(ก) (ข) (ค)

ภาพ 4 แสดงตัวอย่างคานประเภทอินดีเทอร์มิเนท; (ก) คานที่มีจุดยึดสองข้าง, (ข) คานปลายยื่นที่มีจุดรองรับที่ปลายยื่น (ค) คานต่อเนื่อง

ทฤษฎีแรงเฉือนในคาน (Shearing force)

เมื่อมีภาระกระทำกับตั้งฉากกับแนวแกนคาน ภาระนั้นจะมีพฤติกรรมเป็นแรงเฉือนภายนอกที่มีทิศในแนวสัมผัสกับหน้าตัดของคาน และพยายามจะเลื่อนคานที่หน้าตัดนั้น ๆ ให้แยกออกจากกัน ดังนั้นทุก ๆ หน้าตัดของคานจะมีแรงเฉือนภายใน (V) หรือแรงเฉือนต้านเกิดขึ้นเพื่อพยามไม่ให้คานที่หน้าตัดของคานเลื่อนออกจากกัน

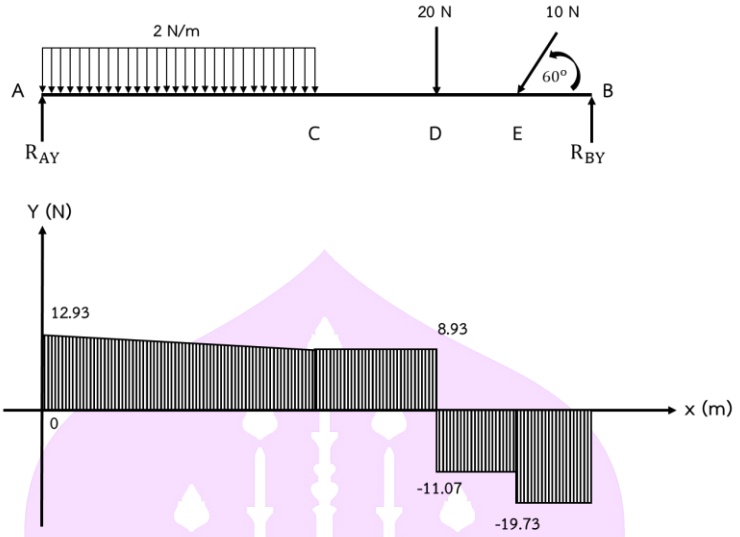
แรงเฉือนต้านที่เกิดขึ้นในแต่ละหน้าตัดของคานนั้น สามารถหาได้จากผลรวมพีชคณิตของแรงภายนอกที่กระทำในแนวตั้งฉากกับส่วนของโครงสร้างทางด้านใดด้านหนึ่งของหน้าตัดที่พิจารณา โดยมีการกำหนดเครื่องหมายของแรงเฉือนตามทิศทางของคาน เช่น แรงเฉือนที่ทำให้คานทางด้านซ้ายมีทิศขึ้นจะให้เป็นบวก และแรงเฉือนที่ทำให้คานทางด้านซ้ายมีทิศลงจะให้เป็นลบ โดยแสดงไว้ดังภาพ 5



(ก) (ข)

ภาพ 5 แสดง (ก) แรงเฉือนที่มีเครื่องหมายบวก (ข) แรงเฉือนที่มีเครื่องหมายลบ

ในการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างคาน จำเป็นต้องทราบลักษณะการกระจายตัวของแรงเฉือนที่เกิดขึ้นตลอดความยาวของคาน ดังนั้นจึงมีการเขียนแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเฉือนและความยาวของคาน โดยเรียกแผนภาพนี้ว่า แผนภาพแรงเฉือน (Shear force diagram: SFD) แสดงตัวอย่างของ SFD ดังภาพ 6

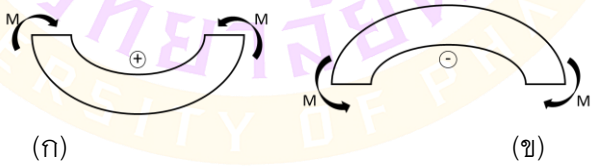


ภาพ 6 แสดงตัวอย่างการเขียนแผนภาพแรงเฉือน

ทฤษฎีโมเมนต์ดัดในคาน (Bending moment)

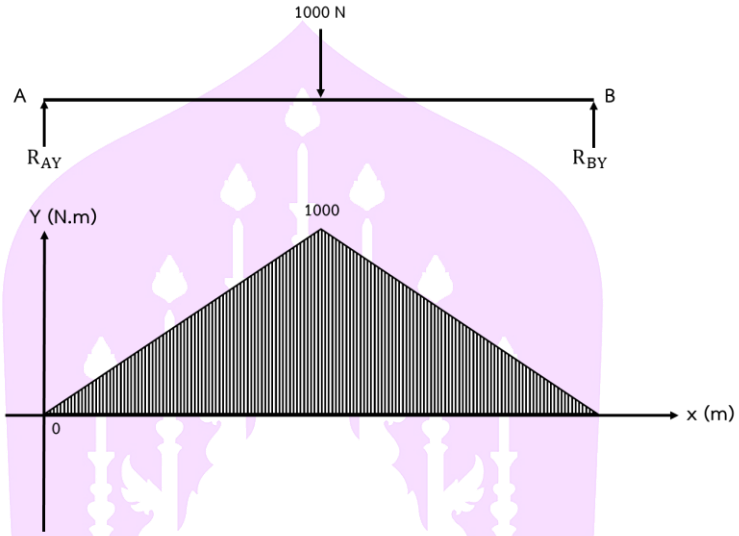
ในกรณีที่มีแรงมากระทำกับคานจะส่งผลให้คานเกิดการแอ่นตัว หรือโก่งงอ โดยจะแอ่นตัวมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของแรง รูปร่างหน้าตัดของคาน และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำคาน ดังนั้นเพื่อให้คานอยู่ในสภาวะสมดุลขณะรับแรง แต่ละหน้าตัดของคานจะมีโมเมนต์เกิดขึ้นเพื่อช่วยต้านทานการแอ่นตัว หรือการโก่งงอของคาน เรียกว่า โมเมนต์ดัด

โมเมนต์ดัด ณ หน้าตัดส่วนใดส่วนหนึ่งของคาน สามารถหาได้จากผลรวมของพีชคณิตของโมเมนต์ที่ได้จากการกระทำของแรงซึ่งผ่านจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัดนั้น โดยเครื่องหมายของโมเมนต์ดัดสามารถอ้างอิงได้จากภาพ 7



ภาพ 7 แสดง (ก) โมเมนต์ดัดที่เป็นค่าบวก และ (ข) โมเมนต์ดัดที่เป็นค่าลบ

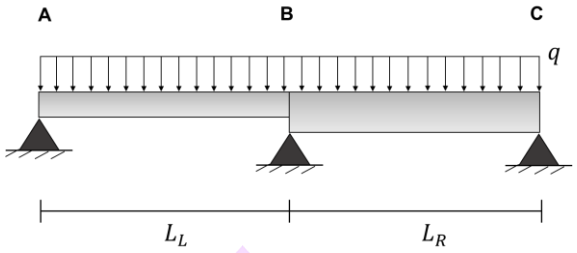
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นกับความยาวของคานเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่จำเป็นต้องทราบเพื่อใช้ในการประกอบการวิเคราะห์หรือออกแบบคาน ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวจะถูกแสดงด้วยแผนภาพโมเมนต์ดัด (Bending moment diagram: BMD) ดังแสดงไว้ในภาพ 8



ภาพ 8 แสดงตัวอย่างเขียนแผนภาพโมเมนต์ดัด

ทฤษฎีสมการสามโมเมนต์ (Three–Moment Equation)

วิธีสมการสามโมเมนต์เป็นวิธีแก้ปัญหาสำหรับคานต่อเนื่องหลายจุด โดยคานประเภทนี้จัดอยู่ในโครงสร้างแบบอินดีเทอร์มิเนท วิธีสมการสามโมเมนต์จะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดของจุดรองรับ 3 ตำแหน่งของคานต่อเนื่องขณะรับภาระโหลดดังแสดงในภาพ 9 จากภาพ หากคานที่พิจารณามีหน้าตัดคงที่ในแต่ละช่วงของความยาวคาน และวางอยู่บนจุดรองรับที่อยู่ในระดับเดียวกัน จะสามารถหาความสัมพันธ์ของโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่บริเวณจุดรองรับสามตำแหน่งต่อเนื่องกันได้โดยอาศัยวิธีพื้นที่โมเมนต์ (moment area method) (สิทธิชัย แสงอาทิตย์, ม.ป.ป.) ดังนี้



ภาพ 9 แสดงคานต่อเนื่องรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวทางของวิธีสมการสามโมเมนต์

$$\frac{M_A L_L}{I_L} + 2M_B\left(\frac{L_L}{I_L} + \frac{L_R}{I_R}\right) + \frac{M_C L_R}{I_R} = -\frac{L_0}{I_L} - \frac{R_0}{I_R} \qquad (1)$$

โดยที่

M_A, M_B และ M_C คือ โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น ณ จุดรองรับ A, B และ C ตามลำดับ

L_L คือ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ A และ B

L_R คือ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ B และ C

I_L คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ระหว่างจุดรองรับ A และ B

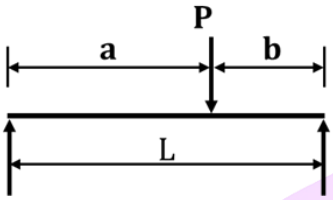
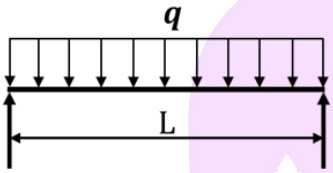
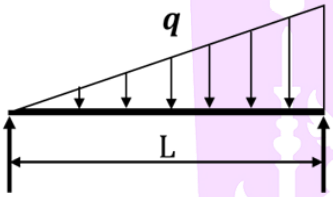
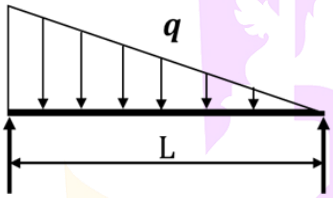
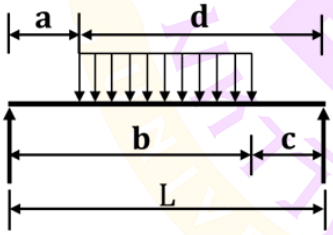
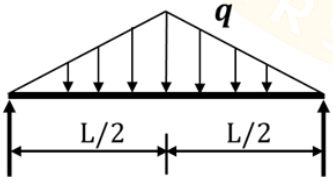
I_R คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ระหว่างจุดรองรับ B และ C

q คือ แรงกระจาย

L_0 และ R_0 คือ ค่าคงที่เนื่องจากภาระโหลด มีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำหนักบรรทุกดังแสดงในตาราง 1

สมการที่ 1 เรียกว่า Three-moment equation เป็นสมการที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ของโมเมนต์ดัดที่บริเวณจุดรองรับของคาน 3 ตำแหน่งต่อเนื่องกัน โดยที่เทอม L_0 และ R_0 ที่อยู่ทางขวามือของสมการที่ 1 สามารถคำนวณได้จากแผนภาพของโมเมนต์ดัด ซึ่งจะมีลักษณะที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำหนักบรรทุกตามที่ได้แสดงในตาราง 1 อย่างไรก็ตาม จากสมมติฐานที่ใช้ในการสร้างสมการ ทำให้สมการที่ 1 มีข้อจำกัดอยู่ที่สามารถใช้ได้เฉพาะกรณีของคานที่มีหน้าตัดคงที่ในแต่ละช่วงความยาวเท่านั้น (EI คงที่)

ตาราง 1 แสดงค่า L_0 และ R_0 ตามลักษณะของน้ำหนักบรรทุก

ลักษณะของน้ำหนักบรรทุก	L_0	R_0
	$\frac{Pa}{L}(L^2-a^2)$	$\frac{Pa}{L}(L^2-b^2)$
	$\frac{qL^3}{4}$	$\frac{qL^3}{4}$
	$\frac{8qL^3}{60}$	$\frac{7qL^3}{60}$
	$\frac{7qL^3}{60}$	$\frac{8qL^3}{60}$
	$\frac{q}{4L}[b^2(2L^2-b^2)-a^2(2L^2-a^2)]$	$\frac{q}{4L}[d^2(2L^2-d^2)-c^2(2L^2-c^2)]$
	$\frac{5qL^3}{32}$	$\frac{5qL^3}{32}$

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM)

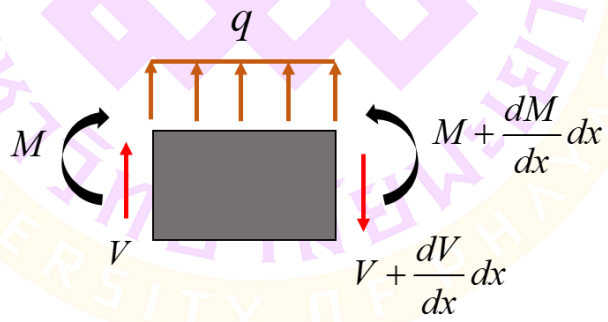
1. หลักการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีทางตัวเลข (Numerical method) ที่ใช้ประมาณค่าผลเฉลยของสมการเชิงอนุพันธ์ การแก้ปัญหาด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะเริ่มต้นจากการแบ่งโดเมนของปัญหาที่พิจารณาออกเป็นเอลิเมนต์ (element) เล็ก ๆ ในจำนวนที่จำกัด (finite) โดยแต่ละเอลิเมนต์จะเชื่อมโยงกันด้วยจุดต่อ (node) และทำการเลือกฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์ (element interpolation functions) เพื่อนำไปใช้ในการสร้างสมการของเอลิเมนต์ด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น วิธีการโดยตรง (direct approach) วิธีการแปรผัน (variation approach) และวิธีการถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (method of weighted residuals) เป็นต้น เมื่อได้สมการของเอลิเมนต์แล้วจะทำการรวมสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่อยู่ภายในโดเมนเข้าด้วยกันกลายเป็นระบบสมการขนาดใหญ่ และแทนค่าเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาลงในระบบสมการดังกล่าวเพื่อหาค่าผลเฉลยที่เกิดขึ้นแต่ละโหนด และนำค่าผลเฉลยในแต่ละโหนดไปหาค่าอื่น ๆ ที่ต้องการทราบต่อไป

2. การสร้างสมการของเอลิเมนต์ของคาน

หัวข้อนี้แสดงขั้นตอนการหาสมการของเอลิเมนต์ หรือ stiffness matrix ของคานด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง ซึ่งจะได้ระบบสมการที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินหาแรงปฏิกิริยาของคานได้ โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้ (ธงชัย ฟองสมุทร, ม.ป.ป.)

2.1 การหา strong form ของปัญหาคานที่รับภาระโหลดแบบแรงกระจาย



ภาพ 10 แสดงส่วนตัดของคานขณะรับโหลดแบบแรงกระจาย

ภาพ 10 แสดงภาคตัดของคาน 2 ภาคตัดที่อยู่ใกล้ ๆ กัน ห่างกันเป็นระยะ dx โดยที่ M คือ โมเมนต์ดัดภายในที่เกิดขึ้นบนภาคตัดทั้งสองอันเนื่องจากผลของแรงกระจาย (q) จากภาพ เมื่อประยุกต์ใช้สมการสมดุลของแรง และสมการสมดุลของโมเมนต์ จะสามารถหา

Governing equation หรือ strong from ของคานที่ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระจาย และการเสียรูป (deformation, w) ของคาน ได้ดังนี้

$$EI\frac{d^4w}{dx^4}=q \tag{2}$$

โดยที่ E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น

2.2 การหา weak form

ในการสร้างสมการของเอลิเมนต์นั้นจะต้องทำการเปลี่ยนรูปสมการเชิงอนุพันธ์จาก strong form ให้อยู่ในรูปแบบ weak form เสียก่อน โดยวิธีของ Weighted Residual Method นั้นจะดำเนินการโดยการคูณ strong form หรือสมการที่ 2 ด้วยฟังก์ชัน $v(x)$ ใด ๆ (admissible function) ที่มีความสอดคล้องกับเงื่อนไขขอบของปัญหา (essential boundary condition) และทำการหาปริพันธ์ตลอดทั้งโดเมน ดังนี้

$$\int EI\frac{d^4w}{dx^4}vdx=\int qvdx$$

$$EI\frac{d^3w}{dx^3}v\Big|_0^L-\int EI\frac{d^3w}{dx^3}\frac{dv}{dx}dx=\int qvdx$$

$$EI\frac{d^3w}{dx^3}v\Big|_0^L-EI\frac{d^2w}{dx^2}\frac{dv}{dx}v\Big|_0^L+\int EI\frac{d^2w}{dx^2}\frac{d^2v}{dx^2}dx=\int qvdx \tag{3}$$

สมการที่ 3 คือ weak form ของสมการที่ 2 ซึ่งเมื่อพิจารณาเงื่อนไขการรองรับคาน 3 รูปแบบ ได้แก่ การรองรับแบบปลายปล่อย (free end), การรองรับแบบยึดแน่น (fixed end) และการรองรับแบบสลัก (pin end) แสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขของการรองรับในแต่ละรูปแบบสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ w และอนุพันธ์ของ w เทียบกับระยะ x ได้ดังนี้

Free end: $w\neq 0 \quad \frac{dw}{dx}\neq 0 \quad \frac{d^2w}{dx^2}=0 \quad \frac{d^3w}{dx^3}=0$ (4a)

Fixed end: $w=0 \quad \frac{dw}{dx}=0 \quad \frac{d^2w}{dx^2}\neq 0 \quad \frac{d^3w}{dx^3}\neq 0$ (4b)

Pin end: $w=0 \quad \frac{dw}{dx}\neq 0 \quad \frac{d^2w}{dx^2}=0 \quad \frac{d^3w}{dx^3}\neq 0$ (4c)

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขการรองรับของคานจากสมการที่ 4 จะเห็นว่าสมการที่ 3 สามารถลดรูปได้เหลือ

$$\int EI\frac{d^2w}{dx^2}\frac{d^2v}{dx^2}dx=\int qvdx \tag{5}$$

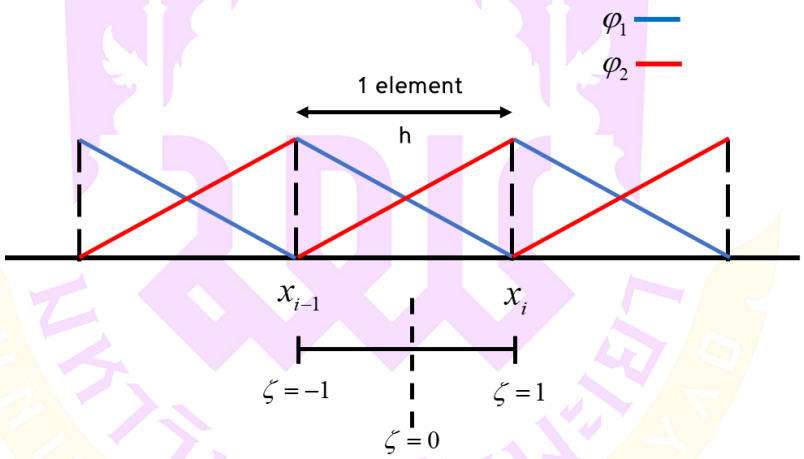
2.3 การประมาณค่าฟังก์ชันการเสียรูป $w(x)$

คำตอบของ weak form ในสมการที่ 3 สามารถหาได้โดยการเขียนฟังก์ชันการเสียรูปหรือ $w(x)$ และฟังก์ชัน $v(x)$ ให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันรูปร่าง (shape function, φ) ดังนี้

$$w(x) = \sum_{j=1}^{N} C_j \varphi_j(x) \quad \text{และ} \quad v(x) = \sum_{i=1}^{N} \varphi_i(x) \tag{6}$$

โดยที่ฟังก์ชัน $\varphi(x)$ ต้องมีความสอดคล้องกับเงื่อนไขขอบของคาน, C_j คือการเสียรูปที่เกิดขึ้นที่ขอบของโดเมน และ N คือจำนวนของฟังก์ชันรูปร่างโดยขึ้นอยู่กับระดับความเสรี (degree of freedom) ของโดเมน

อย่างไรก็ตามการประมาณค่าฟังก์ชัน $w(x)$ ตามที่ได้แสดงไว้ในสมการที่ 6 มีความซับซ้อนหากดำเนินการโดยใช้พิกัดปกติ (พิกัด x) ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงดำเนินการโดยแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์เล็ก ๆ ที่มีความยาว h และใช้พิกัดธรรมชาติ (natural coordinate, ζ) แทนพิกัดปกติ ดังแสดงในภาพ 11



ภาพ 11 แสดง natural coordinate mapping

จากภาพ 11 แสดงให้เห็นว่าแต่ละเอลิเมนต์ของคานประกอบไปด้วย 2 โหนด โดยที่พิกัดของโหนดซ้าย และโหนดขวาของแต่ละเอลิเมนต์จะอยู่ที่ตำแหน่ง ζ = –1 และ ζ = +1 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างพิกัด x และพิกัดของ ζ ได้ดังนี้

$$x = \frac{1}{2}(h\zeta + x_{i-1} + x_i) \tag{7}$$

$$\frac{dx}{d\zeta} = \frac{h}{2} \tag{8}$$

โดยที่ x_{i-1} และ x_i คือตำแหน่งของโหนดซ้าย และโหนดขวาของแต่ละเอลิเมนต์คานในพิกัดปกติ

2.4 การหาค่าฟังก์ชันรูปร่าง φ_i ของ Beam Element

จากภาพ 12 หากพิจารณาการเสียรูป พบว่า เอลิเมนต์ของคานนั้นมีระดับขั้นความเสรีอยู่ที่ 4 คือ

2.4.1 การโก่งตามแนวดิ่งของโหนดด้านซ้าย (w_1)

2.4.2 การหมุนหรือมุมที่เกิดขึ้นจากการโก่งของโหนดด้านซ้าย (θ_1)

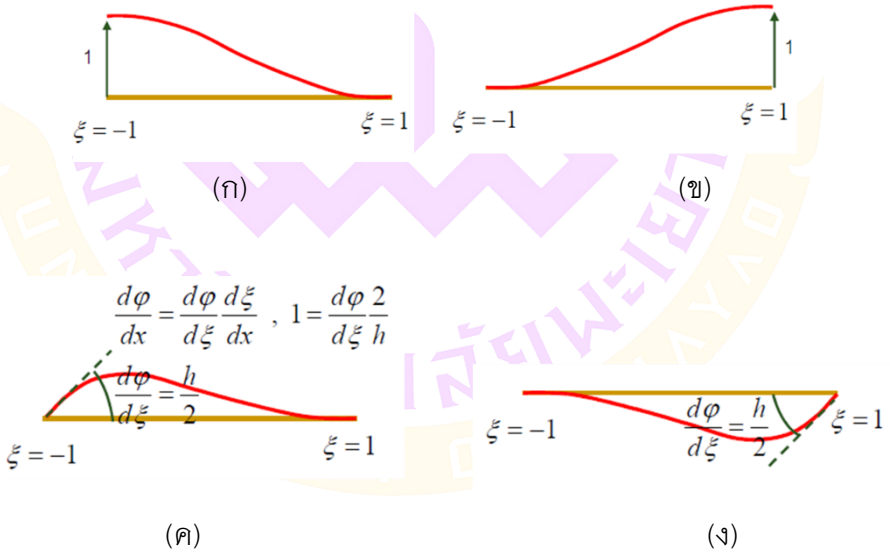
2.4.3 การโก่งตามแนวดิ่งของโหนดด้านขวา (w_2)

2.4.4 การหมุนหรือมุมที่เกิดขึ้นจากการโก่งของโหนดด้านขวา (θ_2)

ดังนั้น C_j ในสมการที่ 2.6 ซึ่งเป็นการเสียรูปที่เกิดขึ้นในแต่ละโหนดของเอลิเมนต์จึงสามารถเขียนได้ในรูป

$$C = \{w_1, \theta_1, w_2, \theta_2\}$$

ด้วยเหตุนี้ฟังก์ชันรูปร่างในสมการที่ 6 จึงมีทั้งหมด 4 ฟังก์ชัน โดยแต่ละฟังก์ชันมีความสอดคล้องกับการเสียรูปในแต่ละรูปแบบดังแสดงในภาพ 12



ภาพ 12 แสดงการเสียรูปในรูปแบบต่าง ๆ (ก) การเสียรูปด้วยการโก่งที่โหนดซ้าย, (ข) การเสียรูปด้วยการโก่งที่โหนดขวา, (ค) มุมที่เกิดขึ้นด้วยการโก่งที่โหนดซ้าย และ (ง) มุมที่เกิดขึ้นด้วยการโก่งที่โหนดขวา

จากภาพ 12 กำหนดให้ w_i และ θ_i เป็นฟังก์ชันของการเสียรูป โดยอยู่ในรูปแบบของสมการพหุนามดังนี้

$$w_i = a_0 + a_1\zeta + a_2\zeta^2 + a_3\zeta^3 \quad (9a)$$

$$\theta_i = \frac{dw_i}{d\zeta} = a_1 + 2a_2\zeta + 3a_3\zeta^2 \quad (9b)$$

ดังนั้นเมื่อพิจารณาการเสียรูปตามภาพ 12(ก) ซึ่งเป็นการเสียรูปที่มีระยะโก่งเกิดขึ้นที่บริเวณโหนดซ้ายมือ (w_1) เท่ากับ 1 หน่วยเพียงอย่างเดียว จะสามารถหาฟังก์ชันรูปร่างของรูปแบบที่ 1 (φ_1) ได้ด้วยการแทนเงื่อนไขการเสียรูปลงในสมการที่ 11 ดังนี้

$$w_1 = 1 = a_0 + a_1(-1) + a_2(-1)^2 + a_3(-1)^3$$

$$\theta_1 = 0 = a_1 + 2a_2(-1) + 3a_3(-1^2)$$

$$w_2 = 0 = a_0 + a_1(1) + a_2(1)^2 + a_3(1)^3$$

$$\theta_i = \frac{dw_i}{d\zeta} = a_1 + 2a_2\zeta + 3a_3\zeta^2$$

ทำการแก้ระบบสมการข้างต้นเพื่อหาค่า a_0 , a_1 , a_2 และ a_3 จะได้

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & -2 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.50 \\ -0.75 \\ 0 \\ 0.25 \end{bmatrix}$$

ดังนั้นฟังก์ชันรูปร่างที่สอดคล้องกับการเสียรูปตามภาพ 12(ก) คือ

$$\varphi_1 = \frac{1}{4}(2 - 3\zeta + \zeta^3) \quad (10)$$

จากแนวทางข้างต้นเมื่อทำการพิจารณาการเสียรูปในรูปแบบอื่นตามที่แสดงไว้ในภาพ 12 สามารถสร้างฟังชันรูปร่างที่สอดคล้องกับภาพ 12(ก–ง) ดังนี้

$$\varphi_1 = \frac{1}{4}(2 - 3\zeta + \zeta^3) \quad (11a)$$

$$\varphi_2 = \frac{h}{8}(1 - \zeta - \zeta^2 + \zeta^3) \quad (11b)$$

$$\varphi_3 = \frac{1}{4}(2 + 3\zeta - \zeta^3) \quad (11c)$$

$$\varphi_4 = \frac{h}{8}(-1 - \zeta + \zeta^2 + \zeta^3) \quad (11d)$$

โดยที่อนุพันธ์ของฟังก์รูปร่างมีค่าเท่ากับ

$$\frac{d^2\varphi_1}{d\zeta^2} = \frac{3}{2}\zeta \quad (12a)$$

$$\frac{d^2\varphi_2}{d\zeta^2} = \frac{h}{4}(-1+3\zeta) \tag{12b}$$

$$\frac{d^2\varphi_3}{d\zeta^2} = -\frac{3}{2}\zeta \tag{12c}$$

$$\frac{d^2\varphi_1}{d\zeta^2} = \frac{h}{4}(1+3\zeta) \tag{12d}$$

2.5 หาสมการของเอลิเมนต์ของคาน (stiffness matrix)

แทนค่าสมการที่ 6 ลงในสมการที่ 5 และใช้ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัด x และพิกัด ζ ตามที่ได้แสดงไว้ในสมการที่ 7 และ 8 จะสามารถเขียนสมการของเอลิเมนต์ของคานในรูปของพิกัด ζ ได้ดังนี้

$$K_{ij}^e = \int_{-1}^{1} EI \frac{d^2\varphi_i}{d\zeta^2}\left(\frac{d\zeta}{dx}\right)^2 \frac{d^2\varphi_j}{d\zeta^2}\left(\frac{d\zeta}{dx}\right)^2 \frac{dx}{d\zeta} d\zeta$$

$$K_{ij}^e = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI_{(\zeta)} \frac{d^2\varphi_i}{d\zeta^2}\frac{d^2\varphi_j}{d\zeta^2} d\zeta \tag{13a}$$

จากนั้นเมื่อแทนค่าฟังก์ชันรูปร่าง φ_i ลงในสมการที่ 13(a) จะได้สมการของเอลิเมนต์ หรือ stiffness matrix ของคานได้ดังต่อไปนี้

$$K_{beam}^e = \begin{bmatrix} K_{11}^e & K_{12}^e & K_{13}^e & K_{14}^e \\ K_{21}^e & K_{22}^e & K_{23}^e & K_{24}^e \\ K_{31}^e & K_{32}^e & K_{33}^e & K_{34}^e \\ K_{41}^e & K_{42}^e & K_{43}^e & K_{44}^e \end{bmatrix} \tag{13b}$$

โดยที่ค่าคงที่ K_{ij}^e ในสมการที่ 13 ได้ถูกแสดงไว้ใน **ภาคผนวก ก**

3. การใช้ commercial software ในการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยวิธีทาง FEM

ในปัจจุบันการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยวิธีทาง FEM นั้น จะถูกดำเนินการด้วยโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นจากบริษัทต่าง ๆ (commercial software) ซึ่งโปรแกรมที่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ได้แก่ ABAQUS, ANSYS, DYNA, NASTARN และ COSMOS เป็นต้น โดยโปรแกรมเหล่านี้มันมีขั้นตอนการใช้งานที่คล้ายคลึงกัน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างแบบจำลอง (Pre-processing) เป็นขั้นตอนในการสร้างแบบจำลอง เพื่อใช้ในการคำนวณ ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อย ดังนี้ (อนุชา พรมวังขวา, 2544)

1. ทำการวาดรูปร่าง (Geometry) ของโครงสร้างที่จะทำการวิเคราะห์
2. ใส่คุณสมบัติของวัสดุ

3. เลือกประเภทและชนิดของเอลิเมนต์ให้ตรงกับปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์

4. สร้างตาข่าย (Mesh) โปรแกรมจะสร้างเอลิเมนต์และโหนดพร้อมกับให้หมายเลขกำกับ

5. ใส่เงื่อนไขที่ขอบ (Pin, Roller, Fixed, Contact, อื่นๆ)

6. ใส่แรงกระทำจากภายนอก (แรงกระทำที่จุด, แรงกระจาย, น้ำหนัก ฯลฯ)

ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณ (Processing) เป็นการนำวิธีการคำนวณ หรือสมการช่วย (constitutive model) ที่เหมาะสมกับแบบจำลองที่สร้างมาใช้ในการคำนวณเพื่อหาผลลัพธ์ ซึ่งจะเป็นหน้าที่ของโปรแกรม โดยมีหลักการดังนี้

1. โปรแกรมสร้าง Local Stiffness matrix $[k]$ และสร้าง Element force vector $\{f\}$ ของแต่ละเอลิเมนต์

2. โปรแกรมประกอบ $[k]$ ของทุกเอลิเมนต์เข้าเป็น Global Stiffness matrix $[K]$ และประกอบ $\{f\}$ ทุกเอลิเมนต์เข้าเป็น Global force vector $\{F\}$ ทั้งนี้อาศัยหมายเลขตัวแปรที่โหนดเป็นตำแหน่งของการประกอบ

3. โปรแกรมตัดสมการที่ตรงกับเงื่อนไขที่ขอบที่มีค่าเท่ากับศูนย์

4. แก้สมการ $[K]\{D\}=\{f\}$

ขั้นตอนที่ 3 การแปลผลลัพธ์ (Post-processing) คือ กระบวนการแปลผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจากขั้นตอนที่ 2 ได้แก่

1. Plot การเสียรูปโดยใช้ค่า $\{D\}$ โดยตรง

2. คำนวณหาความเครียดในเอลิเมนต์

3. คำนวณหาความเค้นในเอลิเมนต์

วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization)

เนื่องจากงานทางด้านวิศวกรรมมักเกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดภายใต้ปัจจัย หรือมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก ดังนั้นการนำวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาจึงเป็นอีกทางเลือกที่สามารถให้คำตอบที่ต้องการได้ โดยออกแบบระบบด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด จะมีองค์ประกอบในการดำเนินงาน ดังนี้

1. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function, $f(x)$) เป็นสมการที่แสดงค่าเป้าหมายของระบบ เช่น ต้นทุนการผลิต, ผลกำไร หรือน้ำหนักโครงสร้าง เป็นต้น และจะถูกนำมาใช้เพื่อการหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุด

2. ข้อจำกัด (constraints) เป็นชุดของสมการ หรืออสมการที่แสดงข้อจำกัดต่าง ๆ ของทรัพยากร หรือตัวแปรที่อยู่ภายในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เช่น หน้าตัดของเหล็กที่ใช้ในการผลิต หรือข้อจำกัดทางด้านกฎหมาย เป็นต้น

3. ตัวแปร (variables) คือ ปัจจัยต้นที่อยู่ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่จะต้องได้รับการปรับเปลี่ยนเพื่อให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าสูงสุด หรือต่ำสุดภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนดในข้อ 2

จากข้อมูลข้างต้น ในการดำเนินงานเพื่อหาค่าเหมาะสมที่สุดของระบบนั้น องค์ประกอบทั้ง 3 องค์ประกอบข้างต้น มักถูกเขียนให้อยู่ในรูปของสัญลักษณะทางคณิตศาสตร์ เช่น

Maximize $f(x) = 2x_1 + 5x_2$

Constraints $2x_1 + x_2 <= 40$, $x_1 > 0$ และ $x_2 > 0$

Variable x_1, x_2

เมื่อกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และข้อจำกัดของระบบแล้ง การหาค่าเหมาะสมที่สุดจึงถูกดำเนินการโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์แบบต่าง ๆ

วิธีการวิวัฒนาการ (Evolutionary algorithm)

วิธีด้านวิวัฒนาการเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับค้นหากลุ่มของคำตอบที่ให้ค่าเหมาะสมที่สุดภายใต้ขอบเขตของกลุ่มคำตอบที่กำหนดหรือมีลักษณะการกระจายของค่าคำตอบแบบสม่ำเสมอ ซึ่งเหมาะสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อน และมีจำนวนวัตถุประสงค์มากกว่าหนึ่ง โดยมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น (Initialization)

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของประชากรคำตอบ (Evaluation Objective Function)

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Assignment) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับแก้ปัญหาการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมในกรณีที่มีหลายวัตถุประสงค์

ขั้นตอนที่ 4 การคัดเลือกคำตอบ (Selection) โดยเลือกจากค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ของสตริงคำตอบแต่ละตัว

ขั้นตอนที่ 5 การแลกเปลี่ยนพันธุกรรม (Crossover) เป็นกระบวนการที่นำสตริงคำตอบที่ถูกจับคู่ไว้มาแลกเปลี่ยนส่วนกัน เพื่อให้เกิดสตริงคำตอบใหม่ขึ้น

ขั้นตอนที่ 6 กระบวนการกลายพันธ์ (Mutation) เพื่อให้เกิดสตริงคำตอบใหม่ขึ้น

ขั้นตอนที่ 7 การประเมินค่าความแข็งแรงประชากร (Fitness Evaluation) ทำการคัดเลือกโครโมโซมที่มีความแข็งแรงสูง

ขั้นตอนที่ 8 การแทนที่ประชากร (Population Replacement) โดยทำการรวมโครโมโซมคำตอบ จากโครโมโซมเริ่มต้น และโครโมโซมรุ่นลูก จากนั้นทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดโดยมีจำนวนเท่ากับโครโมโซมเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 9 จากนั้นทำการตรวจสอบว่าการคำนวณนั้นครบจำนวนสูงสุดของคำตอบที่ต้องการหาหรือไม่ และคำนวณค่าฟังก์ชันหรือจำนวนเจนเนอเรชันที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าน้อยกว่าให้ทำขั้นตอนที่ 4–8 อีกครั้ง ถ้าไม่ใช่หยุดกระบวนการหาคำตอบ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rahman, et al. (2008) ทำการวิเคราะห์โครงสร้างแชสซีของรถบรรทุกรับน้ำหนักบรรทุก 36 ตัน โดยสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแชสซีที่มีขนาดความยาว 12.35 เมตร และกว้าง 2.45 เมตร ด้วยโปรแกรม ABAQUS ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นขณะรับน้ำหนักบรรทุกมีค่าเท่ากับ 386.9 MPa เกิดขึ้นที่บริเวณสลักเกลียว คิดเป็นค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.43 และการโก่งตัวสูงสุดเกิดมีค่าเท่ากับ 4.995 มิลลิเมตร เกิดที่บริเวณระหว่าง BC1 และ BC2

Muhammad Nor, et al. (2012) ได้วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างแชสซีสำหรับรถบรรทุกด้วยแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม CATIA และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับการคำนวณ โครงสร้างที่ทำการศึกษามีพื้นที่ 10.8 m^2 รับน้ำหนักประมาณ 350 kN ผลวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าความปลอดภัยเท่ากับ 3.5 เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานเนื่องจากกฎหมายของออสเตรเลียระบุไว้ว่า ค่าความปลอดภัยควรจะไม่ต่ำกว่า 3 สำหรับถนนในเมือง และค่าความปลอดภัยเท่ากับ 5 สำหรับถนนชนบท โดยโครงสร้างที่ออกแบบมีการโก่งตัวสูงสุดที่ 6.47 mm และเกิดความเค้นสูงสุดเท่ากับ 2×10^8 N/m^2

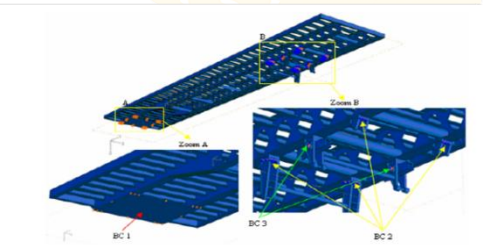


Figure 4: Boundary conditions representation in the model

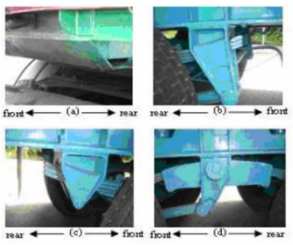


Figure 5: Boundary conditions representation in the object, 4(a) BC 1, 4(b) and 4(c) BC 2, 4(d) BC 3

ภาพ 13 แสดงผลจากการวิจัยของ Rahman และคณะ

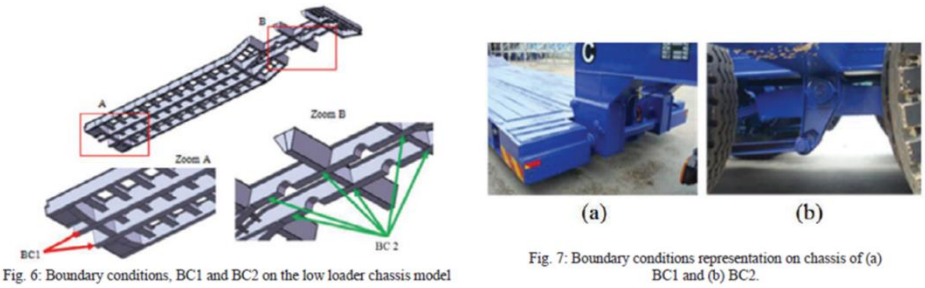


Fig. 6: Boundary conditions, BC1 and BC2 on the low loader chassis model

Fig. 7: Boundary conditions representation on chassis of (a) BC1 and (b) BC2.

ภาพ 14 แสดงผลจากการวิจัยของ Muhammad และคณะ

Patil, et al. (2013) ศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างแชสซีของรถบรรทุกโดยเปลี่ยนแปลงความหนาของโครงเหล็กด้านข้าง และปรับเปลี่ยนตำแหน่งการวางชิ้นส่วนของโครงสร้างแชสซี ผลการทดสอบ พบว่า กรณีที่ใช้เหล็กด้านข้างความหนาเท่ากับ 4 mm มีน้ำหนักน้อยสุดที่ 141.48 kg โดยมีความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นเท่ากับ 71.2 MPa/mm^2 และจากการเปรียบกรณีที่ 5 กับกรณีที่ 2 พบว่า เมื่อเพิ่มความหนาของชิ้นส่วนตามขวางในชิ้นที่ 5 ให้มีความหนา 5 mm สามารถลดความเค้นลงได้แต่ทำให้น้ำหนักรวมเพิ่มขึ้นจากเดิม 2.92 kg

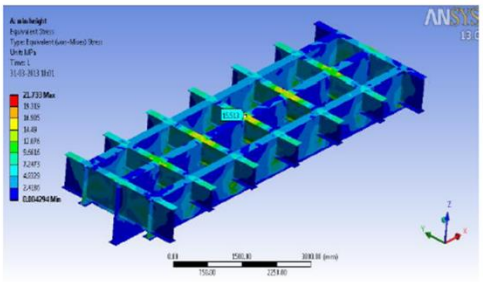
Patel, et al. (2013) ได้ทำการออกแบบแชสซีโดยเพิ่มประสิทธิภาพของแชสซีโดยการเพิ่มคุณสมบัติที่มีความจำเป็น และลดคุณสมบัติที่ไม่มีความจำเป็น โดยใช้เทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์เพื่อลดน้ำหนักของแชสซีโดยใช้ ANSYS Workbench ในการวิเคราะห์ความเค้นและระยะการโก่งตัวของแชสซีซึ่งได้มีการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของพื้นที่หน้าตัดในชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโครงเหล็กแชสซี จากการทดสอบสามารถลดน้ำหนักของตัวถังรถบรรทุกได้ 17 % จากน้ำหนักเดิม

Figure 1Typical Chassis

Figure 3Model of Chassis Case 1.

Figure 4Boundary Conditions Case 1.

ภาพ 15 แสดงผลจากการวิจัยของ Patil และคณะ



Case 1: Changing height and width.
Cross section of the frame in case 1

MEMBER	1A		1B		1C	
	W	H	W	H	W	H
Main cross	100	500	200	900	180	610
Side long	100	600	200	1000	180	720
End cross	100	300	200	700	180	450
Main long	100	800	200	1400	180	1050

ภาพ 16 แสดงผลจากการวิจัยของ Patel และคณะ

Jembere, et al. (2021) ได้ทำการศึกษาในการเพิ่มประสิทธิภาพของแชสซีรถบรรทุกโดยสาร เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและสามารถบรรจุผู้โดยสารได้มากขึ้น โดยเปรียบเทียบหน้าตัดของแชสซีที่ใช้เหล็กตัวซีและเหล็กตัวไอ ที่ทำจากเหล็ก ASTM A27 Gr U 70–60 ในการรับน้ำหนักบรรทุก 3 รูปแบบ คือ ภาวะโหลดต่ำ (กรณีที่วิเคราะห์แค่เฉพาะน้ำหนักของตัวรถเพียงอย่างเดียว) ภาวะโหลดปกติ (กรณีที่วิเคราะห์น้ำหนักของตัวรถรวมถึงน้ำหนักของผู้โดยสารและสัมภาระ) และภาวะโหลดหนัก (พิจารณาสมรรถนะของเครื่องยนต์ร่วมกับสภาวะโหลดปกติ) โดยใช้โปรแกรม Ansys สำหรับการประเมินความเค้นและการโก่งตัวที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ พบว่า เหล็กตัวไอสามารถทำให้โครงสร้างของรถบรรทุกโดยสารสามารถจุคนได้ทั้งหมด 50 คน ส่วนโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็กรูปตัวซีสามารถจุคนได้ทั้งหมด 45 คน

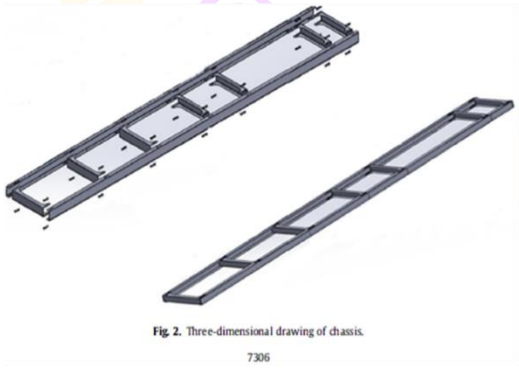


Fig. 2. Three-dimensional drawing of chassis.

7306

Table 7
The Simulation Results: (a) stress value (b) deflection value.

	Cross section	Stress value (MPa)	Deflection value (mm)
Condition-1	C	128.23	6.704
	MC	161.46	6.983
	I	138.74	5.756
Condition-2	C	203.73	9.47
	MC	246.74	9.422
	I	173.3	9.374

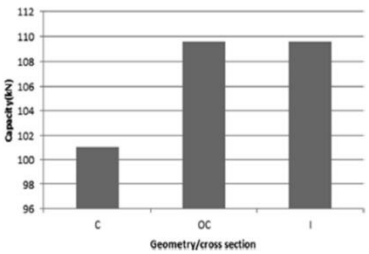


Fig. 22. The capacity of chassis for different cross-sections.

ภาพ 17 แสดงผลจากการวิจัยของ Jembere และคณะ

จากแนวทางของงานวิจัยในข้างต้น จะเห็นว่างานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การใช้โปรแกรมที่เป็น commercial software ในการวิเคราะห์โครงสร้างของรถ โดยในแต่ละงานวิจัยจะเลือกโครงสร้างรถที่สนใจ 1 รูปแบบ มาใช้ในการวิเคราะห์ความแข็งแรง ทำให้การนำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปประยุกต์ใช้กับโครงสร้างรถที่มีความแตกต่างจากงานวิจัยได้ยาก ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะพัฒนาองค์ความรู้ที่สามารถนำไปใช้ในการออกแบบแชสซีรถบรรทุกแบบต่าง ๆ ได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้เป็นการนำเสนอแนวทางการออกแบบขนาดแชสซีของรถบรรทุกกึ่งพ่วงด้วยการพิจารณาให้แชสซีเป็นคานต่อเนื่องที่มีจุดรองรับทั้งหมด 5 ตำแหน่ง ได้แก่ บริเวณสลักพ่วง 1 ตำแหน่ง และบริเวณเต้าแหนบ 4 ตำแหน่ง โดยงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางทั้งหมด 2 แนวทาง ได้แก่

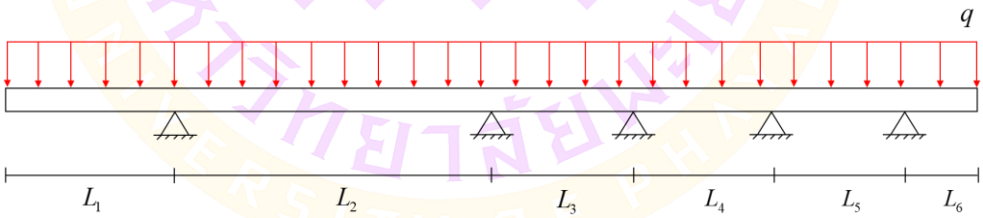
แนวทางที่ 1 การใช้วิธีสมการสามโมเมนต์ในการคำนวณแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ และ

แนวทางที่ 2 การใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการคำนวณแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ และสร้างสมการวัตถุประสงค์ และเงื่อนไขเพื่อใช้ในการเลือกขนาดแชสซีให้ที่น้ำหนักน้อยที่สุดภายใต้ค่าความปลอดภัยที่กำหนด

สำหรับรายละเอียดของทั้ง 2 แนวทาง จะถูกกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

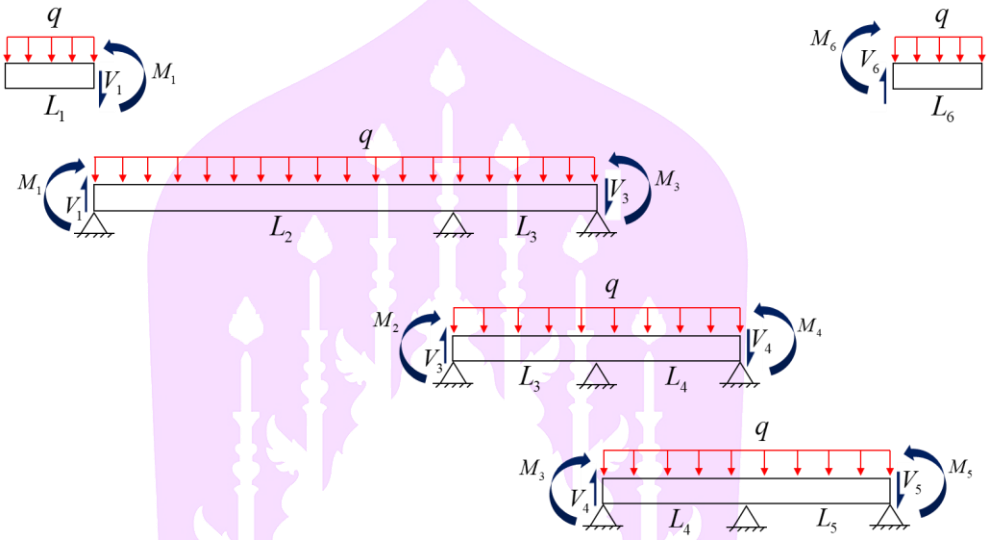
การออกแบบโดยใช้วิธีสมการสามโมเมนต์ในการคำนวณแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ

เนื้อหาในหัวข้อนี้กล่าวถึงการออกแบบขนาดของแชสซีของรถบรรทุก โดยพิจารณาให้แชสซีเป็นคานต่อเนื่องที่มีจุดรองรับ 5 ตำแหน่ง และใช้วิธีสมการสามโมเมนต์ในการคำนวณเพื่อหาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ และสร้างสมการโมเมนต์ดัดภายในที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงของคาน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพ 18 แสดงแบบจำลองของแชสซีขณะรับโหลด

ภาพ 18 แสดงแผนภาพอิสระของแรงของแชสซีของส่วนพ่วงของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 6 เพลา โดยที่ $L_1, L_2, ..., L_6$ คือ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ จากภาพจะเห็นว่าหากต้องการพิจารณาคานตามหลักการของสมการสามโมเมนต์ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อทฤษฎีโมเมนต์ดัดในคาน จะต้องแบ่งช่วงคานตามที่ได้แสดงในภาพ 19 ดังนี้



ภาพ 19 แสดงการแบ่งช่วงของคานตามแนวทางของวิธีการสามโมเมนต์

เมื่อนำสมการที่ 1 และข้อมูลในภาพ 10 มาประยุกต์ใช้กับโครงสร้างของคานตามภาพ 18 จะได้ระบบสมการที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งของจุดรองรับของคาน และความยาวในแต่ละช่วงคาน ดังนี้

$$M_1 = -\frac{q}{2}L_1^2 \tag{14}$$

$$M_1L_2 + 2M_2(L_2 + L_3) + M_3L_3 = -\frac{q}{4}(L_2^3 + L_3^3) \tag{15}$$

$$M_2L_3 + 2M_3(L_3 + L_4) + M_4L_4 = -\frac{q}{4}(L_3^3 + L_4^3) \tag{16}$$

$$M_3L_4 + 2M_4(L_4 + L_5) + M_5L_5 = -\frac{q}{4}(L_4^3 + L_5^3) \tag{17}$$

$$M_5 = -\frac{q}{2}L_6^2 \tag{18}$$

จากสมการข้างต้น จะเห็นว่ามีตัวแปรที่ยังไม่ทราบค่าอยู่ 3 ตัวแปร ได้แก่ M_2, M_3 และ M_4 ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเมทริกซ์เพื่อหาค่าตัวแปรดังกล่าวได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} M_2 \\ M_3 \\ M_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_2+L_3 & L_3/2 & 0 \\ L_3/2 & L_3+L_4 & L_4/2 \\ 0 & L_4/2 & L_4+L_5 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} \quad (19)$$

โดยที่

$$\begin{bmatrix} b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{qL_1^2L_2}{4} - \frac{q(L_2^3+L_3^3)}{8} \\ -\frac{q(L_3^3+L_4^3)}{8} \\ \frac{qL_5L_6^2}{4} - \frac{q(L_4^3+L_5^3)}{8} \end{bmatrix} \quad (20)$$

จากข้อมูลในภาพ 18 และภาพ 19 เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์จึงกำหนดตัวแปรต่าง ๆ เพิ่มเติม ได้แก่

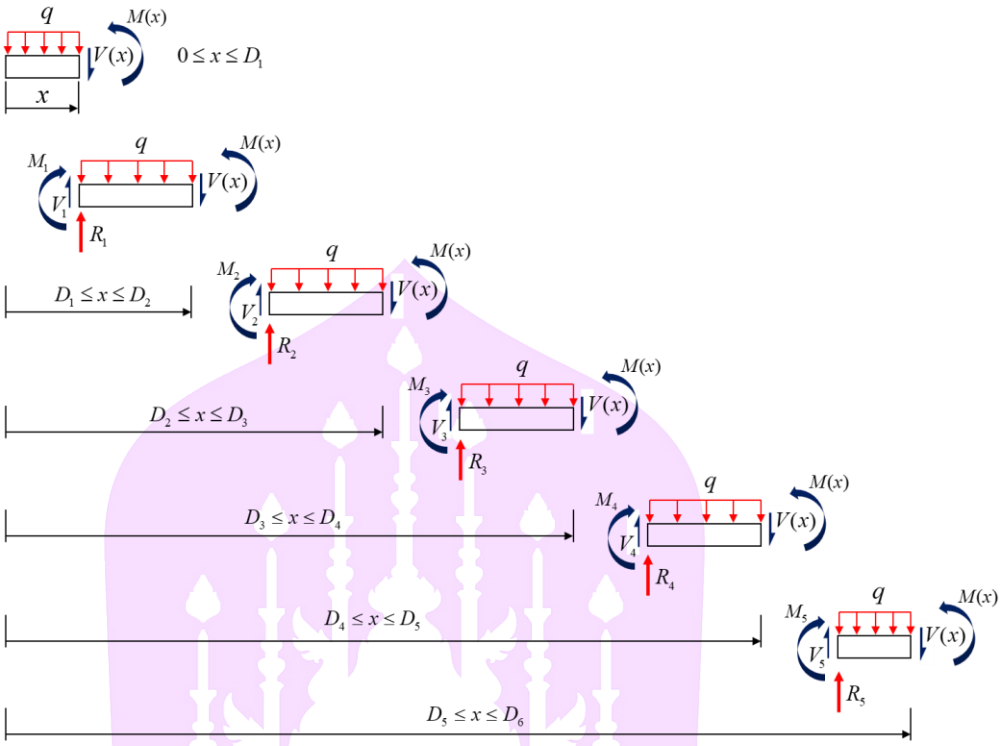
x คือ ระยะตามแนวยาววัดเทียบกับปลายด้านซ้ายสุดของคาน

D_n คือ ระยะระหว่างปลายด้านซ้ายสุดของคาน และจุดรองรับจุดที่ n

R_n คือ แรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่จุดรองรับจุดที่ n

n คือ เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แทนตำแหน่งต่าง ๆ ของคาน กำหนดให้มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มจาก 0 ถึง 6 โดยที่ n = 0 และ n = 6 คือตำแหน่งปลายคานด้านซ้ายและด้านขวา และ n = 1,2,3,4,5 แทนตำแหน่งของจุดรองรับจุดที่ n เทียบกับทางซ้ายมือ ดังนั้น n = 1 จึงแทนตำแหน่งของสลักพ่วง และ n = 2,3,4,5 แทนตำแหน่งของเต้าแหนบตัวที่ 1 ถึงเต้าแหนบตัวที่ 4 ตามลำดับ

จากการกำหนดสัญลักษณ์ตามที่กล่าวมาข้างต้น สามารถเขียนแผนภาพอิสระของแรงเพื่อแสดงพฤติกรรมของแรงเฉือน และโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงของคาน เนื่องจากอิทธิพลของ q ได้ดังภาพ 20



ภาพ 20 แสดงผังวัตถุอิสระสำหรับภาคตัดคานช่วงต่าง ๆ

จากภาพ 20 สามารถหาความสัมพันธ์ของโมเมนต์ดัดโดยใช้สมการสมดุลโมเมนต์ในแต่ละช่วงคานตามหลักของวิชากลศาสตร์ของแข็งได้ดังดังนี้

$$M(x) = -0.5q(x-D_1)\,,\ 0 < x < D_1$$

$$M(x) = M_1 + (R_1+V_1)(x-D_1) - 0.5q(x-D_1)^2\,,\ D_1 < x < D_2$$

$$M(x) = M_2 + (R_2+V_2)(x-D_2) - 0.5q(x-D_2)^2\,,\ D_2 < x < D_3$$

$$M(x) = M_3 + (R_3+V_3)(x-D_3) - 0.5q(x-D_3)^2\,,\ D_3 < x < D_4$$

$$M(x) = M_4 + (R_4+V_4)(x-D_4) - 0.5q(x-D_4)^2\,,\ D_4 < x < D_5$$

$$M(x) = M_5 + (R_5+V_5)(x-D_5) - 0.5q(x-D_5)^2\,,\ D_5 < x < D_6$$

สมการข้างต้นสามารถนำมาเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดในช่วงใด ๆ ของคาน ได้ดังนี้

$$M(x) = M_n + (R_n+V_n)(x-D_n) - 0.5q(x-D_n)^2 \qquad (21)$$

แทนค่า $M(x=D_{n+1}) = M_{n+1}$ และ $x-D_n = L_{n+1}$ ลงในสมการที่ (21) จะได้

$$M_{n+1} = M_n + (R_n+V_n)L_{n+1} - \frac{1}{2}q(L_{n+1})^2$$

$$M_{n+1}+\frac{1}{2}q(L_{n+1})^2-M_n=(R_n+V_n)L_{n+1}$$

$$R_n+V_n=\frac{qL_{n+1}}{2}+\frac{M_{n+1}-M_n}{L_{n+1}} \quad (22)$$

แทนค่าสมการที่ 22 กลับไปลงในสมการที่ 21 และจัดรูปใหม่จะได้

$$M(x)=M_n+(\frac{qL_{n+1}}{2}+\frac{M_{n+1}-M_n}{L_{n+1}})(x-D_n)-\frac{q(x-D_n)^2}{2} \quad (23)$$

สมการที่ 23 เป็นสมการที่สามารถนำมาใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าโมเมนต์ดัดภายในแต่ละช่วงของคานต่อเนื่อง โดยผู้คำนวณจะต้องทราบค่า M_n และ M_{n+1} หรือค่าโมเมนต์ดัดภายในที่ตำแหน่งจุดรองรับของช่วงคานที่พิจารณา ซึ่งสามารถหาได้จากการใช้สมการสมดุลโมเมนต์และการแก้สมการที่ 19

เนื่องจากการรองรับของคานในภาพ 20 เป็นการรองรับอย่างง่าย (simply supported beam) ทำให้โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่บริเวณปลายคานทั้งสองข้างมีค่าเท่ากับศูนย์ ($M_0=0$ และ $M_6=0$) นอกจากนี้ยังสามารถหาค่าโมเมนต์ดัดที่ตำแหน่ง n = 1 ได้จากสมการสมดุลโมเมนต์ หรือ $M_1=-qL^2/2$ ดังนั้นจากสมการที่ 23 สามารถเขียนสมการโมเมนต์ดัดในแต่ละช่วงของคานได้ดังนี้

ช่วง $0<x<D_1$

$$M(x)=-\frac{qx^2}{2} \quad (24)$$

ช่วง $D_1<x<D_2$

$$M(x)=M_1+(\frac{qL_2}{2}+\frac{M_2-M_1}{L_2})(x-D_1)-\frac{q(x-D_1)^2}{2} \quad (25)$$

ช่วง $D_2<x<D_3$

$$M(x)=M_2+(\frac{qL_3}{2}+\frac{M_3-M_2}{L_3})(x-D_2)-\frac{q(x-D_2)^2}{2} \quad (26)$$

ช่วง $D_3<x<D_4$

$$M(x)=M_3+(\frac{qL_4}{2}+\frac{M_4-M_3}{L_4})(x-D_3)-\frac{q(x-D_3)^2}{2} \quad (27)$$

ช่วง $D_4<x<D_5$

$$M(x)=M_4+(\frac{qL_5}{2}+\frac{M_5-M_4}{L_5})(x-D_4)-\frac{q(x-D_4)^2}{2} \quad (28)$$

ช่วง $D_5<x<D_6$ เราพบว่า $M(D_6)=0$ ดังนั้น

$$M(x)=M_5+(\frac{qL_6}{2}+\frac{-M_5}{L_6})(x-D_5)-\frac{q(x-D_5)^2}{2} \quad (29)$$

จากสมการที่ 24-29 สามารถนำไปใช้ในการคำนวณค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงของคาน โดยค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปคำนวณหาค่าความเค้นดัดสูงสุดตามหลักการของวิชากลศาสตร์ของแข็งด้วยสมการที่ 30

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} c}{I} \tag{30}$$

โดยที่

$\sigma_{\max}$ คือ ความเค้นดัดสูงสุด (MPa)

$M_{\max}$ คือ โมเมนต์ดัดสูงสุด (kN.m)

C คือ ระยะจากแนวแกนสะเทินของหน้าตัดนั้นไปยังผิวล่างสุดหรือบนสุดของหน้าตัด

ค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จากสมการที่ 30 จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่า section modulus ดังนี้

$$SF = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_y}$$

$$s = \frac{M_{\max} \times SF}{\sigma_y} \quad , \quad s = \frac{I}{c} \tag{31}$$

โดยที่

s คือ section modulus (cm^3)

SF คือ ค่าความปลอดภัย

σ_y คือ ค่าความเค้นครากของวัสดุที่ใช้ในการทำโครงสร้างแชสซี (MPa)

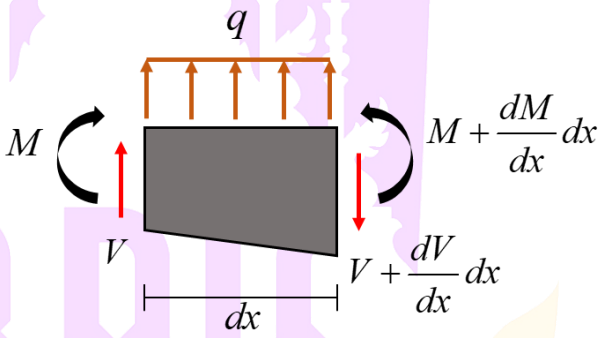
ค่า section modulus ที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ 31 จะถูกนำไปใช้ในการเลือกขนาดของหน้าตัดคานที่เหมาะสมกับภาระบรรทุกต่อไป

แนวทางการออกแบบแชสซีรถบรรทุกโดยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

การออกแบบแชสซีรถบรรทุกตามแนวทางที่ 1 ต้องพิจารณาให้แชสซีเป็นคานที่มีหน้าตัดคงที่ ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของวิธีสมการสามโมเมนต์ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติบริเวณส่วนหน้าของแชสซีจะถูกลดขนาดเพื่อใช้ในการติดตั้งสลักพ่วงเพื่อยึดกับหัวลาก ตามที่ได้แสดงในภาพ 2(ก) ทำให้บริเวณช่วงหน้าแชสซีของรถบรรทุกจะมีลักษณะเป็นคานเรียว (tapered beam) ที่ทำจากเหล็ก H-beam ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าแรงปฏิกิริยาด้วยวิธีสมการสามโมเมนต์ได้ เนื่องจากโครงสร้างดังกล่าวมีความขัดแย้งกับสมมติฐานตั้งต้นของวิธีสมการสามโมเมนต์

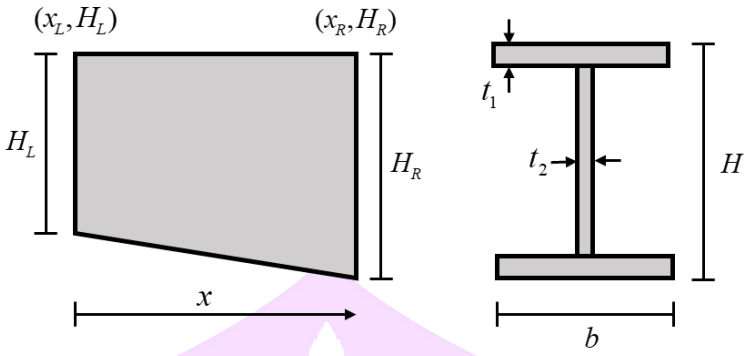
จากปัญหาข้างต้นหัวข้อนี้จึงนำเสนอทางออกของการออกแบบโดยใช้วิธีทางไฟไนต์–เอลิเมนต์ ในการประเมินค่าแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่จุดรองรับแทนวิธีสมการสามโมเมนต์ และเมื่อได้แรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแล้วจึงนำไปสร้างสมการโมเมนต์ดัดภายในที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงของคาน และนำค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่คำนวณได้จากสมการดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณหาค่าความเค้นดัด และ section modulus ด้วยสมการที่ 30 และ 31 เพื่อเลือกขนาดของคานที่เหมาะสมกับภาระบรรทุกเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ “การออกแบบโดยใช้วิธีสมการสามโมเมนต์ในการคำนวณแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ” ต่อไป

กรณีที่แชสซีมีลักษณะเป็นคานต่อเนื่องที่มีหน้าตัดเรียวตามที่ได้แสดงในภาพ 2(ก) การหาค่าแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น ไม่สามารถทำได้โดยใช้ stiffness matrix ของคานจากสมการที่ 13(b) ดังนั้น จึงจำเป็นจะต้องสร้าง stiffness matrix สำหรับคานเรียว ซึ่งสามารถดำเนินการได้ดังต่อไปนี้



ภาพ 21 แสดงส่วนตัดขวางของคานเรียวขณะรับโหลดแบบแรงกระจาย

ภาพ 21 แสดงภาคตัดของคาน 2 ภาคตัดที่อยู่ห่างกันเป็นระยะ dx ของคานเรียว และเนื่องจากคานเรียวมีหน้าตัดไม่คงที่ ทำให้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (I) ของหน้าตัดคานมีค่าไม่คงที่ตามไปด้วย โดย I จะมีค่าแปรผันตรงกับระยะ x ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง I และ x ได้ดังนี้



ภาพ 22 แสดงลักษณะส่วนตัดขวางและหน้าตัดของคานเรียว

ภาพ 22 แสดงโครงสร้างหน้าตัดของคานเรียวที่ทำมาจากเหล็ก H-beam โดยที่ H_L และ H_R คือ ความสูงของคานฝั่งซ้าย และฝั่งขวา ตามลำดับ จากภาพจะเห็นว่าสามารถสร้างฟังก์ชันความสูงของคาน $H(x)$ ที่ตำแหน่ง x ใด ๆ ได้ โดยใช้สมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$H(x) = \frac{H_R(x - x_L) + H_L(x_R - x)}{x_R - x_L} \tag{32}$$

แทนค่า $H_L = \phi H_R$ และ $h = x_R - x_L$ ลงในสมการที่ 32 จะได้

$$H(x) = \frac{H_R(x - x_L - x\phi + x_R\phi)}{h} \tag{33}$$

โดยที่ ϕ คือ อัตราส่วนความสูงระหว่าง H_L / H_R

จากภาพ 22 สามารถคำนวณหาฟังก์ชันของโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดของคานเรียวที่ระยะ x ใด ๆ ได้ดังนี้

$$I(x) = \frac{bH^3}{12} - [(b - t_2)\frac{(H - 2t_1)^3}{12}]$$

แทนค่า $c_1 = b - t_2$ และ $c_2 = 2t_1$ จะได้

$$I(x) = \frac{bH^3}{12} - \frac{c_1(H - c_2)^3}{12} \tag{34}$$

สมการที่ 34 สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในระบบพิกัดธรรมชาติโดยแทนค่าสมการที่ 7 ลงในสมการที่ 32 ลงในสมการที่ 34 จะได้

$$I(\zeta) = \frac{-bH_R^3(x_L - x_R - h\zeta + xh\phi - x_R\phi + h\zeta\phi)^3}{96h^3}$$
$$+ \frac{c_1[2c_2h + H_R(x_L - x_R - h\zeta + x_L\phi - x_R\phi + h\zeta\phi)]^3}{96h^3} \tag{35}$$

สมการที่ 35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ความเฉื่อยและระยะตามแนวแกนของคานเรียวในพิกัดของ ζ เมื่อแทนค่าสมการที่ 35 ลงในสมการที่ 13 จะได้ stiffness matrix สำหรับคานเรียวดังนี้

$$K^e_{tapered} = \begin{bmatrix} K^e_{11} & K^e_{12} & K^e_{13} & K^e_{14} \\ K^e_{21} & K^e_{22} & K^e_{23} & K^e_{24} \\ K^e_{31} & K^e_{32} & K^e_{33} & K^e_{34} \\ K^e_{41} & K^e_{42} & K^e_{43} & K^e_{44} \end{bmatrix} \quad (36)$$

โดยที่ K^e_{ij} ของคานเรียวได้ถูกแสดงไว้ใน **ภาคผนวก ข.**

จากนั้นนำ stiffness matrix ของคานเรียว นำไปประยุกต์เพื่อใช้สำหรับคำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยาที่บริเวณจุดรองรับร่วมกับ stiffness matrix ของคานปกติ เพื่อสร้างสมการโมเมนต์ดัดและคำนวณหาค่าความเค้นดัดสูงสุด จากนั้นนำค่าความเค้นสูงสุดที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาค่า section modulus เพื่อนำไปพิจารณาในการเลือกขนาดหน้าตัดของคาน ซึ่งเป็นหลักการเดียวกันกับที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 1

ขั้นตอนออกแบบแชสซีของรถบรรทุกด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

จากหัวข้อแนวทางที่ 2 เมื่อทราบวิธีการและขั้นตอนสำหรับการเลือกขนาดหน้าตัดของคานเรียวแล้ว หัวข้อนี้จะนำตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับขั้นตอนในการเลือกหน้าตัดของคานมาดำเนินการออกแบบแชสซีตามแนวทางของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด ตามที่แสดงไว้ในหัวข้อวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) โดยคำนึงถึงเป้าหมายที่สำคัญ 2 ประการ ได้แก่ น้ำหนักของโครงสร้างแชสซีได้รับการออกแบบ และความปลอดภัยขณะรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด โดยมีรายละเอียดในการดำเนินการดังนี้

1. การกำหนดองค์ประกอบสำหรับการออกแบบตามแนวทางวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด

1.1 การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการออกแบบ

ในงานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อให้แชสซีที่ออกแบบนั้นมีน้ำหนักน้อยที่สุด ดังนั้นจึงกำหนดสมการวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

$$Min.W = \rho AL \quad (37)$$

โดยที่

W คือ น้ำหนักของแชสซีที่ออกแบบ

ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุที่นำมาใช้ทำแชสซี

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแชสซี

L คือ ความยาวรวมของแชสซี

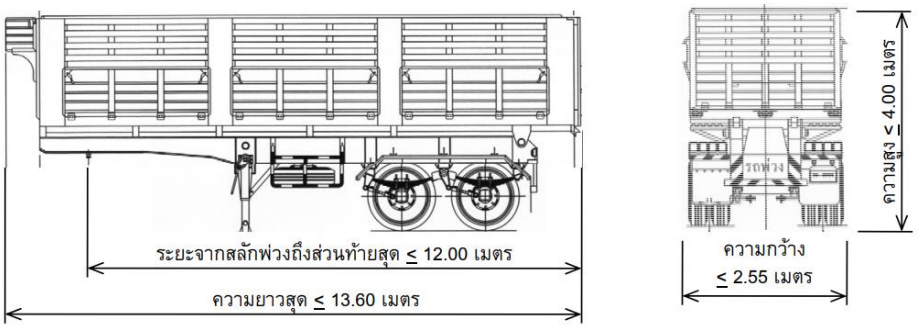
1.2 ข้อจำกัดของการออกแบบ

ข้อจำกัดด้านโครงสร้าง

สำหรับการออกแบบแชสซีของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 6 เพลา ขนาดไม่เกิน 50.5 ตัน ต้องคำนึงถึงหลักของกฎกระทรวง เพราะมีผลต่อการออกใบอนุญาตในการประกอบแชสซี ดังนั้นเพื่อให้สามารถออกแบบแชสซีได้ถูกต้องตามกฎหมาย ต้องออกแบบแชสซีตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตาราง 2 แสดงข้อมูลสัดส่วนของรถรถบรรทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 60

ขนาดสัดส่วน	กฎกระทรวง ฉบับที่ 60
กว้าง (เมตร)	ไม่เกิน 2.55 เมตร
ยาว (เมตร)	ไม่เกิน 13.60 เมตร
สูง (เมตร)	ไม่เกิน 4.00 เมตร
ระยะจากสลักพ่วงถึงท้ายสุด (เมตร)	ไม่เกิน 12.00 เมตร



ภาพ 23 แสดงเงื่อนไขสัดส่วนของรถรถบรรทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 60

ที่มา: สำนักวิศวกรรมยานยนต์, 2564, สื่อออนไลน์

ข้อจำกัดด้านความปลอดภัย

ตามหลักการของหนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล การออกแบบแชสซีลักษณะนี้ต้องกำหนดค่าความปลอดภัยไม่ต่ำกว่า 4 ($SF \geq 4$) เนื่องจากลักษณะของภาระโหลดเป็นแบบแรงกระแทกเล็กน้อย (วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, 2556) ดังนั้นเงื่อนไขนี้จึงเป็นข้อกำหนดในการออกแบบแชสซีครั้งนี้

ข้อจำกัดขนาดหน้าตัดเหล็กที่นำมาใช้

สำหรับการเลือกขนาดหน้าตัดของเหล็กที่นำมาใช้ในการผลิตแชสซีในงานวิจัยนี้จะเลือกขนาดหน้าตัดเหล็กจากบริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด ซึ่งมีจำนวนแบบของหน้าตัดทั้งหมด 40 แบบ

ข้อจำกัดด้านวัสดุ

สำหรับวัสดุที่นำมาใช้ในการออกแบบแชสซีในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้ใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) ที่มีค่าความเค้นครากเท่ากับ 400 MPa

1.3 ตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ

ตัวแปรค่าคงที่

L_{use} คือ ความยาวของแชสซี (m)

q คือ ขนาดน้ำหนักบรรทุก (kN/m)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของคาน (m^2)

S คือ section modulus (cm^3)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย (m^4)

E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น

ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุ

H, b, t_1, t_2 คือ ขนาดหน้าตัดของคานที่ทำจากเหล็ก H–beam ตามภาพ 23 (m)

ตัวแปรปรับค่า

ϕ คือ อัตราส่วนของความสูงระหว่าง H_L และ H_R

$L_{1\to n}$ คือ ระยะการวางสลักพ่วงและขนาดของเต้าแหนบ (m)

$No.$ คือ หมายเลขขนาดหน้าตัดจากตารางเหล็กของบริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด

2. อัลกอริทึม (algorithm) สำหรับการออกแบบ

ในหัวข้อนี้จะแสดงขั้นตอนการทำงานสำหรับการออกแบบแชสซีด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์และวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด โดยมีการนำค่าตัวแปรต่าง ๆ ไปคำนวณและวิเคราะห์

ภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนด เพื่อหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการออกแบบแชสซี ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

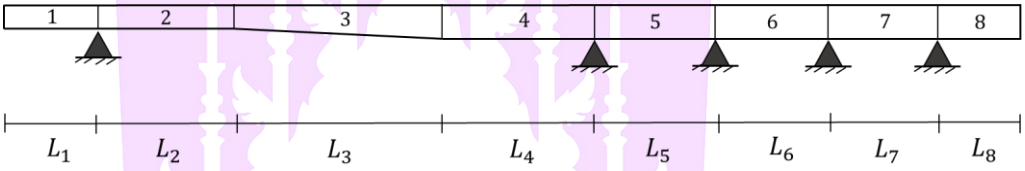
2.1 กำหนดขนาดความยาวของแชสซี (L_{use}) ที่ต้องการออกแบบ และขนาดน้ำหนักบรรทุก (q)

2.2 กำหนดค่าตัวแปรค่าคงที่และสุ่มค่าตัวแปรปรับค่าต่าง ๆ สำหรับการสร้าง stiffness matrix ดังนี้

2.2.1 กำหนดตัวแปรค่าคงที่ : $L_{use}, q, A, S, I, E, \rho, H, b, t_1, t_2$

2.2.2 สุ่มตัวแปรปรับค่า : ϕ , $L_{1\to n}$, $No.$

2.3 กำหนด stiffness matrix โดยแบ่งคานออกเป็นทั้งหมด 8 เอลิเมนต์สำหรับการวิเคราะห์หาค่าผลลัพธ์ต่าง ๆ ตามวิธีทางไฟไนต์เอลิมนต์ดังแสดงในภาพ 24



ภาพ 24 แสดงการพิจารณาในการแบ่งช่วงของคาน

2.4 คำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยา เพื่อนำไปหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดและนำไปหาค่าความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นจากภาระโหลดที่กำหนดไว้ในข้อ 1 ตามหลักวิชากลศาสตร์ของแข็ง หรือตามสมการที่ 30

2.5 นำค่าความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นไปพิจารณาหาค่าความปลอดภัยตามสมการที่ 31

2.6 ใช้วิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสม โดยสร้างสมการวัตถุประสงค์ และพิจารณาข้อกำหนดหรือเงื่อนไขต่าง ๆ โดยกรณีที่ข้อมูลการออกแบบผ่านทุกเงื่อนไขให้ดำเนินการในขั้นตอนต่อไป แต่ถ้ามีกรณีใดกรณีหนึ่งที่ไม่ผ่านเงื่อนไขให้ย้อนกลับไปทำในหัวข้อที่ 2 ซ้ำอีก โดยเงื่อนไขที่ต้องพิจารณามีดังต่อไปนี้

2.6.1 ระยะ $L_2 + L_3 + L_4 + L_5 / 2 > 8$ ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 60

2.6.2 ระยะ $L_2 + L_3 + ... + L_8 < 12$ ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 60

2.6.3 ระยะการวางสลักพ่วงและขนาดเต้าแหนบ (L_{total}) ต้องมีค่าเท่ากับความยาวที่กำหนดในหัวข้อ 1

2.6.4 ค่าความปลอดภัยต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 4

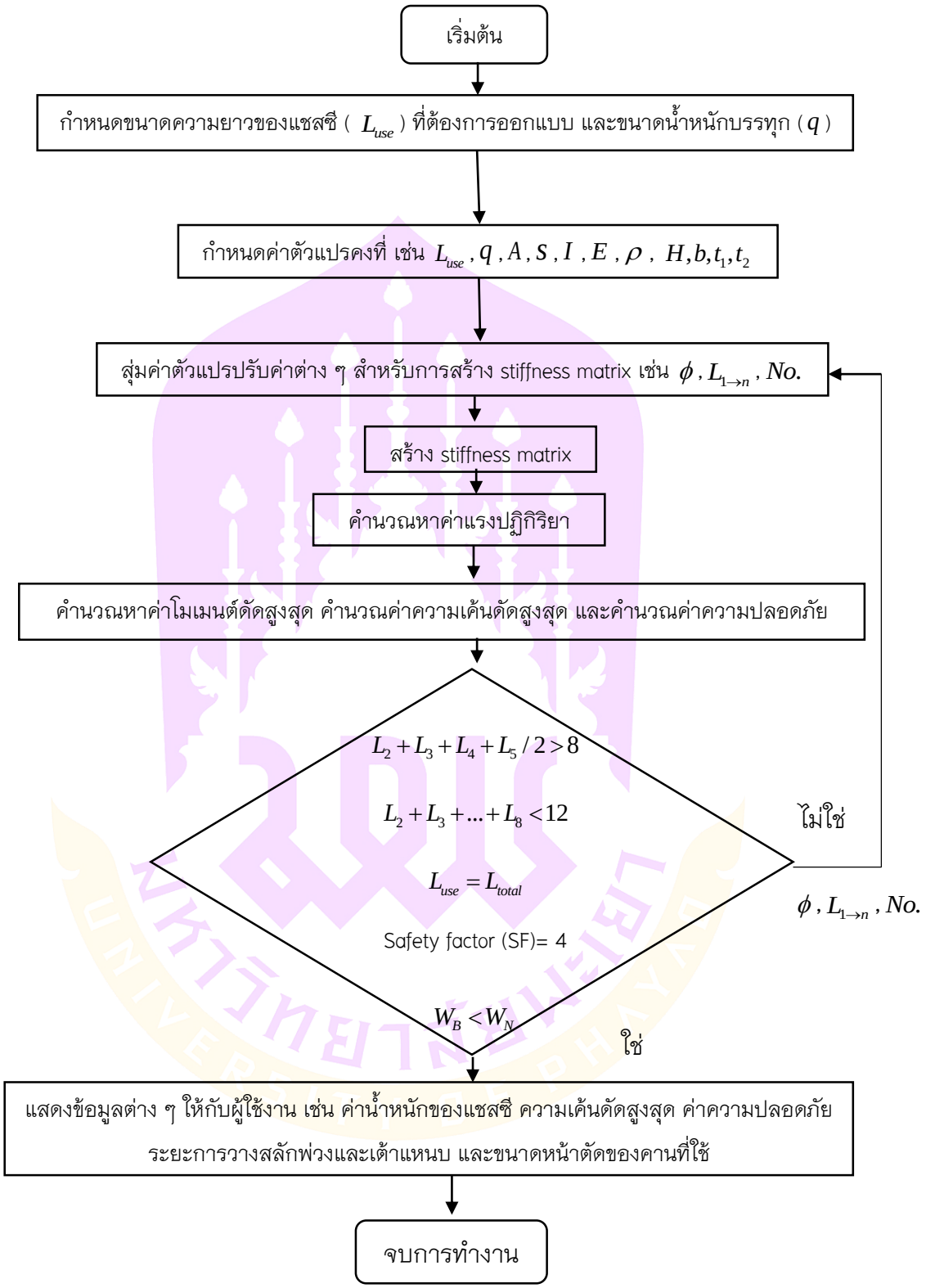
2.7 นำข้อมูลที่ได้จากการออกแบบไปคำนวณหาค่าน้ำหนักของแชสซีตามสมการที่ 37

2.8 แสดงข้อมูลต่าง ๆ ให้กับผู้ใช้งาน เช่น ค่าน้ำหนักของแชสซี ความเค้นดัดสูงสุด ค่าความปลอดภัย ระยะการวางสลักพ่วงและเต้าแหนบ และขนาหน้าตัดของคานที่ใช้

โดยขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดจากหัวข้อ 1–8 สามารถเขียนเป็นโฟร์ชาร์จการทำงานได้ดังภาพ 25

3. การคำนวณผ่านโปรแกรม Microsoft excel

จากอัลกอริทึมในหัวข้อ 2 ขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ จะใช้โปรแกรม Microsoft excel ในการคำนวณหาค่าผลลัพธ์ต่าง ๆ เช่น แรงปฏิกิริยา ค่าความเค้น ค่าความปลอดภัย ขนาดหน้าตัด น้ำหนักของแชสซี เป็นต้น จากนั้นนำค่าผลลัพธ์ต่าง ๆ ไปสร้างสมการ วัตถุประสงค์และข้อจำกัด ตามหลักการของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด ซึ่งวิธีการหาค่าที่เหมาะสมนี้สามารถใช้ฟังก์ชัน solver จากโปรแกรม Microsoft excel เพื่อหาค่าน้ำหนักของแชสซีที่เหมาะสมที่สุด โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ solving method เป็นแบบ evolutionaly



ภาพ 25 แสดงไดอะแกรมแสดงการทำงานของโปรแกรมที่ออกแบบ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้เป็นการนำองค์ความรู้ที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3 มาใช้ในการออกแบบโครงสร้างของแชสซีรถบรรทุกกึ่งพ่วง 6 เพลา โดยได้แบ่งวิธีการออกแบบออกเป็น 2 แนวทาง ดังนี้

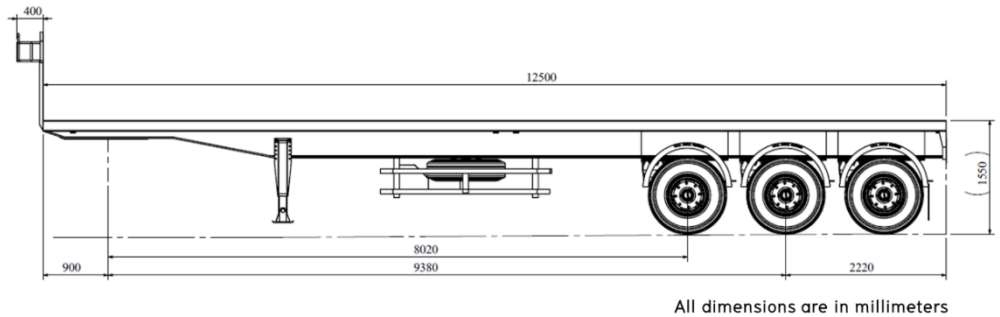
แนวทางที่ 1 ดำเนินการออกแบบโดยใช้วิธีสมการสามโมเมนต์ (หัวข้อการออกแบบโดยใช้วิธีสมการสามโมเมนต์ในการคำนวณแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ)

แนวทางที่ 2 ดำเนินการออกแบบโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ร่วมกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (หัวข้อแนวทางการออกแบบแชสซีรถบรรทุกโดยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์และหัวข้อขั้นตอนออกแบบแชสซีของรถบรรทุกด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด)

โดยทั้ง 2 แนวทางมีรายละเอียดในการดำเนินงานดังนี้

กรณีศึกษา

กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบแชสซีของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 6 เพลา ของบริษัท เกษมรุ่งเรืองขนส่ง จำกัด ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อรับน้ำหนักบรรทุก 30 ตัน โครงสร้างแชสซีที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันมีความยาว 12.5 เมตร ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (SS400) ที่มีหน้าตัดเป็นรูปตัวเอชขนาด 350 x 250 mm^2 (b x H) และมีน้ำหนัก 865 กิโลกรัมแรง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อแชสซีมีขนาด 15 ตัน คิดเป็นแรงกระจายตลอดความยาวแชสซีเท่ากับ 11.41 kN/m ตัวแชสซีถูกออกแบบให้มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 4 รายละเอียดอื่น ๆ ของโครงสร้างแชสซีได้ถูกแสดงไว้ในภาพ 26

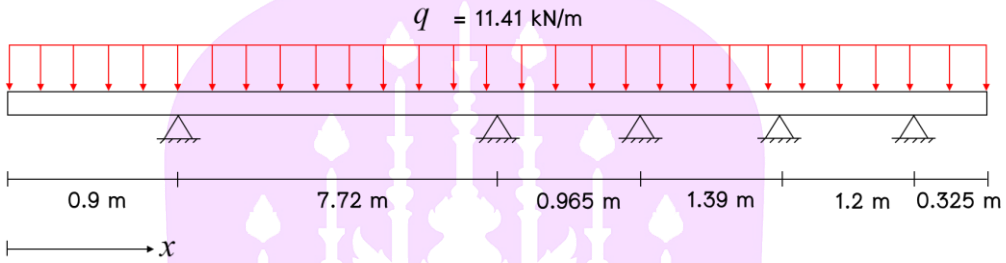


ภาพ 26 แสดงแชสซีของบริษัท เกษมรุ่งเรืองขนส่ง จำกัด

การออกแบบโดยใช้วิธีสมการสามโมเมนต์

หัวข้อนี้กล่าวถึงการออกแบบแชสซีตามแนวทางที่ 1 ซึ่งดำเนินการออกแบบโดยใช้วิธีสมการสามโมเมนต์ในหัวข้อการออกแบบโดยใช้วิธีสมการสามโมเมนต์ในการคำนวณแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ โดยมีรายละเอียดในการดำเนินงานดังนี้

1. การคำนวณหาค่าโมเมนต์ดัด



ภาพ 27 แสดงผังวัตถุอิสระของแชสซีของบริษัท เกษมรุ่งเรืองขนส่ง จำกัด

ภาพ 27 แสดง FBD ของแชสซีรถบรรทุกกึ่งพ่วงของบริษัท เกษมรุ่งเรืองขนส่ง จำกัด ขณะรับน้ำหนักบรรทุก 30 ตัน จากภาพ เมื่อแทนค่าของตัวแปรต่าง ๆ ลงในสมการ 14, 18 และ 19 จะได้โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่บริเวณจุดรองรับของคานตามที่ได้แสดงไว้ในตาราง 3

ตาราง 3 แสดงค่าโมเมนต์ดัดที่ตำแหน่งจุดรองรับ

จุดรองรับ	ตำแหน่ง (m)	โมเมนต์ดัด (kN.m)
1	0.9	-4.62
2	8.62	-74.46
3	9.585	14.95
4	10.975	-6.3
5	12.175	-0.6

แทนค่าโมเมนต์ดัดจากตาราง 3 ลงในสมการที่ 24-29 จะได้สมการของโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงความยาวของคานดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 แสดงสมการโมเมนต์ดัดของคานต่อเนื่อง

ช่วงคาน (m)	**สมการโมเมนต์ดัด** (kN.m)
$0 \le x < 0.9$	$M(x) = -5.704x^2$
$0.9 \le x < 8.63$	$M(x) = -5.704(x-0.9)^2 + 34.984(x-0.9) - 4.62$
$8.63 \le x < 9.585$	$M(x) = -5.704(x-8.62)^2 + 98.154(x-8.62) - 74.462$
$9.585 \le x < 10.975$	$M(x) = -5.704(x-9.585)^2 - 7.357(x-9.585) + 14.945$
$10.975 \le x < 12.175$	$M(x) = -5.704(x-10.975)^{22} + 11.593(x-10.975) - 6.301$
$12.175 \le x < 12.5$	$M(x) = -5.704(x-12.175)^2 + 3.707(x-12.175) - 0.602$

2. การหาขนาดหน้าตัดของคาน

จากผลการคำนวณโมเมนต์ดัดด้วยสมการในตาราง 4 พบว่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในแชสซี มีค่าเท่ากับ -74.5 kN.m ที่ตำแหน่ง X = 8.7 m และจากสมการที่ 31 หากกำหนดให้แชสซีมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 4 และถูกขึ้นรูปด้วยเหล็ก SS400 ที่มีค่าความเค้นดราก เท่ากับ 400 MPa ส่งผลให้ค่า section modulus ที่ได้มีค่าเท่ากับ 744.7 cm^3 และเมื่อนำค่า section modulus ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นไปเลือกขนาดหน้าตัดของเหล็กหน้าตัดรูปตัวเอชจากตารางเหล็กของบริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด (บริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด, 2564, สื่อออนไลน์) (ภาพ 28) จะได้แชสซีที่มีรายละเอียดตามที่ได้แสดงไว้ในตาราง 5

Nominal size	Weight	Sectional Dimension					Sectional Area	Moment of Inertia		Radius of Gyration		Modulus of Section	
		H	B	t_1	t_2	r		I_x	I_y	i_x	i_y	Z_x	Z_y
250x175	44.1	244	175	7.0	11	16	56.24	6,120	984	10.4	4.18	502	113
250x250	V64.4	244	252	11.0	11	16	82.06	8,790	2,940	10.3	5.98	720	233
	* 66.5	248	249	8.0	13	16	84.70	9,930	3,350	10.8	6.29	801	269
	72.4	250	250	9.0	14	16	92.18	10,800	3,650	10.8	6.29	867	292
	* 82.2	250	255	14.0	14	16	104.70	11,500	3,880	10.5	6.09	919	304
300x150	V32.0	298	149	5.5	8	13	40.80	6,320	442	12.4	3.29	424	59
	36.7	300	150	6.5	9	13	46.78	7,210	508	12.4	3.29	481	68
300x200	56.8	294	200	8.0	12	18	72.38	11,300	1,600	12.5	4.71	771	160
	* 65.4	298	201	9.0	14	18	83.36	13,300	1,900	12.6	4.77	893	189
300x300	V84.5	294	302	12.0	12	18	107.70	16,900	5,520	12.5	7.16	1,150	365
	* 87.0	298	299	9.0	14	18	110.80	18,800	6,240	13.0	7.51	1,270	417
	94.0	300	300	10.0	15	18	119.80	20,400	6,750	13.1	7.51	1,360	450
	*106.0	300	305	15.0	15	18	134.80	21,500	7,100	12.6	7.26	1,440	466
	*106.0	304	301	11.0	17	18	134.80	23,400	7,730	13.2	7.57	1,540	514

ภาพ 28 แสดงตารางเหล็ก H-beam ปีกกว้างของบริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด

ตาราง 5 แสดงเปรียบเทียบการแชสซีที่คำนวณโดยวิธีดั้งเดิมและวิธีสมการสามโมเมนต์

รายละเอียด	วิธีการออกแบบแชสซี	
	โครงสร้างเดิม (simply supported beam)	วิธีสมการสามโมเมนต์
No.	34	24
ขนาดหน้าตัด	350 x 250	300 x 200
Max stress (MPa)	99.4	98.3
SF	4	4
น้ำหนัก (kg)	865	710
ต้นทุนเหล็ก (บาท)	30,275	24,850

จากข้อมูลในตาราง 5 พบว่า การออกแบบแชสซีด้วยวิธีสมการสามโมเมนต์ให้ค่าน้ำหนักในการออกแบบน้อยกว่าวิธีเดิมโดยมีน้ำหนักของแชสซีเท่ากับ 710 kg ลดลงจากวิธีดั้งเดิม 17.9% โดยมีต้นทุนค่าวัสดุเหล็ก 24,850 บาท เมื่อคิดต้นทุนค่าเหล็กในราคา 35 บาท/kg (ห้างหุ้นส่วนจำกัด สตีลลีดส์ (ประเทศไทย), 2564, สื่อออนไลน์) จากตารางการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าหากคำนวณโดยจำลองให้แชสซีมีลักษณะเป็นคานหน้าตัดคงที่และมีจำนวนจุดรองรับเท่ากับความเป็นจริงจะสามารถลดขนาดหน้าตัดของแชสซีลงได้โดยที่ยังมีความปลอดภัยเท่าเดิม และยังส่งผลให้ต้นทุนเหล็กที่นำมาใช้ในการผลิตแชสซีมีค่าลดลง

3. การตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีสมการสามโมเมนต์

สร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแชสซีด้วยโปรแกรม Abacus โดยใช้ข้อมูลจากภาพ 28 และตาราง 5 เพื่อใช้ในการยืนยันความถูกต้องของคำตอบที่ได้จากการนำวิธีสมการสามโมเมนต์มาประยุกต์ใช้ในการเลือกหน้าตัดของคาน โดยมีรายละเอียดในการสร้างแบบจำลองดังนี้

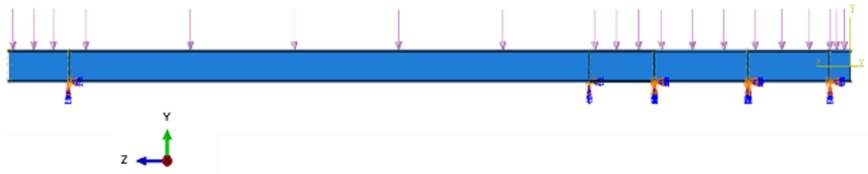
3.1 ขึ้นรูปโครงสร้างแชสซีในโปรแกรม ABAQUS โดยใช้ข้อมูลในภาพ 28 และตาราง 5

3.2 ตีกริด (meshing) แบบจำลองด้วยเอลิเมนต์ 3 มิติ สี่เหลี่ยม 8 โหนด (hexahedral elements of type, C3D8R) โดยในการประมวลผลผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มจำนวนของเอลิเมนต์ในแบบจำลอง จนกระทั่งผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองวิ่งเข้าสู่ค่าคงที่ ซึ่งจากผลการศึกษา พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองจะวิ่งเข้าสู่ค่าคงที่เมื่อจำนวนของเอลิเมนต์มีจำนวนมากกว่า 2,256 เอลิเมนต์

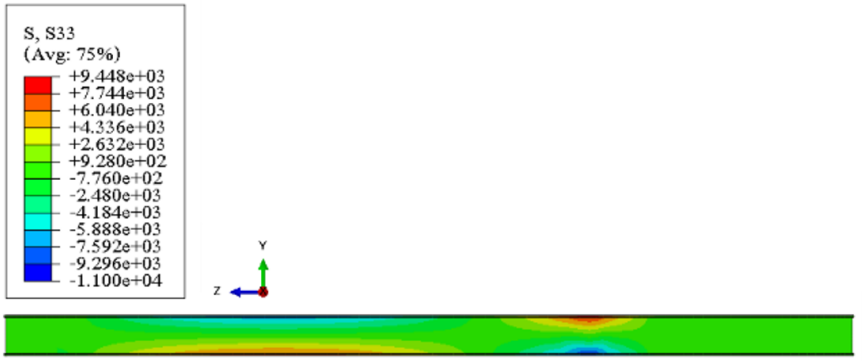
3.3 กำหนดภาระในรูปของความดันขนาด 0.0376 MPa กระจายลงบริเวณพื้นที่ด้านบนของโครงสร้างแชสซี โดยค่าความดันดังกล่าวถูกคำนวณมาจากการนำน้ำหนักบรรทุกขนาด 30 ตัน หารด้วยพื้นที่ด้านบนของโครงสร้างแชสซี (ภาพ 29)

3.4 กำหนด Boundary condition ที่จุดรองรับทั้ง 5 ตำแหน่ง ดังแสดงในภาพ 29 โดยกำหนดให้จุดรองรับดังกล่าวสามารถหมุนรอบแกน x ได้เพียงอย่างเดียว (ไม่สามารถเคลื่อนที่ตามแนวแกน x, y และ z ได้ และไม่สามารถหมุนรอบแกน y และ แกน z ได้)

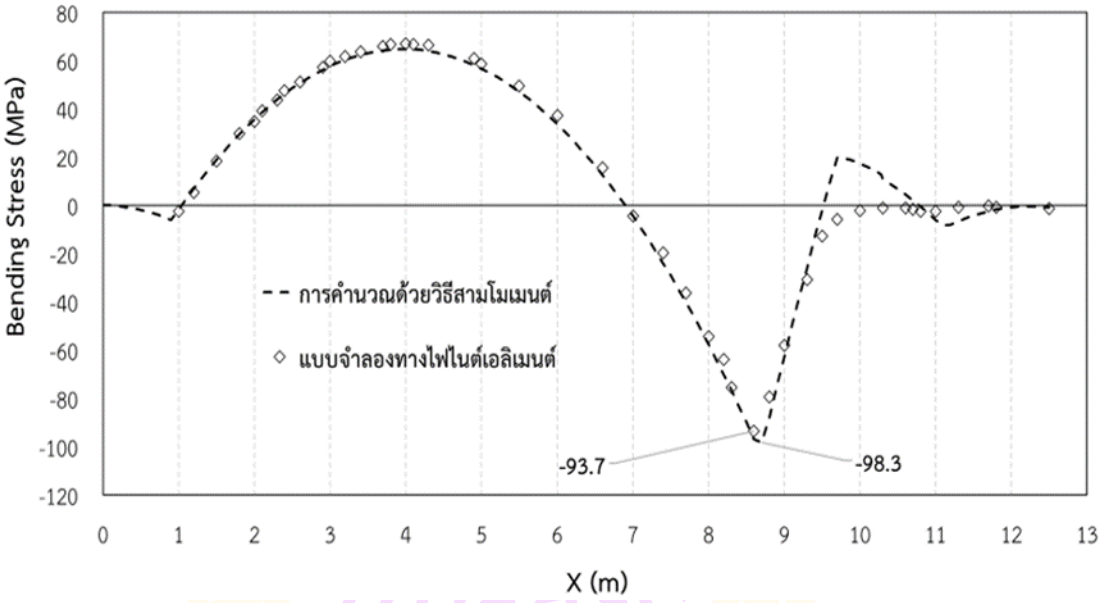
3.5 กำหนดการประมวลผลของแบบจำลองเป็นแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์ (Elastic)



ภาพ 29 แสดงลักษณะการกำหนด Boundary condition และโหลดของแบบจำลองจากวิธีสมการสามโมเมนต์



ภาพ 30 แสดงผลกระจายตัวของความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในแชสซีขณะรับน้ำหนักบรรทุกของแบบจำลองจากวิธีสมการสามโมเมนต์



ภาพ 31 แสดงการเปรียบเทียบผลกระจายตัวของความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในแชสซีขณะรับน้ำหนักบรรทุกระหว่างวิธีสมการสามโมเมนต์และแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ภาพ 31 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในแชสซี ระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่าโมเมนต์ดัดที่ได้จากตาราง 4 และผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ จากภาพจะเห็นว่าค่าความเค้นที่ได้จากทั้ง 2 วิธี มีความสอดคล้องกัน

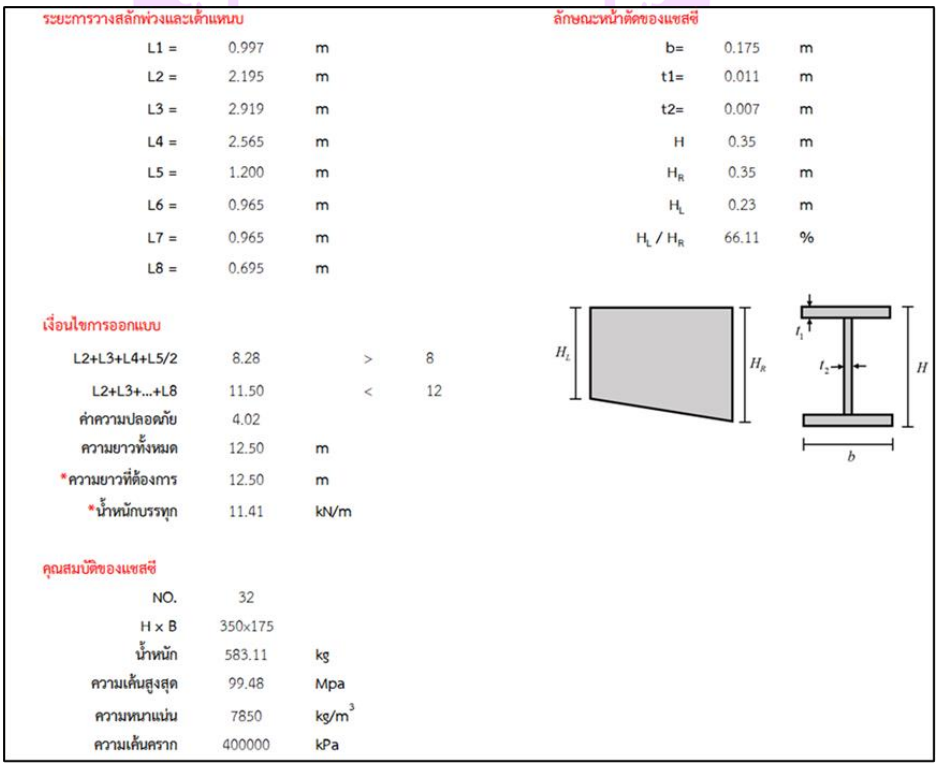
และมีความแตกต่างกันไม่เกิน 4.9% โดยความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจากกรณีที่คำนวณด้วยวิธีสมการสามโมเมนต์ มีค่าเท่ากับ 98.3 MPa ที่บริเวณ x=8.7 m ในขณะที่ความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าเท่ากับ 93.7 MPa ที่บริเวณ x=8.6 m ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสมการที่ 19, 20 และ 23 สามารถนำไปใช้ในการประเมินเพื่อหาค่าแรงปฏิกิริยา และโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในคานต่อเนื่องที่มีจุดรองรับ 5 จุด ได้อย่างถูกต้อง

การออกแบบด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการออกแบบแชสซีที่ได้จากขั้นตอนการดำเนินงานในหัวข้อขั้นตอนออกแบบแชสซีของรถบรรทุกด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด มีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการออกแบบด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

จากการนำอัลกอริทึมในหัวข้อขั้นตอนออกแบบแชสซีของรถบรรทุกด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และภาพ 25 ไปสร้างชุดคำนวณในโปรแกรม Microsoft excel โดยมีลักษณะของหน้าต่างโปรแกรมดังภาพ 32 (รายละเอียดการสร้างโปรแกรม ได้แสดงไว้ใน **ภาคผนวก ค**)

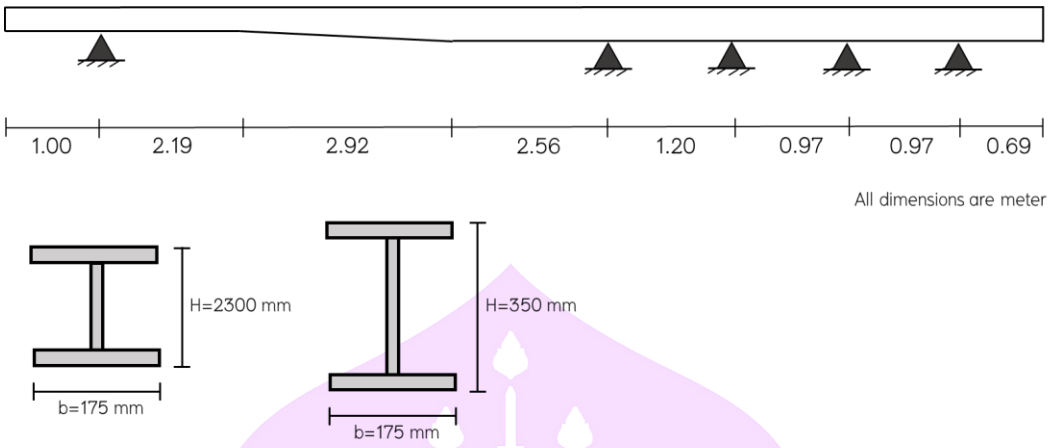


ภาพ 32 แสดงหน้าต่างโปรแกรมสำหรับการออกแบบแชสซีในโปรแกรม MS excel

ตาราง 6 และภาพ 32 แสดงผลการออกแบบแชสซีด้วยอัลกอริทึมตามที่ได้ออกแบบในงานวิจัย จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าขณะรับภาระ 30 ตัน โครงสร้างที่ถูกออกแบบมีค่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นเท่ากับ 99.48 MPa ที่บริเวณ 3.19 ซึ่งแชสซีที่ถูกออกแบบมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 4.52 และมีน้ำหนักของโครงสร้างเท่ากับ 583.11 kg

ตาราง 6 แสดงคุณสมบัติของแชสซีที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม

คุณสมบัติ	ขนาด
L1 (m)	1.00
L2 (m)	2.19
L3 (m)	2.92
L4 (m)	2.56
L5 (m)	1.2
L6 (m)	0.97
L7 (m)	0.97
L8 (m)	0.69
ขนาดหน้าตัด (mm)	350 x 175
น้ำหนัก (kg)	583.11
ความยาวทั้งหมด (m)	12.5
Max stress (MPa)	99.48
SF	4.52



ภาพ 33 แสดงลักษณะของคานที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม

ตาราง 7 แสดงเปรียบเทียบการแชสซีที่คำนวณโดยวิธีดั้งเดิมและวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

รายละเอียด	**วิธีการออกแบบแชสซี**	
	โครงสร้างเดิม (simply supported beam)	วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด
No.	35	32
ขนาดหน้าตัด	350 x 250	350 x 175
Max stress (MPa)	100	99.48
SF	4	4.02
น้ำหนัก (kg)	996	583
ต้นทุนเหล็ก (บาท)	34,860	20,405

จากข้อมูลในตาราง 7 พบว่า การออกแบบแชสซีด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดให้ค่าน้ำหนักในการออกแบบน้อยกว่าวิธีเดิม โดยมีน้ำหนักเท่ากับ 583 kg ลดลงจากวิธีดั้งเดิม 41% มีต้นทุนค่าวัสดุเหล็ก 20,405 บาท เมื่อคิดต้นทุนค่าเหล็กในราคา 35 บาท/kg (ห้างหุ้นส่วนจำกัด สตีลลีดส์ (ประเทศไทย), 2564, สื่อออนไลน์) จากตารางการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าการคำนวณโดยจำลองให้แชสซีมีลักษณะเป็นคานที่มีจำนวนจุดรองรับและลักษณะของหน้าตัดใกล้เคียงกับลักษณะของโครงสร้างจริงของแชสซี จะส่งผลให้แชสซีที่ได้

จากการออกแบบด้วยวิธีนี้จะมีน้ำหนักที่ลดลง อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนสำหรับค่าวัสดุที่จะนำมาใช้ในการผลิตแชสซี

2. การตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์

ข้อมูลของในตาราง 5 และภาพ 32 ได้ถูกนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแชสซีด้วยโปรแกรม ABAQUS เพื่อใช้ในการยืนยันความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบ โดยมีรายละเอียดในการดำเนินงาน ดังนี้

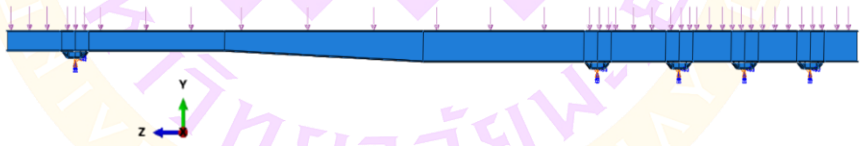
2.1 ขึ้นรูปโครงสร้างแชสซีที่ทำจากเหล็กรูปตัวเอชด้วยโปรแกรม ABAQUS โดยใช้ข้อมูลในตาราง 5 และภาพ 32

2.2 ตีกริดแบบจำลองด้วยเอลิเมนต์ 3 มิติ สี่เหลี่ยม 8 โหนด โดยผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มจำนวนของเอลิเมนต์ในแบบจำลอง จนกระทั่งผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองวิ่งเข้าสู่ค่าคงที่ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองจะวิ่งเข้าสู่ค่าคงที่เมื่อจำนวนของเอลิเมนต์ มีจำนวน 21,255 เอลิเมนต์

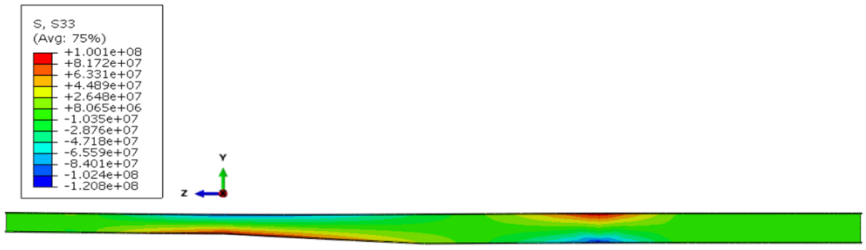
2.3 กำหนดภาระในรูปของความดันขนาด 0.0376 MPa กระจายลงบริเวณพื้นที่ด้านบนของโครงสร้างแชสซี โดยค่าความดันดังกล่าวถูกคำนวณมาจากการนำน้ำหนักบรรทุกขนาด 30 ตัน หารด้วยพื้นที่ด้านบนของโครงสร้างแชสซี (ภาพ 34)

2.4 กำหนด Boundary condition ที่จุดรองรับทั้ง 5 ตำแหน่ง ดังแสดงในภาพ 34 โดยกำหนดให้จุดรองรับดังกล่าวสามารถหมุนรอบแกน x ได้เพียงอย่างเดียว

2.5 กำหนดการประมวลผลของแบบจำลองเป็นแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์

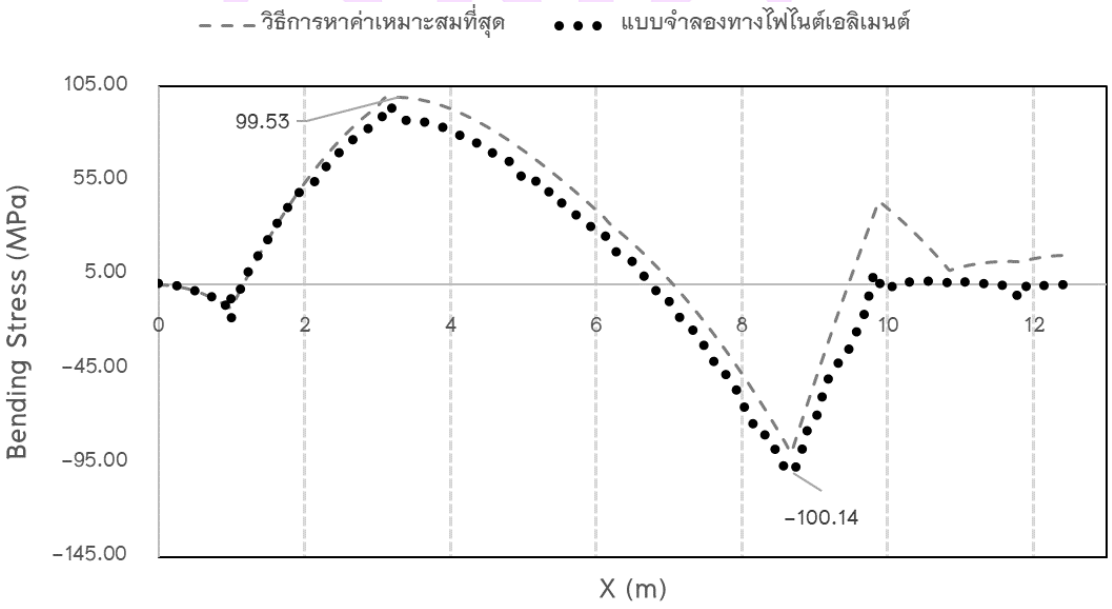


ภาพ 34 แสดงลักษณะการกำหนด Boundary condition และโหลดของแบบจำลองจากวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด



ภาพ 35 แสดงผลกระจายตัวของความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในแชสซีขณะรับน้ำหนักบรรทุกของแบบจำลองจากวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมที่ออกแบบ และผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ จากภาพ 36 และตาราง 8 พบว่า ว่าค่าความเค้นที่ได้จากทั้ง 2 วิธี มีความสอดคล้องกัน โดยความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการใช้โปรแกรมที่ออกแบบมีค่าเท่ากับ 99.5 MPa ที่บริเวณ $x = 3.2$ m มีค่า $SF = 4.02$ ในขณะที่ความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าเท่ากับ 100.1 MPa ที่บริเวณ $x = 8.7$ m มีค่า $SF = 4.5$ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าชุดโปรแกรมที่ออกแบบสำหรับแชสซีที่มีหน้าตัดคงที่สามารถนำไปใช้สำหรับออกแบบแชสซีรถบรรทุกได้จริง



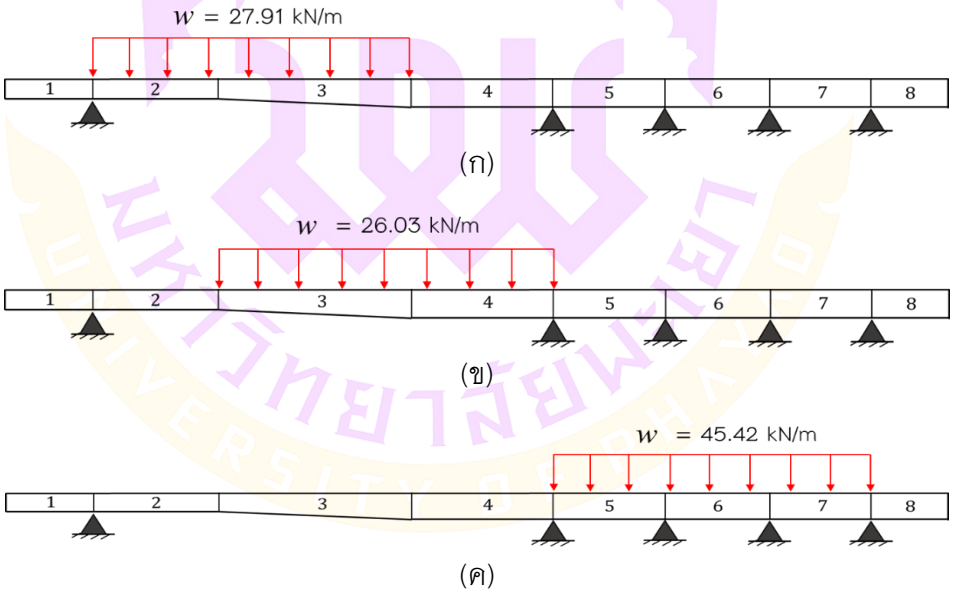
ภาพ 36 แสดงการเปรียบเทียบผลกระจายตัวของความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในแชสซีขณะรับน้ำหนักบรรทุกระหว่างวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดและแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ตาราง 8 แสดงการเปรียบเทียบขนาดและตำแหน่งของความเค้นสูงสุด

ความเค้น	วิธีการหา ค่าที่เหมาะสมที่สุด		แบบจำลอง ทางไฟไนต์เอลิเมนต์		
สูงสุด	ขนาด (MPa)	ตำแหน่ง (x)	ขนาด (MPa)	ตำแหน่ง (x)	ความแตกต่าง (%)
ความเค้นดึง	99.5	3.3	95.5	3.2	4.2
ความเค้นกด	-89.3	8.7	-100.1	8.7	10.8

3. การจำลองลักษณะของโหลดบรรทุกในรูปแบบอื่น ๆ

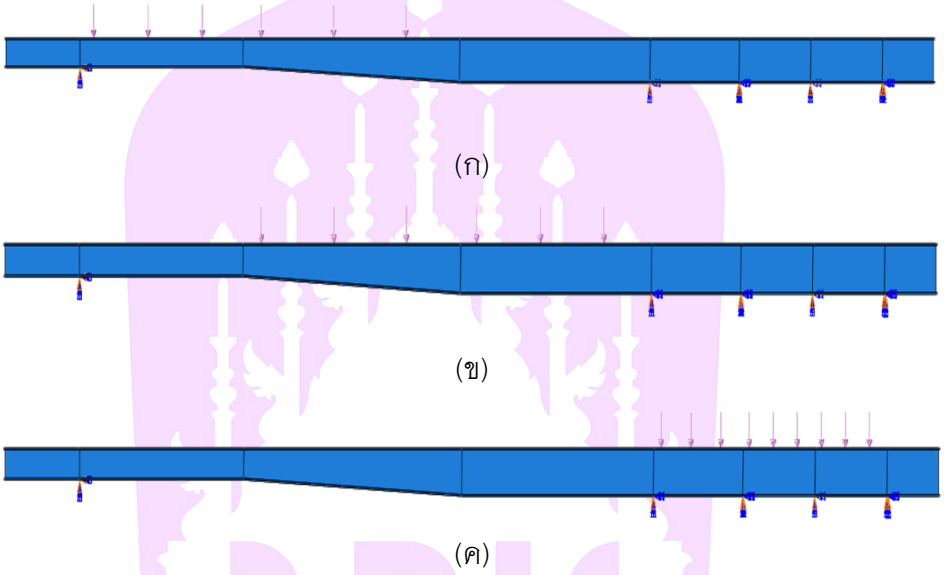
ในหัวข้อนี้จะจำลองลักษณะน้ำหนักบรรทุกในรูปแบบอื่น ๆ และแสดงผลของความเค้นที่เกิดขึ้นในแชสซีขณะรับน้ำหนักบรรทุกในรูปแบบต่าง ๆ โดยสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแชสซีที่มีลักษณะและขนาดดังภาพ 33 และรองรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากันที่ 30 ตัน (คิดจากขนาดของแรงกระจายคูณกับความยาวทั้งหมดของแชสซี) โดยแสดงลักษณะของโหลดบรรทุก ดังภาพ 37



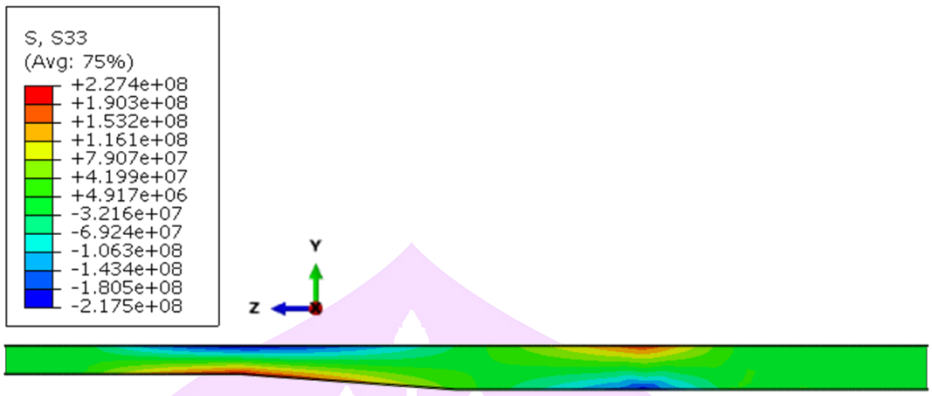
ภาพ 37 แสดง (ก) ลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 1 (ข) ลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 2 (ค) ลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 3

หมายเหตุ: ขนาดของแรงกระจายในแต่ละรูปแบบคิดจากน้ำหนักบรรทุกที่ 30 ตัน หารกับช่วงความยาวที่โหลดกระทำ

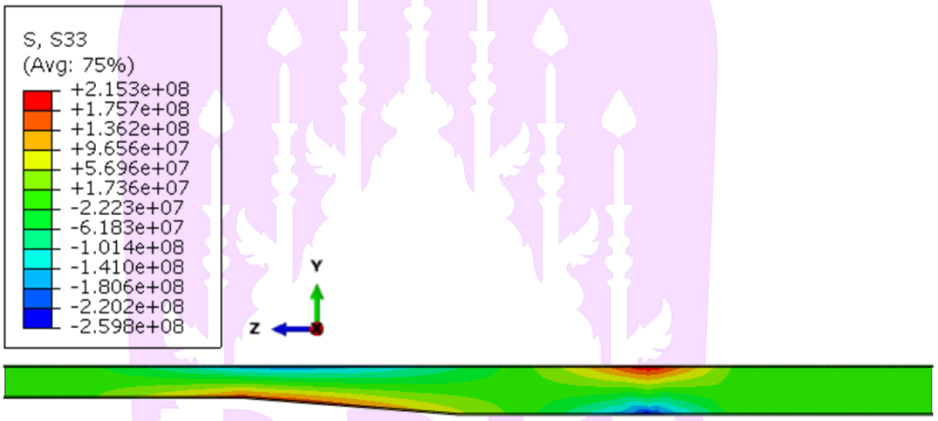
จากภาพ 38 เมื่อนำไปสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้ง 3 รูปแบบและกำหนดภาระโหลดในรูปของความดันขนาด 0.159 MPa 0.166 MPa และ 0.302 MPa ตามลำดับกระจายลงบริเวณพื้นที่ด้านบนของโครงสร้างแชสซี โดยค่าความดันดังกล่าวถูกคำนวณมาจากการนำน้ำหนักบรรทุกขนาด 30 ตัน หารด้วยพื้นที่ด้านบนของโครงสร้างแชสซี โดยแสดงลักษณะของแบบจำลองดังภาพ 39 และผลของความเค้นที่เกิดขึ้นดังภาพ 40



ภาพ 38 แสดง (ก) แบบจำลองลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 1 (ข) แบบจำลองลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 2 (ค) แบบจำลองลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 3



(ก)



(ข)

(ค)

ภาพ 39 แสดงผลกระจายตัวของความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในแชสซีขณะรับน้ำหนักบรรทุกของ (ก) ลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 1 (ข) ลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 2 (ค) ลักษณะบรรทุกในรูปแบบที่ 3

ตาราง 9 แสดงผลความเค้นดัดที่เกิดขึ้นของลักษณะโหลดรูปแบบต่าง ๆ

ลักษณะโหลด	ความเค้น (MPa)	ค่าความปลอดภัย
รูปแบบที่ 1	227.4	1.8
รูปแบบที่ 2	215.3	1.9
รูปแบบที่ 3	19.9	20.1

จากข้อมูลในตาราง 9 พบว่า เมื่อเปลี่ยนลักษณะของโหลดบรรทุกตามรูปแบบที่ 1 และ 2 ส่งผลให้ค่าความปลอดภัยที่ได้มีค่าน้อยกว่าที่กำหนด โดยมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.8 และ 1.9 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการวางสินค้าที่มีน้ำหนักมากลงบริเวณระหว่างสลักพ่วงและเต้าแหนบตัวที่ 1 มีความเสี่ยงที่สามารถทำให้แชสซีเกิดความเสียหายได้ในบริเวณดังกล่าว ดังนั้นในการบรรทุกสินค้าควรมีการจัดวางสินค้าให้กระจายสม่ำเสมอเพื่อให้แชสซีสามารถรองรับภาระโหลดของสินค้าได้อย่างปลอดภัยและไม่เกิดความเสียหาย

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการออกแบบแชสซีของส่วนพ่วงของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 6 เพลา ให้มีความถูกต้องมากขึ้น โดยเปลี่ยนจากวิธีการดั้งเดิมที่ออกแบบโดยพิจารณาให้แชสซีเป็นคานอย่างง่ายที่มีจุดรองรับ 2 จุด (simply supported beam) เป็นการพิจารณาให้แชสซีของส่วนพ่วงมีลักษณะเป็นคานต่อเนื่องที่มีจุดรองรับ 5 จุด ซึ่งตรงตามลักษณะการใช้งานจริงของแชสซี โดยงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางในการออกแบบทั้งหมด 2 แนวทาง ได้แก่

แนวทางที่ 1 ใช้วิธีสมการสามโมเมนต์ในการประเมินหาค่าแรงปฏิกิริยาที่ตำแหน่งจุดรองรับ เพื่อนำไปสร้างสมการหาค่าโมเมนต์ดัด ณ ช่วงต่าง ๆ และนำไปประเมินหาความแข็งแรงของแชสซี

แนวทางที่ 2 ใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการประเมินค่าแรงปฏิกิริยา และใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมช่วยในการเลือกค่าตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างให้มีน้ำหนักเบาที่สุด ภายใต้เงื่อนไขของค่าความปลอดภัยที่กำหนด โดยได้ดำเนินการผ่านชุดคำนวณที่ถูกสร้างขึ้นในโปรแกรม Microsoft excel

จากการนำแนวทางการออกแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างแชสซีของรถบรรทุกกึ่งพ่วงของบริษัท เกษมรุ่งเรืองขนส่ง จำกัด พบว่า แนวทางการออกแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยทั้ง 2 แนวทาง สามารถใช้ออกแบบแชสซีรถบรรทุกกึ่งพ่วงได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ ช่วยให้ขนาดหน้าตัดของเหล็กที่ใช้ในการผลิตแชสซีให้มีขนาดที่เหมาะสมกับค่าความปลอดภัยที่กำหนด ทำให้โครงสร้างของแชสซีที่ถูกออกแบบมีน้ำหนักเบาลง และสามารถลดต้นทุนทางด้านวัสดุที่ใช้ในการผลิตแชสซี

ข้อเสนอแนะ

1. วิธีสมการสามโมเมนต์สามารถนำไปใช้ออกแบบแชสซีของรถบรรทุกได้จริง แต่ไม่ใช่วิธีการที่ดีที่สุดสำหรับการออกแบบแชสซี เนื่องจากสมมติฐานทางโครงสร้างของทฤษฎีมีความขัดแย้งกับโครงสร้างจริงของแชสซี ส่งผลให้แชสซีที่ออกแบบมีขนาดที่ยังไม่เหมาะสมและยังไม่คุ้มค่ามากพอที่จะนำไปใช้ผลิตแชสซีจริง

2. สำหรับการออกแบบแชสซีด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ร่วมกับวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดนั้น ในขั้นตอนของการแบ่งเอลิเมนต์ หากมีการแบ่งเอลิเมนต์ให้มีจำนวนมากขึ้นจะส่งผลให้ผลลัพธ์ในการคำนวณมีความแม่นยำสูงขึ้น และทำให้ได้ข้อมูลที่จะนำไปใช้ออกแบบแชสซีมีความถูกต้องและปลอดภัยมากขึ้น

3. การออกแบบแชสซีอาจจะมีกรณีอื่น ๆ ที่อาจจะต้องเพิ่มเงื่อนไขในการออกแบบเพิ่มเติมจากที่ได้นำเสนอในงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งอาจจะต้องมีการปรับปรุงชุดโปรแกรมคำนวณดังกล่าวเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานต่อไป

บรรณานุกรม

กรมทางหลวง. (2558). **ประกาศผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดิน และผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2558.** สืบค้นเมื่อ 15 เมษายน 2564, จาก https://www.doh.go.th/?fbclid=IwAR3oHjtSd1NG0b6zmgxiKRrFqQ_SGk5VIFOanVnIZ.

ทศพล นภาสวัสดิ์. (2566). **การศึกษาอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถบรรทุก**. วิทยานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

ธงชัย ฟองสมุทร. **วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เบื้องต้น**. เชียงใหม่: ดาราวรรณ.

ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด (มหาชน). (2564). **แนวโน้มธุรกิจและอุตสาหกรรมไทย ปี 2564-2566**. สืบค้นเมื่อ 25 มีนาคม 2564, จาก https://www.krungsri.com/th/research/industry/summary-outlook/industry-summary-outlook-2021-2023.

บริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด. (2564). **Steel table Thai standard.** สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2564, จาก https://www.syssteel.com/wp-content/uploads/2022/04/SYS-Catalog-Thai-Effective-April-2022.pdf.

วรเทพ แซ่ล่อง (2565). วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด. **เอกสารประกอบการสอนวิชาคณิตศาสตร์ขั้นสูงสำหรับวิศวกรโยธา**. พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา.

วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน. (2556). **การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1**. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

สิทธิชัย แสงอาทิตย์ (ม.ป.ป.). ทฤษฎี Moment-Area. ใน **ทฤษฎีโครงสร้าง** (หน้า 7-12). นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สำนักวิศวกรรมยานยนต์.(2564). **สรุปรายละเอียดขนาดสัดส่วนของรถโดยสารและรถบรรทุกตามพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522.** สืบค้นเมื่อ 3 มิถุนายน 2564, จาก http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER50/DRAWER085/GENERAL/DATA0001/00001780.PDF.

ห้างหุ้นส่วนจำกัด สตีลลีดส์ (ประเทศไทย). (2564). **ราคาเหล็ก H Beam.** สืบค้นเมื่อ 23 กรกฎาคม 2564, จาก https://www.steellead.com/h-beam-price.html

อนุชา พรมวังขวา. (2544). **ทฤษฎีทั่วไปของไฟไนต์เอลิเมนต์: วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เบื้องต้น.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Jembere, A. K., Paramasivam, V., Tilahun, S. and Selvaraj, S. K. (2021). Stress analysis of different cross–section for passenger truck chassis with a material of ASTM A148 Gr 80–50. **Material Today: Proceedings**, 46, 7304–7316.

Muhammad Nor, M. A., Rashid, H., Mahyuddin W. M. F. W., Azlan, M. A. M. and Mahmud, J. (2012). Stress analysis of a low loader chassis. **Procedia Engineering**, 41, 995–1001.

Patel, H., Panchal, K. C. and Jadav, C. S. (2013). Structural analysis of truck chassis frame and design optimization for weight reduction. **International Journal of Engineering and Advanced Technology,** 2(4), 665–668.

Patil, H. B., Kachave, S. D. and Deore, E. R. (2013). Stress analysis of automotive chassis with various thicknesses. **IOSR journal of Mechanical and Civil Engineering**, 6, 44–49.

Rahman, R. A., Tamin, M. N. and Kurdi, O. (2008). Stress analysis of heavy truck chassis as a preliminary data for its fatigue life prediction using FEM. **Journal Mekanikal**, 26, 76–85.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แสดงการหาค่า Element Stiffness Matrix ของคาน

$$K_{ij}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI_{(x)} \frac{d^2\varphi_i}{d\zeta^2}\frac{d^2\varphi_j}{d\zeta^2}d\zeta$$

เมื่อแทน shape function φ_{1-4} ลงในสมการ 13(a) จะสามารถหาค่า stiffness matrix ได้ดังต่อไปนี้

$$K_{11}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI(\frac{3}{2}\zeta)(\frac{3}{2}\zeta)d\zeta = \frac{12EI}{h^3}$$

$$K_{12}^{e} = K_{21}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI(\frac{3}{2}\zeta)(\frac{h}{4}(-1+3\zeta))d\zeta = \frac{6EI}{h^2}$$

$$K_{13}^{e} = K_{31}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI(\frac{3}{2}\zeta)(-\frac{3}{2}\zeta)d\zeta = -\frac{12EI}{h^3}$$

$$K_{14}^{e} = K_{41}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI(\frac{3}{2}\zeta)(\frac{h}{4}(-1+3\zeta))d\zeta = \frac{6EI}{h^2}$$

$$K_{22}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI(\frac{h}{4}(-1+3\zeta))(\frac{h}{4}(-1+3\zeta))d\zeta = \frac{4EI}{h}$$

$$K_{23}^{e} = K_{32}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI(-\frac{3}{2}\zeta)(\frac{h}{4}(-1+3\zeta))d\zeta = -\frac{6EI}{h^2}$$

$$K_{24}^{e} = K_{42}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI(\frac{h}{4}(-1+3\zeta))(\frac{h}{4}(1+3\zeta))d\zeta = \frac{2EI}{h}$$

$$K_{33}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI(-\frac{3}{2}\zeta)(-\frac{3}{2}\zeta)d\zeta = \frac{12EI}{h^3}$$

$$K_{34}^{e} = K_{43}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI(-\frac{3}{2}\zeta)(\frac{h}{4}(1+3\zeta))d\zeta = -\frac{6EI}{h^2}$$

$$K_{44}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI(\frac{h}{4}(1+3\zeta))(\frac{h}{4}(1+3\zeta))d\zeta = \frac{4EI}{h}$$

$$K_{beam}^{e} = \begin{bmatrix} K_{11}^{e} & K_{12}^{e} & K_{13}^{e} & K_{14}^{e} \\ K_{21}^{e} & K_{22}^{e} & K_{23}^{e} & K_{24}^{e} \\ K_{31}^{e} & K_{32}^{e} & K_{33}^{e} & K_{34}^{e} \\ K_{41}^{e} & K_{42}^{e} & K_{43}^{e} & K_{44}^{e} \end{bmatrix}$$

ภาคผนวก ข แสดงการหาค่า Element Stiffness Matrix ของคานเรียว

$$K_{ij}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI_{(\zeta)} \frac{d^2\varphi_i}{d\zeta^2}\frac{d^2\varphi_j}{d\zeta^2}\,d\zeta$$

เมื่อแทน shape function φ_{1-4} และสมการที่ 35 ลงในสมการที่ 13(a) จะสามารถหา stiffness matrix ของคานเรียวได้ดังต่อไปนี้

$$K_{11}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI_{(\zeta)}(\frac{3}{2}\zeta)(\frac{3}{2}\zeta)d\zeta$$

$$K_{11}^{e} = \frac{E[bH_R^3(1+\phi)(7+\phi(7\phi-4))+c_1(2c_2-H_R(1+\phi))(10c_2{}^2-10c_2H_R(1+\phi)+H_R^2(7+\phi(7\phi-4)))]}{20h^3}$$

$$K_{12}^{e} = K_{21}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI_{(\zeta)}(\frac{3}{2}\zeta)(\frac{h}{4}(-1+3\zeta))d\zeta$$

$$K_{12}^{e} = \frac{E[bH_R^3(2+\phi+2\phi^2+5\phi^3)+c_1(10B^3-10c_2{}^2(H_R+2H_R\phi)+c_2H_R^2(7+6\phi+17\phi^2)}{20h^3}$$

$$\frac{-H_R^3(2+\phi+2\phi^2+5\phi^3))]}{20h^3}$$

$$K_{13}^{e} = K_{31}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI_{(\zeta)}(\frac{3}{2}\zeta)(-\frac{3}{2}\zeta)d\zeta$$

$$K_{13}^{e} = \frac{E[-bH_R^3(1+\phi)(7+\phi(7\phi-4))-c_1(2c_2-H_R(1+\phi))(10c_2{}^2-10c_2H_R(1+\phi)+H_R^2(7+\phi(7\phi-4)))]}{20h^3}$$

$$K_{14}^{e} = K_{41}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI_{(\zeta)}(\frac{3}{2}\zeta)(\frac{h}{4}(-1+3\zeta))d\zeta$$

$$K_{14}^{e} = \frac{E[bH_R^3(2+\phi+2\phi^2+5\phi^3)+c_1(10c_2{}^3-10c_2{}^2(H_R+2H_R\phi)+c_2H_R^2(7+6\phi+17\phi^2)}{20h^3}$$

$$\frac{-H_R^3(2+\phi+2\phi^2+5\phi^3))]}{20h^3}$$

$$K_{22}^{e} = \frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1} EI_{(\zeta)}(\frac{h}{4}(-1+3\zeta))(\frac{h}{4}(-1+3\zeta))d\zeta$$

$$K_{22}^{e}=\frac{E[bH_R^3(2+\phi(2+\phi(5+11\phi)))+c_1(20{c_2}^3-15B^2(H_R+3H_R\phi)+2c_2H_R^2(4+\phi(7+19\phi))}{60h}$$
$$\frac{-H_R^3(2+\phi(2+2\phi(5+11\phi))))]}{60h}$$

$$K_{23}^{e}=K_{32}^{e}=\frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1}EI_{(\zeta)}(-\frac{3}{2}\zeta)(\frac{h}{4}(-1+3\zeta))d\zeta$$

$$K_{23}^{e}=-\frac{E[bH_R^3(2+\phi+2\phi^2+5\phi^3)+c_1(10{c_2}^3-10{c_2}^2(H_R+2H_R\phi)+c_2H_R^2(7+6\phi+17\phi^2)}{20h^3}$$
$$\frac{-H_R^3(2+\phi+2\phi^2+5\phi^3))]}{20h^3}$$

$$K_{24}^{e}=K_{42}^{e}=\frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1}EI_{(\zeta)}(\frac{h}{4}(-1+3\zeta))(\frac{h}{4}(1+3\zeta))d\zeta$$

$$K_{24}^{e}=\frac{E[bH_R^3(4+\phi+\phi^2+4\phi^3)+c_1(2c_2-H_R(1+\phi))(5{c_2}^2-5BH_R(1+\phi)+H_R^2(4+\phi(-3+4\phi)))]}{60h}$$

$$K_{33}^{e}=\frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1}EI_{(\zeta)}(-\frac{3}{2}\zeta)(-\frac{3}{2}\zeta)d\zeta$$

$$K_{33}^{e}=\frac{E[bH_R^3(1+\phi)(7+\phi(7\phi-4))+c_1(2c_2-H_R(1+\phi))(10{c_2}^2-10c_2H_R(1+\phi)+H_R^2(7+\phi(7\phi-4)))]}{20h^3}$$

$$K_{34}^{e}=K_{43}^{e}=\frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1}EI_{(\zeta)}(-\frac{3}{2}\zeta)(\frac{h}{4}(1+3\zeta))d\zeta$$

$$K_{34}^{e}=-\frac{E[bH_R^3(2+\phi+2\phi^2+5\phi^3)+c_1(10{c_2}^3-10{c_2}^2(H_R+2H_R\phi)+c_2H_R^2(7+6\phi+17\phi^2)}{20h^3}$$
$$\frac{-H_R^3(2+\phi+2\phi^2+5\phi^3))]}{20h^3}$$

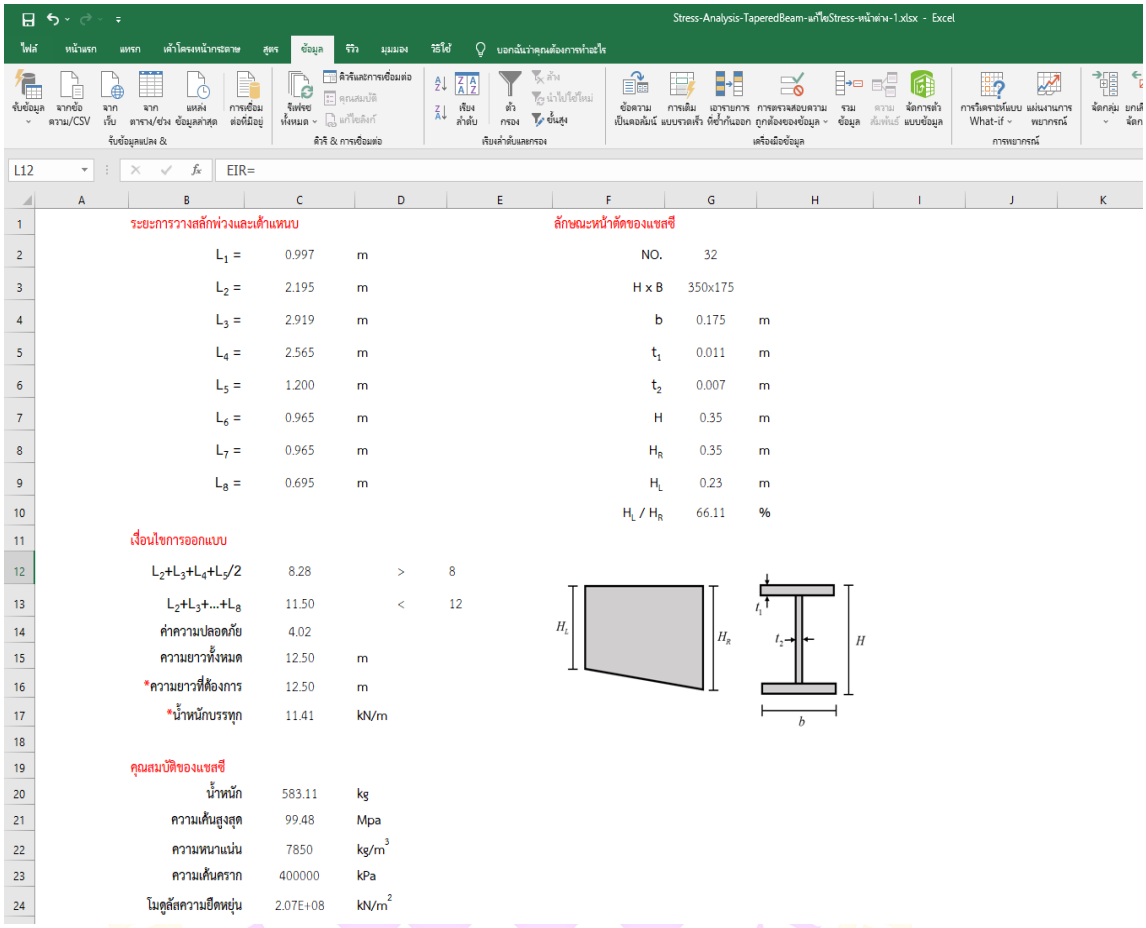
$$K_{44}^{e}=\frac{8}{h^3}\int_{-1}^{1}EI_{(\zeta)}(\frac{h}{4}(1+3\zeta))(\frac{h}{4}(1+3\zeta))d\zeta$$

$$K_{44}^{e}=\frac{E[bH_R^3(2+\phi(2+\phi(5+11\phi)))+c_1(20{c_2}^3-15{c_2}^2(H_R+3H_R\phi)+2c_2H_R^2(4+\phi(7+19\phi))}{60h}$$
$$\frac{-H_R^3(2+\phi(2+2\phi(5+11\phi))))]}{60h}$$

$$K^{e}_{tapered} = \begin{bmatrix} K^{e}_{11} & K^{e}_{12} & K^{e}_{13} & K^{e}_{14} \\ K^{e}_{21} & K^{e}_{22} & K^{e}_{23} & K^{e}_{24} \\ K^{e}_{31} & K^{e}_{32} & K^{e}_{33} & K^{e}_{34} \\ K^{e}_{41} & K^{e}_{42} & K^{e}_{43} & K^{e}_{44} \end{bmatrix}$$

ภาคผนวก ค การใช้งานชุดโปรแกรม

1. หน้าต่างชุดโปรแกรมที่ออกแบบ



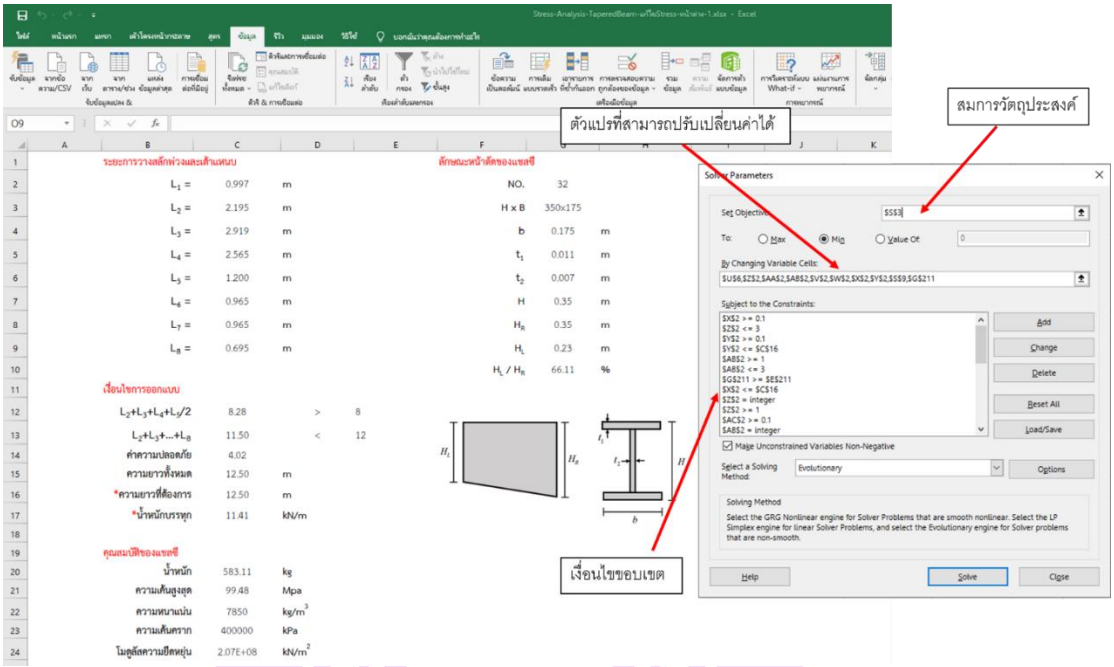
Stress-Analysis-TaperedBeam-แก้ไขStress-หน้าต่าง-1.xlsx - Excel

L12 | EIR=

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		ระยะการวางสลักห่างและเต้าแหนบ				ลักษณะหน้าตัดของแชสซี					
2		L_1 =	0.997	m		NO.	32				
3		L_2 =	2.195	m		H x B	350x175				
4		L_3 =	2.919	m		b	0.175	m			
5		L_4 =	2.565	m		t_1	0.011	m			
6		L_5 =	1.200	m		t_2	0.007	m			
7		L_6 =	0.965	m		H	0.35	m			
8		L_7 =	0.965	m		H_R	0.35	m			
9		L_8 =	0.695	m		H_L	0.23	m			
10						H_L / H_R	66.11	%			
11		เงื่อนไขการออกแบบ									
12		$L_2+L_3+L_4+L_5/2$	8.28		> 8						
13		$L_2+L_3+...+L_8$	11.50		< 12						
14		ค่าความปลอดภัย	4.02								
15		ความยาวทั้งหมด	12.50	m							
16		*ความยาวที่ต้องการ	12.50	m							
17		*น้ำหนักบรรทุก	11.41	kN/m							
18											
19		คุณสมบัติของแชสซี									
20		น้ำหนัก	583.11	kg							
21		ความเค้นสูงสุด	99.48	Mpa							
22		ความหนาแน่น	7850	kg/m^3							
23		ความเค้นเฉือน	400000	kPa							
24		โมดูลัสความยืดหยุ่น	2.07E+08	kN/m^2							

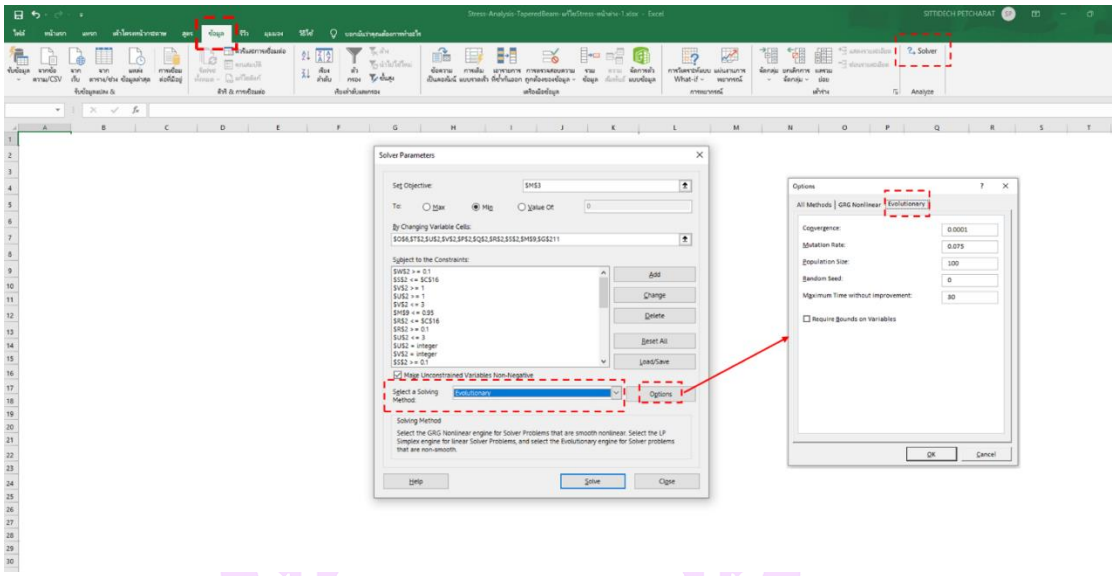
มหาวิทยาลัยพะเยา UNIVERSITY OF PHAYAO

2. การตั้งค่าสมการวัตถุประสงค์ ตัวแปร และเงื่อนไข



3. การใช้งานชุดโปรแกรม

ให้ไปที่เมนู ---> **ข้อมูล** ---> **solver** ---> และเลือก Select a solving Method เป็นแบบ **Evolutionary** --->**Options** (ตั้งค่าดังรูป) จากนั้นกดที่ปุ่ม **Solve** ดังแสดงในภาพต่อไปนี้



4. ผลลัพธ์

จากการดำเนินการในหัวข้อการใช้งานชุดโปรแกรม จะได้ผลลัพธ์ของหน้าต่างของโปรแกรมดังต่อไปนี้

ระยะการวางสลักพ่วงและเต้าแหนบ

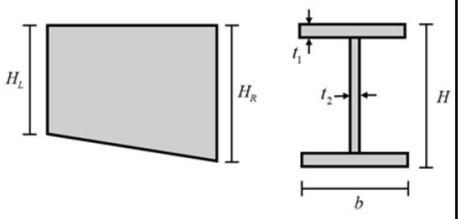
L1 =	0.997	m
L2 =	2.195	m
L3 =	2.919	m
L4 =	2.565	m
L5 =	1.200	m
L6 =	0.965	m
L7 =	0.965	m
L8 =	0.695	m

ลักษณะหน้าตัดของแชสซี

b=	0.175	m
t1=	0.011	m
t2=	0.007	m
H	0.35	m
H_R	0.35	m
H_L	0.23	m
H_L / H_R	66.11	%

เงื่อนไขการออกแบบ

L2+L3+L4+L5/2	8.28	>	8
L2+L3+...+L8	11.50	<	12
ค่าความปลอดภัย	4.02		
ความยาวทั้งหมด	12.50	m	
*ความยาวที่ต้องการ	12.50	m	
*น้ำหนักบรรทุก	11.41	kN/m	



คุณสมบัติของแชสซี

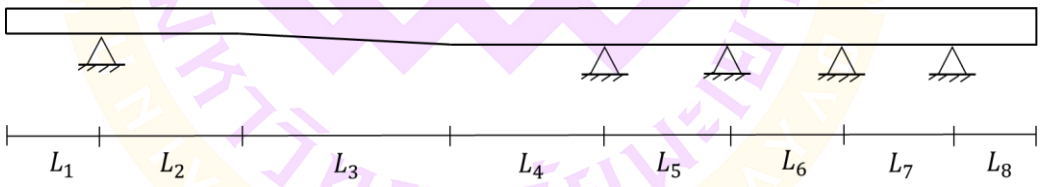
NO.	32	
H x B	350x175	
น้ำหนัก	583.11	kg
ความเค้นสูงสุด	99.48	Mpa
ความหนาแน่น	7850	kg/m^3
ความเค้นคราก	400000	kPa

โดยหน้าต่างของโปรแกรมจะประกอบไปด้วย 4 ส่วน ดังนี้ 1) ระยะการวางสลักพ่วงและเต้าแหนบ 2) เงื่อนไขการออกแบบ 3) คุณสมบัติของแชสซี 4) ลักษณะหน้าตัดของแชสซี ซึ่งอธิบายรายละเอียดไว้ดังนี้

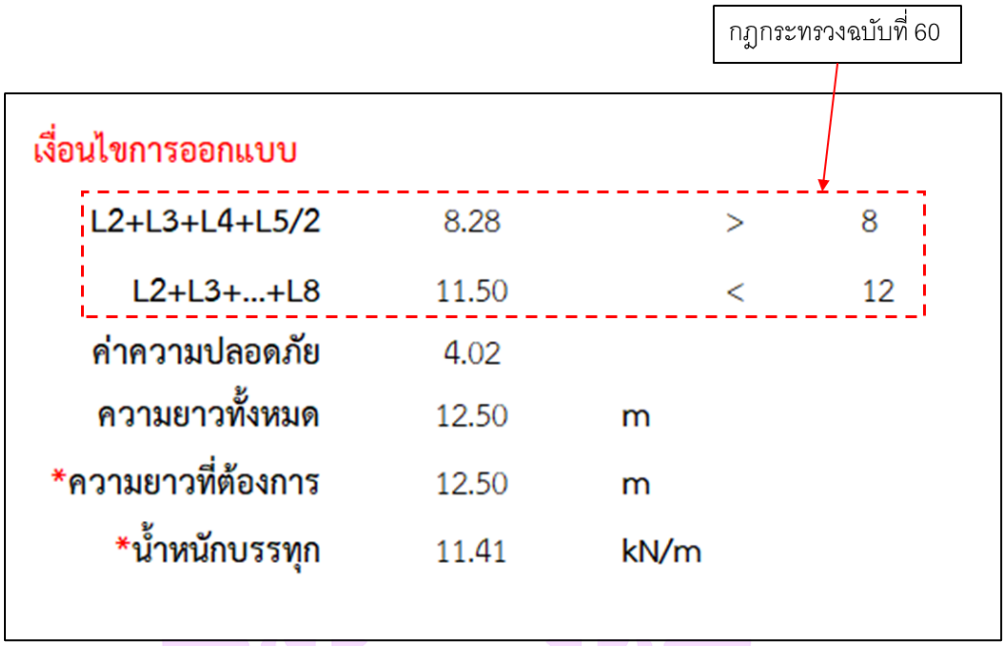
1) ระยะการวางสลักพ่วงและเต้าแหนบ

ระยะการวางสลักพ่วงและเต้าแหนบ			
L_1	=	0.997	m
L_2	=	2.195	m
L_3	=	2.919	m
L_4	=	2.565	m
L_5	=	1.200	m
L_6	=	0.965	m
L_7	=	0.965	m
L_8	=	0.695	m

ในส่วนนี้ผู้ใช้งานสามารถดูระยะการวางสลักพ่วงและขนาดของเต้าแหนบ โดยพิจารณาร่วมกับภาพที่แสดงดังต่อไปนี้



2) เงื่อนไขการออกแบบ



ในส่วนนี้จะแสดงข้อมูลของเงื่อนไขในการออกแบบ เพื่อให้แชสซีที่ออกแบบมีความถูกต้องตามกฎหมาย และมีความปลอดภัยสำหรับการนำไปใช้งานจริง โดยเงื่อนไขดังกล่าวจะประกอบไปด้วย

1. ขนาดสัดส่วนตามกฎกระทรวงฉบับที่ 60
2. ค่าความปลอดภัย (คำนวณจากสมการที่ 31)
3. ความยาวทั้งหมด
4. ความยาวที่ต้องการ * โดยในส่วนนี้ผู้ใช้งานจะเป็นผู้กรอกข้อมูลด้วยตัวเอง
5. น้ำหนักบรรทุก * โดยในส่วนนี้ผู้ใช้งานจะเป็นผู้กรอกข้อมูลด้วยตัวเอง

3) คุณสมบัติของแชสซี

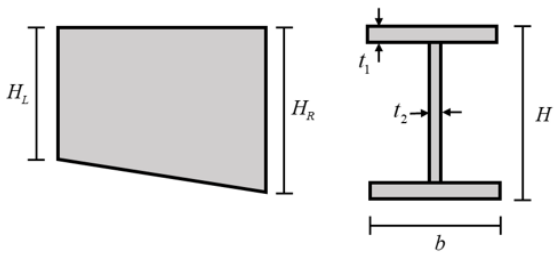
คุณสมบัติของแชสซี		
น้ำหนัก	583.11	kg
ความเค้นสูงสุด	99.48	Mpa
ความหนาแน่น	7850	kg/m^3
ความเค้นคราก	400000	kPa
โมดูลัสความยืดหยุ่น	2.07E+08	kN/m^2

ในส่วนนี้จะแสดงคุณสมบัติของแชสซีที่ได้จากการออกแบบด้วยชุดโปรแกรมที่สร้างขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถพิจารณาความเหมาะสมก่อนนำข้อมูลไปใช้งาน โดยในส่วนของค่าความหนาแน่น ความเค้นคราก และโมดูลัสความยืดหยุ่น สามารถเปลี่ยนแปลงไปตามวัสดุที่นำมาใช้ผลิตแชสซี ซึ่งผู้ใช้งานสามารถกำหนดเองได้ โดยข้อมูลของน้ำหนักคำนวณมาจากสมการที่ 37

4) ลักษณะหน้าตัดของแชสซี

ลักษณะหน้าตัดของแชสซี

NO.	32	
H x B	350x175	
b	0.175	m
t_1	0.011	m
t_2	0.007	m
H	0.35	m
H_R	0.35	m
H_L	0.23	m
H_L / H_R	66.11	%



ในส่วนนี้จะแสดงข้อมูลรายละเอียดของหน้าตัดเหล็กรูปตัวเอช จากบริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด และแสดงระยะความสูงของหน้าตัดที่ลดลง โดยข้อมูลของเหล็กรูปตัวเอชไม่จำเป็นต้องอ้างอิงข้อมูลจากบริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด เพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถแก้ไขและเพิ่มข้อมูลของเหล็กรูปตัวเอชจากแหล่งข้อมูลอื่นได้ ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน

ตัวอย่างโปรแกรมจากกรณีศึกษา:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1X0AechkZsYQ3ryw7xSqvmbm769k906Jk/edit?usp=drive_link&ouid=111967542762263391371&rtpof=true&sd=true

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ–สกุล	สิทธิเดช เพชราช
วัน เดือน ปี เกิด	31 กรกฎาคม 2541
สถานที่เกิด	เชียงราย
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2564 วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล), มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา
ที่อยู่ปัจจุบัน	64 หมู่ที่ 15 ตำบลเวียง อำเภอเทิง จังหวัดเชียงราย 57160
ผลงานตีพิมพ์	สิทธิเดช เพชราช. (อยู่ระหว่างตีพิมพ์). คำนวณโมเมนต์ดัดในคาน ด้วยวิธีสามโมเมนต์เพื่อใช้ในการออกแบบแชสซีรถบรรทุก. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 18(2).
รางวัลที่ได้รับ	–