

การประเมินสมรรถนะของโครงสร้างตู้รถไฟโดยสารด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

STRUCTURAL PERFORMANCE EVALUATION OF RAILWAY VEHICLE CAR-BODY VIA FINITE
ELEMENT METHOD



ธัชพล ทัศนภักดี
พีรพัฒน์ สติรบุตร
ภัทร์ สุปรียาพร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประเมินสมรรถนะของโครงสร้างตู้รถไฟโดยสารด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

STRUCTURAL PERFORMANCE EVALUATION OF RAILWAY VEHICLE CAR-BODY VIA FINITE
ELEMENT METHOD



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STRUCTURAL PERFORMANCE EVALUATION OF RAILWAY VEHICLE CAR-BODY VIA FINITE
ELEMENT METHOD



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การประเมินสมรรถนะของโครงสร้างตู้รถไฟโดยสารด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
Structural Performance Evaluation of Railway Vehicle Car-Body via
Finite Element Method

นักศึกษา นายอัชพัทธ์ สนิทภักดี รหัสนักศึกษา 62010409
นายพีรพัฒน์ สติรบุตร รหัสนักศึกษา 62010651
นายภัทร์ สุปรียาพร รหัสนักศึกษา 62010692

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ทรงศักดิ์ สุธาสุประดิษฐ์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.รัฐภูมิ ปริชาติปรีชา	
ดร.ทรงศักดิ์ สุธาสุประดิษฐ์	
ดร.ภาณุมาศ ไทรงาม	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาได้รับรองแล้ว

(รศ.ดร.ชลิตา อุตะภา)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อภาษาไทย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินสมรรถนะของโครงสร้างตู้รถไฟโดยสาร	
	ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	
นักศึกษา	นายธัชพลฤดี	สนิทภักดี รหัสนักศึกษา 62010409
	นายพีรพัฒน์	สถิรบุตร รหัสนักศึกษา 62010651
	นายภัทร์	สุปรียาพร รหัสนักศึกษา 62010692
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา	
พ.ศ.	2566	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ทรงศักดิ์ สุธาสุประดิษฐ์	

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการลงทุนและพัฒนาระบบขนส่งทางรางในด้านโครงสร้างและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับตัวรถไฟ ทั้งนี้เพื่อยกระดับเทคโนโลยีและลดการนำเข้าจากต่างประเทศ อย่างไรก็ตามการผลิตรถไฟขึ้นมาเองภายในประเทศยังมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างรถไฟ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษารูปแบบโครงสร้างตู้รถไฟโดยสารเพื่อการใช้งานในประเทศไทย โดยออกแบบโดยมาตรฐานสากล EN-12663 และมาตรฐานการรถไฟแห่งประเทศไทย ซึ่งจะคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยต่างๆในเชิงสถิติ วิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นส่วนเพื่อตรวจสอบพฤติกรรมของโครงสร้างภายใต้ภาระแรงกระทำต่างๆ โดยเราจะทำการปรับแก้ตัวโครงสร้างของตัวรถไฟหลังจากทำการวิเคราะห์พฤติกรรมที่เกิดภายใต้แรงกระทำต่างๆ ให้มีความปลอดภัยยิ่งขึ้นในการรับแรงกระทำต่างๆ โดยการวิจัยนี้ออกแบบและวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SAP-2000 โดยผลการศึกษาจะแสดงถึงการเปรียบเทียบน้ำหนัก สมรรถนะการใช้งาน ชนิดของเหล็กโครงสร้างที่ใช้ทั้งก่อนปรับแก้และหลังปรับแก้ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและผลิตตู้รถไฟโดยสารที่เหมาะสมต่อการใช้งานในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

Title	Structural Performance Evaluation of Railway Vehicle Car-Body via Finite Element Method		
Student	MR. THUTCHAPSUEK	SANITPAHDEE	ID. 62010409
	MR.PEERAPAT	SATIRABUT	ID. 62010651
	MR.PHAT	SUPREYAPORN	ID. 62010692
Degree	BACHELOR OF ENGINEERING		
Program	Civil Engineering		
Year	2023		
Advisor	Dr.Songsak Suthasupradit		

ABSTRACT

Thailand has invested in and developed structures and industries related to railcar bodies. This is to upgrade technology and reduce imports from other countries. However, producing a train in Thailand still have limitation in technology to analyze and design the structure of the railcar. In this research, we examine the passenger couch design according to EN-12663 and the Railway Standard of Thailand, which takes into consideration various safety-related factors in static and analyses the structure for checking the behavior of the structure under various cases by using the finite-element method. This research is operated by adjusting the composition of the structure after analyzing behavior of the structure under the different cases to be more secure for taking various types of loads. SAP2000 is used for designing and analyzing and the result will be shown as a comparison of the weight, capability, and type of the structural steel that was used before and after adjustment. This research can be a guideline for the design and manufacture of the passenger couch of the railcar that is suitable for use in Thailand later.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร. ทรงศักดิ์ สุทธาสุประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้คำปรึกษาให้ข้อเสนอแนะต่างๆ และอุปสรรคในการทำงาน รวมถึงการตรวจสอบข้อบกพร่องของงานวิจัย อันเป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างมาก พวกเราผู้จัดทำซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทั้งในอดีตและปัจจุบันที่ได้ให้การอบรม สั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทความรู้ แก่ผู้วิจัย ซึ่งส่งผลให้ผู้วิจัยสามารถก้าวมาถึงความสำเร็จที่สำคัญครั้งหนึ่งของชีวิตได้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในศึกษาเรียนรู้ในภาควิชาวิศวกรรมโยธาตลอด ระยะเวลาที่ผ่านมา รวมถึงคอยช่วยเหลือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักเป็นอย่างยิ่ง ที่มอบความรัก ความเอาใจใส่ ส่งเสริมการศึกษา ให้การช่วยเหลือด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี

ธัชพล ณี สนิทภักดี
พีรพัฒน์ สติรบุตร
ภัทร์ สุปรียาพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูปภาพ.....	VI
สารบัญตาราง.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1.ประเภทของรถไฟ.....	1
1.2.ประเภทของรถไฟประเทศไทย.....	5
1.3.การสร้างโครงรถไฟ.....	7
1.4 วัสดุประสงค์ของงานวิจัย.....	9
1.5 ขอบเขตของการดำเนินงาน.....	10
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1.รูปแบบโครงสร้างรถไฟ.....	11
2.2.ประเภทของโครงสร้างรถไฟ.....	13
2.3. การทดสอบและประเมินสมรรถนะของโครงสร้างรถไฟ.....	15
2.4. ทบทวนวรรณกรรม.....	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
3.1 ขั้นตอนการทำงานวิจัย.....	21
3.2 ทบทวนข้อมูลที่เกี่ยวข้อง.....	22
3.3 ออกแบบโครงสร้างรถไฟ.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

3.4 การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล	50
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	53
4.1. ผลวิเคราะห์ของแบบจำลองในเบื้องต้น.....	54
4.2. ผลวิเคราะห์หลังปรับแก้แบบจำลองให้มีความเหมาะสมมากที่สุด.....	88
4.3 เปรียบเทียบแบบจำลองก่อนปรับแก้และหลังปรับแก้	122
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	134
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	134
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	135
5.3 ข้อเสนอแนะ	135
บรรณานุกรม.....	136
ภาคผนวก ก ขนาดหน้าตัดมาตรฐาน	137
ภาคผนวก ข สืบออกชนิดของหน้าตัดเหล็กรูปพรรณในSAP2000.....	140
ภาคผนวก ค แบบโครงสร้างตัวรถไฟ	142
ภาคผนวก ง แรงกระทำในจุดที่เปลี่ยนเหล็กในกรณีที่ 2 และ 3.....	147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1 Diesel multiple unit:DMU	1
รูปที่ 1.2 Electric multiple unit:EMU	1
รูปที่ 1.3 Open coach	2
รูปที่ 1.4 Compartment coach	2
รูปที่ 1.5 รถไฟในฮังการีซึ่งเป็นแบบ composite coach.....	2
รูปที่ 1.6 Cover hopper	3
รูปที่ 1.7 Tankcar	3
รูปที่ 1.8 Gondola	3
รูปที่ 1.9 Boxcar	4
รูปที่ 1.10 Flatcar	4
รูปที่ 1.11 Stock car.....	4
รูปที่ 1.12 รถไฟโดยสารในไทย.....	5
รูปที่ 1.13 รถรางขนส่งสินค้าในไทย	5
รูปที่ 1.14 รถไฟซ่อมบำรุงทางของแขวงบำรุงทางอุตรดิตถ์.....	6
รูปที่ 1.15 พัฒนาการของตัวถังรถไฟ.....	7
รูปที่ 1.16 Differential construction.....	8
รูปที่ 1.17 Integral construction	8
รูปที่ 1.18 Hybrid construction	9
รูปที่ 2.1 Sandwich structure	12
รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาวัสดุ กับ ค่า Specific bending stiffness.....	13
รูปที่ 2.3 โครงสร้างรถไฟประเภท P-II.....	14
รูปที่ 2.4 โครงสร้างรถไฟประเภท P-III	14
รูปที่ 2.5 โครงสร้างรถไฟประเภท P-V	14
รูปที่ 2.6 โครงสร้างรถไฟประเภท F-I.....	15
รูปที่ 2.7 Flowchart แสดงขั้นตอนการดำเนินงานแบบ Multi-Disciplinary method	18
รูปที่ 3.1 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำงานวิจัย.....	21
รูปที่ 3.2 รูปแสดงแรงอัดที่กันชนและ/หรือขอพ่วงที่กระทำต่อตู้รถไฟโดยสาร P-I	22
รูปที่ 3.3 รูปแสดงแรงอัดในแนวทแยงมุมที่ตำแหน่งกันชน(ถ้าติดตั้งกันชนด้านข้างที่ปลายด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน)ที่กระทำต่อตู้รถไฟโดยสาร P-I	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ 3.4	รูปแสดงแรงดึงที่ขอฟวงที่กระทำต่อตู้รถไฟโดยสาร P-I	23
รูปที่ 3.5	รูปแสดงแรงอัดที่ระดับ 150 มม. เหนือพื้นทีกระทำต่อตู้รถไฟโดยสาร P-I.....	23
รูปที่ 3.6	รูปแสดงแรงอัดที่ความสูงของขอบหน้าต่างที่กระทำต่อตู้รถไฟโดยสาร P-I.....	23
รูปที่ 3.7	รูปแสดงแรงอัดที่ระดับความสูงของโครงหลังคาต้านข้างที่กระทำต่อตู้รถไฟโดยสาร P-I	23
รูปที่ 3.8	รูปแสดงน้ำหนักสูงสุดในขณะที่เดินรถตู้รถไฟโดยสาร P-I.....	24
รูปที่ 3.9	รูปแสดงการยกและการดันที่ปลายด้านหนึ่งของตัวรถตามตำแหน่งที่ระบุไว้ตู้รถไฟโดยสาร P-I	24
รูปที่ 3.10	รูปแสดงการยกและการดันทั้งคันตามตำแหน่งที่ระบุตู้รถไฟโดยสาร P-I	24
รูปที่ 3.11	รูปแสดงแรงกระทำสูงสุดของตู้รถไฟโดยสาร(แรงอัด)ตู้รถไฟโดยสาร P-I.....	24
รูปที่ 3.12	รูปแสดงแรงกระทำสูงสุดของตู้รถไฟโดยสาร(แรงดึง)ตู้รถไฟโดยสาร P-I.....	25
รูปที่ 3.13	รูปแสดงแรงกระทำต่างๆของน้ำหนัก M1, M2 และ M4.....	25
รูปที่ 3.14	รูปแสดงแบบโครงสร้างรถไฟ.....	27
รูปที่ 3.15	รูปแสดงแบบขยายโครงสร้างพื้นรถไฟ	27
รูปที่ 3.16	รูปแสดงความกว้างของตัวรถไฟเปรียบเทียบกับเขตบรรทุก(Loading Gauge)ต่างๆ	27
รูปที่ 3.17	รูปแสดงDimension Side View ของแบบจำลอง.....	28
รูปที่ 3.18	รูปแสดงDimension Front View ของแบบจำลอง.....	28
รูปที่ 3.19	รูปแสดงDimension Top View ของแบบจำลอง	28
รูปที่ 3.20	รูปแสดงวิธีสร้างไฟล์ใหม่	29
รูปที่ 3.21	รูปแสดงหน้าต่างTemplateและตำแหน่งของตัวเลือกGrid Only	30
รูปที่ 3.22	รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่าระยะGrid.....	30
รูปที่ 3.23	รูปแสดงหน้าโปรแกรมหลังสร้างGrid.....	31
รูปที่ 3.24	รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่าระยะGridแบบละเอียด.....	31
รูปที่ 3.25	รูปแสดงระยะGridตามแบบโครงสร้างที่ได้รับมา.....	32
รูปที่ 3.26	รูปแสดงแถบเครื่องมือสร้างแบบจำลอง	32
รูปที่ 3.27	รูปแสดงแถบการเปลี่ยนมุมมอง	33
รูปที่ 3.28	รูปแสดงวิธีเปลี่ยนประเภทข้อต่อ.....	33
รูปที่ 3.29	รูปแสดงหน้าต่างการตั้งค่าของข้อต่อ	34
รูปที่ 3.30	รูปแสดงแบบจำลองที่สร้างตามแบบโครงสร้างจริงเสร็จ	34
รูปที่ 3.31	รูปแสดงวิธีเปิดหน้าต่างแสดงประเภทหน้าตัดเพื่อกำหนดหน้าตัดใหม่	35
รูปที่ 3.32	รูปแสดงวิธีเพิ่มประเภทหน้าตัด.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ 3.33	รูปแสดงประเภทหน้าตัดต่างๆและตำแหน่งที่ต้องกดหากเลือกประเภทหน้าตัดChannel.....	36
รูปที่ 3.34	รูปแสดงหน้าตัดรายละเอียดของหน้าตัดและตำแหน่งที่ต้องกดเพื่อเพิ่มชนิดวัสดุ.....	36
รูปที่ 3.35	รูปแสดงวิธีการเพิ่มชนิดวัสดุ.....	37
รูปที่ 3.36	รูปแสดงหน้าตัดรายละเอียดของวัสดุ.....	37
รูปที่ 3.37	รูปแสดงหน้าตัดรายละเอียดของวัสดุเมื่อเลือกใช้ชนิดSS400.....	38
รูปที่ 3.38	รูปแสดงวิธีเปลี่ยนประเภทหน้าตัดเหล็ก.....	38
รูปที่ 3.39	รูปแสดงหน้าตัดประเภทหน้าตัดต่างๆที่กำหนดมาก่อนหน้า.....	39
รูปที่ 3.40	รูปแสดงวิธีการตั้งค่าให้แบบจำลองแสดงขนาดและสีของเหล็กตามที่กำหนด.....	39
รูปที่ 3.41	รูปแสดงรูปร่างของแบบจำลองเมื่อตั้งค่าตามที่กล่าวข้างต้น.....	39
รูปที่ 3.42	รูปแสดงวิธีเปิดหน้าต่างตั้งค่าLoad Pattern.....	40
รูปที่ 3.43	รูปแสดงหน้าต่างการตั้งค่าLoad Pattern.....	40
รูปที่ 3.44	รูปแสดงวิธีเปิดหน้าต่างตั้งค่าLoad Combo.....	41
รูปที่ 3.45	รูปแสดงตำแหน่งที่ต้องกดเพื่อเพิ่มLoad Combo.....	41
รูปที่ 3.46	รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่าLoad Pattern.....	42
รูปที่ 3.47	รูปแสดงวิธีใส่Load Patternบนข้อต่อ.....	42
รูปที่ 3.48	รูปแสดงหน้าต่างการตั้งค่าแรงที่จะใส่ในจุดต่อ.....	43
รูปที่ 3.49	รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่าแรงกระทำแต่ละกรณีที่กำหนด.....	43
รูปที่ 3.50	รูปแสดงผลDeformationหลังRun Analysis.....	44
รูปที่ 3.51	รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่าเพื่อแสดงผลDeformationในกรณีอื่น.....	44
รูปที่ 3.52	รูปแสดงตำแหน่งที่ต้องกดเพื่อดูค่าแรงกระทำบนJointหรือFrame.....	45
รูปที่ 3.53	รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่าเพื่อแสดงผลแรงกระทำในกรณีต่างๆบนJoint.....	45
รูปที่ 3.54	รูปแสดงผลแรงกระทำบนJoint.....	45
รูปที่ 3.55	รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่าเพื่อแสดงผลแรงกระทำในกรณีต่างๆบนFrame.....	46
รูปที่ 3.56	รูปแสดงผลแรงกระทำบนFrame.....	46
รูปที่ 3.57	รูปแสดงหน้าDrop-downของStart Steel Design/Check For Structure.....	47
รูปที่ 3.58	รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่ามาตรฐานในการวิเคราะห์แบบจำลอง.....	47
รูปที่ 3.59	รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่ากำหนดกรณีแรงกระทำที่จะเกิดขึ้นบนแบบจำลอง.....	48
รูปที่ 3.60	รูปแสดงตัวอย่างผลวิเคราะห์.....	48
รูปที่ 3.61	รูปแสดงส่วนที่เป็นจุดต่อ และ ส่วนที่เป็นmember.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ 3.62	รูปแสดงตำแหน่งหน้าตัดวัสดุของ ตู้อโดยสารแบบ 3 มิติ.....	49
รูปที่ 3.63	รูปแสดงตู้อโดยสารแบบ 3 มิติ (ไม่แสดงความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้าง).....	49
รูปที่ 3.64	รูปแสดงDeformation.....	50
รูปที่ 3.65	รูปแสดงShear ForceในแนวแกนXและรูปแสดงMomentแนวแกนX.....	50
รูปที่ 3.66	รูปแสดงShear ForceในแนวแกนYและรูปแสดงMomentแนวแกนY.....	50
รูปที่ 3.67	รูปแสดงShear ForceในแนวแกนZและรูปแสดงMomentแนวแกนZ.....	50
รูปที่ 3.68	รูปแสดงผลวิเคราะห์การออกแบบ.....	50
รูปที่ 4.1	รูปแสดงตำแหน่งหน้าตัดวัสดุของตู้อโดยสารแบบ 3 มิติ.....	54
รูปที่ 4.2	รูปแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง กรณีที่ 1 รับน้ำหนักสูงสุดในขณะเดินรถ.....	55
รูปที่ 4.3	รูปแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง กรณีที่ 2 ยกและการดันที่ปลายด้านหนึ่งของตัวรถพร้อมรูปขยาย.....	55
รูปที่ 4.4	รูปแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง กรณีที่ 3 ยกและการดันทั้งคัน.....	55
รูปที่ 4.5	รูปแสดงตำแหน่งของจุดที่สังเกตการโก่งตัว.....	56
รูปที่ 4.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับระยะการโก่งเฉลี่ยในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้.....	57
รูปที่ 4.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับระยะการโก่งเฉลี่ยในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้.....	59
รูปที่ 4.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับระยะการโก่งเฉลี่ยในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้.....	61
รูปที่ 4.9	รูปแสดงชิ้นโครงเหล็กก่อนปรับแก้ที่ใช้สังเกตShear ForceและBending Moment.....	62
รูปที่ 4.10	รูปแสดงภาพขยายของชิ้นส่วนโครงเหล็กช่วงที่ 1 ก่อนปรับแก้.....	62
รูปที่ 4.11	รูปแสดงภาพขยายของชิ้นส่วนโครงเหล็กช่วงที่ 2 ก่อนปรับแก้.....	63
รูปที่ 4.12	รูปแสดงภาพขยายของชิ้นส่วนโครงเหล็กช่วงที่ 3 ก่อนปรับแก้.....	63
รูปที่ 4.13	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้.....	64
รูปที่ 4.14	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้.....	66
รูปที่ 4.15	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้.....	67
รูปที่ 4.16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้.....	68
รูปที่ 4.17	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้.....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้.....	71
รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้.....	72
รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้.....	74
รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้.....	75
รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้.....	76
รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้.....	78
รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้.....	79
รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้.....	80
รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้.....	82
รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้.....	83
รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้.....	84
รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้.....	86
รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้.....	87
รูปที่ 4.31 รูปแสดงตำแหน่งหน้าตัดวัสดุของตู้โดยสารแบบ 3 มิติ หลังปรับแก้แบบจำลองแล้ว.....	88
รูปที่ 4.32 รูปแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง กรณีที่ 1 รับน้ำหนักสูงสุดในขณะเดินรถ หลังปรับแก้.....	89

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ 4.33 รูปแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง กรณีที่ 2 ยกและการดันที่ปลายด้านหนึ่งของตัวรถพร้อมรูปขยาย หลังปรับแก้.....	89
รูปที่ 4.34 รูปแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง กรณีที่ 3 ยกและการดันทั้งคัน หลังปรับแก้	89
รูปที่ 4.35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับระยะการโก่งเฉลี่ยในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้.....	91
รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับระยะการโก่งเฉลี่ยในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้.....	93
รูปที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับระยะการโก่งเฉลี่ยในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้.....	95
รูปที่ 4.38 รูปแสดงชิ้นโครงเหล็กหลังปรับแก้ที่ใช้สังเกตShear ForceและBending Moment.....	96
รูปที่ 4.39 รูปแสดงภาพขยายของชิ้นส่วนโครงเหล็กช่วงที่ 1 หลังปรับแก้.....	96
รูปที่ 4.40 รูปแสดงภาพขยายของชิ้นส่วนโครงเหล็กช่วงที่ 2 หลังปรับแก้.....	97
รูปที่ 4.41 รูปแสดงภาพขยายของชิ้นส่วนโครงเหล็กช่วงที่ 3 หลังปรับแก้.....	97
รูปที่ 4.42 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้.....	98
รูปที่ 4.43 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้.....	100
รูปที่ 4.44 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้.....	101
รูปที่ 4.45 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ใน กรณีที่ 1 หลังปรับแก้	102
รูปที่ 4.46 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ใน กรณีที่ 1 หลังปรับแก้	104
รูปที่ 4.47 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ใน กรณีที่ 1 หลังปรับแก้	105
รูปที่ 4.48 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้.....	106
รูปที่ 4.49 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้.....	108
รูปที่ 4.50 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้.....	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ 4.51 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้	110
รูปที่ 4.52 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้	112
รูปที่ 4.53 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้	113
รูปที่ 4.54 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้.....	114
รูปที่ 4.55 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้.....	116
รูปที่ 4.56 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้.....	117
รูปที่ 4.57 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้	118
รูปที่ 4.58 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้	120
รูปที่ 4.59 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้.....	121
รูปที่ 4.60 รูปแสดงรูปร่างแบบจำลองทั้งก่อนและหลังปรับแก้	122
รูปที่ 4.61 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวของแบบจำลองระหว่างก่อนและหลังปรับแก้.....	124
รูปที่ 4.62 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้	125
รูปที่ 4.63 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้	126
รูปที่ 4.64 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้	127
รูปที่ 4.65 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้.....	129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ 4.66 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ระหว่างก่อนและหลัง ปรับแก้.....	131
รูปที่ 4.67 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ระหว่างก่อนและหลัง ปรับแก้.....	132
รูปที่ 4.68 รูปแสดงผลBending Momentในกรณีที่ 1 และ ชี้ตำแหน่งข้อต่อที่เสี่ยงเกิดการวิบัติมากที่สุด	133



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1	ตารางแสดงข้อมูลทางเทคนิคของโครงสร้างตุ้รถโดยสาร.....	27
ตารางที่ 4.1	ตารางแสดงข้อมูลโครงตุ้รถโดยสาร.....	54
ตารางที่ 4.2	ตารางแสดงส่วนประกอบของโครงสร้าง.....	54
ตารางที่ 4.3	ตาราง แสดงระยะการโก่งตัวของพื้นรถในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้.....	56
ตารางที่ 4.4	ตารางแสดงระยะการโก่งตัวของพื้นรถในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้.....	58
ตารางที่ 4.5	ตารางแสดงระยะการโก่งตัวของพื้นรถในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้.....	60
ตารางที่ 4.6	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้.....	64
ตารางที่ 4.7	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้.....	65
ตารางที่ 4.8	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้.....	67
ตารางที่ 4.9	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้.....	68
ตารางที่ 4.10	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้.....	69
ตารางที่ 4.11	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้.....	71
ตารางที่ 4.12	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้.....	72
ตารางที่ 4.13	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้.....	73
ตารางที่ 4.14	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้.....	75
ตารางที่ 4.15	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้.....	76
ตารางที่ 4.16	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้.....	77
ตารางที่ 4.17	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้.....	79
ตารางที่ 4.18	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้.....	80
ตารางที่ 4.19	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้.....	81
ตารางที่ 4.20	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้.....	83
ตารางที่ 4.21	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้.....	84
ตารางที่ 4.22	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้.....	85
ตารางที่ 4.23	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้.....	87
ตารางที่ 4.24	ตารางแสดงข้อมูลโครงตุ้รถโดยสารหลังปรับแก้.....	88
ตารางที่ 4.25	ตารางส่วนประกอบของโครงสร้างหลังปรับแก้.....	88
ตารางที่ 4.26	ตารางแสดงระยะการโก่งตัวของพื้นรถในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้.....	90
ตารางที่ 4.27	ตารางแสดงระยะการโก่งตัวของพื้นรถในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้.....	92
ตารางที่ 4.28	ตารางแสดงระยะการโก่งตัวของพื้นรถในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้.....	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ 4.29	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้.....	98
ตารางที่ 4.30	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้.....	99
ตารางที่ 4.31	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้.....	101
ตารางที่ 4.32	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้.....	102
ตารางที่ 4.33	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้.....	103
ตารางที่ 4.34	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้.....	105
ตารางที่ 4.35	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้.....	106
ตารางที่ 4.36	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้.....	107
ตารางที่ 4.37	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้.....	109
ตารางที่ 4.38	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้.....	110
ตารางที่ 4.39	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้.....	111
ตารางที่ 4.40	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้.....	113
ตารางที่ 4.41	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้.....	114
ตารางที่ 4.42	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้.....	115
ตารางที่ 4.43	ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้.....	117
ตารางที่ 4.44	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้.....	118
ตารางที่ 4.45	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้.....	119
ตารางที่ 4.46	ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้.....	121
ตารางที่ 4.47	ตารางแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักของแบบจำลองระหว่างก่อนและหลังปรับแก้.....	122
ตารางที่ 4.48	ตารางแสดงการเปรียบเทียบการโก่งตัวของแบบจำลองระหว่างก่อนและหลังปรับแก้.....	123
ตารางที่ 4.49	ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้.....	124
ตารางที่ 4.50	ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้.....	125
ตารางที่ 4.51	ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้.....	127
ตารางที่ 4.52	ตารางแสดงการเปรียบเทียบBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้.....	128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ 4.53 ตารางแสดงการเปรียบเทียบBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ระหว่างก่อนและหลัง ปรับแก้.....	129
ตารางที่ 4.54 ตารางแสดงการเปรียบเทียบBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ระหว่างก่อนและหลัง ปรับแก้.....	132



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันการพัฒนาทางด้านการขนส่งมีการพัฒนาอย่างมาก มีการขนส่งครอบคลุมทั้งทางบก ทางน้ำ ทางอากาศ การขนส่งหรือเดินทางทางบกเป็นกิจกรรมที่ใกล้ตัวพวกเราทุกคนไม่ว่าจะเป็น การเดินทางด้วย จักรยาน จักรยานยนต์ รถยนต์ หรือ รถไฟ ซึ่งรถไฟถือเป็นยานพาหนะที่มีความปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านการขนส่งผู้คนในระบบขนส่งมวลชน และประสิทธิภาพทั้งในด้านการขนส่งสินค้า โดยในอดีตรถไฟถือกำเนิดขึ้นครั้งแรกที่ประเทศอังกฤษเมื่อประมาณ 300 ปีมาแล้ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการงานเหมืองแร่ บรรทุกถ่านหิน จากนั้นในปี พ.ศ.2357 มีการประดิษฐ์รถจักรไอน้ำได้เป็นครั้งแรก โดย จอร์จ สตีเฟน ซึ่งถือเป็นจุดกำเนิดของรถไฟ จากนั้นมีการพัฒนาจากรถจักรไอน้ำในยุคแรก มาเป็นรถจักรดีเซล รถจักรดีเซลไฟฟ้า รถจักรไฟฟ้า ซึ่งใช้ถ่านหินฟุ้งใช้พลังงานในการลากจูงสูง จนถึงปัจจุบันนี้มีรถไฟมากมายหลายชนิด ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองการใช้งานที่หลากหลาย มีรถไฟโดยสารที่ขับเคลื่อนได้เอง โดยไม่ต้องใช้หัวจักรลาก น้ำหนักเบา ทำความเร็วได้สูง เช่น รถดีเซลราง Diesel multiple unit:DMU, รถไฟฟ้าชุด Electric multiple unit:EMU



รูปที่ 1.1 Diesel multiple unit:DMU (ที่มา: Wikipedia)



รูปที่ 1.2 Electric multiple unit:EMU ที่มา: (www.shuttlestock.com)

โดยสามารถแบ่งชนิดของรถไฟหลักได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งานที่กล่าวมาแล้วข้างต้น คือ

1.1.ประเภทของรถไฟ

1.1.1.ขนส่งผู้คน (Passenger Cars)

โดยวัตถุประสงค์หลักคือการขนส่งผู้โดยสารจากสถานที่หนึ่งไปยังสถานที่หนึ่ง ซึ่งปัจจุบันรูปแบบของรถไฟขนส่งผู้คนหรือรถไฟโดยสารนี้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ในช่วง ศตวรรษที่ 19 รถไฟสร้างขึ้นจากไม้ มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาวและความกว้างของขบวนไม่มาก จากนั้นในช่วง 1900-1950มีการพัฒนารถไฟที่ทำจากอะลูมิเนียม มีน้ำหนักเบา มีความยาวและความกว้างมากขึ้น สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้น 1950-มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี ใช้เทคโนโลยีระดับสูงในการสร้างรถไฟ สามารถสร้างรถไฟโดยสารความเร็วสูง ด้วยวัสดุผสมหรือโครงสร้างแบบแกนวิช โดยรถไฟโดยสารยังสามารถแบ่งออกได้เป็น

1.1.1.1 Open coach ตู้โดยสารที่มีทางเดินทะลุ ไม่มีผนังกั้นแบ่งห้องระหว่างที่นั่ง เป็นแบบที่พบได้ส่วนใหญ่ในประเทศไทย



รูปที่ 1.3 Open coach (ที่มา: Wikipedia)

1.1.1.2 Compartment coach คือตู้โดยสารที่มีการกั้นห้องโดยสารออกเป็นห้องๆ ส่วนใหญ่แต่ละห้องจะจัดที่นั่งเป็น 2 แถวให้เก้าอี้หันหน้าเข้าหากัน



รูปที่ 1.4 Compartment coach (ที่มา: <https://ifs-design.de/>)

1.1.1.3 Composite coach คือตู้โดยสารแบบผสมระหว่าง Open coach และ Compartment coach ซึ่งรูปลักษณ์ของตู้โดยสารนี้จะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ โดยตู้โดยสารในบางประเทศจะมีถึง 2 ชั้น เช่นในรัสเซีย อังการี เป็นต้น



รูปที่ 1.5 รถไฟในอังการีซึ่งเป็นแบบ composite coach (ที่มา: iad.bangkok.go.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.2. ขนส่งสินค้า (Freight Car) จุดประสงค์หลักคือใช้ในการบรรทุกสินค้า ซึ่งจะสามารถแบ่งได้หลักๆ คือ

1.1.2.1 Cover hopper ด้านบนปิดทึบ มีช่องบรรจุของ ใช้บรรทุกสินค้า เช่น ทราย เคมีผง แก้ว รวมถึงผลผลิตทางการเกษตร เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี เป็นต้น



รูปที่ 1.6 Cover hopper (ที่มา: <https://blog.dixonvalve.com/>)

1.1.2.2 Tankcar มีลักษณะเป็นภาชนะทรงกระบอก ใช้บรรจุของเหลว เช่น น้ำมัน สารหล่อลื่น เป็นต้น



รูปที่ 1.7 Tankcar (ที่มา: <https://blog.dixonvalve.com/>)

1.1.2.3 Gondola ใช้บรรทุกของที่ขนย้ายลำบาก เช่น เศษเหล็ก เครื่องจักร อะไหล่ สามารถโตดแตรโดนฝนได้



รูปที่ 1.8 Gondola (ที่มา: <https://blog.dixonvalve.com/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.2.4 Boxcar หรือ ตู้สินค้าใช้บรรทุกของที่ต้องปิดมิดชิด



รูปที่ 1.9 Boxcar (ที่มา: <https://blog.dixonvalve.com/>)

1.1.2.5 Flatcar สำหรับการบรรทุกขนาดใหญ่ เช่น รถยนต์ ตู้คอนเทนเนอร์



รูปที่ 1.10 Flatcar(ที่มา: <https://blog.dixonvalve.com/>)

1.1.2.6 Stock car ใช้สำหรับขนส่ง เช่น ไม้ หมู เป็นต้น



รูปที่ 1.11 Stock car (ที่มา: Trovestar)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.ประเภทของรถไฟประเทศไทย

รถไฟในไทยถูกใช้อย่างแพร่หลาย ระบบรถไฟในประเทศไทยดำเนินการโดยหน่วยงานรัฐบาลชื่อว่าการรถไฟแห่งประเทศไทย (SRT) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วัตถุประสงค์หลัก คือ

1.2.1.การขนส่งผู้โดยสาร ในปัจจุบันมีรถไฟให้บริการหลากหลายประเภท ได้แก่

1.2.1.1 ขบวนรถด่วนพิเศษ (Special Express)

1.2.1.2 ขบวนรถด่วน (Express)

1.2.1.3 ขบวนรถเร็ว (Rapid)

1.2.1.4 ขบวนรถธรรมดา (Ordinary)

1.2.1.5 ขบวนรถชานเมือง (Bangkok Commuter)

1.2.1.6 ขบวนรถท้องถิ่น (Rural Commuter)

1.2.1.7 ขบวนรถรวม (Mixed)

1.2.1.8 ขบวนรถท่องเที่ยว (Excursion)



รูปที่ 1.12 รถไฟโดยสารในไทย (ที่มา: Pantip)

1.2.2.ขนส่งสินค้า ใช้ในการการขนส่งสินค้าประเภทเหมาทั้งคันภายในประเทศ หรือส่งออกไปยังประเทศมาเลเซียผ่านทางสุโข-ลก ตัวอย่างสินค้าที่ขนส่งผ่านระบบราง เช่น ปูนซีเมนต์ น้ำมันเชื้อเพลิง ตู้คอนเทนเนอร์ และสินค้าทั่วไป เป็นต้น



รูปที่ 1.13 รางขนส่งสินค้าในไทย (ที่มา: Thai-post.net)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3.การซ่อมบำรุงทาง รางรางที่ถูกใช้ในงานดังกล่าว เช่น รถตรวจสอบสภาพทาง รถไฟกึ่งบรรทุกทุกตรวจ รางร้าว รถไฟกึ่งบรรทุกเจียรรางหรือรถเอนกประสงค์ (TIMT)



รูปที่ 1.14 รถไฟซ่อมบำรุงทางของแขวงบำรุงทางอุตรดิตถ์ (ที่มา: <https://www.rtco.co.th/>)

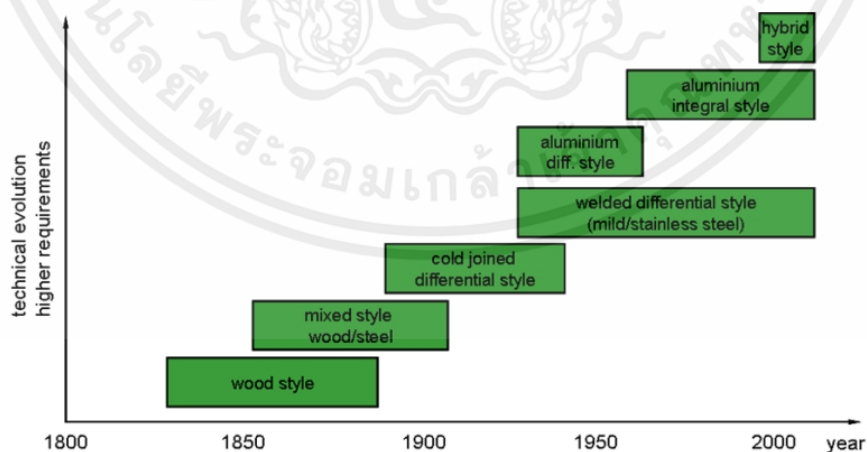
ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีถูกนำมาใช้กับการพัฒนารถไฟ ให้มีความแข็งแรง เช่น การเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรง น้ำหนักเบา สะดวกสบาย เช่น การออกแบบ ดีไซน์ ให้มีความสวยงาม ทันสมัย มีฟังก์ชันการใช้งานที่ช่วยให้ผู้โดยสารสะดวกสบายยิ่งขึ้น เช่น การติดตั้งระบบปรับอากาศ การติดตั้งประตูแบบไฟฟ้า ห้องโดยสารกว้าง รวมถึงเทคโนโลยีต่างๆ เช่น Tilting ที่ช่วยให้ผู้โดยสารไม่รู้สึกว่าการกำลังเอียงเมื่อเลี้ยวโค้ง และที่สำคัญคือ ความปลอดภัย นอกเหนือจากการออกแบบการรับน้ำหนัก ณ สถานะต่างๆ ทั้งสถิต และพลวัตให้เป็นไปตามมาตรฐาน โดยในการออกแบบรถไฟนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านต่างๆ 1.การสั่นไหว อันเกิดจากการสัมผัสของตัวเกียร์วิ่งกับราง ยิ่งความเร็วเพิ่มขึ้นความถี่สั่นไหวจะเพิ่มขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงการสั่นไหวที่อาจจะสร้างความเสียหายต่อโครงสร้างรถ ควรมีการออกแบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอทั้งในแนวตั้ง แนวราบ และแนวบิด รวมทั้งตรวจสอบการต่อประสานระหว่างโบกี้กับตัวรถอย่างระมัดระวัง 2.แรงกระทำ มวลของรถไฟแบ่งออกเป็น มวลของตัวรถ มวลของเกียร์วิ่ง และมวลของน้ำหนักบรรทุก โดยรถไฟจะรับแรงอัด แรงดึง การดัด และการบิด รวมทั้งคำนึงถึงแรงอันเกิดจากการยก (Lift criteria) แรงที่เกิดจากการเชื่อมต่อ (Articulated vehicles) แรงจากความล้า (Fatigue criteria) และปัจจัยที่ไม่แน่นอนอันเกิดจากกระบวนการผลิตที่ไม่แม่นยำ 100% หรือความไม่แน่นอนอันเกิดจากการประมาณค่าคำนวณ เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายของรถไฟระหว่างการใช้งาน ควรออกแบบให้ต้านทานต่อแรงที่กระทำ วัสดุที่ใช้ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง ในอดีตรถไฟเริ่มต้นจากโครงสร้างไม้ สู่เหล็ก และ อลูมิเนียม ปัจจุบันนี้ มีการพัฒนาวัสดุผสมเพื่อใช้เป็นโครงสร้างรถไฟ มีการคำนึงถึงสมรรถนะของการรับน้ำหนักของรถไฟเมื่อเทียบกับน้ำหนัก โดยเน้นการออกแบบให้มีน้ำหนักเบา ทำความเร็วได้มาก แต่ยังมีข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีในการสร้าง และราคาค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3. การสร้างโครงรถไฟ

ในปัจจุบันประเทศไทย มีการส่งเสริมพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี อุตสาหกรรม เศรษฐกิจ การค้า โดยเฉพาะระบบขนส่งสาธารณะที่จะมีบทบาทสำคัญนอกเหนือจากเพิ่มความสะดวกสบายในการเดินทางยังถือเป็น การเพิ่มโอกาสทางการค้า เป็นการกระจายโอกาสไปยังที่ต่างๆทั่วประเทศ เพื่อให้สอดคล้องกับการขยายตัวทางเศรษฐกิจและเพิ่มขึ้นของประชากร หนึ่งในนั้นคือการพัฒนา ระบบขนส่งทางรางให้มีความทันสมัย ความสะดวกสบาย ครอบคลุมและสามารถเข้าถึงได้ง่าย ซึ่งการโดยสารโดยรถไฟถือว่ามีสำคัญและเป็น ทางเลือกหนึ่งในการเดินทางที่ครอบคลุมเกือบทุกจังหวัดทั่วประเทศ โดยสถานการณ์ปัจจุบันประเทศไทย กำลังมีการเร่งพัฒนาในระบบขนส่งทางรางมากมาย ทั้งโครงการรถไฟฟ้ายานยนต์ต่างๆ โครงการรถไฟรางคู่ หรือ โครงการรถไฟฟ้ามหานครเชื่อม 3 สนามบิน แต่รถไฟส่วนใหญ่ที่ใช้ในปัจจุบันของประเทศไทย โดยเฉพาะห้องโดยสาร ล้วนมีสภาพเก่า ชำรุดทรุดโทรมเนื่องจากการใช้งานมาอย่างยาวนาน ขาดงบประมาณในการดูแลบำรุงรักษา และที่สำคัญส่วนต่างๆของรถไฟ ทั้งหัวจักรลาก ห้องโดยสาร ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ส่วนใหญ่ล้วนผลิตและ นำเข้ามาจากต่างประเทศ มีราคาแพงและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง ซึ่งถ้าคนไทยสามารถเริ่มผลิตและ สร้างรถไฟเองได้จะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายได้มาก อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมความคิดต่อยอด สร้างสรรค์ที่จะ เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบขนส่งทางรางด้วยรถไฟของประเทศไทย

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมนุษย์มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีมากขึ้น ทำให้สามารถสร้างโครงสร้าง รถไฟด้วยวิธีที่สลับซับซ้อน จากที่ในอดีตมีการใช้ไม้เป็นวัสดุหลัก เช่นเดียวกับการพัฒนาโครงสร้างรถไฟ จาก ในอดีตมีการใช้ไม้เป็นหลัก ยุคถัดมาเป็นไม้ผสมเหล็ก ปัจจุบันใช้วัสดุผสมทั้งพลาสติก ไฟเบอร์ โลหะหรือที่ เรียกกันว่าโครงสร้างแบบแซนด์วิช

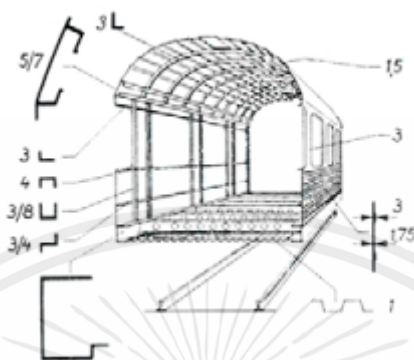


รูปที่ 1.15 พัฒนาการของตัวถังรถไฟ (ที่มา: A Review on Static Analysis of Aluminium Carbody Structure for Passenger Trains, Mazuri Erasto Lutema, Kejela Temesgen)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

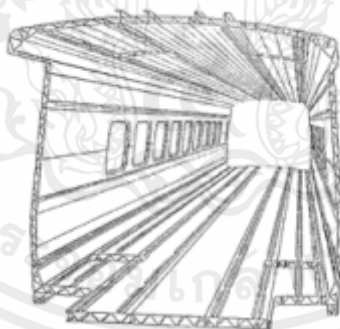
จากที่กล่าวไปข้างต้นจะสามารถแบ่งการสร้างโครงรถไฟตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้ 3 วิธี คือ

1.3.1. Differential construction เป็นโครงสร้างเหล็ก กับตัวแผ่นบาง ประกอบด้วยวิธีการเชื่อมติดกัน



รูปที่ 1.16 Differential construction (ที่มา: การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างตู้รถไฟโดยสารเพื่อการใช้งานบนทางวิ่งขนาด 1.0 เมตรของประเทศไทย, พงศกร ภูหมี, ทรงศักดิ์ สุธาสุประดิษฐ์ และรัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา)

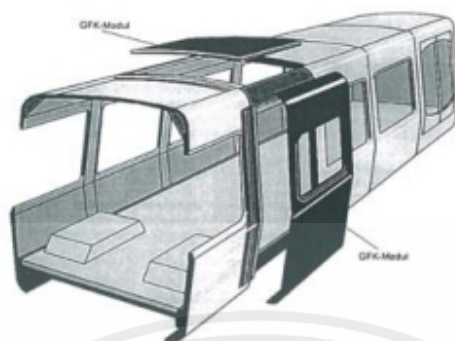
1.3.2. Integral construction เป็นการใช้อะลูมิเนียมอัดขึ้นรูป เชื่อมต่อกันเป็นแนวยาวไปตามโครงสร้างตัวรถ โดยมีการเสริมแรงเฉพาะที่



รูปที่ 1.17 Integral construction (ที่มา: การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างตู้รถไฟโดยสารเพื่อการใช้งานบนทางวิ่งขนาด 1.0 เมตรของประเทศไทย, พงศกร ภูหมี, ทรงศักดิ์ สุธาสุประดิษฐ์ และรัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.3. Hybrid construction เป็นการใช้วัสดุหลายชนิดมาผสมรวมกัน โดยเป็นการใช้ข้อดีของวัสดุแต่ละชนิด



รูปที่ 1.18 Hybrid construction (ที่มา: การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างตู้รถไฟโดยสารเพื่อการใช้งานบนทางวิ่งขนาด 1.0 เมตรของประเทศไทย, พงศกร ภูหมี, ทรงศักดิ์ สุธาสุประดิษฐ์ และรัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา)

โดยในโครงการนี้จะใช้การออกแบบรถไฟแบบ Differential Construction ซึ่งเป็นโครงสร้างของรถไฟส่วนใหญ่ที่ใช้ในประเทศไทย

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อประเมินสมรรถนะในการรับน้ำหนักของโครงสร้างตัวรถของตู้รถไฟโดยสาร โดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์ย่อยไว้ดังนี้

- เพื่อศึกษาหลักการออกแบบโครงสร้างตู้รถไฟโดยสารตามมาตรฐานสากล แรงกระทำต่างๆต่อโครงสร้างรถไฟ
- เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างรถไฟภายใต้แรงกระทำแบบต่างๆ ทั้งแรงแบบสถิตและแรงแบบพลวัต โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยการวิเคราะห์
- เพื่อประเมินถึงสมรรถนะของโครงสร้างรถไฟและประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตของการดำเนินงาน

- ออกแบบโครงสร้างของตู้รถไฟโดยสารเพื่อใช้ในการรถไฟแห่งประเทศไทย
- ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน EN12663 และข้อกำหนดของการรถไฟแห่งประเทศไทย
- ใช้โครงสร้างเหล็กเป็นหลักในการออกแบบ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เข้าใจวิธีการออกแบบโครงสร้างของตู้รถไฟโดยสาร
- เข้าใจแรงกระทำต่างๆต่อโครงสร้างรถไฟ ในที่นี้คือตู้รถไฟโดยสาร (passenger coach)
- เข้าใจพฤติกรรมของโครงสร้างรถไฟภายใต้แรงกระทำแบบต่างๆ
- เกิดความคิดสร้างสรรค์ต่อยอดเกี่ยวกับการสร้างตู้รถไฟโดยสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยการประเมินสมรรถนะในการรับน้ำหนักของโครงสร้างตัวรถของตู้รถไฟโดยสาร หลักการออกแบบโครงสร้างตู้รถไฟ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับ หลักการ ทฤษฎี ข้อกำหนดต่างๆ จากเอกสารที่เกี่ยวข้อง มาวิเคราะห์และสังเคราะห์ เพื่อเป็นแนวทางและประโยชน์ในการวิจัย โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 รูปแบบโครงสร้างรถไฟ

ตัวรูปแบบโครงสร้างของตัวรถไฟจะสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

2.1.1. Differential construction ใช้เหล็กโครงสร้างหน้าตัด ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป และแผ่นผนังบาง เหล็กโครงสร้างและผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจะต่อกันด้วยวิธีการเชื่อมเพื่อสร้างตัวโครงสร้างโครงร่างและปูด้วยแผ่น วัสดุที่ใช้เป็นหลักคือ เหล็กโครงสร้าง มีความแข็งแรงสูงหรือใช้เหล็กกล้าไร้สนิม แต่ในบางกรณีอาจใช้อะลูมิเนียมอัลลอยด์

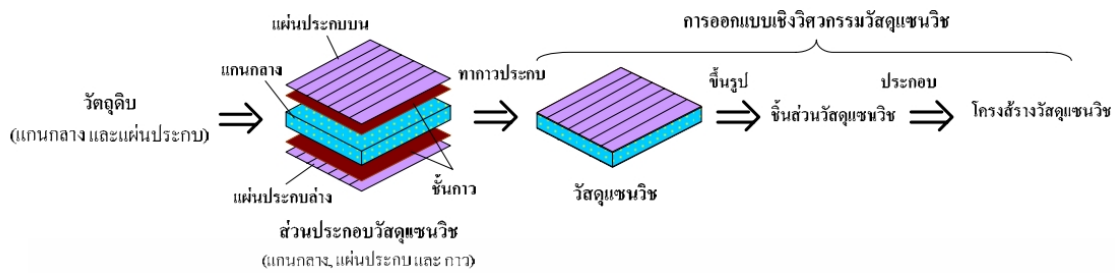
2.1.2. Integral construction วิธีนี้จะใช้อะลูมิเนียมรีดขึ้นรูปเป็นหน้าตัดต่างๆ โดยสามารถใช้หน้าตัดกลางได้ ใช้วิธีการต่อด้วยการเชื่อมหรืออาจใช้สลักยึดนำมาประกอบเป็นโครงสร้างของตัวรถไฟโดยจะเชื่อมไปตามแนวยาวของตัวโครงสร้าง ข้อดีคือสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว

2.1.3. Hybrid construction คือการใช้วัสดุผสมกัน แต่ละชิ้นส่วนจะนำวัสดุแต่ละชนิดมาผสมเชื่อมต่อกัน ซึ่งวิธีนี้จะเป็นการใช้คุณสมบัติเด่นที่เกิดจากความหลากหลายของวัสดุแต่ละชนิดที่เลือกใช้ให้เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด โดยโครงสร้างแบบไฮบริดนี้จะสามารถออกแบบให้มีน้ำหนักเบาได้ ด้วยการใช่วัสดุที่มีน้ำหนักเบาเช่น พลาสติก หรือพลาสติกเสริมแรงด้วยไฟเบอร์ ใช้ร่วมกับวัสดุโลหะ ซึ่งจะเรียกว่า องค์ประกอบแบบแซนวิช หรือ Sandwich Elements โดยวิธีนี้จะต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษกับการเชื่อมต่อวัสดุที่ต่างชนิดกัน โดยปกติมักจะใช้กาวหรือสลักยึด

Sandwich Structure

โครงสร้าง แซนวิช (Sandwich structure) เป็นโครงสร้างประเภทหนึ่งของวัสดุเชิงประกอบ (composite material) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นประกบด้านบนและด้านล่าง (Faces) มีความบางแต่มีความแข็งแรงสูง ส่วน แกนกลาง (Core) เป็นวัสดุอ่อน (Allen, 1969 and Bull, 2004) แผ่นประกบและแกนถูกยึดเข้าด้วยกันด้วยกาวอีพ็อกซีซึ่งมีรูปที่ 1 วัสดุแซนวิชถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และความแข็งแรงของโครงสร้าง โดยมี คุณสมบัติเด่นคือ มีโครงสร้างเบา (Lightweight Construction) (Pflug, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2002) แผ่นประกบรับความเค้นดึง และ ความเค้นอัด ส่วนแกนกลางรับความเค้นเฉือนเท่านั้น (Burman, 1998)

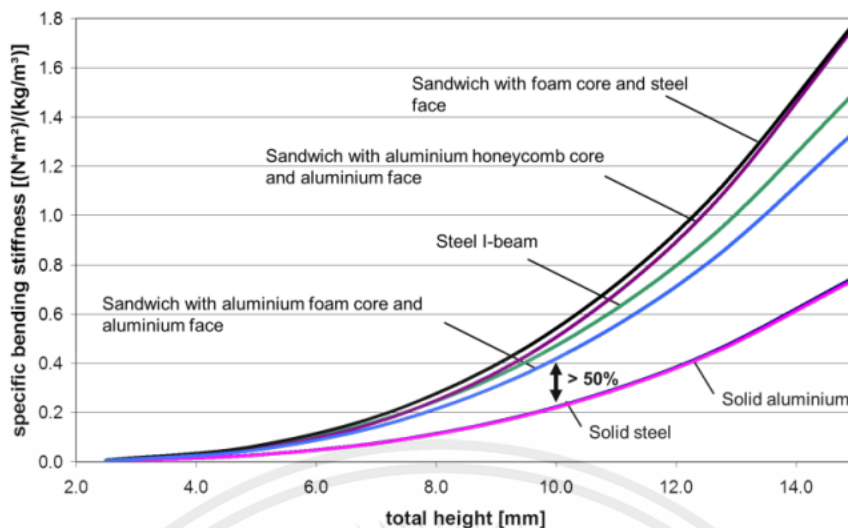


รูปที่ 2.1 Sandwich structure (ที่มา: การวิเคราะห์รูปแบบความเสียหายของวัสดุแซนวิชเซลูโลสโฟม Analysis of the failure modes of the cellular foam sandwich structure , ศิริชัย ต่อสกุล)

วัสดุแซนวิชถูกนำมาใช้งานในวงการเทคโนโลยียานอวกาศ เรือ การขนส่ง และ ยานยนต์ (Hohe and Librescu, 2004 and Starliger, 1991) เพื่อเพิ่มความเข้าใจพฤติกรรมของวัสดุแซนวิช จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำเทคโนโลยีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) มาใช้ช่วยวิเคราะห์วัสดุแซนวิช ซึ่งปัญหาหลักของการสร้างโมเดลและจำลองวัสดุแซนวิช คือ มีข้อจำกัดของคุณสมบัติทางวัสดุที่ไม่เป็นวัสดุเนื้อเดียวกัน และการเชื่อมยึดติดกันระหว่างแผ่นประกบกับแกนกลาง ซึ่งทำให้โมเดลที่ได้ไม่ถูกต้อง

ข้อดีและข้อเสียของโครงสร้างแบบ Sandwich Structure

ข้อดีของโครงสร้างประเภทนี้คืออัตราส่วนน้ำหนักต่อความแข็งแรงจะลดลง เมื่อเทียบกับโครงสร้างแบบเดิม ลักษณะของโครงสร้างแบบแซนวิชมีทางเลือกในการเพิ่มประสิทธิภาพที่หลากหลาย โครงสร้างสามารถปรับให้เหมาะสมสำหรับฉนวนกันความร้อน, การลดเสียงจากภายนอก, การดูดซับพลังงานจากการกระแทก, แต่ในทางกลับกันโครงสร้างแซนวิชยังมีข้อจำกัดด้านความรู้ความเข้าใจ และเทคโนโลยีที่ใช้สร้าง โดยยังมีปัจจัยที่ไม่ทราบหลายประการ เช่น ความปลอดภัยจากอัคคีภัย ความสามารถในการรีไซเคิลหลังหมดอายุการใช้งาน และผลกระทบจากการเสื่อมสภาพ เป็นต้น



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาวัสดุ กับ ค่า Specific bending stiffness

จากกราฟจะสามารถแสดงให้เห็นว่าค่า Specific bending stiffness หรือความแข็งดัดเมื่อเป็นวัสดุแบบ Sandwich structure จะให้ค่าสูงกว่าเหล็กหรืออะลูมิเนียมถึง 50%

2.2 ประเภทของโครงสร้างรถไฟ

ประเภทของโครงสร้างตัวรถไฟ แบ่งได้ 3 ประเภท ตามลักษณะเฉพาะของการก่อสร้างและวัตถุประสงค์ โดยถูกนำมาจาก EN 12663 การเลือกหมวดหมู่ต่อจากนี้เป็นไปตามข้อกำหนดด้านโครงสร้างที่กำหนดไว้ในเอกสารดังกล่าว หมวดหมู่อาจจะถูกแบ่งย่อยเพิ่มเติมตามลักษณะความต้องการทางโครงสร้างได้แก่

2.2.1 รถจักร คือ หัวรถจักรและเครื่องกำเนิดกำลังทุกประเภทที่มีจุดประสงค์เพียงอย่างเดียว ในการลากจูง และไม่ใช้เพื่อบรรทุกผู้โดยสาร ได้แก่

-ประเภท L เช่น รถจักรและเครื่องกำเนิดกำลัง

2.2.2 รถโดยสาร คือ ตัวรถไฟที่มีไว้สำหรับการขนส่งผู้โดยสาร โดยยังแบ่งย่อยออกไปได้อีก 5

ประเภท

-ประเภท P-I เช่น ตู้รถไฟ

-ประเภท P-II เช่น ชุดรถไฟ และ ตู้รถไฟ

-ประเภท P-III เช่น รถไฟฟ้าใต้ดิน รถไฟฟ้าขนส่งมวลชนและรางเบา

-ประเภท P-IV เช่น รถไฟฟ้าใต้ดินรางเบาและรถรางขนาดหนัก

-ประเภท P-V เช่น รถราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างรถไฟประเภท P-II (ที่มา: ประชาชาติธุรกิจ)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างรถไฟประเภท P-III (ที่มา: BLT Bangkok)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างรถไฟประเภท P-V (ที่มา: Wikipedia)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 รถสินค้า ใช้สำหรับการขนส่งสินค้า แบ่งเป็น 2 ประเภท

- ประเภท F-I เช่น รถที่สามารถสับเปลี่ยนได้โดยไม่มีข้อจำกัด
- ประเภท F-II เช่น รถที่ไม่รวมถึงการสับเปลี่ยนทางลาดและปล่อยไหล

2.2.4 รถไฟประเภทอื่น เป็น รถไฟที่ไม่ตรงกับข้อกำหนดข้างต้น



รูปที่ 2.6 โครงสร้างรถไฟประเภท F-I (ที่มา: กรุงเทพมหานครกิจ)

2.3 การทดสอบและประเมินสมรรถนะของโครงสร้างรถไฟ

ในการออกแบบตัวโครงสร้างรถไฟ ส่วนประกอบของตัวรถ รวมถึงชิ้นส่วนต่างๆ ต้องมีการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด โดยจะต้องมีการตรวจสอบ ควบคุมคุณภาพ เพื่อให้เกิดความมั่นใจและความปลอดภัยในการนำไปใช้งาน ดังนั้นการทดสอบและประเมินสมรรถนะของรถไฟจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งก่อนการใช้งานจริง เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพ สมรรถนะ รวมถึงข้อปรับปรุงแก้ไขต่อไป

การทดสอบทางกายภาพของตัวรถไฟ คือการทดสอบภายใต้สภาวะการณ์ต่างๆในการใช้งานจริง โดยรวมถึงการทดสอบภายใต้เหตุการณ์ร้ายแรงหรืออุบัติเหตุ เช่น การทดสอบความปลอดภัยในการตกวาง การทดสอบการชนของราง หรือการทดสอบแรงกระแทก ซึ่งประโยชน์ของการทดสอบ

2.3.1 การทดสอบต่างๆของรถไฟ

2.3.1.1. การทดสอบแบบ STATIC LOAD TEST

-ทดสอบพฤติกรรมของโครงสร้างรถไฟในสภาวะหยุดนิ่งภายใต้แรงกระทำแบบต่างๆตามมาตรฐาน EN12663

2.3.1.2. การทดสอบด้านการวิ่งของรถไฟ (RUNNING DYNAMICS)

-การทดสอบความปลอดภัยจากการตกวางของชิ้นตอนต่างๆ ตามมาตรฐาน EN 14363 (ทางโค้ง 150 ม. ทางโค้ง 150 ม. S-bend และทางโค้ง 450 ม.)

-การทดสอบความปลอดภัยในการขับเคลื่อนภายใต้แรงกดตามแนวยาวตามมาตรฐาน EN 15839

-การทดสอบ Running dynamics โดยใช้วิธีการปกติกับชุดล้อวัดหรือชิ้นตอนที่ง่ายขึ้นตามมาตรฐาน EN 14363 หรือ UIC 518

-การวัดโปรไฟล์ล้อและรางเพื่อกำหนด conicities ที่เทียบเท่าจริงตามมาตรฐาน EN 15302

-การวัดการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO 2631

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความสะอาดกสขบายในการขับขี่สำหรับผู้โดยสารตามมาตรฐาน EN 12299
- การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเอียงของพารามิเตอร์รถ ความสูงของเสาหม้อวน จุดศูนย์ถ่วงเชิงพื้นที่ และค่าสัมประสิทธิ์การบิดตัวของตัวรถ

- การตรวจสอบความสามารถในการเคลื่อนที่ในรูปทรงต่างๆ และบนทางลาด 3.5° ซ้ำมฟาก

2.3.1.3. การทดสอบด้านระบบเบรก (BRAKE SYSTEM)

- การทดสอบการควบคุมเบรกและระบบเบรก
- การประเมินการเบรกตาม UIC 544-1 / EN 16834
- การทดสอบการป้องกันการไถล (WSP) tests (UIC 541-05 / EN 15595)
- การทดสอบความแน่นอนของระบบเบรก/ระบบเบรกเพื่อหยุดรถ

2.3.1.4. การทดสอบความแข็งแรงต่อการล้า (FATIGUE STRENGTH TESTS)

- การทดสอบความล้าตามมาตรฐาน EN12663
- การทดสอบความล้าของเฟืองจุดและขีดเงา (EN 15551, EN 15566)
- การทดสอบอุปกรณ์วิ่งบนลู่วิ่งและส่วนประกอบต่างๆ ตามมาตรฐาน EN 13749
- การทดสอบแรงบิดและการตั้งของชุดล้อบนสนาม (การทดสอบการกลิ้ง) ตามคู่มือ DIN 491/1

2.3.1.5. การทดสอบอากาศพลศาสตร์ (AERODYNAMICS)

- การทดสอบอากาศพลศาสตร์ในอุโมงค์

2.3.1.6. การทดสอบด้านเสียง (ACOUSTICS)

- การวัดเสียงรบกวนภายในและภายนอกรางรถไฟ ตามมาตรฐาน EN ISO 3095 และ EN ISO 3381
- การวัดความหยาบของล้อและรางตามมาตรฐาน EN 15610 และอัตราการสลายตัวของรางตามมาตรฐาน EN 15461

-การวัดความสั่นสะเทือนในบริเวณใกล้เคียงกับรางรถไฟตาม DIN 4150-2 และ DIN 45672-1 เพื่อกำหนดลักษณะการปล่อย การส่งผ่าน และผลกระทบของการสั่นสะเทือน และเพื่อคาดการณ์ผลกระทบจากการสั่นสะเทือนต่อผู้คนที่อาศัยอยู่ใกล้กับสถานที่ติดตั้งทางรถไฟตาม DIN 4150 1

-การวัดกำลังเสียงและการสั่นสะเทือนสำหรับการประเมินความปลอดภัยในการทำงาน การแปลแหล่งที่มาของเสียง (รวมถึงยานพาหนะที่วิ่งผ่าน) โดยใช้อาร์เรย์เสียง (ไมโครโฟน 112 ตัว) อาร์เรย์สุ่มตัวอย่างด้วยมาตรฐาน 48 kHz และความละเอียด 24 บิต และมีช่วงการประเมินแบบไดนามิกสูงถึง 40 dB

-การวัดและตรวจสอบเครื่องจักรและอุปกรณ์เพื่อกำหนดการปล่อยเสียงรบกวนและพัฒนามาตรการลดเสียงรบกวนและฉนวนกันเสียง

2.3.1.7. การทดสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงและบัฟเฟอร์ (COMPONENT TESTING FOR TRACTION AND BUFFER EQUIPMENT)

- การทดสอบบัฟเฟอร์ด้านข้างและบัฟเฟอร์ทแยงมุม (EN 15551)
- การทดสอบอุปกรณ์ต่อพ่วง ลากจูง (EN 15566)
- การทดสอบระบบ Coupling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.8 การทดสอบการชน CRASH TESTS (FRONT STRUCTURES, CRASH ELEMENTS)

- การทดสอบประสิทธิภาพของการต้านทานการชนและคุณสมบัติไดนามิก
- การทดสอบการทำงานของระบบการชนในการชนเข้าโค้ง cornering collisions (EN 15227)

2.4 ทบทวนวรรณกรรม

2.4.1. การประเมินความล้าและอายุการใช้งานของตัวถังรถด้วยวิธี Multi-disciplinary method Evaluation of Railway Vehicle Car Body Fatigue Life and Durability using a Multi-disciplinary Analysis Method [Bingrong Miao](#), [Weihua Zhang](#), [Jihui Zhang](#), [Dingchang Jin](#)

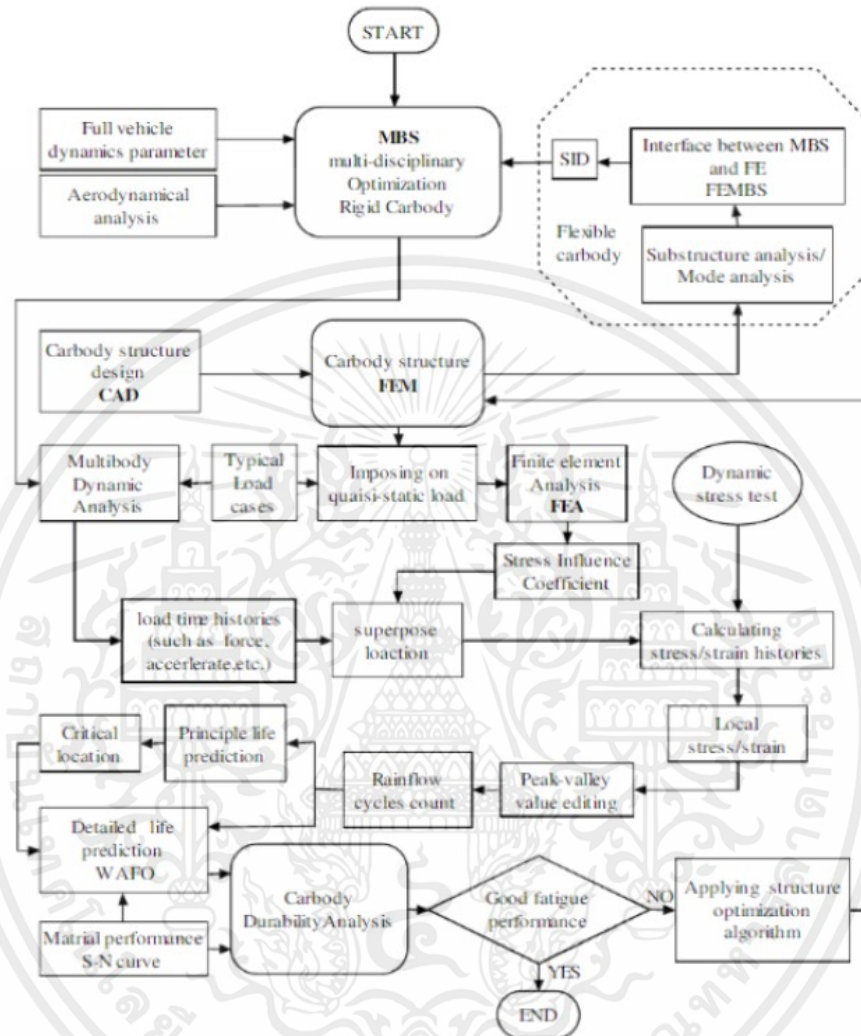
วิธี Multi-disciplinary method ได้ถูกเสนอเพื่อใช้ในการประเมินเกี่ยวกับอายุความล้า และ ความทนทานของตัวถังรถภายใต้แรงกระทำพลวัตแบบสุ่ม โดยการวิเคราะห์ทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1.Multibody Dynamics Simulation(MBS) และ Finite Element Analysis(FEA) ซึ่งได้มาจากประวัติของการใส่โหลดเพื่อวิเคราะห์ความทนทาน ได้ถูกใช้เพื่อสร้างระบบที่ซับซ้อนของตัวถังรถและจำลองคุณสมบัติแบบพลวัตของความแข็งหรือความยืดหยุ่นของตัวถังรถ

2.การวิเคราะห์ความทนทานของตัวถังรถที่เกี่ยวข้องกับค่าจำกัดความของอายุการใช้งานและการกระจายความเสียหายของโครงสร้างตัวรถ รวมไปถึงการนับรอบของความเค้นและความเครียดด้วย rainflow counting การคาดคะเนความเสียหาย และการประเมินอายุการใช้งานคงเหลือ

3.ดำเนินการด้วยวิธี Multi Disciplinary Method (MDO) ซึ่งเป็นกระบวนการแบบซ้ำๆร่วมกับวิธีการอื่นๆ ได้ผลจากการดำเนินการเป็นชุดๆโดยใช้ซอฟต์แวร์ เช่น SIMPACK, ANSYS, FE-FATIGUE และ modeFRONTIER

วิธีการนี้ยังแสดงให้เห็นถึงการจัดการปัญหาที่ขัดแย้งกันของการออกแบบตัวถังรถไฟที่ต้องการให้มีน้ำหนักเบา และมีข้อจำกัดด้านความถี่ ในขั้นตอนสุดท้าย วิธีการและขั้นตอนต่างๆจะถูกอธิบายโดยใช้โครงสร้างตัวถังแบบรถจักร ซึ่งขั้นตอนการดำเนินการทั้งหมดจะสามารถสรุปได้ตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 Flowchart แสดงขั้นตอนการดำเนินงานแบบ Multi-Disciplinary method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2. การวิเคราะห์ความเค้นสถิตและความเค้นไดนามิกของรถไฟโดยสารและรถไฟบรรทุกสินค้าด้วยวิธีเชิงตัวเลข NUMERICAL STATIC AND DYNAMIC STRESS ANALYSIS ON RAILWAY PASSENGER AND FREIGHT CAR MODELS C. Baykasoglu , E. Sunbuloglu , S. E. Bozdogan , F. Aruk , T. Toprak and A. Mugan

เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์แรงที่กระทำกับตัวรถไฟโดยสารและรถไฟบรรทุกสินค้าด้วยวิธีวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์(Finite Element:FE) เพื่อการศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นกับตัวรถไฟว่ามีการเกิดขึ้นรูปแบบใดไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์เชิงสถิตของรถไฟ การวิเคราะห์การสั่นของรถไฟ และการวิเคราะห์การชนของตู้รถไฟ

เริ่มต้นจากการขึ้นโมเดลรูป3มิติของตัวรถไฟที่มีขนาด วัสดุ และน้ำหนักเหมือนของจริงให้มากที่สุด หลังจากนั้นนำตัวโมเดลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าต่างๆดังนี้

1.การวิเคราะห์เชิงสถิตของรถไฟ โดยการใส่แรงกระทำตามมาตรฐานที่กระทำกับตัวโครงสร้าง โดยทำการติดตั้งเกจวัดความเครียดที่เกิดขึ้นกับตัวโมเดลจำลอง จากนั้นบันทึกผลการทดลองที่ได้ ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สภาวะเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นที่ได้จากการวัดจริงด้วยเกจวัดความเครียดและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีผลการทดลองที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกัน

2.การวิเคราะห์การสั่นของรถไฟ โดยทำการวิเคราะห์ค่าจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จำนวน3ตัวอย่าง 1. ความถี่จากการบิดตัวในแนวทแยง 2.ความถี่จากการขยายและหดตัวของโครงสร้าง 3.ความถี่จากการดัด สามารถวิเคราะห์ได้ว่าความถี่ที่เกิดจากการบิดตัวในแนวทแยงมีค่าน้อยที่สุด และมากที่สุดคือความถี่จากการดัด

3.การวิเคราะห์การชนของตู้รถไฟ จุดประสงค์หลักของการวิเคราะห์การชน คือเพื่อออกแบบโครงสร้างให้มีความแข็งแรง สามารถต้านทานการชน การเสีรูป เพื่อป้องกันการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่าง ตู้รถไฟโดยสารที่มีการออกแบบเสริมความต้านทานการชน กับ ตัวตู้โดยสารธรรมดาได้ผลการศึกษาว่าตู้รถไฟโดยสารที่มีการออกแบบเสริมความต้านทานการชนมีการดูดซับพลังงานการชนได้มากกว่า ประมาณ 13%

การวิเคราะห์ความเค้น การสั่นสะเทือน และความต้านทานการชน ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ช่วยประหยัดเวลา ประหยัดค่าใช้จ่าย และสามารถวิเคราะห์โครงสร้างที่มีความสลับซับซ้อนได้ แต่ต้องศึกษาการทำงานให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ก่อนการใช้งาน

บทที่ 3

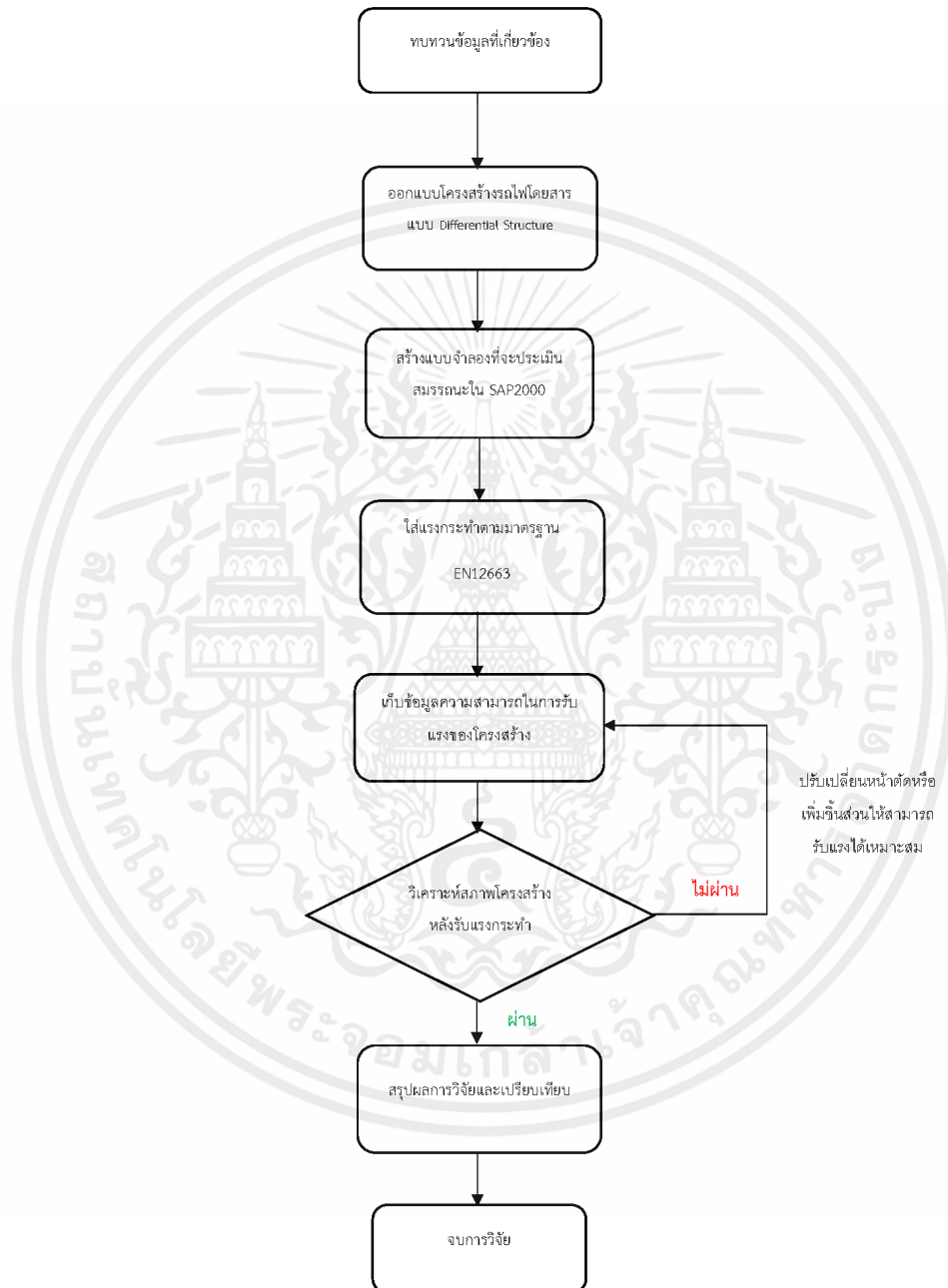
วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการนี้แบ่งการดำเนินงานและการศึกษา ออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกศึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงการ โดยค้นคว้าได้จากห้องสมุดของ มหาวิทยาลัยฯ หรือทางอินเทอร์เน็ต และปรึกษาขอคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ในขั้นตอนที่สอง โดยเน้นการศึกษาจากตัวมาตรฐาน EN-12663 รวมทั้งข้อกำหนดของรฟท.ด้านขนาดและมิติของตัวรถ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปSAP2000 โดยนำข้อมูลแรงที่กระทำกับตู้โดยสารตามเงื่อนไขต่างๆของมาตรฐาน EN-12663 มาทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างตู้โดยสารด้วยโปรแกรม SAP2000 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างรถไฟอันเกิดจากแรงกระทำแบบต่างๆ ทั้งแรงแบบสถิตและแรงแบบพลวัต เพื่อใช้ประเมินถึงสมรรถนะของโครงสร้างรถไฟและเสนอแนวทางปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ขั้นตอนการทำงานวิจัย

ในโครงการนี้ได้กำหนดวิธีการดำเนินงานตามแผนผังดังรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้



รูปที่ 3.1 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ทบทวนข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

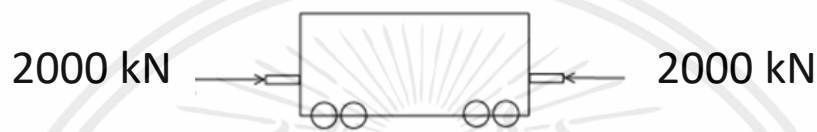
3.2.1. ประเภทของโครงสร้างรถไฟ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างของรถไฟที่เหมาะสมสำหรับการขนส่งผู้โดยสาร โดยมีการใช้แบบจำลองประเภท P-I ซึ่งเป็นตัวรถไฟที่มีไว้สำหรับการขนส่งผู้โดยสารโดยเฉพาะ

3.2.2. น้ำหนักสถิตยตามแนวยาวสำหรับตัวรถ

3.1.2.1.1 แรงตามแนวยาวในพื้นที่กันชนและ/หรือขอฟ่าง

3.1.2.1.1.1 แรงอัดที่กันชนและ/หรือขอฟ่าง



รูปที่ 3.2 รูปแสดงแรงอัดที่กันชนและ/หรือขอฟ่างที่กระทำต่อตู้รถไฟโดยสาร P-I

3.2.2.1.2 แรงอัดในแนวทแยงมุมที่ตำแหน่งกันชน(ถ้าติดตั้งกันชนด้านข้างที่ปลายด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน)



Side View

500 kN

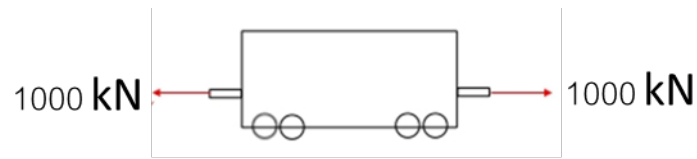
500 kN

Top View

รูปที่ 3.3 รูปแสดงแรงอัดในแนวทแยงมุมที่ตำแหน่งกันชน(ถ้าติดตั้งกันชนด้านข้างที่ปลายด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน)ที่กระทำต่อตู้รถไฟโดยสาร P-I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

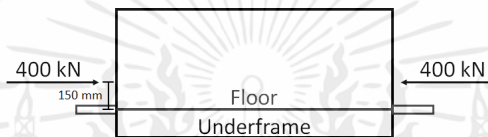
3.2.2.1.3 แรงดึงที่ข้อพ่วง



รูปที่ 3.4 รูปแสดงแรงดึงที่ข้อพ่วงที่กระทำต่อตู้รถไฟโดยสาร P-I

3.2.2.2 แรงอัดในพื้นที่ผนังปลายทั้งสองด้าน

3.2.2.2.1. แรงอัดที่ระดับ 150 มม. เหนือพื้นของโครงสร้างที่หน้าและหลังของโครงประธาน



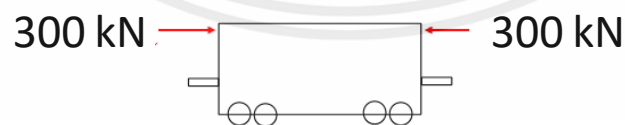
รูปที่ 3.5 รูปแสดงแรงอัดที่ระดับ 150 มม. เหนือพื้นที่กระทำต่อตู้รถไฟโดยสาร P-I

3.2.2.2.2 แรงอัดที่ความสูงของขอบหน้าต่าง



รูปที่ 3.6 รูปแสดงแรงอัดที่ความสูงของขอบหน้าต่างที่กระทำต่อตู้รถไฟโดยสาร P-I

3.2.2.2.3 แรงอัดที่ระดับความสูงของโครงหลังคาต้านข้าง

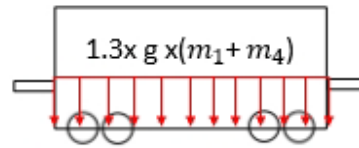


รูปที่ 3.7 รูปแสดงแรงอัดที่ระดับความสูงของโครงหลังคาต้านข้างที่กระทำต่อตู้รถไฟโดยสาร P-I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

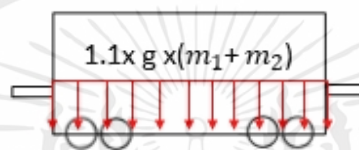
3.2.2.3. น้ำหนักสถิตในแนวตั้งสำหรับตัวรถ

3.2.2.3.1 น้ำหนักสูงสุดในขณะเดินรถ



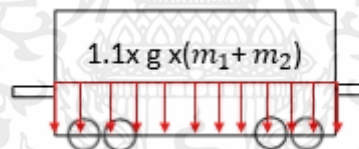
รูปที่ 3.8 รูปแสดงน้ำหนักสูงสุดในขณะเดินรถตู้รถไฟโดยสาร P-I

3.2.2.3.2 การยกและการดันที่ปลายด้านหนึ่งของตัวรถตามตำแหน่งที่ระบุไว้



รูปที่ 3.9 รูปแสดงการยกและการดันที่ปลายด้านหนึ่งของตัวรถตามตำแหน่งที่ระบุไว้ตู้รถไฟโดยสาร P-I

3.2.2.3.3 การยกและการดันทั้งคันตามตำแหน่งที่ระบุ



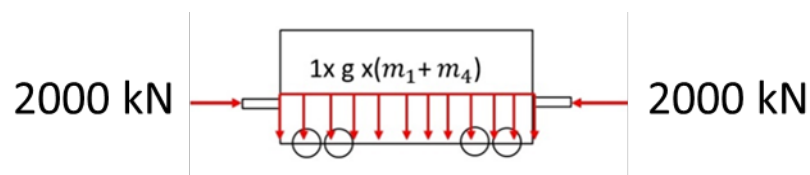
รูปที่ 3.10 รูปแสดงการยกและการดันทั้งคันตามตำแหน่งที่ระบุตู้รถไฟโดยสาร P-I

3.2.2.4 การซ้อนทับของน้ำหนักสถิตสำหรับตัวรถไฟ

-กรณีการซ้อนทับของน้ำหนัก: ตู้รถโดยสารประเภท P-I, P-II, P-II, P-III, P-IV, P-V

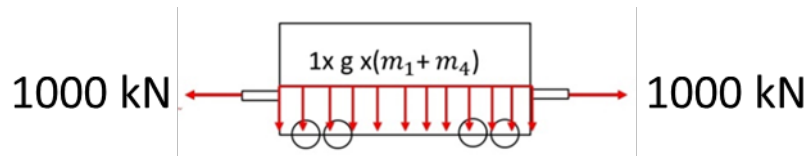
3.2.2.4.1. แรงอัดและน้ำหนักในแนวตั้ง: 3.1.2.1.1 และ $1 \times g \times (m_1 + m_2)$

3.2.2.4.2. แรงดึงและน้ำหนักในแนวตั้ง: 3.1.2.1.3 และ $1 \times g \times (m_1 + m_2)$



รูปที่ 3.11 รูปแสดงแรงกระทำสูงสุดของตู้รถไฟโดยสาร(แรงอัด)ตู้รถไฟโดยสาร P-I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

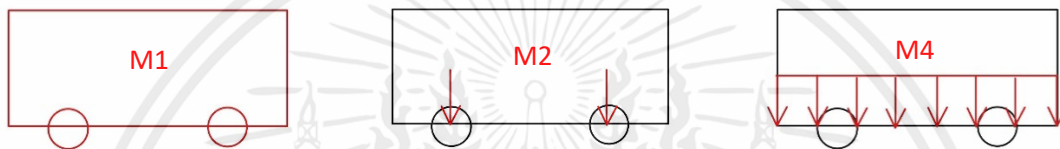


รูปที่ 3.12 รูปแสดงแรงกระทำสูงสุดของตู้รถไฟโดยสาร(แรงดึง)ตู้รถไฟโดยสาร P-I

เมื่อ M_1 คือ มวลในการออกแบบตู้รถไฟ

M_2 คือ มวลในการออกแบบของแคร่เดี่ยว (4.5 ตัน)

M_4 คือ น้ำหนักผู้โดยสารที่หนาแน่นที่สุด (320 กก.ตร.ม)



รูปที่ 3.13 รูปแสดงแรงกระทำต่างๆของน้ำหนัก M_1 , M_2 และ M_4

3.2.3 เขตบรรทุก (Loading Gauge)

ความกว้างของตู้รถไฟถูกกำหนดโดย เขตบรรทุก (Loading Gauge) ตู้รถของ รฟท. ในปัจจุบัน กว้าง 2.92 เมตร ตู้รถไฟความเร็วสูง (รางกว้าง 1.435 เมตร) กว้าง 3.38 เมตร ส่วนรถไฟฟ้า BTS กว้าง 3.2 เมตร รถไฟใต้ดินของ รฟม. กว้าง 3.12 เมตร ดังนั้นพื้นที่ใช้สอยบนรถที่สร้างสำหรับรางกว้าง 1.435 เมตร จึงมากกว่า เพราะตู้รถมีขนาดกว้างกว่า อย่างไรก็ตาม การที่ตู้รถมีขนาดกว้างกว่าอาจไม่ได้หมายความว่า ผู้ใช้มีความสะดวกสบายมากกว่า เพราะในช่วงชั่วโมงนี้เร่งด่วนก็ยังมีที่สำหรับให้คนจำนวนมากขึ้น สามารถยืนเบียดเสียดกันบนรถไฟขนส่งมวลชน ถ้าเป็นรถทางไกลก็สามารถวางเก้าอี้ นั่งได้มากขึ้น จากแถวเรียงสี่อาจเป็นแถวเรียงห้า ฉะนั้น การที่ตู้รถกว้างขึ้น ท้ายที่สุดแล้วก็คือช่วยในระบบขนส่งรถไฟทั้งระบบ มีขีดความสามารถในการขนส่งสูงขึ้น แต่ผลดีนี้ก็ต้องนำไปเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่าย ในการแก้ไขขนาดความกว้างของรางด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การออกแบบและการวิเคราะห์

จากการศึกษาข้อมูลผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในการสร้างโครงสร้างรถไฟและดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

- 3.1.3.1. รวบรวมข้อมูลและมาตรฐานการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างรถไฟ โดยอาศัยการศึกษาข้อมูลจากตำราต่างประเทศ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงหนังสือมาตรฐานการออกแบบรถไฟ
- 3.1.3.2. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ โดยเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ หรือสร้างแบบจำลองของโครงสร้างรถไฟโดยสาร วิเคราะห์พฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกทุกตามมาตรฐาน วัสดุ รวมถึงวิธีการก่อสร้าง
- 3.1.3.3. ออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างของตู้รถไฟโดยสารด้วยโปรแกรม SAP2000 โดยให้แรงกระทำตามสถานะต่างๆทั้งแรงแบบสถิตและแบบพลวัต
- 3.1.3.4. ประเมินสมรรถนะในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างรถไฟโดยสารที่ออกแบบ ซึ่งจะต้องมีประสิทธิภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

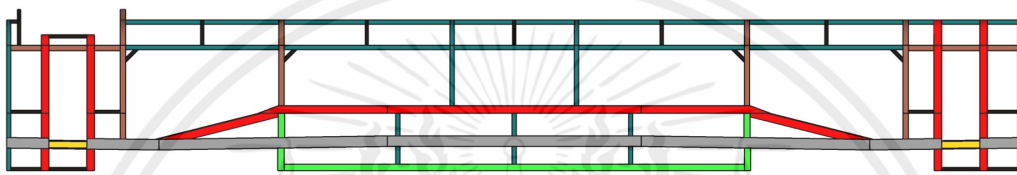
3.3 ออกแบบโครงสร้างรถไฟ

3.3.1 คุณสมบัติเฉพาะของโครงสร้างโดยสารที่จะใช้ออกแบบ

3.3.1.1 ข้อมูลทางเทคนิคของโครงสร้างตู้โดยสาร

ประเภทรถไฟ	Passenger Coach (P-I)
ความยาวตัวรถ	24.00 เมตร
ความกว้างตัวรถ	2.8 เมตร
ความสูงตัวรถ	3.8 เมตร

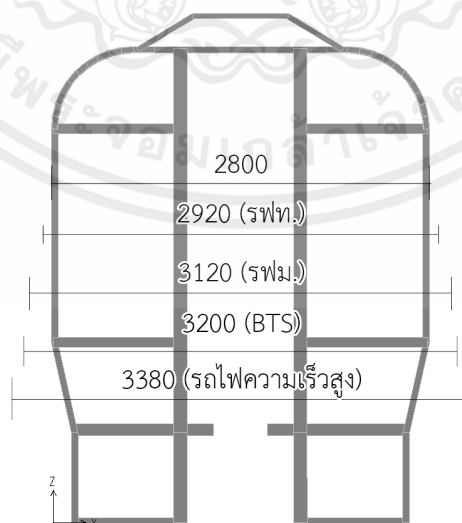
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงข้อมูลทางเทคนิคของโครงสร้างตู้รถโดยสาร



รูปที่ 3.14 รูปแสดงแบบโครงสร้างรถไฟ

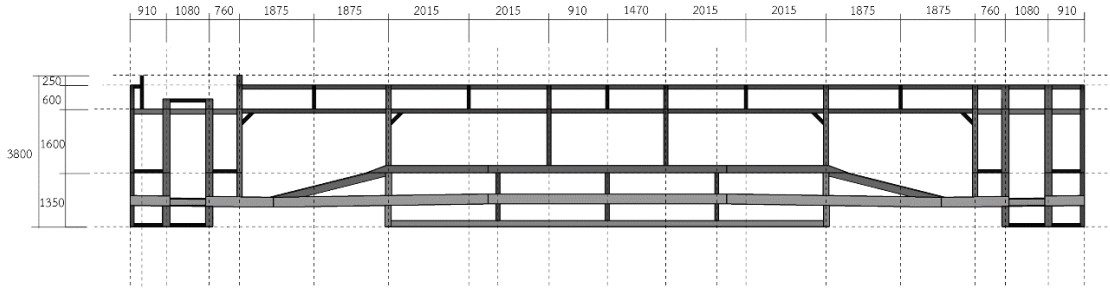


รูปที่ 3.15 รูปแสดงแบบขยายโครงสร้างพื้นรถไฟ

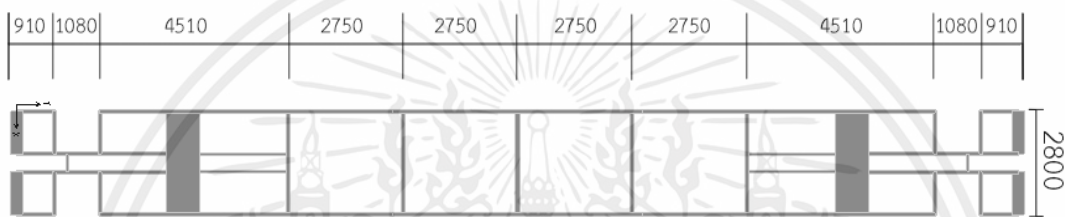


รูปที่ 3.16 รูปแสดงความกว้างของตัวรถไฟเปรียบเทียบกับเขตบรรทุก(Loading Gauge)ต่างๆ

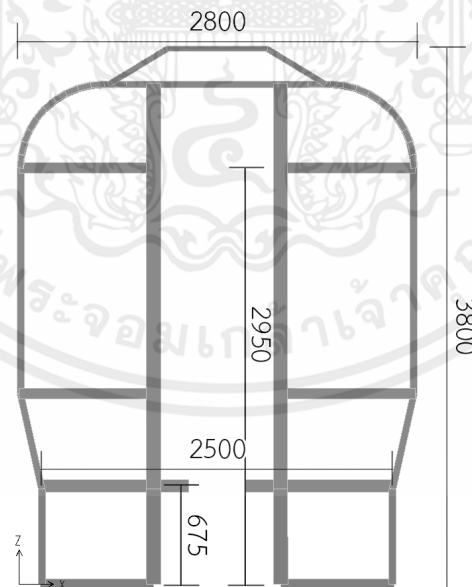
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 รูปแสดงDimension Side View ของแบบจำลอง



รูปที่ 3.18 รูปแสดงDimension Front View ของแบบจำลอง



รูปที่ 3.19 รูปแสดงDimension Top View ของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

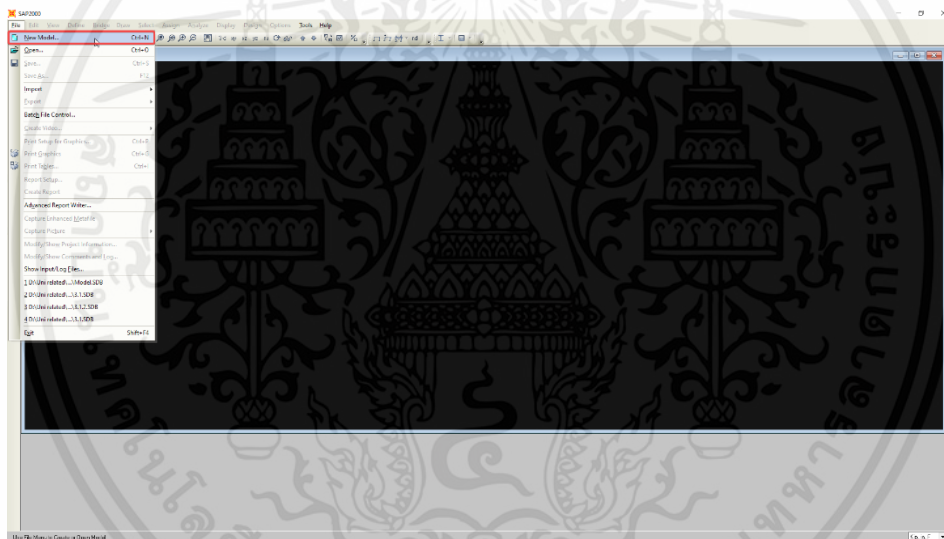
3.3.2 การสร้างแบบจำลองโดย SAP2000

Sap2000 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองโครงสร้าง โดยผู้ใช้สามารถสร้างแบบจำลองโครงสร้างโดยใช้เครื่องมือต่างๆ ในโปรแกรม ซึ่งมีหลายตัวอย่างเช่น การสร้างโครงสร้างโดยใช้เส้นและพื้นผิว การสร้างโครงสร้างด้วยการสร้างองค์ประกอบและระบบเชื่อมโยง การเพิ่มเติมรายละเอียดทางเทคนิค เช่น การกำหนดวัสดุและขนาดของแต่ละส่วนของโครงสร้าง การกำหนดการโหลดที่มีผลต่อโครงสร้าง การกำหนดเงื่อนไขของการสร้างแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองนั้นสอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยการสร้างแบบจำลองโครงสร้างโดยใช้ Sap2000 จึงช่วยให้ผู้ใช้สามารถสร้างแบบจำลองโครงสร้างที่มีความแม่นยำและเหมาะสมสำหรับการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

การสร้างแบบจำลองใน Sap2000 นั้นมีขั้นตอนการทำงานที่สำคัญดังนี้

3.3.2.1 สร้างโครงสร้างพื้นฐาน

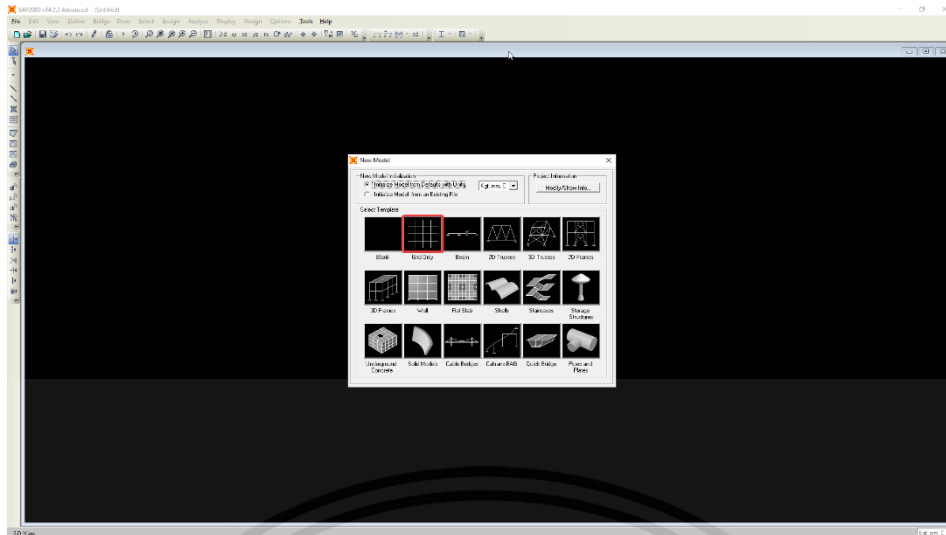
หลังจากเปิดSAP2000ขึ้นมาแล้วให้ไปที่File>New Modelดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.20 รูปแสดงวิธีสร้างไฟล์ใหม่

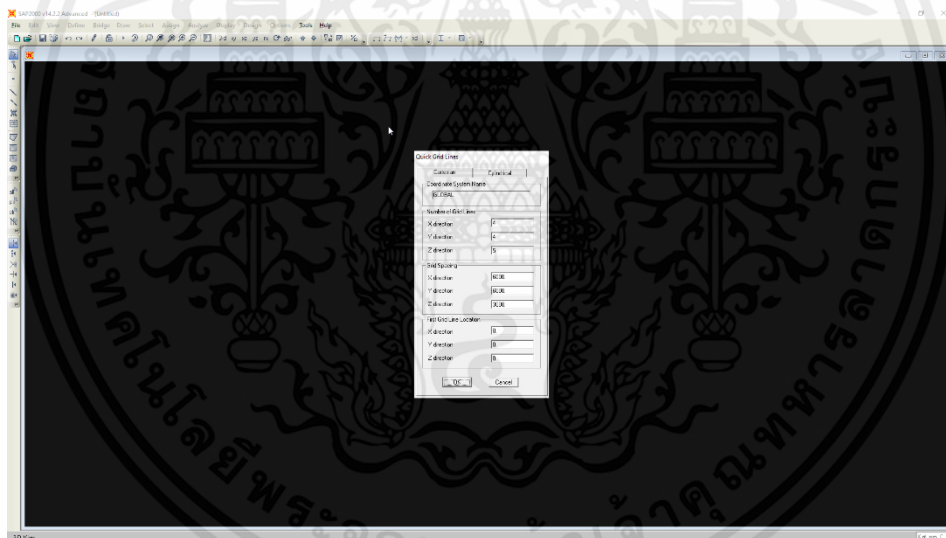
เมื่อคลิกเข้าไปจะขึ้นหน้าต่างTemplate ในหน้านี้สามารถเลือกได้ว่าต้องการสร้างแบบจำลองแบบไหนโดยในโปรแกรมมีตัวเลือกให้ที่มาพร้อมกับตัวโปรแกรม ถ้าหากไม่มีตัวเลือกที่เหมาะสมกับแบบโครงสร้างที่ได้มาให้เลือกGrid onlyตามรูปที่ 3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 รูปแสดงหน้าต่างTemplateและตำแหน่งของตัวเลือกGrid Only

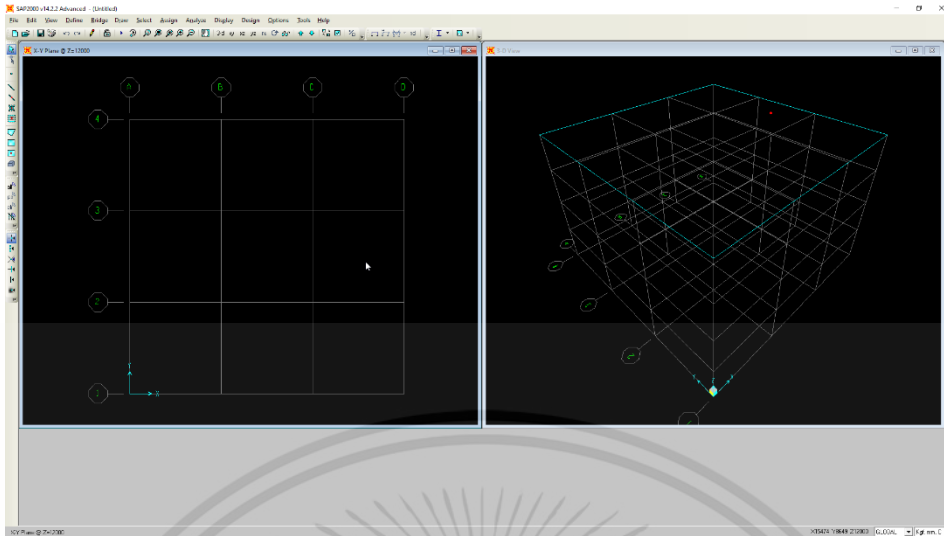
ตามรูปที่ 3.21 จะเป็นหน้าต่างตั้งค่าขนาดและระยะGridของแบบโครงสร้าง ถ้าต้องการตั้งค่าGridที่ละเอียดกว่านี้ให้ทำการกดOKไปก่อน



รูปที่ 3.22 รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่าระยะGrid

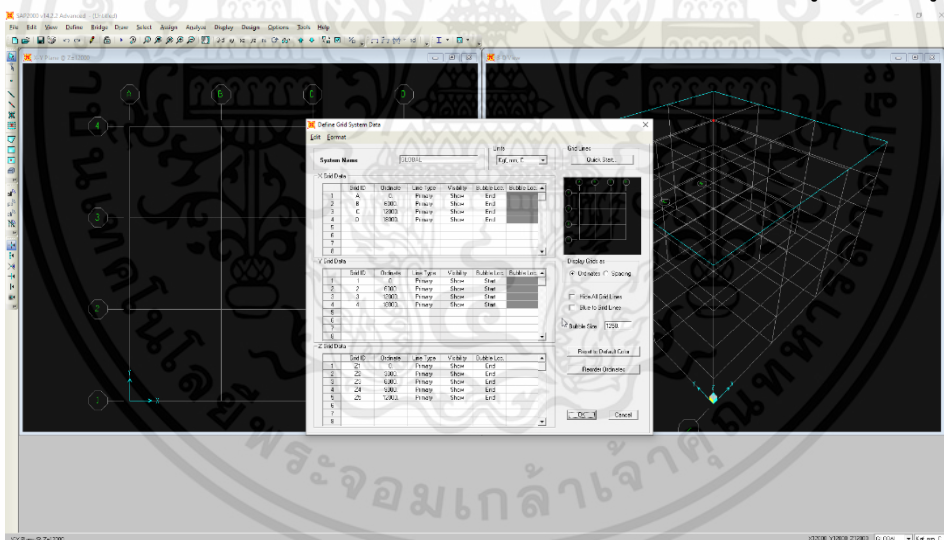
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดOKแล้วหน้าจอโปรแกรมจะเป็นตามรูปที่ 3.22 ให้ทำคลิกที่เส้นGrid2ครั้งเพื่อที่จะทำการปรับแต่งGrid



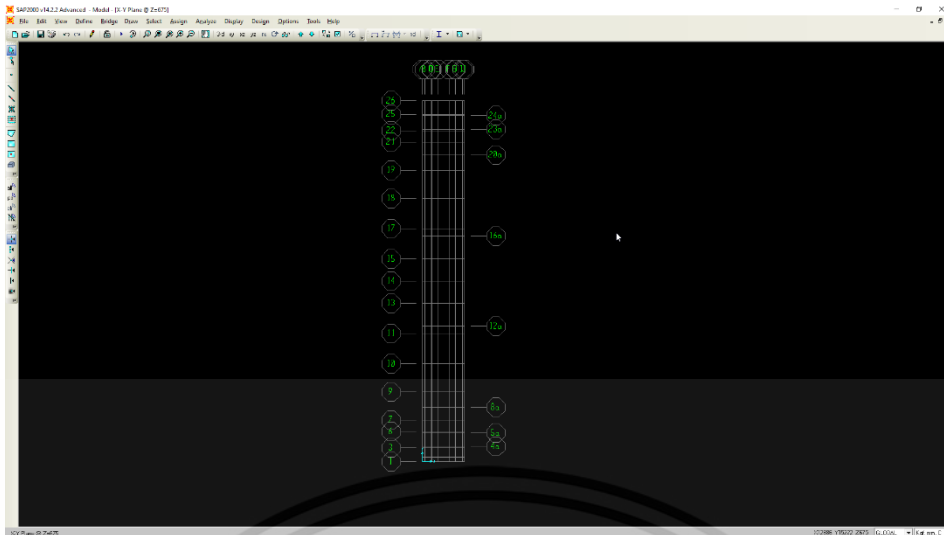
รูปที่ 3.23 รูปแสดงหน้าจอโปรแกรมหลังสร้างGrid

จากนั้นหน้าต่างในรูปที่ 3.23 จะขึ้นมา ในหน้าใช้เพื่อเพิ่ม ลบ ปรับแต่ง และกำหนดชื่อเส้นระยะgridของแบบจำลอง หลังจากใส่ระยะGridเหมาะสมตามแบบโครงสร้างที่ได้รับมาแล้วจะมีรูปร่างตามรูปที่ 3.24






รูปที่ 3.24 รูปแสดงหน้าต่างต่างตั้งค่าระยะGridแบบละเอียด


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 รูปแสดงระยะGridตามแบบโครงสร้างที่ได้รับมา

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสร้างแบบจำลองโดยจะใช้เครื่องมือแถบด้านซ้ายของหน้าจอโปรแกรมตามรูปที่ 3.25 เครื่องมือหลักๆที่ได้ใช้จะมี  (Draw Line) ใช้ในการวาดเส้นเหล็ก,  (Draw Special Joint) ใช้ในการวาดรอยต่อหรือจุดรับแรงในกรณีที่เหมาะสม,  (Set Reshape Element Mode) ใช้ในการเลื่อนปลายเส้นเหล็ก

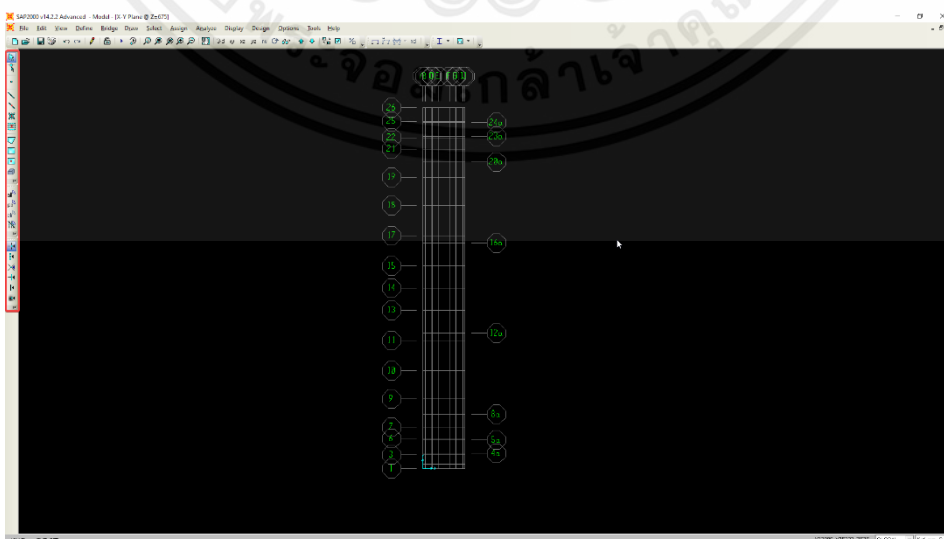
ถ้าหากต้องการดูแบบจำลองในมุมมองอื่นให้คลิกที่แถบด้านบนตามรูปที่3.26 โดยจะมี

3-d คือการดูแบบจำลองในมุมมอง 3d สามารถหมุนแบบจำลองได้โดยคลิกที่  (Rotate 3D View) แล้วคลิกลากในมุมมอง3d

xy คือการแบบจำลองในแกน X-Y

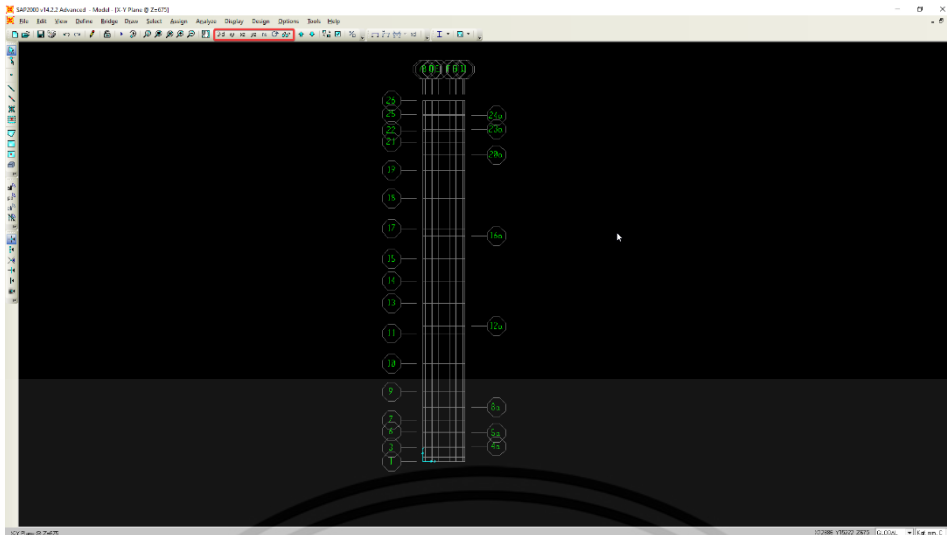
xz คือการแบบจำลองในแกน X-Z

yz คือการแบบจำลองในแกน Y-Z



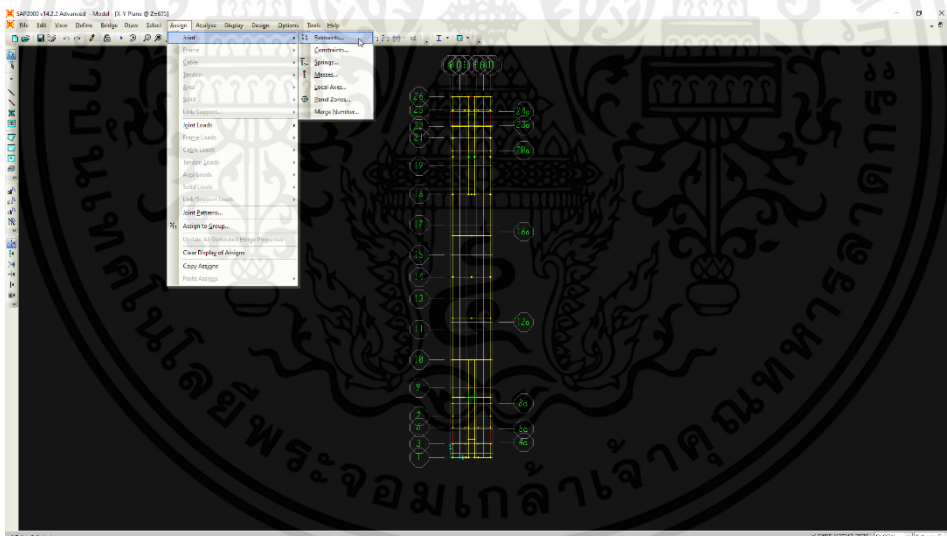
รูปที่ 3.26 รูปแสดงแถบเครื่องมือสร้างแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



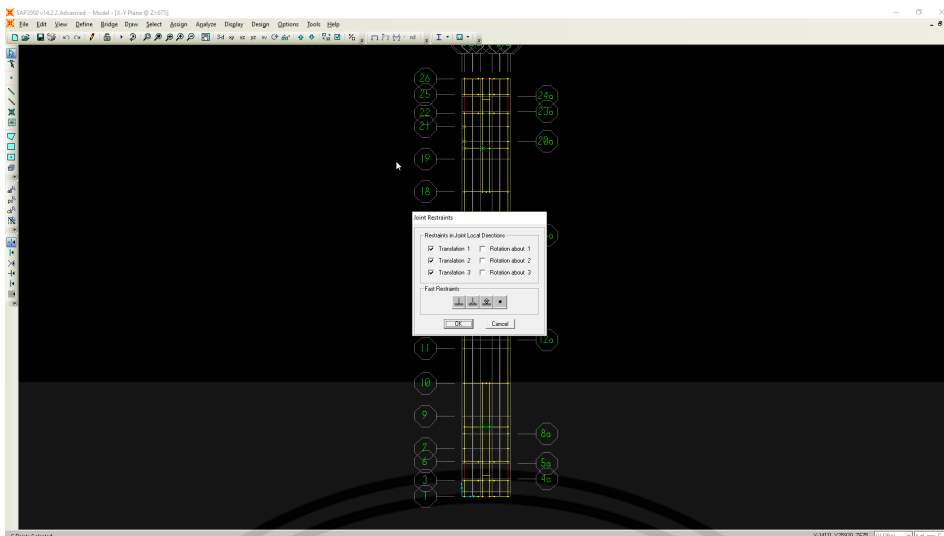
รูปที่ 3.27 รูปแสดงแถบการเปลี่ยนมุมมอง

หากต้องการกำหนดประเภทข้อต่อ ให้ไปที่ Assign>Joint>Restraint ตามรูปที่ 3.28 จะขึ้นหน้าต่างตามรูปที่ 3.29 สามารถเลือกประเภทของข้อต่อได้

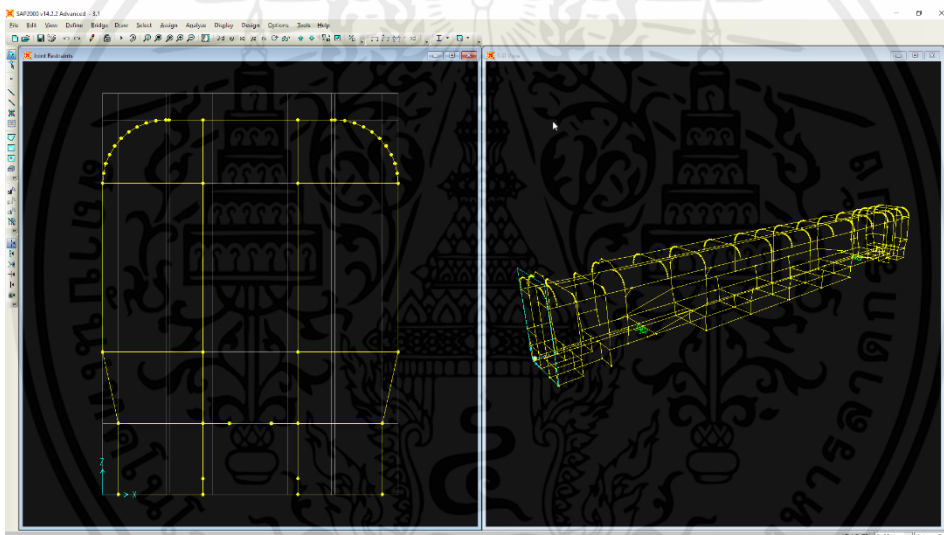


รูปที่ 3.28 รูปแสดงวิธีเปลี่ยนประเภทข้อต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 รูปแสดงหน้าต่างการตั้งค่าของข้อต่อ



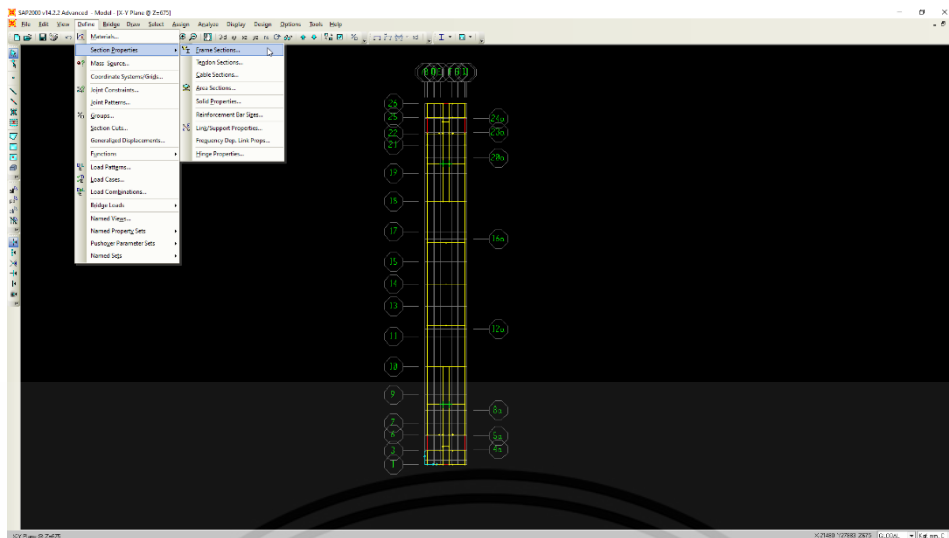
รูปที่ 3.30 รูปแสดงแบบจำลองที่สร้างตามแบบโครงสร้างจริงเสร็จ

3.3.2.2 กำหนดพารามิเตอร์

หลังจากสร้างแบบจำลองตามแบบโครงสร้างจริงเสร็จ ต่อไปคือข้อกำหนดขนาดเหล็กให้เหมือนแบบโครงสร้างจริง แต่เนื่องจากในโปรแกรมSAP2000 จะไม่มีประเภทหน้าต่างอื่น ๆ ตามมาตรฐาน จึงต้องเพิ่มขึ้นมาเอง ซึ่งสามารถImportเข้ามาได้ถ้ามีไฟล์มาตรฐานอยู่ หรือถ้าไม่มีก็สามารถกำหนดประเภทหน้าต่างเองได้

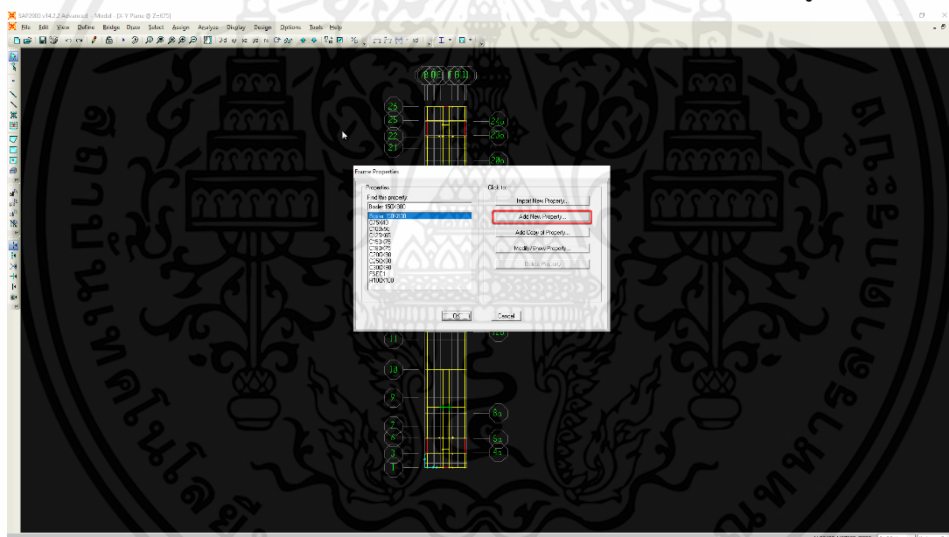
ไปที่ Define > Frame > Frame Section ตามรูปที่ 3.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 รูปแสดงวิธีเปิดหน้าต่างแสดงประเภทหน้าตัดเพื่อกำหนดหน้าตัดใหม่

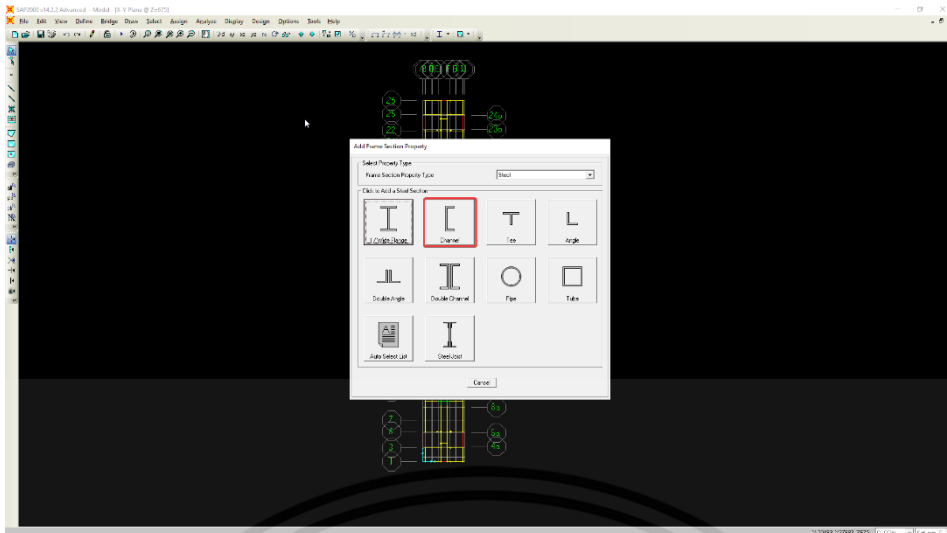
เมื่อกดเข้าไปแล้วจะขึ้นหน้าต่างขนาดหลักขึ้นมา ให้ไปที่ Add New Property ตามรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.32 รูปแสดงวิธีเพิ่มประเภทหน้าตัด

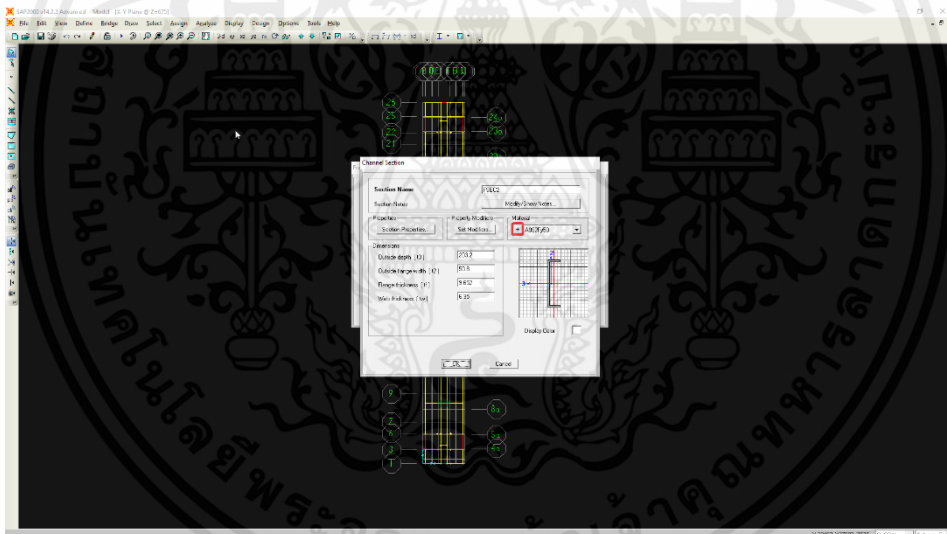
ในหน้าต่างนี้จะมีประเภทหน้าตัดหลักต่างๆ สามารถกำหนดขนาดหลักได้ตามรูปร่างที่โปรแกรมมีให้ สมมุติต้องการเหล็ก C-100x50x5x7.5 ให้เลือก Channel ตามรูปที่ 3.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 รูปแสดงประเภทหน้าตัดต่างๆและตำแหน่งที่ต้องกดหากเลือกประเภทหน้าตัดChannel

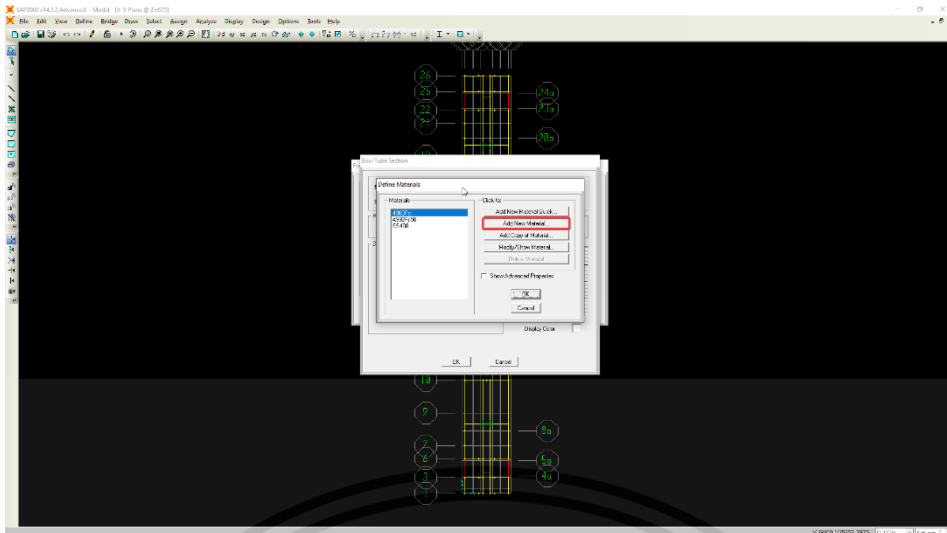
จากนั้นก็กำหนดความลึก ความกว้าง ความหนา และสีของเหล็ก แต่ก็ที่กดOKต้องกำหนดวัสดุของเหล็กที่จะใช้ก่อน ให้คลิกที่รูป + ในแถบMaterialตามรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.34 รูปแสดงหน้าต่างรายละเอียดของหน้าตัดและตำแหน่งที่ต้องกดเพื่อเพิ่มชนิดวัสดุ

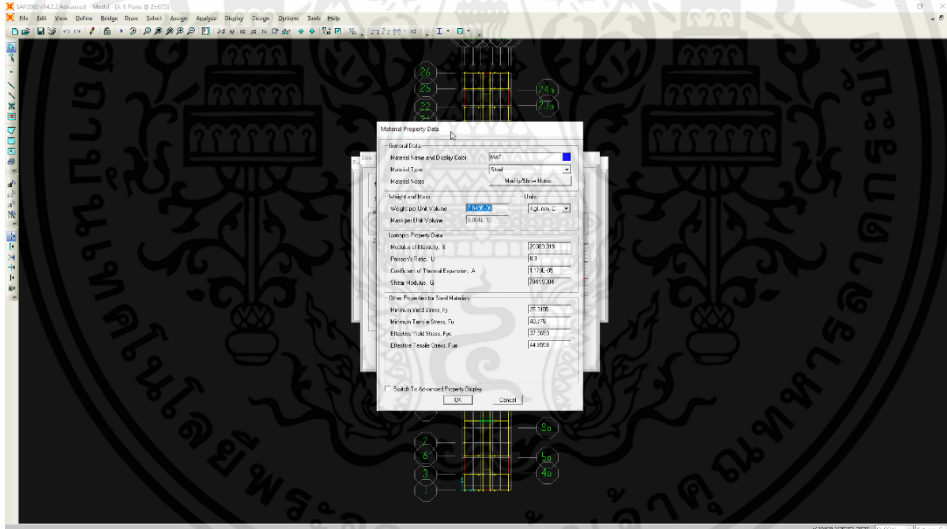
ในหน้าต่างถัดไปจะมีวัสดุที่โปรแกรมให้มา ถ้าหากไม่ใช่วัสดุที่ต้องการให้ไปที่ Add New Material ตามรูปที่ 3.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



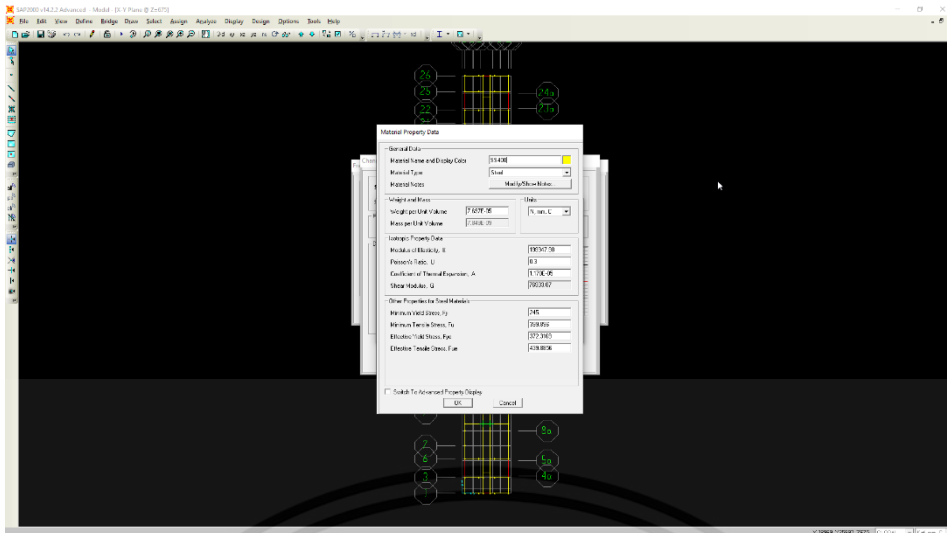
รูปที่ 3.35 รูปแสดงวิธีการเพิ่มชนิดวัสดุ

ในรูปที่ 3.35 ให้กำหนดค่าคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่ต้องการ สมมุติเหล็ก C-100x50x5x7.5 สร้างจากวัสดุSS400 จึงกำหนดค่าคุณสมบัติตามรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 รูปแสดงหน้าต่างรายละเอียดของวัสดุ

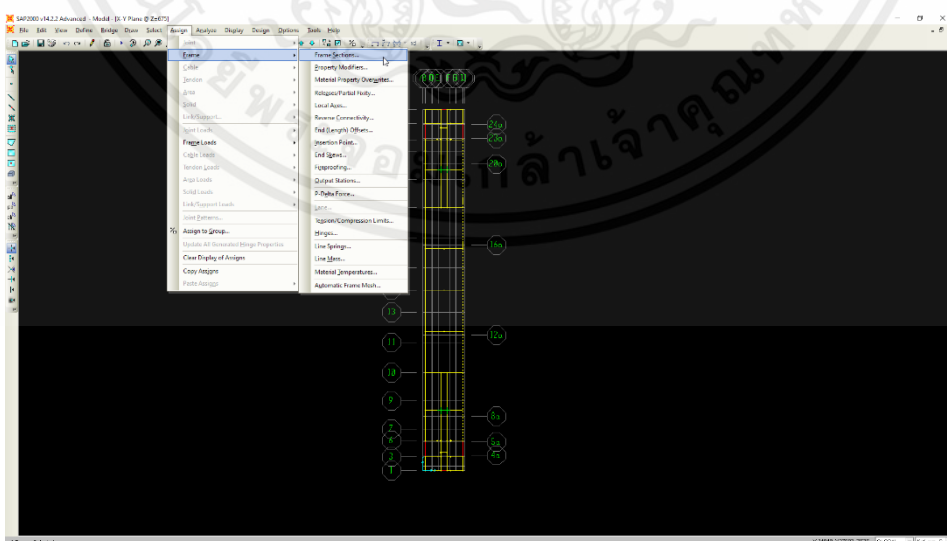
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.37 รูปแสดงหน้าต่างรายละเอียดของวัสดุเมื่อเลือกใช้ชนิดSS400

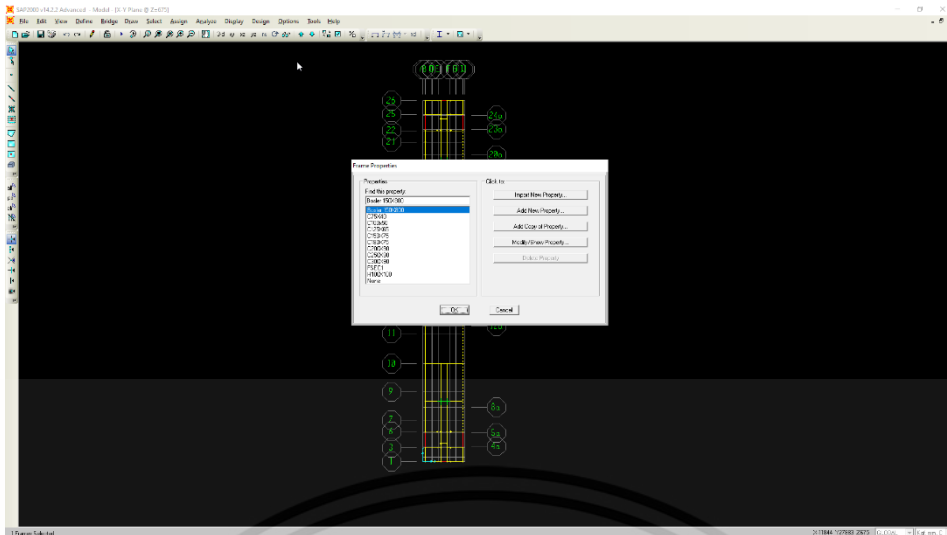
หลังจากกำหนดขนาดเหล็กที่ต้องการมาหมดเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการปรับแก้แบบจำลองให้มีขนาดเหล็กตามแบบโครงสร้างจริง โดยให้คลิกเส้นที่จะแก้ จากนั้นไปที่ Assign>Frame>Frame Section ตามรูปที่ 3.37 จากนั้นในรูปที่ 3.38 จะเป็นขนาดหน้าตัดต่างๆที่สร้างขึ้นมาก่อนหน้า ให้เลือกขนาดที่ต้องการแล้วกดOK เหล็กที่เลือกไว้ก็จะเปลี่ยนขนาดตามขนาดที่ได้เลือกไว้

เพื่อให้การปรับแก้แบบจำลองง่ายขึ้น ให้คลิกที่ (Set Display Option) ตรงแถบด้านบนแล้วในแถบGeneralให้ติ๊กถูกที่ Extrude View และ ถ้าเกิดได้กำหนดสีของเหล็กแต่ละชนิดไว้ก่อนหน้าแล้ว ให้ดูในแถบ View By Color of จากนั้นเลือก Section ตามรูปที่ 3.39 เมื่อกดOKเรียบร้อยแล้ว แบบจำลองจะมีหน้าตาคล้ายรูปที่ 3.40 ซึ่งจะโชว์ขนาดของเหล็กที่ได้กำหนดไว้ของแต่ละเส้นและสีของเหล็กแต่ละประเภทที่ได้กำหนดไว้

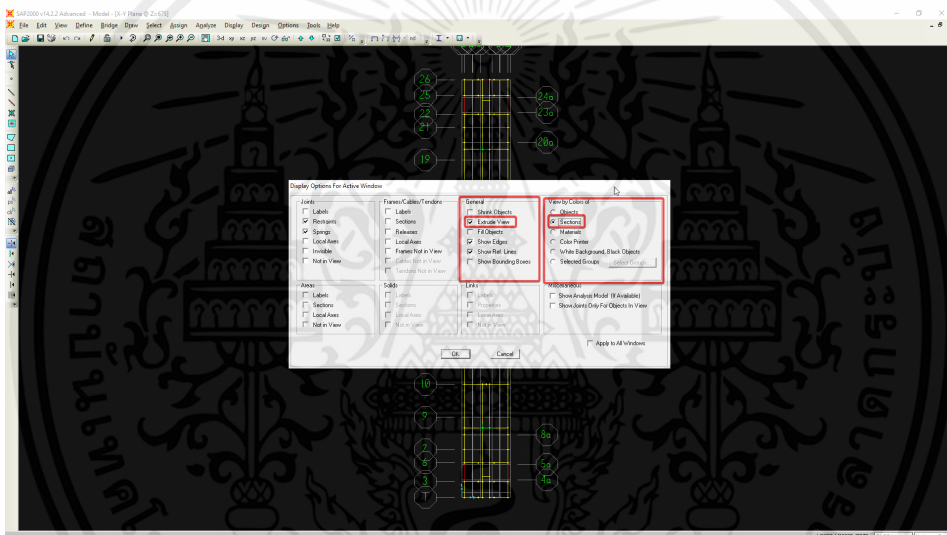


รูปที่ 3.38 รูปแสดงวิธีเปลี่ยนประเภทหน้าตัดเหล็ก

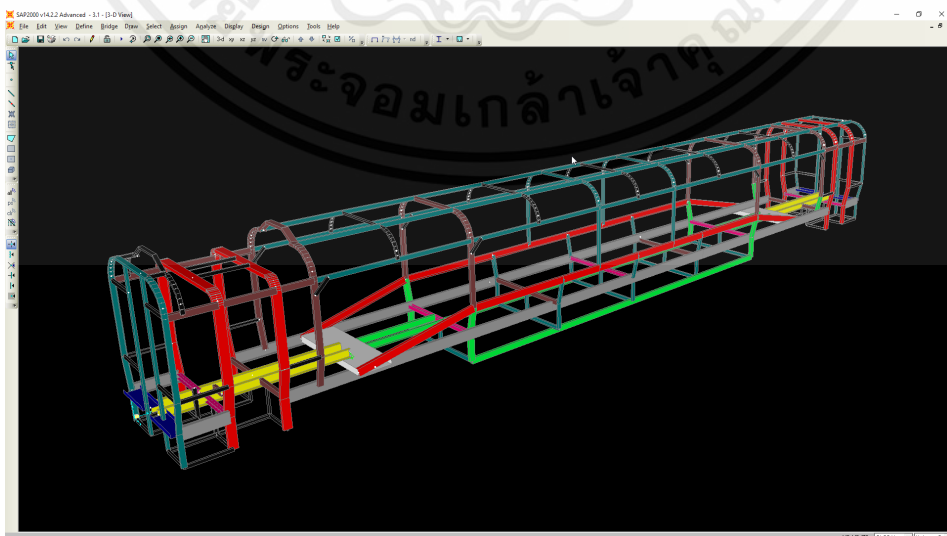
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.39 รูปแสดงหน้าต่างประเภทหน้าต่างตัดต่างๆที่กำหนดมาก่อนหน้า



รูปที่ 3.40 รูปแสดงวิธีการตั้งค่าให้แบบจำลองแสดงขนาดและสีของเหล็กตามที่กำหนด



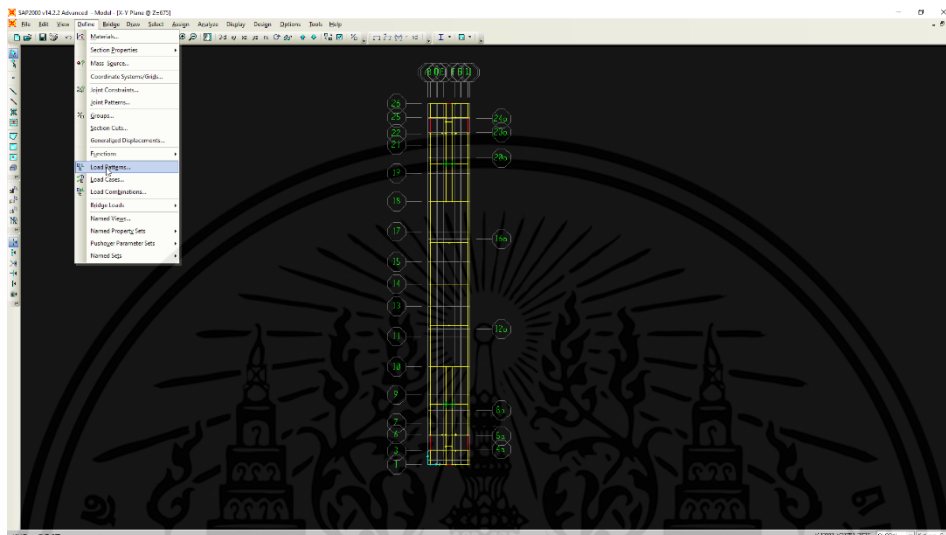
รูปที่ 3.41 รูปแสดงรูปร่างของแบบจำลองเมื่อตั้งค่าตามที่กล่าวข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

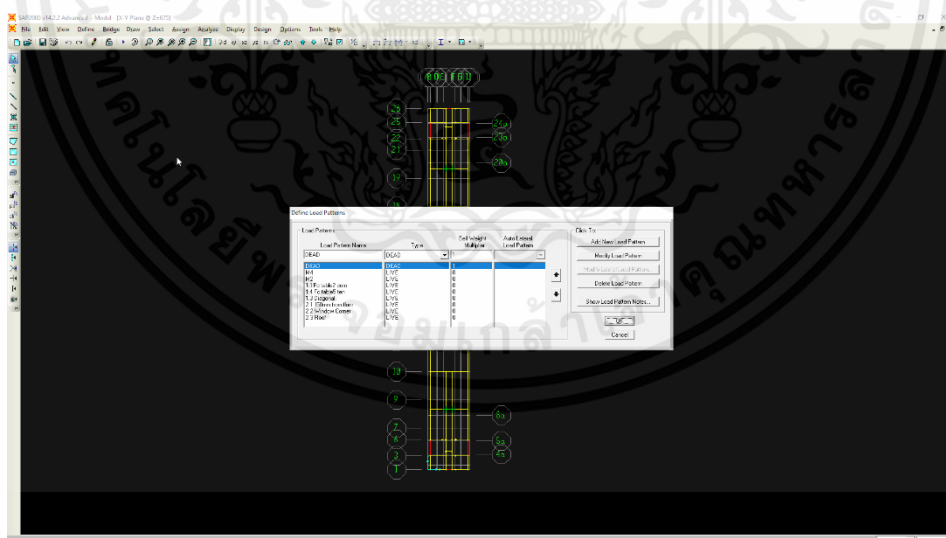
3.3.2.3 กำหนดและใส่แรงกระทำ

เมื่อปรับแก้แบบจำลองให้เหมือนแบบโครงสร้างจริงเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะใส่แรงกระทำไปในแบบจำลอง เพื่อที่จะวิเคราะห์โครงสร้าง โดยก่อนอื่นต้องกำหนดแรงกระทำมาก่อนโดยใช้ 2 รูปแบบคือ

ในกรณีแรงเดียว เช่น แรงอัดที่กันชนและ/หรือขอพวง ให้ไปที่ Define>Load Pattern ตามรูปที่ 3.42 ในหน้าต่างตามรูปที่ 3.43 ให้ตั้งชื่อในช่อง Load Pattern Name แล้วเลือกประเภทของแรงที่ช่อง Type จากนั้นให้กด Add Load Pattern เพื่อเพิ่มแรงกระทำนั้น



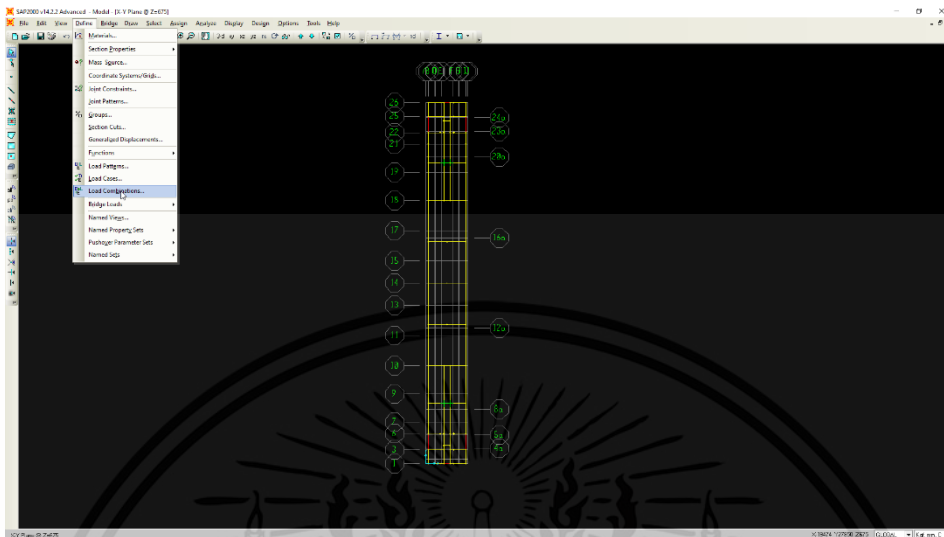
รูปที่ 3.42 รูปแสดงวิธีเปิดหน้าต่างตั้งค่า Load Pattern



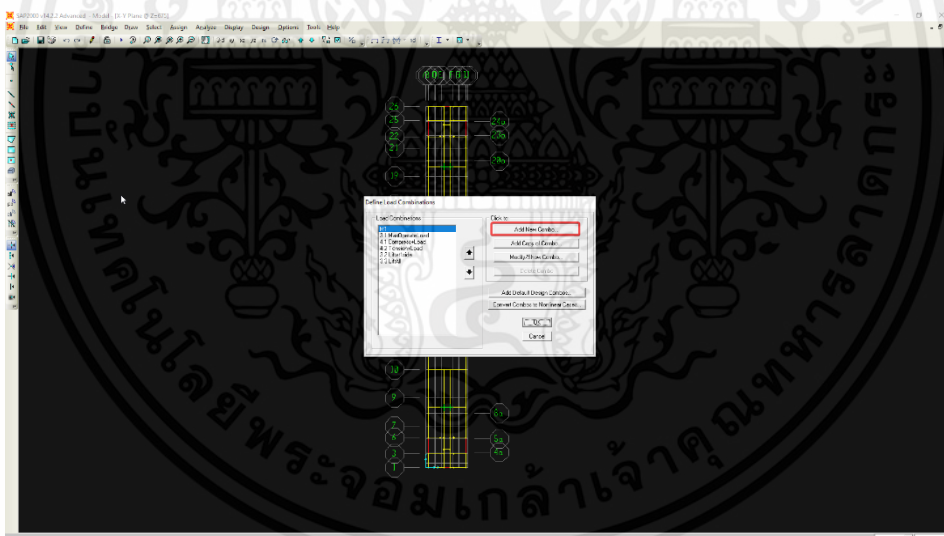
รูปที่ 3.43 รูปแสดงหน้าต่างการตั้งค่า Load Pattern

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีแรงผลรวม เช่น แรงอัดและน้ำหนักในแนวตั้ง ให้ไปที่ Define>Load Combination ตามรูปที่ 3.44 และกด Add New Combo ตามรูปที่ 3.45 ในหน้าต่างตามรูปที่ 3.46 ให้เลือกLoad Patternที่ต้องการและกำหนดScale Factor แล้วกดAdd เมื่อใส่แรงครบหมดแล้วให้กดOK

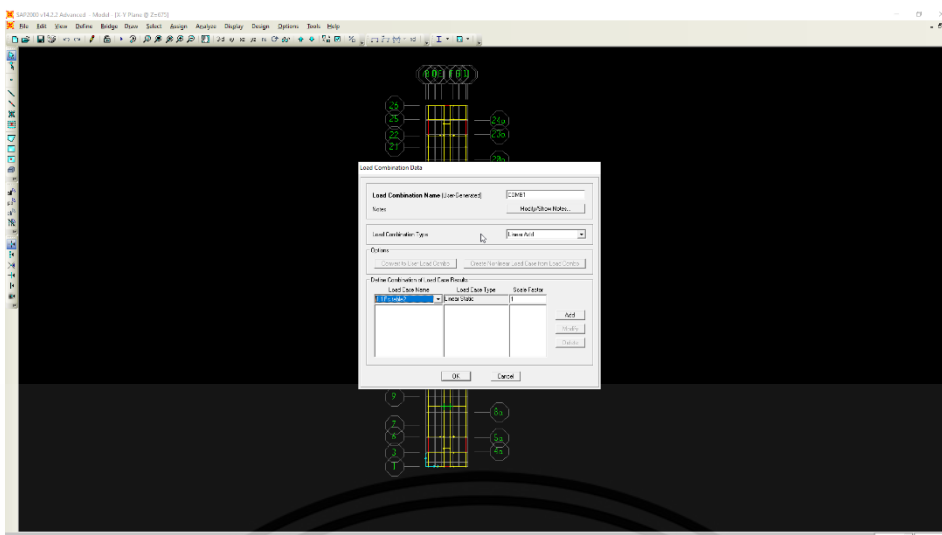


รูปที่ 3.44 รูปแสดงวิธีเปิดหน้าต่างตั้งค่าLoad Combo



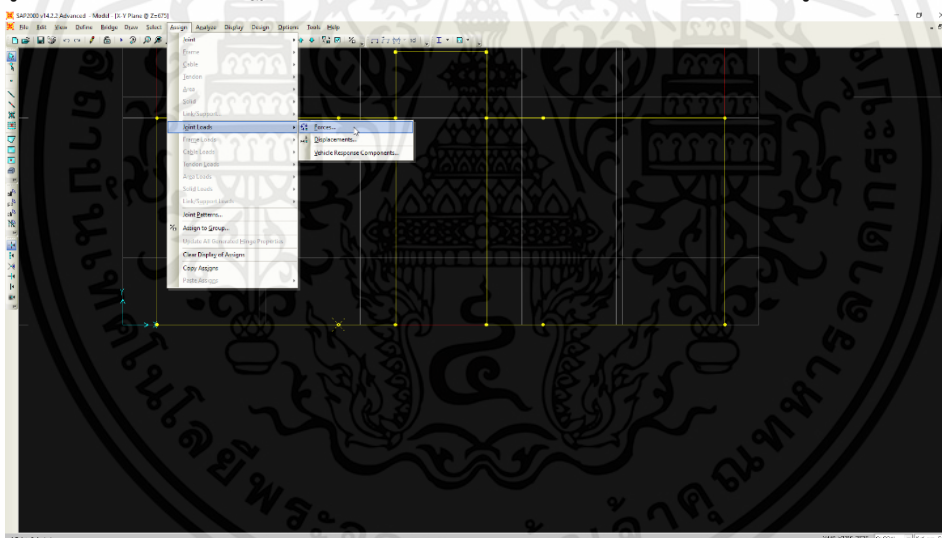
รูปที่ 3.45 รูปแสดงตำแหน่งที่ต้องกดเพื่อเพิ่มLoad Combo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.46 รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่าLoad Pattern

เมื่อกำหนดแรงทั้งหมดตามมาตรฐานเสร็จแล้ว ต่อถัดไปจะนำแรงกระทำทั้งหมดใส่ลงไปในแบบจำลอง โดยเลือกจุดที่อยู่ในตำแหน่งตามมาตรฐานแล้วไปที่ Assign>Joint Loads>Forces ตามรูปที่ 3.46

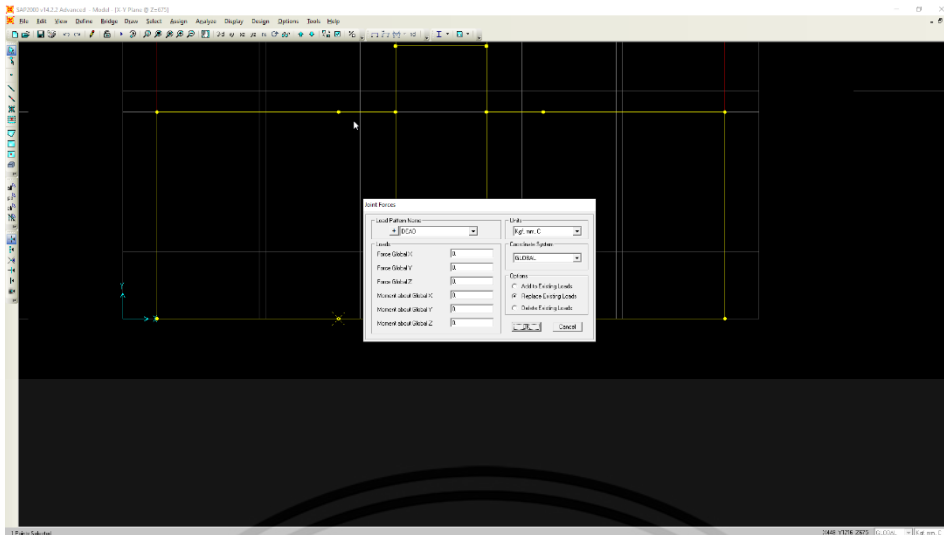


รูปที่ 3.47 รูปแสดงวิธีใส่Load Patternบนข้อต่อ

ในหน้าต่างตามรูปที่ 3.47 ให้เลือกLoad Patternที่จะใส่ เลือกแกนทิศทางที่กระทำแล้วใส่ค่าที่ต้องการ จากนั้นกดOK

สำหรับกรณีที่เป็นแรงกระจายบนพื้นรถ ต้องวาดพื้นรถมาก่อนโดยใช้  (Draw Rectangular Area Element)แล้วไปที่ Assign>Area Load>Uniform to Frame แล้วใส่แรงเหมือนกับขั้นตอนก่อนหน้า ทำแบบนี้ทุกLoad Patternก็เป็นอันเสร็จสิ้นในขั้นตอนกำหนดและใส่แรงกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

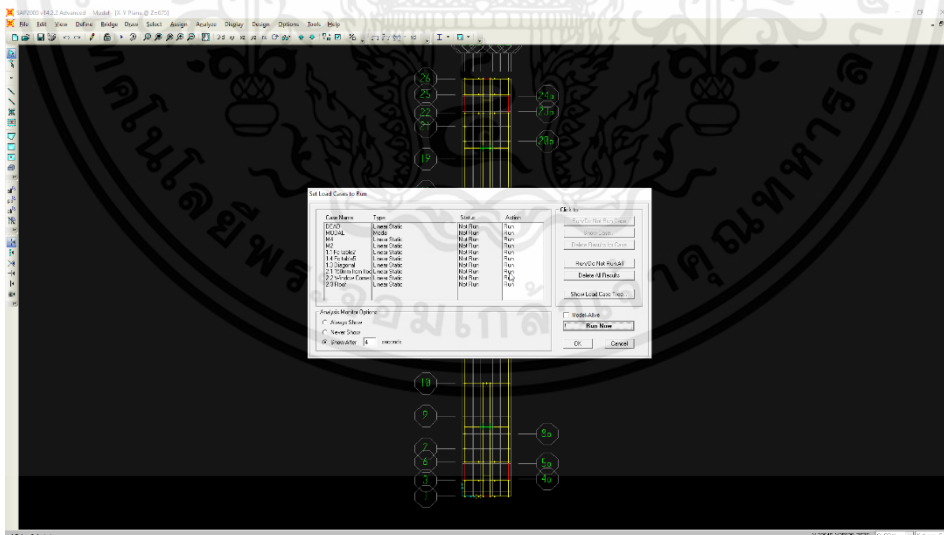


รูปที่ 3.48 รูปแสดงหน้าต่างการตั้งค่าแรงที่จะใส่ในจุดต่อ

3.3.2.4 วิเคราะห์โครงสร้าง

เมื่อใส่แรงกระทำทั้งหมดลงในแบบจำลองทุกแรงแล้ว ต่อไปจะเป็นขั้นตอนวิเคราะห์แบบจำลองโดยบนแถบแถบด้านบนให้กด  (Run Analysis)

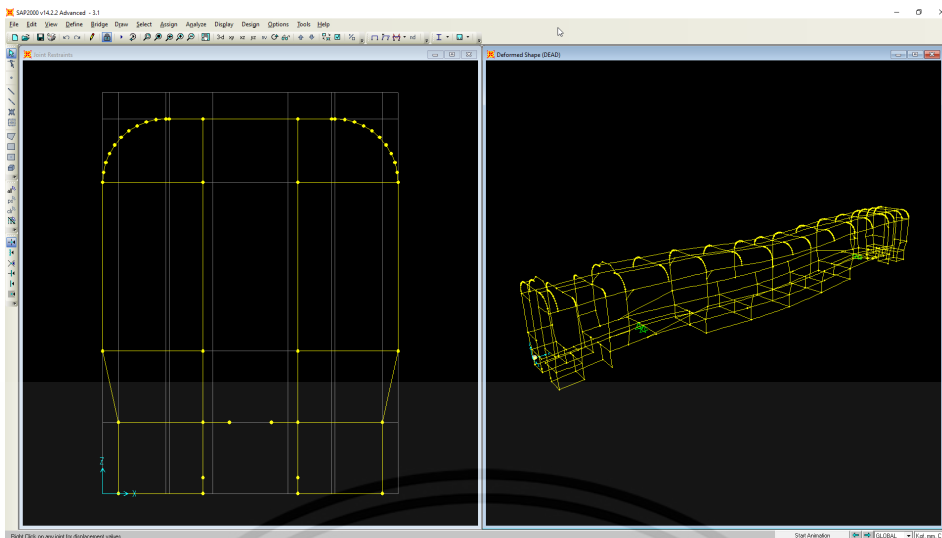
ในหน้าต่างตามรูปที่ 3.48 จะเลือกได้ว่าจะให้แรงกระทำไหนเกิดขึ้นบนแบบจำลองบ้างโดยถ้าไม่อยากจะเห็นแรงหนึ่งให้เลือกรางนั้นแล้วกดที่ Run/Do Not Run Case ในแถบ Action เมื่อแรงนั้นขึ้นชื่อว่า Do Not Run แปลว่าผลวิเคราะห์ที่ได้จะไม่มีแรงนั้นเกิดขึ้นบนแบบจำลอง เมื่อเลือก Action ตามที่ต้องการแล้วให้กด Run Now เพื่อเริ่มการวิเคราะห์



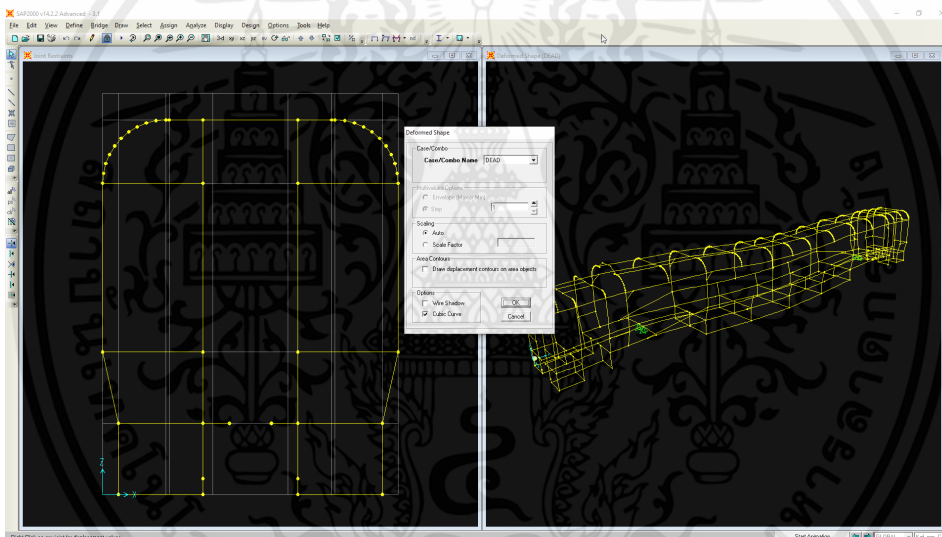
รูปที่ 3.49 รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่าแรงกระทำแต่ละกรณีที่กำหนด

พอโปรแกรมวิเคราะห์เสร็จแล้วตัวแบบจำลองจะขึ้นเป็นผลการโก่งตัวในกรณี Dead Load ตามรูปที่ 3.49 ถ้าอยากเห็นผลในกรณีอื่น ให้ไปที่  (Show Deformed Shape) แล้วเลือก Case/Combo ที่ต้องการ


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



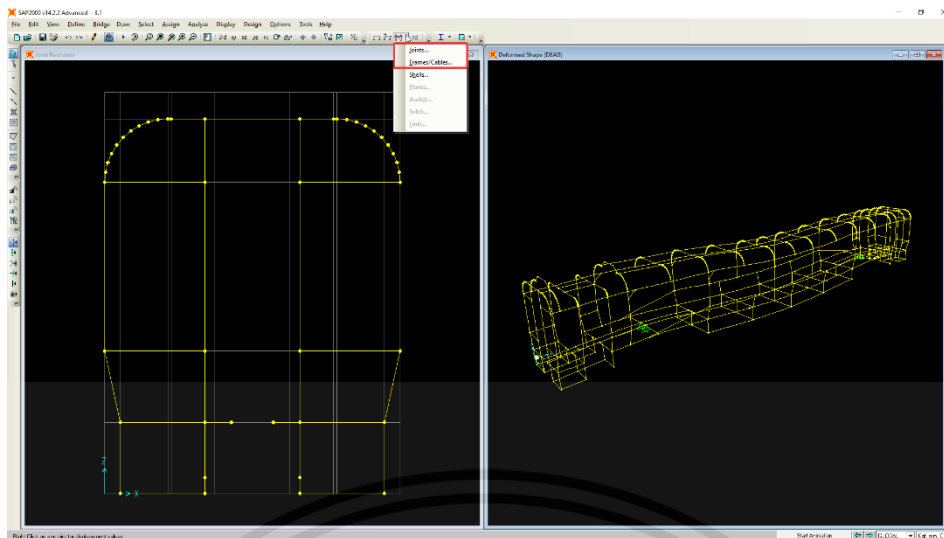
รูปที่ 3.50 รูปแสดงผลDeformationหลังRun Analysis



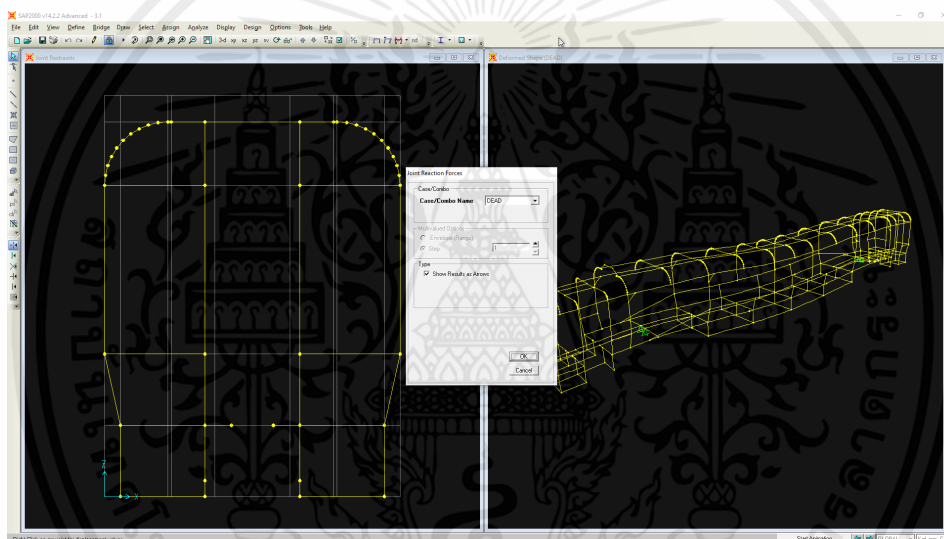
รูปที่ 3.51 รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่าเพื่อแสดงผลDeformationในกรณีอื่น

หากต้องการเห็นShear Force หรือ Bending Momentให้กดDrop-Downที่  (Show Force/Stress) 0t มีให้เลือกดูทั้งข้อต่อและโครงเหล็กตามรูปที่ 3.51 ถ้าอยากดูแรงที่ข้อต่อให้เลือกJointแล้วเลือกCase/Combo ที่อยากเห็นตามรูปที่3.52 ผลที่ได้มาก็จะตามรูปที่ 3.53 แต่ถ้าอยากดูแรงในโครงเหล็กให้เลือกFrame หลังเลือกCase/Comboแล้ว ถัดไปให้เลือกว่าจะดูShear ForceหรือBending Moment โดยเลขต่อท้าย 2-2, 3-3 คือแรงในแกนYและแกนZ ตามลำดับ หากเลือกShear 2-2 ผลที่ได้มาก็จะตามรูปที่ 3.55

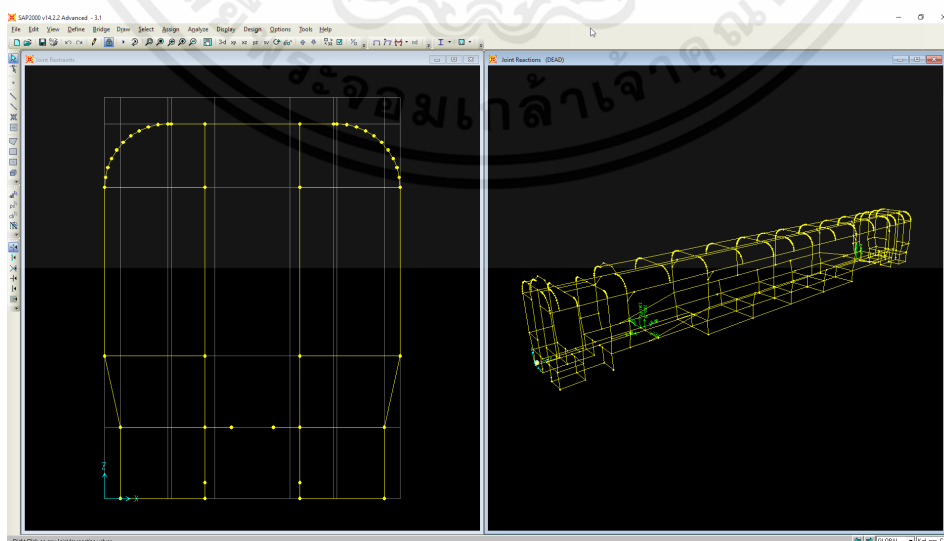
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.52 รูปแสดงตำแหน่งที่ต้องกดเพื่อดูค่าแรงกระทำบนJointหรือFrame

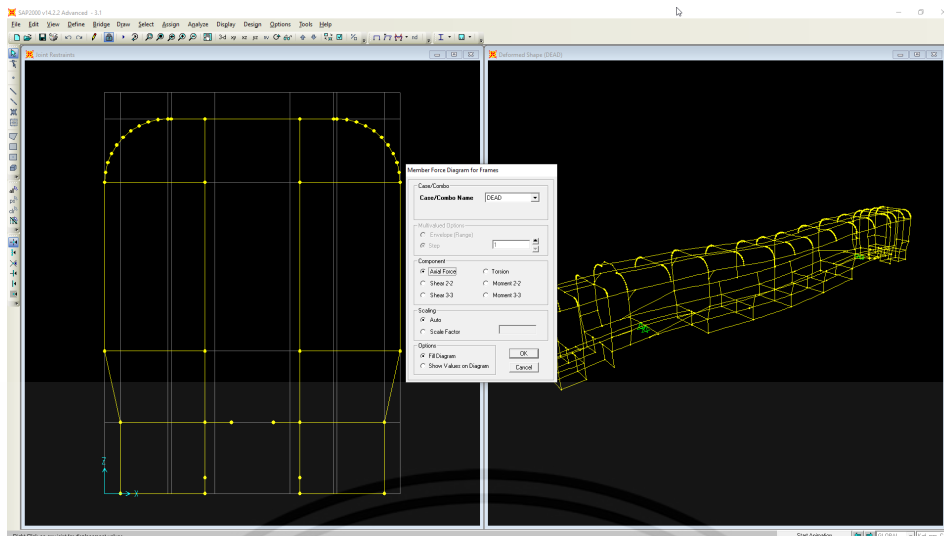


รูปที่ 3.53 รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่าเพื่อดูผลแรงกระทำในกรณีต่างๆบนJoint

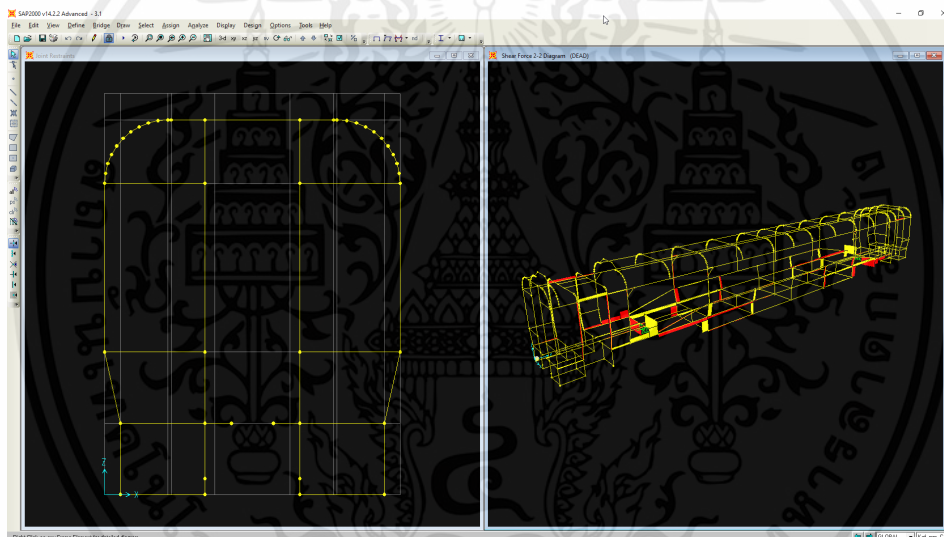


รูปที่ 3.54 รูปแสดงผลแรงกระทำบนJoint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.55 รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่าเพื่อแสดงผลแรงกระทำในกรณีต่างๆบนFrame

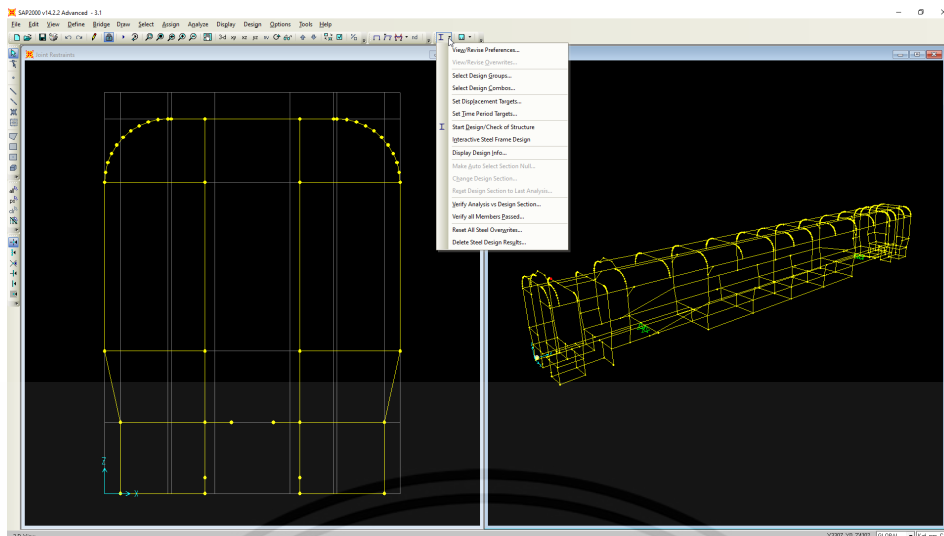


รูปที่ 3.56 รูปแสดงผลแรงกระทำบนFrame

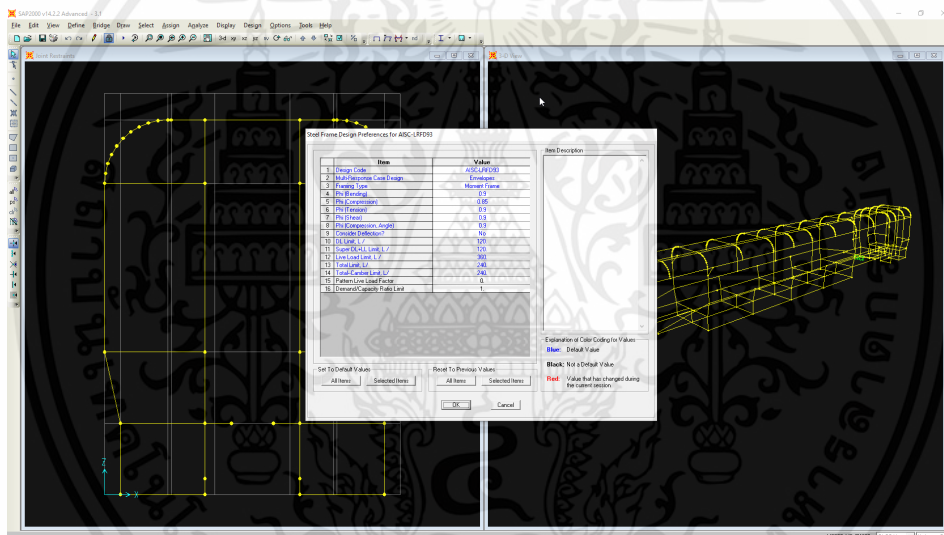
ในโปรแกรมSAP2000สามารถตรวจสอบได้ว่าโครงสร้างจะเกิดการวิบัติเมื่อรับแรงกระทำต่างๆ โดยการใช้ **I** (Start Steel Design/Check For Structure) แต่ก่อนอื่นต้องกำหนดก่อนว่าจะใช้มาตรฐานไหนวิเคราะห์และจะดูผลจากแรงComboที่กระทำกับแบบจำลองไหนบ้าง

ตามรูปที่ 3.56 เมื่อกดDrop-Downแล้ว เพื่อกำหนดมาตรฐานให้ไปที่ View/Revise Preferences จากหน้าต่างในรูปที่ 3.57 สามารถเลือกมาตรฐานที่โปรแกรมให้มาหรือ จะปรับแก้ตามที่ต้องการ ต่อไปการเลือกแรงComboที่กระทำกับแบบจำลองโดยไปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



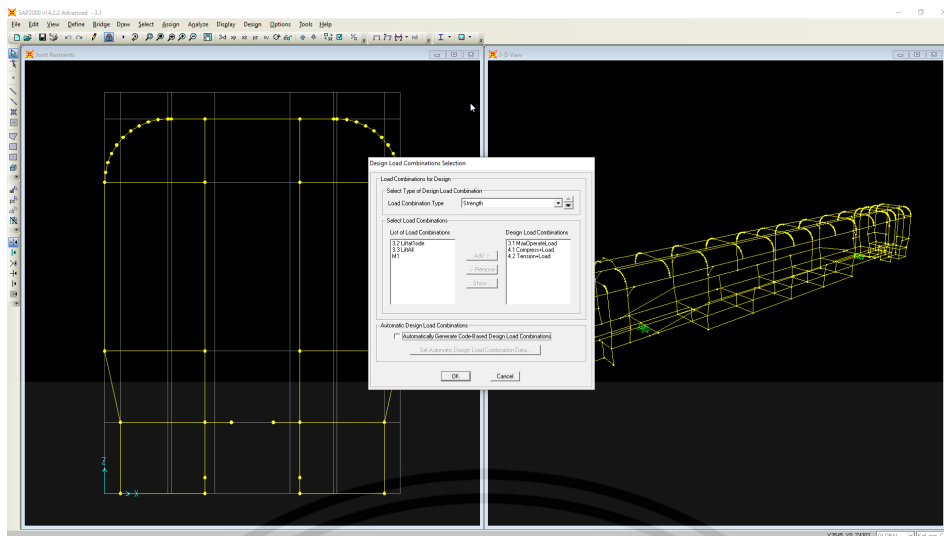
รูปที่ 3.57 รูปแสดงหน้า Drop-down ของ Start Steel Design/Check For Structure



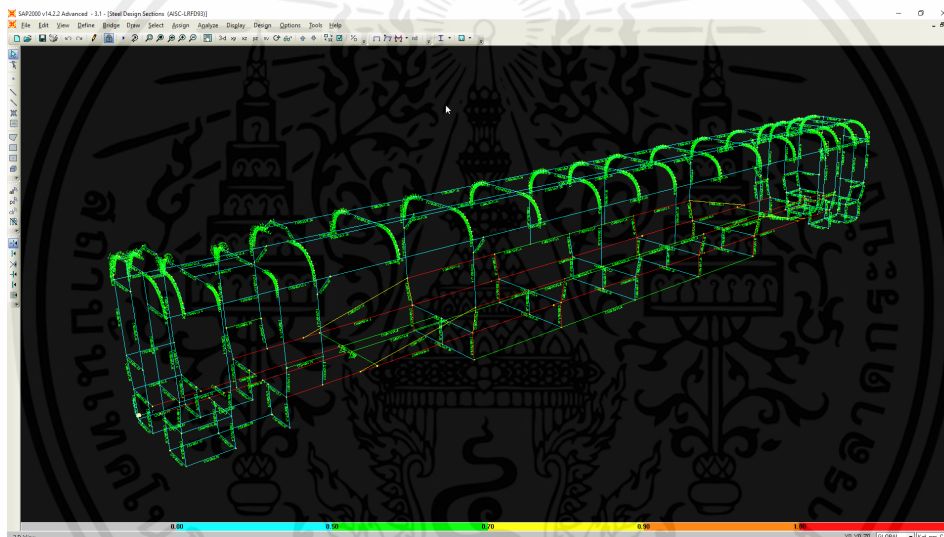
รูปที่ 3.58 รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่ามาตรฐานในการวิเคราะห์แบบจำลอง

ต่อไปจากหน้าต่าง Drop-down ไปที่ Select Design Combo ในหน้าต่างตามรูปที่ 3.58 ให้เลือกแรงที่ต้องการ แล้วกด Add เพื่อใช้แรง Combo ที่เลือกมากระทำบนแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ เมื่อตั้งค่าตามที่ต้องการแล้วก็กด **I** (Start Steel Design/Check For Structure) ได้เลย ผลที่ได้จะตามรูปที่ 3.59 สีต่างๆที่ขึ้นมาตามโครงเหล็กแต่ละชิ้นคือผลวิเคราะห์ที่โปรแกรมได้คำนวณมาให้ โดยสีแดงแปลว่าโครงเหล็กวิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



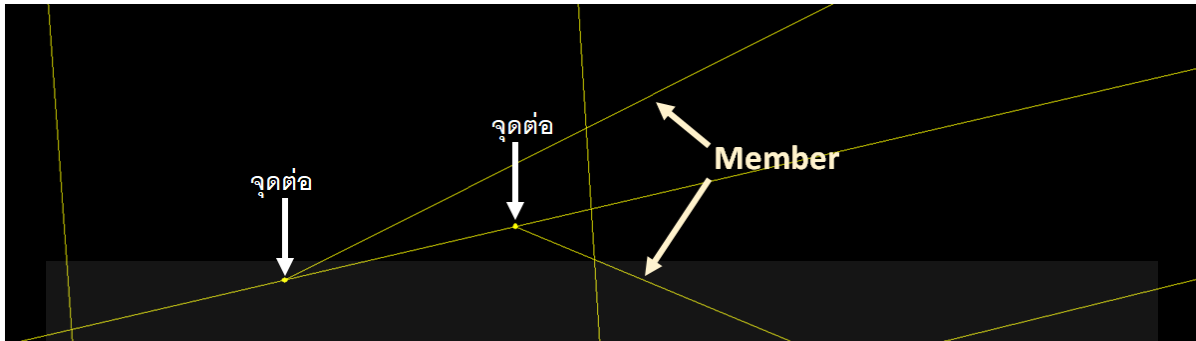
รูปที่ 3.59 รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่ากำหนดกรณีแรงกระทำที่จะเกิดขึ้นบนแบบจำลอง



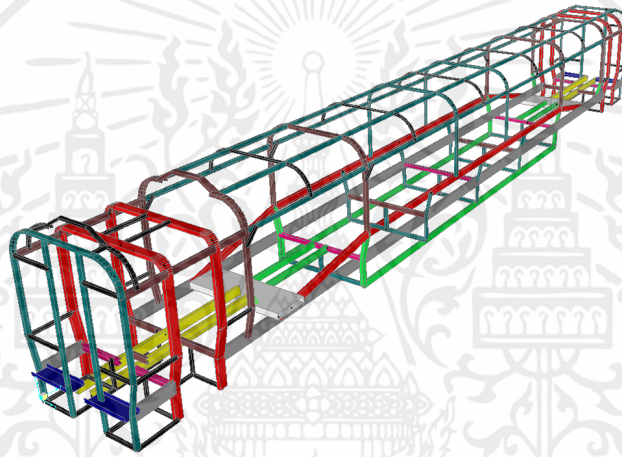
รูปที่ 3.60 รูปแสดงตัวอย่างผลวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

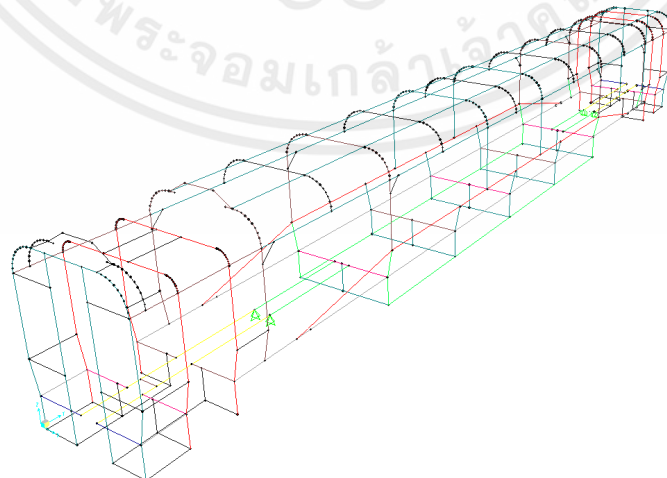
หลังจากสร้างแบบจำลองใน Sap2000 เสร็จเรียบร้อยแล้ว จำนวนจุดต่อของตัวแบบจำลองมีทั้งหมด 266 จุด และจำนวนmembers มีทั้งหมด 321 ชิ้น (ไม่รวมเส้นแบ่งส่วนของเหล็กโค้ง)



รูปที่ 3.61 รูปแสดงส่วนที่เป็นจุดต่อ และ ส่วนที่เป็นmember



รูปที่ 3.62 รูปแสดงตำแหน่งหน้าตัดวัสดุของ ตู้อายุ 3 เมตร



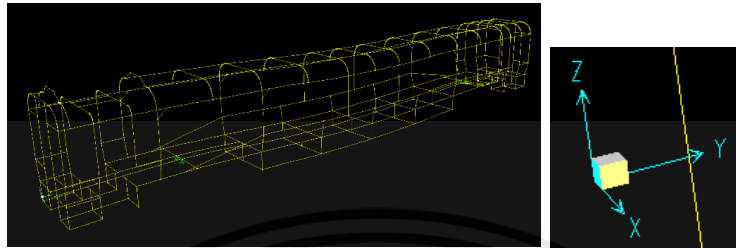
รูปที่ 3.63 รูปแสดงตูดอายุ 3 เมตร (ไม่แสดงความหนาของชั้นส่วนโครงสร้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

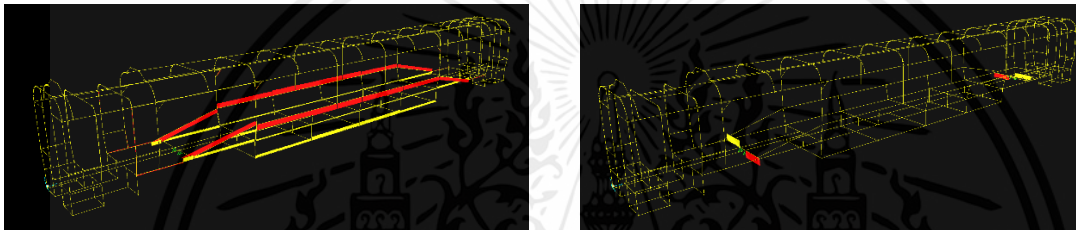
3.4 การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อทำการวิเคราะห์แบบจำลองในSAP2000จะสามารถเห็นการกระทำต่างๆที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนต่างๆ ในแบบจำลองรวมถึงผลวิเคราะห์การออกแบบ

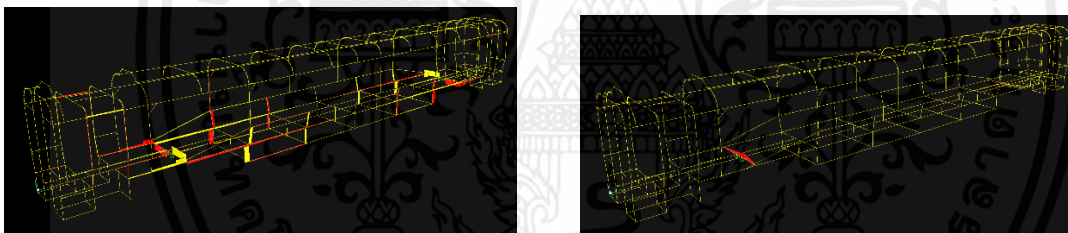
รูปที่ 3.64 รูปแสดงDeformation



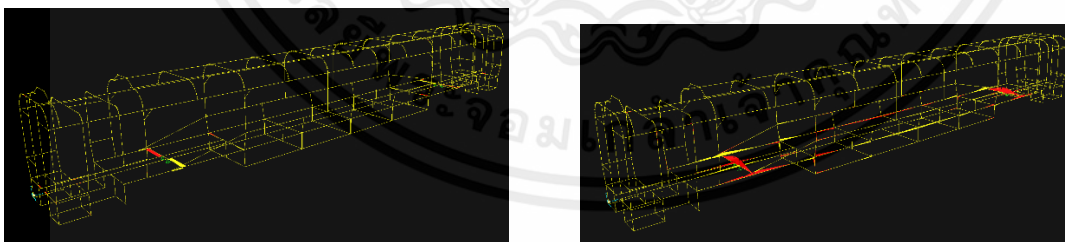
รูปที่ 3.65 รูปแสดงShear ForceในแนวแกนXและรูปแสดงMomentแนวแกนX



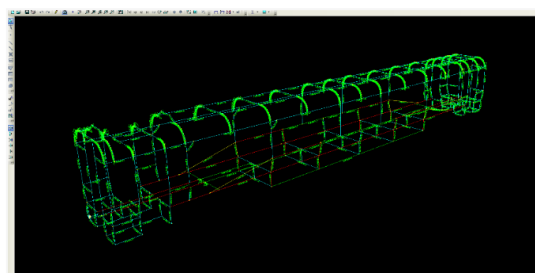
รูปที่ 3.66 รูปแสดงShear ForceในแนวแกนYและรูปแสดงMomentแนวแกนY



รูปที่ 3.67 รูปแสดงShear ForceในแนวแกนZและรูปแสดงMomentแนวแกนZ



รูปที่ 3.68 รูปแสดงผลวิเคราะห์การออกแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากต้องการพิจารณาเพิ่มเติมว่าโครงสร้างนี้ผ่านตามมาตรฐาน EN-12663 หรือไม่ สามารถนำค่าต่างๆ จากโปรแกรมไปหาค่าการใช้ประโยชน์ได้จากสมการต่อไปนี้

หากการออกแบบนั้นถูกกำหนดโดยความแข็งแรงสูงสุดหรือในสภาพที่มั่นคง เมื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นที่คำนวณหรือวัดได้กับความเค้นที่ยอมรับได้แล้ว การใช้ประโยชน์ขององค์ประกอบจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ดังสมการ

$$U = \frac{R_d S}{R_L} \leq 1$$

เมื่อ U คือ ค่าการใช้ประโยชน์

R_d คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหรือการทดสอบ

S คือ ค่าความปลอดภัยที่ออกแบบ

R_L คือ ค่าที่อนุญาต หรือค่าจำกัด

ในส่วนของความแข็งแรงที่จุดครากหรือความแข็งแรงที่พิสูจน์ได้ ในกรณีที่มีการออกแบบถูกตรวจสอบโดยการคำนวณอย่างเดียว ค่า S_1 จะเป็น 1.15 และอาจเป็น 1.0 ได้หากน้ำหนักที่ออกแบบถูกตรวจสอบโดยการทดสอบ หรือความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบและการคำนวณถูกสร้างไว้แล้ว ซึ่งการใช้ประโยชน์จะน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ตามที่กำหนดดังสมการต่อไปนี้

$$U = \frac{\sigma_c S_1}{R} \leq 1$$

เมื่อ U คือ ค่าการใช้ประโยชน์

S_1 คือ ค่าความปลอดภัยสำหรับความเสียหายสูงสุด

R คือ ค่าความครากของวัสดุ (ReH) หรือ 0.2% ของความเค้นจากการพิสูจน์ (Rp02) ในหน่วย นิวตัน/มม.²

σ_c คือ ค่าความเค้นที่คำนวณได้ในหน่วย นิวตัน/มม.²

การหาค่าความเสียหายสูงสุดมีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดขอบเขตความปลอดภัยระหว่างน้ำหนักของการออกแบบในกรณีพิเศษและน้ำหนักของโครงสร้างที่จะเสียหาย ซึ่งสามารถทำได้โดยกำหนดค่าความปลอดภัย S_2 เพื่อที่ค่าการใช้ประโยชน์จะน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ตามที่กำหนดโดยสมการต่อไปนี้

$$U = \frac{\sigma_c S_2}{R_m} \leq 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ U คือ ค่าการใช้ประโยชน์

S_2 คือ ค่าความปลอดภัยสำหรับความแข็งแรงที่จุดคราก หรือความแข็งแรงที่ได้จากการพิสูจน์

R_m คือ ความเค้นสูงสุดของวัสดุในหน่วย นิวตัน/มม.²

σ_c คือ ความเค้นที่คำนวณได้ในหน่วย นิวตัน/มม.²

โดยทั่วไปแล้ว $S_2 = 1.5$ แต่สามารถใช้ค่า $S_2 = 1.3$ ในกรณีที่น้ำหนักการออกแบบถูกยืนยันโดยการทดสอบ และ/หรือความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบและการคำนวณที่ได้ดำเนินการเรียบร้อยแล้ว ค่าความปลอดภัย S_2 สามารถลดลงอีกเมื่อมีแนวทางการให้น้ำหนักแบบอื่น

ความไม่แน่นอนเฉพาะที่มีทั้งรูปแบบของการโค้งงอแบบยืดหยุ่น โครงสร้างของตัวรถจะต้องมีขอบเขตของความปลอดภัยเทียบกับความไม่มั่นคงที่นำไปสู่ความล้มเหลวของโครงสร้างทั่วไป ภายใต้น้ำหนักกระทำพิเศษ ค่าการใช้ประโยชน์จะน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 เมื่อความเค้นที่คำนวณได้หรือน้ำหนักบรรทุกที่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับความเค้นของการโก่งวิกฤต หรือน้ำหนักของการโก่งตัว

$$U = \frac{\sigma_c S_3}{\sigma_{cb}} \leq 1 \quad \text{หรือ} \quad U = \frac{L_c S_3}{L_{cb}} \leq 1$$

เมื่อ U คือ ค่าการใช้ประโยชน์

S_3 คือ ค่าความปลอดภัยสำหรับความไม่มั่นคง

σ_{cb} คือ ความเค้นจากการโก่งวิกฤตในหน่วย นิวตัน/มม.²

σ_c คือ ความเค้นที่คำนวณได้ในหน่วย นิวตัน/มม.²

L_{cb} คือ น้ำหนักของการโก่งวิกฤต ในหน่วยนิวตัน

L_c คือ น้ำหนักที่คำนวณได้ ในหน่วยนิวตัน

ค่าของความปลอดภัยที่ใช้ คือ $S_3 = 1.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้โดยที่ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบจากแบบจำลองที่ได้มาโดยผลของการวิจัยนี้แบ่งผลมาเป็น 2 ส่วนคือ

- ผลวิเคราะห์ของแบบจำลองในเบื้องต้น
- ผลวิเคราะห์หลังปรับแก้แบบจำลองให้มีความเหมาะสมมากที่สุด

ในส่วนของผลการวิเคราะห์ต่างๆ เราจะแบ่งกรณีการรับแรงของตัวรถไฟโดยสารออกเป็น 3 กรณีคือ

○ กรณีที่ 1 รับน้ำหนักสูงสุดในขณะเดินรถ

พิจารณาถึงสถานะที่รถหรือโครงสร้างต้องรับน้ำหนักมากที่สุดในช่วงเวลาที่เรากำลังใช้งาน ซึ่งนั่นจะเป็นสถานการณ์ที่ต้องพิจารณาความปลอดภัยอย่างมาก เพราะน้ำหนักที่มากกว่าเกณฑ์อาจทำให้เกิดความเสี่ยงและอันตรายได้

○ กรณีที่ 2 ยกและการดันที่ปลายด้านหนึ่งของตัวรถ

พิจารณาถึงสถานะที่รถหรือโครงสร้างต้องรับน้ำหนักปลายด้านใดด้านหนึ่งของตัวรถ จะเป็นสถานการณ์ที่ต้องยกรถไฟด้านเดียว เช่น ยกเพื่อตรวจสอบสภาพของโบกี้

○ กรณีที่ 3 ยกและการดันทั้งคัน

พิจารณาถึงสถานะที่รถหรือโครงสร้างต้องรับน้ำหนักปลายด้านทั้ง 2 ด้าน จะเป็นสถานการณ์ที่ต้องยกรถไฟทั้งคัน เช่น ยกเพื่อเปลี่ยนราง หรือ ยกรถไฟที่ตกราง

โดยการวิจัยได้ผลมาดังนี้

4.1. ผลวิเคราะห์ของแบบจำลองในเบื้องต้น

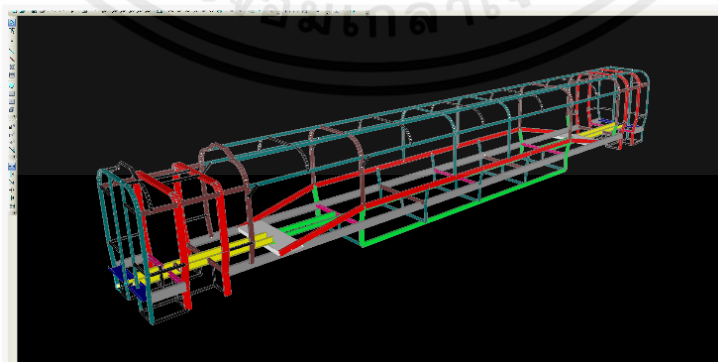
4.1.1 ข้อมูลของโครงตู้โดยสาร

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงข้อมูลโครงตู้รถโดยสาร

Type	Passenger Coach (P-I)
Car body length	24.00 เมตร
Car body width	2.8 เมตร
Car body height	3.8 เมตร
Car body weight	7361.605 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงส่วนประกอบของโครงสร้าง

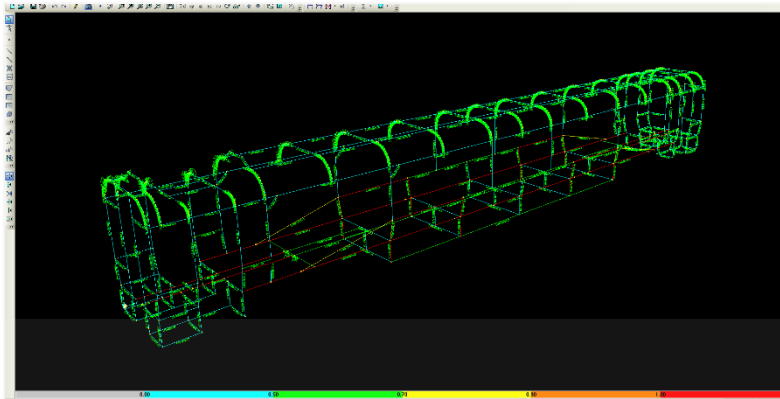
ชนิดหน้าตัด	ความยาว(ม.)	น้ำหนัก(กก.)
C75x40x6.92	68.31	472.7265
C100x50x9.36	149.97	1403.735
C125x65x13.4	49.51	663.38
C150x75x24.0	38.85	932.3711
C180x75x21.4	71.59	1532.004
C200x90x30.3	16.00	484.8
C250x90x34.6	43.68	1511.328
C300x90x38.1	4.20	160.02
H100x100x17.2	11.70	201.24
	รวม	7361.6052



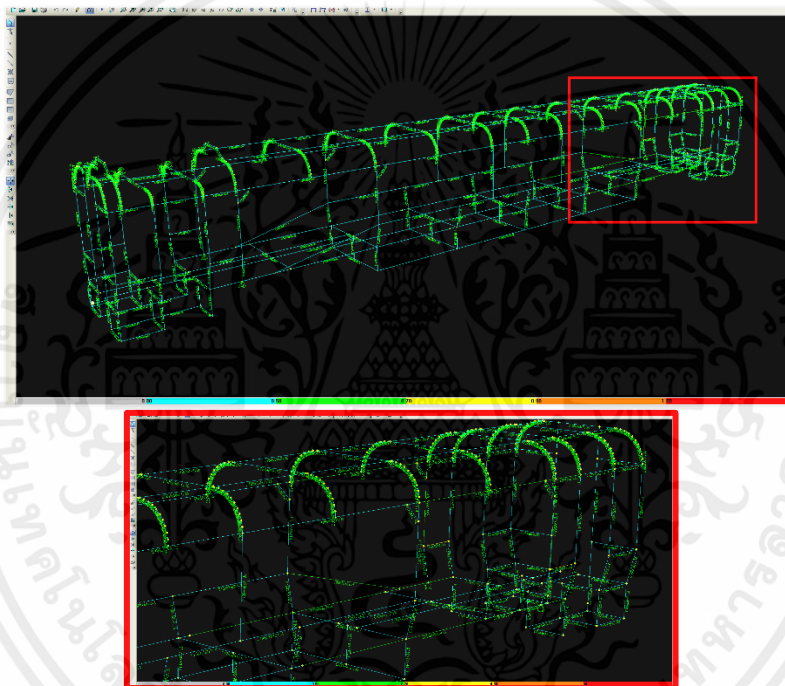
รูปที่ 4.1 รูปแสดงตำแหน่งหน้าตัดวัสดุของตู้โดยสารแบบ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

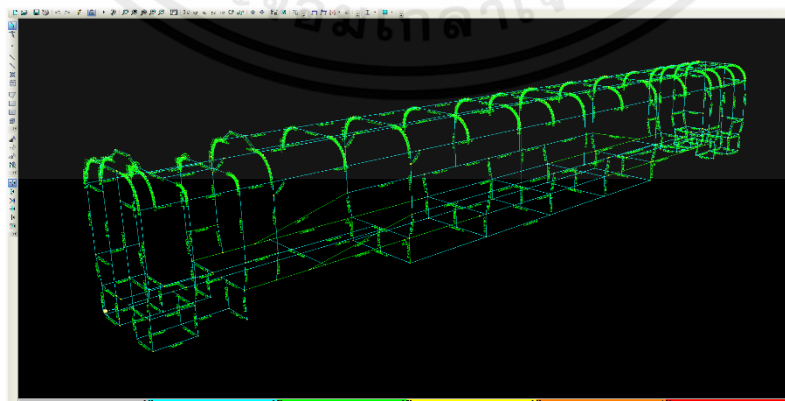
4.1.2 ผลการวิเคราะห์



รูปที่ 4.2 รูปแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง กรณีที่ 1 รับน้ำหนักสูงสุดในขณะเดินรถ



รูปที่ 4.3 รูปแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง กรณีที่ 2 ยกและการดันที่ปลายด้านหนึ่งของตัวรถพร้อมรูปขยาย

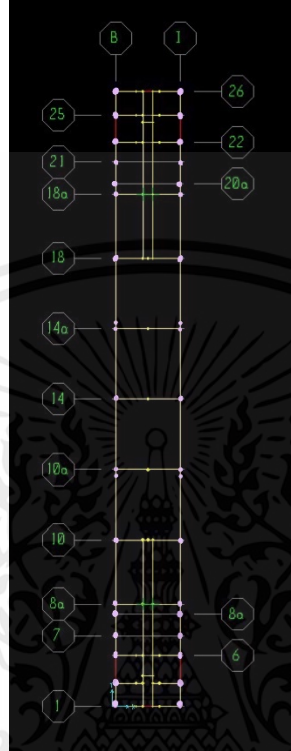


รูปที่ 4.4 รูปแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง กรณีที่ 3 ยกและการดันทั้งคัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.1 ระยะการโค้งตัว

ตำแหน่งที่จะสังเกตการโค้งตัวจะเป็นจุดต่อขอบนอกสุดของพื้นรถไฟทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของแบบจำลอง ตามรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 รูปแสดงตำแหน่งของจุดที่สังเกตการโค้งตัว

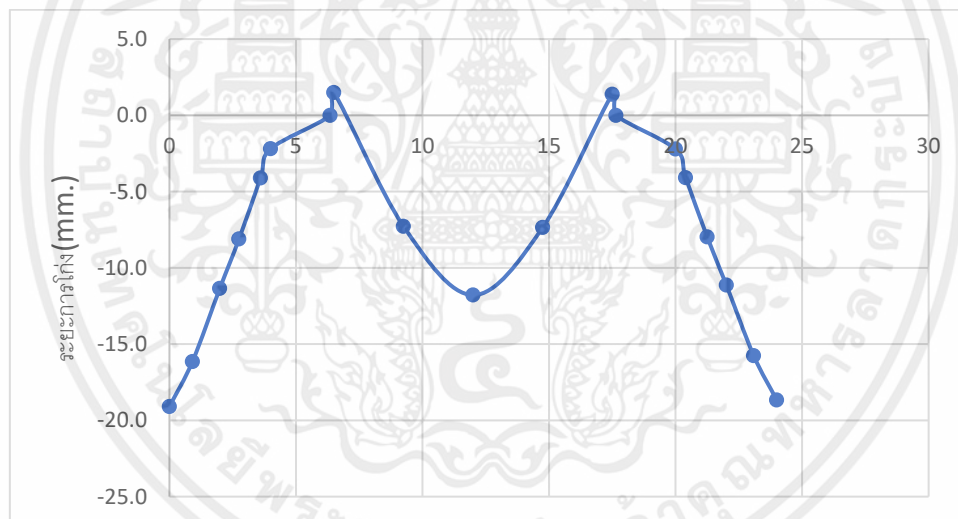
4.1.2.1.1 กรณีที่ 1 ใช้แรงอัดและน้ำหนักในแนวตั้งเป็นกรณีสังเกต

ตารางที่ 4.3 ตาราง แสดงระยะการโค้งตัวของพื้นรถไฟในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้

ความยาว (m)	ระยะโค้ง (mm) B	ระยะโค้ง (mm) I	เฉลี่ย
0	-19.1	-19.1	-19.1
0.91	-16.1	-16.1	-16.1
1.99	-11.4	-11.4	-11.4
2.75	-8.1	-8.1	-8.1
3.6	-4.1	-4.1	-4.1
4	-2.2	-2.2	-2.2
6.35	0.0	0.0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5	1.5	1.5	1.5
9.25	-7.3	-7.3	-7.3
12	-11.8	-11.8	-11.8
14.75	-7.3	-7.4	-7.4
17.5	1.4	1.4	1.4
17.65	0.0	0.0	0.0
20	-2.2	-2.2	-2.2
20.4	-4.1	-4.1	-4.1
21.25	-8.0	-8.0	-8.0
22.01	-11.1	-11.1	-11.1
23.09	-15.7	-15.8	-15.8
24	-18.6	-18.7	-18.7



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับระยะการโก่งเฉลี่ยในกรณี 1 ก่อนปรับแก้

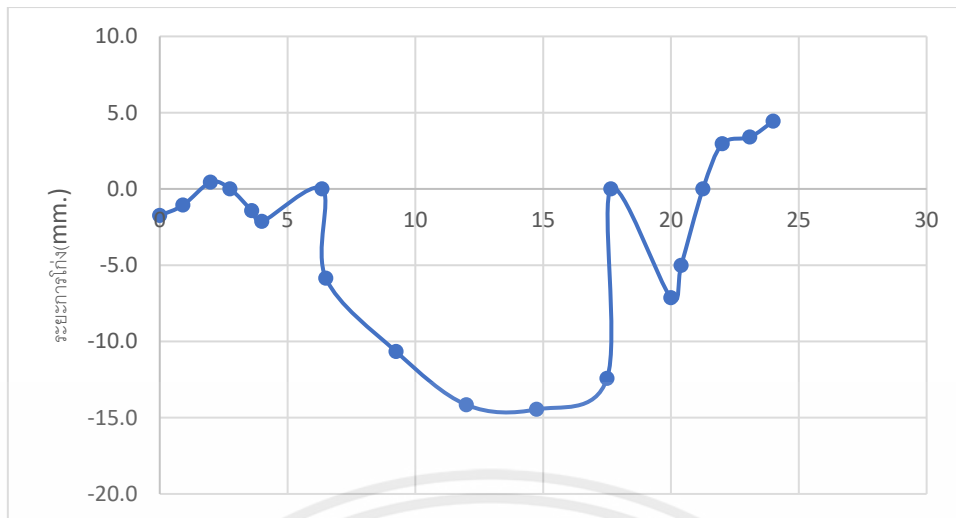
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.1.2 กรณีที่ 2 ใช้แรงการยกและการดันที่ปลายด้านหนึ่งของตัวรถตามตำแหน่งที่ระบุไว้เป็น
กรณีสังเกต

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงระยะการโก่งตัวของพื้นรถในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้

ความยาว (m)	ระยะโก่ง (mm) B	ระยะโก่ง (mm) I	เฉลี่ย
0	-1.8	-1.8	-1.75
0.91	-1.1	-1.1	-1.069
1.99	0.4	0.4	0.437
2.75	0.0	0.0	0
3.6	-1.4	-1.4	-1.435
4	-2.1	-2.1	-2.138
6.35	0.0	0.0	0
6.5	-5.9	-5.9	-5.858
9.25	-10.7	-10.7	-10.672
12	-14.2	-14.2	-14.159
14.75	-14.5	-14.5	-14.454
17.5	-12.4	-12.4	-12.427
17.65	0.0	0.0	0
20	-7.1	-7.1	-7.136
20.4	-5.0	-5.0	-5.016
21.25	0.0	0.0	0
22.01	3.0	3.0	2.9535
23.09	3.4	3.4	3.4
24	4.4	4.4	4.435

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับระยะการโก่งเฉลี่ยในกรณี 2 ก่อนปรับแก้



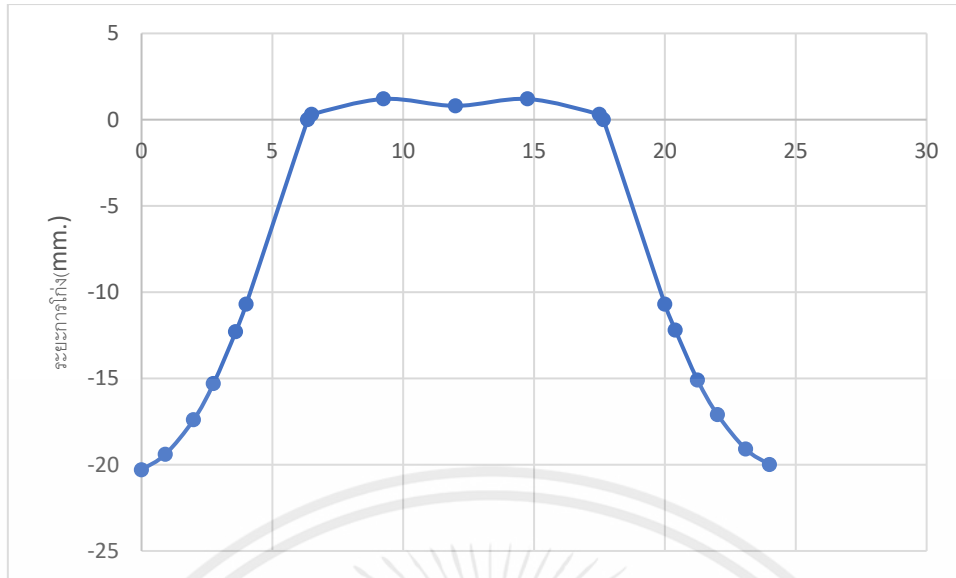
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.1.1 กรณีที่ 3 การยกและการดันทั้งคันตามตำแหน่งที่ระบุเป็นกรณีสังเกต

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงระยะการโก่งตัวของพื้นรถในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้

ความยาว (m)	ระยะโก่ง (mm) B	ระยะโก่ง (mm) I	เฉลี่ย
0	-20.3	-20.3	-20.3
0.91	-19.4	-19.4	-19.4
1.99	-17.4	-17.4	-17.4
2.75	-15.3	-15.3	-15.3
3.6	-12.3	-12.3	-12.3
4	-10.7	-10.7	-10.7
6.35	0	0	0
6.5	0.3	0.3	0.3
9.25	1.2	1.2	1.2
12	0.8	0.8	0.8
14.75	1.2	1.2	1.2
17.5	0.3	0.3	0.3
17.65	0	0	0
20	-10.7	-10.7	-10.7
20.4	-12.2	-12.2	-12.2
21.25	-15.1	-15.1	-15.1
22.01	-17.1	-17.1	-17.1
23.09	-19.1	-19.1	-19.1
24	-20	-20	-20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

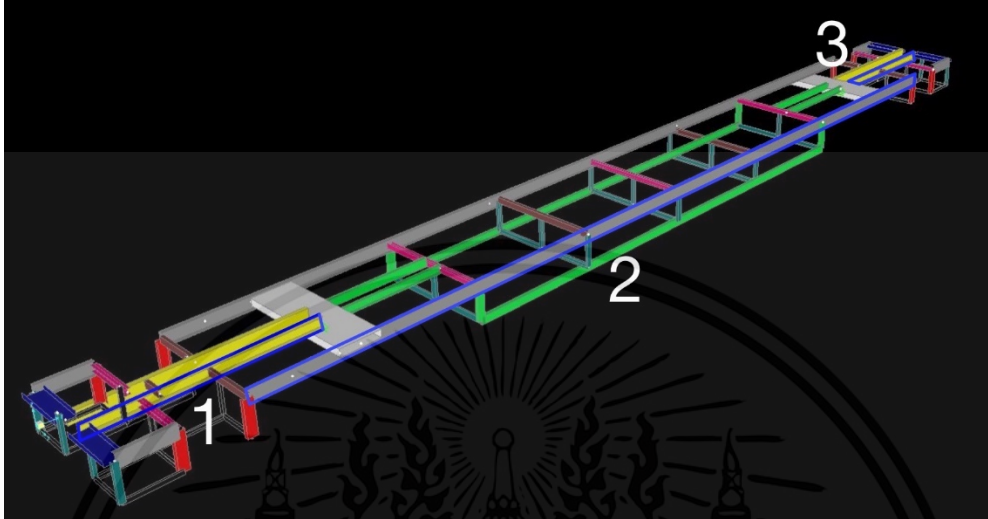


รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับระยะการโก่งเฉลี่ยในกรณี 3 ก่อนปรับแก้

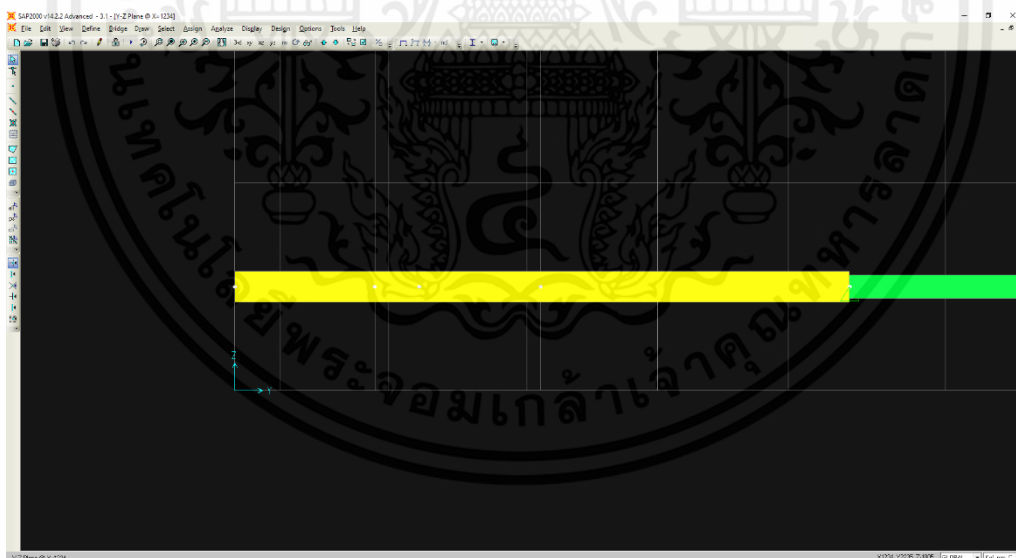
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2. Shear Force และ Bending Moment

ตำแหน่งที่จะสังเกต Shear Force และ Bending Moment จะเป็นโครงเหล็กที่ถูกเลือกมาจากแบบจำลองมีทั้งหมด 3 ชั้น สามารถดูได้ตามรูปที่ 4.

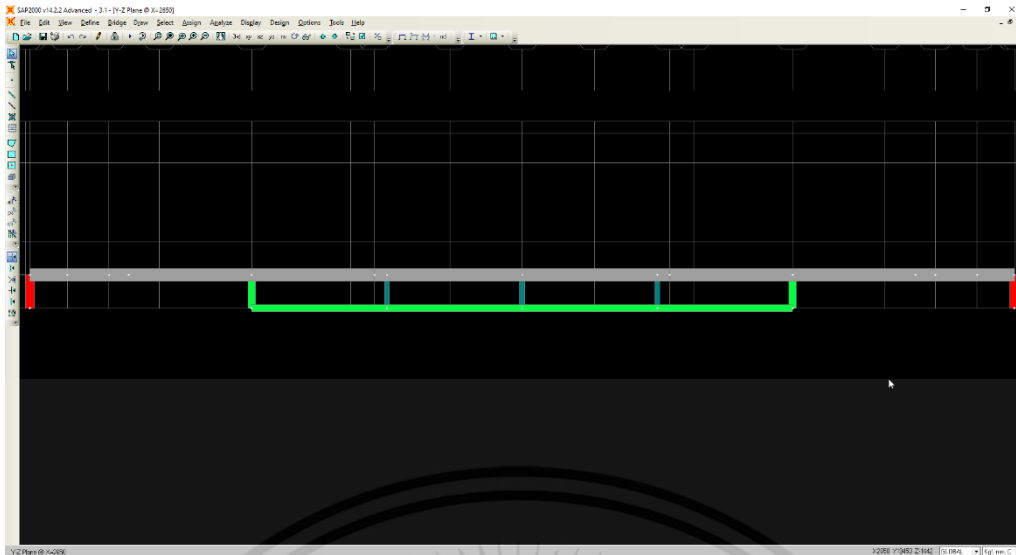


รูปที่ 4.9 รูปแสดงชั้นโครงเหล็กก่อนปรับแก้ที่ใช้สังเกต Shear Force และ Bending Moment

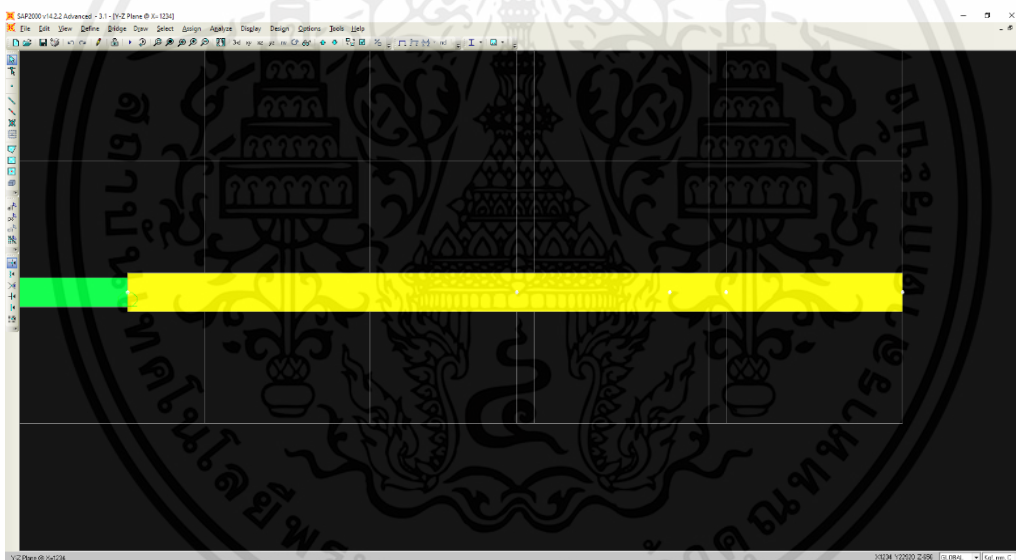


รูปที่ 4.10 รูปแสดงภาพขยายของชั้นส่วนโครงเหล็กช่วงที่ 1 ก่อนปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 รูปแสดงภาพขยายของชิ้นส่วนโครงเหล็กช่วงที่ 2 ก่อนปรับแก้



รูปที่ 4.12 รูปแสดงภาพขยายของชิ้นส่วนโครงเหล็กช่วงที่ 3 ก่อนปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

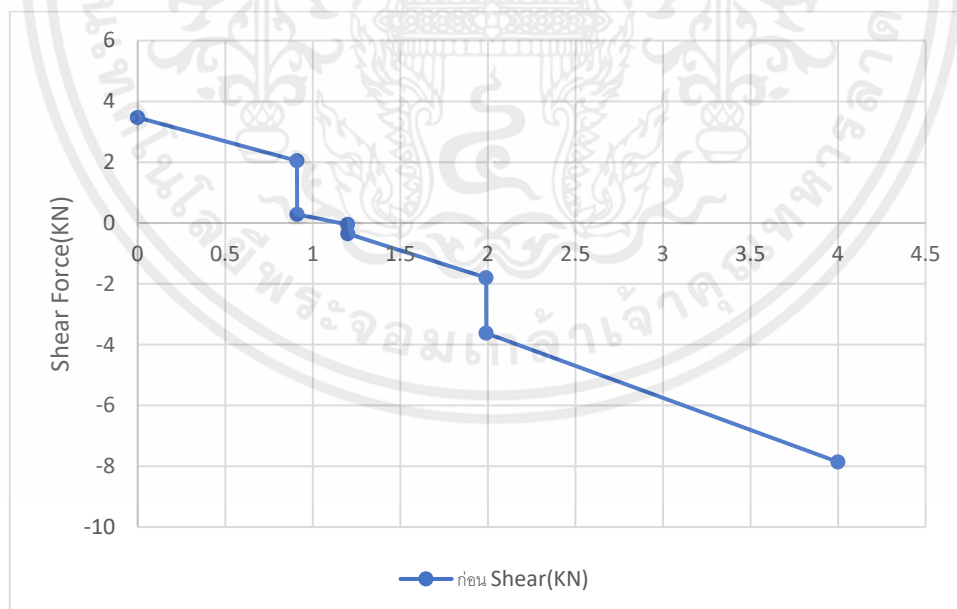
4.1.2.2.1. กรณีที่ 1 ใช้แรงอัดและน้ำหนักในแนวดิ่งเป็นกรณีสังเกต

4.1.2.2.1.1. Shear Force

-โครงเหล็กช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้

ความยาว (m)	Shear Force (KN)
0	3.471
0.91	2.046
0.911	0.287
1.2	-0.048
1.201	-0.353
1.99	-1.798
1.991	-3.624
4	-7.858



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้

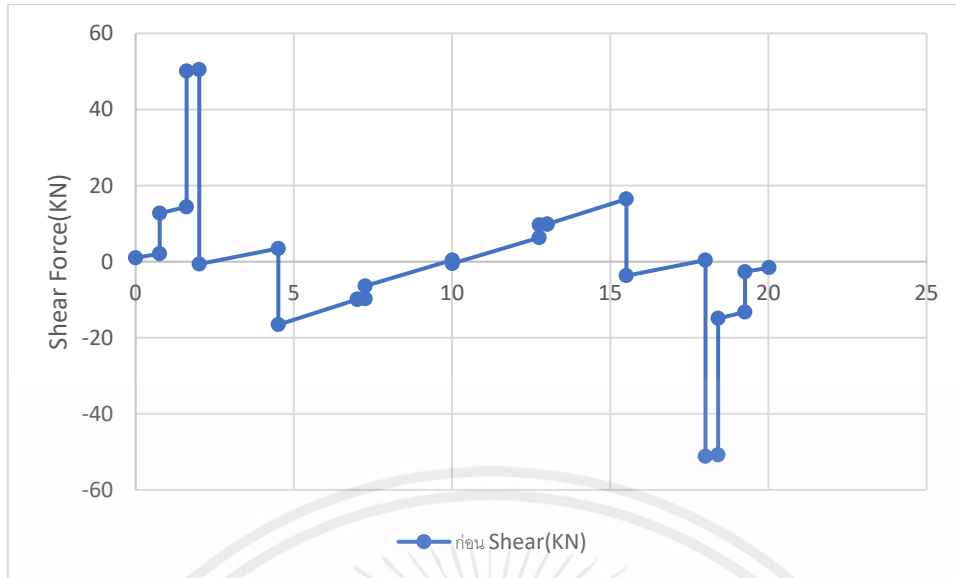
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้

ความยาว(m)	Shear Force (KN)
0	1.016
0.76	2.09
0.761	12.729
1.61	14.388
1.611	50.096
2.01	50.48
2.011	-0.635
4.51	3.456
4.511	-16.55
7.01	-9.927
7.26	-9.778
7.261	-6.38
10.01	0.425
10.011	-0.497
12.76	6.308
12.761	9.676
13.01	9.857
15.51	16.481
15.511	-3.686
18.01	0.408
18.011	-51.182
18.41	-50.797
18.411	-14.913
19.26	-13.254
19.261	-2.65
20.02	-1.577

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



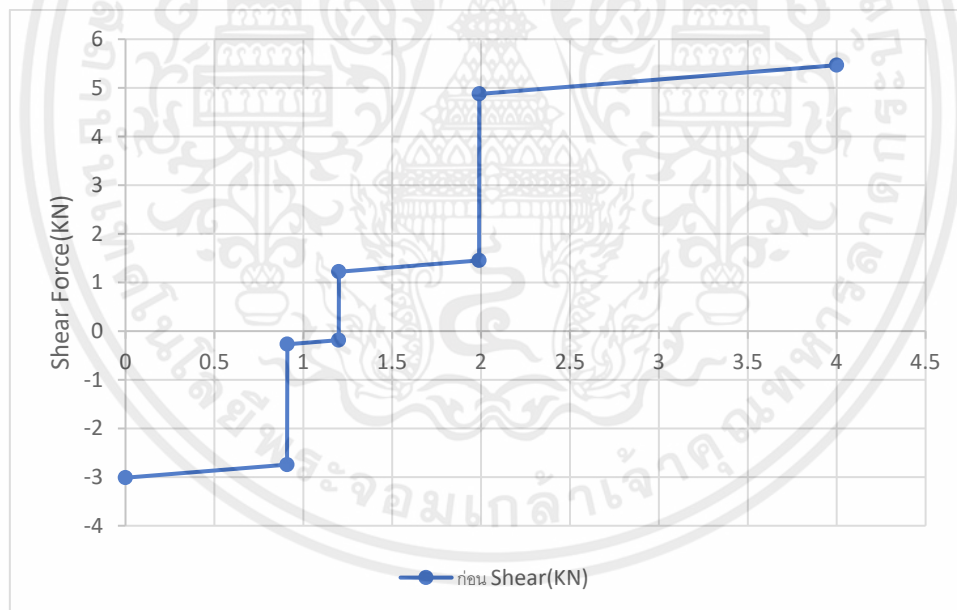
รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับ Shear Force ของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 3

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้

ความยาว(m)	Shear Force (KN)
0	-3.013
0.909	-2.746
0.91	-0.27
1.199	-0.185
1.2	1.22
1.989	1.452
1.99	4.876
4	5.466



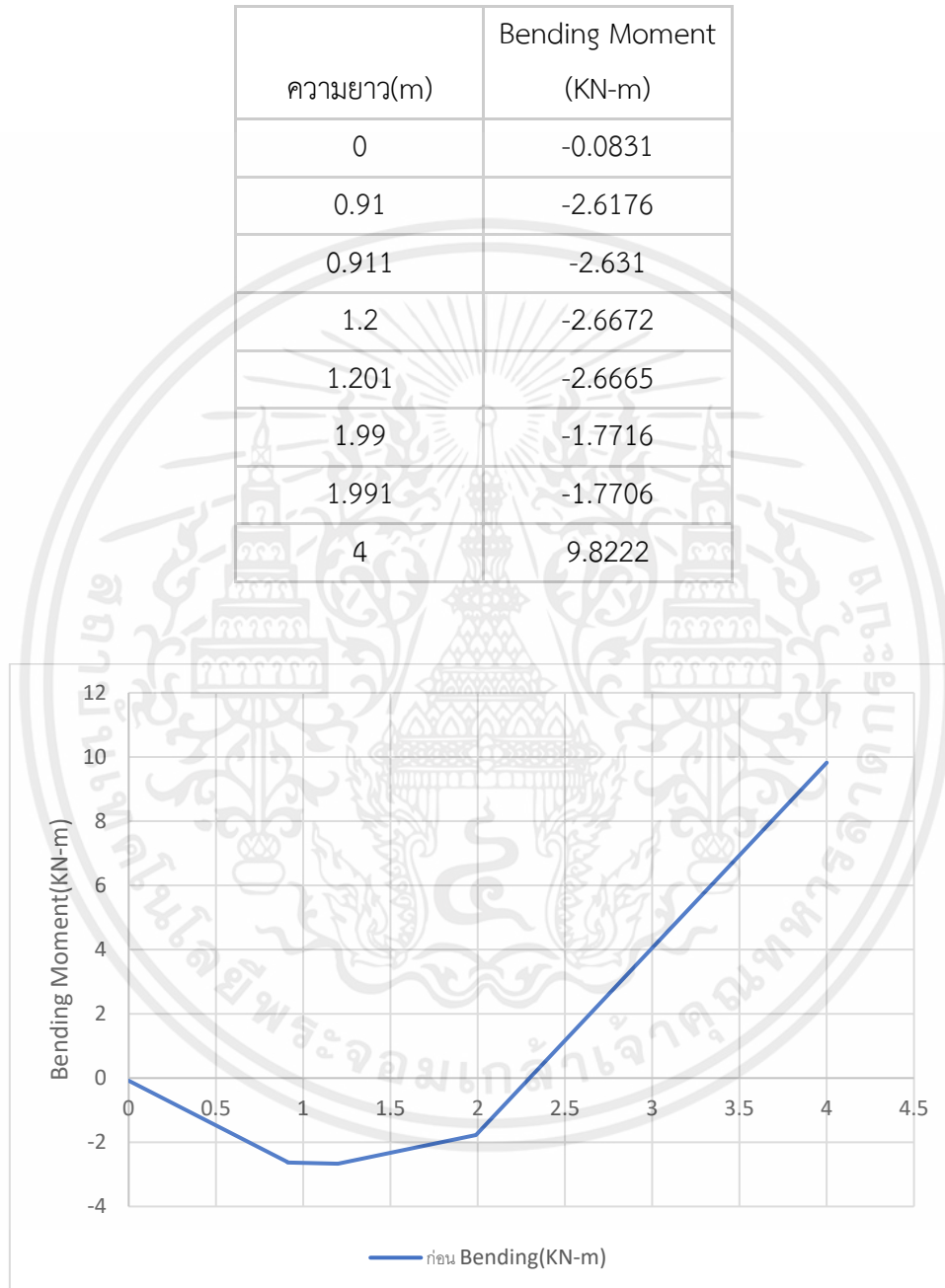
รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2.1.2.Bending Moment

-โครงเหล็กช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้

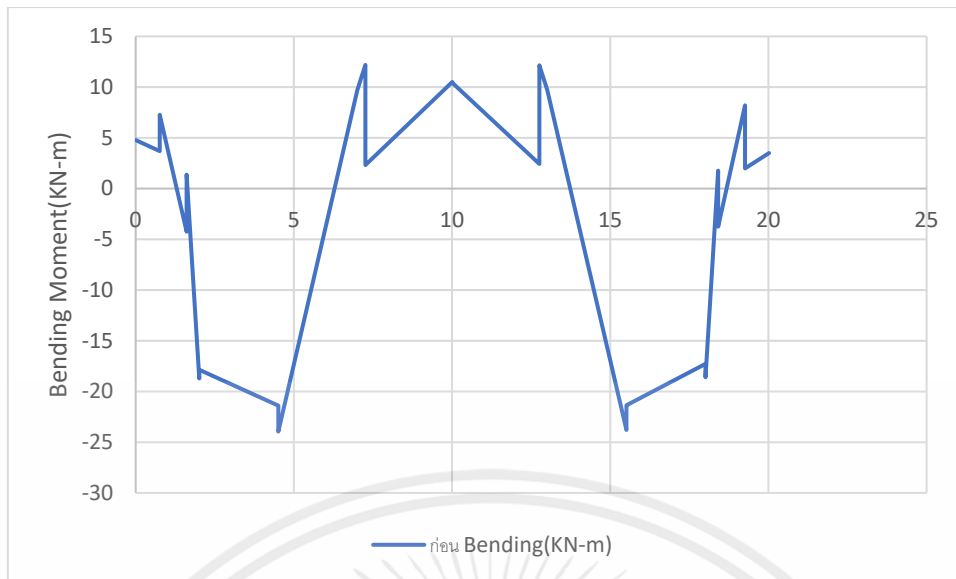
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที 1 ก่อนปรับแก้

ความยาว(m)	Bending Moment (KN-m)
0	4.7823
0.76	3.6907
0.761	7.2762
1.61	-4.2439
1.611	1.3752
2.01	-18.7061
2.011	-17.8646
4.51	-21.3898
4.511	-23.9497
7.01	9.7363
7.01	9.7363
7.26	12.1912
7.261	2.3216
10.01	10.504
10.011	10.4216
12.76	2.4317
12.761	12.1473
13.01	9.7294
13.01	9.7294
15.51	-23.7973
15.511	-21.3692
18.01	-17.2736
18.011	-18.5976
18.41	1.7641
18.411	-3.7542
19.26	8.2126
19.261	1.9925
20.02	3.5083

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



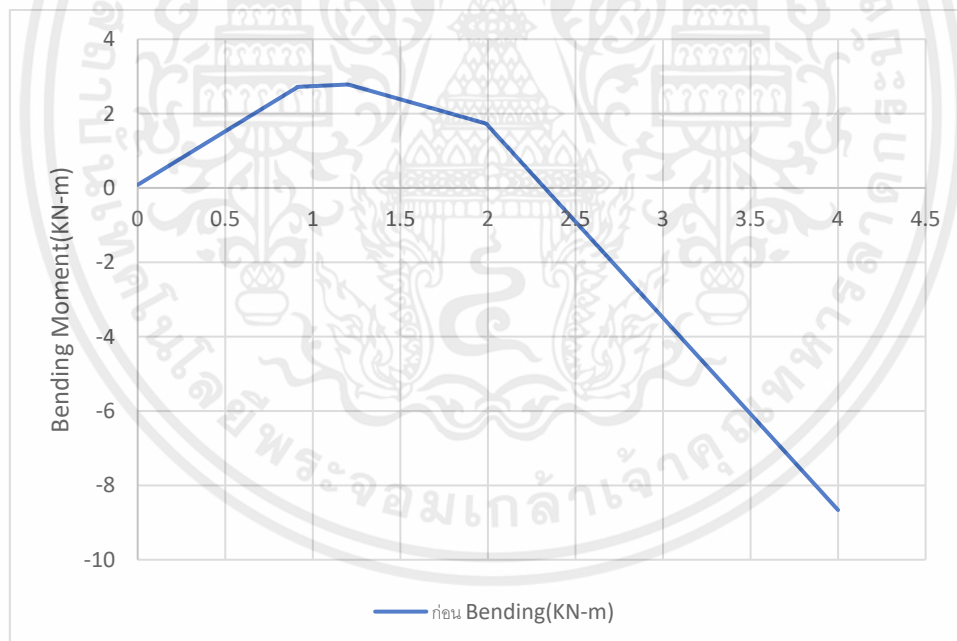
รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับ Bending Moment ของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 3

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้

ความยาว(m)	Bending Moment (KN-m)
0	0.0847
0.909	2.7019
0.91	2.718
1.199	2.7838
1.2	2.7845
1.989	1.7302
1.99	1.7317
4	-8.6624



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 1 ก่อนปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

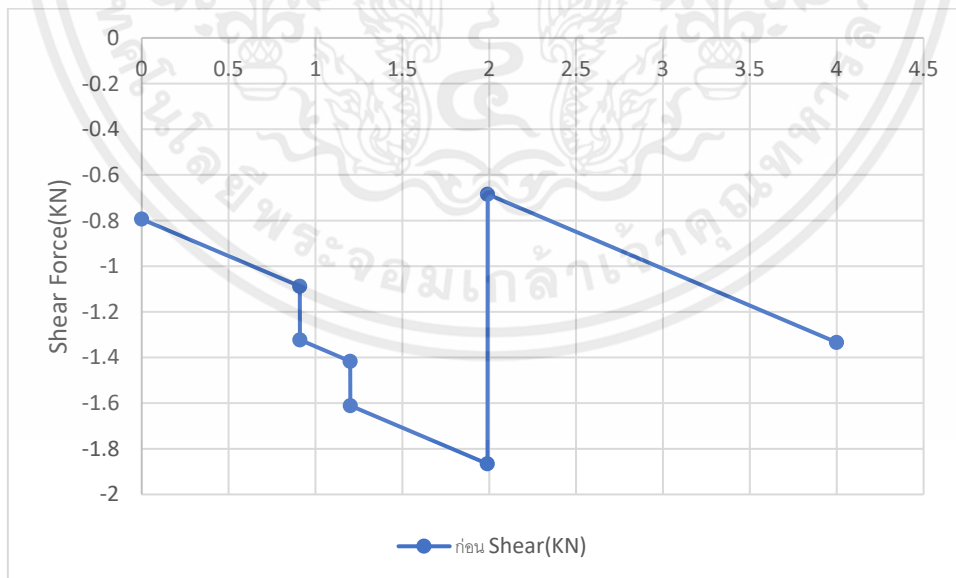
4.1.2.2.2. กรณีที่ 2 ใช้แรงการยกและการดันที่ปลายด้านหนึ่งของตัวรถตามตำแหน่งที่ระบุไว้เป็นกรณีสังเกต

4.1.2.2.2.1. Shear Force

-โครงเหล็กช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้

ความยาว(m)	Shear Force (KN)
0	-0.794
0.91	-1.088
0.911	-1.323
1.2	-1.417
1.201	-1.611
1.99	-1.866
1.991	-0.685
4	-1.334



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้

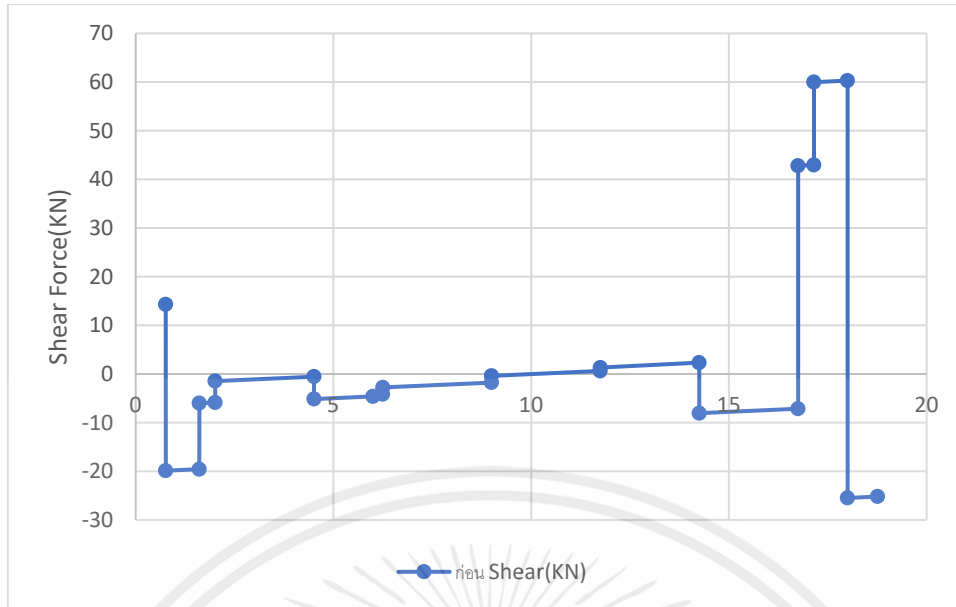
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้

ความยาว(m)	Shear Force (KN)
0.76	14.281
0.761	-19.885
1.61	-19.582
1.611	-6.013
2.01	-5.865
2.011	-1.474
4.51	-0.553
4.511	-5.158
6	-4.608
6.25	-4.144
6.251	-2.776
9	-1.762
9.001	-0.39
11.75	0.624
11.751	1.31
14.251	2.324
14.252	-8.072
16.751	-7.15
16.752	42.792
17.151	42.94
17.1511	59.989
18.001	60.302
18.002	-25.475
18.761	-25.195

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



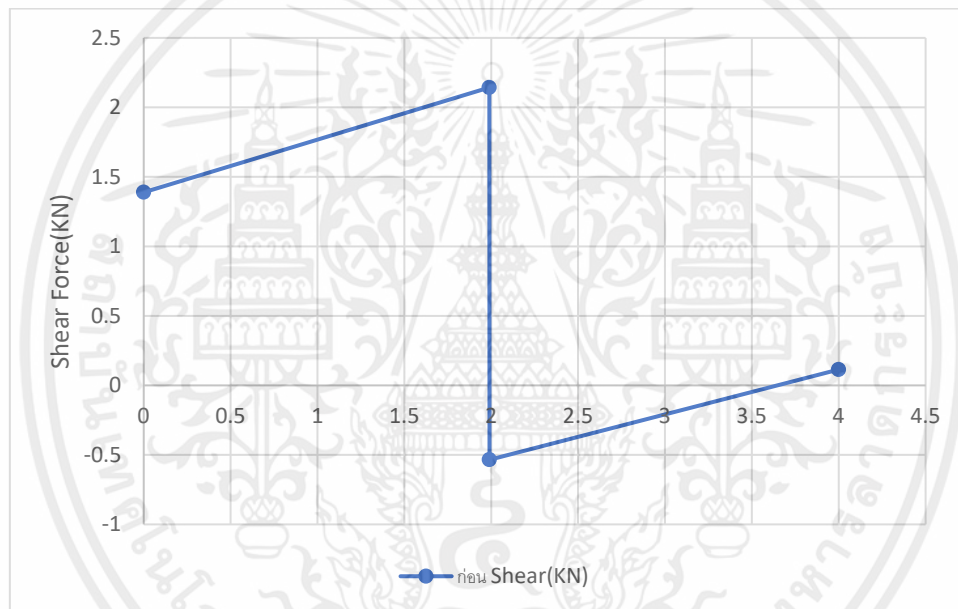
รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับ Shear Force ของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 3

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้

ความยาว(m)	Shear Force (KN)
0	1.389
1.989	2.143
1.99	-0.535
4	0.114



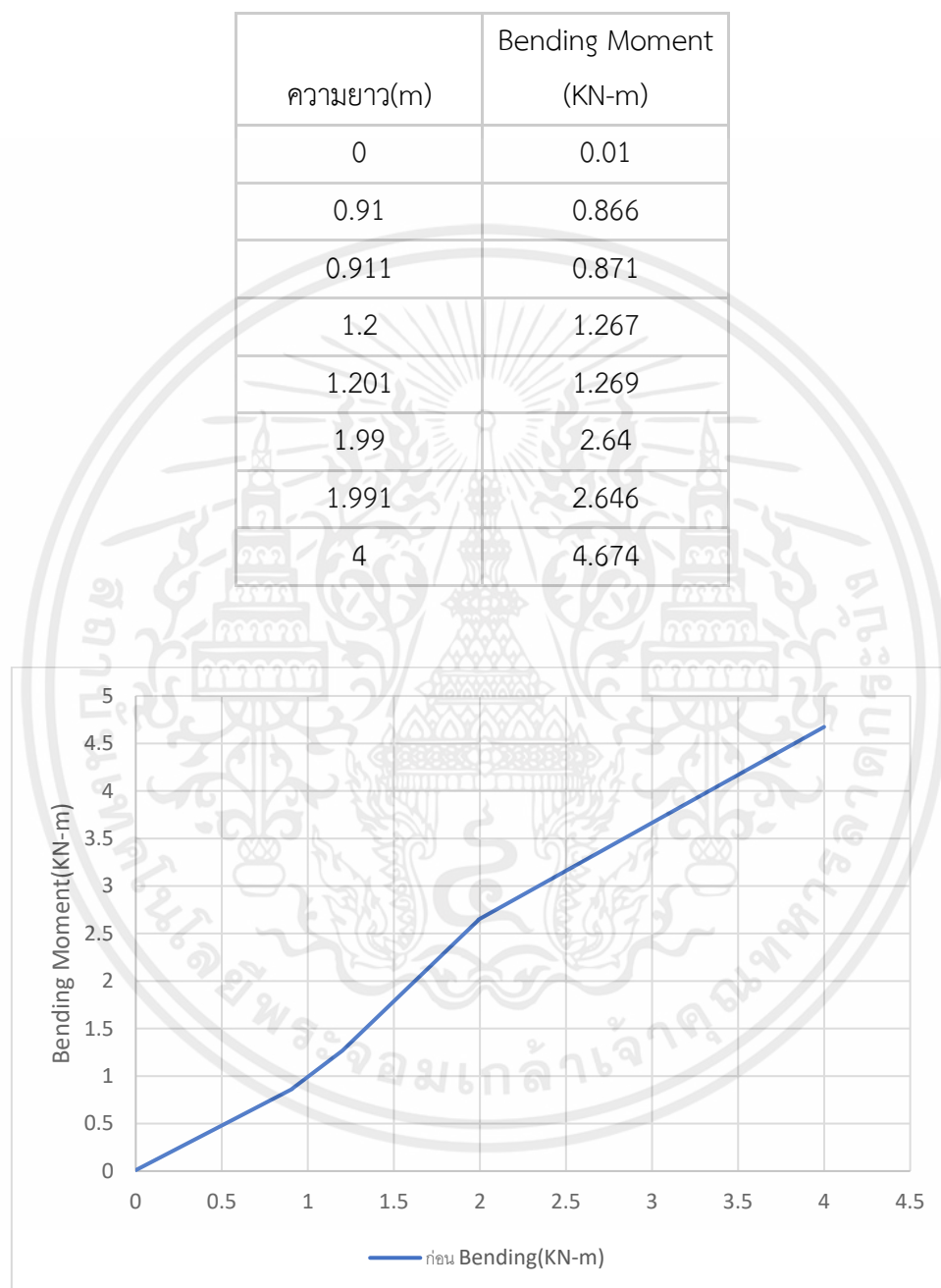
รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2.2.Bending Moment

-โครงเหล็กช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้



รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้

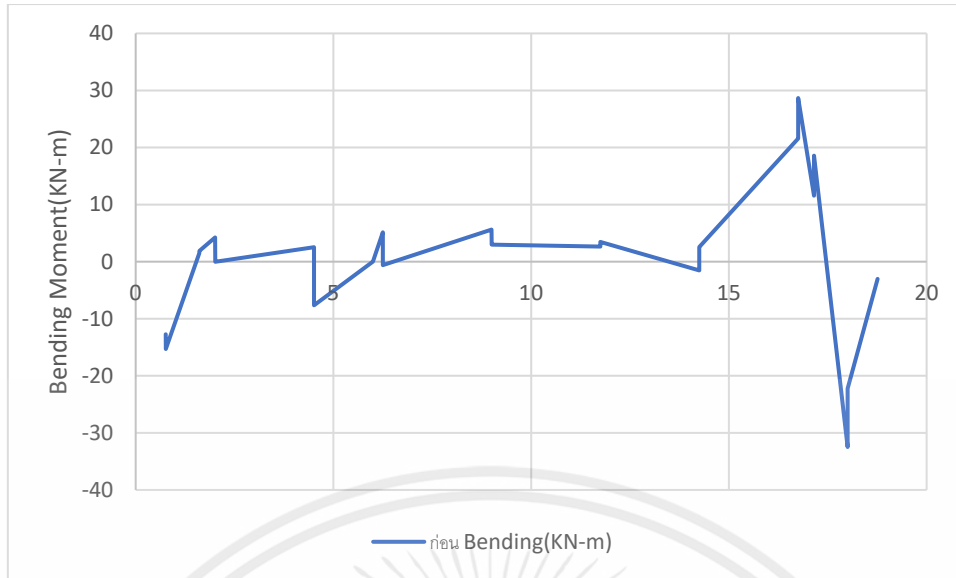
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้

ความยาว(m)	Bending Moment (KN-m)
0.76	-12.7115
0.761	-15.298
1.61	1.46
1.611	1.883
2.01	4.253
2.011	-0.011
4.51	2.522
4.511	-7.641
6	0
6.25	5.144
6.251	-0.603
9	5.634
9.001	2.977
11.75	2.656
11.751	3.451
14.251	-1.542
14.252	2.558
16.751	21.579
16.752	28.675
17.151	11.572
17.1511	18.584
18.001	-32.48
18.002	-22.241
18.761	-3.011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



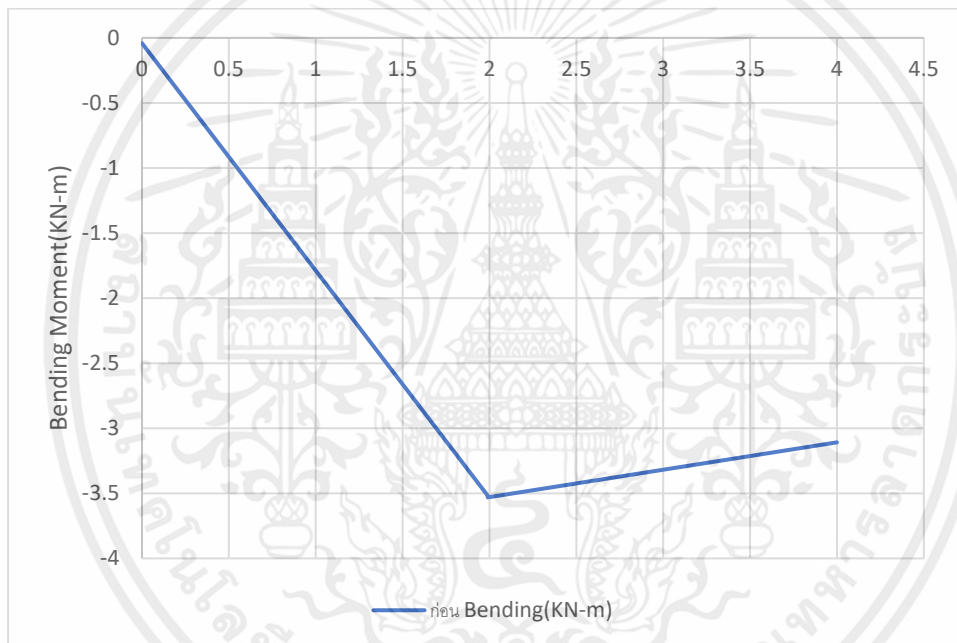
รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับ Bending Moment ของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 3

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้

ความยาว(m)	Bending Moment (KN-m)
0	-0.041
1.989	-3.517
1.99	-3.531
4	-3.108



รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 ก่อนปรับแก้

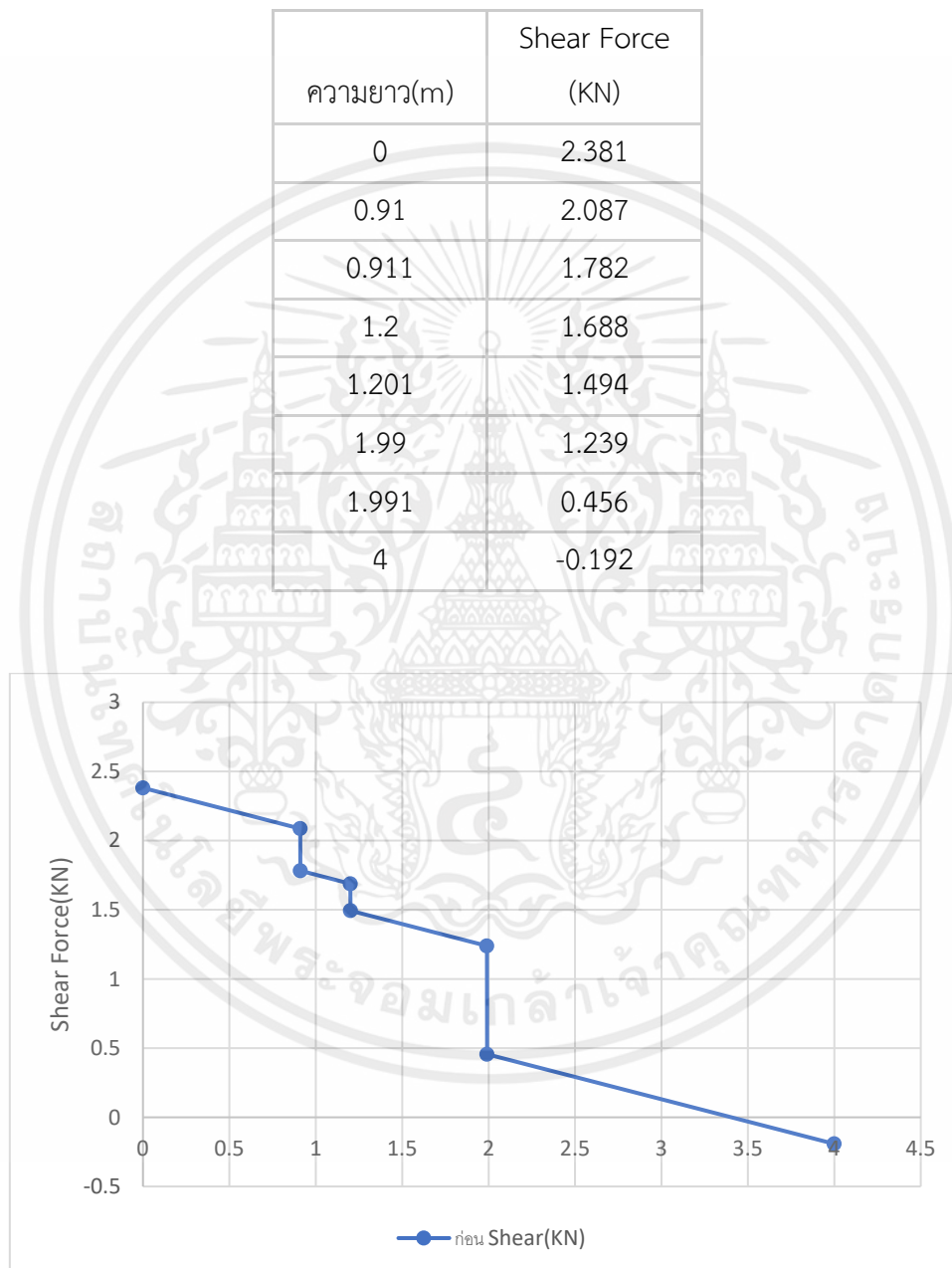
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2.3. กรณีที่ 3 การยกและการดันทั้งคันตามตำแหน่งที่ระบุเป็นกรณีสังเกต

4.1.2.2.3.1. Shear Force

-โครงเหล็กช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้



รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้

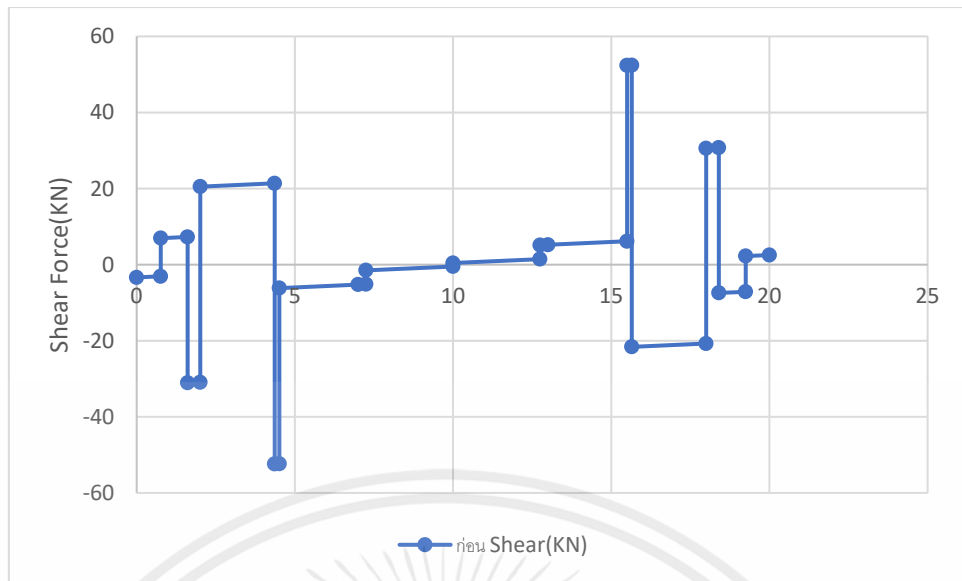
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.19 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้

ความยาว(m)	Shear Force (KN)
0	-3.351
0.76	-3.071
0.761	6.963
1.61	7.276
1.611	-31.063
2.01	-30.916
2.011	20.514
4.36	21.38
4.361	-52.397
4.51	-52.342
4.511	-6.16
7	-5.242
7.25	-5.146
7.251	-1.482
10	-0.469
10.001	0.436
12.75	1.45
12.751	5.125
13	5.217
15.5	6.139
15.501	52.383
15.65	52.438
15.651	-21.595
18	-20.728
18.001	30.599
18.4	30.746
18.401	-7.429
19.25	-7.116
19.251	2.251
20	2.527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



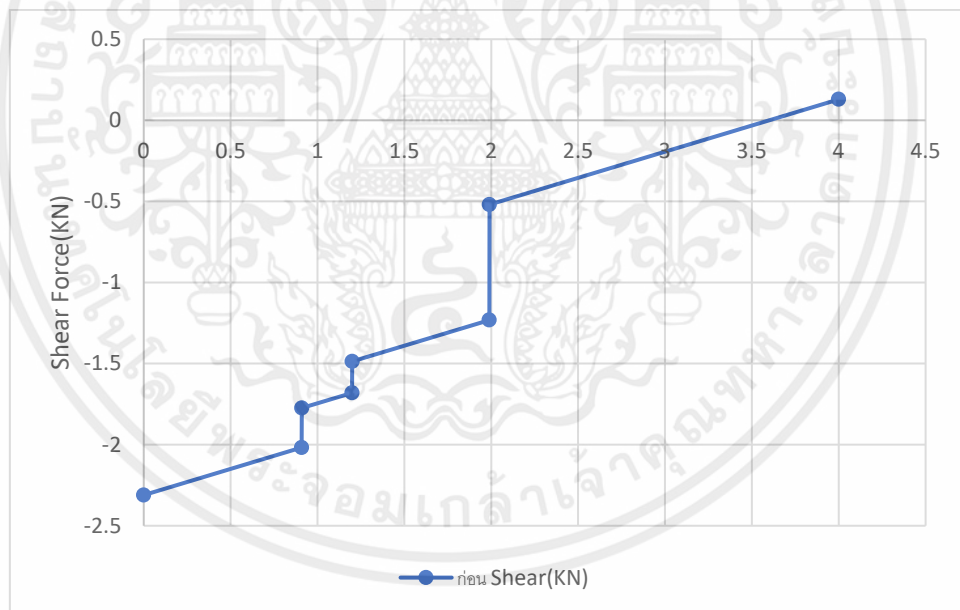
รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับ Shear Force ของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 3

ตารางที่ 4.20 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้

ความยาว(m)	Shear Force (KN)
0	-2.311
0.909	-2.018
0.91	-1.774
1.199	-1.681
1.2	-1.487
1.989	-1.232
1.99	-0.52
4	0.129



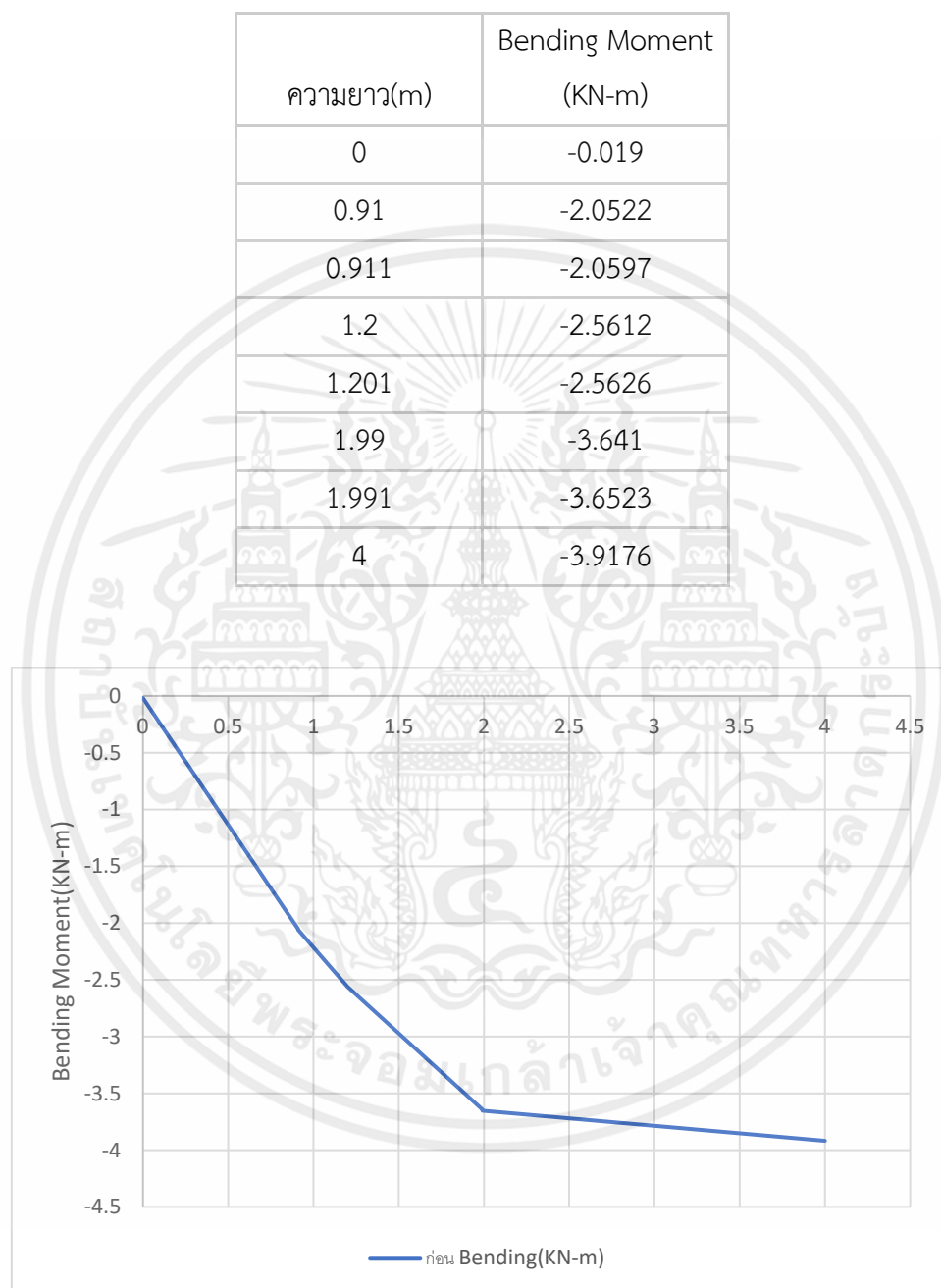
รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2.3.2.Bending Moment

-โครงเหล็กช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.21 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้

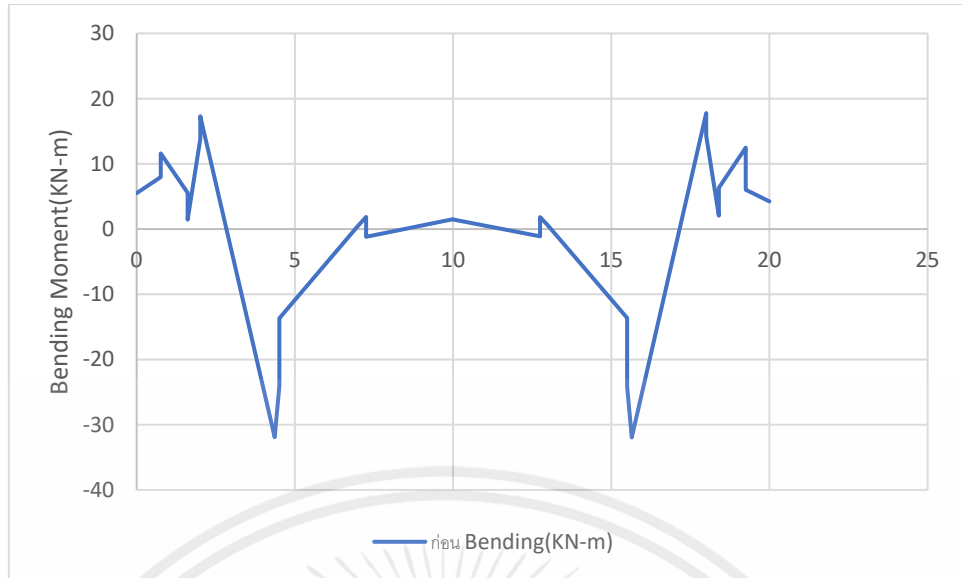
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.22 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้

ความยาว(m)	Bending Moment (KN-m)
0	5.5187
0.76	7.9592
0.761	11.6075
1.61	5.5628
1.611	1.4476
2.01	13.8124
2.011	17.2946
4.36	-31.9098
4.361	-31.8575
4.51	-24.0544
4.511	-13.6884
7	0.501
7.25	1.8524
7.251	-1.1775
10	1.5042
10.001	1.4703
12.75	-1.1217
12.751	1.8442
13	0.5567
15.5	-13.6381
15.501	-24.14
15.65	-31.9491
15.651	-31.9276
18	17.781
18.001	14.293
18.4	2.0547
18.401	6.3169
19.25	12.4916
19.251	6.037
20	4.2473

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



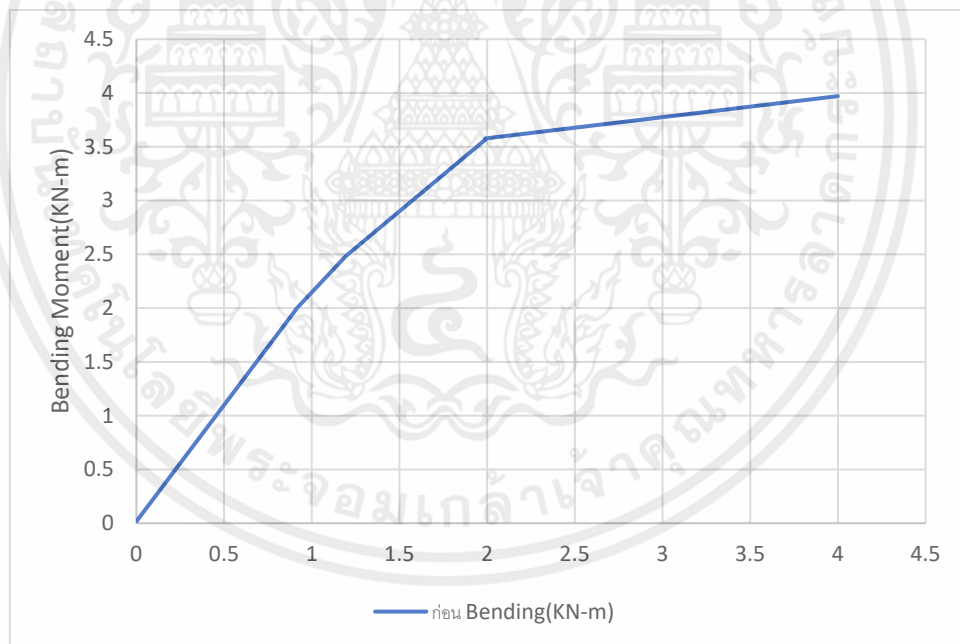
รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับ Bending Moment ของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 3

ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้

ความยาว(m)	Bending Moment (KN-m)
0	0.0171
0.909	1.9845
0.91	1.9918
1.199	2.4911
1.2	2.4928
1.989	3.5655
1.99	3.5772
4	3.9707



รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 3 ก่อนปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. ผลวิเคราะห์หลังปรับแก้แบบจำลองให้มีความเหมาะสมมากที่สุด

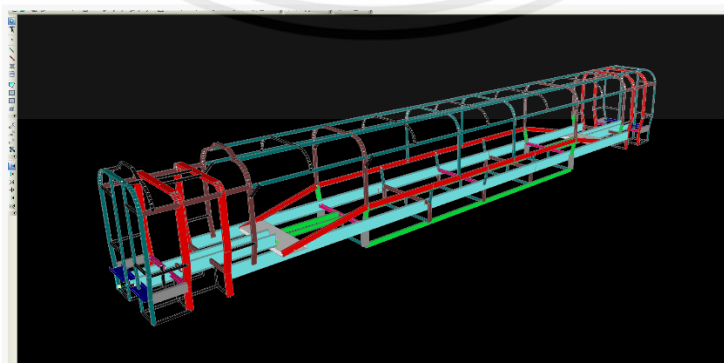
4.2.1 ข้อมูลทางเทคนิคของโครงตู้โดยสาร

ตารางที่ 4.24 ตารางแสดงข้อมูลโครงตู้รถโดยสารหลังปรับแก้

Type	Passenger Coach (P-I)
Car body length	24.00 เมตร
Car body width	2.80 เมตร
Car body height	3.80 เมตร
Car body weight	8590.6 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.25 ตารางส่วนประกอบของโครงสร้างหลังปรับแก้

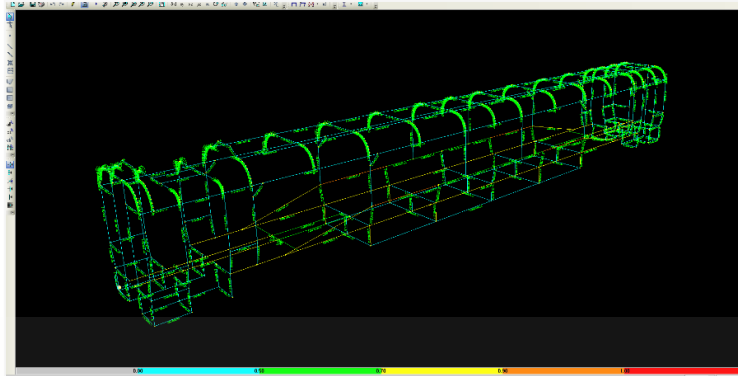
ชนิดหน้าตัด	ความยาว(ม.)	น้ำหนัก(กก.)
C75x40x6.92	68.31	472.7265
C100x50x9.36	145.92	1365.8274
C125x65x13.4	53.56	717.6500
C150x75x24.0	36.15	867.5711
C180x75x21.4	71.59	1532.0042
C250x90x34.6	6.34	219.3640
C300x90x38.1	4.20	160.0200
C380x100x54.5	56.04	3054.1800
H100x100x17.2	11.70	201.2400
	รวม	8590.5832



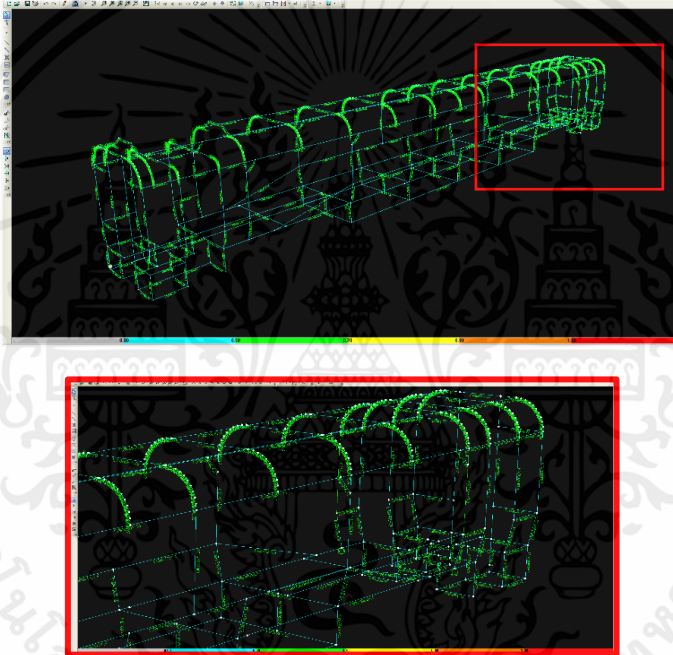
รูปที่ 4.31 รูปแสดงตำแหน่งหน้าตัดวัสดุของตู้โดยสารแบบ 3 เมตร หลังปรับแก้แบบจำลองแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

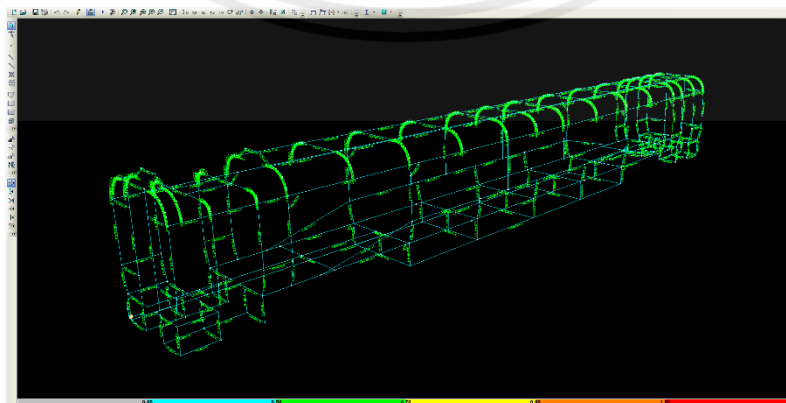
4.2.2 ผลการวิเคราะห์



รูปที่ 4.32 รูปแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง กรณีที่ 1 รับน้ำหนักสูงสุดในขณะเดินรถ หลังปรับแก้



รูปที่ 4.33 รูปแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง กรณีที่ 2 ยกและการดันที่ปลายด้านหนึ่งของตัวรถพร้อมรูปขยาย หลังปรับแก้



รูปที่ 4.34 รูปแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง กรณีที่ 3 ยกและการดันทั้งคัน หลังปรับแก้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1 ระยะการโก่งตัว

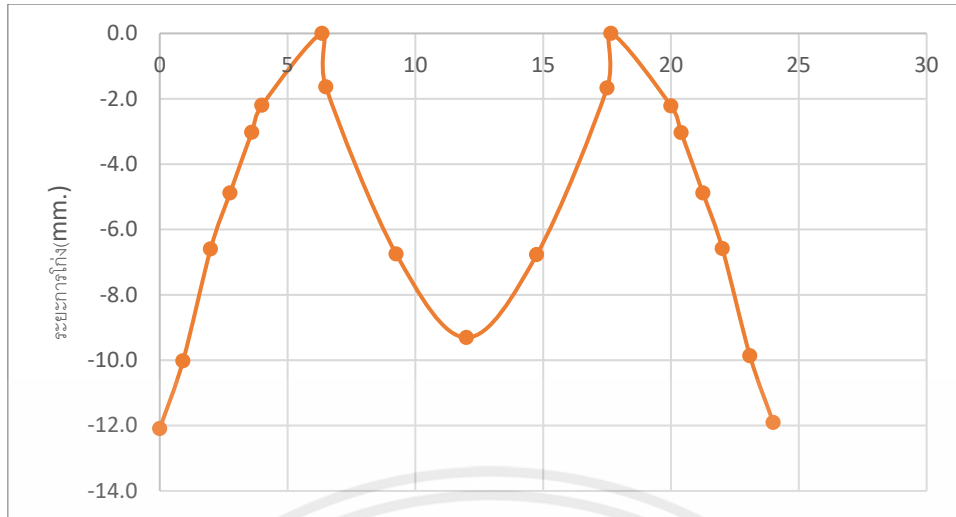
ตำแหน่งที่จะสังเกตการโก่งตัวจะเป็นจุดต่อเดิมตามแบบจำลองก่อนสามารถดูได้ตามรูปที่ 4.5

4.2.2.1.1 กรณีที่ 1 ใช้แรงอัดและน้ำหนักในแนวตั้งเป็นกรณีสังเกต

ตารางที่ 4.26 ตารางแสดงระยะการโก่งตัวของพื้นรถในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้

ความยาว (m)	ระยะโก่ง (mm) B	ระยะโก่ง (mm) I	เฉลี่ย
0	-12.1	-12.1	-12.1
0.91	-10.0	-10.0	-10.0
1.99	-6.6	-6.6	-6.6
2.75	-4.9	-4.9	-4.9
3.6	-3.0	-3.0	-3.0
4	-2.2	-2.2	-2.2
6.35	0.0	0.0	0.0
6.5	-1.6	-1.6	-1.6
9.25	-6.7	-6.8	-6.7
12	-9.3	-9.3	-9.3
14.75	-6.8	-6.8	-6.8
17.5	-1.7	-1.7	-1.7
17.65	0.0	0.0	0.0
20	-2.2	-2.2	-2.2
20.4	-3.0	-3.0	-3.0
21.25	-4.9	-4.9	-4.9
22.01	-6.6	-6.6	-6.6
23.09	-9.9	-9.9	-9.9
24	-11.9	-11.9	-11.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับระยะการโก่งเฉลี่ยในกรณี 1 หลังปรับแก้



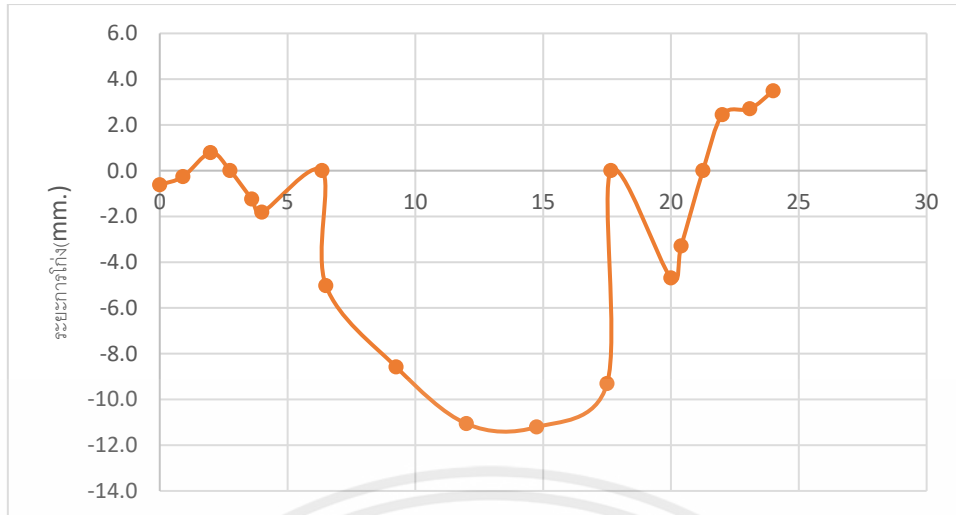
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1.2 กรณีที่ 2 ใช้แรงการยกและการดันที่ปลายด้านหนึ่งของตัวรถตามตำแหน่งที่ระบุไว้เป็น
กรณีสังเกต

ตารางที่ 4.27 ตารางแสดงระยะการโก่งตัวของพื้นรถในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้

ความยาว m	ระยะโก่ง (mm) B	ระยะโก่ง (mm) I	เฉลี่ย
0	-0.6	-0.6	-0.6
0.91	-0.3	-0.3	-0.3
1.99	0.8	0.8	0.8
2.75	0.0	0.0	0.0
3.6	-1.2	-1.2	-1.2
4	-1.8	-1.8	-1.8
6.35	0.0	0.0	0.0
6.5	-5.0	-5.0	-5.0
9.25	-8.6	-8.6	-8.6
12	-11.1	-11.1	-11.1
14.75	-11.2	-11.2	-11.2
17.5	-9.3	-9.3	-9.3
17.65	0.0	0.0	0.0
20	-4.7	-4.7	-4.7
20.4	-3.3	-3.3	-3.3
21.25	0.0	0.0	0.0
22.01	2.4	2.4	2.4
23.09	2.7	2.7	2.7
24	3.5	3.5	3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับระยะการโก่งเฉลี่ยในกรณี 2 หลังปรับแก้



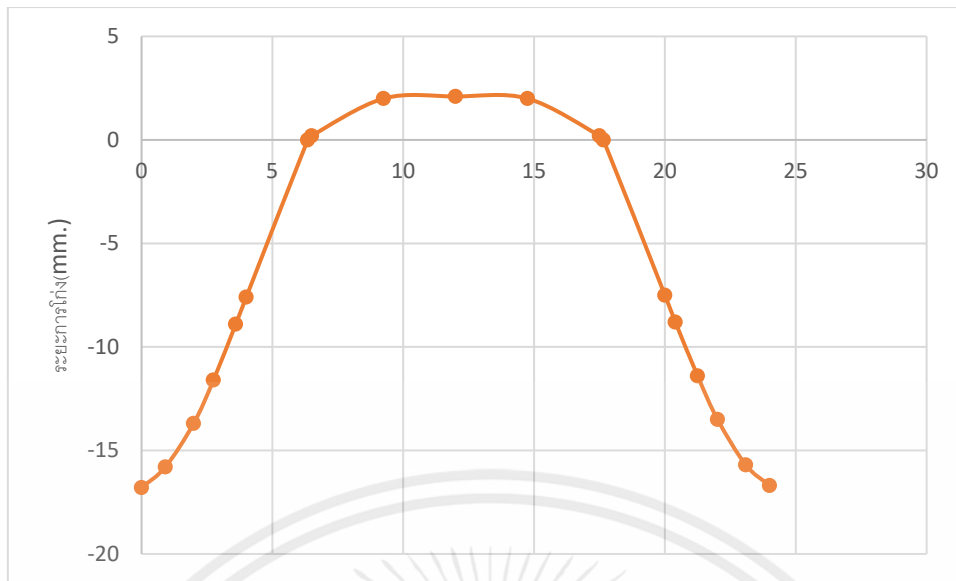
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1.1 กรณีที่ 3 การยกและการดันทั้งคันตามตำแหน่งที่ระบุเป็นกรณีสังเกต

ตารางที่ 4.28 ตารางแสดงระยะการโก่งตัวของพื้นรถในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้

ความยาว m	ระยะโก่ง (mm) B	ระยะโก่ง (mm) I	เฉลี่ย
0	-16.8	-16.8	-16.8
0.91	-15.8	-15.8	-15.8
1.99	-13.7	-13.7	-13.7
2.75	-11.6	-11.6	-11.6
3.6	-8.9	-8.9	-8.9
4	-7.6	-7.6	-7.6
6.35	0	0	0
6.5	0.2	0.2	0.2
9.25	2	2	2
12	2.1	2.1	2.1
14.75	2	2	2
17.5	0.2	0.2	0.2
17.65	0	0	0
20	-7.5	-7.5	-7.5
20.4	-8.8	-8.8	-8.8
21.25	-11.4	-11.4	-11.4
22.01	-13.5	-13.5	-13.5
23.09	-15.7	-15.7	-15.7
24	-16.7	-16.7	-16.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

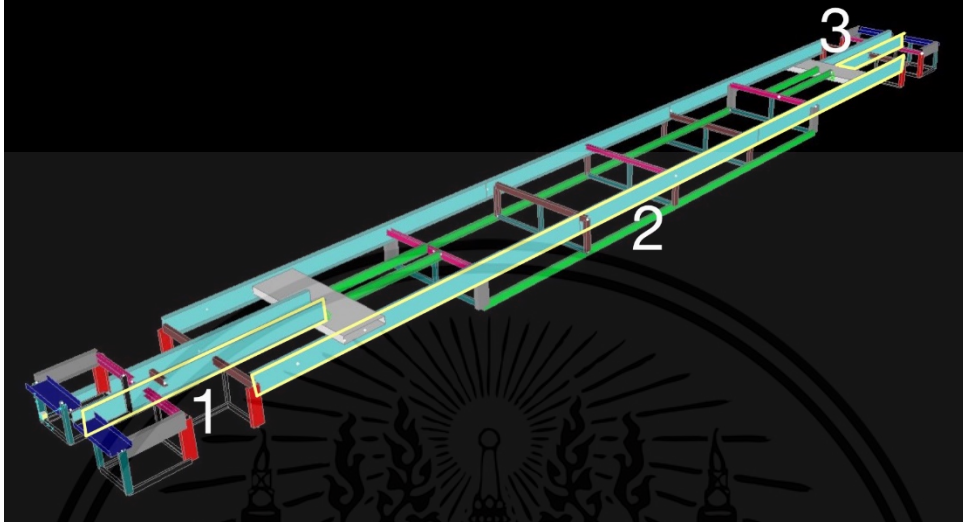


รูปที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับระยะการโก่งเฉลี่ยในกรณี 3 หลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2. Shear Force และ Bending Moment

ตำแหน่งที่จะสังเกต Shear Force และ Bending Moment ก็จะเป็นโครงเหล็กเดิมที่ถูกเลือกมาจากแบบจำลองก่อนปรับแก้ สามารถดูได้ตามรูปที่ 4.

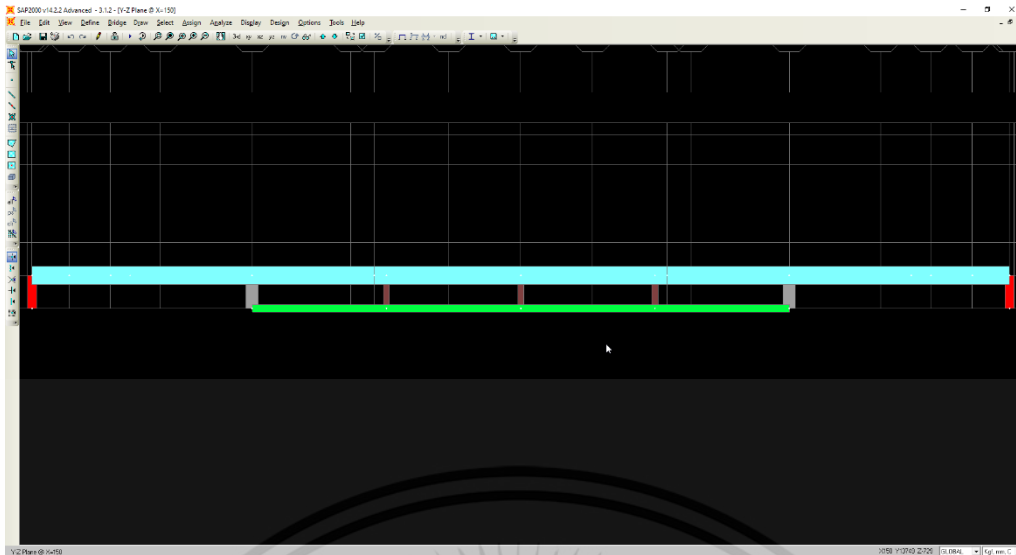


รูปที่ 4.38 รูปแสดงขึ้นโครงเหล็กหลังปรับแก้ที่ใช้สังเกต Shear Force และ Bending Moment

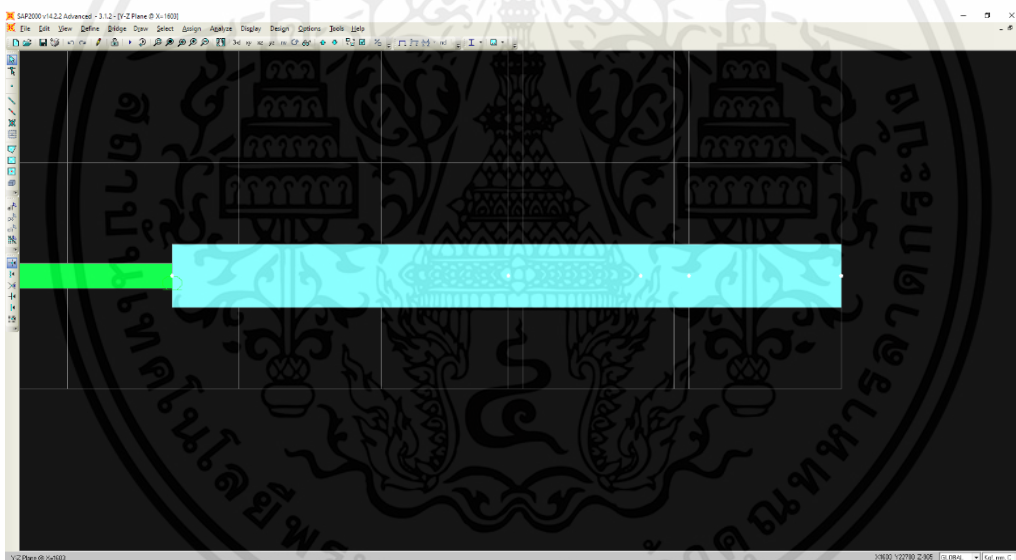


รูปที่ 4.39 รูปแสดงภาพขยายของชิ้นส่วนโครงเหล็กช่วงที่ 1 หลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 รูปแสดงภาพขยายของชิ้นส่วนโครงเหล็กช่วงที่ 2 หลังปรับแก้



รูปที่ 4.41 รูปแสดงภาพขยายของชิ้นส่วนโครงเหล็กช่วงที่ 3 หลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

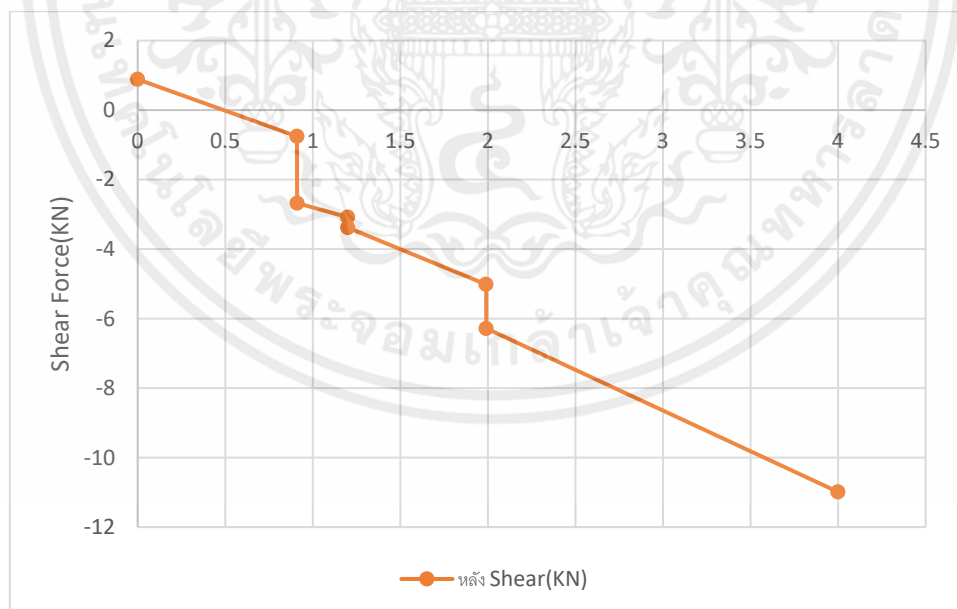
4.2.2.2.1. กรณีที่ 1 ใช้แรงอัดและน้ำหนักในแนวดิ่งเป็นกรณีสังเกต

4.2.2.2.1.1. Shear Force

-โครงเหล็กช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.29 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้

ความยาว(m)	Shear Force (KN)
0	0.885
0.91	-0.754
0.911	-2.677
1.2	-3.08
1.201	-3.385
1.99	-5.015
1.991	-6.284
4	-10.988



รูปที่ 4.42 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้

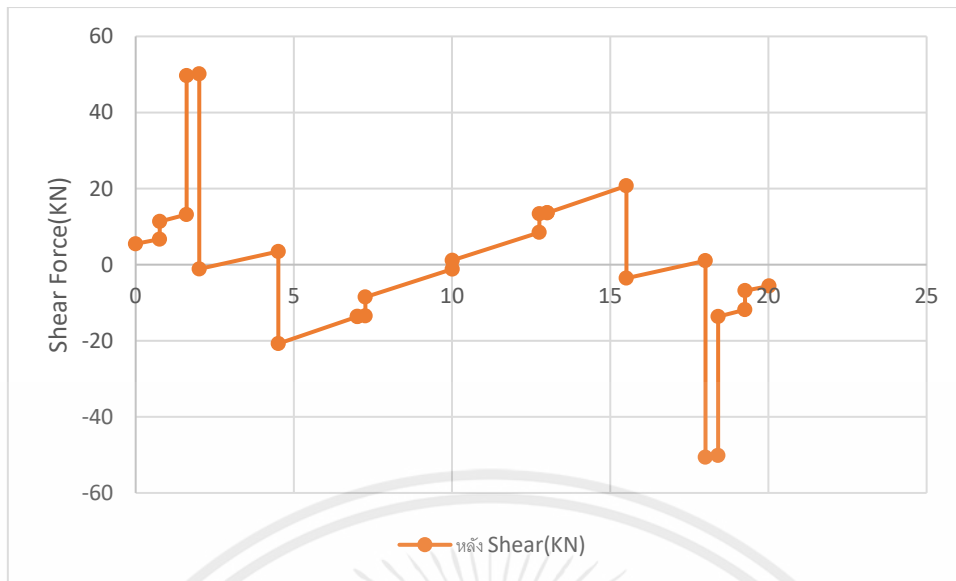
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.30 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้

ความยาว(m)	Shear Force (KN)
0	5.473
0.76	6.694
0.761	11.347
1.61	13.169
1.611	49.687
2.01	50.148
2.011	-1.122
4.51	3.449
4.511	-20.762
7.01	-13.659
7.26	-13.593
7.261	-13.461
10.01	-8.517
10.011	-1.183
12.76	1.141
12.761	8.475
13.01	13.391
15.51	13.62
15.511	13.62
18.01	20.725
18.011	-3.545
18.41	1.029
18.411	-50.64
19.26	-50.179
19.261	-13.652
20.02	-11.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



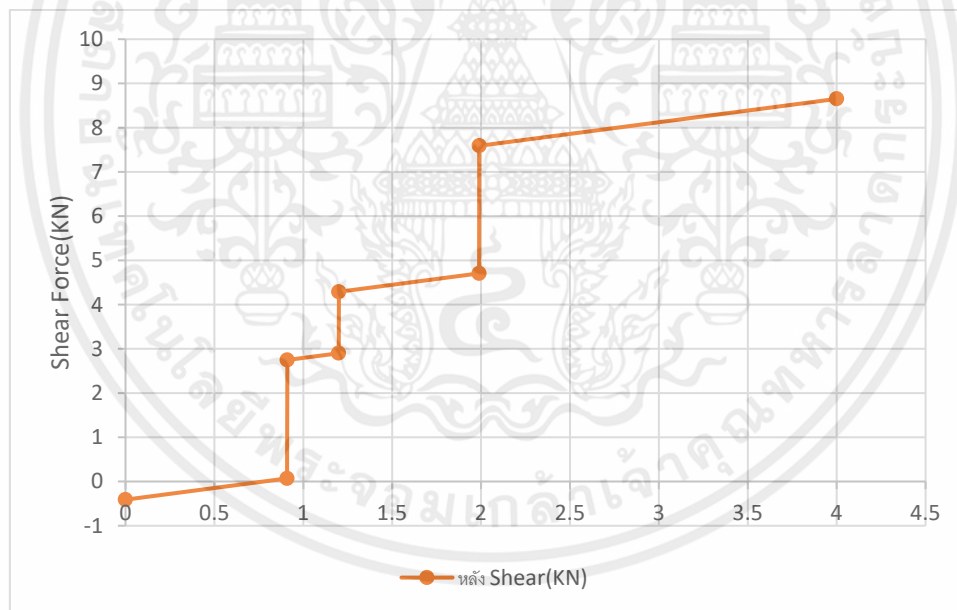
รูปที่ 4.43 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับ Shear Force ของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 1
หลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 3

ตารางที่ 4.31 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้

ความยาว(m)	Shear Force (KN)
0	-0.411
0.909	0.068
0.91	2.747
1.199	2.9
1.2	4.289
1.989	4.705
1.99	7.591
4	8.651



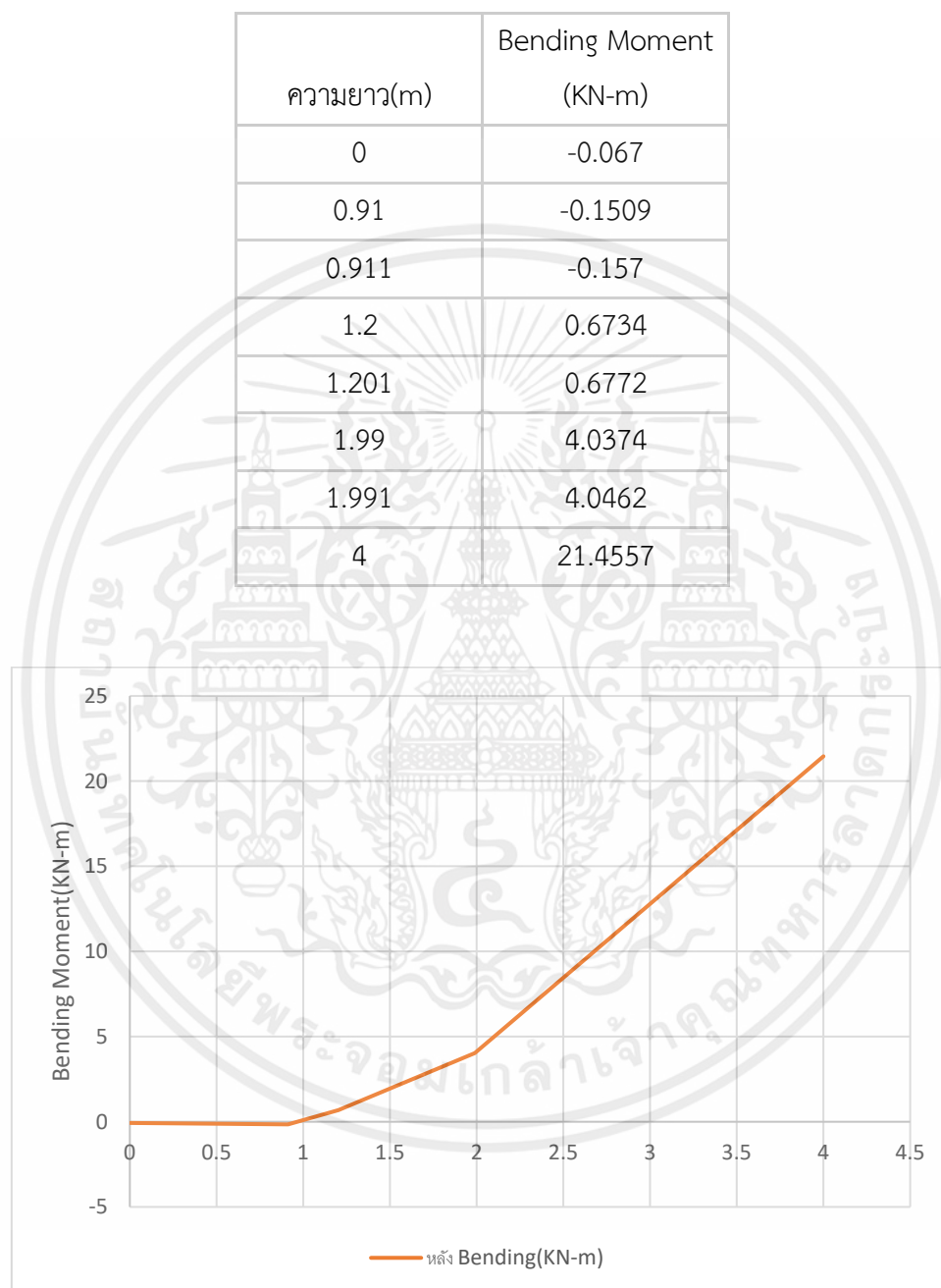
รูปที่ 4.44 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2.1.2.Bending Moment

-โครงเหล็กช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.32 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้



รูปที่ 4.45 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้

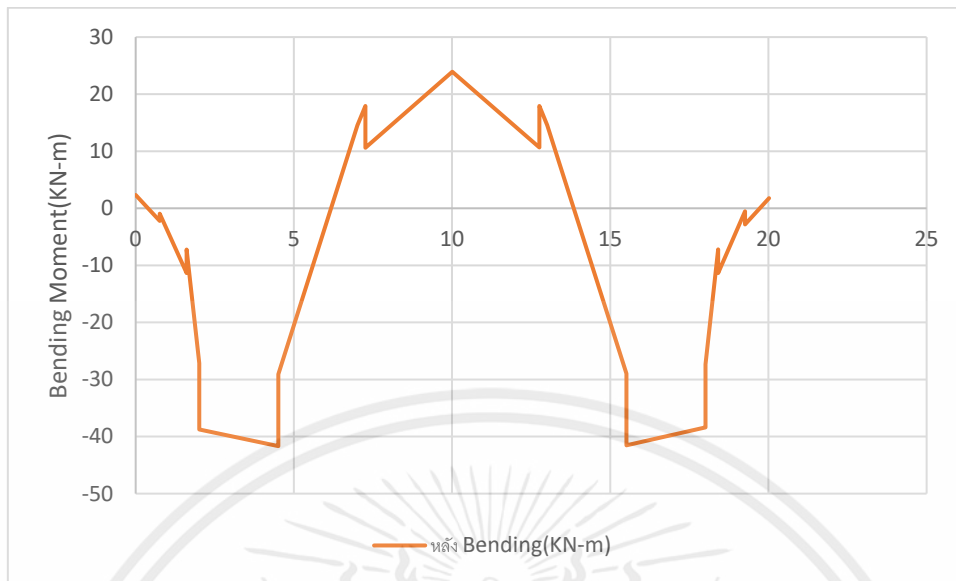
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.33 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที 1 หลังปรับแก้

ความยาว(m)	Bending Moment (KN-m)
0	2.3373
0.76	-2.1974
0.761	-0.9397
1.61	-11.3556
1.611	-7.2273
2.01	-27.1607
2.011	-38.7709
4.51	-41.6785
4.511	-29.0788
7.01	14.5334
7.01	14.5334
7.26	17.9153
7.261	10.6005
10.01	23.9308
10.011	23.8931
12.76	10.6741
12.761	17.9264
13.01	14.5677
13.01	14.5677
15.51	-28.9687
15.511	-41.5476
18.01	-38.4049
18.011	-27.3438
18.41	-7.2134
18.411	-11.3422
19.26	-0.5152
19.261	-2.8408
20.02	1.7863

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



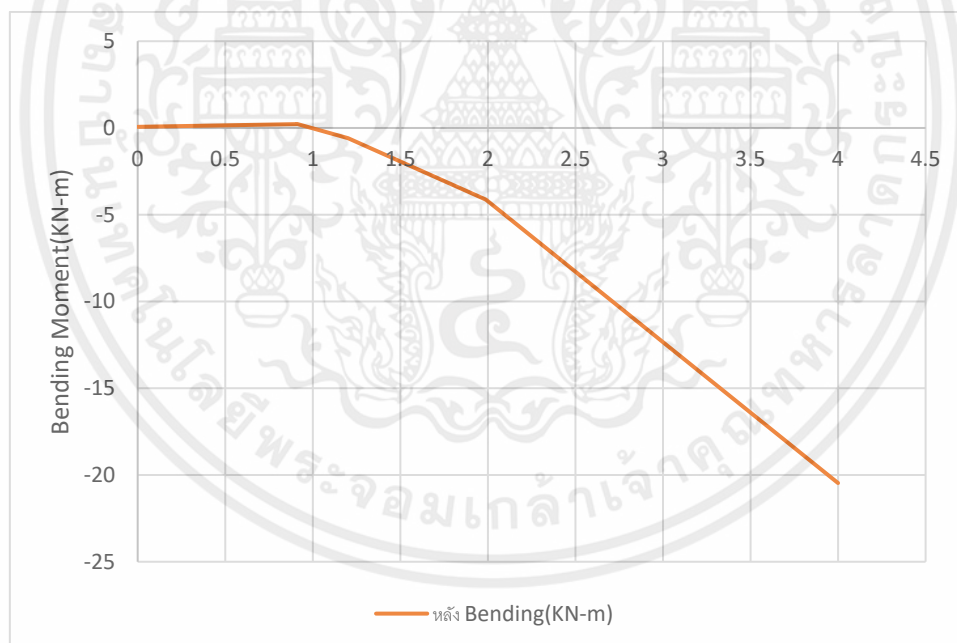
รูปที่ 4.46 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับ Bending Moment ของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 3

ตารางที่ 4.34 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้

ความยาว(m)	Bending Moment (KN-m)
0	0.0685
0.909	0.2243
0.91	0.2335
1.199	-0.5826
1.2	-0.5852
1.989	-4.1333
1.99	-4.14
4	-20.4638



รูปที่ 4.47 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 1 หลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

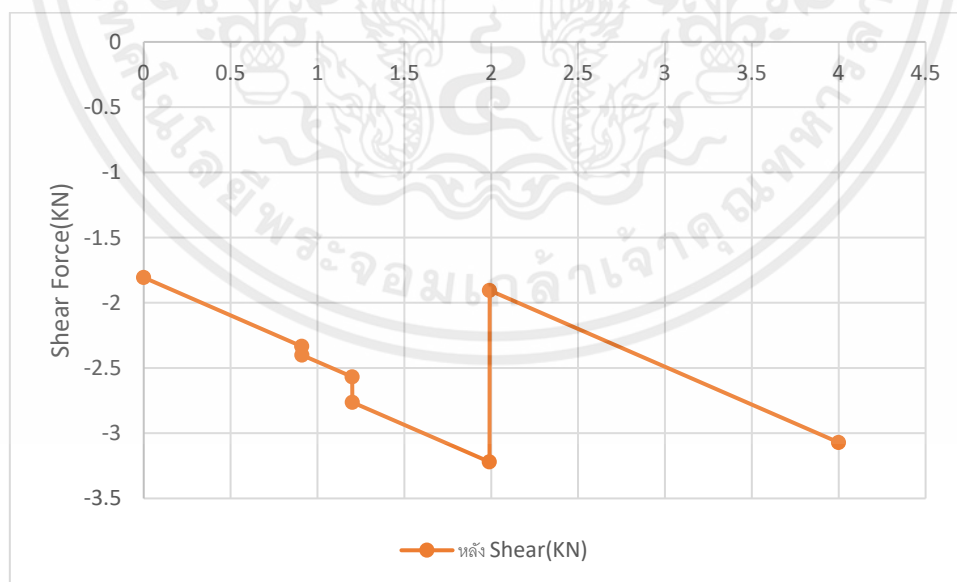
4.1.2.2.2. กรณีที่ 2 ใช้แรงการยกและการดันที่ปลายด้านหนึ่งของตัวรถตามตำแหน่งที่ระบุไว้เป็นกรณีสังเกต

4.2.2.2.2.1. Shear Force

-โครงเหล็กช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.35 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้

ความยาว(m)	Shear Force (KN)
0	-1.806
0.91	-2.334
0.911	-2.401
1.2	-2.568
1.201	-2.763
1.99	-3.22
1.991	-1.905
4	-3.071



รูปที่ 4.48 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้

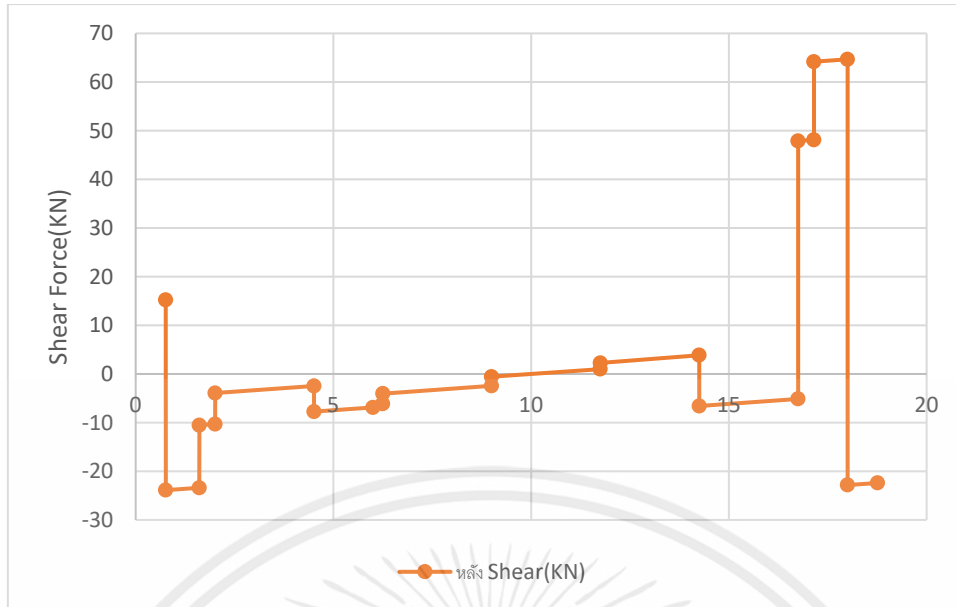
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.36 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้

ความยาว(m)	Shear Force (KN)
0.76	15.224
0.761	-23.88
1.61	-23.397
1.611	-10.529
2.01	-10.298
2.011	-3.918
4.51	-2.468
4.511	-7.742
6	-6.878
6.25	-6.147
6.251	-4.034
9	-2.439
9.001	-0.559
11.75	0.996
11.751	2.265
14.251	3.86
14.252	-6.58
16.751	-5.129
16.752	47.887
17.151	48.118
17.1511	64.185
18.001	64.678
18.002	-22.827
18.761	-22.387

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



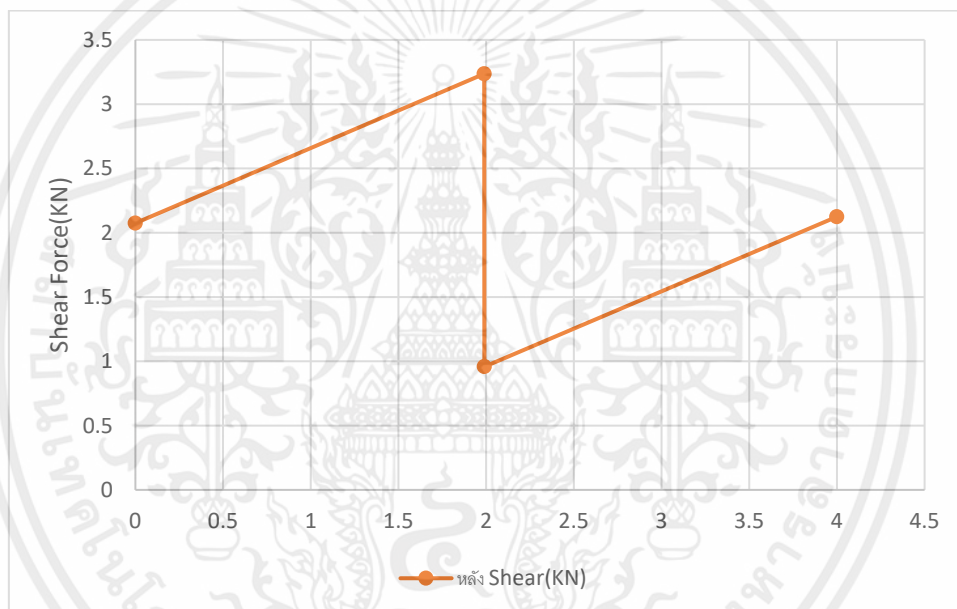
รูปที่ 4.49 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับ Shear Force ของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 3

ตารางที่ 4.37 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้

ความยาว(m)	Shear Force (KN)
0	2.074
1.989	3.236
1.99	0.958
4	2.124



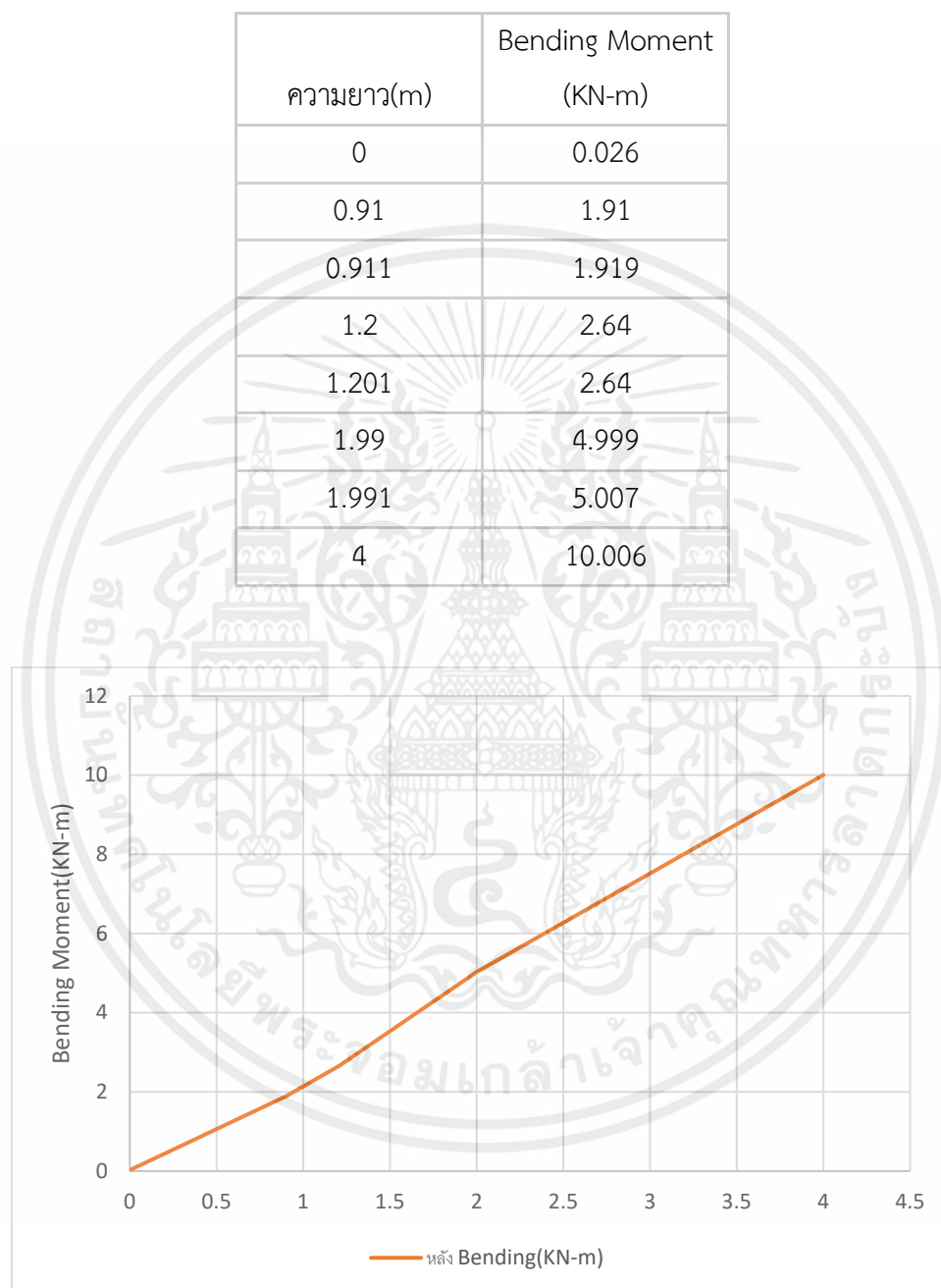
รูปที่ 4.50 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2.2.Bending Moment

-โครงเหล็กช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.38 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้



รูปที่ 4.51 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้

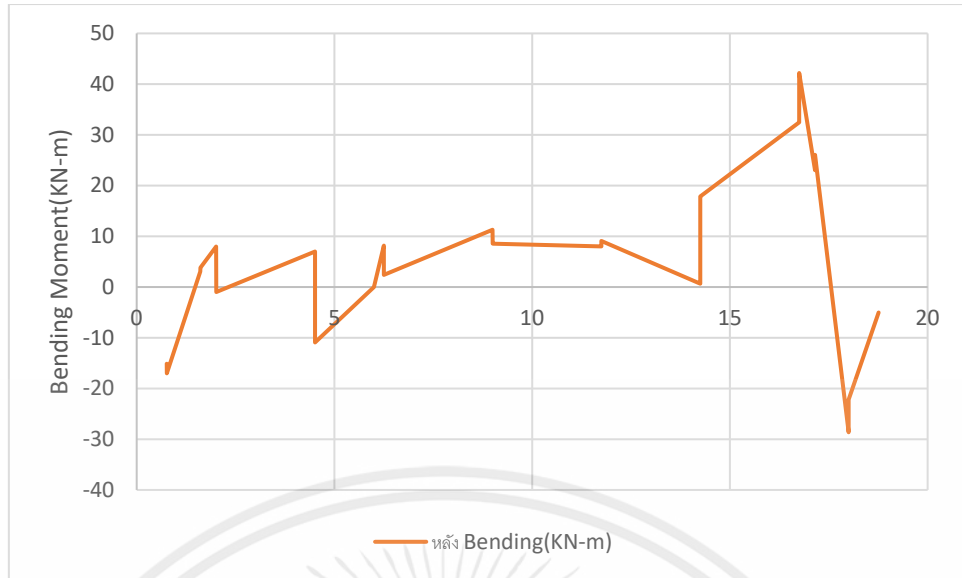
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.39 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้

ความยาว(m)	Bending Moment (KN-m)
0.76	-15.135
0.761	-17.015
1.61	3.05
1.611	3.823
2.01	7.978
2.011	-0.985
4.51	6.993
4.511	-10.922
6	0
6.25	8.168
6.251	2.404
9	11.301
9.001	8.547
11.75	8.002
11.751	9.07
14.251	0.652
14.252	17.844
16.751	32.475
16.752	42.191
17.151	23.038
17.1511	26.069
18.001	-28.633
18.002	-22.186
18.761	-5.028

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



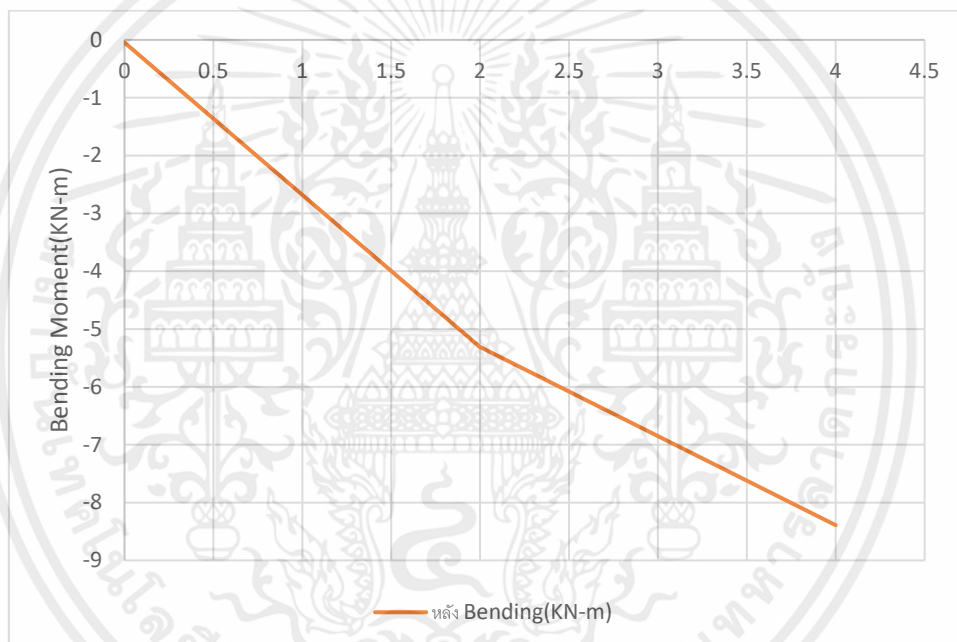
รูปที่ 4.52 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับ Bending Moment ของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 3

ตารางที่ 4.40 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้

ความยาว(m)	Bending Moment (KN-m)
0	-0.046
1.989	-5.282
1.99	-5.294
4	-8.391



รูปที่ 4.53 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 2 หลังปรับแก้

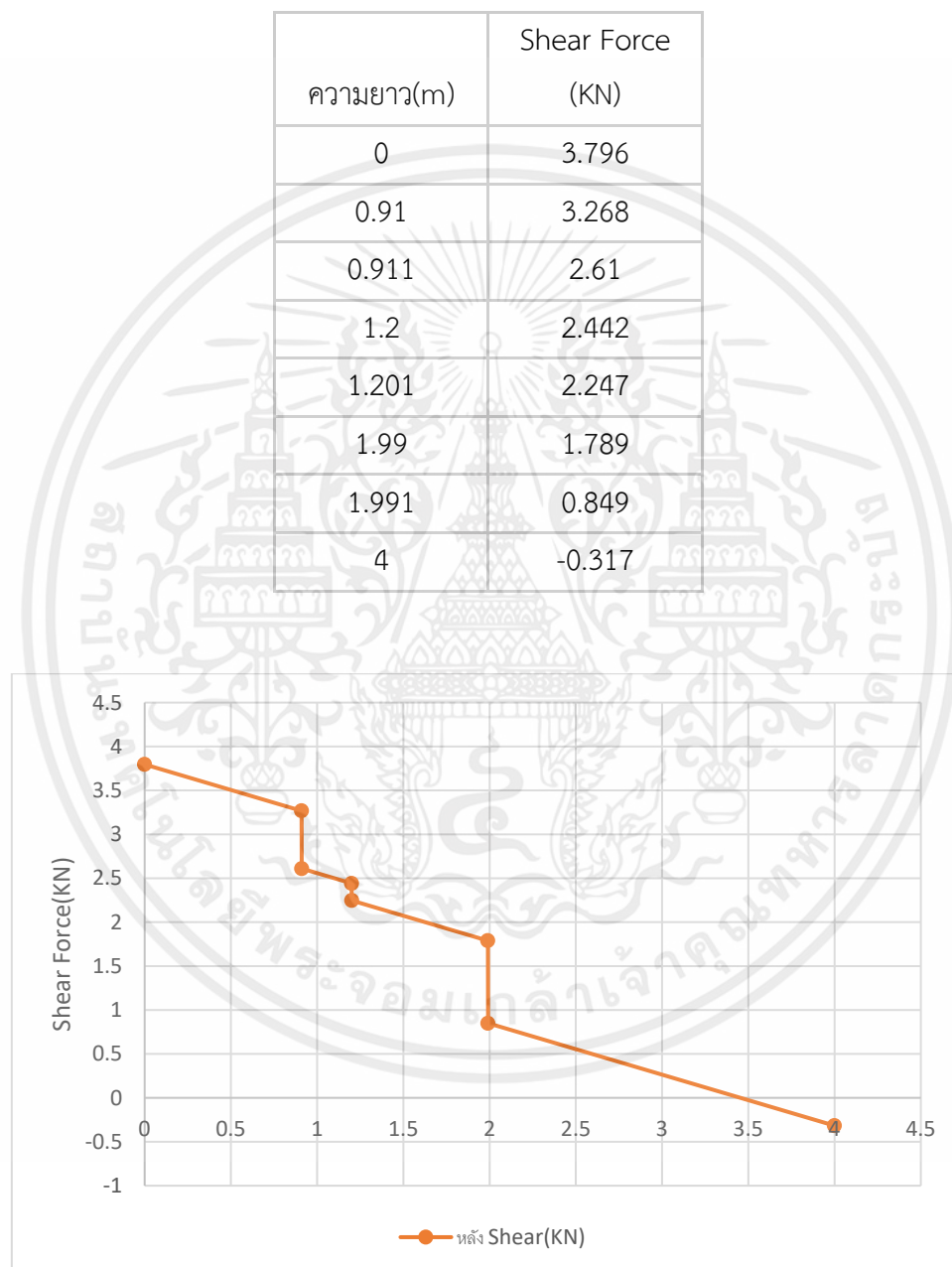
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2.3. กรณีที่ 3 การยกและการดันทั้งคันตามตำแหน่งที่ระบุเป็นกรณีสังเกต

4.2.2.2.3.1. Shear Force

-โครงเหล็กช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.41 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้



รูปที่ 4.54 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.42 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้

ความยาว(m)	Shear Force (KN)
0	-4.374
0.76	-3.933
0.761	8.453
1.61	8.946
1.611	-19.754
2.01	-19.522
2.011	32.264
4.36	33.627
4.361	-43.419
4.51	-43.332
4.511	-8.434
7	-6.99
7.25	-6.839
7.251	-2.783
10	-1.188
10.001	1.146
12.75	2.741
12.751	6.814
13	6.959
15.5	8.41
15.501	43.315
15.65	43.401
15.651	-33.9
18	-32.536
18.001	19.172
18.4	19.403
18.401	-9.14
19.25	-8.647
19.251	3.354
20	3.789

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



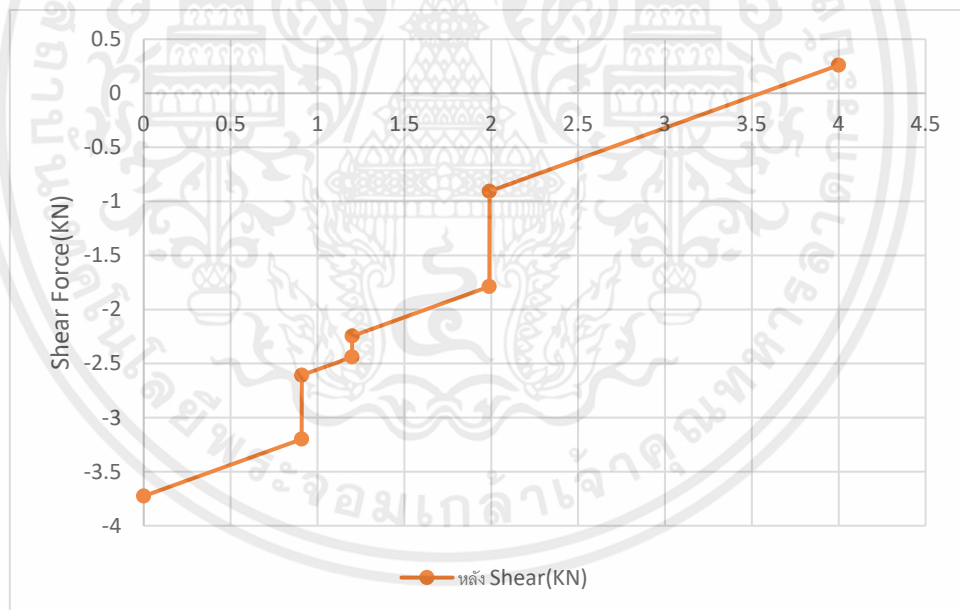
รูปที่ 4.55 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับ Shear Force ของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 3

ตารางที่ 4.43 ตารางแสดงShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้

ความยาว(m)	Shear Force (KN)
0	-3.726
0.909	-3.199
0.91	-2.608
1.199	-2.44
1.2	-2.246
1.989	-1.788
1.99	-0.907
4	0.26



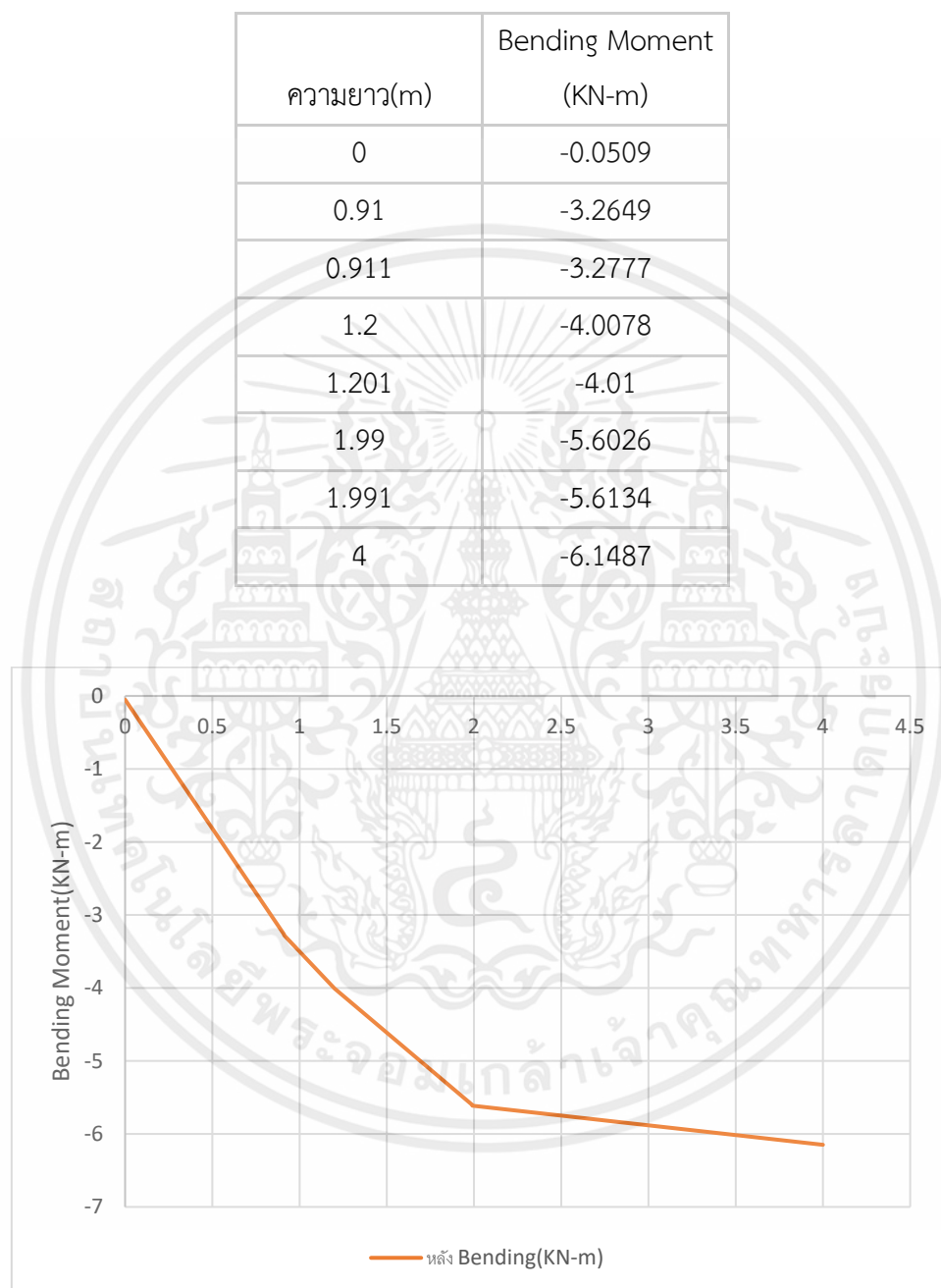
รูปที่ 4.56 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2.3.2.Bending Moment

-โครงเหล็กช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.44 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้



รูปที่ 4.57 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้

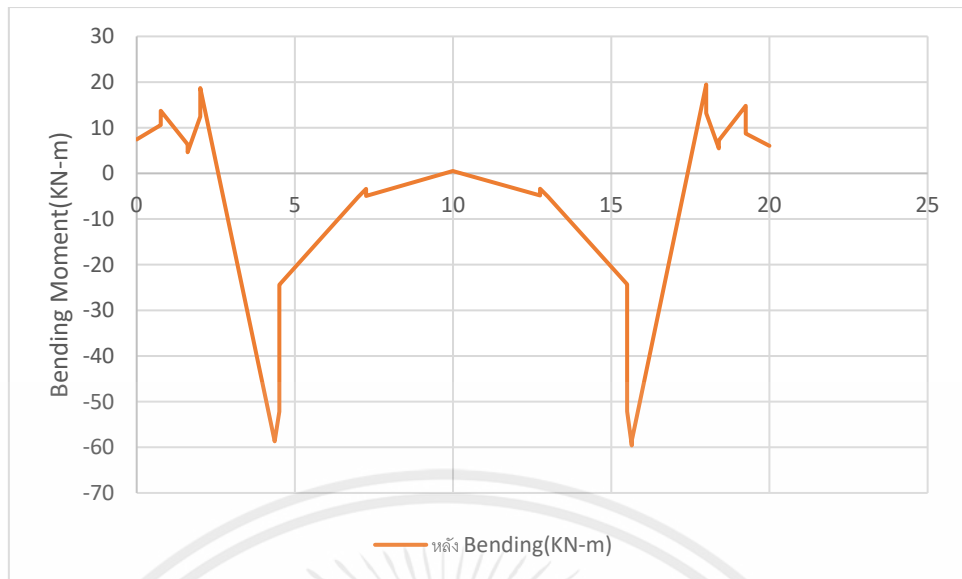
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.45 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้

ที่ความยาว(m)	Bending Moment (KN-m)
0	7.4418
0.76	10.5985
0.761	13.716
1.61	6.3302
1.611	4.6151
2.01	12.4508
2.011	18.7026
4.36	-58.6854
4.361	-58.642
4.51	-52.1791
4.511	-24.3891
7	-5.1953
7.25	-3.3962
7.251	-4.9295
10	0.5285
10.001	0.4968
12.75	-4.8454
12.751	-3.3663
13	-5.081
15.5	-24.2918
15.501	-52.1392
15.65	-59.5995
15.651	-58.5658
18	19.4632
18.001	13.1677
18.4	5.472
18.401	7.2381
19.25	14.789
19.251	8.7221
20	6.0463

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



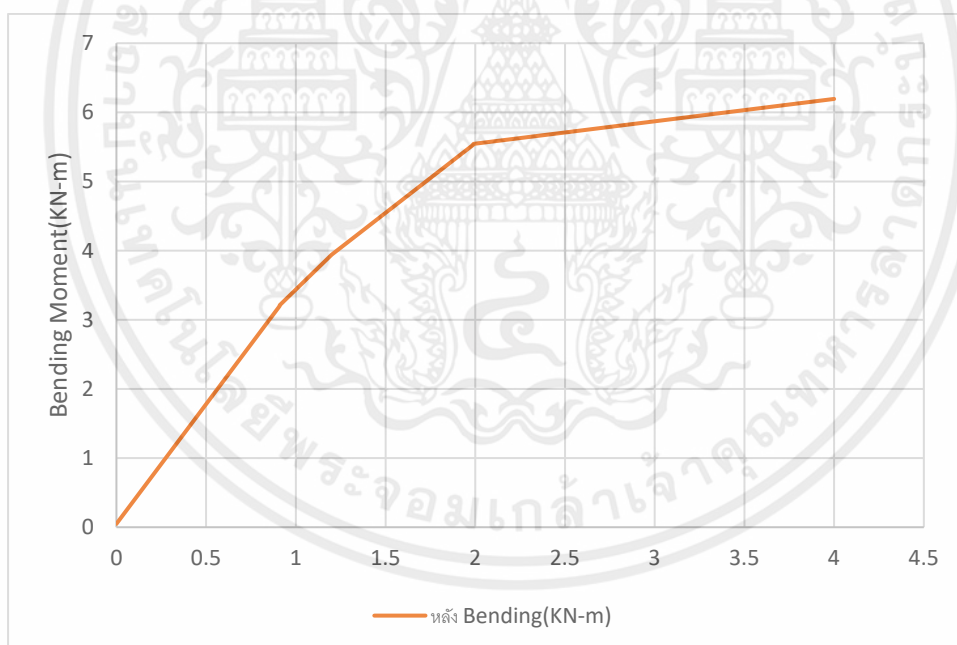
รูปที่ 4.58 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับ Bending Moment ของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครงเหล็กช่วงที่ 3

ตารางที่ 4.46 ตารางแสดงBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณีที่ 3 หลังปรับแก้

ที่ความยาว(m)	Bending Moment (KN-m)
0	0.0493
0.909	3.1966
0.91	3.2098
1.199	3.9392
1.2	3.9417
1.989	5.5328
1.99	5.5444
4	6.1942



รูปที่ 4.59กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่สังเกตกับBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ในกรณี
ที่ 3 หลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

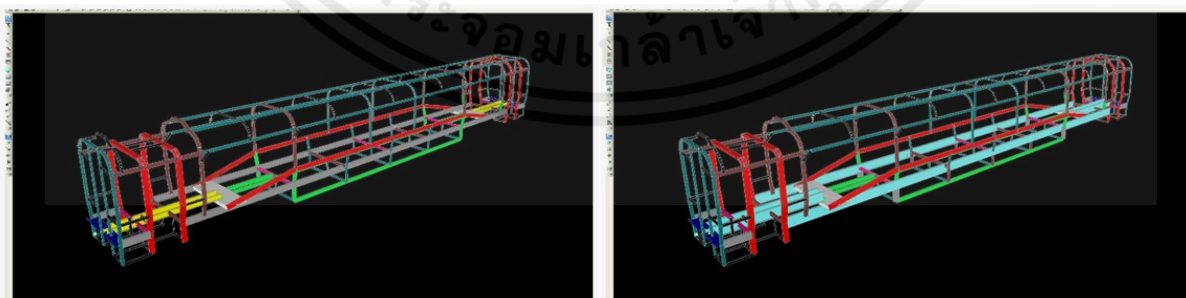
4.3 เปรียบเทียบแบบจำลองก่อนปรับแก้และหลังปรับแก้

จากผลการวิเคราะห์ทั้ง 2 แบบจะเห็นได้ว่า แบบจำลองเบื้องต้นไม่สามารถรับแรงตามมาตรฐานได้ โดยแรงที่สังเกตได้ชัดเจนที่สุด คือ แรงอัดและน้ำหนักในแนวตั้ง ที่อยู่ในกรณี 1 รับน้ำหนักสูงสุดในขณะเดินรถ ซึ่งส่วนที่จะเสียหายมากที่สุดคือโครงประธานด้านข้าง และ โครงเหล็กบางชิ้นตรงหน้าและหลังแบบจำลอง ดังนั้นเราจะดูกรณีนี้เป็นหลักเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองก่อนและหลังปรับแก้ โดยค่าที่เปลี่ยนแปลงไปที่สังเกตจะมี

4.3.1.เปรียบเทียบน้ำหนัก

ตารางที่ 4.47 ตารางแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักของแบบจำลองระหว่างก่อนและหลังปรับแก้

ขนาดหน้าตัด	ก่อนปรับแก้		หลังปรับแก้	
	ความยาว(m)	น้ำหนัก(kg.)	ความยาว(m)	น้ำหนัก(kg.)
C75x40x6.92	68.313	473	68.313	473
C100x50x9.36	149.972	1404	145.922	1366
C125x65x13.4	49.506	663	53.556	718
C150x75x24.0	38.849	932	36.149	868
C180x75x21.4	71.589	1532	71.589	1532
C200x90x30.3	16.000	485	-	-
C250x90x34.6	43.680	1511	6.340	219
C300x90x38.1	4.200	160	4.200	160
C380x100x54.5	-	-	56.040	3054
H100x100x17.2	11.700	201	11.700	201
รวม	458.809	7362	458.809	8591



รูปที่ 4.60 รูปแสดงรูปร่างแบบจำลองทั้งก่อนและหลังปรับแก้

- น้ำหนักของแบบจำลองก่อนปรับแก้เทียบกับแบบจำลองหลังปรับแก้ มีขนาดเพิ่มขึ้นเท่ากับ

$$8591-7362=1229 \text{ กิโลกรัม}$$

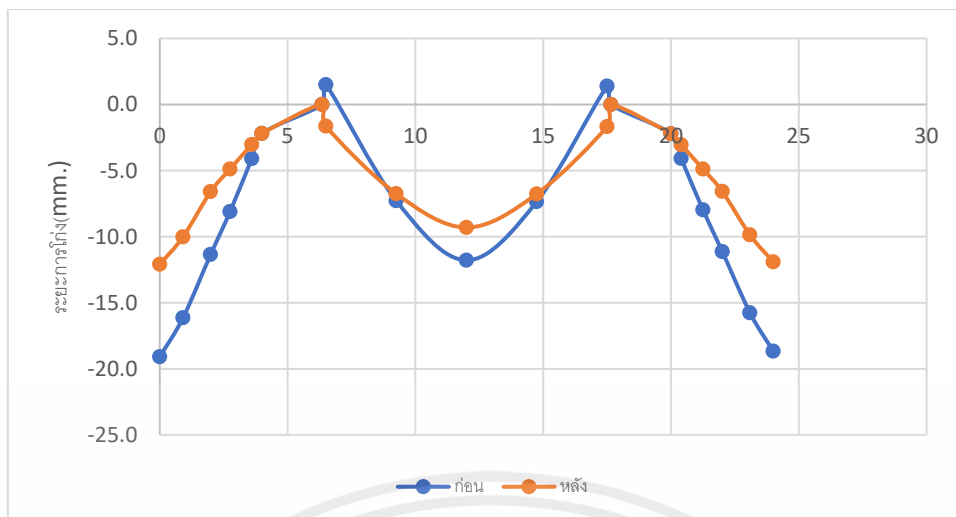
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2. เปรียบเทียบการโก่งตัว

ตารางที่ 4.48 ตารางแสดงการเปรียบเทียบการโก่งตัวของแบบจำลองระหว่างก่อนและหลังปรับแก้

ที่ระยะ(m)	ก่อน(mm)	หลัง(mm)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
0.00	-19	-12	-36.66
0.91	-16	-10	-37.93
1.99	-11	-7	-41.88
2.75	-8	-5	-39.75
3.60	-4	-3	-26.21
4.00	-2	-2	0.45
6.35(จุดรองรับ)	0	0	0.00
6.50	1	-2	-209.69
9.25	-7	-7	-7.28
12.00	-12	-9	-21.01
14.75	-7	-7	-7.94
17.50	1	-2	-220.52
17.65(จุดรองรับ)	0	0	0.00
20.00	-2	-2	0.33
20.40	-4	-3	-25.58
21.25	-8	-5	-38.74
22.01	-11	-7	-40.84
23.09	-16	-10	-37.40
24.00	-19	-12	-36.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.61 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวของแบบจำลองระหว่างก่อนและหลังปรับแก้

- จากตารางที่ จะเห็นได้ว่าระยะการโก่งตัวของแบบจำลองหลังปรับแก้มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับแบบจำลองก่อนปรับแก้

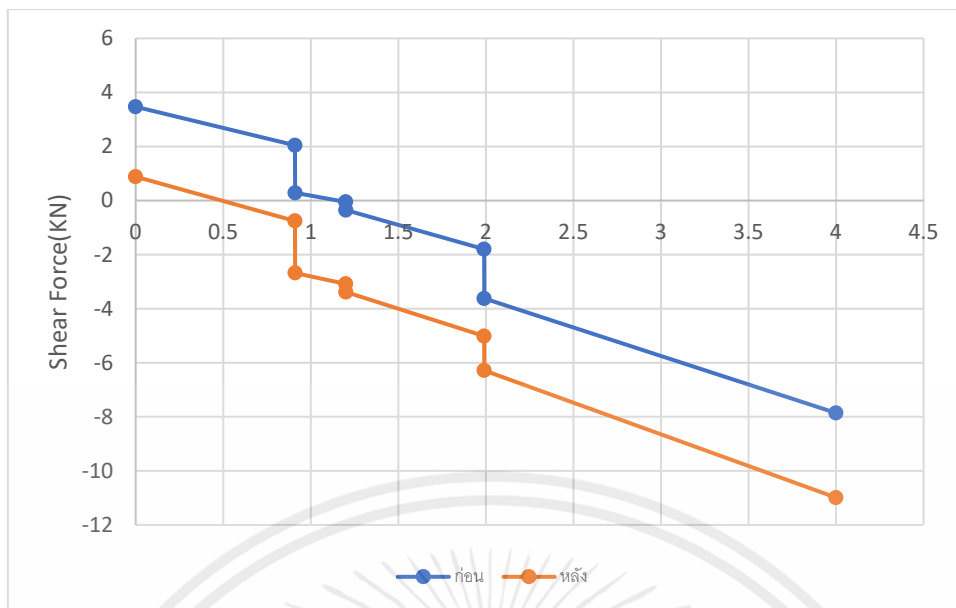
4.3.3. เปรียบเทียบค่าShear Force

-โครงเหล็กช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.49 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้

ระยะ(m)	ก่อน(KN)	หลัง(KN)
0.000	3.471	0.885
0.910	2.046	-0.754
0.911	0.287	-2.677
1.200	-0.048	-3.080
1.201	-0.353	-3.385
1.990	-1.798	-5.015
1.991	-3.624	-6.284
4.000	-7.858	-10.988

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.62 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้

- จากตารางที่ จะเห็นได้ว่าในโครงเหล็กช่วงที่ 1

ค่าMaximum Shear Force ก่อนปรับแก้เท่ากับ 7.858 KN ในทิศทางลบ หรือ ทิศทางลง

ค่าMaximum Shear Force หลังปรับแก้เท่ากับ 10.988 KN ในทิศทางลบ หรือ ทิศทางลง

มีผลต่างกันเท่ากับ $10.988 - 7.858 = 3.130$ KN

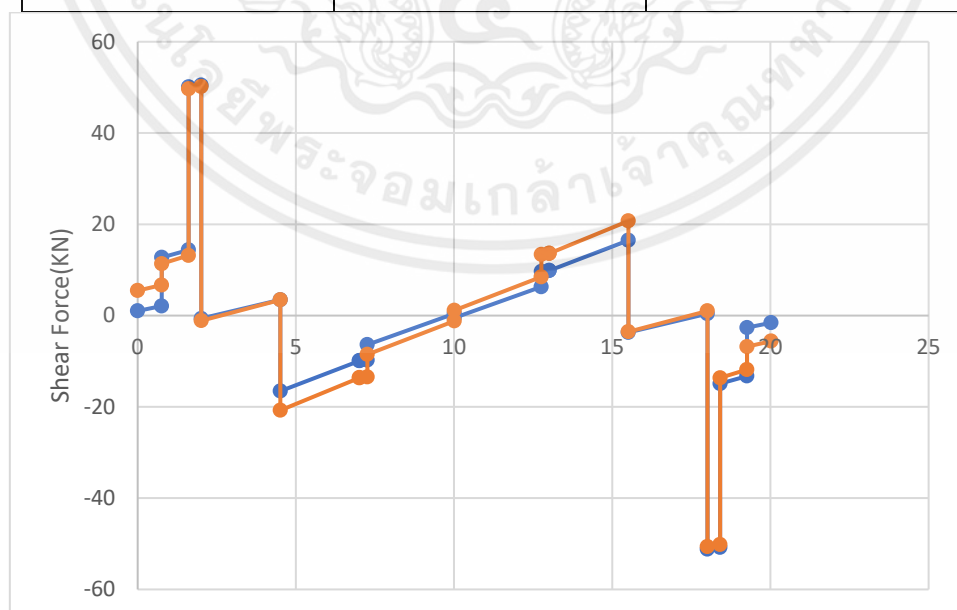
-โครงเหล็กช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.50 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้

ระยะ(m)	ก่อน(KN)	หลัง(KN)
0	1.016	5.473
0.760	2.090	6.694
0.761	12.729	11.347
1.610	14.388	13.169
1.611	50.096	49.687
2.010	50.48	50.148

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.011	-0.635	-1.122
4.510	3.456	3.449
4.511	-16.55	-20.762
7.010	-9.927	-13.659
7.260	-9.778	-13.461
7.261	-6.38	-8.517
10.010	0.425	-1.183
10.011	-0.497	1.141
12.760	6.308	8.475
12.761	9.676	13.391
13.010	9.875	13.62
15.510	16.481	20.725
15.511	-3.686	-3.545
18.010	0.408	1.029
18.011	-51.182	-50.64
18.410	-50.797	-50.179
18.411	-14.913	-13.652
19.260	-13.254	-11.83
19.261	-2.65	-6.822
20.020	-1.577	-5.603



รูปที่ 4.63 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากตารางที่ จะเห็นได้ว่าในโครงเหล็กช่วงที่ 2

ค่าMaximum Shear Force ก่อนปรับแก้เท่ากับ 51.182 KN ในทิศทางลบ หรือ ทิศทางลง

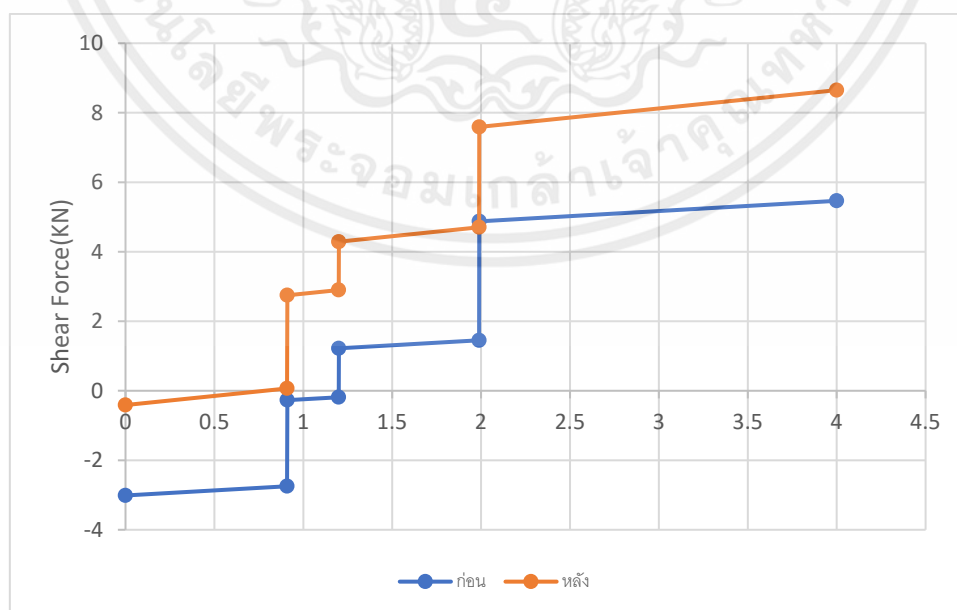
ค่าMaximum Shear Force หลังปรับแก้เท่ากับ 50.64 KN ในทิศทางลบ หรือ ทิศทางลง

มีผลต่างกันเท่ากับ $51.182 - 50.640 = 0.542$ KN

-โครงเหล็กช่วงที่ 3

ตารางที่ 4.51 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้

ระยะ(m)	ก่อน(KN)	หลัง(KN)
0.000	-3.013	-0.411
0.909	-2.746	0.068
0.910	-0.270	2.747
1.199	-0.185	2.900
1.200	1.220	4.289
1.989	1.452	4.705
1.990	4.876	7.591
4.000	5.466	8.651



รูปที่ 4.64 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าShear Forceของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากตารางที่ จะเห็นได้ว่าในโครงเหล็กช่วงที่ 3

ค่าMaximum Shear Force ก่อนปรับแก้เท่ากับ 5.466 KN ในทิศทางบวก หรือ ทิศทางขึ้น

ค่าMaximum Shear Force หลังปรับแก้เท่ากับ 8.651 KN ในทิศทางบวก หรือ ทิศทางขึ้น

มีผลต่างกันเท่ากับ $8.651 - 5.466 = 3.185$ KN

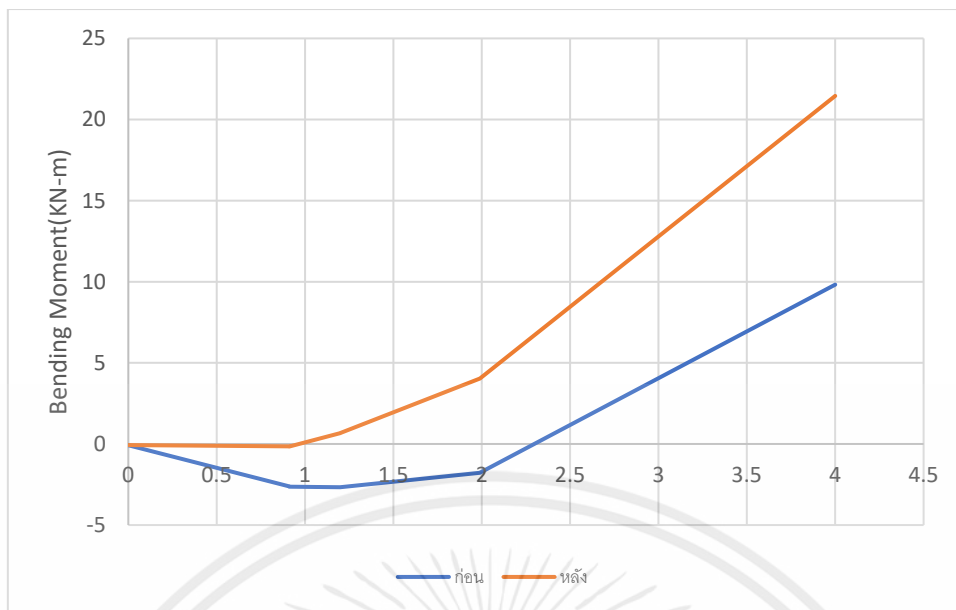
4.3.4. เปรียบเทียบค่า Bending Moment

-โครงเหล็กช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.52 ตารางแสดงการเปรียบเทียบBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้

ระยะ(m)	ก่อน(KN-m)	หลัง(KN-m)
0.000	-0.083	-0.067
0.910	-2.618	-0.151
0.911	-2.631	-0.157
1.200	-2.667	0.673
1.201	-2.667	0.677
1.990	-1.772	4.037
1.991	-1.771	4.046
4.000	9.822	21.456

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.65 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบ Bending Moment ของโครงเหล็กช่วงที่ 1 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้

- จากตารางที่ จะเห็นได้ว่าในโครงเหล็กช่วงที่ 1

ค่า Maximum Bending Moment ก่อนปรับแก้เท่ากับ 9.822 KN-m ในทิศทางบวก หรือ หมุนตามเข็มนาฬิกา

ค่า Maximum Bending Moment หลังปรับแก้เท่ากับ 21.456 KN-m ในทิศทางบวก หรือ หมุนตามเข็มนาฬิกา

มีผลต่างกันเท่ากับ $21.456 - 9.822 = 11.634$ KN-m

-โครงเหล็กช่วงที่ 2

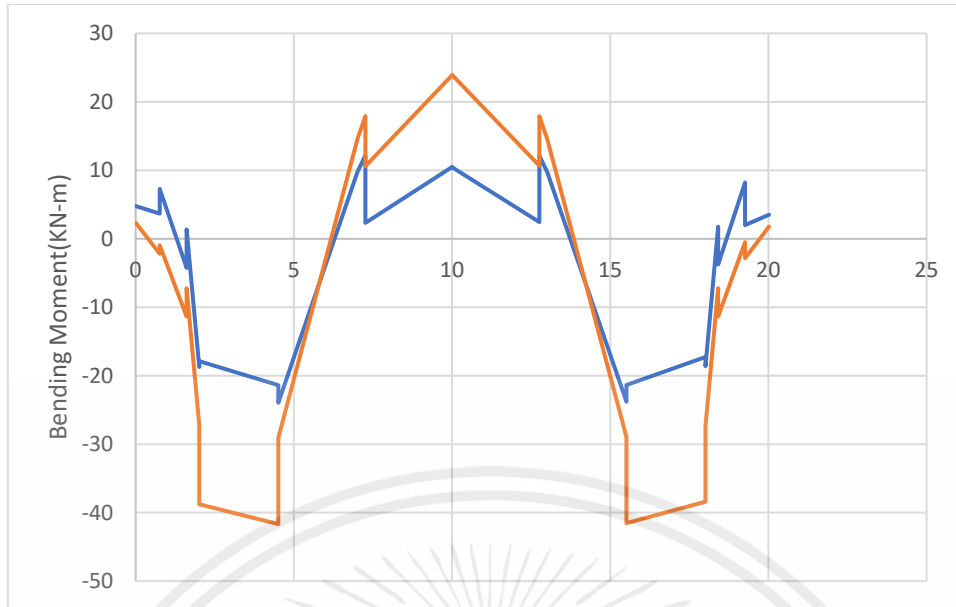
ตารางที่ 4.53 ตารางแสดงการเปรียบเทียบ Bending Moment ของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้

ระยะ(m)	ก่อน(KN-m)	หลัง(KN-m)
0	4.782	2.337
0.760	3.691	-2.197
0.761	7.276	-0.940
1.610	-4.244	-11.356

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.611	1.375	-7.227
2.010	-18.706	-27.161
2.011	-17.865	-38.771
4.510	-21.390	-41.679
4.511	-23.950	-29.079
7.010	9.736	14.533
7.260	12.191	17.915
7.261	2.322	10.601
10.010	10.504	23.931
10.011	10.422	23.893
12.760	2.432	10.674
12.761	12.147	17.926
13.010	9.729	14.568
15.510	-23.797	-28.969
15.511	-21.369	-41.548
18.010	-17.274	-38.405
18.011	-18.598	-27.344
18.410	1.764	-7.213
18.411	-3.754	-11.342
19.260	8.213	-0.515
19.261	1.993	-2.841
20.020	3.508	1.786

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.66 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบ Bending Moment ของโครงเหล็กช่วงที่ 2 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้

- จากตารางที่ จะเห็นได้ว่าในโครงเหล็กช่วงที่ 2

ค่า Maximum Bending Moment ก่อนปรับแก้เท่ากับ 23.95 KN-m ในทิศทางลบ หรือ หมุนทวนเข็มนาฬิกา

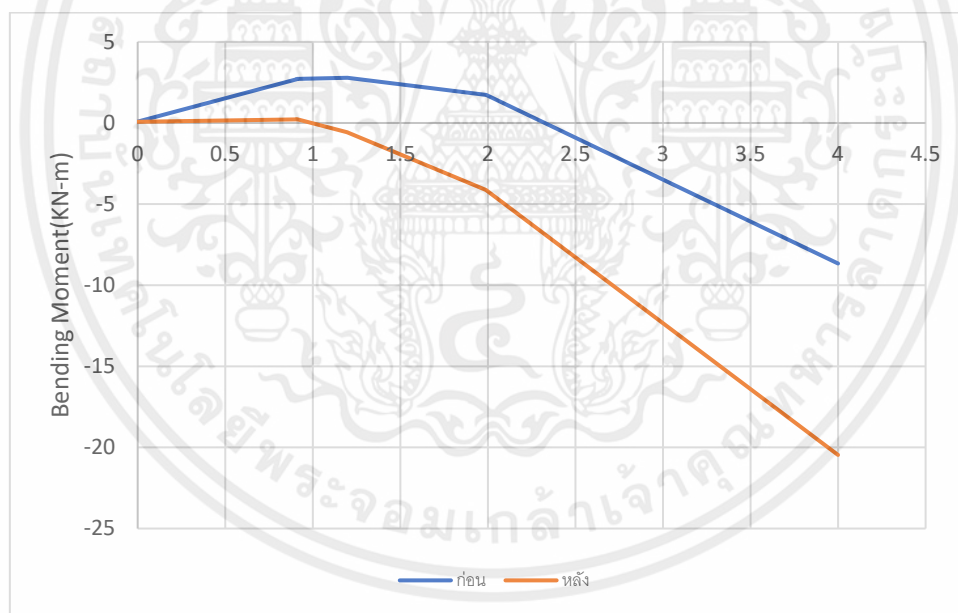
ค่า Maximum Bending Moment หลังปรับแก้เท่ากับ 41.679 KN-m ในทิศทางลบ หรือ หมุนทวนเข็มนาฬิกา

มีผลต่างกันเท่ากับ $41.679 - 23.950 = 17.729$ KN-m

-โครงเหล็กช่วงที่ 3

ตารางที่ 4.54 ตารางแสดงการเปรียบเทียบBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้

ระยะ(m)	ก่อน(KN-m)	หลัง(KN-m)
0.000	0.085	0.069
0.909	2.702	0.224
0.910	2.718	0.234
1.199	2.784	-0.583
1.200	2.785	-0.285
1.989	1.730	-4.133
1.990	1.732	-4.140
4.000	-8.662	-20.464



รูปที่ 4.67 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบBending Momentของโครงเหล็กช่วงที่ 3 ระหว่างก่อนและหลังปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากตารางที่ จะเห็นได้ว่าในโครงเหล็กช่วงที่ 3

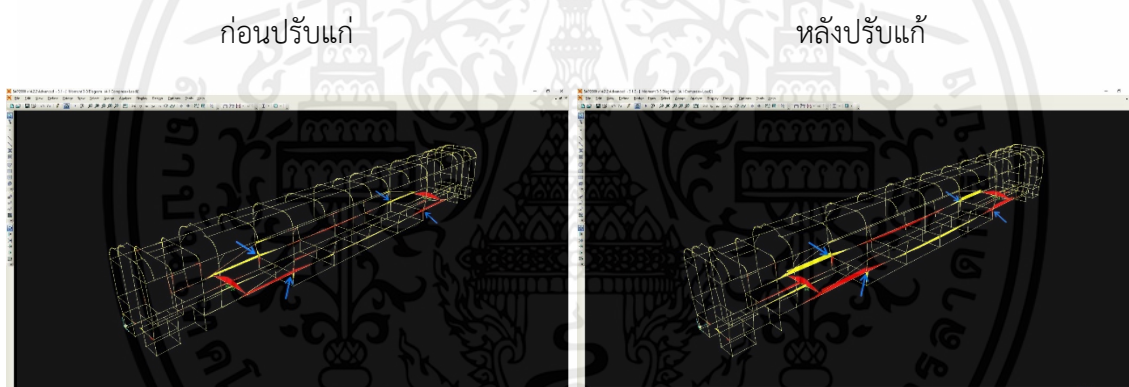
ค่า Maximum Bending Moment ก่อนปรับแก้เท่ากับ 8.662 KN-m ในทิศทางลบ หรือ หมุนทวนเข็มนาฬิกา

ค่า Maximum Bending Moment หลังปรับแก้เท่ากับ 20.464 KN-m ในทิศทางลบ หรือ หมุนทวนเข็มนาฬิกา

มีผลต่างกันเท่ากับ $20.464 - 8.662 = 11.802$ KN-m

4.3.5. ข้อต่อที่ควรระวังการเกิดความเสียหาย

จากรูปที่ เห็นได้ว่าข้อต่อที่ชี้ไว้เกิดแรงBending Momentมากที่สุด ทำให้ข้อต่อทั้งหมดนี้ต้องสังเกตอย่างเคร่งครัดเพราะเป็นจุดเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายได้มากที่สุด



รูปที่ 4.68 รูปแสดงผลBending Momentในกรณีที่ 1 และ ชี้ตำแหน่งข้อต่อที่เสี่ยงเกิดการวิบัติมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัย ”การประเมินสมรรถนะของโครงสร้างตู้รถไฟโดยสารด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์” โดยทดลองจากแบบจำลองโครงสร้างรถไฟที่ได้มา เมื่อทำการวิเคราะห์หมันโปรแกรมSAP2000มีผลว่า แบบจำลองเบื้องต้นจะมีบางส่วนที่ไม่สามารถรับแรงได้ตามมาตรฐานEN-12663 เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานจึงได้ทำการปรับแก้โครงสร้างโดยการเพิ่มขนาดหน้าตัดเหล็กตรงขึ้นส่วนที่ไม่ผ่านการวิเคราะห์

เมื่อทำการปรับแก้และได้ผลวิเคราะห์แบบจำลองผ่านทั้งหมดทุกชั้นแล้ว เราจะได้โครงสร้างรถไฟที่มี

- จุดต่อทั้งหมด 266 จุด
- จำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 321 ชิ้น
- น้ำหนักเท่ากับ 8,591 กิโลกรัม

ต่อไปได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของโครงสร้างรถไฟระหว่างแบบโครงสร้างก่อนปรับแก้ และหลังปรับแก้ ได้ผลมาดังนี้

- น้ำหนักของโครงสร้าง
 - ก่อนปรับแก้มีน้ำหนัก เท่ากับมี 7362 กิโลกรัม
 - หลังปรับแก้มีน้ำหนัก เท่ากับมี 8591 กิโลกรัม
 - มีผลต่างเท่ากับ 1229 กิโลกรัม
- ระยะเวลาการโค้งตัวของโครงสร้างหลังปรับแก้มีค่าน้อยกว่าโครงสร้างก่อนปรับแก้
- ค่าShear Force โดยสังเกตจากเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 1
 - ค่าShear Force สูงสุดก่อนปรับแก้ เท่ากับ 51.18 KN ในทิศทางลง
 - ค่าShear Force สูงสุดหลังปรับแก้ เท่ากับ 50.64 KN ในทิศทางลง
 - มีผลต่างกันเท่ากับ 0.54 KN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าBending Moment โดยสังเกตจากเหล็กช่วงที่ 2 ในกรณีที่ 1

- ค่าBending Momentสูงสุด ก่อนปรับแก้ เท่ากับ 23.95 KN-m หมุนทวนเข็มนาฬิกา
- ค่าBending Momentสูงสุด หลังปรับแก้ เท่ากับ 41.68 KN-m หมุนทวนเข็มนาฬิกา
- มีผลต่างกันเท่ากับ 17.73 KN-m

จากข้อมูลการเปรียบเทียบทั้งหมดนั้นทำให้เห็นว่าโครงสร้างรถไฟหลังปรับแก้จะมีสมรรถภาพในการรับแรงในกรณีต่างๆมากขึ้นและมีความปลอดภัยในการใช้งานมากขึ้นเช่นกัน

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

5.2.1 สามารถเข้าใจถึงหลักการและวิธีการออกแบบโครงสร้างตู้รถไฟ

5.2.2 สามารถเข้าใจถึงแรงกระทำต่างๆที่เกิดขึ้นและพฤติกรรมของโครงสร้างตู้รถไฟภายใต้แรงต่างๆ

5.2.2 สามารถนำข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้ไปเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์โครงสร้างรถไฟระดับพื้นฐานได้ต่อไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้จะวิจัยแค่ตัวโครงสร้างอย่างเดียวในสถานะสถิตเท่านั้น ไม่คำนึงถึงการทดสอบอย่างอื่นเช่น การทดสอบDynamic ทดสอบการชน และ การใช้Shellเพราะในโครงสร้างจริง Shellสามารถช่วยรับแรงได้อีก อาจจะใช้เป็นงานวิจัยต่อไป การออกแบบนี้ไม่ได้ละเอียดในส่วนของโบกี้ ความยาวเหล็กที่แท้จริง และ ค่าใช้จ่ายอื่นๆในการก่อสร้างเช่น ค่าแรง ค่าดำเนินการ ค่าMobilization และ กำไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

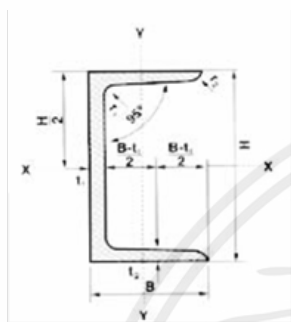
บรรณานุกรม

- C. Baykasoglu , E. Sunbuloglu , S. E. Bozdag , F. Aruk , T. Toprak and A. Mugan. (2012). NUMERICAL STATIC AND DYNAMIC STRESS ANALYSIS ON RAILWAY PASSENGER AND FREIGHT CAR MODELS .<http://web.hitit.edu.tr/>
- Bingrong Miao, Weihua Zhang, Jihui Zhang, Dingchang Jin. (2009). Evaluation of Railway Vehicle Car Body Fatigue Life and Durability using a Multi-disciplinary Analysis Method. https://www.researchgate.net/publication/245574564_Evaluation_of_Railway_Vehicle_Car_Body_Fatigue_Life_and_Durability_using_a_Multi-disciplinary_Analysis_Method
- Passenger Railroad car (n.d.) In Wikipedia. สืบค้นวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2565. https://en.wikipedia.org/wiki/Passenger_railroad_car
- การรถไฟแห่งประเทศไทย (ม.ป.ป.).ประเภทขบวนรถไฟโดยสาร. สืบค้นวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2565. https://www.railway.co.th/Service/Passenger_detail?value1
- Mazuri Erasto Lutema, Kejela Temesgen.(2022) A Review on Static Analysis of Aluminium Carbody Structure for Passenger Trains. https://www.ijeas.org/download_data/IJEAS0910003.pdf
- ศิริชัย ต่อสกุล. (2008). การวิเคราะห์รูปแบบความเสียหายของวัสดุแกนวิชเชลูราโฟม เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ. 2551. หน้า 81-87
- เอรี่มาย.(19 สิงหาคม 2021). รถซ่อมรางรถไฟ /ขบวนรถอัดหิน/ train track repair. Youtube <https://www.youtube.com/watch?v=OwiKDXFDMEY>
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2563). มาตรฐานตู้รถไฟ/ตู้รถไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ส่วนที่ 1 : ตู้รถโดยสาร (พิมพ์ครั้งที่ 1). สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ Channels (TIS 1227 : 1996 / JIS G3192 : 1990)

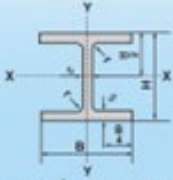
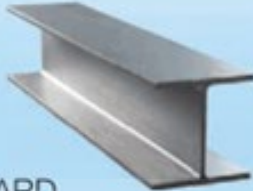
(Grade SM400, SM490, SM520, SS400, SS490 or SS540)

Moment of Inertia $I = Ar^2$
 Radius of Gyration $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$
 Modulus of Section $Z = \frac{I}{C}$
 A = Sectional Area

Dimensios (mm)					Sectional Area (cm ²)	Weight (kg/m)	Moment of Inertia (cm ⁴)		Radius of Gyration (cm)		Modulus of Section (cm ³)	
H x B	t1	t2	r1	r2			Ix	Iy	rx	ry	Zx	Zy
50 x 25	5	6	6	3	4.92	3.86	16.8	2.49	1.85	0.71	6.73	1.48
75 x 40	5	7	8	4	8.818	6.92	75.3	12.2	2.92	1.17	20.1	4.47
100 x 50	5	7.5	8	4	11.92	9.36	188	26	3.97	1.48	37.6	7.52
125 x 65	6	8	8	4	17.11	13.4	424	61.8	4.98	1.9	67.8	13.4
150 x 75	6.5	10	10	5	23.71	18.6	861	117	6.03	2.22	115	22.4
150 x 75	9	12.5	15	7.5	30.59	24	1050	147	5.86	2.19	140	28.3
180 x 75	7	10.5	11	5.5	27.2	21.4	1380	131	7.12	2.19	153	24.3
200 x 80	7.5	11	12	6	31.33	24.6	1,950	168	7.88	2.32	195	29.1
200 x 90	8	13.5	14	7	38.65	30.3	2,490	277	8.02	2.68	249	44.2
250 x 90	9	13	14	7	44.07	34.6	4,180	294	9.74	2.58	334	44.5
	11	14.5	17	8.5	51.17	40.2	4,680	329	9.56	2.54	374	49.9
300 x 90	9	13	14	7	48.57	38.1	6,440	309	11.5	2.52	429	45.7
	10	15.5	19	9.5	55.74	43.8	7,410	360	11.5	2.54	494	54.1
	12	16	19	9.5	61.9	48.6	7,870	379	11.3	2.48	525	56.4
380 x 100	10.5	16	18	9	69.39	54.5	14,500	535	14.5	2.78	763	70.5
	13	20	24	12	85.71	67.3	17,600	655	14.3	2.76	926	87.8

มาตรฐานหน้าตัดเหล็กรูปพรรณChannel

(ที่มา: <https://homeandfac.com>)

H-BEAMS

TIS 1227-2558 (2015) | TIS STANDARD

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
mm	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³
100x50	9.30	100	50	5.0	7	8	11.85	187	14.8	3.98	1.12	37.5	5.91
100x100	17.2	100	100	6.0	8	10	21.90	383	134	4.2	2.47	77	27
125x125	23.8	125	125	6.5	9	10	30.31	847	293	5.3	3.11	136	47
150x75	14.0	150	75	5.0	7	8	17.85	666	50	6.1	1.66	89	13
150x100	21.1	148	100	6.0	9	11	26.84	1,020	151	6.2	2.37	138	30
150x150	31.5	150	150	7.0	10	11	40.14	1,640	563	6.4	3.75	219	75
175x90	18.1	175	90	5.0	8	9	23.04	1,210	97.5	7.26	2.06	139	21.7
175x175	40.2	175	175	7.5	11	12	51.21	2,890	984	7.5	4.38	330	112
200x100	18.2	198	99	4.5	7	11	23.18	1,580	114	8.3	2.21	160	23
	21.3	200	100	5.5	8	11	27.16	1,840	134	8.2	2.22	184	27
200x150	30.6	194	150	6.0	9	13	39.01	2,690	507	8.3	3.61	277	68
200x200	49.9	200	200	8.0	12	13	63.53	4,720	1,600	8.6	5.02	472	160
	56.2	200	204	12.0	12	13	71.53	4,990	1,700	8.4	4.88	498	167
250x125	65.7	208	202	10.0	16	13	83.69	6,530	2,200	8.8	5.13	628	218
	25.7	248	124	5.0	8	12	32.68	3,540	255	10.4	2.79	285	41
250x175	29.6	250	125	6.0	9	12	37.66	4,050	294	10.4	2.79	324	47
	44.1	244	175	7.0	11	16	56.24	6,120	984	10.4	4.18	502	113
250x250	64.4	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
300x150	82.2	250	255	14.0	14	16	104.70	11,500	3,880	10.5	6.09	919	304
	32.0	298	149	5.5	8	13	40.80	6,320	442	12.4	3.29	424	59
300x200	36.7	300	150	6.5	9	13	46.78	7,210	508	12.4	3.29	481	68
	56.8	294	200	8.0	12	18	72.38	11,300	1,600	12.5	4.71	771	160
300x300	65.4	298	201	9.0	14	18	83.36	13,300	1,900	12.6	4.77	893	189
	84.5	294	302	12.0	12	18	107.70	16,900	5,520	12.5	7.16	1,150	365
300x350	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
350x175	106.0	304	301	11.0	17	18	134.80	23,400	7,730	13.2	7.57	1,540	514
	41.4	346	174	6.0	9	14	52.68	11,100	792	14.5	3.88	611	91
350x250	49.6	350	175	7.0	11	14	63.14	13,600	984	14.7	3.95	775	112
	57.8	354	176	8.0	13	14	73.68	16,100	1,180	14.8	4.01	909	134
350x350	69.2	336	249	8.0	12	20	88.15	18,500	3,090	14.5	5.92	1,100	248
	79.7	340	250	9.0	14	20	101.50	21,700	3,650	14.6	6.00	1,280	292
	106.0	338	351	13.0	13	20	135.30	28,200	9,380	14.4	8.33	1,670	534
350x350	115.0	344	348	10.0	16	20	146.00	33,300	11,200	15.1	8.78	1,940	646
	131.0	344	354	16.0	16	20	166.60	35,300	11,800	14.6	8.43	2,050	669
	137.0	350	350	12.0	19	20	173.90	40,300	13,600	15.2	8.84	2,300	776
156.0	350	357	19.0	19	20	198.40	42,800	14,400	14.7	8.53	2,450	809	

มาตรฐานหน้าตัดเหล็กรูปพรรณH-Beam

(ที่มา: <https://naichanggroup.com/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

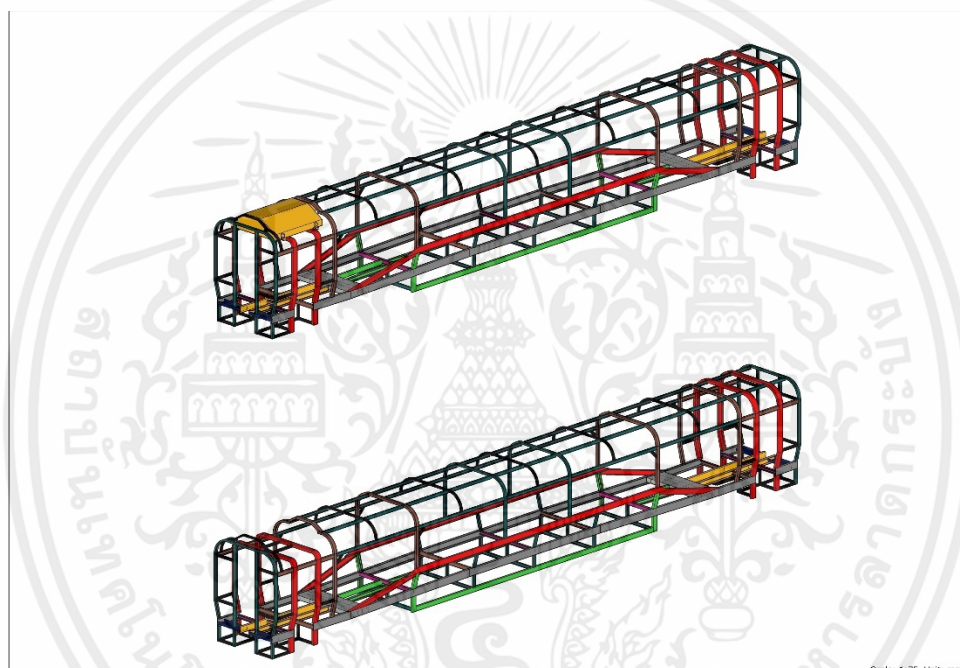
ตารางสีกำหนดชนิดของหน้าตัดเหล็กรูปพรรณที่ใช้ในSAP2000

ขนาดหน้าตัด	สีกำหนด
C75x40x6.92	Black
C100x50x9.36	Teal
C125x65x13.4	Brown
C150x75x24.0	Green
C180x75x21.4	Red
C200x90x30.3	Yellow
C250x90x34.6	Grey
C300x90x38.1	Blue
C380x100x54.5	Cyan
H100x100x17.2	Magenta

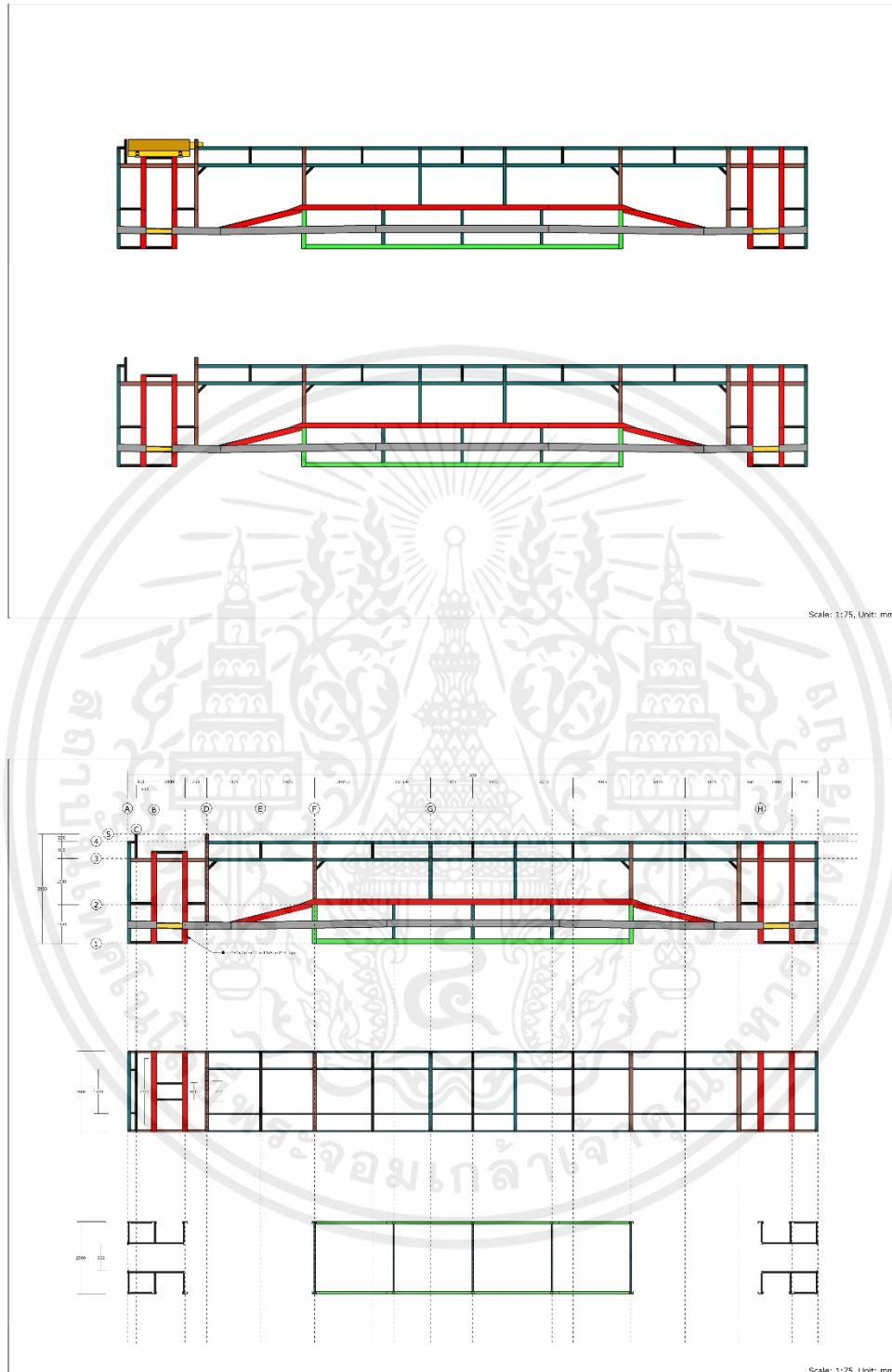
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



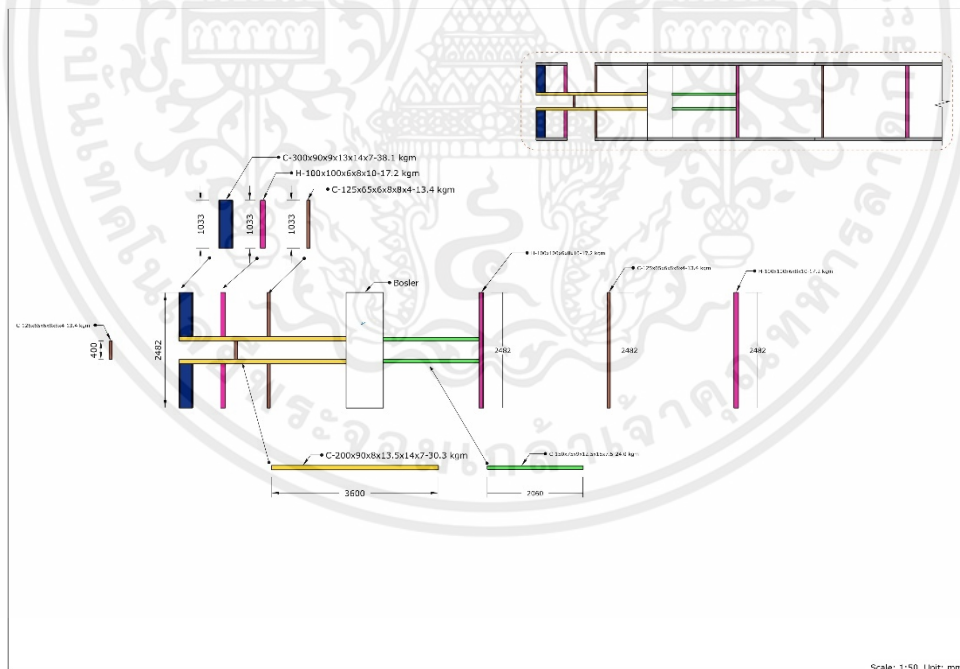
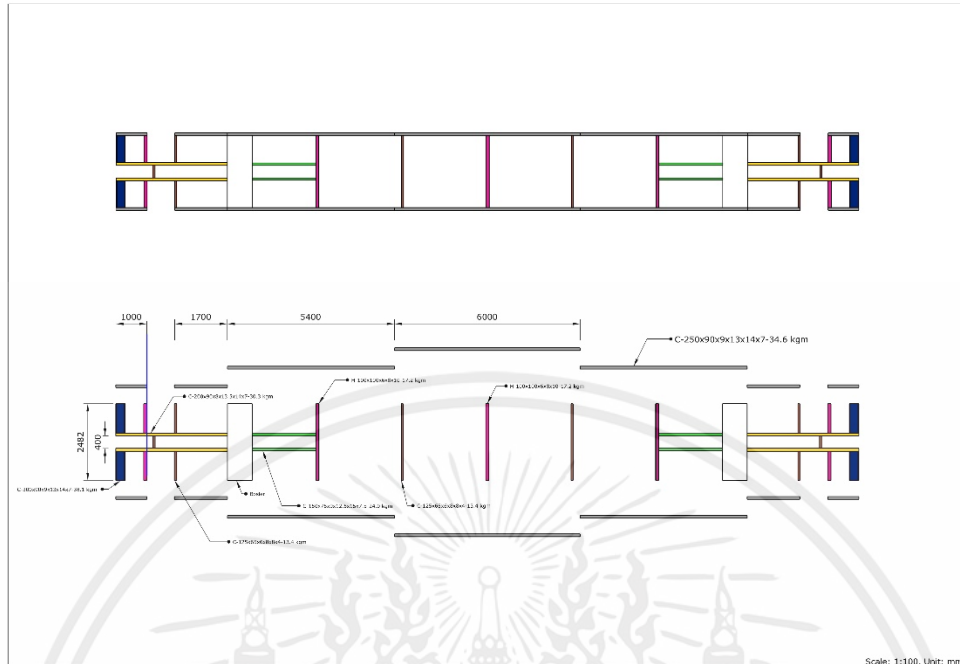
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

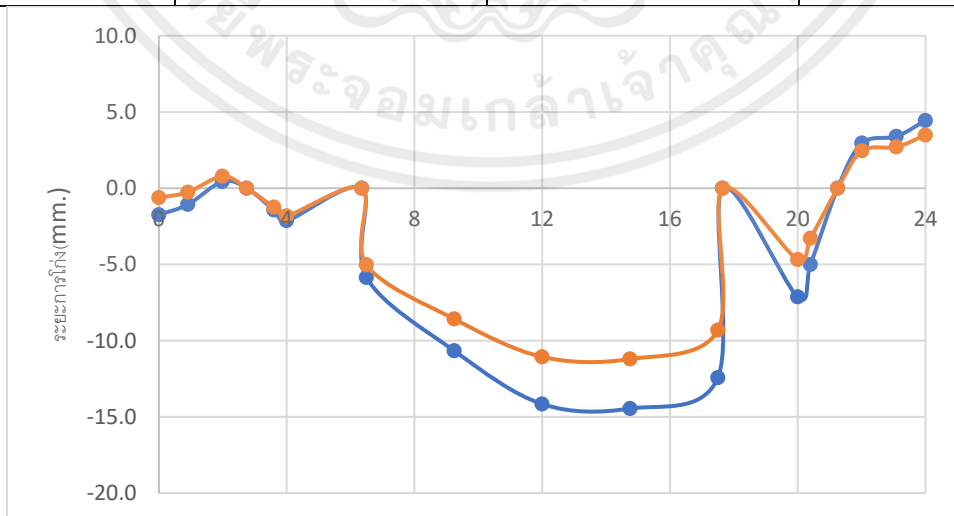


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2

ระยะการโค้งตัว

ที่ระยะ(m)	ก่อน(mm)	หลัง(mm)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
0.00	-1.8	-0.6	-64.51
0.91	-1.1	-0.3	-75.49
1.99	0.4	0.8	79.86
2.75	0.0	0.0	0.00
3.60	-1.4	-1.2	-13.31
4.00	-2.1	-1.8	-14.87
6.35(จุดรองรับ)	0.0	0.0	0.00
6.50	-5.9	-5.0	-14.20
9.25	-10.7	-8.6	-19.57
12.00	-14.2	-11.1	-21.87
14.75	-14.5	-11.2	-22.47
17.50	-12.4	-9.3	-25.05
17.65(จุดรองรับ)	0.0	0.0	0.00
20.00	-7.1	-4.7	-34.28
20.40	-5.0	-3.3	-34.37
21.25	0.0	0.0	0.00
22.01	3.0	2.4	-17.17
23.09	3.4	2.7	-20.50
24.00	4.4	3.5	-21.43

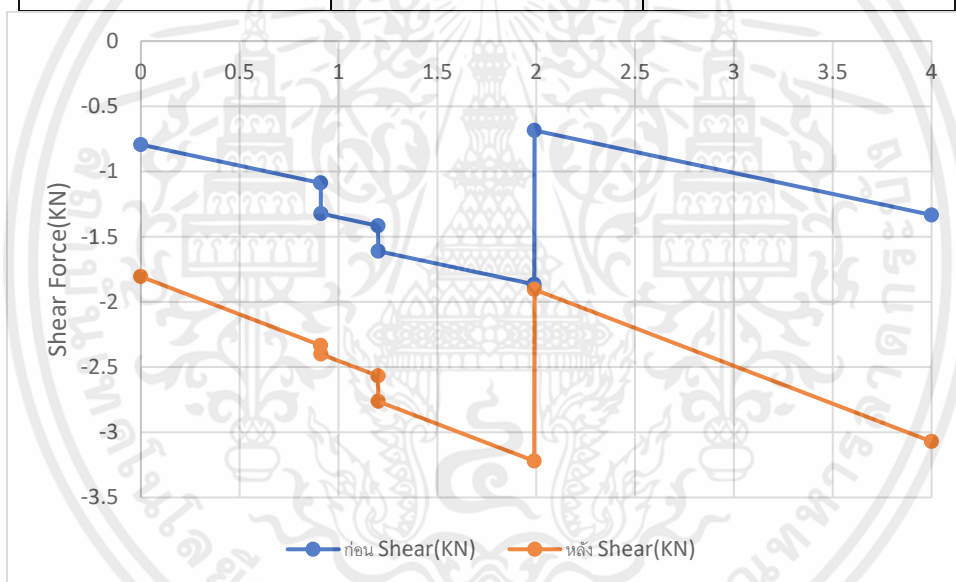


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Shear Force

โครงเหล็กช่วงที่ 1

ที่ความยาว m	ก่อน Shear(KN)	หลัง Shear(KN)
0	-0.794	-1.806
0.91	-1.088	-2.334
0.911	-1.323	-2.401
1.2	-1.417	-2.568
1.201	-1.611	-2.763
1.99	-1.866	-3.22
1.991	-0.685	-1.905
4	-1.334	-3.071

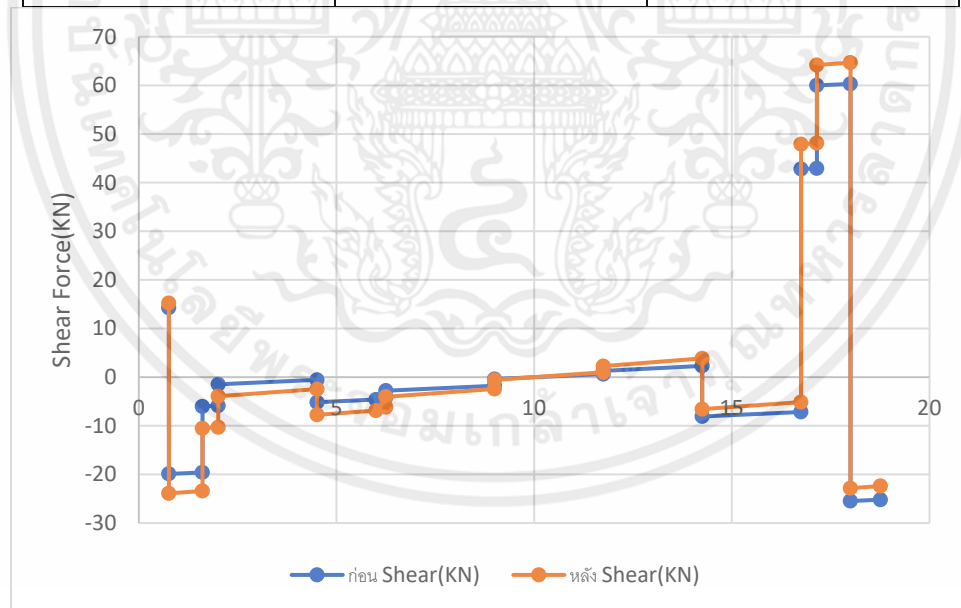


โครงเหล็กช่วงที่ 2

ที่ความยาว m	ก่อน Shear(KN)	หลัง Shear(KN)
0.76	14.281	15.224
0.761	-19.885	-23.88
1.61	-19.582	-23.397
1.611	-6.013	-10.529
2.01	-5.865	-10.298
2.011	-1.474	-3.918
4.51	-0.553	-2.468

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

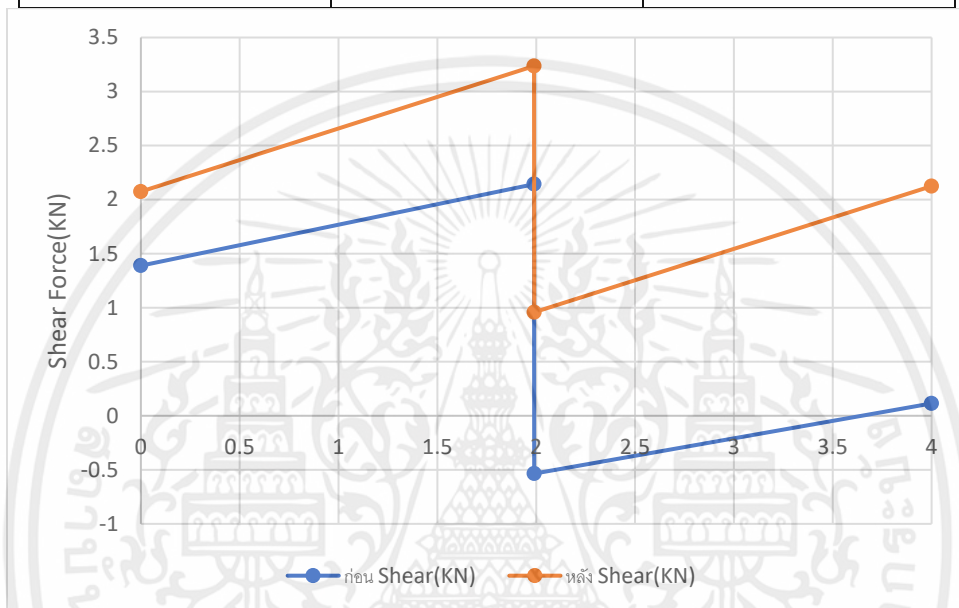
4.511	-5.158	-7.742
6	-4.608	-6.878
6.25	-4.144	-6.147
6.251	-2.776	-4.034
9	-1.762	-2.439
9.001	-0.39	-0.559
11.75	0.624	0.996
11.751	1.31	2.265
14.251	2.324	3.86
14.252	-8.072	-6.58
16.751	-7.15	-5.129
16.752	42.792	47.887
17.151	42.94	48.118
17.1511	59.989	64.185
18.001	60.302	64.678
18.002	-25.475	-22.827
18.761	-25.195	-22.387



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงเหล็กช่วงที่ 3

ที่ความยาว m	ก่อน Shear(KN)	หลัง Shear(KN)
0	1.389	2.074
1.989	2.143	3.236
1.99	-0.535	0.958
4	0.114	2.124

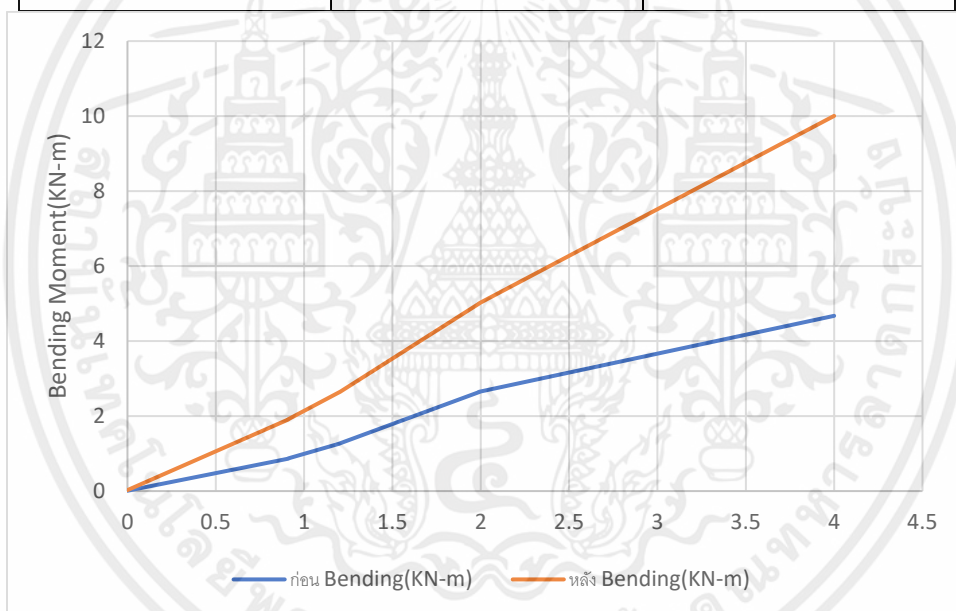


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Bending Moment

โครงเหล็กช่วงที่ 1

ที่ความยาว m	ก่อน Shear(KN)	หลัง Shear(KN)
0	0.01	0.026
0.91	0.866	1.91
0.911	0.871	1.919
1.2	1.267	2.64
1.201	1.269	2.64
1.99	2.64	4.999
1.991	2.646	5.007
4	4.674	10.006

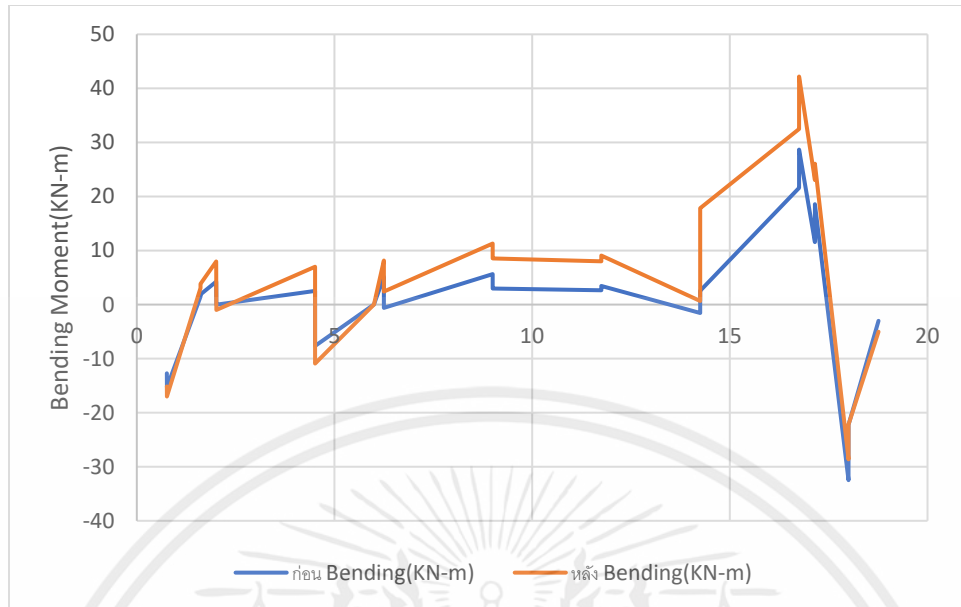


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงเหล็กช่วงที่ 2

ที่ความยาว m	ก่อน Shear(KN)	หลัง Shear(KN)
0.76	14.281	15.224
0.761	-19.885	-23.88
1.61	-19.582	-23.397
1.611	-6.013	-10.529
2.01	-5.865	-10.298
2.011	-1.474	-3.918
4.51	-0.553	-2.468
4.511	-5.158	-7.742
6	-4.608	-6.878
6.25	-4.144	-6.147
6.251	-2.776	-4.034
9	-1.762	-2.439
9.001	-0.39	-0.559
11.75	0.624	0.996
11.751	1.31	2.265
14.251	2.324	3.86
14.252	-8.072	-6.58
16.751	-7.15	-5.129
16.752	42.792	47.887
17.151	42.94	48.118
17.1511	59.989	64.185
18.001	60.302	64.678
18.002	-25.475	-22.827
18.761	-25.195	-22.387

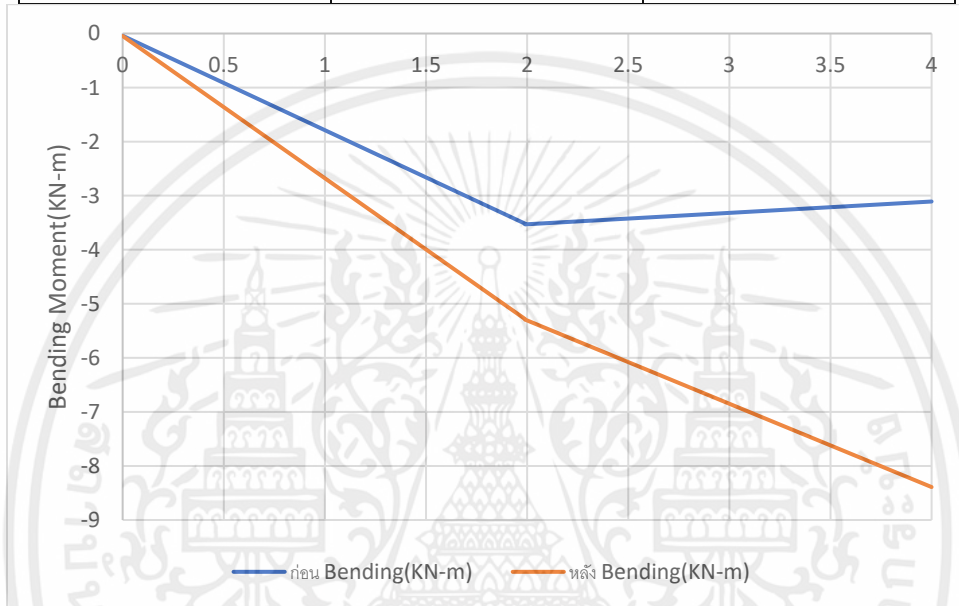
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงเหล็กช่วงที่ 3

ที่ความยาว m	ก่อน Shear(KN)	หลัง Shear(KN)
0	1.389	2.074
1.989	2.143	3.236
1.99	-0.535	0.958
4	0.114	2.124

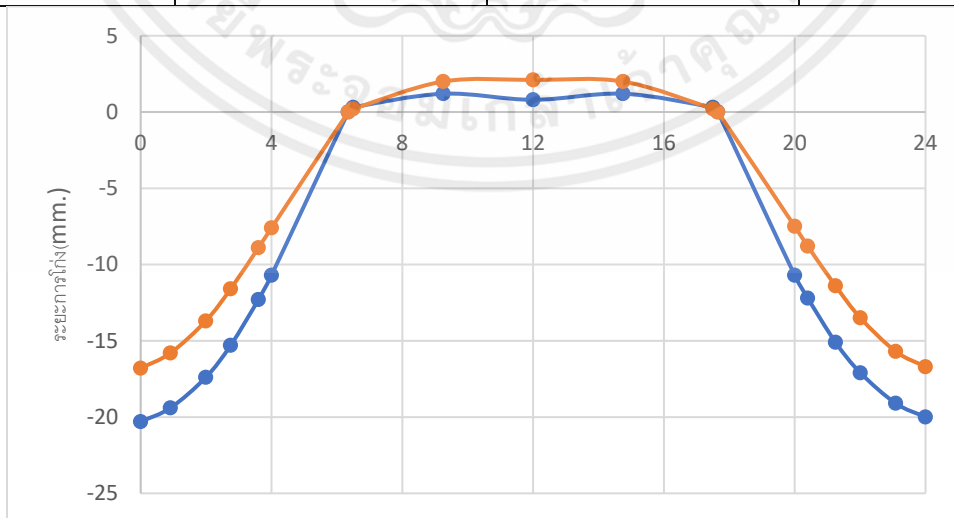


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 3

ระยะการโค้งตัว

ที่ระยะ(m)	ก่อน(mm)	หลัง(mm)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
0.00	-20.3	-16.8	-17.24
0.91	-19.4	-15.8	-18.31
1.99	-17.4	-13.7	-21.16
2.75	-15.3	-11.6	-24.66
3.60	-12.3	-8.9	-27.92
4.00	-10.7	-7.6	-29.62
6.35(จุดรองรับ)	0	0	0
6.50	0.3	-0.2	-12.94
9.25	1.2	2	61.22
12.00	0.8	2.1	154.32
14.75	1.2	2	62.02
17.50	0.3	0.2	-12.99
17.65(จุดรองรับ)	0	0	0
20.00	-10.7	-7.5	-29.62
20.40	-12.2	-8.8	-27.87
21.25	-15.1	-11.4	-24.39
22.01	-17.1	-13.5	-20.78
23.09	-19.1	-15.7	-17.96
24.00	-20	-16.7	-16.88

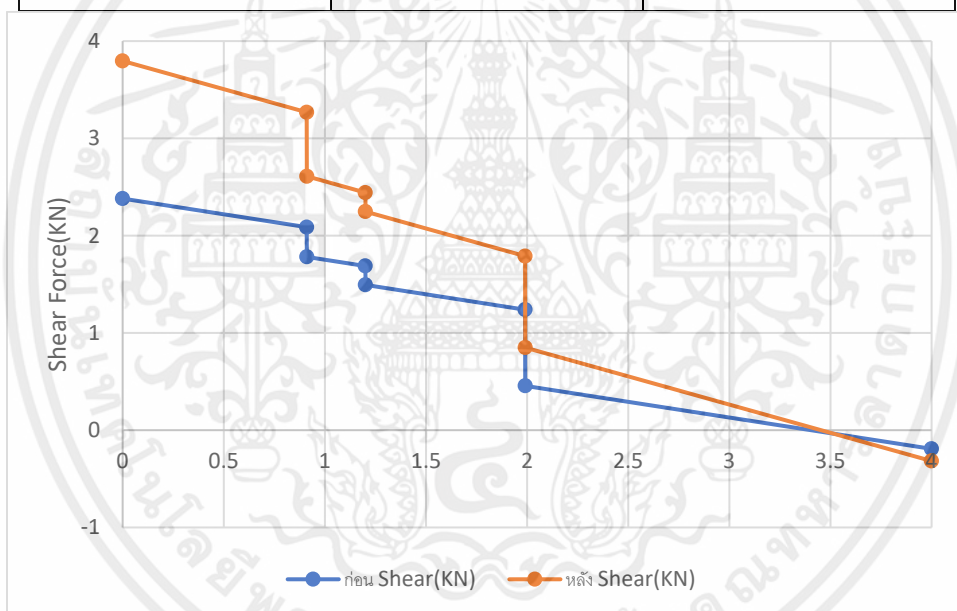


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Shear Force

โครงเหล็กช่วงที่ 1

ที่ความยาว m	ก่อน Shear(KN)	หลัง Shear(KN)
0	2.381	3.796
0.91	2.087	3.268
0.911	1.782	2.61
1.2	1.688	2.442
1.201	1.494	2.247
1.99	1.239	1.789
1.991	0.456	0.849
4	-0.192	-0.317

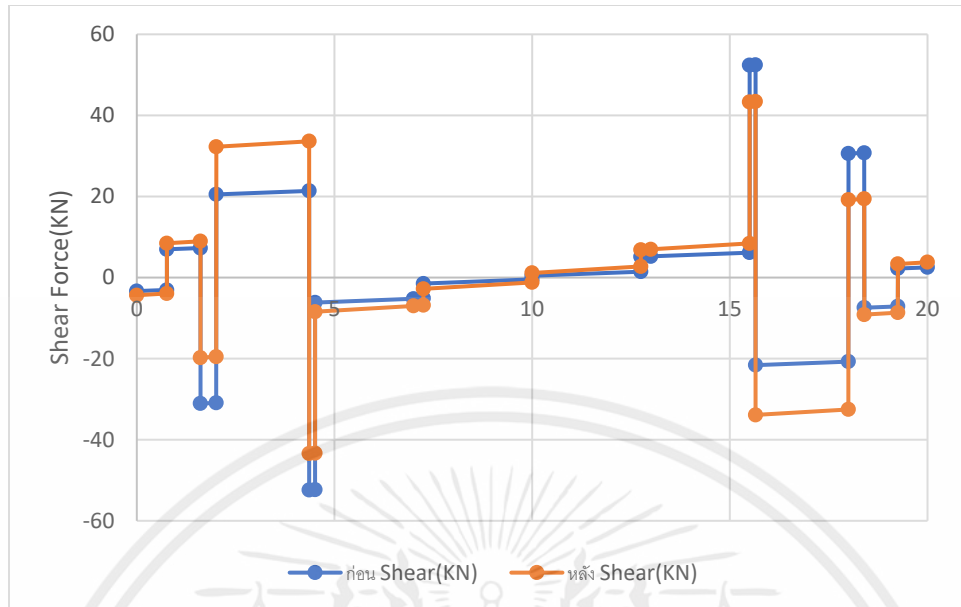


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงเหล็กช่วงที่ 2

ที่ความยาว m	ก่อน Shear(KN)	หลัง Shear(KN)
0	-3.351	-4.374
0.76	-3.071	-3.933
0.761	6.963	8.453
1.61	7.276	8.946
1.611	-31.063	-19.754
2.01	-30.916	-19.522
2.011	20.514	32.264
4.36	21.38	33.627
4.361	-52.397	-43.419
4.51	-52.342	-43.332
4.511	-6.16	-8.434
7	-5.242	-6.99
7.25	-5.146	-6.839
7.251	-1.482	-2.783
10	-0.469	-1.188
10.001	0.436	1.146
12.75	1.45	2.741
12.751	5.125	6.814
13	5.217	6.959
15.5	6.139	8.41
15.501	52.383	43.315
15.65	52.438	43.401
15.651	-21.595	-33.9
18	-20.728	-32.536
18.001	30.599	19.172
18.4	30.746	19.403
18.401	-7.429	-9.14
19.25	-7.116	-8.647
19.251	2.251	3.354
20	2.527	3.789

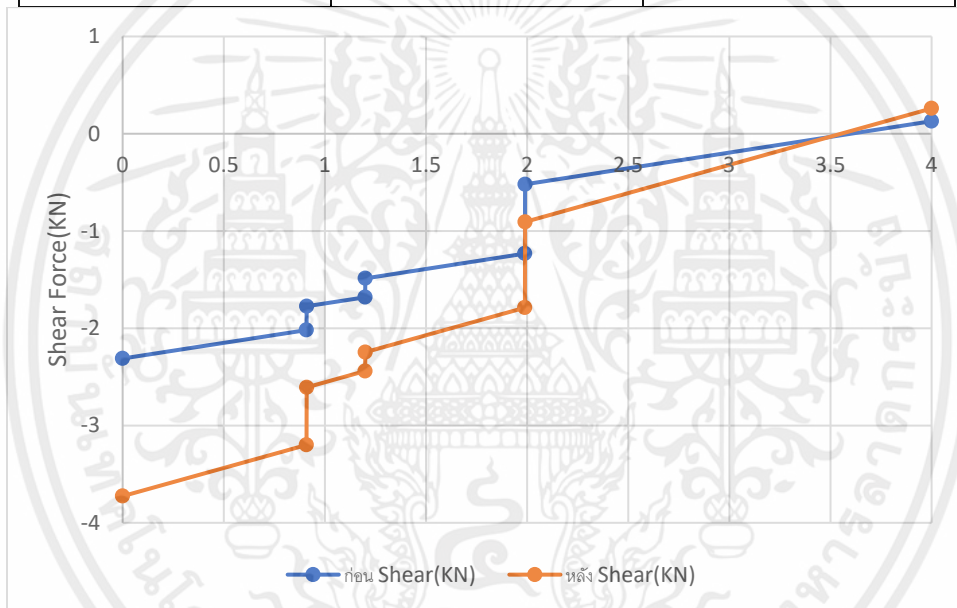
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงเหล็กช่วงที่ 3

ที่ความยาว m	ก่อน Shear(KN)	หลัง Shear(KN)
0	-2.311	-3.726
0.909	-2.018	-3.199
0.91	-1.774	-2.608
1.199	-1.681	-2.44
1.2	-1.487	-2.246
1.989	-1.232	-1.788
1.99	-0.52	-0.907
4	0.129	0.26

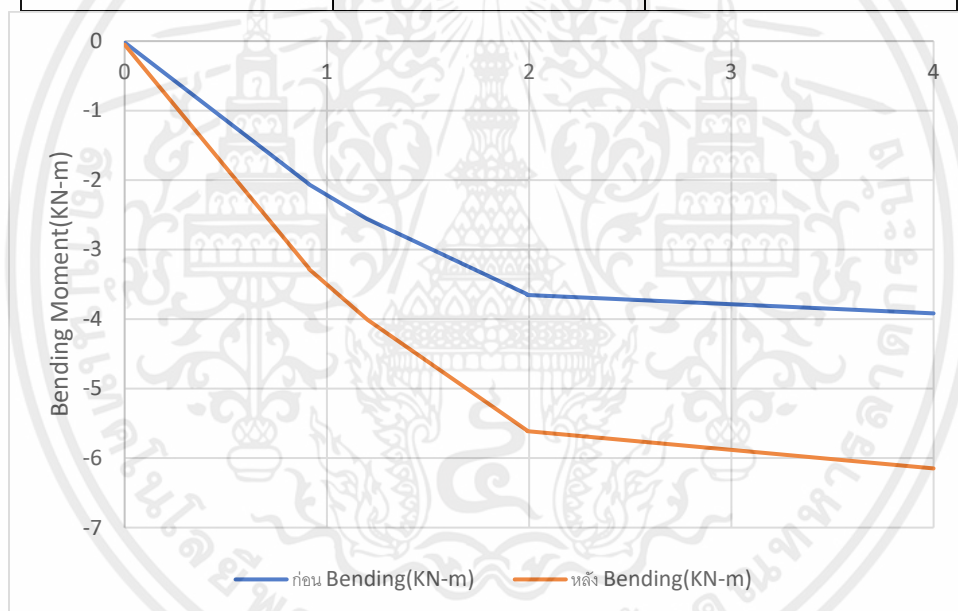


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Bending Moment

โครงเหล็กช่วงที่ 1

ที่ความยาว m	ก่อน Bending(KN-m)	หลัง Bending(KN-m)
0	-0.019	-0.0509
0.91	-2.0522	-3.2649
0.911	-2.0597	-3.2777
1.2	-2.5612	-4.0078
1.201	-2.5626	-4.01
1.99	-3.641	-5.6026
1.991	-3.6523	-5.6134
4	-3.9176	-6.1487

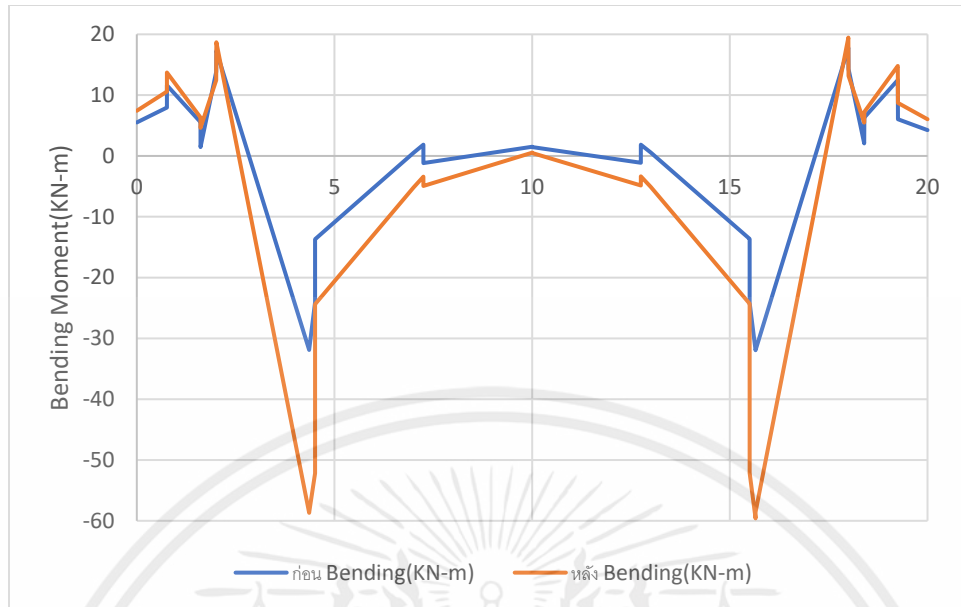


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงเหล็กช่วงที่ 2

ที่ความยาว m	ก่อน Bending(KN-m)	หลัง Bending(KN-m)
0	5.5187	7.4418
0.76	7.9592	10.5985
0.761	11.6075	13.716
1.61	5.5628	6.3302
1.611	1.4476	4.6151
2.01	13.8124	12.4508
2.011	17.2946	18.7026
4.36	-31.9098	-58.6854
4.361	-31.8575	-58.642
4.51	-24.0544	-52.1791
4.511	-13.6884	-24.3891
7	0.501	-5.1953
7.25	1.8524	-3.3962
7.251	-1.1775	-4.9295
10	1.5042	0.5285
10.001	1.4703	0.4968
12.75	-1.1217	-4.8454
12.751	1.8442	-3.3663
13	0.5567	-5.081
15.5	-13.6381	-24.2918
15.501	-24.14	-52.1392
15.65	-31.9491	-59.5995
15.651	-31.9276	-58.5658
18	17.781	19.4632
18.001	14.293	13.1677
18.4	2.0547	5.472
18.401	6.3169	7.2381
19.25	12.4916	14.789
19.251	6.037	8.7221
20	4.2473	6.0463

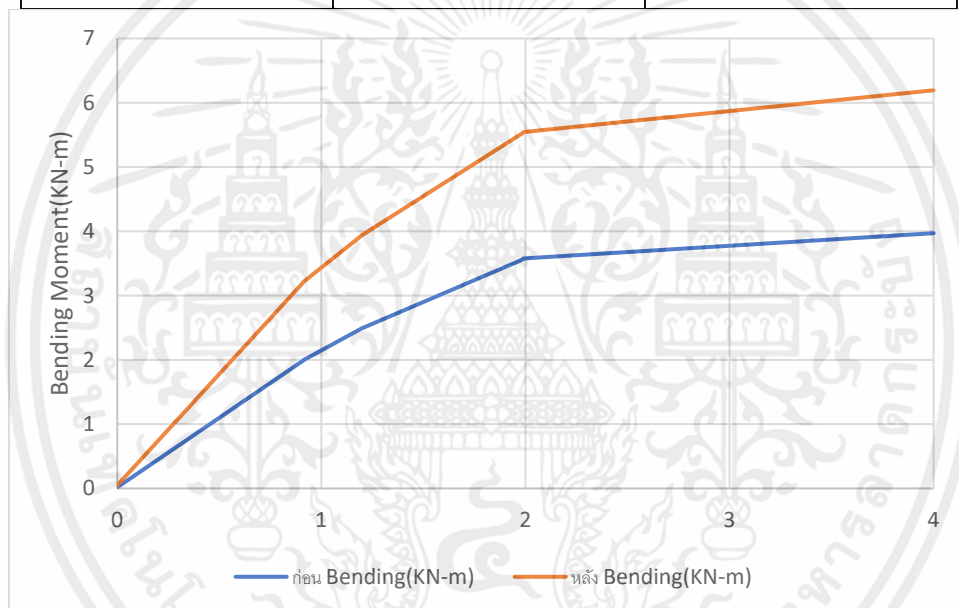
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงเหล็กช่วงที่ 3

ที่ความยาว m	ก่อน Bending(KN-m)	หลัง Bending(KN-m)
0	0.0171	0.0493
0.909	1.9845	3.1966
0.91	1.9918	3.2098
1.199	2.4911	3.9392
1.2	2.4928	3.9417
1.989	3.5655	5.5328
1.99	3.5772	5.5444
4	3.9707	6.1942



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้