



เปรียบเทียบผลตอบสนองของสะพานรถไฟเนื่องจากน้ำหนักมาตรฐาน

DL-16 และ U-20

COMPARISON OF RAILWAY BRIDGE RESPONSE SUBJECTED TO STANDARD
LOAD DL-16 AND U-20

นายจตุรสถ์	ต้อนรับ	รหัส 51363241
นายพงศ์ศิริ	อินตะวิน	รหัส 51363319
นายเพชร	ศรีสุโพธิ์	รหัส 51363326

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 23/10/2555
เลขทะเบียน..... 15939150
เลขเรียกหนังสือ..... ผ.ร.
มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ ๑ 1582

2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ
ปีการศึกษา 2554



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ	การเปรียบเทียบผลตอบสนองของสะพานรถไฟเนื่องจากน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 และ U-20		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายจตุรศ	ต้อนรับ	รหัส 51363241
	นายพงศิรี	อินตะวิน	รหัส 51363319
	นายพชร	ศรีสุโพธิ์	รหัส 51363326
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.ปฤษฎัทส์	คีตะปิ่นย	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี		
ปีการศึกษา	2554		

.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร.ปฤษฎัทส์ คีตะปิ่นย)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร. สสสิกรณ์ เหลืองวิชเจริญ)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การเปรียบเทียบผลตอบสนองของสะพานรถไฟเนื่องจากน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 และ U-20		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายจตุรศ	ต้อนรับ	รหัส 51363241
	นายพงศ์ศิริ	อินตะวิน	รหัส 51363319
	นายเพชร	ศรีสุโพธิ์	รหัส 51363326
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.ปฤษฎัง	คีตะปิ่นย	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร		
ปีการศึกษา	2554		

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบเคลื่อนที่ได้ อาทิเช่น โครงสร้างสะพาน ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของแรงหรือน้ำหนักกระทำ จะทำให้ผลตอบสนองทางโครงสร้าง เช่น แรงปฏิกิริยา แรงเฉือน โมเมนต์ดัด ในแต่ละส่วนของโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งของน้ำหนักบรรทุกนั้นกระทำ ฉะนั้นจึงมีความจำเป็นต้องวิเคราะห์หาตำแหน่งของแรงกระทำบนโครงสร้างที่ทำให้เกิดค่าสูงสุดที่แท้จริง โดยใช้ความรู้ในเรื่องของ แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด มาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานดังกล่าว

โครงการนี้จึงเป็นการการศึกษา พฤติกรรมของโครงสร้าง เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน DL-16 และน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U20 เคลื่อนที่บนโครงสร้าง คานช่วงเดี่ยวธรรมดา มีความยาว 5 เมตร 10 เมตร 15 เมตร 20 เมตร 30 เมตร และ 50 เมตร มุ่งสนใจ ผลตอบสนองทางโครงสร้าง ที่เกิดจากรูปแบบน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน ทั้ง 2 แบบ ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร จำเป็นต้องวิเคราะห์หาตำแหน่งของแรงกระทำบนโครงสร้างที่ทำให้เกิดค่าสูงสุดของแรงปฏิกิริยา แรงเฉือน โมเมนต์ดัด เพื่อทำการเปรียบเทียบว่ามีความแตกต่างหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสะพานทางรถไฟในการดำเนินงานได้ใช้โปรแกรม SAP2000 เพื่อให้โปรแกรมวิเคราะห์หาผลตอบสนองทางโครงสร้าง

จากการศึกษา พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างมากที่สุดคือ น้ำหนักที่กระทำเป็นจุด(Point Load) ซึ่งจะทำให้โครงสร้างเกิดแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดขึ้นสูงมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักแผ่กระจาย(Uniform Load) เป็นผลเนื่องน้ำหนักกระทำแบบจุดมีค่ามากกว่าน้ำหนักแบบแผ่กระจาย และนอกจากนี้ยังทำให้ทราบถึงลักษณะของการจัดวางน้ำหนักกระทำที่ทำให้เกิดแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงสุดในสะพานแต่ละความยาวที่กำหนดไว้ ผลจากการศึกษายังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบจริงเพื่อลดระยะเวลาในการออกแบบได้อีกไม่มากนักด้วย

Project title Comparison of Railway Bridge Response Subjected to Standard Load DL-16 and U-20

Name Mr.Chaturot Tonrab ID. 51363241
 Mr.Pongsiri Intawin ID. 51363319
 Mr.Patchara Srisupoh ID. 51363326

Project advisor Dr. Pritsathat Seetapan

Major Civil Engineering

Department Civil Engineering

Faculty of Engineering Naresuan University

Academic year 2011

.....

Abstract

Analyzing the strength of the ability of objects that can support load of moving load such as the structure of the bridge. The changing of load or load pattern are effect some of the objects response. such as, reaction, shear force, bending moment in each parts of the structure has changed following the position of any loading. So, it is necessary to analyze the position of the force of each structure that appear the most value by using the knowledge of shear force and bending moment to apply for this study.

This project has studied the structure's behavior when the standard load is DL-16 and standard load of U-20 are moving on the structure. The bridge girder has the length of 5 meters, 10 meters, 15 meters, 20 meters, 30 meters and 50 meters. We are focus on the responding of the structure the made up of both standard loading and how those two loading are different. For studying those objective we need to find the right position of equivalent load that make the most of shear force and bending moment to compare the different or the reaction that effect the rail way by using SAP2000 program.

Study results indicated that the motivation factor are the point load that cause high value of shear force and bending moment when compare with uniform load. It is because of the point load is heavier that uniform load. Moreover the study found the way of balance loading that make the most shear force and bending moment. The study result can be apply to use for building the real structure so that we can use less period of time design the project.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.ปฤษฎัศว์ ศีตะปิ่นย์
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่กรุณาให้คำชี้แนะ ตลอดจน
คำอธิบายต่างๆเกี่ยวกับรูปแบบโครงงาน และเอกสารอ้างอิงที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินงาน
เพื่อนำมาปฏิบัติและแก้ไขโครงงานให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจนสามารถเขียนรายงานฉบับนี้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ได้ส่งเสริม แนะนำแนวทางอันเป็น
ประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงงานในวันนำเสนอโครงงานของนิสิต

ท้ายสุดนี้คณะผู้จัดทำขอขอบคุณบิดามารดา และคณาจารย์ ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือ
ให้ความรู้ตลอดมาจนจบการศึกษา และความดีอันเกิดจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้เขียนขอมอบแต่
บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ผู้เขียนมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดีเยี่ยมจากทุก
ท่านที่ได้กล่าวนามมา และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม

นายจตุรศ ต้อนรับ

นายพงศ์ศิริ อินตะวิน

นายเพชร ศรีสุโพธิ์

มีนาคม 2554



สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.2 แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด.....	4
2.1.1 น้ำหนักบรรทุกจร (Live load).....	4
2.1.2 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead load).....	5
2.2 แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด.....	6
2.2.1 ชนิดของคานตีเทอรัมีเนท.....	6
2.2.2 พฤติกรรมการรับแรงของคานตีเทอรัมีเนท.....	7
2.2.3 เครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรง.....	8
2.2.4 การคำนวณหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในคานตีเทอรัมีเนท.....	10
2.2.5 การเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	24
3.1 ขอบเขตของการศึกษา.....	24
3.2 กรณีศึกษา.....	24
3.3 การศึกษาทฤษฎีและเนื้อหา.....	84
3.3.1 รายละเอียดการติดตั้งโปรแกรม.....	25
3.3.2 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม.....	30
3.3.3 ขั้นตอนการจำลอง model สะพานทางรถไฟ.....	34
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์.....	38
4.1 บทนำ.....	38
4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง.....	39
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงการและข้อเสนอแนะ.....	84
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ.....	84
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	87
เอกสารอ้างอิง.....	89
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.16 แสดงค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในแต่ละช่วงคาน และ แสดงแรงเฉือนสูงสุด และโมเมนต์ดัดสูงสุด ในคาน B4.....	79
4.17 แสดงค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในแต่ละช่วงคาน และ แสดงแรงเฉือนสูงสุด และโมเมนต์ดัดสูงสุด ในคาน B5.....	80
4.18 แสดงค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในแต่ละช่วงคาน และ แสดงแรงเฉือนสูงสุด และโมเมนต์ดัดสูงสุด ในคาน B6.....	81
5.1 แสดงรูปแบบของน้ำหนักมาตรฐานที่กระทำต่อโครงสร้างที่ทำให้เกิดแรงเฉือนสูงสุด และโมเมนต์ดัดสูงสุด.....	84
5.2 แสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U-20 และน้ำหนักบรรทุกมาตรฐานDL-16.....	86
5.3 แสดงโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในคานทั้ง 6 เบอร์ที่ความหนาพื้นต่างๆของพื้นชนิด Shell-Thin และ Cardinal Point แบบ Top Center.....	87
5.4 แสดงผลเปรียบเทียบโมเมนต์ดัด ระหว่างพื้นแบบ Shell-Thin และ Plate-Thin.....	88



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สะพานรถไฟ.....	4
2.2 รูปแบบน้ำหนักรมาตรฐาน DL-16.....	4
2.3 รูปแบบน้ำหนักรมาตรฐาน U-20.....	5
2.4 แสดงคานช่วงเดียวธรรมดา.....	6
2.5 แสดงคานยื่น.....	7
2.6 แสดงคานช่วงเดียวปลายยื่น.....	7
2.7 แสดงพฤติกรรมการรับแรงของคาน.....	7
2.8 แสดงแรงภายในคานดีเทอร์มิเนท.....	8
2.9 แสดงเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงในแนวแกน.....	9
2.10 แสดงเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงเฉือน.....	9
2.11 แสดงเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนโมเมนต์ดัด.....	9
2.12 แสดงลักษณะแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด.....	10
2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก แรงเฉือน และโมเมนต์ดัด.....	11
2.14 แสดงการเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด.....	13
3.1 แสดงการเลือก Model คานช่วงเดียว.....	31
3.2 แสดงน้ำหนักรมาตรฐาน DL-16 และ U-20 กระทำบนคานช่วงเดียว.....	31
3.3 แสดงผลวิเคราะห์โครงสร้างจากโปรแกรม sap2000.....	32
3.4 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของโปรแกรมเป็นตาราง.....	32
3.5 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างในโปรแกรม Microsoft Excel.....	33
3.6 แสดงเก็บค่าโมเมนต์ดัด และ แรงเฉือน ที่มากที่สุดในทุกๆช่วงความยาวคาน.....	33
3.7 การนำค่าของโมเมนต์ดัด และ แรงเฉือนที่มากที่สุด ของ U-20 และ DL-16 มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง.....	34
3.8 แสดงการสร้าง gridline เพื่อเป็นแนวในการวาง model	35
3.9 แสดงการจำลอง หน้าตัดรูปตัวไอ.....	35
3.10 แสดง model รูปแบบของสะพาน.....	36
3.11 แสดงการกำหนด ลักษณะของน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U-20.....	36
3.12 แสดงน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U-20 (U1-U17) มาเคลื่อนที่บนสะพาน.....	37
3.13 แสดง โมเมนต์ดัดในพื้นและคาน.....	37
4.1 กราฟแสดงแรงเฉือนสูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้ สำหรับ ช่วงคาน 5 เมตร.....	49
4.2 กราฟแสดงโมเมนต์สูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้ สำหรับ ช่วงคาน 5 เมตร.....	49

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 กราฟแสดงแรงเฉือนสูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้ สำหรับ ช่วงคาน 10 เมตร.....	50
4.4 กราฟแสดงโมเมนต์สูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้ สำหรับ ช่วงคาน 10 เมตร.....	50
4.5 กราฟแสดงแรงเฉือนสูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้ สำหรับ ช่วงคาน 15 เมตร.....	51
4.6 กราฟแสดงโมเมนต์สูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้ สำหรับ ช่วงคาน 15 เมตร.....	51
4.7 กราฟแสดงแรงเฉือนสูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้ สำหรับ ช่วงคาน 20 เมตร.....	52
4.8 กราฟแสดงโมเมนต์สูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้ สำหรับ ช่วงคาน 20 เมตร.....	52
4.9 กราฟแสดงแรงเฉือนสูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้ สำหรับ ช่วงคาน 30 เมตร.....	53
4.10 กราฟแสดงโมเมนต์สูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้ สำหรับ ช่วงคาน 30 เมตร.....	53
4.11 กราฟแสดงแรงเฉือนสูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้ สำหรับ ช่วงคาน 50 เมตร.....	54
4.12 กราฟแสดงโมเมนต์สูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้ สำหรับ ช่วงคาน 50 เมตร.....	54
4.13 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U1.....	55
4.13.1 แสดงลักษณะ Load patterns U1.....	55
4.14 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U2.....	56
4.14.1 แสดงลักษณะ Load patterns U2.....	56
4.15 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U3.....	57
4.15.1 แสดงลักษณะ Load patterns U3.....	57
4.16 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U4.....	58
4.16.1 แสดงลักษณะ Load patterns U4.....	58
4.17 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U5.....	59
4.17.1 แสดงลักษณะ Load patterns U5.....	59
4.18 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U6.....	60
4.18.1 แสดงลักษณะ Load patterns U6.....	60
4.19 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U7.....	61
4.19.1 แสดงลักษณะ Load patterns U7.....	61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U8.....	62
4.20.1 แสดงลักษณะ Load patterns U8.....	62
4.21 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U9.....	63
4.21.1 แสดงลักษณะ Load patterns U9.....	63
4.22 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U10.....	64
4.22.1 แสดงลักษณะ Load patterns U10.....	64
4.23 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U11.....	65
4.23.1 แสดงลักษณะ Load patterns U11.....	65
4.24 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U12.....	66
4.24.1 แสดงลักษณะ Load patterns U12.....	66
4.25 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U13.....	67
4.25.1 แสดงลักษณะ Load patterns U13.....	67
4.26 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U14.....	68
4.26.1 แสดงลักษณะ Load patterns U14.....	68
4.27 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U15.....	69
4.27.1 แสดงลักษณะ Load patterns U15.....	69
4.28 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U16.....	70
4.28.1 แสดงลักษณะ Load patterns U16.....	70
4.29 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U17.....	71
4.29.1 แสดงลักษณะ Load patterns U17.....	71
4.30 แสดง Model โครงสร้าง สะพานทางรถไฟ ที่มีช่วงยาว 20 เมตร.....	72
4.31 แสดง Model โครงสร้าง สะพานทางรถไฟ ที่มีช่วงยาว 20 เมตร.....	72
4.32 แสดง Model โครงสร้าง สะพานทางรถไฟ ที่มีช่วงยาว 20 เมตร.....	73
4.33 รูปแสดงลักษณะ Load patterns U17 (3D).....	75
4.34 รูปแสดงลักษณะ Load patterns U17 (2D).....	75
4.35 รูปแสดงลักษณะ Load patterns U9 (3D).....	76
4.36 รูปแสดงลักษณะ Load patterns U9 (2D).....	76
4.37 กราฟแสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดสูงสุดสำหรับคานความยาว 20 เมตร.....	82
4.38 กราฟแสดงการกระจายตัวของแรงเฉือนสูงสุดสูงสุดสำหรับคานความยาว 20 เมตร.....	83
5.1 แสดงเป็นขอบเขตของค่าโมเมนต์โดยแบ่งช่วงเป็นสี่ต่างๆ.....	87
5.2 แสดงภาพจำลองสะพานทางรถไฟและลำดับการถ่ายน้ำหนัก.....	88

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการทำโครงการ

ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนา ให้ก้าวไปสู่ความเจริญในอนาคตมีการก่อสร้างเพื่อปรับโครงสร้างพื้นฐานของประเทศอย่างมากมาย ระบบขนส่งมวลชนเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่รัฐบาลพยายามปรับปรุง และพัฒนามาโดยตลอด โครงการพัฒนาทางรถไฟรางเดี่ยวเป็นทางรถไฟรางคู่เป็นหนึ่งในโครงการทำให้ระบบขนส่งก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น

เนื่องจากโครงการรถไฟรางคู่ของรัฐบาลรางและสะพานทางรถไฟเดิมที่มีอยู่ถูกออกแบบด้วยน้ำหนักรถไฟมาตรฐาน DL-16 แต่การสร้างรางและสะพานทางรถไฟใหม่ในอนาคต ที่จะสร้างมาคู่กับรางเดิม จะถูกออกแบบด้วยน้ำหนักรถไฟมาตรฐาน U-20 การเปลี่ยนน้ำหนักมาตรฐานของรถไฟส่งผลต่อการรับน้ำหนักที่ต่างกันของสะพานทางรถไฟใหม่กับสะพานทางรถไฟเดิม

การวิเคราะห์โครงสร้างสะพานรถไฟจะวิเคราะห์เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกแบบเคลื่อนที่ (Moving Load) น้ำหนักรถไฟวิ่งจากต้นสะพานไปยังปลายสะพาน น้ำหนักของรถไฟเปรียบเสมือนน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ การเปลี่ยนตำแหน่งของแรงหรือน้ำหนักกระทำ จะทำให้เกิดผลตอบสนองทางโครงสร้าง (Response of a structure) เช่น แรงปฏิกิริยา (Reaction) แรงเฉือน (Shear) โมเมนต์ดัด (Bending Moment) และการโก่งตัว (Deflection) ในแต่ละส่วนของโครงสร้างเปลี่ยนไป ฉะนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนน้ำหนักมาตรฐาน ที่จะนำมาออกแบบจากน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน DL-16 มาเป็นน้ำหนักมาตรฐาน U-20 จึงมีความจำเป็นต้องวิเคราะห์หาตำแหน่งของแรงกระทำบนโครงสร้างที่ทำให้เกิดค่าสูงสุดของแรงปฏิกิริยาแรงเฉือน โมเมนต์ดัดรวมถึงหาค่าสูงสุดของแรงปฏิกิริยาแรงเฉือน โมเมนต์ดัดด้วยเพื่อทำการเปรียบเทียบว่ามีความแตกต่างหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสะพานทางรถไฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน DL-16 และ น้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U-20 ตามการแบ่งช่วงความยาวของสะพานที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งสะพานที่ทำการวิเคราะห์จะมีความยาวช่วงสะพานดังนี้ 5, 10, 15, 20, 30 และ 50 เมตร สะพานที่ทำการวิเคราะห์เป็นสะพานชนิดสะพานช่วงเดียว ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงคิดทำโครงการนี้เพื่อศึกษาหาผลตอบสนองทางโครงสร้าง เมื่อมีน้ำหนักบรรทุก ทั้ง 2 ประเภท เคลื่อนที่ผ่าน โดยใช้โปรแกรม SAP2000 ในการแสดงผลตอบสนองทางโครงสร้างให้เห็นออกมาในรูปแบบ หลังจากสามารถหาตำแหน่งและค่าผลตอบสนองสูงสุดได้ ค่าดังกล่าวจะนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้าง ช่วยลดขั้นตอนวิเคราะห์คำนวณออกแบบสะพานทางรถไฟได้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อหาตำแหน่งและค่าผลตอบสนอง (แรงปฏิกิริยา แรงเฉือน โมเมนต์ดัด) สูงสุดของสะพานทางรถไฟ และเปรียบเทียบความแตกต่าง ผลตอบสนองเนื่องจากน้ำหนักมาตรฐาน DL-16และน้ำหนักมาตรฐานU-20ในแต่ละช่วงความยาว
- 1.2.2 เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่เกิดจากการกระจายตัวของโมเมนต์ในพื้นที่และคาน
- 1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองโครงสร้างระหว่าง 2 มิติและ 3 มิติ
- 1.2.4 เพื่อให้รู้จักการนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (SAP 2000) มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์คำนวณผลตอบสนอง ของสะพานทางรถไฟ

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 สามารถหาตำแหน่งและค่าผลตอบสนอง (แรงปฏิกิริยา แรงเฉือน โมเมนต์ดัด) สูงสุดของสะพานทางรถไฟเนื่องจากน้ำหนักมาตรฐาน DL-16และน้ำหนักมาตรฐานU-20ในแต่ละช่วงความยาว
- 1.3.2 สามารถทราบผลเปรียบเทียบความแตกต่าง ผลตอบสนองของสะพานรถไฟเนื่องจากน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 และน้ำหนักมาตรฐาน U-20ในแต่ละช่วงความยาว
- 1.3.3 มีความรู้ ความเข้าใจ ในการวิเคราะห์โครงสร้าง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มากขึ้น
- 1.3.4 สามารถนำผลตอบสนอง (แรงปฏิกิริยา แรงเฉือน โมเมนต์) ที่มากที่สุด ในแต่ละช่วงความยาวมาใช้ในการวิเคราะห์ คำนวณออกแบบสะพานต่อไปได้

1.4 ขอบเขตการดำเนินโครงการ

โครงการนี้มุ่งเน้น เรื่อง การวิเคราะห์โครงสร้าง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกของรถไฟ คือ

1. น้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน DL-16
2. น้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U-20

เคลื่อนที่บนโครงสร้างอย่างง่าย คือ คานช่วงเดียวธรรมดา (Simple Supported Beam) ใช้รูปแบบน้ำหนักบรรทุกมาตรฐานกระทำบนคานช่วงเดียว ค่อยๆขยับรูปแบบน้ำหนักบรรทุกมาตรฐานจากต้นสะพานไปยังปลายสะพาน ช่วงความยาวคาน 5,10,15,20,30 และ 50 เมตร โดยใช้โปรแกรม SAP 2000 ช่วยให้ง่ายต่อ การวิเคราะห์ และ แสดงผลลัพธ์ของผลตอบสนอง

ในการวิเคราะห์โครงสร้าง มุ่งสนใจ

1. ค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรับ
2. ค่าแรงเฉือนใกล้ฐานรองรับ
3. ค่าโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางคาน

เนื่องจากค่าผลตอบสนองทางโครงสร้าง ณ จุดดังกล่าวเป็นจุดวิกฤตของโครงสร้าง

1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

- 1.5.1 ปรึกษาอาจารย์ เพื่อกำหนดหัวข้อและขอบเขตของโครงการ
- 1.5.2 ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในโครงการ
- 1.5.3 ศึกษาข้อมูลที่ค้นคว้า
- 1.5.4 ใช้โปรแกรม SAP2000 จำลองคานสะพาน มีน้ำหนักบรรทุกมาตรฐานกระทำ เป็นแต่ละกรณีจากต้นสะพานไปยังปลายสะพาน
- 1.5.5 ให้โปรแกรมSAP2000 แสดงผลลัพธ์จากการวิเคราะห์โครงสร้าง
- 1.5.6 จัดการข้อมูลผลตอบสนองต่างๆทางโครงสร้าง และ ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล
- 1.5.7 แก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาด
- 1.5.8 วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมวิเคราะห์
- 1.5.9 สรุปผลการดำเนินโครงการ
- 1.5.10 จัดลำดับหัวข้อและเนื้อหา
- 1.5.11 จัดรูปเล่มรายงาน
- 1.5.12 ปรับปรุงรูปเล่มรายงาน

1.6 รายละเอียดงบประมาณของโครงการ

1.6.1 ค่าจ้างถ่ายเอกสารและจัดทำรูปเล่ม	เป็นเงิน	1,500	บาท
1.6.2 ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์	เป็นเงิน	1,000	บาท
1.6.3 ค่าวัสดุสำนักงาน	เป็นเงิน	500	บาท
	รวมค่าใช้จ่าย	3,000	บาท
		(สามพันบาทถ้วน)	

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

การวิเคราะห์โครงสร้างโดยทั่วไป จะเป็นโครงสร้างที่รับน้ำหนักแบบสถิตย์ (Static Load) ซึ่งกระทำอยู่กับที่ แต่ในบางกรณีโครงสร้าง เช่น โครงข่อแข็ง โครงข่อหมุน ต้องรับน้ำหนักบรรทุกแบบเคลื่อนที่ได้ (Moving Load) เช่น สะพานรถไฟ ดังรูป 2.1 น้ำหนักของรถไฟเปรียบเสมือนน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ การเปลี่ยนตำแหน่งของแรงหรือน้ำหนักกระทำ จะทำให้เกิดผลตอบสนองทางโครงสร้าง (Response of a structure) เช่น แรงปฏิกิริยา (Reaction) แรงเฉือน (Shear) โมเมนต์ดัด (Bending Moment) และการโก่งตัว (Deflection) ในแต่ละส่วนของโครงสร้างเปลี่ยนไป ฉะนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนน้ำหนักมาตรฐาน ที่จะนำมาออกแบบจากน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน DL-16 ดังรูป 2.2 มาเป็นน้ำหนักมาตรฐาน U-20 ดังรูป 2.3 จึงมีความจำเป็นต้องวิเคราะห์หาตำแหน่งของแรงกระทำบนโครงสร้างที่ทำให้เกิดค่าสูงสุดของแรงปฏิกิริยาแรงเฉือน โมเมนต์ดัดรวมถึงหาค่าสูงสุดของแรงปฏิกิริยาแรงเฉือน โมเมนต์ดัดด้วยเพื่อทำการเปรียบเทียบว่ามีความแตกต่างหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสะพานทางรถไฟ โดยที่การวิเคราะห์จะมีความยาวช่วงสะพานดังนี้ 5 ,10,15,20,30 และ 50 เมตร สะพานที่ทำการวิเคราะห์เป็นสะพานชนิดสะพานช่วงเดียว

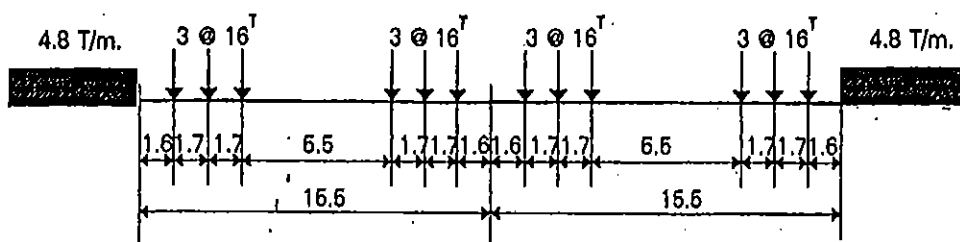


รูปที่ 2.1 สะพานรถไฟ

2.1 รูปแบบน้ำหนัก

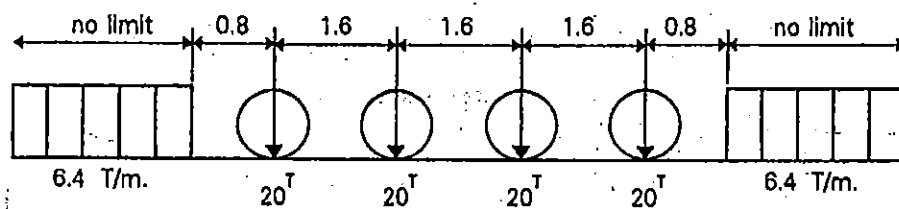
2.1.1 น้ำหนักบรรทุกจร (Live load)

2.1.1.1 น้ำหนักมาตรฐาน DL-16 เป็นน้ำหนักมาตรฐานที่การรถไฟกำหนดให้ใช้สำหรับทางรถไฟที่มีอยู่เดิมเมื่อเปลี่ยนสภาพใหม่ หรือเสริมความมั่นคงสะพาน ได้อนุมัติใช้เมื่อปี พ.ศ. 2529



รูปที่ 2.2 รูปแบบน้ำหนักมาตรฐาน DL-16

2.1.1.2 น้ำหนักมาตรฐาน U-20 เป็น น้ำหนักเพลาแบบที่ประเทศในทวีปยุโรปใช้กัน การรถไฟฯ ได้อนุมัติเมื่อปี พ.ศ. 2523 ให้ใช้กับการคำนวณออกแบบสะพานรถไฟสำหรับทางสายที่จะสร้างใหม่



รูปที่ 2.3 รูปแบบน้ำหนักมาตรฐาน U-20

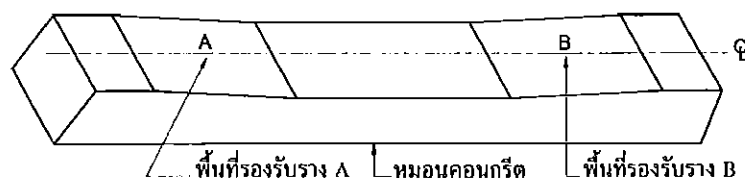
2.1.2 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead load)

2.1.2.1 หินคลุก (Ballast)



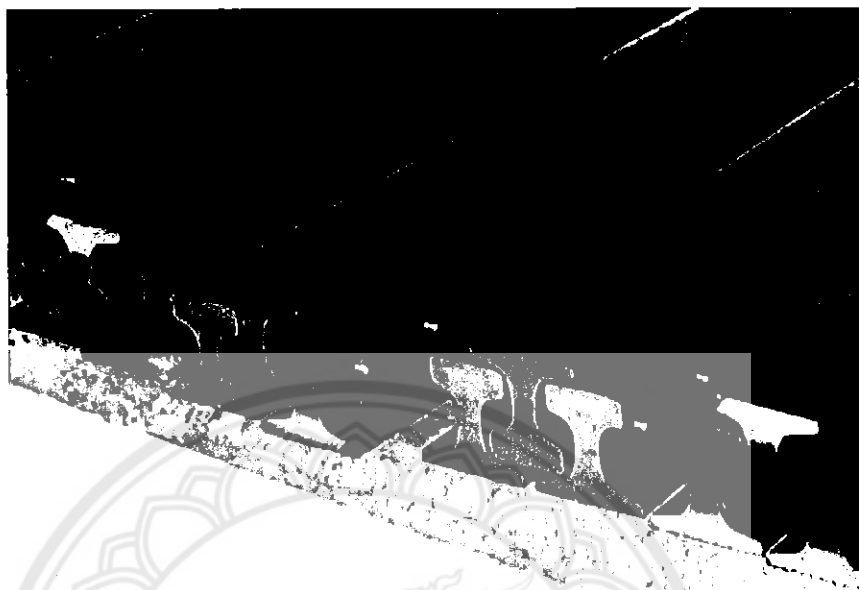
น้ำหนัก 1,950 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.1.2.2 หมอนรองรางรถไฟคอนกรีต



วางหมอนรองรางคอนกรีต ระยะห่าง 0.6 เมตร น้ำหนัก 360 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

2.1.2.3 รางรถไฟ



น้ำหนัก 54 กิโลกรัมต่อเมตร

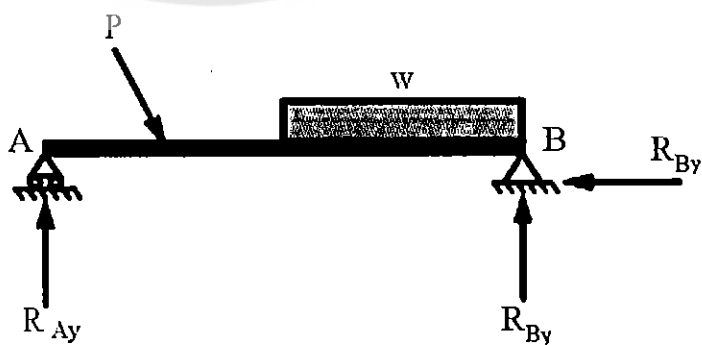
2.2 แรงเฉือนและโมเมนต์ตัด

2.2.1 ชนิดของคานตีเทอร์มินเนท

ชนิดของคานมีมากมายหลายชนิดทั้งคานตีเทอร์มินเนทและคานอินตีเทอร์มินเนทในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะคานตีเทอร์มินเนทซึ่งเป็นคานที่สามารถวิเคราะห์หาค่าแรงปฏิกิริยาและโมเมนต์ตัดได้ด้วยการใช้สมการสมดุลเพียงลำพัง อันได้แก่

2.2.1.1 คานช่วงเดียวธรรมดา (Simple Beam)

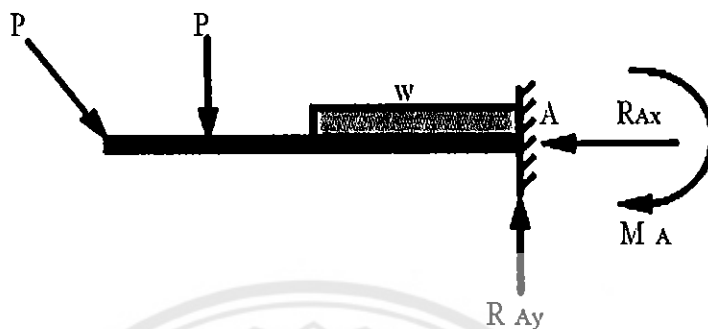
คานช่วงเดียวธรรมดา คือ คานช่วงเดียวที่มีฐานรองรับคานหนึ่งเป็น Roller Supports (A) และอีก ด้านหนึ่งเป็น Hinge Supports (B)



รูปที่ 2.4 แสดงคานช่วงเดียวธรรมดา

2.2.1.2 คานยื่น (Cantilever Beam)

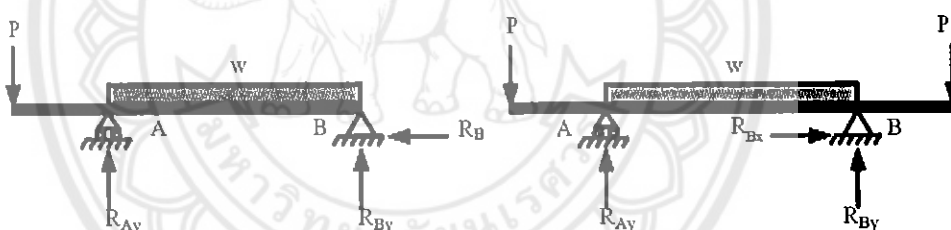
คานยื่น คือคานยื่นที่มีฐานรองรับเพียงด้านเดียว ซึ่งเป็นฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed Supports) ส่วนปลายออกด้านหนึ่งจะเป็นอิสระ



รูปที่ 2.5 แสดงคานยื่น

2.2.1.3 คานช่วงเดียวปลายยื่น (Overhanging Beam)

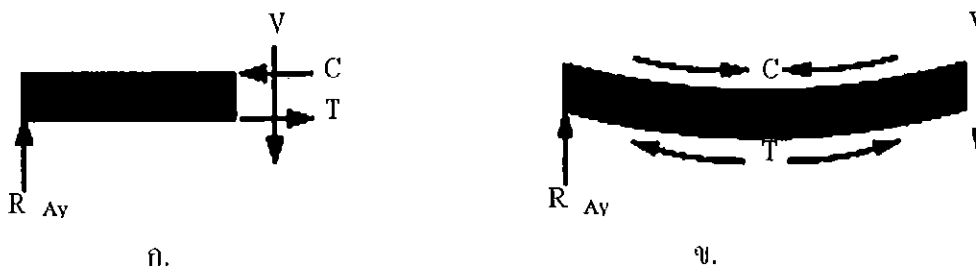
คานช่วงเดียวปลายยื่น คือคานที่มีฐานรองรับสองข้างเหมือนคานช่วงเดียวธรรมดา แต่จะมีปลายยื่นข้างเดียวหรือยื่นทั้งสองข้างก็ได้



รูปที่ 2.6 แสดงคานช่วงเดียวปลายยื่น

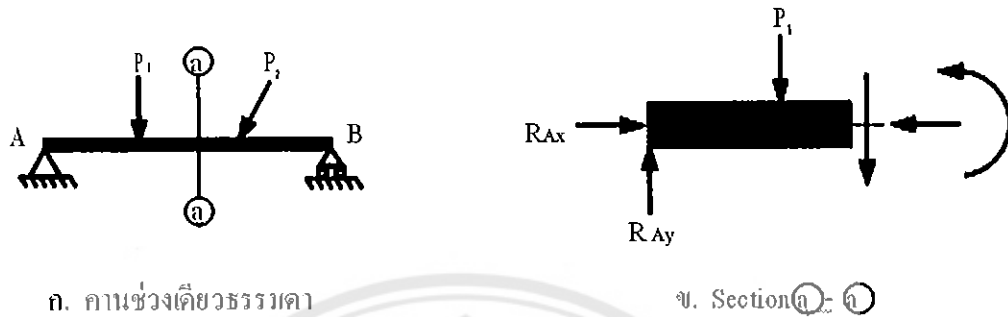
2.2.2 พฤติกรรมการรับแรงของคานดีเทอร์มิเนท

พฤติกรรมการรับแรงของคานโดยทั่วไปจะรับแรงอัด(Compression; C) ในส่วนบนสุด และจะรับแรงดึง(Tension; T) ในส่วนล่างสุดดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.7 แสดงพฤติกรรมการรับแรงของคาน

เมื่อคานถูกแรงและโมเมนต์ดัดกระทำจากภายนอก จะเกิดแรงและโมเมนต์ดัดขึ้นภายในหน้าตัดใดๆของคาน ซึ่งเราสามารถคำนวณหาค่าแรงเหล่านั้นได้ด้วยการใช้สมการสมดุล และเมื่อตัดคานที่หน้าตัดใดๆ จะพบแรงที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.8 แสดงแรงภายในคานดีเทอร์มินาท

2.2.2.1 แรงตามแนวแกน (Fx)

แรงตามแนวแกน เป็นแรงที่เกิดขึ้นตามแนวแกนสะเทิน(Natural Axis;N.A.) ของคาน แต่แรงนี้ไม่มีผลต่อการรับน้ำหนักของคานจึงสามารถตัดออกไปได้

2.2.2.2 แรงเฉือน (Shearing Force; V)

แรงเฉือนเป็นแรงที่จะทำให้คานขาดออกจากกันในแนวดิ่งซึ่งมีผลมากต่อโครงสร้างอาคาร

2.2.2.3 โมเมนต์ดัด (Bending Moment ; M)

โมเมนต์ดัด เป็นผลที่เกิดขึ้นจากการที่คานถูกแรงเฉือนพยายามจะเอียงให้คานขาดออกจากกัน จนเกิดการโค้งงอของคานซึ่งมีผลต่อโครงสร้างของอาคารเหมือนกัน

2.2.3 เครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรง

เพื่อการสื่อความหมายและความเข้าใจที่ตรงกันจำเป็นต้องมีการกำหนดเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงขึ้น และโดยทั่วไปแล้วเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงจะใช้อย่างต่อไปนี้

2.2.3.1. เครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงในแนวแกน

โดยทั่วไปแรงในแนวแกนจะเป็นแรงอัดและแรงดึงเครื่องหมายแทนแรงอัดจะใช้ เครื่องหมายลบ(-) ส่วนแรงดึงจะใช้เครื่องหมายบวก (+) สัญลักษณ์แทนแรงอัดจะใช้ หัวลูกศรวงเข้าหากัน และสัญลักษณ์แทนแรงดึงจะใช้หัวลูกศรวงออกจากกัน ดังรูป



ก. แสดงแรงอัด มีค่าเป็นลบ

ข. แสดงแรงดึง มีค่าเป็นบวก

รูปที่ 2.9 แสดงเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงในแนวแกน

2.2.3.2 เครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงเฉือน

สำหรับแรงเฉือนก็จะมีสองค่า คือค่าบวกและค่าลบเหมือนกันโดยพิจารณาจากซ้ายไปขวาและกำหนดให้แรงที่มีทิศทางขึ้นมีค่าเป็นบวก แรงที่มีทิศทางลงมีค่าเป็นลบ ถ้าตัดคานที่หน้าตัดใดๆ แล้วมีแรงที่พยายามเฉือนให้ขึ้นส่วนของคานด้านซ้ายมีทิศทางขึ้นและคานด้านขวามีทิศทางลง แรงเฉือนตรงนั้นจะมีค่าเป็นบวก และตรงข้ามกัน ถ้าแรงพยายามเฉือนให้ขึ้นส่วนของคานด้านซ้ายมีทิศทางลงและคานด้านขวามีทิศทางขึ้นแรงเฉือนก็จะมีค่าเป็นลบ ดังแสดงในรูป



ก. แสดงแรงเฉือนเป็นบวก

ข. แสดงแรงเฉือนเป็นลบ

รูปที่ 2.10 แสดงเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงเฉือน

2.2.3.3 เครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนโมเมนต์ดัด

โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นภายในคานจะมีทั้งโมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบ ทัวไปจะกำหนดให้โมเมนต์หมุนตามเข็มนาฬิกาที่มีค่าเป็นบวกและโมเมนต์หมุนทวนเข็มนาฬิกาที่มีค่าเป็นลบหรือโมเมนต์ที่ดัดให้คานแอ่นลงด้านล่างมีค่าเป็นบวกและโมเมนต์ที่ดัดให้คานโก่งขึ้นข้างบนมีค่าเป็นลบดังแสดง ในรูป



ก. แสดง โมเมนต์ดัดเป็นบวก

ข. แสดง โมเมนต์ดัดเป็นลบ

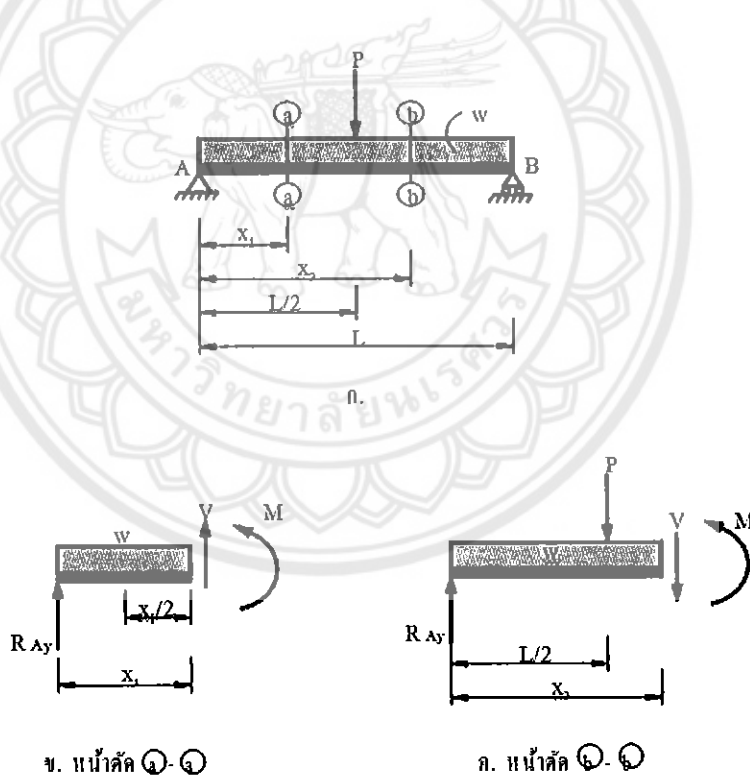
รูปที่ 2.11 แสดงเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนโมเมนต์ดัด

2.2.4 การคำนวณหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดในคานตีเทอร์มินเท

การหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดในคานเป็นขั้นตอนสำคัญในการออกแบบโครงสร้าง ถ้าหากค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดไม่ถูกต้อง การออกแบบก็ย่อมจะผิดพลาด โครงสร้างไม่มีความปลอดภัยในการใช้งาน เป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน เพราะฉะนั้นจะต้องมีความเข้าใจใน พฤติกรรมการรับแรงของคาน รู้ถึงวิธีการหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดอย่างถูกต้อง และสามารถเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดได้อย่างถูกต้อง

2.2.4.1 สมการของแรงเฉือนและโมเมนต์ตัด

ในการคำนวณหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดโดยทั่วไปจะใช้สมการสมดุลคือ $\Sigma F_y = 0$ ใช้หาค่าแรงเฉือนและ $\Sigma M = 0$ ใช้สำหรับหาค่าโมเมนต์ตัดซึ่งจะพิจารณาจุดที่ตัดเสมอและ การพิจารณาตัดส่วนของคานเพื่อสร้างสมการของแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดนั้นจะตัดเป็นช่วงๆที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำ ซึ่งสมการที่สร้างขึ้นมาใช้เฉพาะช่วงที่พิจารณานั้นๆ ตัวอย่างเช่น



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะแรงเฉือนและโมเมนต์ตัด

ที่หน้าตัด a - a (สำหรับ ระยะ 0 - L/2)

สมการของแรงเฉือน

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{Ay} - (w \cdot x_1) - V = 0$$

$$(R_{Ay} \cdot x_1) - (w \cdot x_1 \cdot \frac{x_1}{2}) - M = 0$$

$$M = (R_{Ay} \cdot x_1) - (w \cdot x_1 \cdot \frac{x_1}{2})$$

$$V = R_{Ay} - (w \cdot x_1)$$

สมการของโมเมนต์ตัด

$$\sum M_{cut} = 0$$

ที่หน้าตัด b - b (สำหรับ ระยะ $L/2 - L$)

สมการของแรงเฉือน

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Ay} - (w \cdot x_2) - P - V = 0$$

$$V = R_{Ay} - (w \cdot x_2) - P$$

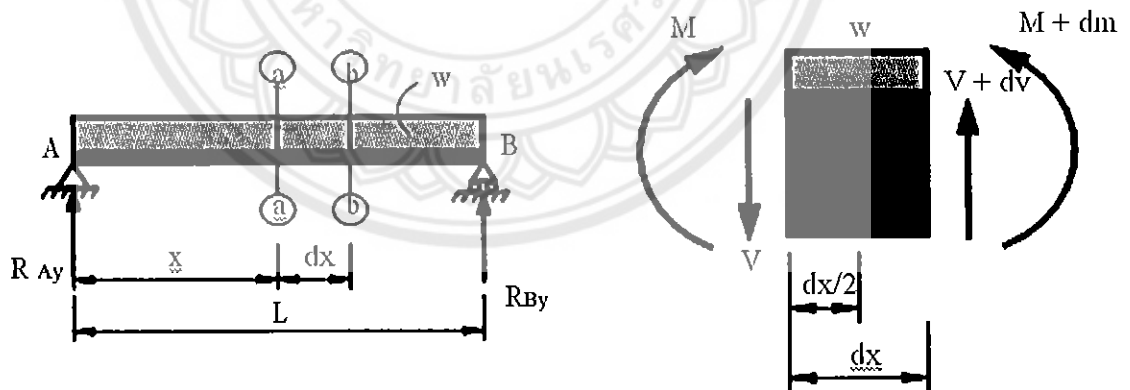
$$(R_{Ay} \cdot x_2) - (w \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2}) - [P(x_2 - L/2)] - M = 0$$

$$M = (R_{Ay} \cdot x_2) - (w \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2}) - [P(x_2 - L/2)]$$

สมการของโมเมนต์ตัด

$$\sum M_{cut} = 0$$

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก แรงเฉือน และโมเมนต์ตัด



รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก แรงเฉือน และโมเมนต์ตัด

จากรูปที่ 2.13 พิจารณาหน้าตัดคานเป็นชิ้นส่วนเล็กๆขนาดความยาวเท่ากับ dx ที่หน้าตัด a - a จะได้แรงเฉือนคือ V และโมเมนต์ตัดคือ M ถ้าพิจารณาที่หน้าตัด b - b ซึ่งห่างจากหน้าตัด a - a เท่ากับ dx จะได้ค่าแรงเฉือนเท่ากับ V + dv และค่าโมเมนต์ตัด เท่ากับ M + dm จะได้

สมการของแรงเฉือน

$$\Sigma F_y = 0$$

$$V + (w \cdot dx) = V + dv$$

$$:dv = w \cdot dx$$

สรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงค่าของแรงเฉือนระหว่างจุดสองจุด มีค่าเท่ากับน้ำหนักทั้งหมดระหว่างจุดสองจุดนั้น

$$M + (V \cdot dx) + (w \cdot dx \cdot \frac{dx}{2}) = M + dm$$

สมการของโมเมนต์ดัด

$$\Sigma M = 0$$

แต่ $w \cdot dx \cdot \frac{dx}{2}$ มีค่าน้อยมากจึงตัดออกไป

ดังนั้น $dm = V \cdot dx$

สรุปได้ว่า ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น ณ หน้าตัดใดๆ จะมีค่าเท่ากับผลบวกสะสมของพื้นที่แรงเฉือนระหว่างจุดสองจุดนั้น

ข้อสังเกต การหาค่าโมเมนต์ดัดสามารถทำได้ทั้งสองวิธี คือ การสร้างสมการโมเมนต์ดัดคำนวณหา และโดยวิธีการบวกสะสมของพื้นที่แรงเฉือน

2.2.5 การเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง จำเป็นจะต้องทราบค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงไป ณ หน้าตัดต่างๆ ตลอดความยาวของโครงสร้างนั้นๆ ซึ่งการแสดงค่าของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดด้วยแผนภาพจะช่วยให้มองเห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

2.2.5.1 แผนภาพของแรงเฉือน (Shearing Force Diagram ; S.F.D.)

แผนภาพของแรงเฉือน คือแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเฉือน ณ หน้าตัดต่างๆ กับความยาวขององค์อาคาร

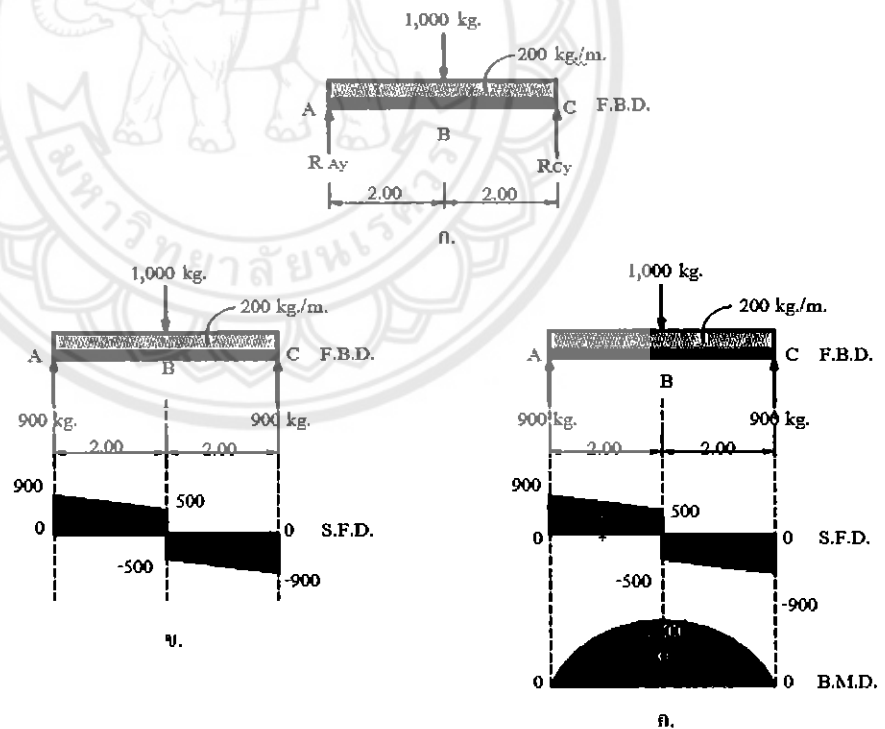
2.2.5.2 แผนภาพของโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram ; B.M.D.)

แผนภาพของโมเมนต์ดัด คือแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมเมนต์ดัด ณ หน้าตัดต่างๆ กับความยาวขององค์อาคาร

2.2.5.3 ขั้นตอนการเขียนแผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

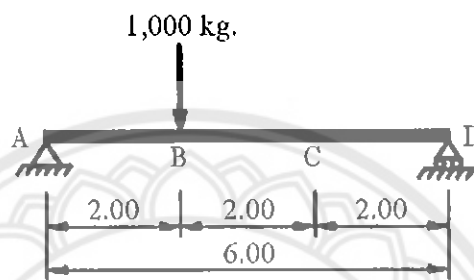
ก่อนที่จะทำการเขียนแผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดจะต้องคำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยาให้เรียบร้อยก่อน เสร็จแล้วจึงคำนวณหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดโดยการสร้างสมการเป็นช่วงๆ

- 1) เขียนแผนภาพอิสระของแรง (Free Body Diagram ; F.B.D.) โดยยกโจทย์มาเขียน โดยไม่ต้องใส่สัญลักษณ์ของฐานรองรับแต่ให้ใส่แรงปฏิกิริยาที่คำนวณได้ลงไปแทน
- 2) เขียนแผนภาพของแรงเฉือน (Shearing Force Diagram; S.F.D.) ถัดลงไปจาก F.B.D. โดยเริ่มพิจารณาจากจุดซ้ายมือสุด นำค่าแรงเฉือนที่คำนวณได้มาเขียนตามแกนคาน โดยค่าแรงเฉือนที่เป็นบวกจะเขียนเหนือแกนคาน ส่วนค่าแรงเฉือนที่เป็นลบจะเขียนใต้แกนคานเมื่อเชื่อมจุดต่างๆ ที่เขียนด้วยเส้นตรงหรือเส้นโค้งตามสมการของแรงเฉือนจะได้แผนภาพของแรงเฉือนตามต้องการ
- 3) เขียนแผนภาพของโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram; B.M.D.) ถัดลงไป จาก S.F.D. โดยสร้างเส้นตามแนวอนแทนแกนของคานให้ตรงกับ S.F.D. โดยเริ่มพิจารณาจากด้านซ้ายมือสุด นำค่าโมเมนต์ดัดที่คำนวณได้มาเขียนตามแนวแกนคาน โดยค่าโมเมนต์ดัดที่เป็นบวกจะเขียนเหนือแกนคาน ส่วนค่าโมเมนต์ดัดที่เป็นลบจะเขียนใต้แกนคาน เมื่อเชื่อมจุดต่างๆ ที่เขียนด้วย เส้นตรงหรือเส้นโค้งตามสมการของโมเมนต์ดัดจะได้แผนภาพของโมเมนต์ดัดตามต้องการดังรูปที่ 2.14 ค.



รูปที่ 2.14 แสดงการเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

ตัวอย่างที่ 2.1 จงเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดของคานขั้วเดียว ซึ่ง
 ระบายน้ำหนัก
 ดังแสดงในรูป พร้อมทั้งหาค่าแรงเฉือน (V_a, V_b, V_c, V_d) และโมเมนต์ตัด ($M_a, M_b,$
 M_c, M_d)



วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

$$\Sigma M_D = 0 ; \curvearrowright$$

$$(R_{Ay} \times 6) - (1,000 \times 4) = 0$$

$$6 R_{Ay} - 4,000 = 0$$

$$R_{Ay} = 4000/6$$

$$R_{Ay} = \uparrow 666.67 \text{ kg.}$$

$$\Sigma M_A = 0 ; \curvearrowleft$$

$$(1,000 \times 2) - (R_{Dy} \times 6) = 0$$

$$2,000 - 6 R_{Dy} = 0$$

$$2,000/6 = R_{Dy}$$

$$R_{Dy} = 333.33 \text{ kg} \quad \uparrow$$

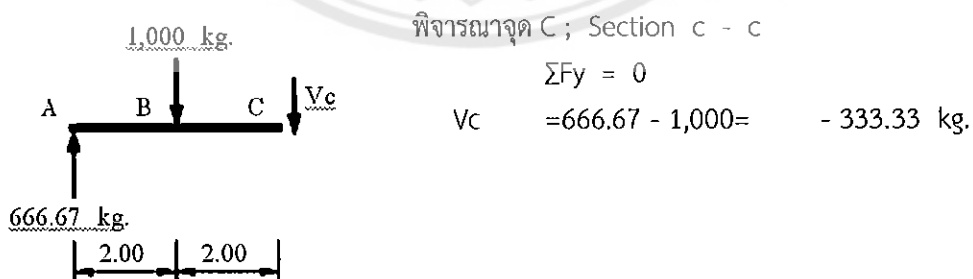
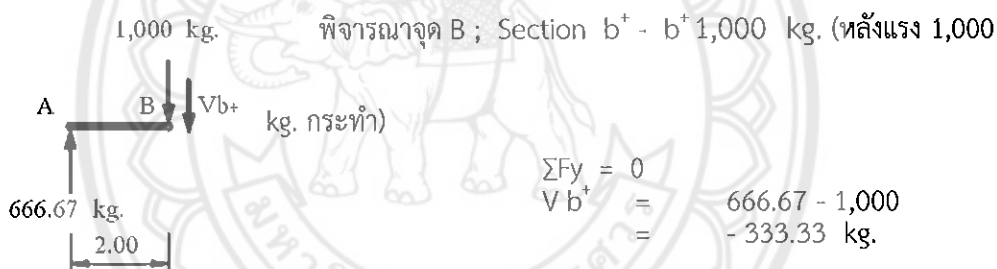
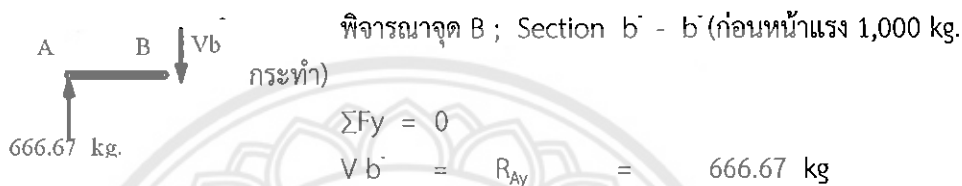
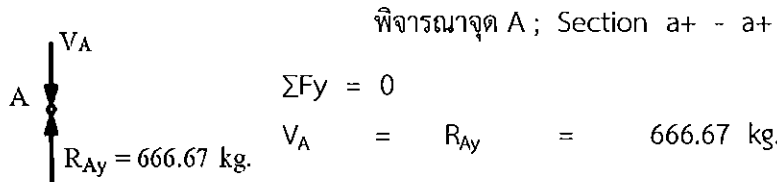
ตรวจสอบ

$$\Sigma F_y = 0 ; \uparrow +$$

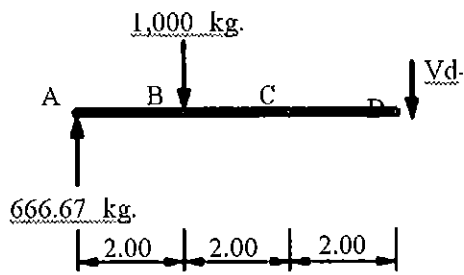
$$R_{Ay} + R_{Dy} - 1,000 = 0$$

$$666.67 + 333.33 - 1,000 = 0 \quad \text{O.K}$$

ขั้นตอนที่ 2 หาคาแรงเฉือน ณ จุดที่พิจารณาโดยใช้สมการ $\Sigma Fy = 0$ ให้แรงที่มีทิศทางขึ้นเป็นบวก และแรงที่มีทิศทางลงเป็นลบ

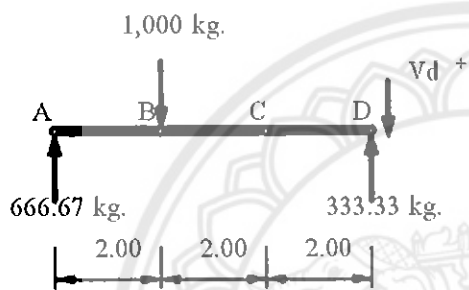


พิจารณาจุด D; Section d⁻ - d⁻ (ก่อนหน้าแรง R_{Dy}กระทำ)



$$\begin{aligned} \Sigma F_y &= 0 \\ V_{d^-} &= 666.67 - 1,000 \\ &= -333.33 \text{ kg} \end{aligned}$$

พิจารณาจุด D; Section d⁺ - d⁺ (หลังแรง R_{Dy}กระทำ)



$$\begin{aligned} \Sigma F_y &= 0 \\ V_{d^+} &= 666.67 - 1,000 \\ &= -333.33 \text{ kg} \end{aligned}$$

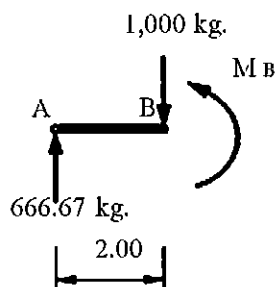
ขั้นตอนที่ 3 หาค่าโมเมนต์ตัด ณ จุดที่พิจารณาโดยใช้สมการ $\Sigma M_{cut} = 0$ และให้โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกามีค่าเป็นบวก โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกามีค่าเป็นลบ

พิจารณาจุด A



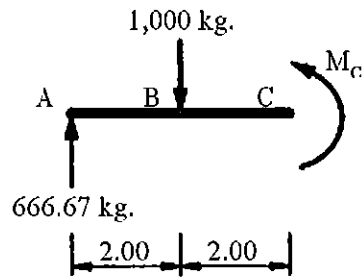
$$\begin{aligned} \Sigma M_A &= 0 \\ M_A &= 0 \text{ kg-m} \end{aligned}$$

พิจารณาจุด B



$$\begin{aligned} \Sigma M_B &= 0 \\ M_B &= (666.67 \times 2) \\ &= 1.333.34 \text{ kg-m.} \end{aligned}$$

พิจารณาจุด C

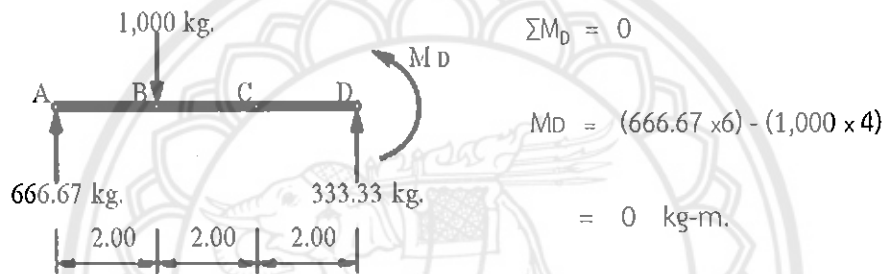


$$\Sigma M_C = 0$$

$$M_C = (666.67 \times 4) - (1,000 \times 2)$$

$$= 666.68 \text{ kg-m}$$

พิจารณาจุด D

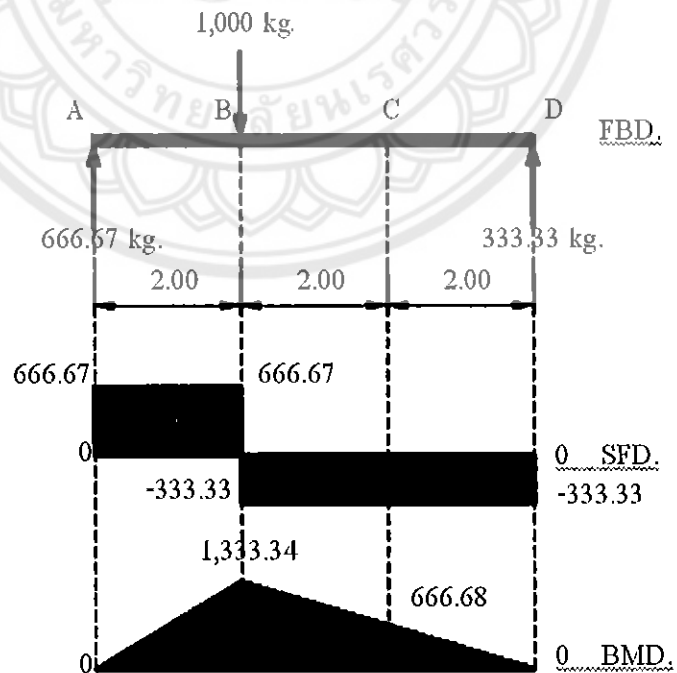


$$\Sigma M_D = 0$$

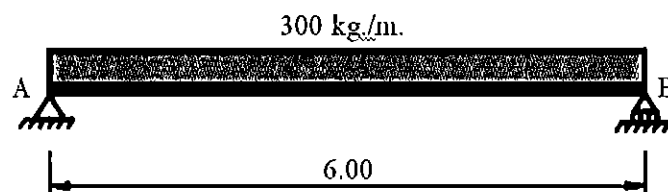
$$M_D = (666.67 \times 6) - (1,000 \times 4)$$

$$= 0 \text{ kg-m.}$$

ขั้นตอนที่ 4 เขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์คัต



ตัวอย่างที่ 2.2 จงเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์คัตของคาน ซึ่ง
รับน้ำหนักดังแสดงในรูป พร้อมทั้งหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์คัตทุกระยะ
1.00 ม.



วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

$$\Sigma M_B = 0 ;$$

$$(R_{Ay} \times 6) - (300 \times 6 \times 3) = 0$$

$$6 R_{Ay} - 5,400 = 0$$

$$R_{Ay} = 5400/6$$

$$\therefore R_{Ay} = 900 \text{ kg.} \uparrow$$

$$\Sigma M_A = 0 ;$$

$$(300 \times 6 \times 3) - (R_{By} \times 6) = 0$$

$$5,400 - 6 R_{By} = 0$$

$$5400/6 = 0$$

$$\therefore R_{By} = 900 \text{ kg.} \uparrow$$

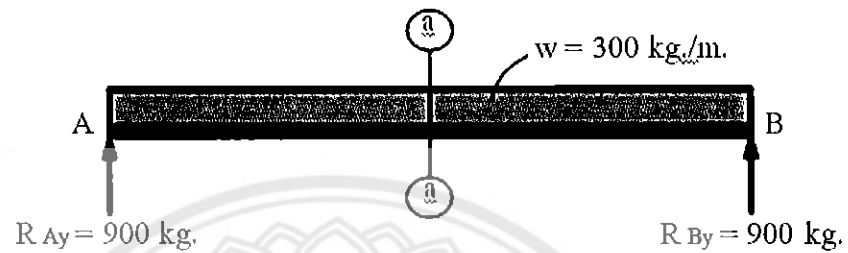
ตรวจสอบ

$$\Sigma F_y = 0 ; \quad \uparrow +$$

$$R_{Ay} + R_{By} - 1,800 = 0$$

$$900 + 900 - 1,800 = 0 \quad \text{O.K.}$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าแรงเฉือนโดยสร้างสมการแรงเฉือนขึ้นมาแล้วแทนค่าตามระยะที่กำหนดให้ลงในสมการ



$$\sum F_y = 0 ; \quad +$$

$$R_{Ay} - (w \cdot x) - V = 0$$

$$V = R_{Ay} - (w \cdot x) \dots \dots \dots (1)$$

แทนค่าระยะ 0.00 - 6.00 ลงในสมการ (1)

$$V_A^+ = V_{0.00} = 900 - (300 \times 0) = 900 \text{ kg}$$

$$V_{1.00} = 900 - (300 \times 1) = 600 \text{ kg.}$$

$$V_{2.00} = 900 - (300 \times 2) = 300 \text{ kg.}$$

$$V_{3.00} = 900 - (300 \times 3) = 0 \text{ kg.}$$

$$V_{4.00} = 900 - (300 \times 4) = -300 \text{ kg}$$

$$V_{5.00} = 900 - (300 \times 5) = -600 \text{ kg}$$

$$V_B^- = V_{6.00}^- = 900 - (300 \times 6) = -900 \text{ kg.}$$

$$V_B^+ = V_{6.00}^+ = 900 - (300 \times 6) + 900 = 0 \text{ kg.}$$

ขั้นตอนที่ 3 หาค่าโมเมนต์ตัดโดยสร้างสมการโมเมนต์ตัดขึ้นมา แล้วแทนค่าตามระยะที่กำหนดให้ลงในสมการ

$$\Sigma M_{cut} = 0 \quad ;$$

$$(R_{A_v} \cdot x) - (w \cdot x) \cdot \frac{x}{2} = 0$$

$$M = (R_{A_v} \cdot x) - (w \cdot x) \cdot \frac{x}{2} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$M_{0.00} = 0$$

$$M_{1.00} = (900 \times 1) - (300 \times 1^2 / 2) = 750 \text{ kg} \cdot \text{m}.$$

$$M_{2.00} = (900 \times 2) - (300 \times 2^2 / 2) = 1200 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

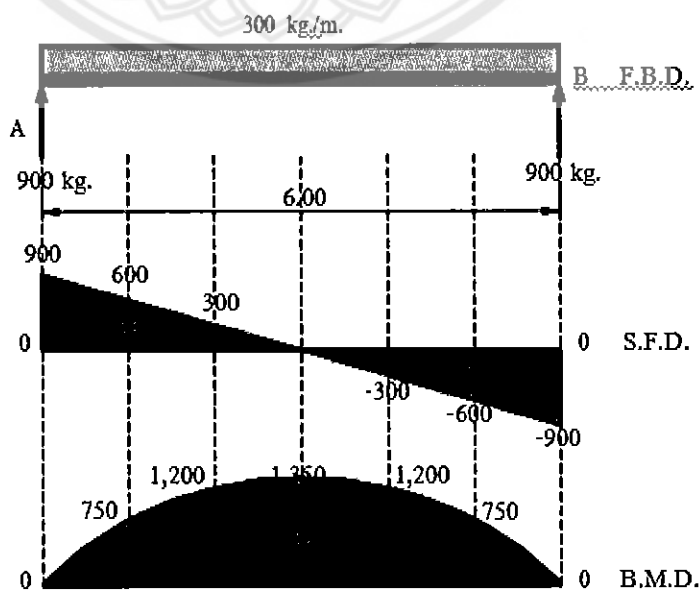
$$M_{3.00} = (900 \times 3) - (300 \times 3^2 / 2) = 1350 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{4.00} = (900 \times 4) - (300 \times 4^2 / 2) = 1200 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{5.00} = (900 \times 5) - (300 \times 5^2 / 2) = 750 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{6.00} = (900 \times 6) - (300 \times 6^2 / 2) = 0 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

ขั้นตอนที่ 4 เขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ตัด



ข้อสังเกต

- 1) ณ จุดที่แรงเฉือนมีค่าเป็นศูนย์ (0) โมเมนต์ตัดจะมีค่าสูงสุดหรือต่ำสุด
- 2) ณ จุดที่โมเมนต์ตัดมีค่าเป็นศูนย์ การโก่งตัวของคานจะเปลี่ยนจากโค้งขึ้นเป็นโค้งลง หรือเปลี่ยน จากโค้งลงเป็นโค้งขึ้น ซึ่งจะเรียกว่าจุดดัดกลับ (Inflection Point)
- 3) การเขียนเส้นโค้งของแผนภาพโมเมนต์ตัดให้ดูจากพื้นที่แรงเฉือน ด้านที่แรงเฉือนมีค่ามากเส้นโค้งจะมีความชันมาก ด้านที่แรงเฉือนมีค่าน้อยเส้นโค้งจะมีความชันน้อยด้วย

2.2.6 การเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดอย่างรวดเร็ว

จากหลักการและตัวอย่างการเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดที่ผ่านมาจะเห็นว่าขั้นตอนที่ยาวมาก และกว่าที่จะทำตัวอย่างง่ายๆ สักข้อหนึ่งสำเร็จต้องใช้เวลามาก และในการ วิเคราะห์โครงสร้างจริงจะมีความซับซ้อนของโจทย์มากกว่านี้ เช่น มีน้ำหนักบรรทุกกระทำหลายชนิด ลักษณะของโครงสร้างมีหลายรูปแบบ ซึ่งจะทำให้การเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้น ดังนั้นจึงเสนอวิธีการเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดอย่างรวดเร็วโดยอาศัยทฤษฎี หลักการ และข้อสังเกตต่างๆ มาเป็นแนวทาง

เงื่อนไขและหลักการที่ใช้ในการเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ตัด

- 1) แรงกระทำที่มีทิศทางขึ้นให้มีค่าเป็นบวก (+) แรงที่มีทิศทางลงใหม่ค่าเป็นลบ (-)
- 2) แรงเฉือนที่อยู่เหนือคานให้มีค่าเป็นบวก (+) แรงเฉือนที่อยู่ใต้คานให้มีค่าเป็นลบ (-)
- 3) ค่าโมเมนต์ตัดมีค่าเท่ากับผลบวกสะสมของพื้นที่แรงเฉือน ณ หน้าที่ต้นนั้น
- 4) การเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดจะเริ่มจากซ้ายมือไปขวามือเสมอ ยกเว้น คานยื่น (Cantilever Beam) จะเขียนจากปลายคานไปหาฐานรองรับ
- 5) จุดสุดท้ายของการเขียนแผนภาพ ค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดจะเป็นศูนย์เสมอ
- 6) กรณีที่แรงกระทำเป็นจุด (Point Load)
 - S.F.D.จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงในแนวตั้ง
 - B.M.D.จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงในแนวเฉียง
- 7) กรณีไม่มีแรงกระทำ
 - S.F.D.จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงในแนวราบ
 - B.M.D.จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงในแนวเฉียง
- 8) กรณีที่แรงกระทำแผ่กระจายสม่ำเสมอ (Uniform Load)
 - S.F.D.จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงในแนวเฉียง

B.M.D.จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งพาราโบลาแบบราบเรียบ

9) กรณีที่แรงกระทำแก่กระจายในทางเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างสม่ำเสมอ

9) กรณีที่แรงกระทำแก่กระจายในทางเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างสม่ำเสมอ(รูปๆสามเหลี่ยม)

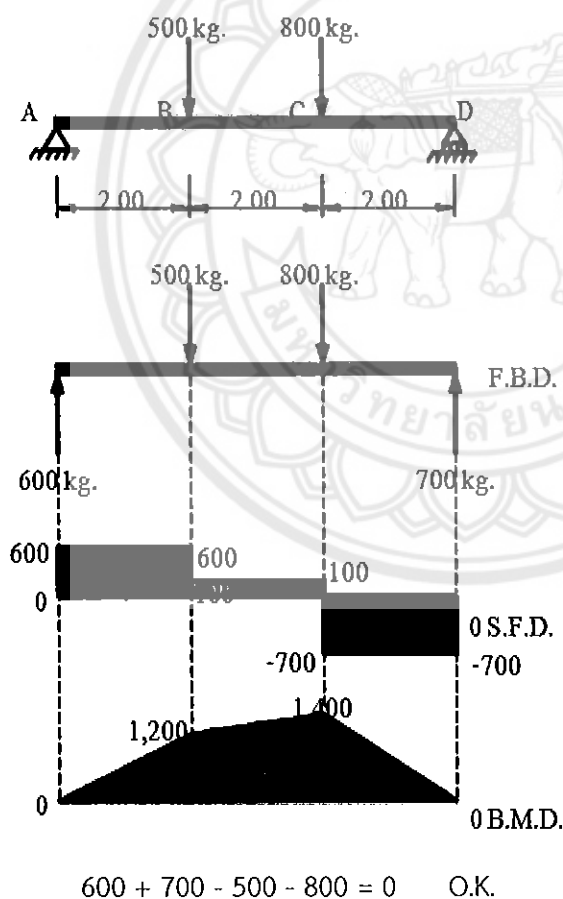
S.F.D.จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งพาราโบลาแบบราบเรียบ

B.M.D.จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งกำลังสามแบบราบเรียบ

10) ตำแหน่งที่แรงเฉือนเป็นศูนย์ (0) หาได้จากการเอาค่าแรงเฉือนสูงสุดหารด้วยน้ำหนักแฉ่กระจาย ณ หน้าตัดนั้น ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่โมเมนต์ตัดมีค่าสูงสุดด้วย

$$X = \frac{\text{แรงเฉือนสูงสุด}}{\text{น้ำหนักแฉ่กระจาย}} = \frac{V}{W}$$

ตัวอย่างที่ 2.3 จงเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดของคาน ซึ่งรับน้ำหนักคง แสดงในรูป



ขั้นตอนที่ 1 หาค่าแรงปฏิกิริยาที่

ฐานรองรับ

$$\Sigma M_D = 0 ;$$

$$(R_{Ax} \times 6) - (500 \times 4) - (800 \times 2) = 0$$

$$6 R_{Ay} - 2,000 - 1,600 = 0$$

$$R_{Ay} = 3600/6$$

$$R_{Ay} =$$

$$600 \text{ kg}$$

F.B.D.

$$\Sigma M_A = 0 ;$$

$$(500 \times 2) + (800 \times 4) - (R_{Dy} \times 6) = 0$$

$$1,000 + 3,200 - 6 R_{Dy} = 0$$

$$4200/6 = R_{Dy}$$

$$R_{Dy} = 700 \text{ kg.}$$

ตรวจสอบ

$$\Sigma F_y = 0 ; +$$

$$R_{Ay} + R_{Dy} - 500 - 800 = 0$$

ขั้นตอนที่ 2 เขียนแผนภาพของแรงเฉือน

โดยพิจารณาจาก F.B.D. เริ่มจากด้านซ้ายสุดของคาน ดังนี้

- 1) ที่จุด A มีแรง 600 kg. กระทำในทิศทางขึ้นให้เริ่มลากเส้นจากจุด A ขึ้นไปแนวตั้งขนาด 600 kg.
- 2) ช่วง A - B ไม่มีแรงกระทำให้ลากเส้นตรงในแนวนอนต่อไปจนถึงจุด B ค่าของแรงเฉือนมีค่าเท่ากับ 600 kg.
- 3) ที่จุด B มีแรง 500 kg. กระทำในทิศทางลง ให้ลากเส้นลงไปขนาด 500 kg. ค่าของแรงเฉือนจะมีค่าเท่ากับ $600 - 500 = 100$ kg.
- 4) ช่วง B - C ไม่มีแรงกระทำให้ลากเส้นตรงในแนวนอนต่อไปจนถึงจุด C ค่าของแรงเฉือนมีค่าเท่ากับ 100 kg.
- 5) ที่จุด C มีแรง 800 kg. กระทำในทิศทางลง ให้ลากเส้นต่อไปขนาด 800 kg. ค่าของแรงเฉือนจะมีค่าเท่ากับ $100 - 800 = -700$ kg.
- 6) ช่วง C - D ไม่มีแรงกระทำให้ลากเส้นตรงในแนวนอนต่อไปจนถึงจุด D ค่าของแรงเฉือนมีค่าเท่ากับ -700 kg.
- 7) ที่จุด D มีแรง 700 kg. กระทำในทิศทางขึ้นให้ลากเส้นต่อไปขนาด 700 kg. ค่าของแรงเฉือนจะมีค่าเท่ากับ $-700 + 700 = 0$ kg. จะได้แผนภาพของแรงเฉือนเป็นรูปปิดพอดี

ขั้นตอนที่ 3 เขียนแผนภาพโมเมนต์ตัด

การเขียนแผนภาพโมเมนต์ตัดจะพิจารณาจาก S.F.D. โดยเริ่มจากด้านซ้ายสุดของคาน ซึ่งค่าโมเมนต์ตัดจะมีค่าเท่ากับผลบวกสะสมของพื้นที่แรงเฉือนจากด้านซ้ายมือไปด้านขวามือ

- 1) ณ จุด A ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นค่าโมเมนต์ตัดมีค่าเท่ากับศูนย์
- 2) ช่วง A - B พื้นที่แรงเฉือนเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าอยู่เหนือคานมีค่าเป็นบวก
 $A1 = 600 \times 2 = 1,200$ kg-m. ทำเครื่องหมายตรงจุด B เหนือคาน เนื่องจากมีค่าเป็นบวกแล้วลากเส้นตรงในแนวเฉียงเชื่อมจากจุด A ไปยังจุด B
- 3) ช่วง B - C พื้นที่แรงเฉือนเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าอยู่เหนือคานมีค่าเป็นบวก
 $A2 = 100 \times 2 = 200$ kg-m. ค่าโมเมนต์ตัดที่จุด C จะมีค่าเท่ากับ $1,200 + 200 = 1,400$ kg-m. ทำเครื่องหมายตรงจุด C เหนือคานเนื่องจากมีค่าเป็นบวกแล้วลากเส้นตรงในแนวเฉียงเชื่อมจากจุด B ไปยังจุด C
- 4) ช่วง C - D พื้นที่แรงเฉือนเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าอยู่ใต้คาน มีค่าเป็นลบ
 $A3 = -700 \times 2 = -1,400$ kg-m. ค่าโมเมนต์ตัดที่จุด D จะมีค่าเท่ากับ $1,400 - 1,400 = 0$ kg-m. ลากเส้นตรงในแนวเฉียงเชื่อมจากจุด C ไปยังจุด D จะได้แผนภาพของโมเมนต์ตัดเป็นรูปปิดพอดี

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

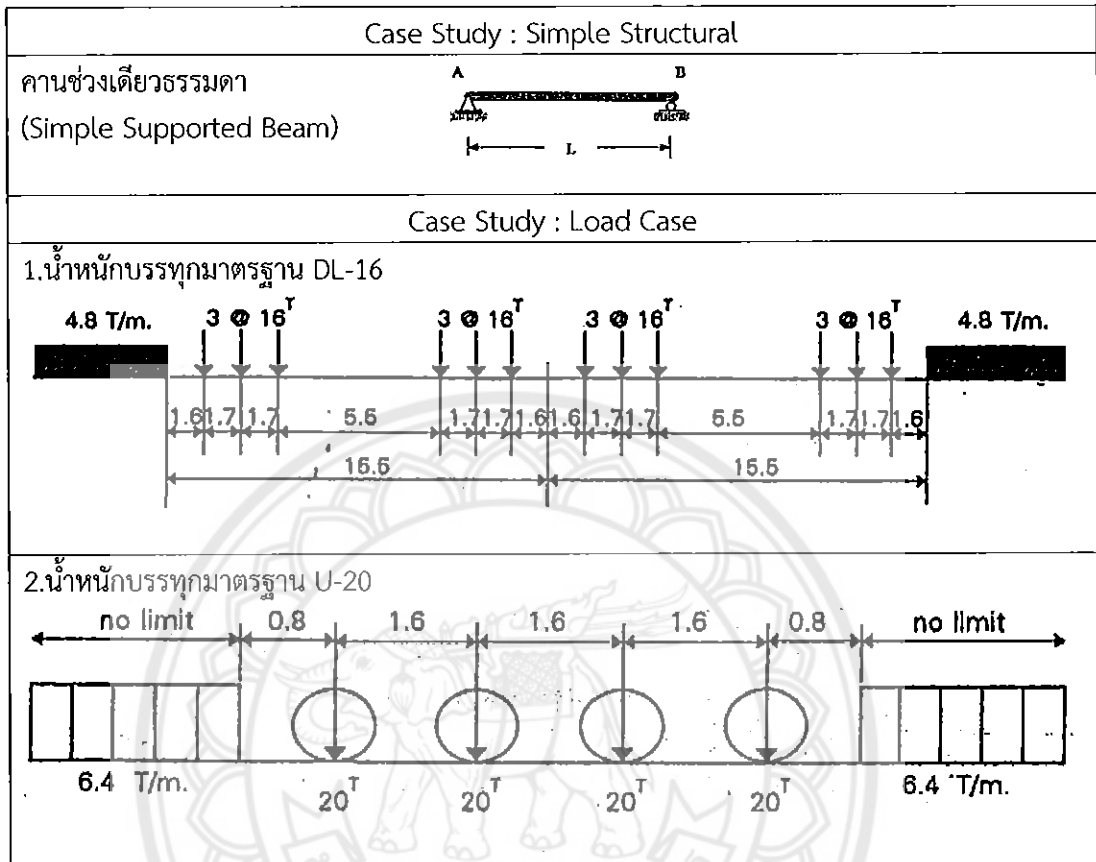
3.1 ขอบเขตของการศึกษา

การวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ที่นำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างนั้น จำเป็นต้องศึกษา แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ แรงเฉือนสูงสุด และโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง โดยทำการศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในโครงสร้างสำหรับคานช่วงเดียว ซึ่งได้ทำการแบ่งช่วงคานเพื่อนำผลวิเคราะห์ที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบ เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบมี 2 มาตรฐานคือ น้ำหนักบรรทุกทุกมาตรฐาน DL-16 และน้ำหนักบรรทุกทุกมาตรฐาน U-20 เป็นน้ำหนักมาตรฐานที่การรถไฟแห่งประเทศไทยกำหนดให้ใช้ ซึ่งการวิเคราะห์ผลจะทำให้ได้ค่าแรงเฉือนสูงสุด และโมเมนต์ดัดสูงสุดของแต่ละจุดที่ทำการแบ่งช่วงมีค่าไม่เท่ากันสามารถเปรียบเทียบให้เห็นถึงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง พร้อมทั้งศึกษาการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกมาตรฐาน U-20 คณะผู้จัดทำโครงการ จึงนำโปรแกรม SAP2000 เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้าง ซึ่งจะต้องทำการป้อนน้ำหนักบรรทุกทุกมาตรฐานบนคานในแต่ละกรณีโดยโปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าแรงเฉือนสูงสุด และโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นทุกๆกรณีจากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบพร้อมแสดงผลพร้อมในรูปแบบของกราฟ

3.2 กรณีศึกษา(Case Study)

การวิเคราะห์โครงสร้าง มุ่งเน้นไปที่โครงสร้างอย่างง่ายคือ คานช่วงเดียว เนื่องจากโครงสร้างนี้เป็นส่วนประกอบของสิ่งปลูกสร้างต่างๆไปทีพบเห็นในชีวิตประจำวัน เช่น สะพาน รางรถไฟ ทางด่วน เป็นต้น ในส่วนน้ำหนักบรรทุกมาตรฐานที่เคลื่อนที่ไปยังโครงสร้าง แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ น้ำหนักบรรทุกทุกมาตรฐาน DL-16 และน้ำหนักบรรทุกทุกมาตรฐาน U-20 ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งเป็นน้ำหนักมาตรฐานที่การรถไฟแห่งประเทศไทยกำหนดให้ใช้ ฉะนั้นจะทำให้เห็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง

ตารางที่ 3.1



นำผลที่ได้จากพฤติกรรมของโครงสร้างมาวิเคราะห์ผลในกระบวนการของการสรุปผลทดลอง ซึ่งในการศึกษาโครงงานนี้สนใจค่าแรงเฉือนสูงสุด และโมเมนต์ดัดสูงสุด ที่เกิดขึ้นในช่วงต่างๆของการแบ่งช่วงคาน เพื่อที่จะนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของสะพานรถไฟเนื่องจากน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 และ U-20 คิวออกมาในรูปแบบต่างของเปอร์เซ็นต์เพื่อต่อการคำนวณออกแบบ

3.3 การศึกษาทฤษฎีและเนื้อหา

3.3.1 รายละเอียดการติดตั้งโปรแกรม

การติดตั้งโปรแกรม SAP2000 มีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก โดยขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรมสามารถทำได้ ดังนี้

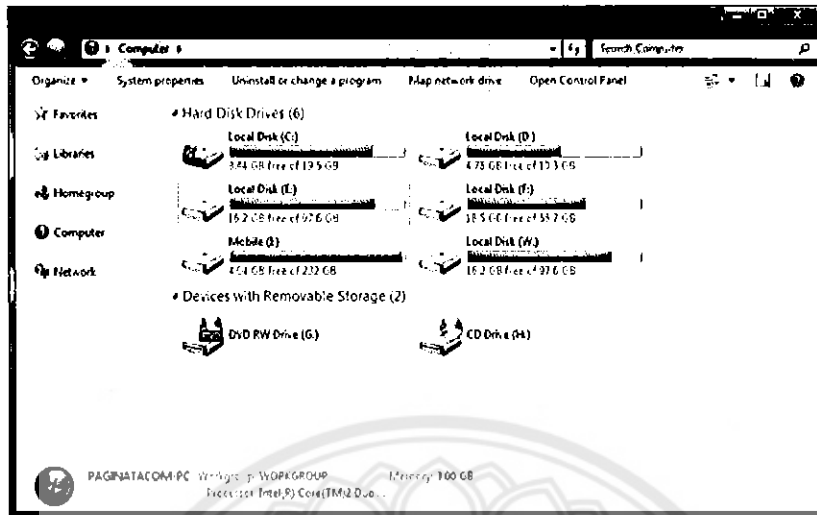
16 ๑๖๖๑๕๐

๒๕.

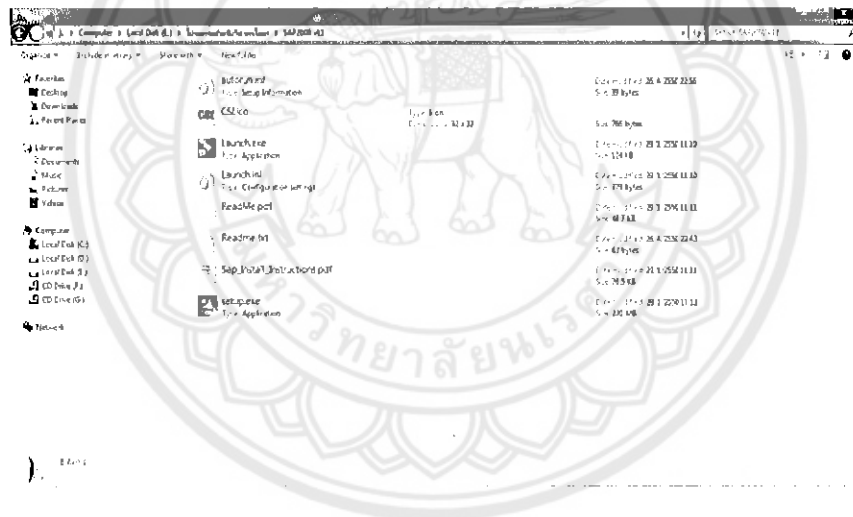
๑๖๕๕๒

๒๕๖๔

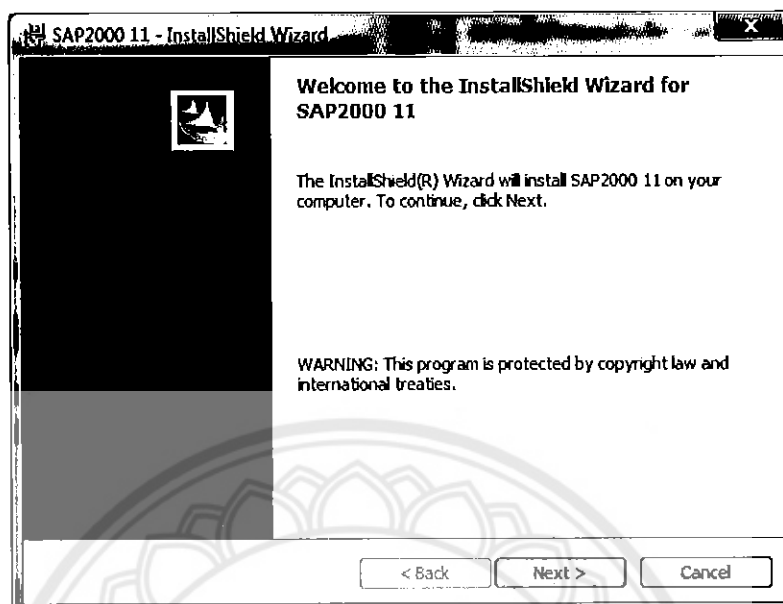
1. เปิดหน้าต่าง My Computer และดับเบิลคลิกที่ DVD/CD-RW Drive



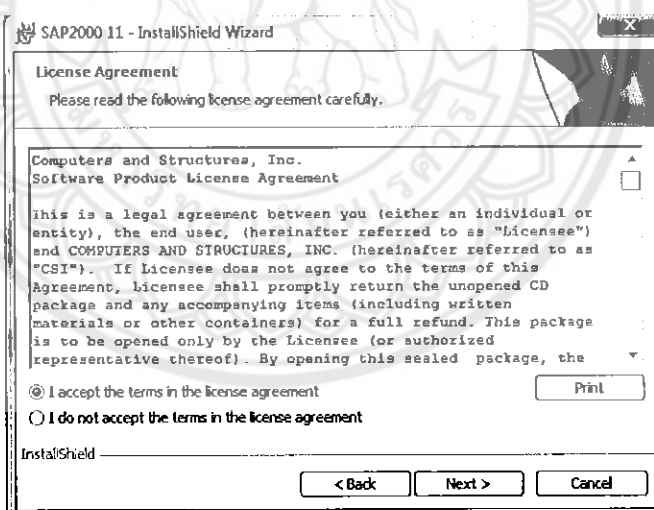
2. คลิกเลือกไฟล์ Setup SAP2000.exe เพื่อ Install Program จาก CD ROM




3. อ่านข้อความแล้วคลิกที่ปุ่ม **Next >**

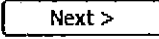


4. อ่านข้อกำหนดแล้วเลือก I accept the terms in the license agreement และคลิกที่ปุ่ม **Next >**

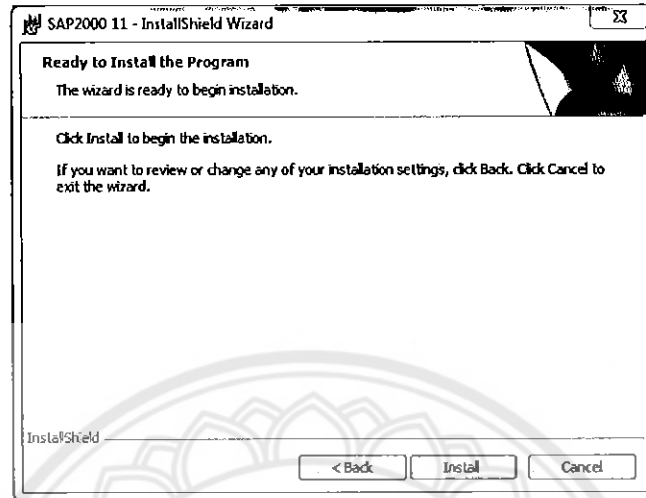


5.กรอกชื่อผู้ใช้และบริษัท

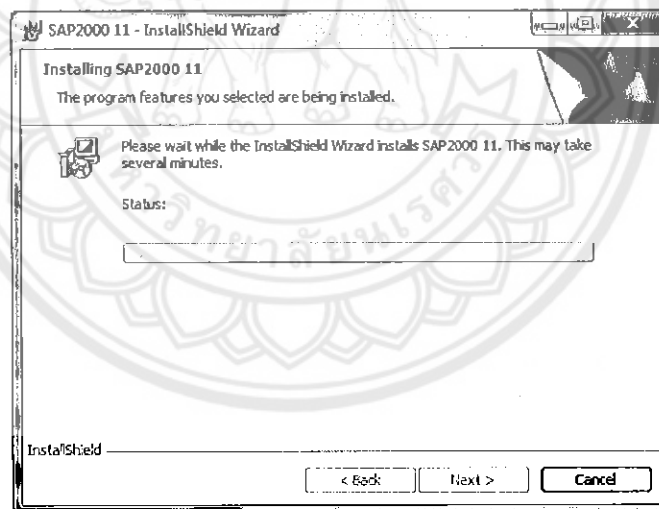
- 6.เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จแล้วให้คลิกที่ปุ่ม 
- 7.จากนั้นคลิกที่ปุ่ม  เพื่อเลือกไดรว์ติดตั้ง

- 8.เลือกไดรว์ที่ต้องการแล้วคลิกที่ปุ่ม 

9.คลิกที่ปุ่ม **Install** เพื่อทำการติดตั้งโปรแกรม



10.จะประภทหน้าต่าง setupขึ้นมาโดยโปรแกรมจะแสดงแถบ Status บ่งบอกเปอร์เซ็นต์การติดตั้ง



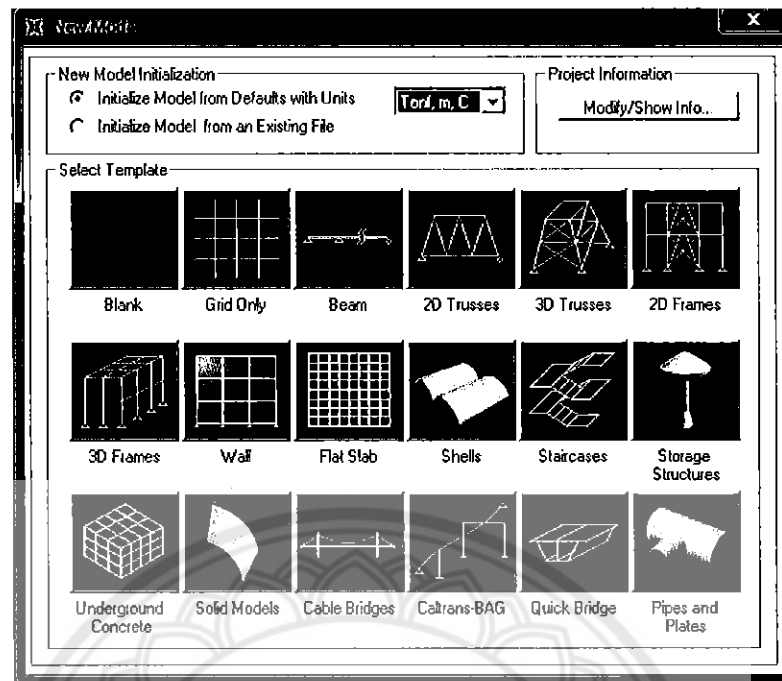
11.คลิกที่ปุ่ม  เพื่อให้การติดตั้งเสร็จสมบูรณ์



3.3.2 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

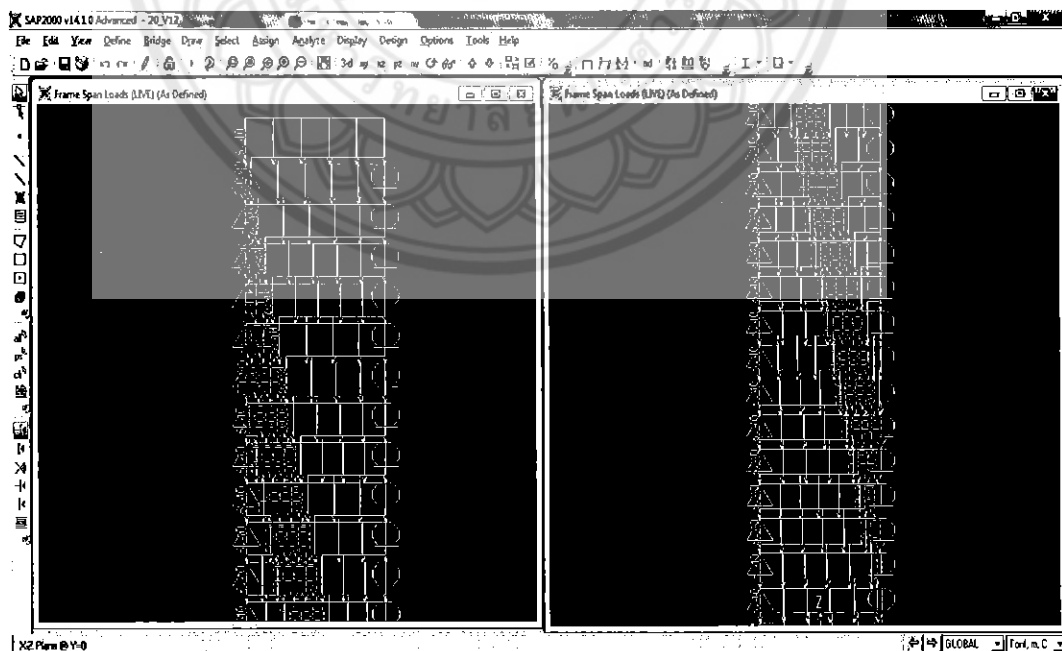
คณะผู้จัดทำโครงการ ได้ใช้โปรแกรม SAP2000 เพื่อช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับคานช่วงเดียว โดยคณะผู้จัดทำได้ทำการแบ่งช่วงคานออกเป็นช่วงๆ แล้วนำน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน DL-16 และน้ำหนักบรรทุกทุกมาตรฐาน U-20 มาวิ่งบนคาน เพื่อคำนวณหาค่าแรงเฉือนสูงสุด และโมเมนต์ดัดสูงสุด จะทำให้เกิดค่าแรงเฉือนสูงสุด และโมเมนต์ดัดสูงสุด ของแต่ละช่วงที่ได้ทำการแบ่งช่วงคานซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมมีดังนี้

3.3.2.1 การเลือกรูปแบบของการจำลองโครงสร้างดังรูปที่ 3.1คณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาคานช่วงเดียวธรรมดาโดยมีความยาวช่วงดังนี้ 5 เมตร ,10 เมตร ,15 เมตร ,20 เมตร ,30 เมตร และ 50 เมตร สำหรับการแบ่งช่วงคานทำการแบ่งดังนี้ 5 เมตร และ 10 เมตรจะแบ่งออกเป็นช่วงละๆ 0.5 เมตร ส่วน 15 เมตร,20 เมตร ,30 เมตร และ 50 เมตร แบ่งออกเป็นช่วงละๆ 1 เมตร



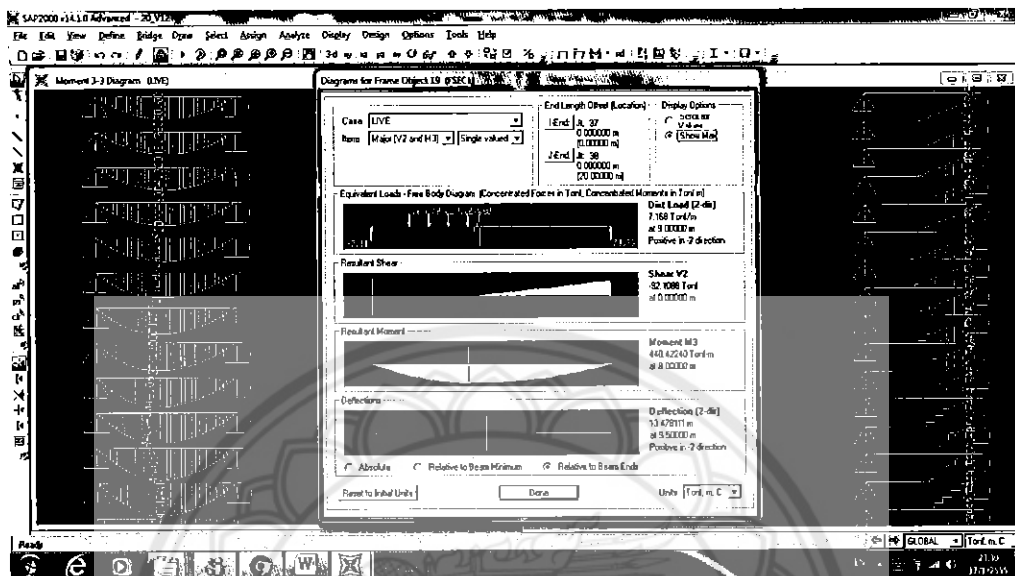
รูปที่ 3.1 แสดงการเลือก Model คานช่วงเดียว

3.3.2.2 กำหนดรูปแบบของน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน DL-16 และ U-20 แล้วนำไปวิ่งบนคานตามช่วงที่ได้แบ่งเอาไว้ จะทำให้เกิดจำนวน Case ตามการแบ่งของช่วงวงคานที่ได้ทำการแบ่งเอาไว้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 และ U-20 กระทำบนคานช่วงเดียว

3.3.2.3. วิเคราะห์โครงสร้างจะทำให้ได้ค่าแรงเฉือนสูงสุด และโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นจาก Case ต่างๆที่นำน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน DL-16 และ U-20 ไปวิ่งบนคานดังรูปที่ 3.3



ดังรูปที่ 3.3 แสดงผลวิเคราะห์โครงสร้างจากโปรแกรม sap2000

3.3.2.4 นำข้อมูลผลวิเคราะห์โครงสร้างออกจากโปรแกรม SAP2000 ดังรูปที่ 3.4 ให้ออกมาในรูปแบบ ของโปรแกรม Microsoft Excel ดังรูปที่ 3.5

Element Forces - Frames

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Frame Text	Station	Output Case	V2 Tonf	M3 Tonf-m
1	0	LIVE	-64	-2.842E-14
1	0.5	LIVE	-60.8	31.2
1	1	LIVE	-57.6	60.8
1	1.5	LIVE	-54.4	88.8
1	2	LIVE	-51.2	115.2
1	2.5	LIVE	-48	140
1	3	LIVE	-44.8	163.2
1	3.5	LIVE	-41.6	184.8
1	4	LIVE	-38.4	204.8
1	4.5	LIVE	-35.2	223.2
1	5	LIVE	-32	240
1	5.5	LIVE	-28.8	255.2
1	6	LIVE	-25.6	268.8
1	6.5	LIVE	-22.4	280.8
1	7	LIVE	-19.2	291.2
1	7.5	LIVE	-16	300
1	8	LIVE	-12.8	307.2
1	8.5	LIVE	-9.6	312.8
1	9	LIVE	-6.4	316.8
1	9.5	LIVE	-3.2	319.2
1	10	LIVE	4.174E-14	320
1	10.5	LIVE	3.2	319.2
1	11	LIVE	6.4	315.8
1	11.5	LIVE	9.6	312.8
1	12	LIVE	12.8	307.2
1	12.5	LIVE	16	300
1	13	LIVE	19.2	291.2
1	13.5	LIVE	22.4	280.8
1	14	LIVE	25.6	268.8
1	14.5	LIVE	28.8	255.2
1	15	LIVE	32	240
1	15.5	LIVE	35.2	223.2
1	16	LIVE	38.4	204.8
1	16.5	LIVE	41.6	184.8
1	17	LIVE	44.8	163.2
1	17.5	LIVE	48	140
1	18	LIVE	51.2	115.2

Record: 14 of 1287

รูปที่ 3.4 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของโปรแกรมเป็นตาราง

Frame	Station	Output Case	V2 Tonf	M3 Tonf-m
1	0	LIVE	-64	-2.842E-14
1	0.5	LIVE	-60.8	31.2
1	1	LIVE	-57.6	60.8
1	1.5	LIVE	-54.4	88.8
1	2	LIVE	-51.2	115.2
1	2.5	LIVE	-48	140
1	3	LIVE	-44.8	163.2
1	3.5	LIVE	-41.6	184.8
1	4	LIVE	-38.4	204.8
1	4.5	LIVE	-35.2	223.2
1	5	LIVE	-32	240
1	5.5	LIVE	-28.8	255.2
1	6	LIVE	-25.6	268.8
1	6.5	LIVE	-22.4	280.8
1	7	LIVE	-19.2	291.2
1	7.5	LIVE	-16	300
1	8	LIVE	-12.8	307.2
1	8.5	LIVE	-9.6	312.8
1	9	LIVE	-6.4	316.8
1	9.5	LIVE	-3.2	319.2
1	10	LIVE	4.174E-14	320
1	10.5	LIVE	3.2	319.2
1	11	LIVE	6.4	316.8
1	11.5	LIVE	9.6	312.8

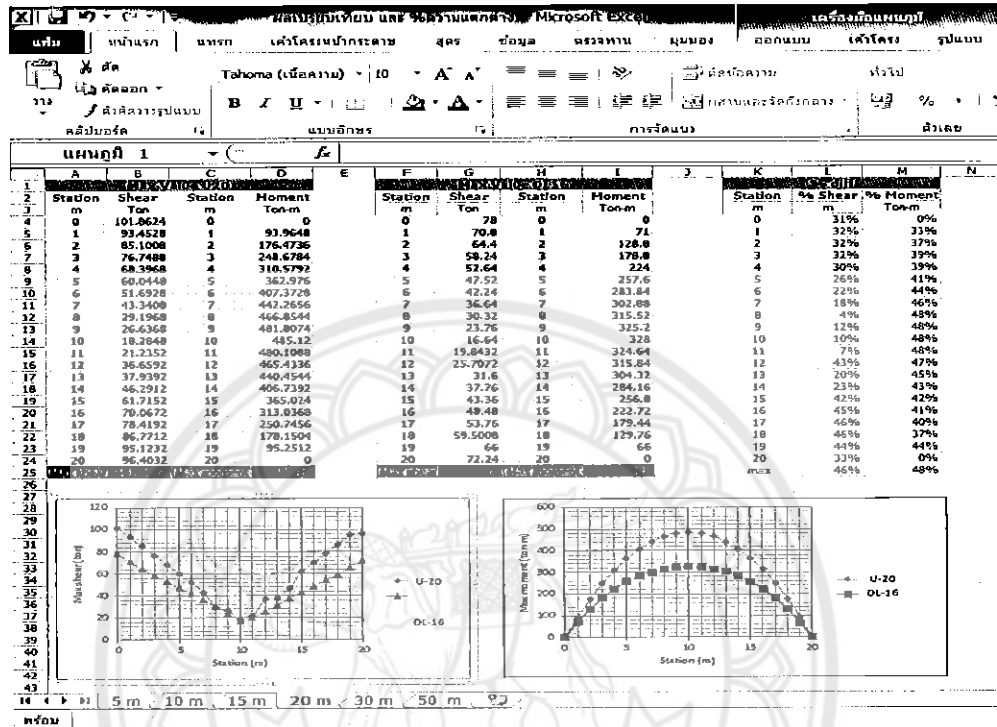
รูปที่ 3.5 แสดงข้อมูลที่ไดจากการวิเคราะห์โครงสร้างในโปรแกรม Microsoft Excel

5.ทำการเก็บค่าโมเมนต์คัต และ แรงเฉือน ที่มากที่สุดในทุกๆช่วง 0.5 เมตร ในคานช่วง 5 เมตร และ 10 เมตร เก็บค่าทุกๆช่วง 1 เมตร ในคานช่วง 15 เมตร, 20 เมตร, 30 เมตร และ 50 เมตร ของแต่ละ Case เพื่อนำข้อมูลที่ไปวิเคราะห์ สังเคราะห์ และสรุปผลต่อไป ดังรูปที่ 3.6

Station	Shear Ton	Moment Ton-m
0	101.8624	0
1	93.4528	93.9648
2	85.1008	176.4736
3	76.7488	248.5784
4	68.3968	310.5792
5	60.0448	362.976
6	51.6928	407.3728
7	43.3408	442.2656
8	29.1968	466.8544
9	26.6368	481.80736
10	18.2848	485.12
11	21.2352	480.1088
12	36.6592	465.4336
13	37.9392	440.4544
14	46.2912	406.7392
15	61.7152	365.024
16	70.0672	313.0368
17	78.4192	250.7456
18	86.7712	178.1504
19	95.1232	95.2512
20	96.4032	1.463E-12

รูปที่ 3.6 แสดงเก็บค่าโมเมนต์คัต และ แรงเฉือน ที่มากที่สุดในทุกๆช่วงความยาวคาน

6. นำค่าของโมเมนต์ดัด และ แรงเฉือนที่มากที่สุด ของ U-20 และ DL-16 ในคานทุกช่วง ความยาว มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังรูปที่ 3.7

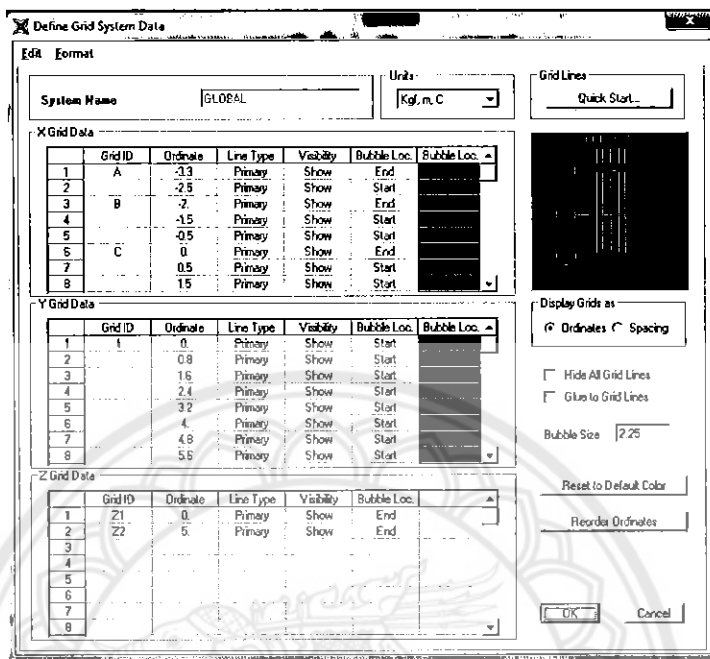


รูปที่ 3.7 การนำค่าของโมเมนต์ดัด และ แรงเฉือนที่มากที่สุด ของ U-20 และ DL-16 มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง

3.3.3 ขั้นตอนการจำลอง model สะพานทางรถไฟ

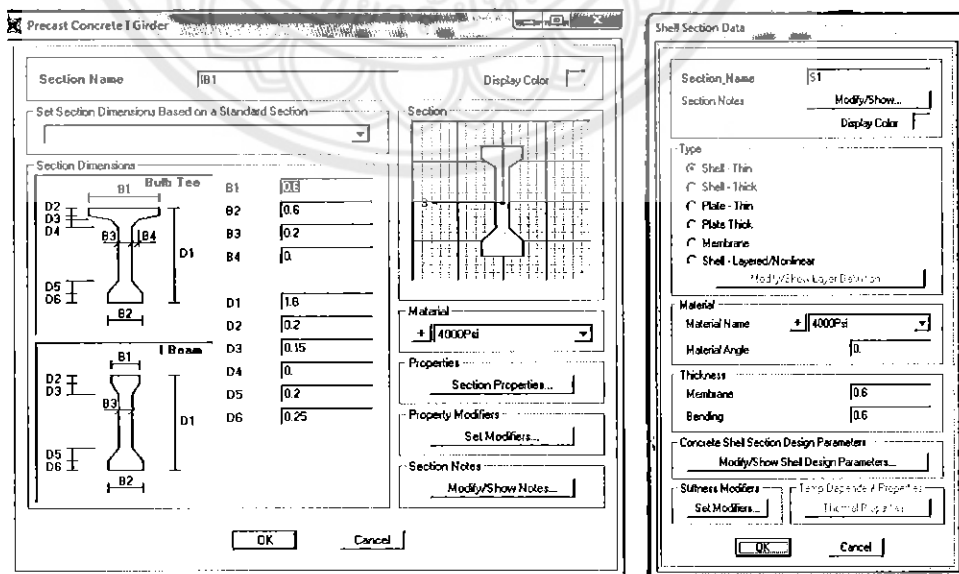
คณะผู้จัดทำโครงการ ได้ใช้โปรแกรม SAP2000 เพื่อช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างสะพานทางรถไฟ โดยคณะผู้จัดทำได้ทำการสร้าง model สะพานน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U-20 มาวิ่งบนพื้น Model ให้มีลักษณะเหมือนรถไฟ เพื่อคำนวณหาค่าแรงเฉือนสูงสุด และโมเมนต์ดัดสูงสุด ของแต่ละคานซึ่งรายละเอียดของการ model มีดังนี้

1. สร้าง gridline เพื่อเป็นแนวในการวาง model



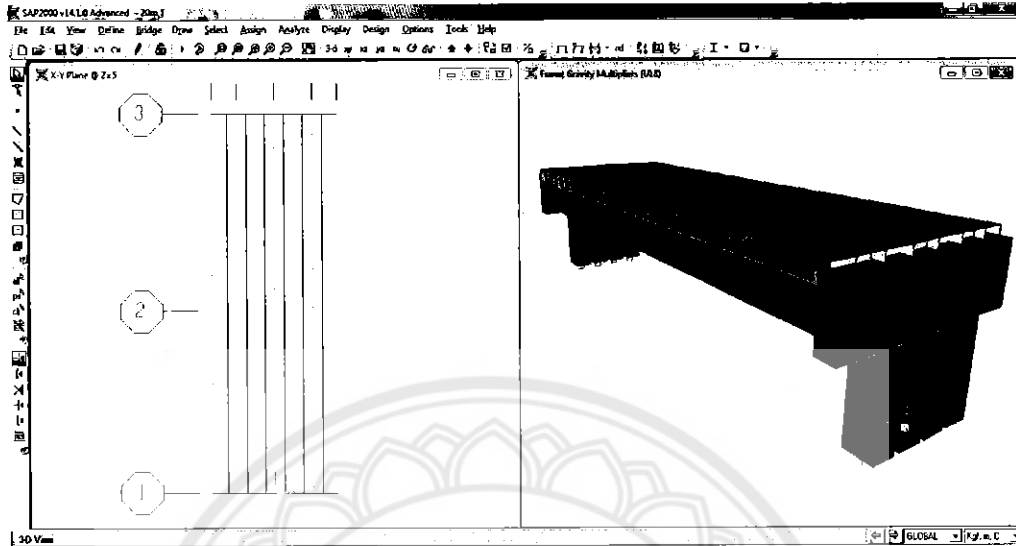
รูปที่ 3.8 แสดงการสร้าง gridline เพื่อเป็นแนวในการวาง model

2. กำหนดขนาด หน้าตัดของเสาตอม่อและคาน รวมไปถึงขนาดและความหนาของพื้น โดยการสมมติขนาดให้ใกล้เคียงกับขนาดจริงซึ่งจะทำการจำลอง หน้าตัดรูปตัวไอ ดังรูปที่ 3.8



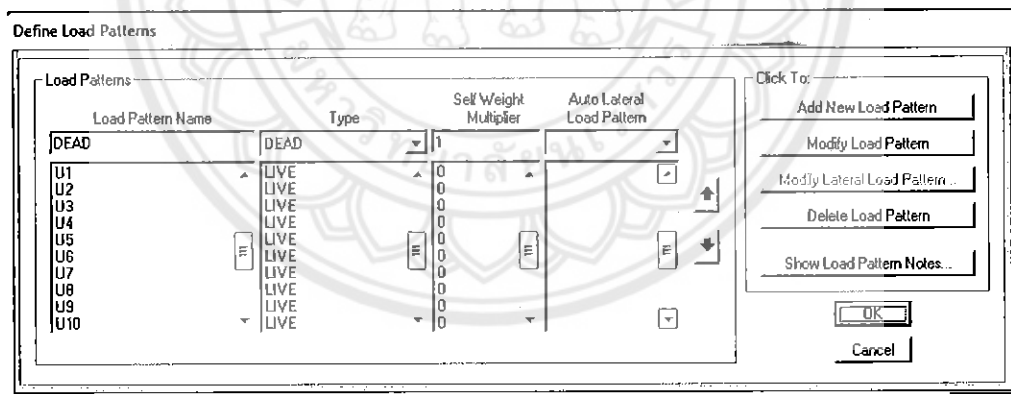
รูปที่ 3.9 แสดงการจำลอง หน้าตัดรูปตัวไอ

3. เริ่มวาด model สะพานตาม gridline และรูปแบบของสะพาน ดังรูปที่ 3.10



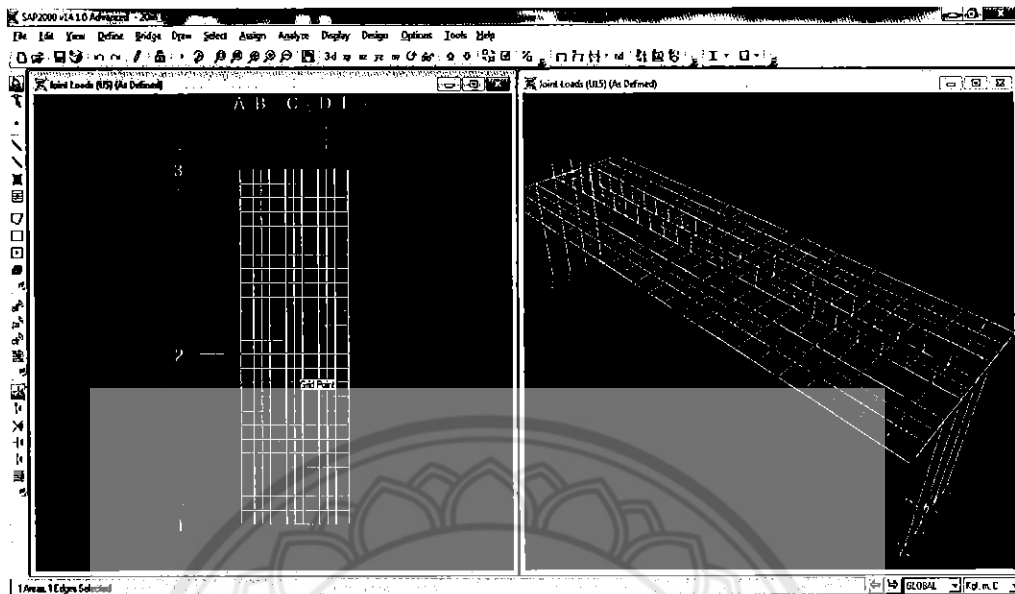
รูปที่ 3.10 แสดง model รูปแบบของสะพาน

4. ทำการกำหนด ลักษณะของน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U-20ที่จะนำมาวิ่งลงบนสะพาน โดยที่มีทั้งหมด 17 ลักษณะ (U1-U17) ดังรูปที่ 3.11



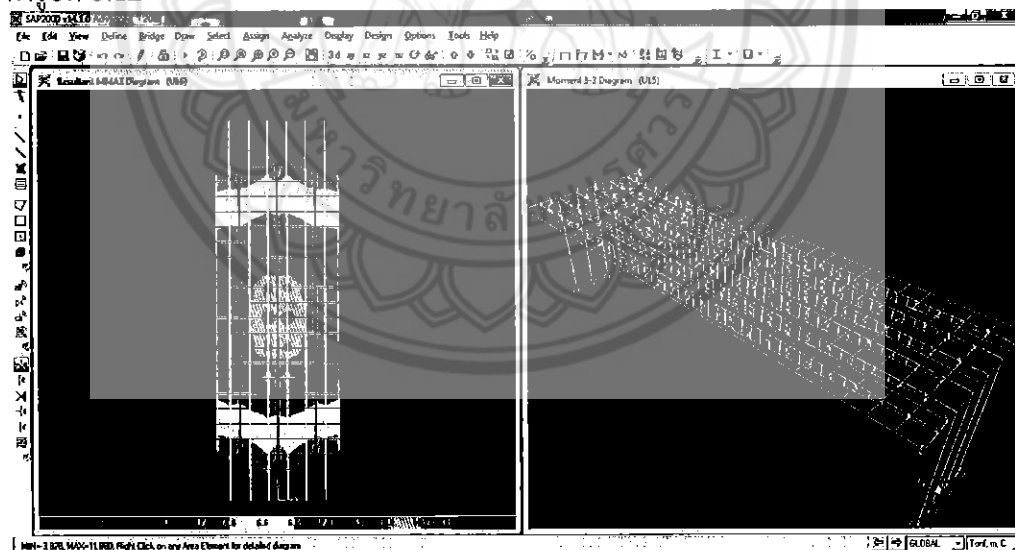
รูปที่ 3.11 แสดงการกำหนด ลักษณะของน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U-20

5. นำน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U-20 (U1-U17) มาวางบนสะพาน ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U-20 (U1-U17) มาเคลื่อนที่บนสะพาน

6. ทำการ Run Analysis เพื่อหาค่าโมเมนต์ตัดในพื้นและคานเพื่อนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบต่อไป ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดง โมเมนต์ตัดในพื้นและคาน

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์

4.1 บทนำ

การแสดงผลของผลตอบสนองที่เกิดขึ้นในโครงสร้างสะพาน เช่น แรงปฏิกิริยา (reaction) แรงเฉือน(shear) และโมเมนต์ดัด(bending moment) ที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างของโปรแกรม Sap 2000 โดยมีน้ำหนักมาตรฐาน U-20 และน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 เคลื่อนที่บนโครงสร้าง และโปรแกรมจะแสดงค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นทั้งแรงเฉือน(shear) และโมเมนต์ดัด(bending moment) ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำมีความต้องการให้เห็นถึงผลตอบสนองของช่วงความยาว 5,10,15,20,30 และ 50 เมตร ที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ๆได้แบ่งช่วงคานไว้ ค่าทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างสามารถนำมาวิเคราะห์ออกมาเป็น 4 กลุ่มคือ

4.1.1 เปรียบเทียบผลตอบสนองของช่วงความยาว 5, 10,15,20,30 และ 50 เมตร ที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ๆได้แบ่งช่วงคานไว้ และหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานของช่วงความยาวต่างๆ

4.1.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลตอบสนองที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักมาตรฐาน U-20 และน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 เคลื่อนที่บนโครงสร้าง

4.1.3 วิเคราะห์โครงสร้างของพื้นทางรถไฟ เมื่อมีน้ำหนักมาตรฐาน U-20 เคลื่อนที่บน Model โครงสร้าง สะพานทางรถไฟ ที่มีช่วงยาว 20 เมตร

4.1.4 วิเคราะห์โครงสร้างของคานช่วงเดียวธรรมดาจำนวน 6 ช่วงความยาวคาน ที่รองรับพื้นทางรถไฟ เมื่อมีน้ำหนักมาตรฐาน U-20 เคลื่อนที่บน Model โครงสร้าง สะพานทางรถไฟ ที่มีช่วงยาว 20 เมตร

ซึ่งการแสดงผลจากโปรแกรมดังกล่าวจะทำให้ง่ายต่อการนำไปวิเคราะห์ต่อไป

4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง

4.2.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของคานช่วงเดียวธรรมดา เมื่อน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 และน้ำหนักมาตรฐาน U-20 เคลื่อนที่บนโครงสร้างตามตารางที่ 3.1

จากข้อมูลผลการวิเคราะห์โครงสร้าง เนื่องจากน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 และน้ำหนักมาตรฐาน U-20 เคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างเมื่อน้ำหนักเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้ จะเกิดกรณีต่างๆขึ้นมากมาย สำหรับช่วงคานยาว 5 เมตรและ 10 เมตร ได้ทำการแบ่งช่วงๆละ 0.5 เมตร ส่วนช่วงคานยาว 15 เมตร ,20 เมตร ,30เมตร และ 50 เมตร ได้ทำการแบ่งช่วงละ 1 เมตร ตั้งแต่จุดเริ่มต้นที่น้ำหนักได้เคลื่อนที่เข้าโครงสร้างจนถึงจุดสิ้นสุดที่น้ำหนักเคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างไป ซึ่งสามารถแสดงออกมาในรูปของ Excel และได้ทำการรวบรวมค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้มาแสดงดังตารางที่ 4.1-4.6

การวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นต้นได้ทำการเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง และแสดงออกมาเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังแสดงในตารางที่ 4.6-4.12

ตารางที่ 4.1 แสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับช่วงคาน 5 เมตร

Max Value U20				Max Value DL16			
Station	Shear	Station	Moment	Station	Shear	Station	Moment
m	Ton	m	Ton-m	m	Ton	m	Ton-m
0	38.4	0	0	0	30.72	0	0
0.5	32.4	0.5	16.2	0.5	25.92	0.5	13
1	26.2976	1	26.8096	1	21.12	1	21.12
1.5	18.6656	1.5	33.9584	1.5	17.6	1.5	25.44
2	14.7456	2	38.8	2	13.12	2	29.44
2.5	11.7504	2.5	42.064	2.5	10.56	2.5	32
3	14.8	3	39.6	3	13.76	3	30.08
3.5	22.486	3.5	35.2976	3.5	17.28	3.5	25.92
4	28.7744	4	28.9024	4	22.08	4	22.08
4.5	34.8	4.5	17.4	4.5	26.88	4.5	13.44
5	40.1184	5	0	5	27.84	5	0
Max shear	40.1184	Max moment	42.064	Max shear	30.72	Max moment	32

ตารางที่ 4.2 แสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์คดสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ ช่วงคาน 10 เมตร

MaxValueU20				MaxValueD16			
Station	Shear	Station	Moment	Station	Shear	Station	Moment
m	Ton	m	Ton-m	m	Ton	m	Ton-m
0	64.8448	0	0	0	46.4000	0	0.0000
0.5	59.5808	0.5	29.7904	0.5	42.4000	0.5	21.2000
1	54.4256	1	54.9376	1	38.4000	1	38.4000
1.5	49.2736	1.5	76.5024	1.5	34.9344	1.5	52.8000
2	49.2736	2	95.1392	2	31.7784	2	64.0000
2.5	39.5808	2.5	110.576	2.5	28.7424	2.5	75.6000
3	33.8176	3	124.4128	3	25.8264	3	84.8000
3.5	29.2736	3.5	134.6976	3.5	24.8000	3.5	90.0000
4	23.5136	4	142.7584	4	20.3544	4	94.4000
4.5	18.3328	4.5	146.9152	4.5	17.7984	4.5	95.7408
5	15.1552	5	147.52	5	15.3600	5	96.2680
5.5	20.4192	5.5	146.9408	5.5	16.8096	5.5	96.8272
6	25.5744	6	143.3696	6	19.2576	6	96.0000
6.5	30.7264	6.5	136.2464	6.5	22.1736	6.5	92.0000
7	35.8784	7	125.5712	7	24.9696	7	86.7200
7.5	41.0304	7.5	111.824	7.5	27.6456	7.5	78.0000
8	46.1824	8	96.9728	8	30.5496	8	65.6000
8.5	51.3344	8.5	78.5696	8.5	33.6576	8.5	54.5600
9	56.4864	9	56.6144	9	37.6000	9	39.8400
9.5	61.6672	9.5	30.8336	9.5	41.4400	9.5	21.1200
10	61.6672	10	0	10	45.4400	10	0.0000
Max Shear	64.8448	Max Moment	147.52	Max Shear	46.4000	Max Moment	96.8272

ตารางที่ 4.3 แสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์คดสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ ช่วงคาน 15 เมตร

MaxValueU20				MaxValueD16			
Station	Shear	Station	Moment	Station	Shear	Station	Moment
m	Ton	m	Ton-m	m	Ton	m	Ton-m
0	84.1899	0	0	0	63.36	0	0
1	75.1104	1	75.11	1	56.96	1	57
2	66.1077	2	138.4875	2	50.56	2	101.12
3	57.1051	3	189.747	3	44.16	3	137.28
4	48.1024	4	230.8523	4	37.76	4	172.8
5	39.0997	5	263.9573	5	31.4667	5	187.2
6	30.0971	6	285.606	6	25.4933	6	199.36
7	21.0944	7	295.65	7	19.52	7	203.52
8	22.8949	8	294.7499	8	17.7216	8	202.88
9	31.8976	9	284.1856	9	23.1936	9	200.64
10	40.9003	10	262.283	10	28.6656	10	187.2
11	49.9029	11	232.3797	11	33.4976	11	167.36
12	58.9056	12	192.2048	12	39.04	12	137.92
13	67.9083	13	140.4245	13	45.44	13	102.08
14	76.9109	14	77.03893	14	51.84	14	56.64
15	78.1909	15	0	15	58.24	15	0
Max Shear	84.1899	Max Moment	295.65	Max Shear	63.36	Max Moment	203.52

ตารางที่ 4.4 แสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์คดสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ
ช่วงคาน 20 เมตร

MaxValueU20				MaxValueD16			
Station	Shear	Station	Moment	Station	Shear	Station	Moment
m	Ton	m	Ton-m	m	Ton	m	Ton-m
0	101.8624	0	0	0	78	0	0
1	93.4528	1	93.9648	1	70.8	1	71
2	85.1008	2	176.4736	2	64.4	2	128.8
3	76.7488	3	248.6784	3	58.24	3	178.8
4	68.3968	4	310.5792	4	52.64	4	224
5	60.0448	5	362.976	5	47.52	5	257.6
6	51.6928	6	407.3728	6	42.24	6	283.84
7	43.3408	7	442.2656	7	36.64	7	302.88
8	29.1968	8	466.8544	8	30.32	8	315.52
9	26.6368	9	481.8074	9	23.76	9	325.2
10	18.2848	10	485.12	10	16.64	10	328
11	21.2352	11	480.1088	11	19.8432	11	324.64
12	36.6592	12	465.4336	12	25.7072	12	315.84
13	37.9392	13	440.4544	13	31.6	13	304.32
14	46.2912	14	406.7392	14	37.76	14	284.16
15	61.7152	15	365.024	15	43.36	15	256.8
16	70.0672	16	313.0368	16	48.48	16	222.72
17	78.4192	17	250.7456	17	53.76	17	179.44
18	86.7712	18	178.1504	18	59.5008	18	129.76
19	95.1232	19	95.2512	19	66	19	66
20	96.4032	20	0	20	72.24	20	0
Max shear	101.8624	Max moment	485.12	Max shear	78	Max moment	328

ตารางที่ 4.5 แสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ
ช่วงคาน 30 เมตร

Max Value U20				Max Value DL16			
Station		Station	Moment	Station	Shear	Station	Moment
m	Ton	m	Ton-m	m	Ton	m	Ton-m
0	135.5349	0	0	0	107.0688	0	0
1	127.7952	1	128.3072	1	100.8448	1	101
2	120.0939	2	246.4597	2	94.7808	2	189.5616
3	112.3925	3	355.6096	3	88.8768	3	247.7184
4	104.6912	4	506.5605	4	83.1328	4	345.5232
5	96.9899	5	546.9013	5	77.5488	5	434.4834
6	89.2885	6	629.0432	6	71.8048	6	467.6608
7	81.5872	7	702.3317	7	66.0075	7	516.5376
8	73.8859	8	767.7696	8	59.8901	8	559.4624
9	66.1845	9	825.3568	9	53.7728	9	598.6272
10	58.4832	10	874.0907	10	47.36	10	634.368
11	50.7819	11	919.0588	11	40.9312	11	660.0608
12	43.0805	12	944.5504	12	34.8885	12	679.1936
13	35.3792	13	966.2763	13	28.8459	13	689.7344
14	27.6779	14	978.9995	14	23.0165	14	696.64
15	21.5168	15	982.72	15	17.3472	15	699.952
16	29.2181	16	978.0992	16	18.4512	16	697.1648
17	36.9195	17	965.1157	17	25.1232	17	691.2864
18	44.6208	18	943.1296	18	31.0272	18	680.0256
19	52.3221	19	912.1408	19	36.1099	19	659.7568
20	60.0235	20	872.416	20	43.1552	20	633.248
21	67.7248	21	824.7232	21	48.64	21	599.2032
22	75.4261	22	769.2971	22	55.1232	22	558.9504
23	83.1275	23	704.9003	23	61.1115	23	517.8816
24	90.8288	24	631.5008	24	67.1541	24	468.2688
25	98.5301	25	549.0987	25	72.9835	25	410.224
26	106.2315	26	457.6939	26	78.6528	26	343.9232
27	113.9328	27	357.2864	27	84.2688	27	270.3424
28	115.2128	28	247.8763	28	90.2272	28	190.3616
29	122.9141	29	129.4635	29	96.64	29	100.4768
30	130.6155	30	0	30	102.0768	30	0
Max shear	135.5349	Max moment	982.72	Max shear	107.0688	Max moment	634.368

ตารางที่ 4.6 แสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ
ช่วงคาน 50 เมตร

Max Value U20				Max Value D16			
Station	Shear	Station	Moment	Station	Shear	Station	Moment
m	Ton	m	Ton-m	m	Ton	m	Ton-m
0	200.873	0	0	0	159.0893	0	0
1	193.6691	1	194.1811	1	153.4349	1	228.20873
2	186.4883	2	379.2486	2	147.8765	2	295.75296
3	179.3075	3	556.3546	3	142.4141	3	429.22944
4	172.1267	4	725.4989	4	137.0477	4	557.90592
5	164.9459	5	886.6816	5	131.7773	5	679.472
6	157.7651	6	1039.903	6	126.4109	6	796.3136
7	150.5843	7	1185.162	7	121.0125	7	921.71264
8	143.4035	8	1322.46	8	115.4221	8	1010.4128
9	136.2227	9	1451.796	9	109.8317	9	1107.6704
10	129.0419	10	1573.171	10	104.0813	10	1198.4
11	121.8611	11	1686.584	11	98.4096	11	1282.6016
12	114.6803	12	1792.445	12	92.7456	12	1360.2752
13	107.4995	13	1890.716	13	87.0816	13	1433.7888
14	100.3187	14	1981.396	14	81.4176	14	1520.1504
15	93.1379	15	2064.525	15	75.7536	15	1572.048
16	85.9571	16	2139.692	16	70.0896	16	1631.3856
17	78.7763	17	2206.897	17	64.4256	17	1684.1952
18	71.5955	18	2266.14	18	58.7616	18	1730.4768
19	64.4147	19	2317.422	19	53.0976	19	1770.2304
20	57.2339	20	2360.742	20	47.4336	20	1803.456
21	50.0531	21	2396.101	21	41.7696	21	1830.2176
22	42.8723	22	2423.498	22	33.0067	22	1851.2512
23	35.6915	23	2442.934	23	30.4416	23	1865.7568
24	28.5107	24	2454.408	24	24.7776	24	1873.7344
25	22.7661	25	2457.92	25	20.2464	25	1876.464
26	29.9469	26	2453.612	26	22.9875	26	1874.8416
27	31.2269	27	2441.981	27	28.5779	27	1866.6912
28	38.4977	28	2422.39	28	34.1683	28	1852.0128
29	51.4893	29	2394.837	29	37.2384	29	1830.8064
30	52.7693	30	2359.322	30	48.5664	30	1803.072
31	59.9501	31	2315.845	31	51.2544	31	1769.5136
32	73.0317	32	2264.407	32	56.9184	32	1729.5872
33	80.2125	33	2205.014	33	62.5824	33	1683.1328
34	87.3933	34	2138.433	34	68.2464	34	1630.1504
35	94.5741	35	2063.891	35	73.9104	35	1570.64
36	101.7549	36	1982.136	36	79.5744	36	1504.8256
37	108.9357	37	1892.452	37	85.2384	37	1433.1232
38	117.3965	38	1792.495	38	90.9024	38	1359.3088
39	117.3965	39	1736.748	39	96.5664	39	1281.4624
40	130.4781	40	1575.629	40	102.2304	40	1197.088
41	131.7581	41	1454.098	41	107.8944	41	1106.1856
42	138.9389	42	1324.605	42	113.5584	42	1008.7552
43	146.1197	43	1187.151	43	119.2224	43	904.7968
44	153.3005	44	1041.736	44	124.8864	44	795.7824
45	160.4813	45	888.3584	45	130.5504	45	680.496
46	167.6621	46	727.0195	46	136.2144	46	558.6816
47	174.8429	47	626.2861	47	141.8784	47	430.3392
48	182.0237	48	541.6166	48	147.5424	48	296.36096
49	189.2045	49	367.4778	49	148.9805	49	153.22368
50	196.3853	50	0	50	154.5581	50	0
Max shear	200.873	Max moment	2457.92	Max shear	159.0893	Max moment	1876.464

ตารางที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับช่วงคาน 5 เมตร

% diff		
Station	% Shear	% Moment
m	m	Ton-m
0	25%	0%
0.5	25%	25%
1	25%	27%
1.5	6%	33%
2	12%	32%
2.5	11%	31%
3	8%	32%
3.5	30%	36%
4	30%	31%
4.5	29%	29%
5	44%	0%
max	44%	36%

ตารางที่ 4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับช่วงคาน 10 เมตร

% diff		
Station	% Shear	% Moment
m	m	Ton-m
0	40%	0%
0.5	41%	41%
1	42%	43%
1.5	41%	45%
2	55%	49%
2.5	38%	46%
3	31%	47%
3.5	18%	50%
4	16%	51%
4.5	3%	53%
5	1%	53%
5.5	21%	52%
6	33%	49%
6.5	39%	48%
7	44%	45%
7.5	48%	43%
8	51%	48%
8.5	53%	44%
9	50%	42%
9.5	49%	46%
10	36%	0%
max	55%	53%

ตารางที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์คดสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับช่วงคาน 15 เมตร

%diff		
Station	% Shear	% Moment
m	m	Ton-m
0	33%	0%
1	32%	32%
2	31%	37%
3	29%	38%
4	27%	34%
5	24%	41%
6	18%	43%
7	8%	45%
8	29%	45%
9	38%	42%
10	43%	40%
11	49%	39%
12	51%	39%
13	49%	38%
14	48%	36%
15	34%	0%
max	51%	45%

ตารางที่ 4.10 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์คดสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับช่วงคาน 20 เมตร

%diff		
Station	% Shear	% Moment
m	m	Ton-m
0	31%	0%
1	32%	33%
2	32%	37%
3	32%	39%
4	30%	39%
5	26%	41%
6	22%	44%
7	18%	46%
8	4%	48%
9	12%	48%
10	10%	48%
11	7%	48%
12	43%	47%
13	20%	45%
14	23%	43%
15	42%	42%
16	45%	41%
17	46%	40%
18	46%	37%
19	44%	44%
20	33%	0%
max	46%	48%

ตารางที่ 4.11 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับช่วงคาน 30 เมตร

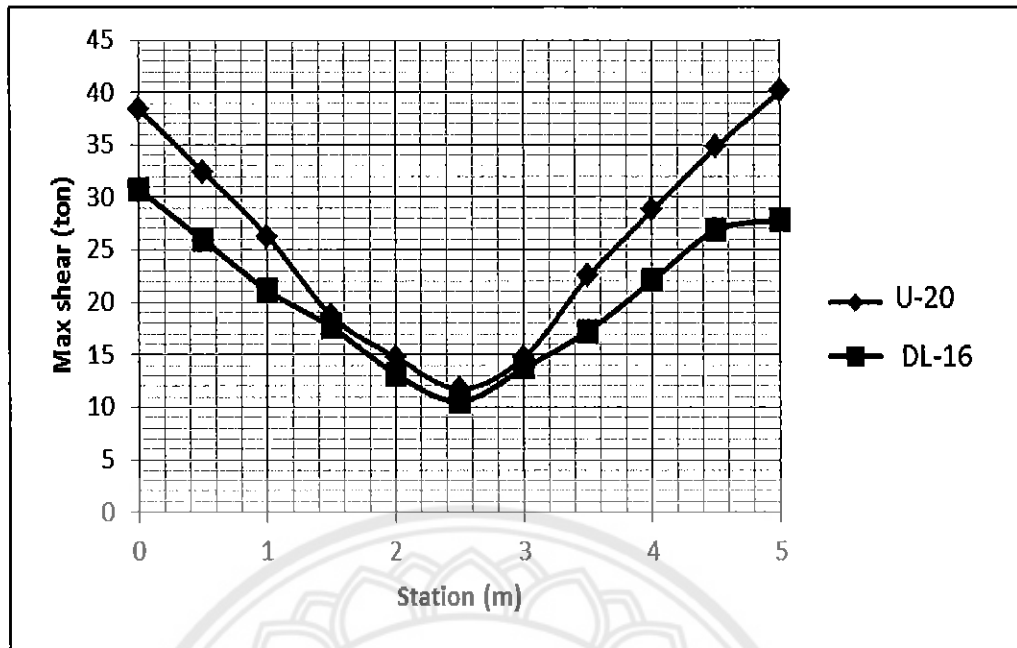
% ค่าที่		
Station	% Shear	% Moment
m	m	Ton-m
0	27%	0%
1	27%	27%
2	27%	30%
3	26%	44%
4	26%	47%
5	25%	26%
6	24%	35%
7	24%	36%
8	23%	37%
9	23%	38%
10	23%	38%
11	24%	39%
12	23%	39%
13	23%	40%
14	20%	41%
15	24%	40%
16	58%	40%
17	47%	40%
18	44%	39%
19	45%	38%
20	39%	38%
21	39%	38%
22	37%	38%
23	36%	36%
24	35%	35%
25	35%	34%
26	35%	33%
27	35%	32%
28	28%	30%
29	27%	29%
30	28%	0%
max	58%	47%

ตารางที่ 4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับช่วงคาน 50 เมตร

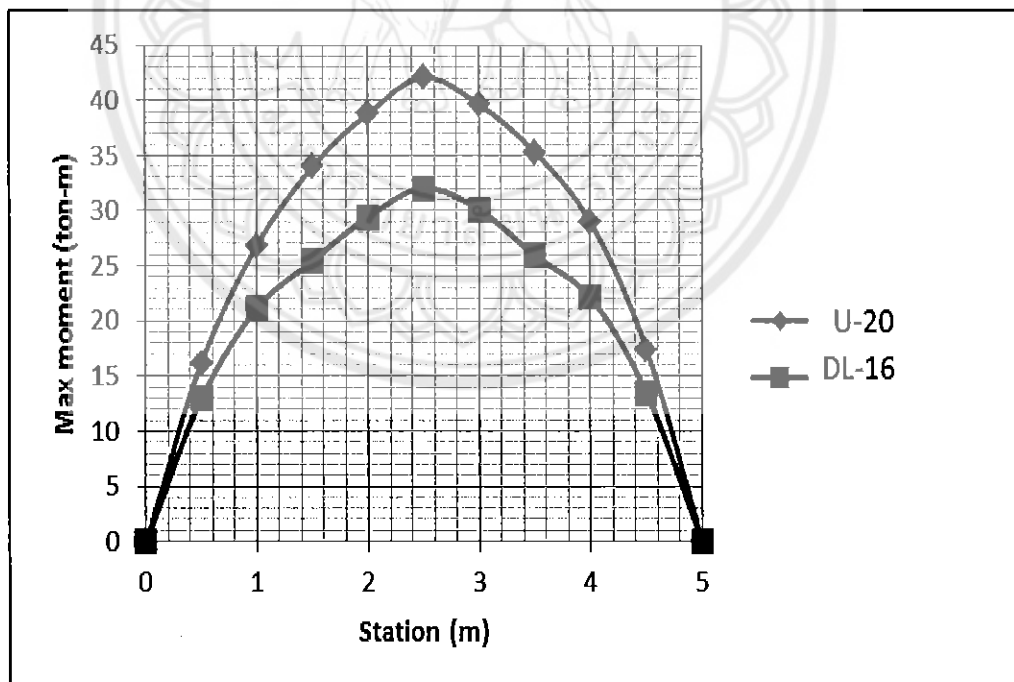
Station	% diff	
	% Shear	% Moment
m	m	Ton-m
0	26%	0%
1	26%	15%
2	26%	28%
3	26%	30%
4	26%	30%
5	25%	30%
6	25%	31%
7	24%	29%
8	24%	31%
9	24%	31%
10	24%	31%
11	24%	31%
12	24%	32%
13	23%	32%
14	23%	30%
15	23%	31%
16	23%	31%
17	22%	31%
18	22%	31%
19	21%	31%
20	21%	31%
21	20%	31%
22	30%	31%
23	17%	31%
24	15%	31%
25	12%	31%
26	30%	31%
27	9%	31%
28	13%	31%
29	38%	31%
30	9%	31%
31	17%	31%
32	28%	31%
33	28%	31%
34	28%	31%
35	28%	31%
36	28%	32%
37	28%	32%
38	29%	32%
39	22%	36%
40	28%	32%
41	22%	31%
42	22%	31%
43	23%	31%
44	23%	31%
45	23%	31%
46	23%	30%
47	23%	46%
48	23%	83%
49	27%	140%
50	27%	0%
max	38%	140%

จากรูปที่ 4.1-4.12 เป็นกราฟแสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงความยาว 5,10,15,20,30 และ 50 เมตร ที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้ ซึ่งเกิดจากน้ำหนักมาตรฐาน U-20 และน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 เคลื่อนที่บนโครงสร้าง จากกราฟแรงเฉือนสูงสุดแสดงให้เห็นถึงแรงเฉือนสูงสุดจะเกิดที่บริเวณจุดรองรับ (support) จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนถึงค่าต่ำสุดที่กึ่งกลางคาน ($L/2$) ค่าของแรงเฉือนสูงสุดจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงจนถึงค่าสูงสุดที่บริเวณจุดรองรับ (support) จะเห็นได้ว่ากราฟของแรงเฉือนสูงสุดในช่วงความยาวคานต่างๆ จะมีลักษณะของกราฟคล้ายอักษรตัววี (V) เมื่อนำกราฟแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดจากน้ำหนักมาตรฐาน U-20 และน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 มาเปรียบเทียบกันจะพบว่าความแตกต่างของแรงเฉือนสูงสุดจะแตกต่างกันมากที่สุดที่บริเวณจุดรองรับ (support) และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อน้ำหนักเคลื่อนที่ออกจากจุดรองรับ (support) จนมีค่าใกล้เคียงกันที่ตำแหน่งกึ่งกลางคาน ($L/2$) และแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักมาตรฐาน U-20 จะมีค่าสูงกว่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 ในทุกๆ ตำแหน่งที่ได้ทำการแบ่งช่วงคานไว้ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าน้ำหนักมาตรฐาน U-20 มีน้ำหนักสูงกว่าน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 บริเวณที่แรงเฉือนเกิดขึ้นสูงสุดคือบริเวณจุดรองรับ (support) เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่จุดๆ นี้ของทุกๆ ช่วงความยาวคานมาหาค่าเฉลี่ยจะพบว่ามีความแตกต่างประมาณ 32%

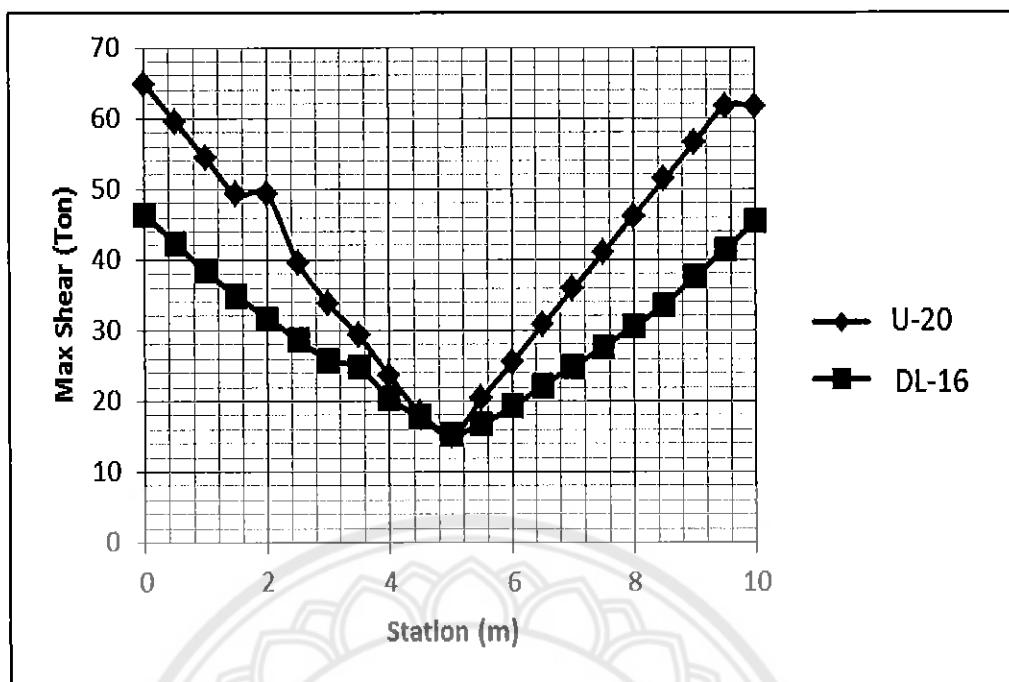
ส่วนกราฟที่แสดงโมเมนต์ดัดสูงสุดสามารถอธิบายได้ว่าบริเวณจุดรองรับ (support) สำหรับคานช่วงเดียว (simple span) จะมีค่าโมเมนต์ดัดเป็นศูนย์ เมื่อน้ำหนักเคลื่อนที่ออกจากจุดรองรับ (support) ค่าโมเมนต์ดัดจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ และสูงสุดที่ตำแหน่งกึ่งกลางคาน ($L/2$) จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงในอัตราที่เพิ่มขึ้นจนค่าโมเมนต์ดัดเป็นศูนย์ เมื่อน้ำหนักเคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างไป ทำให้เกิดลักษณะของกราฟของโมเมนต์ดัดเป็นรูปโค้งคว่ำแบบพาราโบลา และมีจุดสูงสุดที่กึ่งกลางคาน ($L/2$) เมื่อนำกราฟโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักมาตรฐาน U-20 และน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 มาเปรียบเทียบกันพบว่าในช่วงจุดรองรับ (support) โมเมนต์ดัดสูงสุดจะมีค่าเท่ากันและเริ่มแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อระยะทางห่างออกจากจุดรองรับ (support) จนถึงกึ่งกลางคาน ($L/2$) ค่าโมเมนต์ดัดจะแตกต่างกันมากที่สุด จากกราฟโมเมนต์ดัดสูงสุดแสดงให้เห็นว่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักมาตรฐาน U-20 จะมีค่าสูงกว่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของโมเมนต์ดัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักเคลื่อนที่ห่างออกจากจุดรองรับ (support) จนค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมีค่าสูงสุดที่กึ่งกลางคาน ($L/2$) ซึ่งที่จุดๆ นี้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยของทุกช่วงความยาวคานมีค่าประมาณ 40%



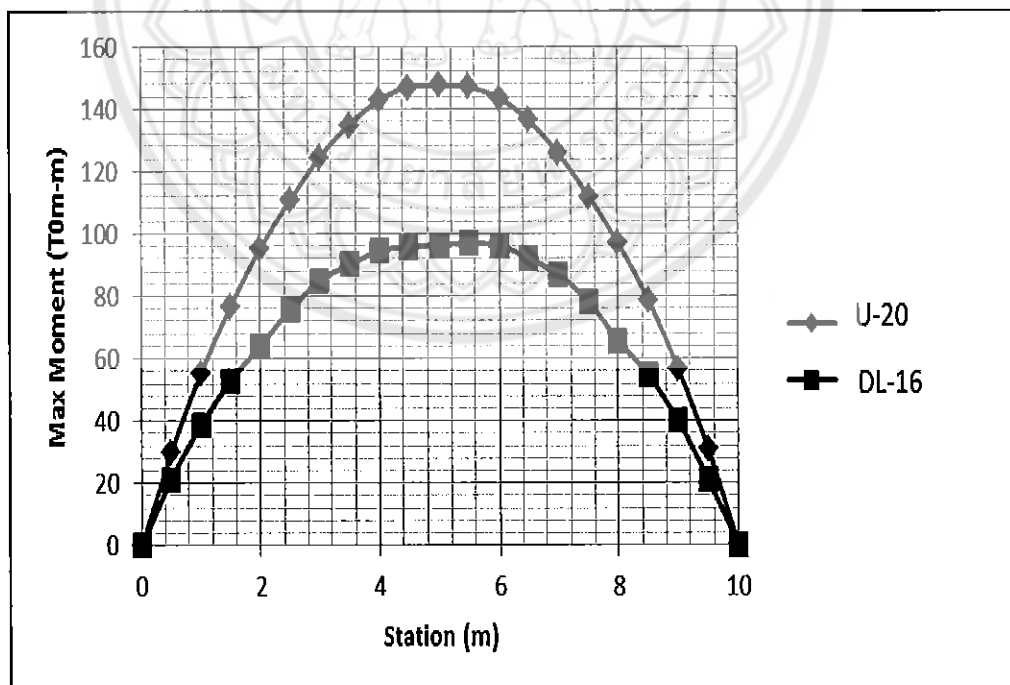
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงแรงเฉือนสูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ ช่วงคาน 5 เมตร



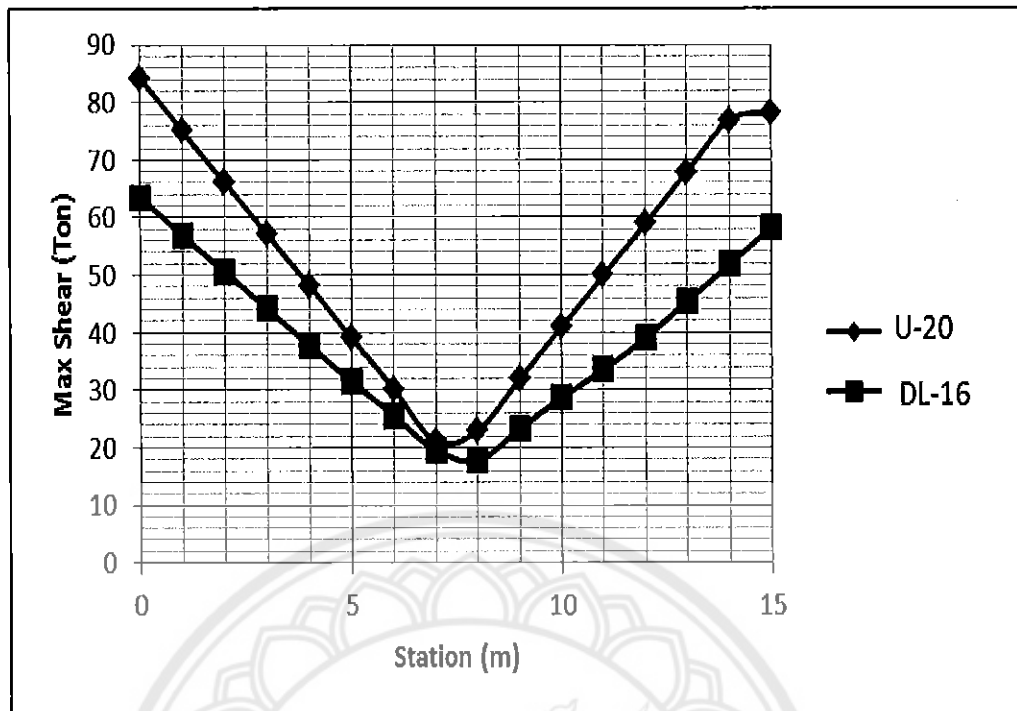
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงโมเมนต์สูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ ช่วงคาน 5 เมตร



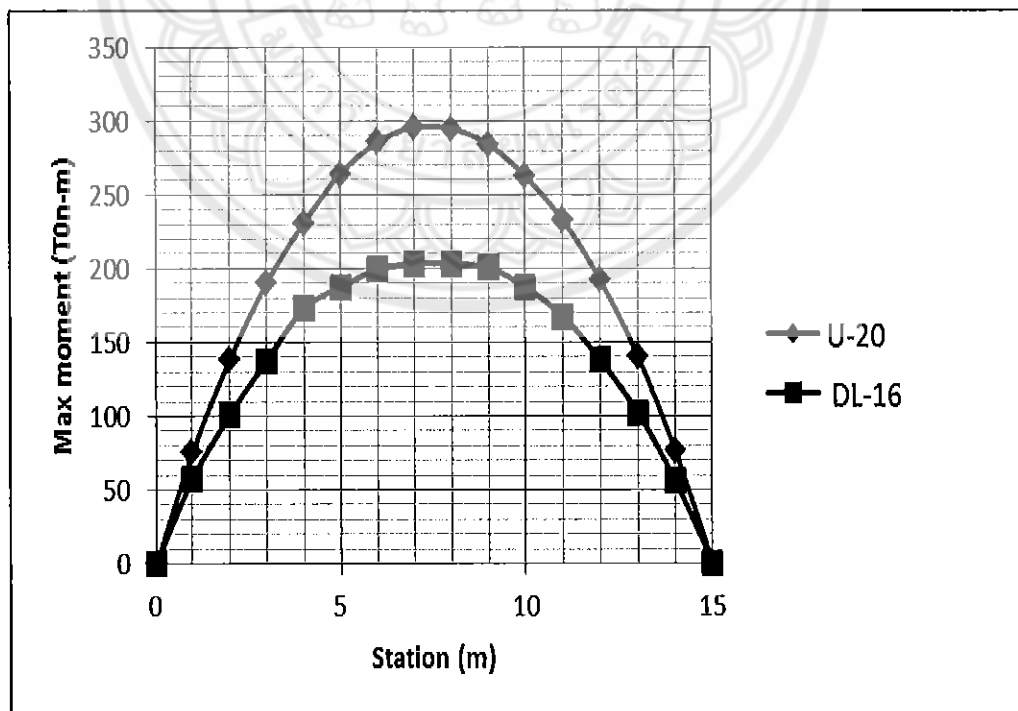
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงแรงเฉือนสูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ ช่วงคาน 10 เมตร



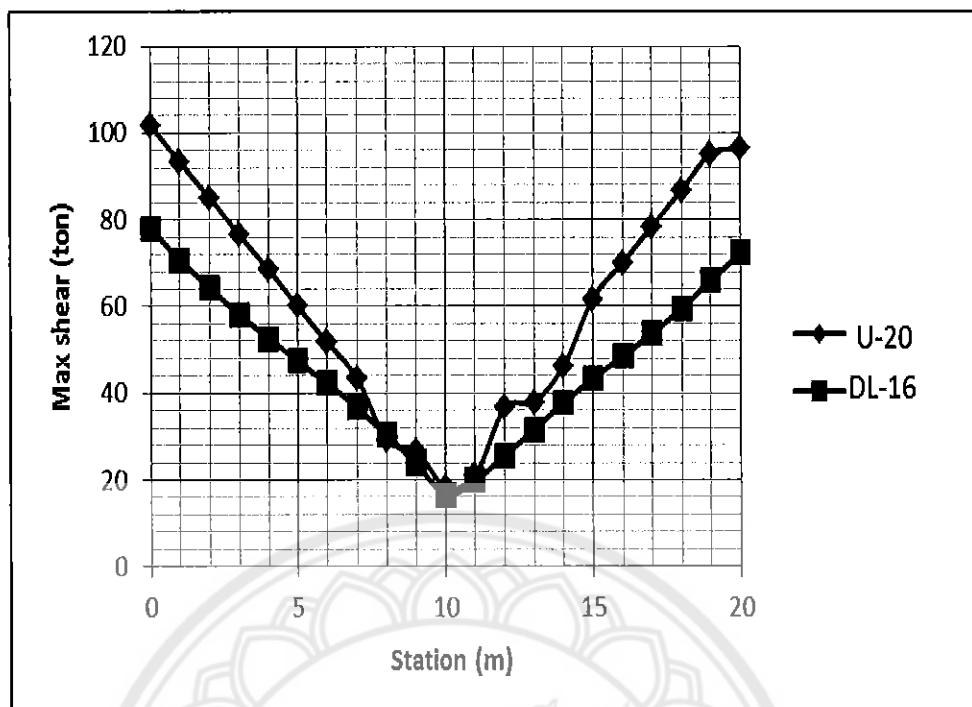
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงโมเมนต์สูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ ช่วงคาน 10 เมตร



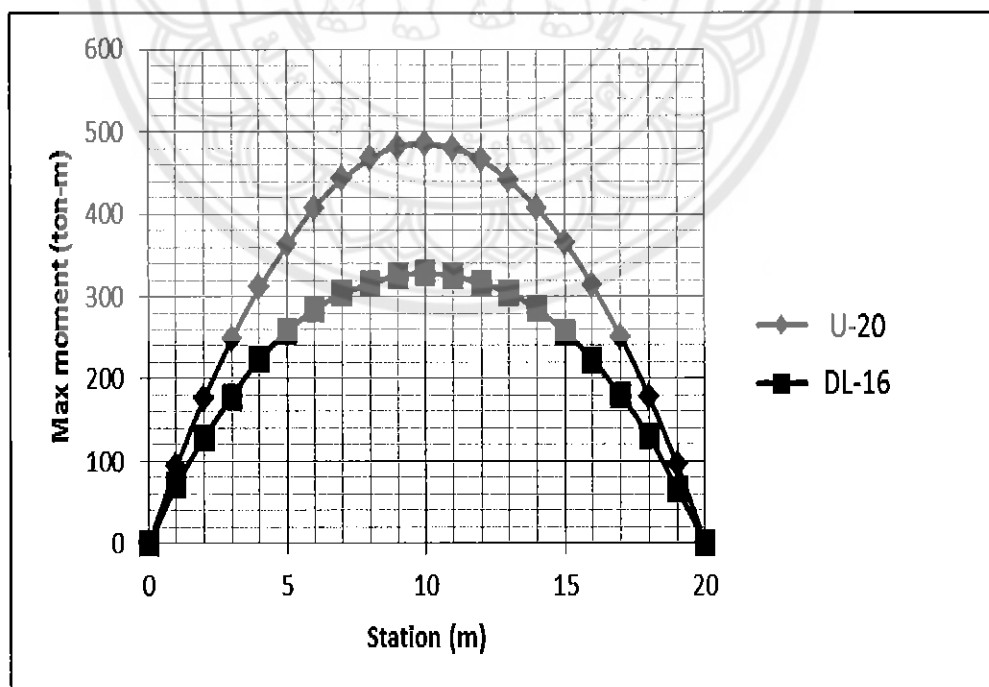
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงแรงเฉือนสูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ ช่วงคาน 15 เมตร



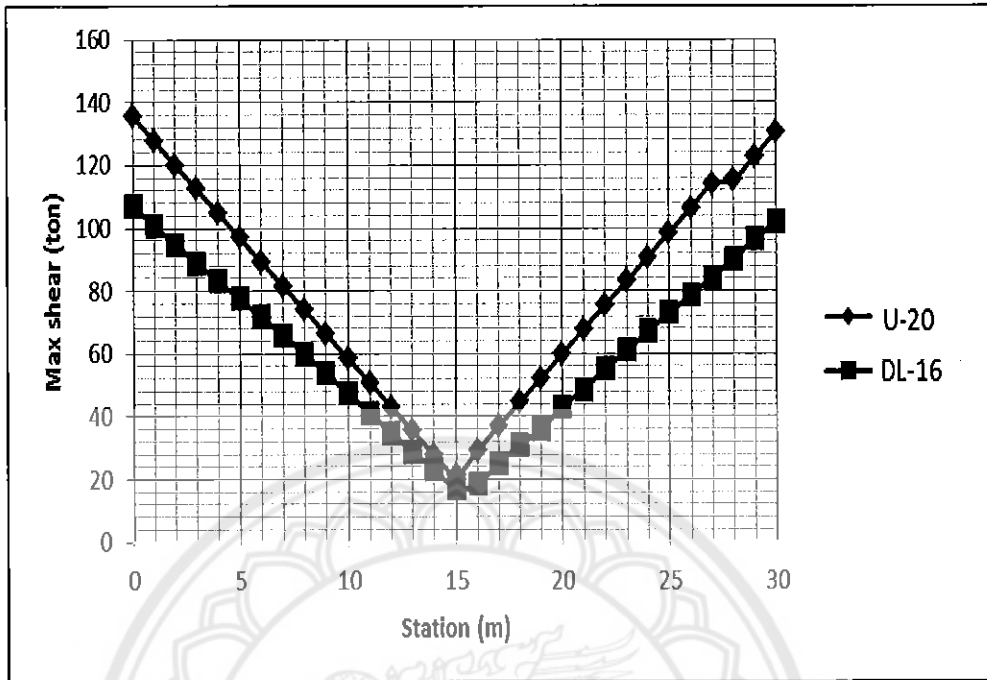
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงโมเมนต์สูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ ช่วงคาน 15 เมตร



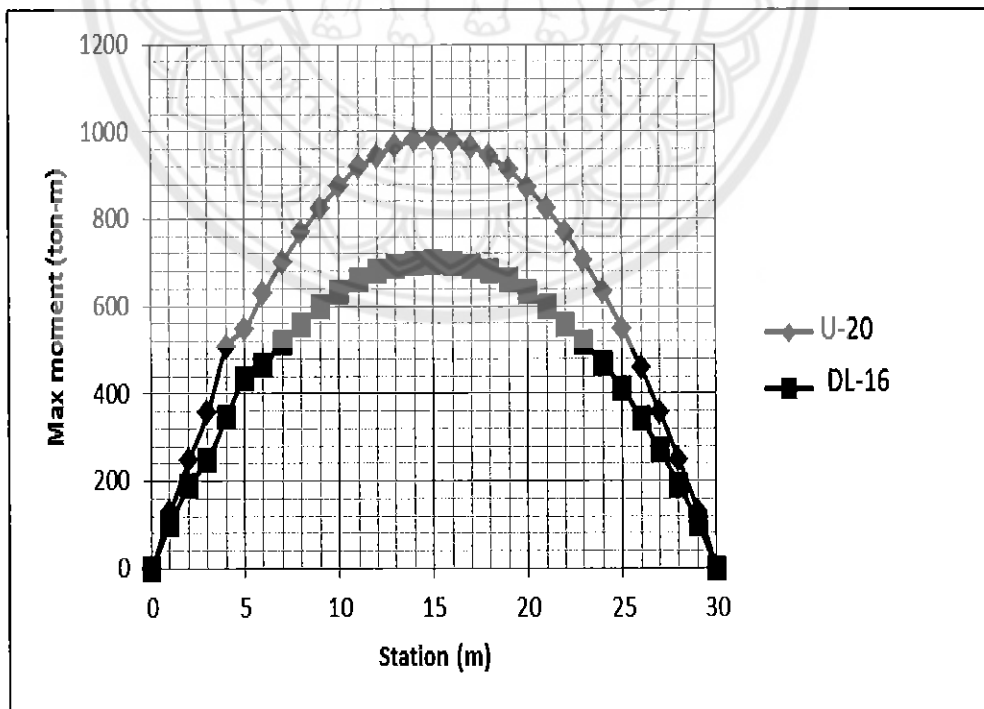
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงแรงเฉือนสูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ ช่วงคาน 20 เมตร



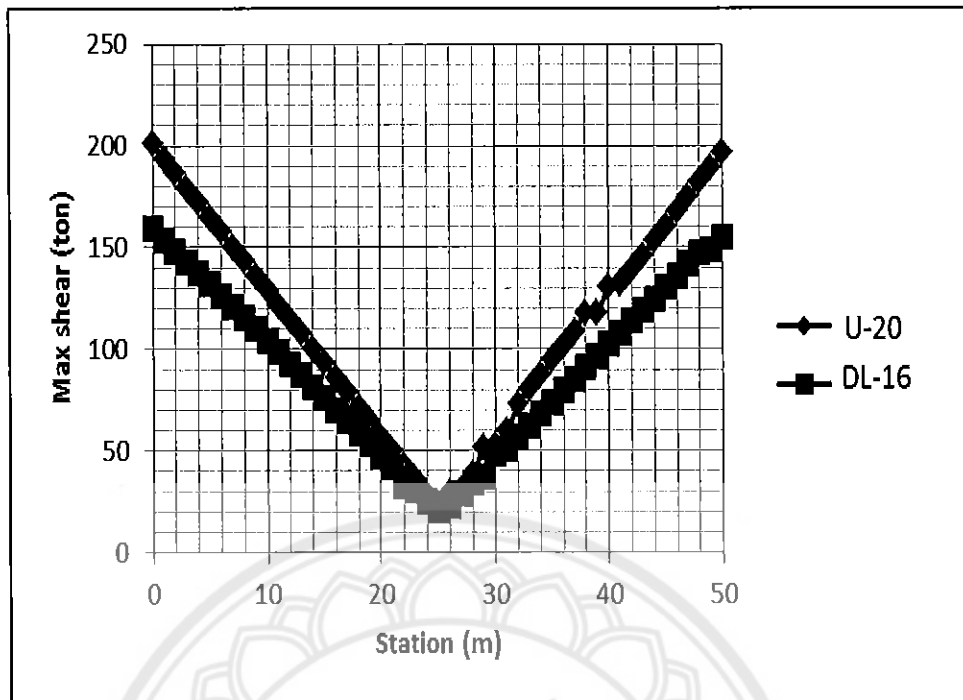
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงโมเมนต์สูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ ช่วงคาน 20 เมตร



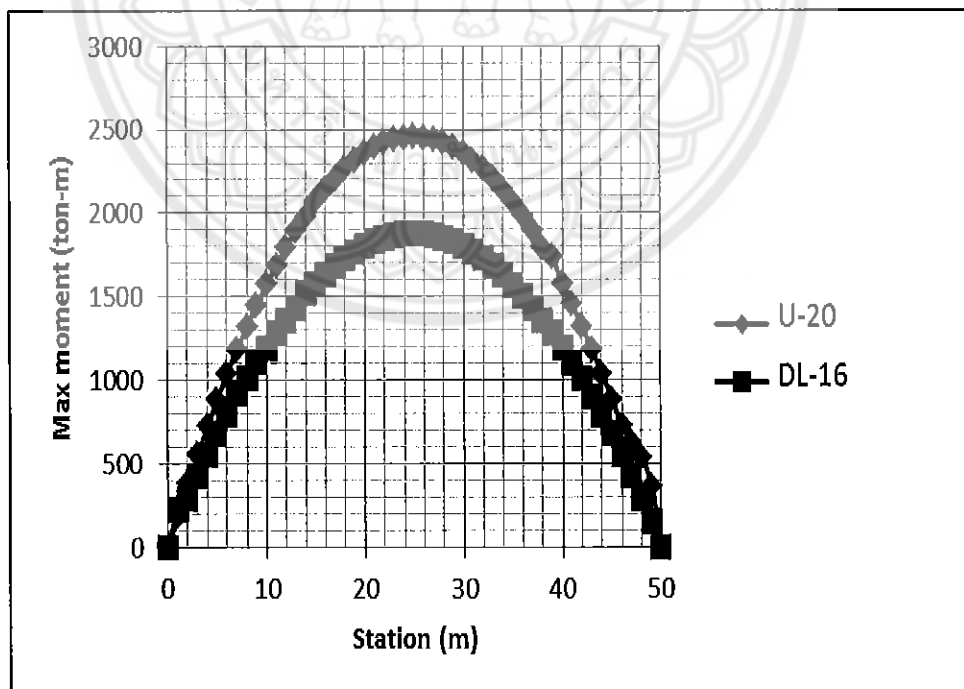
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงแรงเฉือนสูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ ช่วงคาน 30 เมตร



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงโมเมนต์สูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ ช่วงคาน 30 เมตร

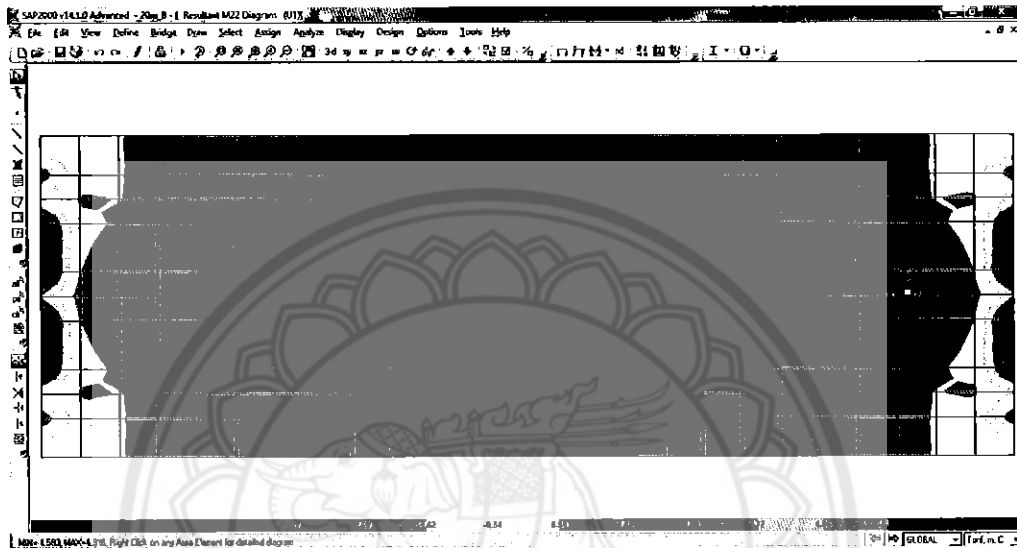


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงแรงเฉือนสูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ ช่วงคาน 50 เมตร

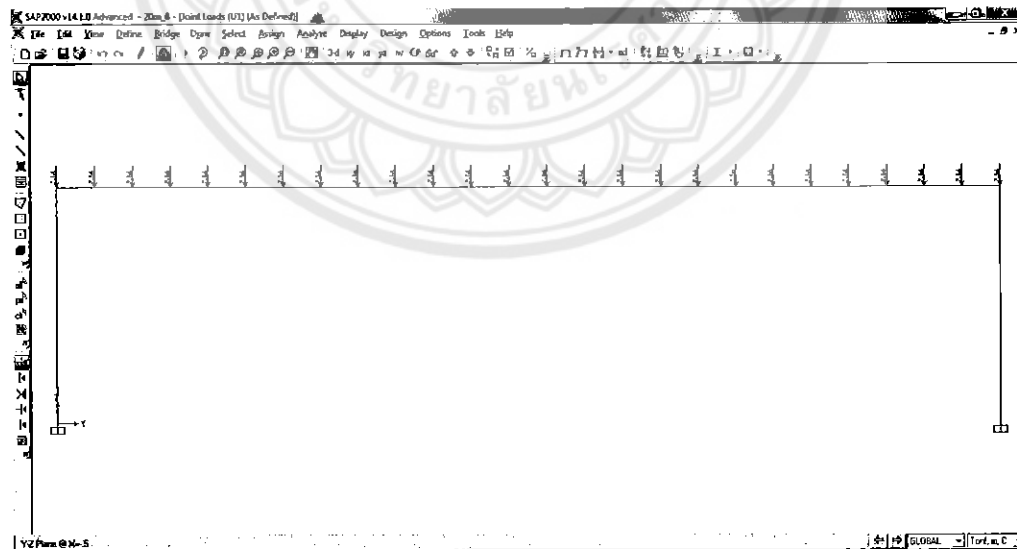


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงโมเมนต์สูงสุดและระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้แบ่งช่วงคานไว้สำหรับ ช่วงคาน 50 เมตร

4.2.2 จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลตอบสนองที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักมาตรฐาน U-20 และน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 ที่ผ่านมาสามารถนำเอาข้อสรุปที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการ Model โครงสร้าง สะพานทางรถไฟ ที่มีช่วงยาว 20 เมตรโดยการนำน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U-20 มาวิ่งบน Model จะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ ต่างๆ ดังรูปที่ 4.13-4.27.1 Contour Range ไว้ที่ Min = -7 ton-m และ Max = 7 ton-m



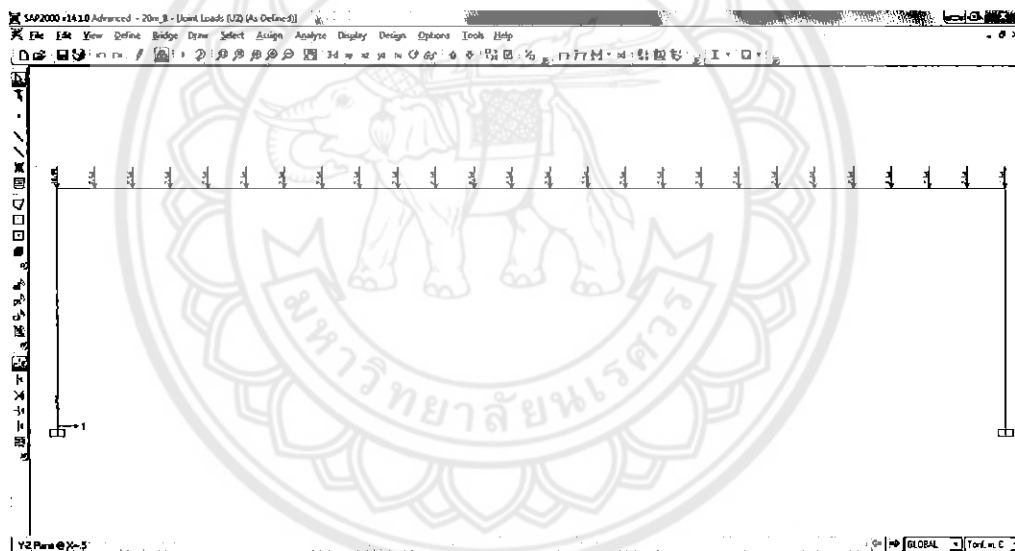
รูปที่ 4.13 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U1



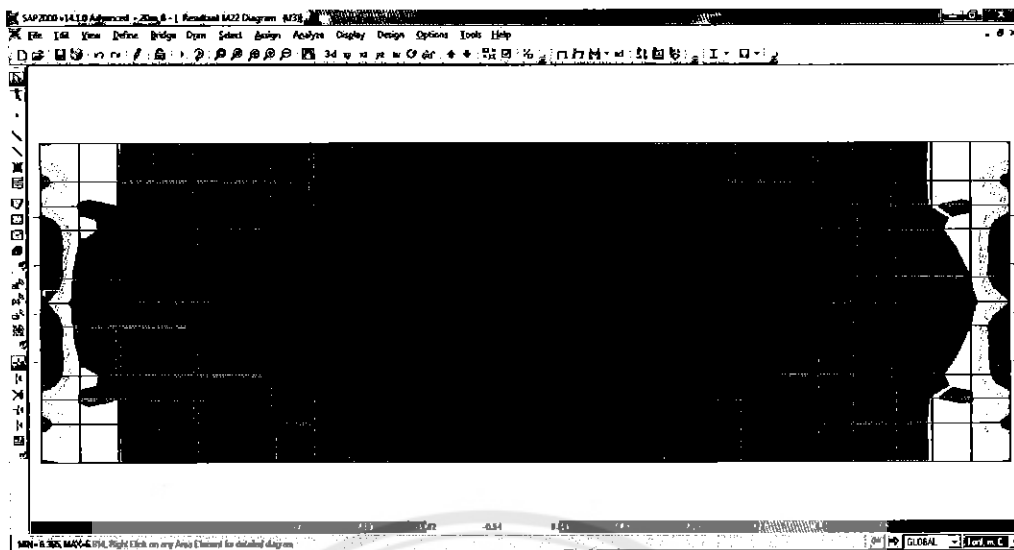
รูปที่ 4.13.1 แสดงลักษณะ Load patterns U1



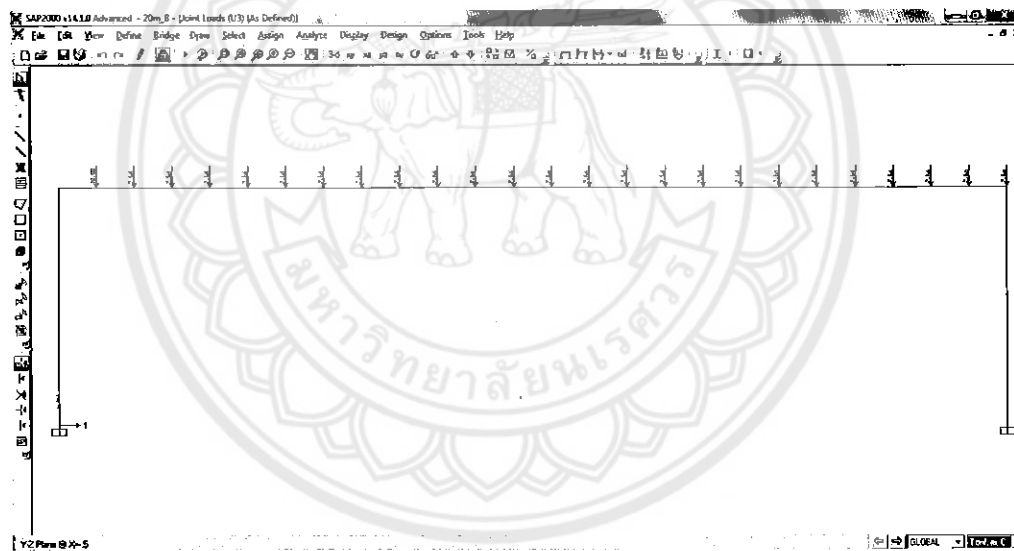
รูปที่ 4.14 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์คัตบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U2



รูปที่ 4.14.1 แสดงลักษณะ Load patterns U2



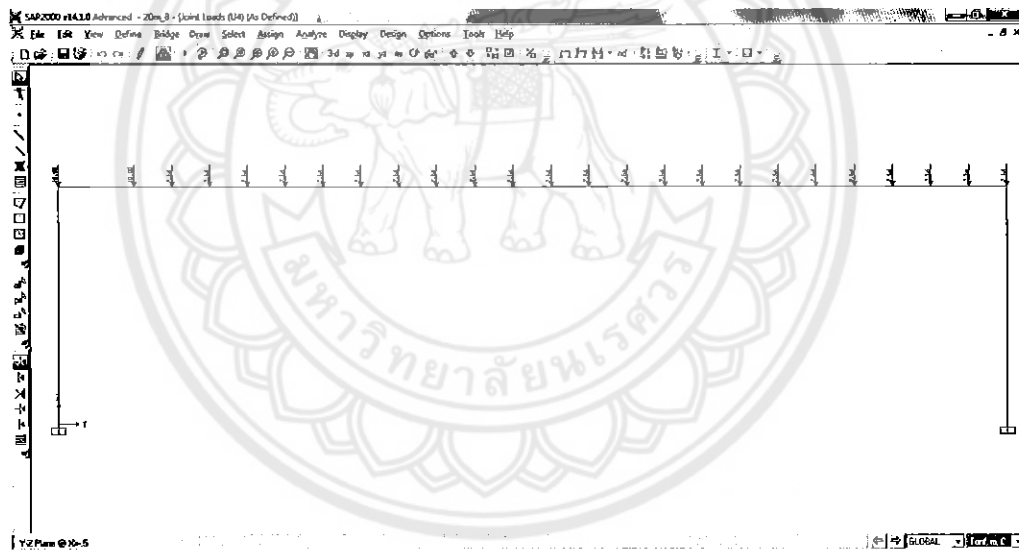
รูปที่ 4.15 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์คดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U3



รูปที่ 4.15.1 แสดงลักษณะ Load patterns U3



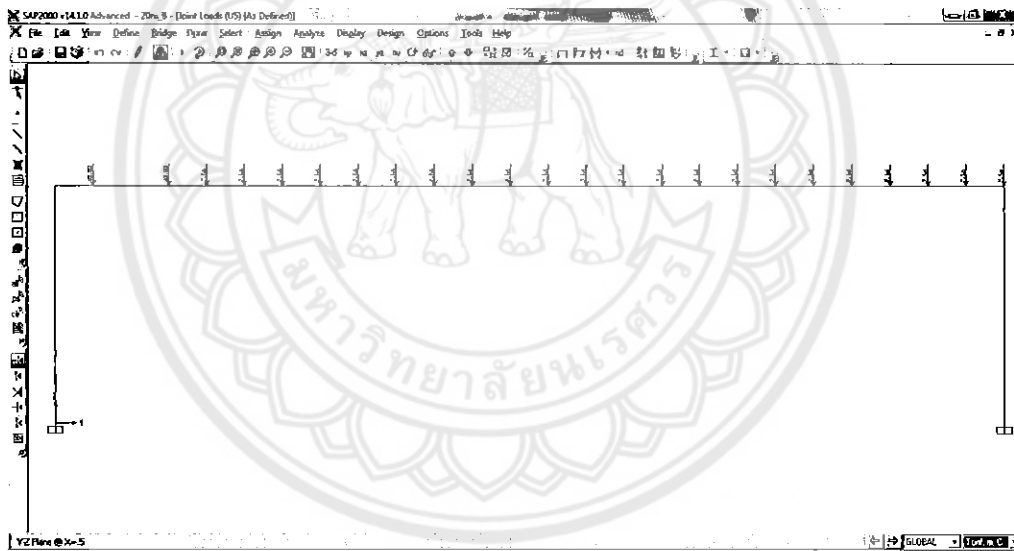
รูปที่ 4.16 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์คดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U4



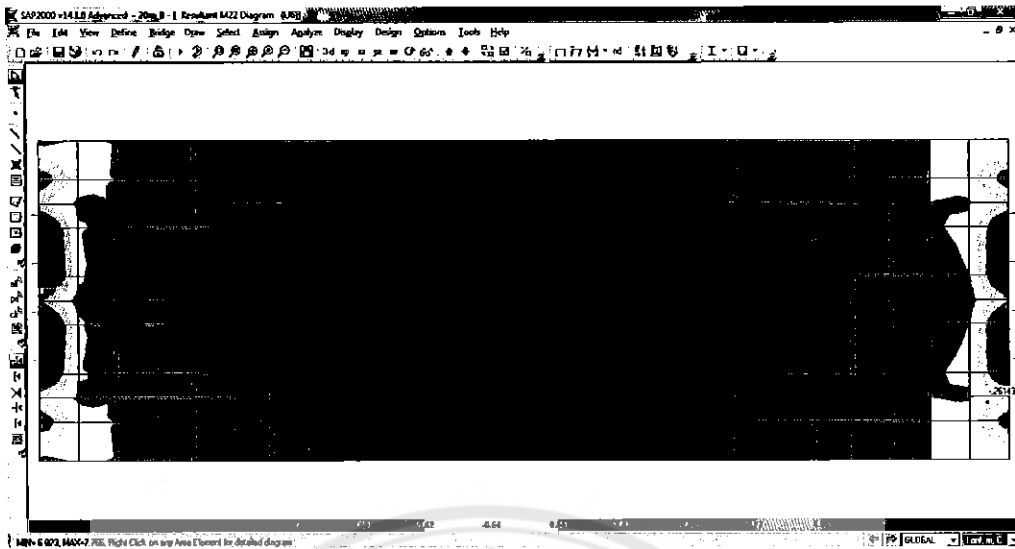
รูปที่ 4.16.1 แสดงลักษณะ Load patterns U4



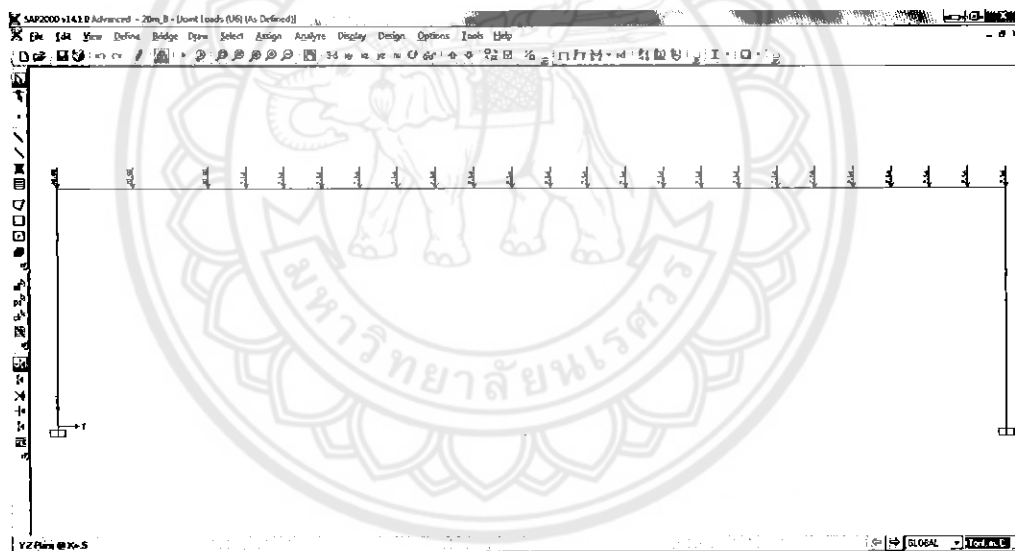
รูปที่ 4.17 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์คดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U5



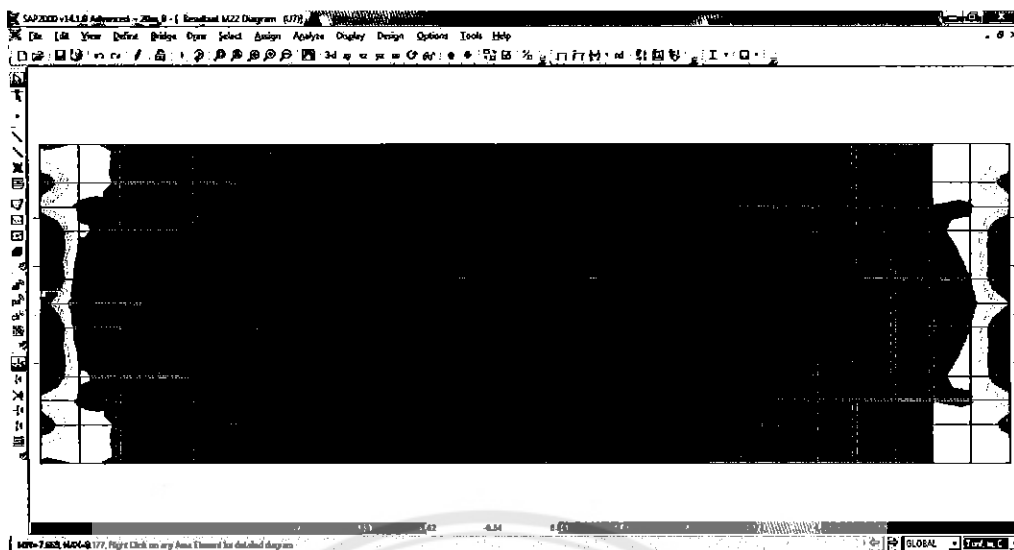
รูปที่ 4.17.1 แสดงลักษณะ Load patterns U5



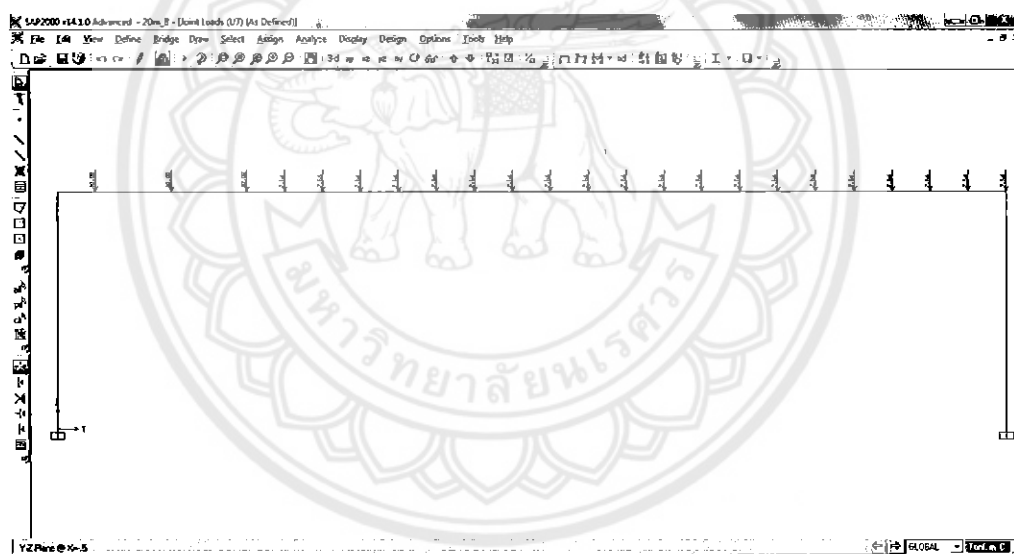
รูปที่ 4.18 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์คดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U6



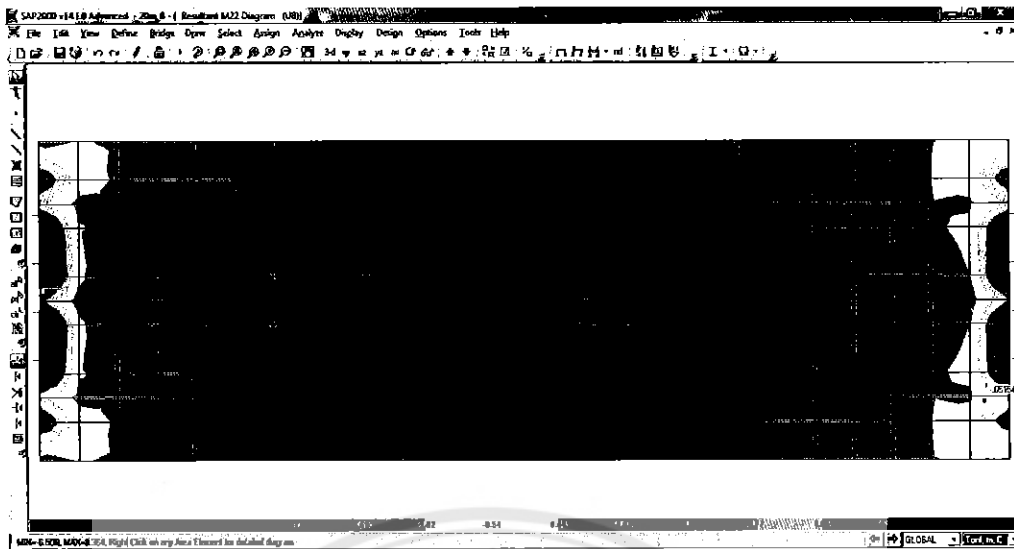
รูปที่ 4.18.1 แสดงลักษณะ Load patterns U6



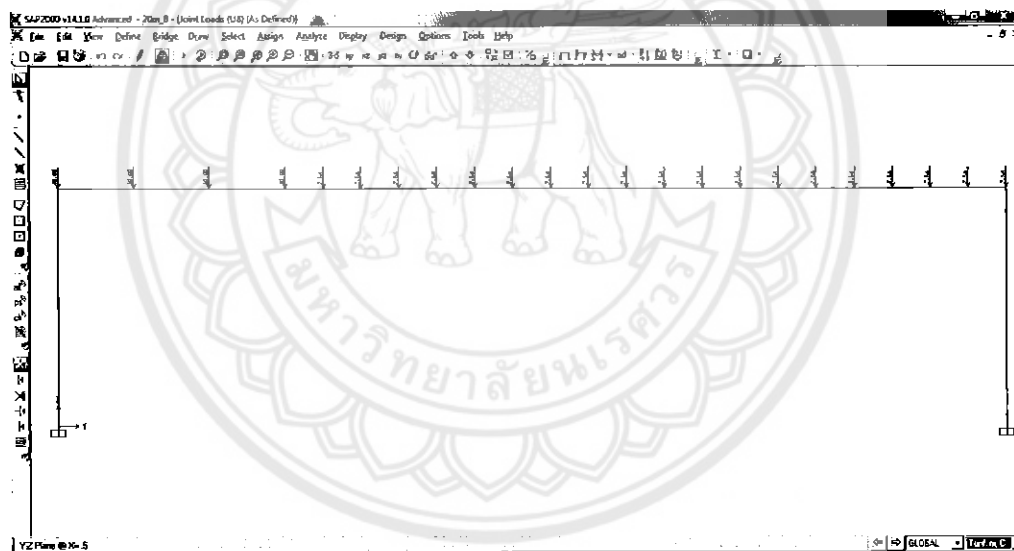
รูปที่ 4.19 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U7



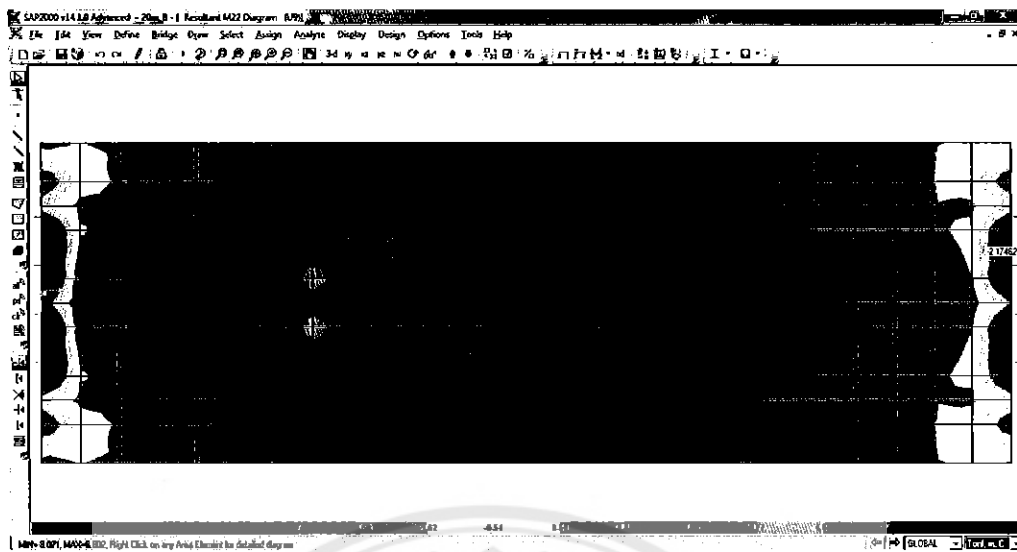
รูปที่ 4.19.1 แสดงลักษณะ Load patterns U7



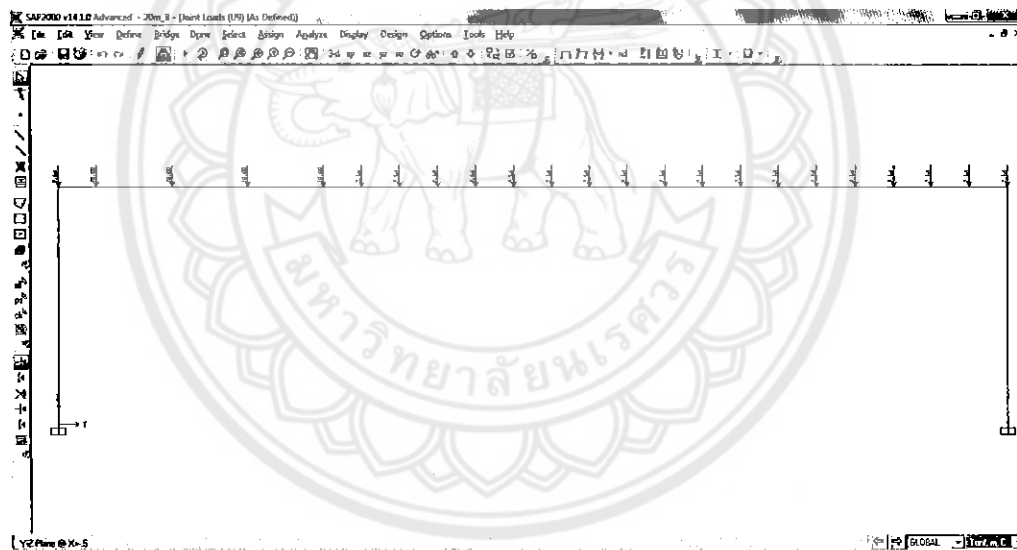
รูปที่ 4.20 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U8



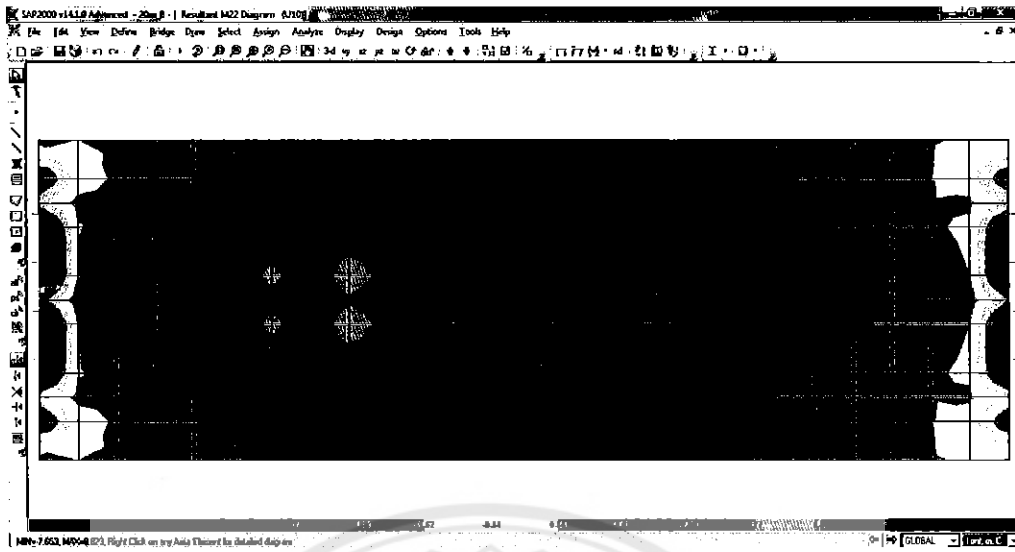
รูปที่ 4.20.1 แสดงลักษณะ Load patterns U8



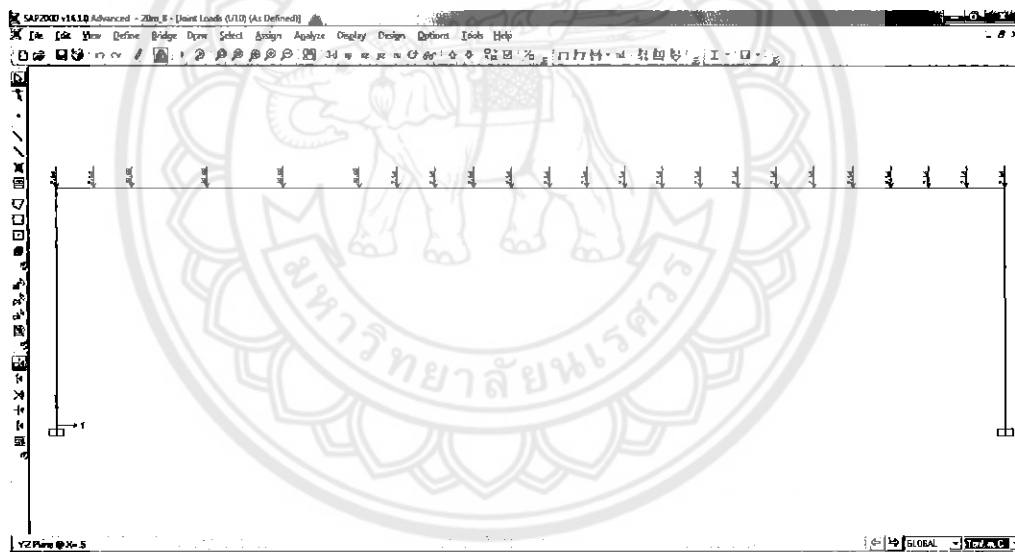
รูปที่ 4.21 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์คดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U9



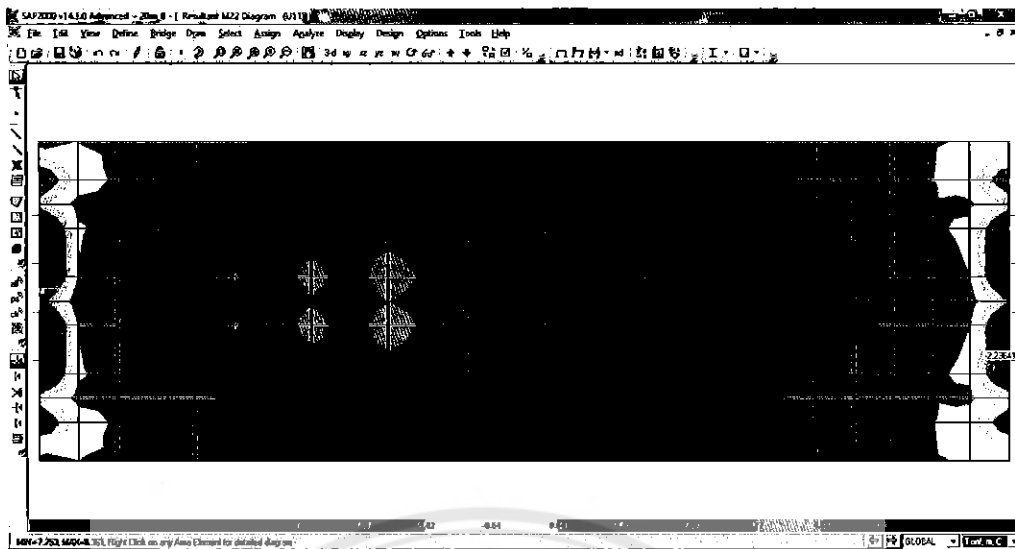
รูปที่ 4.21.1 แสดงลักษณะ Load patterns U9



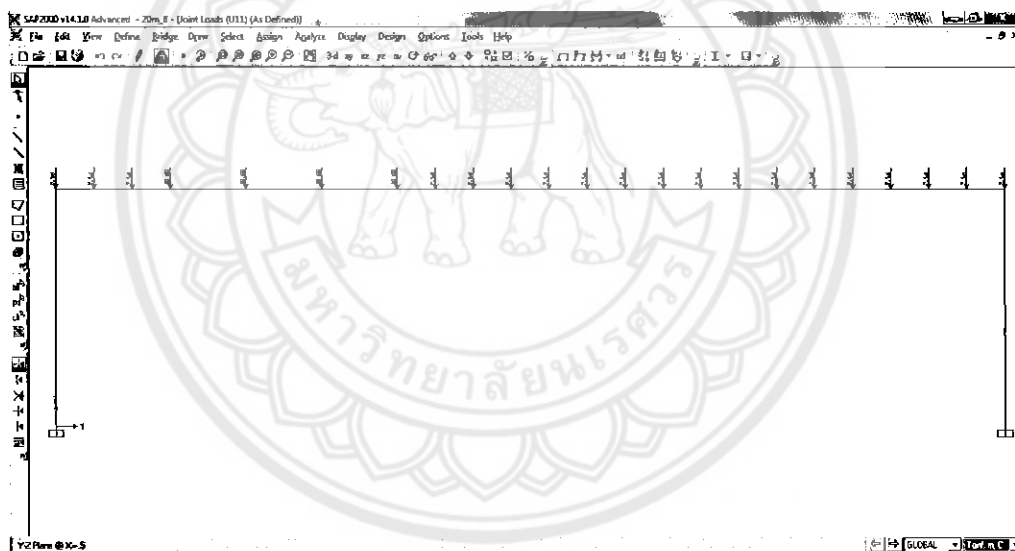
รูปที่ 4.22 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U10



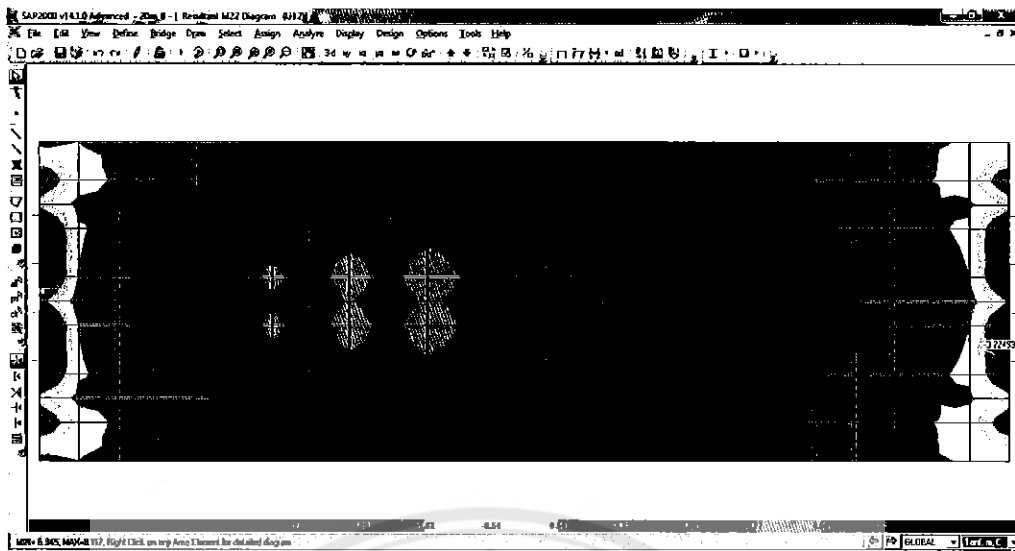
รูปที่ 4.22.1 แสดงลักษณะ Load patterns U10



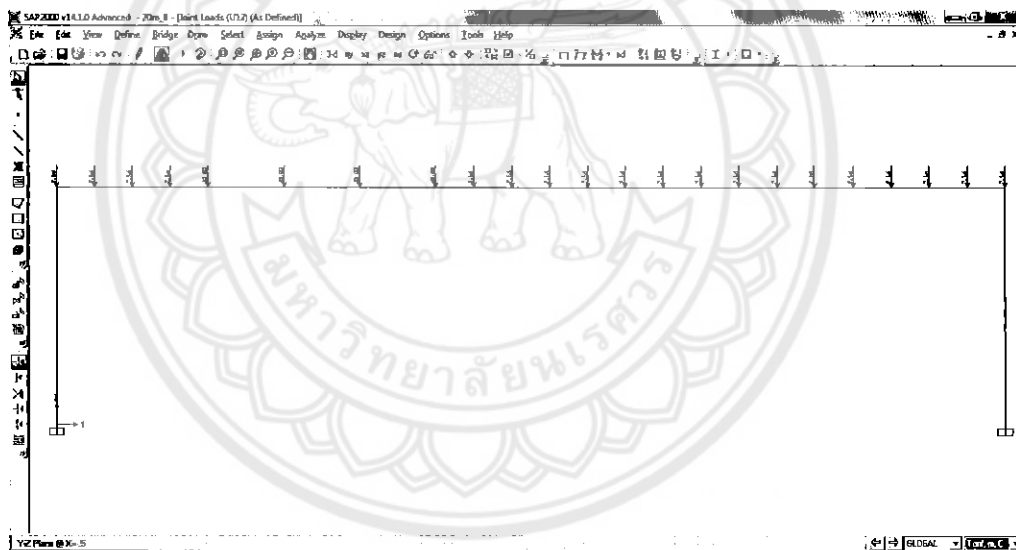
รูปที่ 4.23 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U11



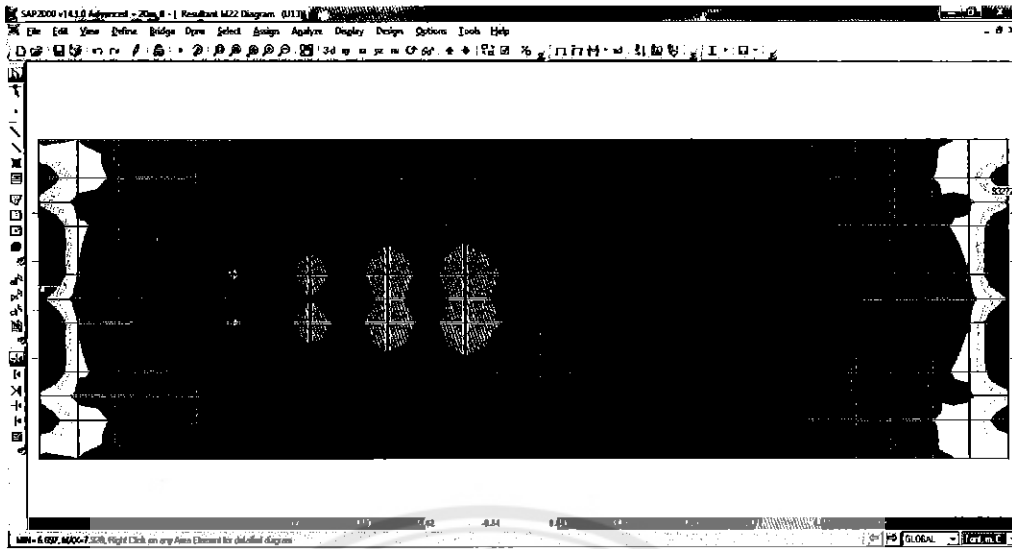
รูปที่ 4.23.1 แสดงลักษณะ Load patterns U11



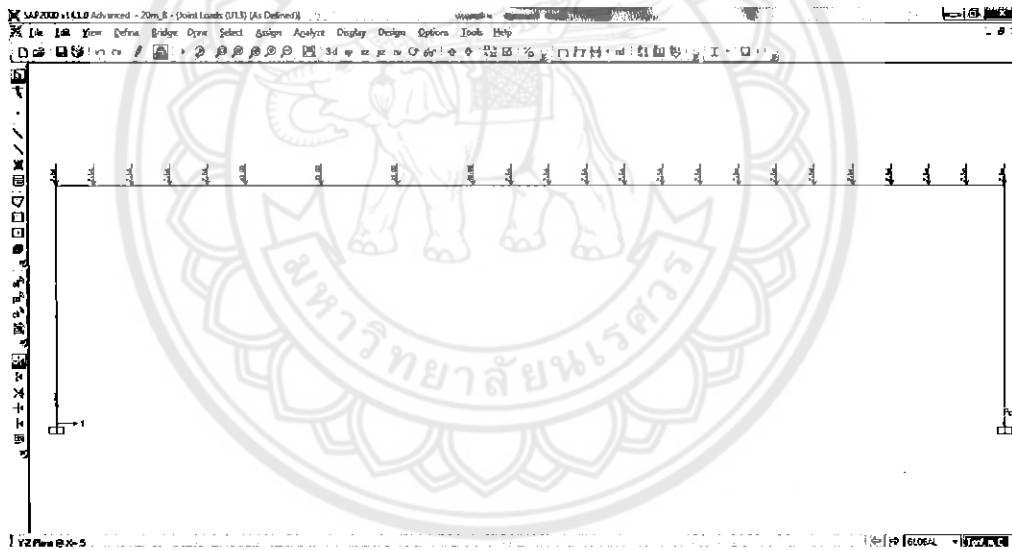
รูปที่ 4.24 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U12



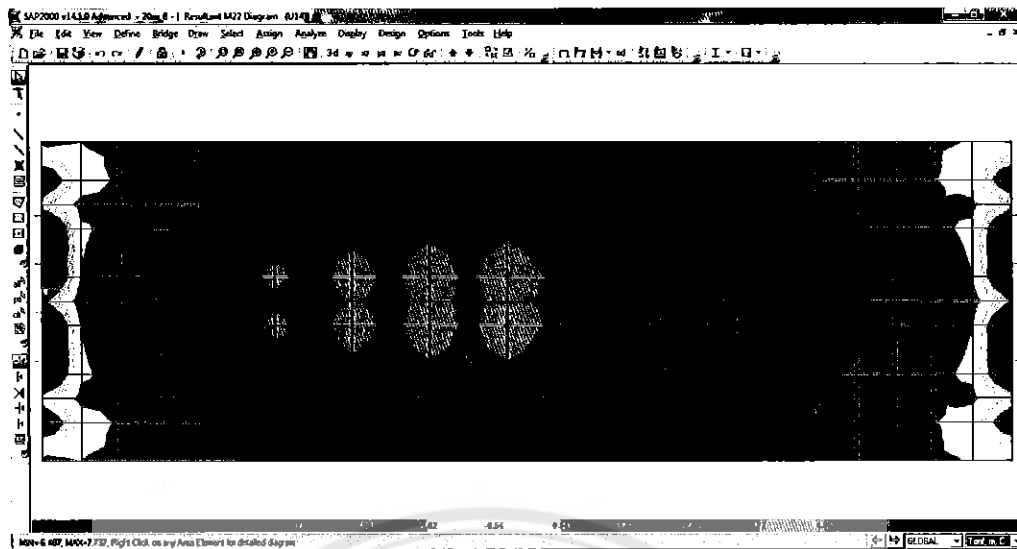
รูปที่ 4.24.1 แสดงลักษณะ Load patterns U12



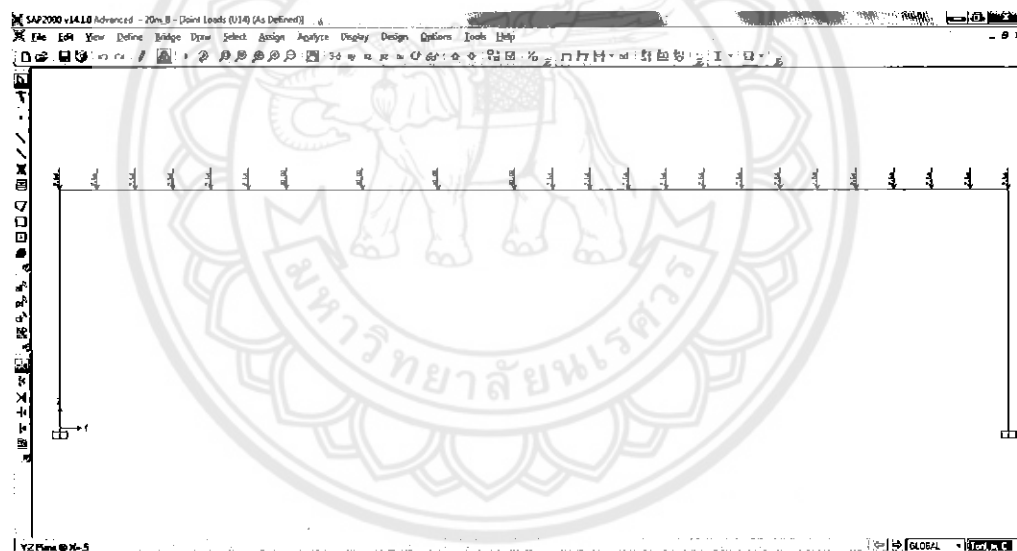
รูปที่ 4.25 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U13



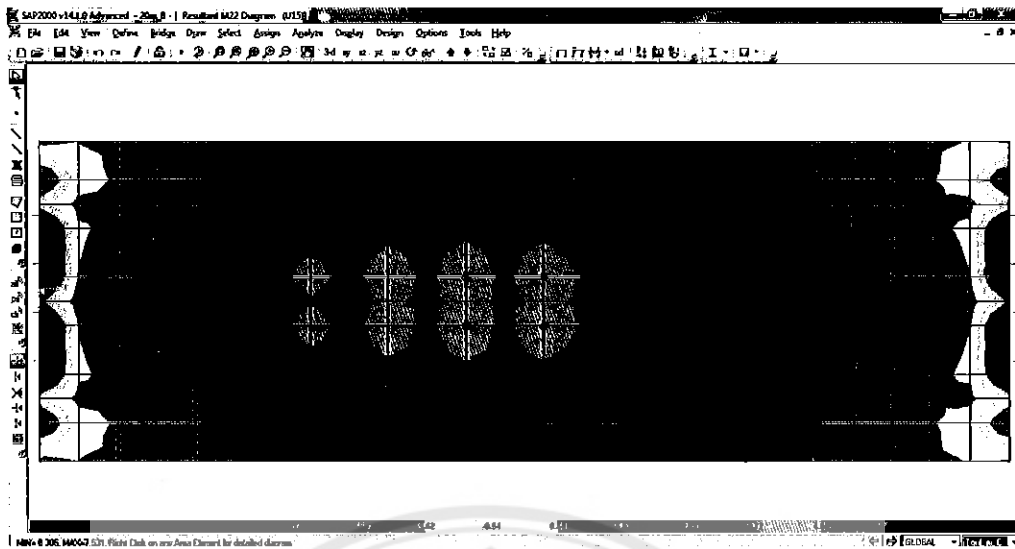
รูปที่ 4.25.1 แสดงลักษณะ Load patterns U13



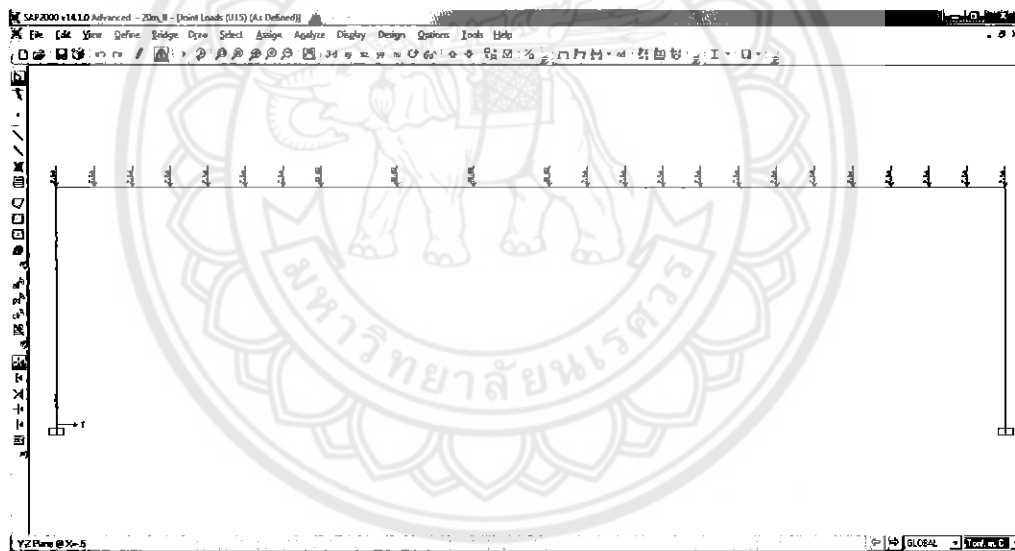
รูปที่ 4.26 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U14



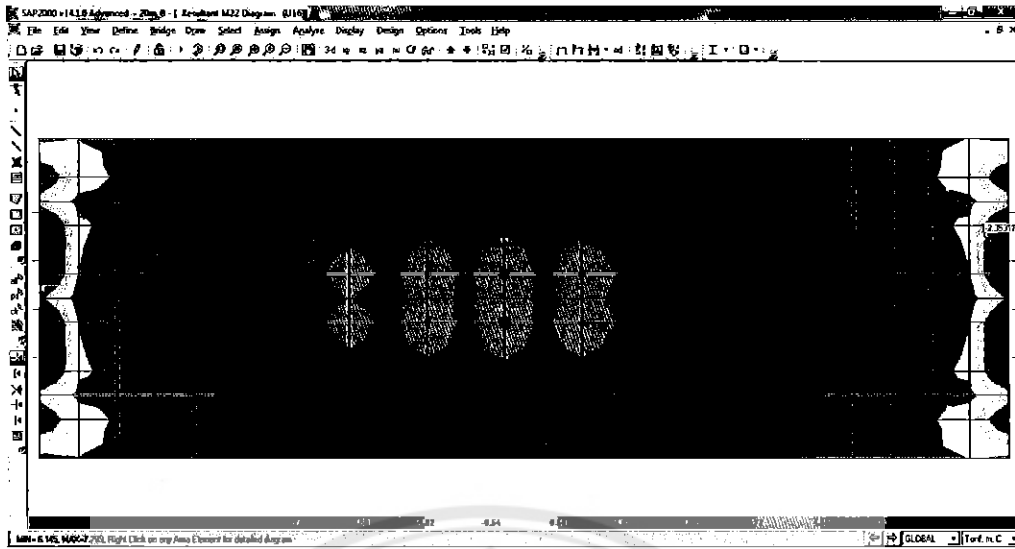
รูปที่ 4.26.1 แสดงลักษณะ Load patterns U14



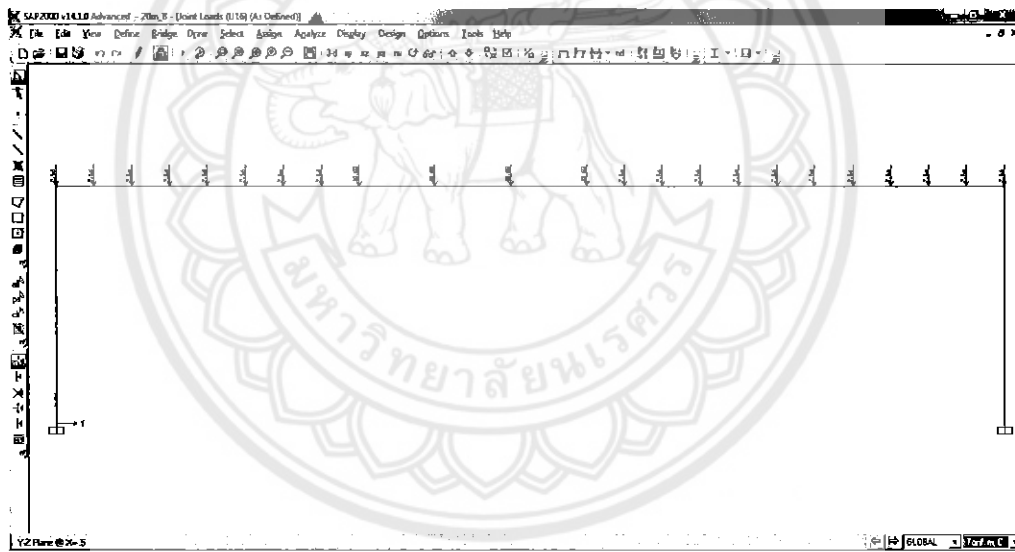
รูปที่ 4.27 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์คดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U15



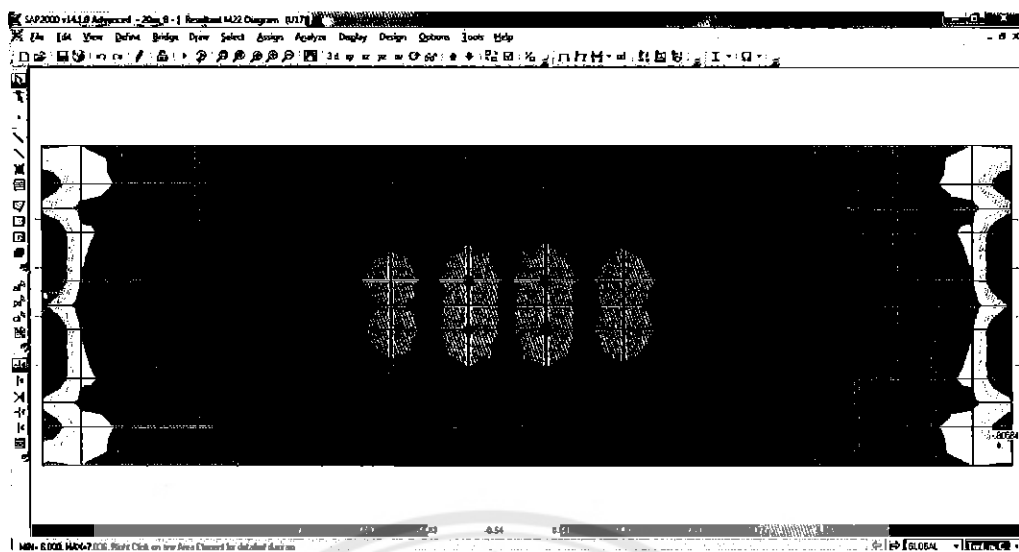
รูปที่ 4.27.1 แสดงลักษณะ Load patterns U15



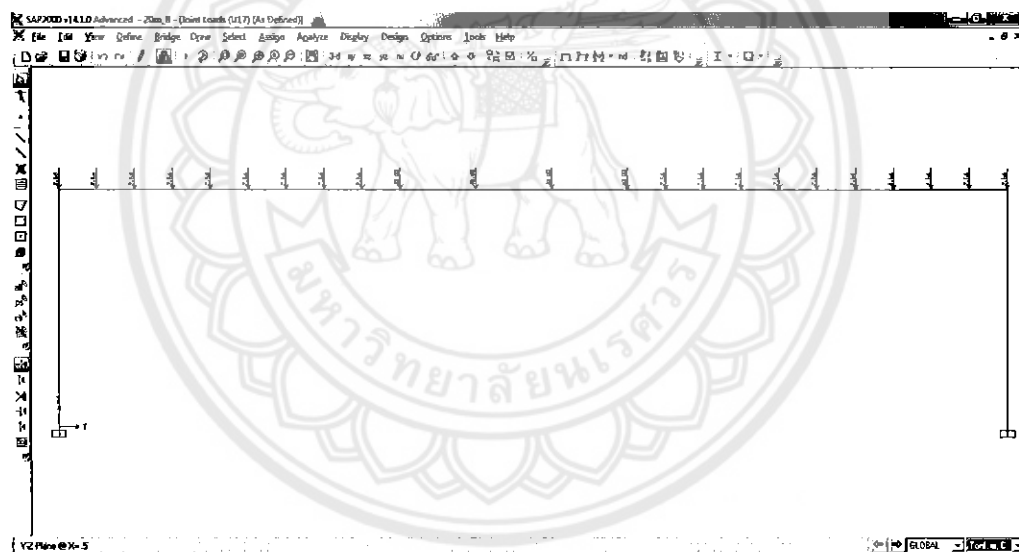
รูปที่ 4.28 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U16



รูปที่ 4.28.1 แสดงลักษณะ Load patterns U16

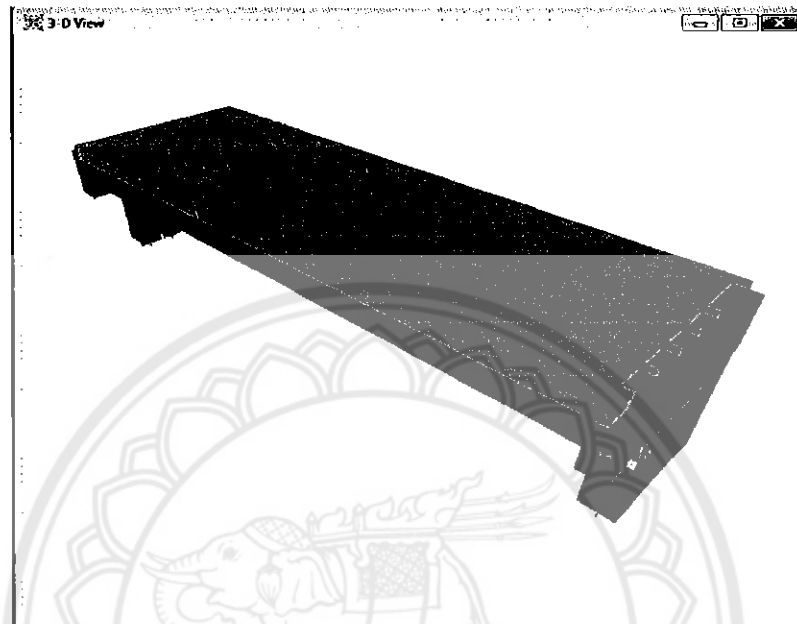


รูปที่ 4.29 แสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้น เนื่องจาก Load patterns U17

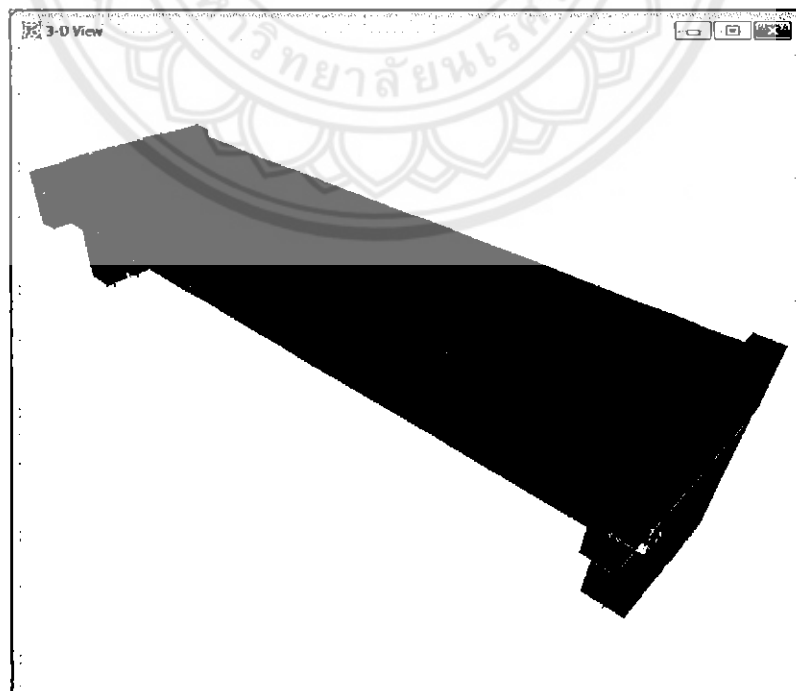


รูปที่ 4.29.1 แสดงลักษณะ Load patterns U17

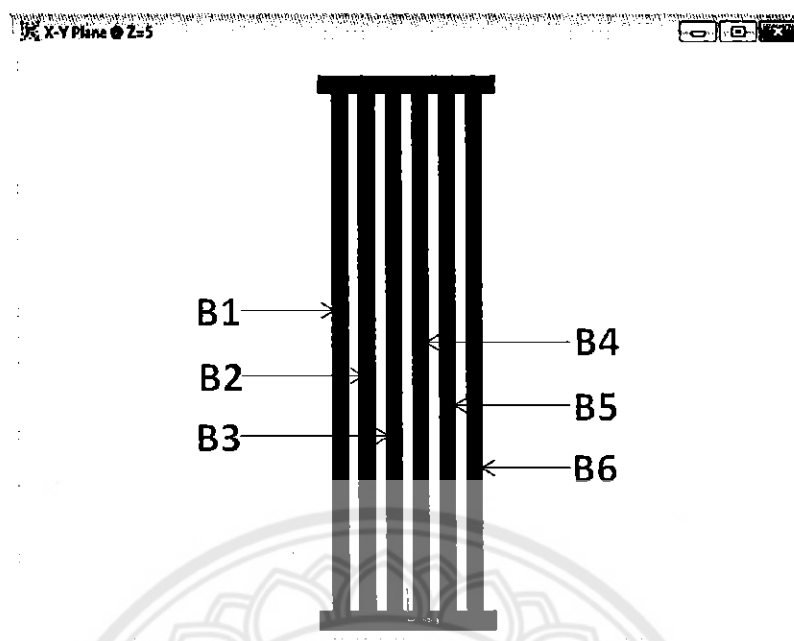
4.2.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของคานช่วงเดียวธรรมดาจำนวน 6 คาน ที่รองรับพื้นทางรถไฟ เมื่อมีน้ำหนักมาตรฐาน U-20 เคลื่อนที่บน Model โครงสร้าง สะพานทางรถไฟ ที่มีช่วงยาว 20 เมตรดังรูปที่ 4.30 และทางผู้จัดทำได้กำหนดชื่อคานเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.30 แสดง Model โครงสร้าง สะพานทางรถไฟ ที่มีช่วงยาว 20 เมตร



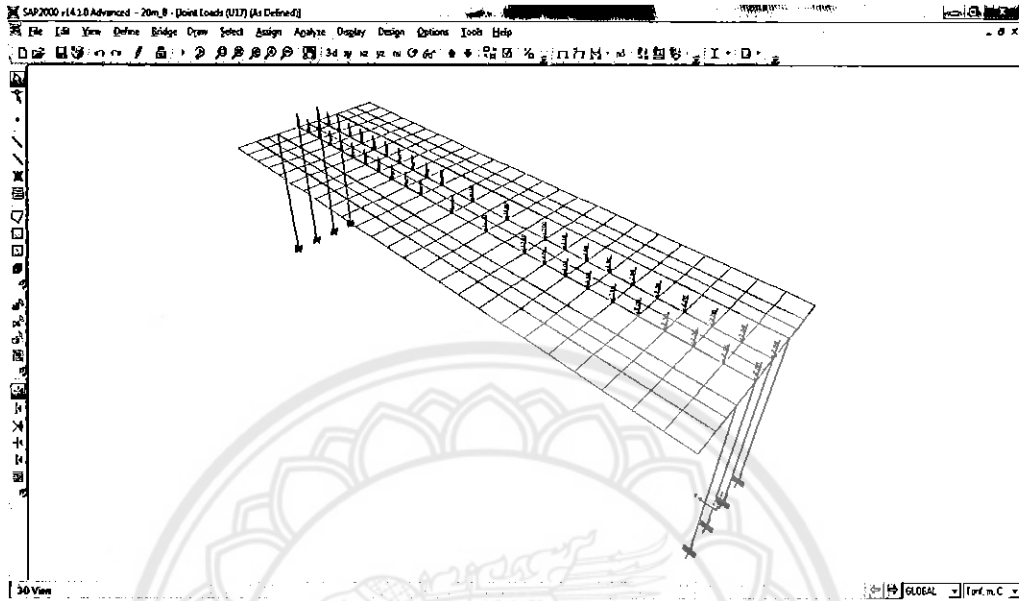
รูปที่ 4.31 แสดง Model โครงสร้าง สะพานทางรถไฟ ที่มีช่วงยาว 20 เมตร



รูปที่ 4.32 แสดง Model โครงสร้าง สะพานทางรถไฟ ที่มีช่วงยาว 20 เมตร

จากข้อมูลผลการวิเคราะห์โครงสร้าง เนื่องจากน้ำหนักมาตรฐาน U-20 ที่ผ่านมาทำให้ทราบถึงรูปแบบการวางของ (Load patterns) น้ำหนักมาตรฐาน U-20 ที่ได้ค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนที่มีค่ามากที่สุดโดยมีรูปแบบการวางดังนี้

1. รูปแบบ U17 เป็นรูปแบบที่ทำให้ทราบค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด (รูปที่ 4.33 และ รูปที่ 4.34)

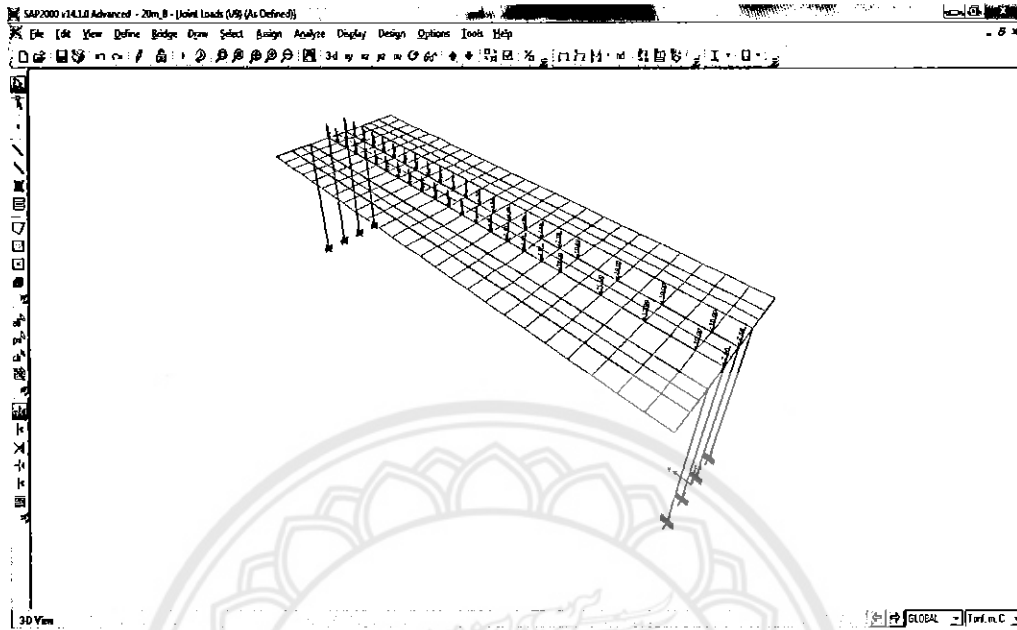


รูปที่ 4.33 รูปแสดงลักษณะ Load patterns U17



รูปที่ 4.34 รูปแสดงลักษณะ Load patterns U17

2. รูปแบบ U9 เป็นรูปแบบที่ทำให้ทราบค่าแรงเฉือนสูงสุด(รูปที่ 4.35 และ รูปที่ 4.36)



รูปที่ 4.35 รูปแสดงลักษณะ Load patterns U9



รูปที่ 4.36 รูปแสดงลักษณะ Load patterns U9

การวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นต้นได้ทำการเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่กระจายตัวใน
โครงสร้างคาน และแสดงออกมาเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังแสดงในตารางที่ 4.13-4.19

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในแต่ละช่วงคาน และ แสดงแรงเฉือนสูงสุดและ
โมเมนต์ดัดสูงสุดในคาน B1

B1 (Moment)				B1 (Shear)			
Frame	Station	Output Case	Moment	Frame	Station	Output Case	Shear
Text	m	Text	Tonf-m	Text	m	Text	Tonf
1	0	U17	0	1	0	U9	4.4371
1	1	U17	5.85225	1	1	U9	5.9305
1	2	U17	11.05995	1	2	U9	-5.738
1	3	U17	16.13006	1	3	U9	-5.2072
1	4	U17	20.84167	1	4	U9	-4.5238
1	5	U17	25.17368	1	5	U9	-2.976
1	6	U17	27.92306	1	6	U9	-2.2125
1	7	U17	30.8937	1	7	U9	-1.5143
1	8	U17	33.0676	1	8	U9	-0.9012
1	9	U17	34.01022	1	9	U9	0.1422
1	10	U17	34.4539	1	10	U9	0.6188
1	11	U17	33.78935	1	11	U9	1.0824
1	12	U17	32.67033	1	12	U9	1.9915
1	13	U17	30.35017	1	13	U9	2.4404
1	14	U17	27.31916	1	14	U9	2.8849
1	15	U17	23.69161	1	15	U9	3.3213
1	16	U17	20.34178	1	16	U9	4.1377
1	17	U17	15.74259	1	17	U9	4.4829
1	18	U17	10.7921	1	18	U9	4.7387
1	19	U17	5.70037	1	19	U9	4.7674
1	20	U17	0	1	20	U9	3.5222
			34.4539				5.9305

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดในแต่ละช่วงคาน และ แสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ตัดสูงสุดในคาน B2

B2 (Moment)				B2 (Shear)			
Frame	Station	OutputCase	Moment	Frame	Station	OutputCase	Shear
Text	m	Text	Tonf-m	Text	m	Text	Tonf
2	0	U17	0	2	0	U9	-5.5419
2	1	U17	5.3789	2	1	U9	-5.3786
2	2	U17	11.14765	2	2	U9	-4.6923
2	3	U17	16.02316	2	3	U9	-4.0885
2	4	U17	20.73606	2	4	U9	-3.4249
2	5	U17	24.702	2	5	U9	-2.1258
2	6	U17	28.24701	2	6	U9	-1.491
2	7	U17	31.22669	2	7	U9	-0.9321
2	8	U17	33.3798	2	8	U9	-0.5375
2	9	U17	34.57665	2	9	U9	0.1362
2	10	U17	34.9136	2	10	U9	0.4642
2	11	U17	34.36245	2	11	U9	0.7919
2	12	U17	33.00774	2	12	U9	1.4488
2	13	U17	30.48572	2	13	U9	1.7783
2	14	U17	27.49074	2	14	U9	2.1083
2	15	U17	24.06545	2	15	U9	2.4381
2	16	U17	19.9982	2	16	U9	3.0935
2	17	U17	15.66114	2	17	U9	3.4159
2	18	U17	10.90454	2	18	U9	3.7405
2	19	U17	5.67036	2	19	U9	4.083
2	20	U17	0	2	20	U9	4.0651
			34.9136			MAX	5.5419

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในแต่ละช่วงคาน และ แสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดในคาน B3

B3 (ทอกลูก)				B3 (Shear)			
Frame	Station	OutputCase	Moment	Frame	Station	OutputCase	Shear
Text	m	Text	Tonf-m	Text	m	Text	Tonf
3	0	U17	0	3	0	U9	-7.7032
3	1	U17	5.66303	3	1	U9	-7.7032
3	2	U17	11.2081	3	2	U9	-5.9328
3	3	U17	16.74327	3	3	U9	-3.4014
3	4	U17	20.55309	3	4	U9	-4.2582
3	5	U17	24.73808	3	5	U9	-2.8867
3	6	U17	28.64261	3	6	U9	-0.5326
3	7	U17	31.86062	3	7	U9	-0.5109
3	8	U17	33.41689	3	8	U9	-0.3894
3	9	U17	35.09784	3	9	U9	0.1218
3	10	U17	35.51224	3	10	U9	0.422
3	11	U17	34.86342	3	11	U9	0.7325
3	12	U17	33.65226	3	12	U9	1.3649
3	13	U17	30.59551	3	13	U9	1.6834
3	14	U17	27.07946	3	14	U9	2.0043
3	15	U17	24.10389	3	15	U9	2.3306
3	16	U17	20.07979	3	16	U9	3.03
3	17	U17	15.80131	3	17	U9	3.431
3	18	U17	10.99146	3	18	U9	3.9123
3	19	U17	5.47456	3	19	U9	4.5678
3	20	U17	0	3	20	U9	4.8219
			35.51224				7.7032

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดในแต่ละช่วงคาน และ แสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ตัดสูงสุดในคาน B4

B4 (Moment)				B4 (Shear)			
Frame	Station	OutputCase	Moment	Frame	Station	OutputCase	Shear
Text	m	Text	Tonf-m	Text	m	Text	Tonf
4	0	U17	0	4	0	U9	-7.7032
4	1	U17	5.56303	4	1	U9	-7.7032
4	2	U17	11.2081	4	2	U9	-5.9328
4	3	U17	16.74327	4	3	U9	-3.4014
4	4	U17	20.85775	4	4	U9	-4.2582
4	5	U17	24.76808	4	5	U9	-2.8867
4	6	U17	28.50261	4	6	U9	-0.5326
4	7	U17	31.86062	4	7	U9	-0.5109
4	8	U17	35.41689	4	8	U9	-0.3894
4	9	U17	35.09784	4	9	U9	0.1218
4	10	U17	38.51220	4	10	U9	0.422
4	11	U17	34.55342	4	11	U9	0.7325
4	12	U17	32.75358	4	12	U9	1.3649
4	13	U17	30.59651	4	13	U9	1.6834
4	14	U17	27.07946	4	14	U9	2.0043
4	15	U17	24.10389	4	15	U9	2.3306
4	16	U17	20.35919	4	16	U9	3.03
4	17	U17	15.80131	4	17	U9	3.431
4	18	U17	10.99146	4	18	U9	3.9123
4	19	U17	5.47456	4	19	U9	4.5678
4	20	U17	0	4	20	U9	4.8219
			35.51224				7.7032

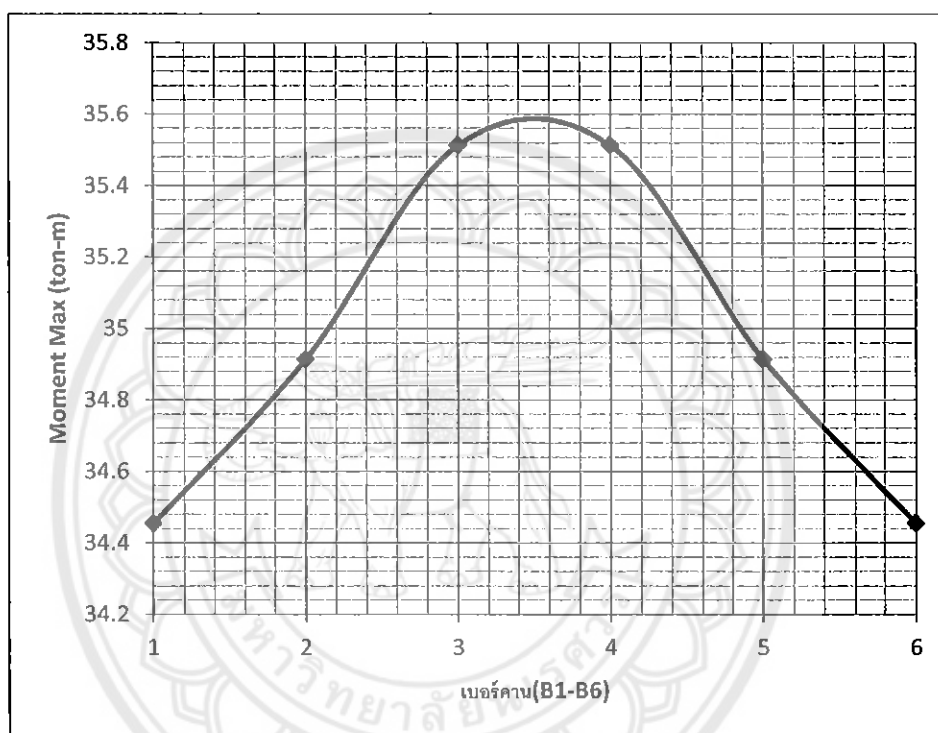
ตารางที่ 4.17 แสดงค่าแรงเฉือนและโมเมนต์คัตในแต่ละช่วงคาน และ แสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์คัตสูงสุดในคาน B5

B5 (Moment)				B5 (Shear)			
Frame	Station	OutputCase	Moment	Frame	Station	OutputCase	Shear
Text	m	Text	Tonf-m	Text	m	Text	Tonf
5	0	U17	0	5	0	U9	-5.5419
5	1	U17	5.78789	5	1	U9	-5.3786
5	2	U17	11.14765	5	2	U9	-4.6923
5	3	U17	16.02815	5	3	U9	-4.0885
5	4	U17	20.73606	5	4	U9	-3.4249
5	5	U17	24.7702	5	5	U9	-2.1258
5	6	U17	28.24701	5	6	U9	-1.491
5	7	U17	31.22669	5	7	U9	-0.9321
5	8	U17	33.3758	5	8	U9	-0.5375
5	9	U17	34.57635	5	9	U9	0.1362
5	10	U17	34.9136	5	10	U9	0.4642
5	11	U17	34.36215	5	11	U9	0.7919
5	12	U17	33.00774	5	12	U9	1.4488
5	13	U17	30.48572	5	13	U9	1.7783
5	14	U17	27.49074	5	14	U9	2.1083
5	15	U17	24.06545	5	15	U9	2.4381
5	16	U17	19.9982	5	16	U9	3.0935
5	17	U17	15.66114	5	17	U9	3.4159
5	18	U17	10.90154	5	18	U9	3.7405
5	19	U17	5.67036	5	19	U9	4.083
5	20	U17	0	5	20	U9	4.0651
			34.9136				5.5419

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในแต่ละช่วงคาน และ แสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดในคาน B6

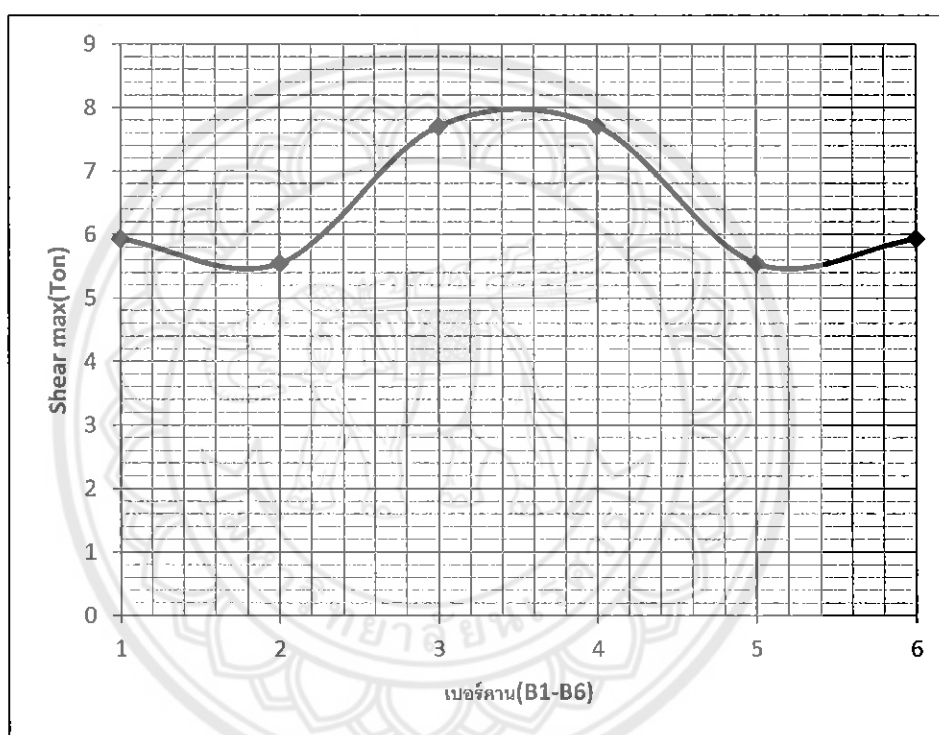
B5 (หน่วยคาน)				B6 (หน่วยคาน)			
Frame	Station	OutputCase	Moment	Frame	Station	OutputCase	Shear
Text	m	Text	Tonf-m	Text	m	Text	Tonf
6	0	U17	0	6	0	U9	-4.4371
6	1	U17	5.85223	6	1	U9	-5.9305
6	2	U17	11.0599	6	2	U9	-5.738
6	3	U17	16.13006	6	3	U9	-5.2072
6	4	U17	20.8416	6	4	U9	-4.5238
6	5	U17	25.17368	6	5	U9	-2.976
6	6	U17	27.92306	6	6	U9	-2.2125
6	7	U17	30.8957	6	7	U9	-1.5143
6	8	U17	33.0676	6	8	U9	-0.9012
6	9	U17	34.01022	6	9	U9	0.1422
6	10	U17	34.4539	6	10	U9	0.6188
6	11	U17	33.78985	6	11	U9	1.0824
6	12	U17	32.67033	6	12	U9	1.9915
6	13	U17	30.35017	6	13	U9	2.4404
6	14	U17	27.31915	6	14	U9	2.8849
6	15	U17	23.69161	6	15	U9	3.3213
6	16	U17	20.34178	6	16	U9	4.1377
6	17	U17	15.74269	6	17	U9	4.4829
6	18	U17	10.7921	6	18	U9	4.7387
6	19	U17	5.70037	6	19	U9	4.7674
6	20	U17	0	6	20	U9	3.5222
			34.4539				5.9305

จากรูปที่ 4.13 การวิเคราะห์หิโมเมนต์ตัดพบว่าคาน B3 และ B4 เป็นคานที่มีโมเมนต์ตัดสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 35.512 ตัน-เมตรและคาน B2 และ B5 พบว่ามีค่าโมเมนต์ตัดสูงสุดที่ลดลงจากเดิม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 43.914 ตัน-เมตร และคาน B1 และ B6 พบว่ามีค่าโมเมนต์ตัดที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับคานที่ผ่านมา เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U20 นั้น กระจ่างลงบนกึ่งกลางสะพาน ดังนั้นคาน B3 และ B4 จึงเป็นคานที่ได้รับแรงกระทำมากที่สุด และค่าแรงกระทำจะค่อยๆลดลงในคานที่ห่างออกไป



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงการกระจายตัวของโมเมนต์ตัดสูงสุดสำหรับคานความยาว 20 เมตร

จากรูปที่ 4.14 การวิเคราะห์แรงเฉือนพบว่าคาน B3 และ B4 เป็นคานที่มีค่าแรงเฉือนสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.703 ตัน และคาน B2 และ B5 พบว่ามีค่าแรงเฉือนสูงสุดที่ลดลงจากเดิม ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดเท่ากับ 5.542 ตัน-เมตร และคาน B1 และ B6 พบว่ามีค่าแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับคานที่ผ่านมามีค่าเท่ากับ 5.931 เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกมาตรฐาน U20 นั้น กระทำลงบนกึ่งกลางสะพานดังนั้นคาน B3 และ B4 จึงเป็นคานที่ได้รับแรงกระทำมากที่สุด และค่าแรงกระทำจะค่อยๆลดลงในคานที่ห่างออกไป แต่ในคาน B1 และ B6 รองรับพื้นยื่นจึงมีแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงการกระจายตัวของแรงเฉือนสูงสุดสำหรับคานความยาว 20 เมตร

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินโครงการและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

5.1.2 ศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในโครงสร้างสำหรับคานช่วงเดียว ที่เกิดจากการกระทำของน้ำหนักมาตรฐาน U-20 และ DL-16

จากผลการประมวลผลหรือวิเคราะห์โครงสร้างโดยโปรแกรม SAP 2000 ในช่วงความยาวคาน 5,10,15,20,30 และ 50 เมตร ซึ่งเป็นพฤติกรรมของโครงสร้างที่เกิดจากการกระทำของน้ำหนักมาตรฐาน U-20 และ DL-16 ทางคณะผู้จัดทำได้นำรูปแบบของน้ำหนักมาตรฐานที่กระทำต่อโครงสร้างและน้ำหนักมาตรฐานดังกล่าวทำให้โครงสร้างเกิดค่าแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดมาสรุปไว้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงรูปแบบของน้ำหนักมาตรฐานที่กระทำต่อโครงสร้างที่ทำให้เกิดแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุด

ช่วงคาน (m.)	ชนิดของน้ำหนักมาตรฐาน	น้ำหนักมาตรฐานที่กระทำต่อโครงสร้างที่ทำให้เกิดแรงเฉือนสูงสุด	น้ำหนักมาตรฐานที่กระทำต่อโครงสร้างที่ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดสูงสุด
5	U-20		
	DL-16		
10	U-20		
	DL-16		

ช่วง คาน (ม.)	ชนิดของ น้ำหนัก มาตรฐาน	รูปแบบของน้ำหนักมาตรฐานที่กระทำต่อ โครงสร้างที่ทำให้เกิดแรงเฉือนสูงสุด	รูปแบบของน้ำหนักมาตรฐานที่กระทำต่อ โครงสร้างที่ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดสูงสุด
15	U-20		
	DL-16		
20	U-20		
	DL-16		
30	U-20		
	DL-16		
50	U-20		
	DL-16		

น้ำหนักมาตรฐาน U-20 และ DL-16 ซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ที่กระทำต่อโครงสร้างในช่วงความยาวคาน 5, 10, 15, 20, 30 และ 50 เมตรทำให้โครงสร้างเกิดพฤติกรรมที่คล้ายกันคือแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นมีลักษณะหรือรูปแบบที่คล้ายกันในทุกช่วงความยาวคานส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างมากที่สุดคือน้ำหนักที่กระทำเป็นจุด (Point Load) ซึ่งจะทำให้โครงสร้างเกิดแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดขึ้นสูงมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักแผ่กระจาย (Uniform Load)

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงความยาวคานต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 และ U-20 สามารถสรุปได้ดังตาราง 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U-20 และน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน DL-16

ความยาว (เมตร)	แรงเฉือน จากกรณีที่มีมากที่สุด			โมเมนต์ จากกรณีที่มีมากที่สุด		
	U-20 (ตัน)	DL-16 (ตัน)	% ความแตกต่าง	U-20 (ตัน-เมตร)	DL-16 (ตัน-เมตร)	% ความแตกต่าง
5	40.12	30.72	30.59%	42.06	32.00	31.45%
10	64.84	46.40	39.75%	147.52	96.83	52.35%
15	84.19	63.36	32.88%	295.65	203.52	45.27%
20	101.86	78.00	30.59%	485.12	328.00	47.90%
30	135.53	107.07	26.59%	982.72	699.95	40.40%
50	200.87	159.09	26.26%	2457.92	1876.46	30.99%

5.1.2 ศึกษาการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U-20

จากรูปภาพการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดบนพื้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U-20 มากระทำบนพื้นดังรูปที่ 4.13-4.29 ซึ่งจะแสดงเป็นขอบเขตของค่าโมเมนต์โดยแบ่งช่วงเป็นสี่ต่างๆ ดังรูป (รูปที่ 5.1) สามารถสรุปได้ว่าพื้นจะเกิดโมเมนต์ลบบริเวณใกล้กับจุดรองรับและเปลี่ยนเป็นโมเมนต์บวกที่บริเวณกึ่งกลางพื้นและขอบเขตของโมเมนต์ดัดจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะ Load patterns ต่างๆ ดังกรณี Load patterns U1 จะทำให้เกิดค่าโมเมนต์ดัดโดยขอบเขตจะอยู่ที่โมเมนต์ลบ -4.85 ton-m/m จนถึงโมเมนต์บวก 2.69 ton-m/m จะสังเกตได้ว่าเมื่อ point load 10 ton กระทำห่างจากจุดรองรับ 0.8 m จะทำให้เกิดโมเมนต์ลบบริเวณจุดรองรับเพิ่มขึ้นจนอยู่ในช่วง -7.00 ton-m/m ซึ่งพบใน Load patterns U5, U7, U9, U10 และเกิดขอบเขตของโมเมนต์บวกเพิ่มขึ้นจาก 2.69 ton-m/m ไปจนมีค่ามากกว่าขอบเขตโมเมนต์บวก 7.00 ton-m/m โดยเริ่มเกิดที่ Load patterns U9 จนถึง Load patterns U17 ขอบเขตโมเมนต์บวกมีค่ามากที่สุดเมื่อ point load 10 ton มากระทำอยู่ในช่วงกลางความยาวพื้น คือ Load patterns U17 นั้นเอง

รูปที่ 5.1 แสดงเป็นขอบเขตของค่าโมเมนต์โดยแบ่งช่วงเป็นสี่ต่างๆ

5.1.3 ศึกษาการกระจายตัวของโมเมนต์ดัดในคานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน U-20

จากการศึกษาพบว่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในคานแต่ละเบอ์นั้นหากนำมารวมกันจะพบว่ามีค่าที่แตกต่างจากการวิเคราะห์เป็นคานช่วงเดียวธรรมดาซึ่งเป็นผลมาจากการจำลองโครงสร้างที่เป็น 3 มิติ และแรงที่ถ่ายลงโครงสร้างนั้นจะถูกกระทำผ่านพื้น ซึ่งในที่นี้ผู้จัดทำได้ทำการกำหนดชนิดของพื้นเป็นแบบ Shell-Thin และได้ทำการย้ายแกนของพื้นเป็น Top Center ทำให้โมเมนต์ดัดมีค่าที่ไม่ตรงกับที่ได้ทำการวิเคราะห์แบบคานช่วงเดียวธรรมดา แบบ 2 มิติ เนื่องจากชนิดของพื้นแบบ Shell-Thin จะทำให้เกิดการถ่ายแรงในแนวแกน และเนื่องจากการย้ายแกนจะช่วยในการพยุ่งโครงสร้างพื้น ดังนั้นความหนาพื้นจึงมีผลดังที่แสดงในตารางที่ 5.3 พบว่าความหนาพื้นที่มีค่าน้อยโมเมนต์รวมที่เกิดขึ้นจะมีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์แบบคานช่วงเดียวธรรมดาและจะมีค่าที่แตกต่างออกไปในความหนาของพื้นที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5.3 แสดงโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในคานทั้ง 6 เบอ์ที่ความหนาพื้นต่างๆของพื้นชนิด Shell-Thin และ Cardinal Point แบบ Top Center

Thickness(CM)	โมเมนต์ดัด (Kg/cm)						รวม
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	
1	22.624	48.63	172.468	172.468	48.63	22.624	487.444
5	41.513	59.96	113.398	113.398	59.96	41.513	429.742
10	43.336	59.308	87.239	87.239	59.308	43.336	379.766
15	42.455	56.229	73.816	73.816	56.229	42.455	345.000
20	41.613	52.915	65.082	65.082	52.915	41.613	319.22
25	40.918	49.917	58.746	58.746	49.917	40.918	299.162
30	40.243	47.33	53.903	53.903	47.33	40.243	282.952
35	39.523	45.116	50.089	50.089	45.115	39.523	269.455
40	38.747	43.203	47.016	47.016	43.203	38.747	257.932
45	37.93	41.529	44.484	44.484	41.529	37.93	247.886

5.2 ข้อเสนอแนะ

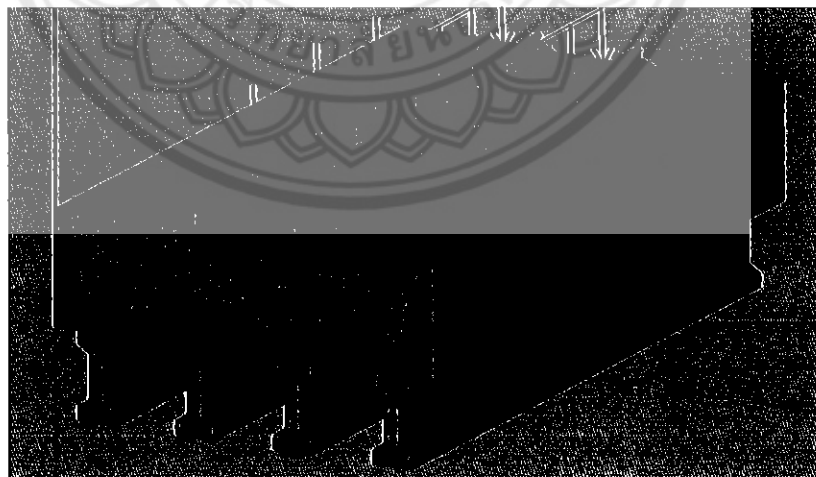
5.2.1 ทั้งนี้ในการนำโปรแกรมมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง พบว่าจะช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณออกแบบโครงสร้าง ลดระยะเวลาในการทำงานให้น้อยลง โดยสามารถทำการแก้ไขหากต้องการเพิ่มหรือลดน้ำหนักและระยะต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างได้โดยง่าย ในการใช้โปรแกรมที่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดผู้ใช้ต้องหมั่นฝึกฝนในการใช้และก่อนนำข้อมูลใส่ในโปรแกรมควรทำการตรวจสอบข้อมูลให้ถูกต้องก่อนจึงจะทำให้ผลที่ได้ออกมาถูกต้องและสมบูรณ์

5.2.2 ในการกำหนดชนิดของพื้นควรคำนึงถึงการก่อสร้างเนื่องจากพื้นชนิดที่จะเลือกใช้ในการวิเคราะห์มีการถ่ายแรงที่ต่างกัน ซึ่งใน พื้นแบบ Shell-Thin และ Cardinal Point แบบ Top Center จะทำให้เกิดการถ่ายแรงในแนวแกน ช่วยในการพองโครงสร้างพื้น หากใช้ชนิดของพื้นเป็นแบบ Plate-Thin จะทำให้ได้ค่าโมเมนต์ดัดใกล้เคียงกับการจำลองโครงสร้างเป็นแบบ 2 มิติ มากที่สุด จากตารางที่ 5.4 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากพื้นแบบ Shell-Thin จะเกิดการสูญเสียโมเมนต์ ที่มีความแตกต่างจากพื้นแบบ Plate-Thin ประมาณ 89%

ตารางที่ 5.4 แสดงผลเปรียบเทียบโมเมนต์ดัด ระหว่างพื้นแบบ Shell-Thin และ Plate-Thin

Type of Slab Thickness: 40cm	Location: 1st floor						Moments
	101	102	103	104	105	106	
Shell-thin	38.747	43.203	47.016	47.016	43.203	38.747	257.932
Plate-Thin	75.464	81.898	86.993	86.993	81.898	75.464	488.71
	% difference						89%

5.2.3 การจำลองโครงสร้างสะพานทางรถไฟด้วยโปรแกรม SAP2000 หากเป็นไปได้ควรจำลองโครงสร้างที่มีความคล้ายคลึงกับความเป็นจริงเนื่องจากการส่งถ่ายแรงที่เกิดขึ้นในพฤติกรรมจริงนั้นนำหนักรถไฟจะถ่ายไปสู่รางรถไฟ จากรางจะถูกส่งถ่ายสู่หมอนรองรางรถไฟที่มีระยะห่างกัน 0.6 เมตร และนำหนักจากหมอนรองรางรถไฟจะถูกถ่ายไปสู่โครงสร้างชั้นถัดไปดังรูปที่ 5.2 และต้องนำน้ำหนักของอุปกรณ์ต่างๆมารวมในการคำนวณออกแบบด้วย



รูปที่ 5.2 ภาพจำลองสะพานทางรถไฟและลำดับการถ่ายน้ำหนัก

5.2.4 ผลจากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลทำให้ทราบว่าถ้าเปลี่ยนแปลงจากน้ำหนักมาตรฐาน DL-16 ไปใช้ น้ำหนักมาตรฐาน U-20 โครงสร้างที่ใช้อยู่ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ ถ้าหากจะใช้งานจำเป็นจะต้องเสริมกำลังของโครงสร้างสะพานเดิม

เอกสารอ้างอิง

วินิต ช่อวิเชียร.(2544). การวิเคราะห์โครงสร้าง. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป.สัมพันธ์พาณิชย์.

เพ็ญพิศ บริหาร.(2542). ทฤษฎีโครงสร้าง. กรุงเทพฯ : พัฒนาศึกษา.

Kassimali Aslam.(1999). *Structural Analysis*. (2nded). The United States of America
PWS Publishing

คู่มือการใช้งานภาษาไทยโปรแกรม SAP2000 : <http://www.merriamwebster.com/dictionary>



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ

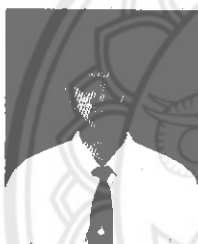


ชื่อ นายจตุรต ต่อนรัมย์
 ภูมิลำเนา 103 หมู่ 3 ต.เมืองปาน อ.เมืองปาน
 จ.ลำปาง 52240

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเมืองปานวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

Email: ttt_ok@hotmail.com



ชื่อ นายพงศ์ศิริ อินต๊ะวัน
 ภูมิลำเนา 1 หมู่ 6 ต.ป่าคา อ.ท่าวังผา
 จ.น่าน 55140

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนท่าวังผาพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

Email: win_1.6@hotmail.com



ชื่อ นายเพชร ศรีสุโพธิ์
 ภูมิลำเนา 75/1 ถ.ประดิษฐ์ ต.กาฬสินธุ์ อ.เมือง
 จ.กาฬสินธุ์ 46000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอนุกุลนารี
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

Email: patchara_srisupoh@hotmail.com