# การวิเคราะห์แรงพลศาสตร์ของสะพานแบบโครงถัก ภายใต้น้ำหนักการกระทำของรถไฟไทย

# DYNAMIC ANALYSIS OF RAILWAY TRUSS BRIDGE SUBJECT TO SRT TRAIN


นายธนศักดิ์ ศรีสวัสดิ์ รหัส 54361299

นายสรรเพชญ สิทธิชัย รหัส 54361442

นายอนุรักษ์ คงดี รหัส 54365051

นายศุทธา สมบูรณ์แบบ รหัส 54361435



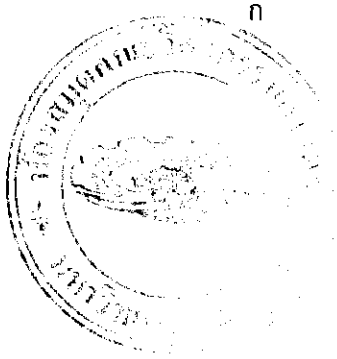
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 30 ก.ย. 2558
เลขทะเบียน 16910130
เลขเรียกหนังสือ ฝร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ก514 2557


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2557



# ใบรับรองปริญญานิพนธ์

| | | |
|---|---|---|
| **ชื่อหัวข้อโครงงาน** | การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ของสะพานแบบโครงถักภายใต้น้ำหนักกระทำจากรถไฟไทย | |
| **ผู้ดำเนินโครงงาน** | นายธนศักดิ์ ศรีสวัสดิ์ | รหัส 54361299 |
| | นายสรรเพชญ สิทธิชัย | รหัส 54361442 |
| | นายอนุรักษ์ คงดี | รหัส 54365051 |
| | นายศุทธา สมบูรณ์แบบ | รหัส 54361435 |
| **ที่ปรึกษาโครงงาน** | ดร. ทรงศักดิ์ สุธาสุประดิษฐ | |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมโยธา | |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมโยธา | |
| **ปีการศึกษา** | 2557 | |

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร. ทรงศักดิ์ สุธาสุประดิษฐ)

.....กรรมการ
(ดร.รัฐภูมิ ปริชาตปรีชา)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

| | | |
|---|---|---|
| **ชื่อหัวข้อโครงงาน** | การวิเคราะห์แรงพลศาสตร์ของสะพานแบบโครงถักภายใต้น้ำหนักการกระทำจากรถไฟไทย | |
| **ผู้ดำเนินโครงงาน** | นายธนศักดิ์ ศรีสวัสดิ์ | รหัส 54361299 |
| | นายสรรเพชญ สิทธิชัย | รหัส 54361442 |
| | นายอนุรักษ์ คงดี | รหัส 54365051 |
| | นายศุทธา สมบูรณ์แบบ | รหัส 54361435 |
| **ที่ปรึกษาโครงงาน** | ดร. ทรงศักดิ์ ธาสุประดิษฐ | |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมโยธา | |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมโยธา | |
| **ปีการศึกษา** | 2557 | |

## บทคัดย่อ

โครงงานทางวิศวกรรมโยธาครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาการสั่นสะเทือนของสะพานรถไฟข้ามคลองบ้านแม่เทียบ ตำบลบางกระทุ่ม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม Sap2000 ทางด้านพลศาสตร์ในความเร็วต่างๆ โดยข้อมูลได้จะถูกนำมาวิเคราะห์และเทียบกับค่ามาตรฐานของ International Union of Railways, UIC 776-2R เพื่อให้ทราบถึงความปลอดภัยของงานสะพาน

| | | |
|---|---|---|
| **Project title** | Dynamic Analysis Of Railway Truss Bridge Subject To SRT Train | |
| **Name** | Mr. Thanasak Srisawat | ID. 54361299 |
| | Mr. Sunphet Sitthichai | ID. 54361442 |
| | Mr. Anuruk Congdee | ID. 54365051 |
| | Mr. Suttha Somboonbab | ID. 54361435 |
| **Project advisor** | Dr. Songsak Suthasupradit | |
| **Major** | Civil Engineering | |
| **Department** | Civil Engineering | |
| **Academic year** | 2015 | |


## Abstract


This project aimed to study the dynamics behavior of Railway Bridge subjected to several train loads. The bridge located in T.Bangkratum, A. Bangkratum, Phitsanulok was chooses for analysis example. The vibration of the bridge subject to several speeds of train load was investigated by finite element model of SAP2000 program. Different modeling technique (model with and without sleeper) is performed for comparison. The response obtained were used for evaluate of safety of the bridge according to UIC code.

# กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.ทรงศักดิ์ สุธาสุประดิษฐ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่กรุณาให้คำชี้แนะ ตลอดจนคำอธิบายต่างๆเกี่ยวกับรูปแบบของโครงงาน และเอกสารอ้างอิงที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินงานเพื่อนำมาปฏิบัติและแก้ไขโครงงานนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จนสามารถเขียนรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงงานในวันที่นำเสนอโครงงานนิสิ

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ให้ความรู้ ตลอดมา จนจบการศึกษา

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายธนศักดิ์ ศรีสวัสดิ์
นายสรรเพชญ สิทธิชัย
นายอนุรักษ์ คงดี
นายศุทธา สมบูรณ์แบบ

16 มิถุนายน 2558

# สารบัญ

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน ..... 1

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงงาน ..... 4

1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 4

1.4. ขอบเขตการทำโครงงาน ..... 4

1.5. แผนและขั้นตอนการดำเนินงาน ..... 4

1.6. รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน ..... 6

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น ..... 7

2.1 หลักการทั่วไปของการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ ..... 7

2.2 สะพานข้ามคลองแม่เทียบ ..... 8

2.3 องค์ประกอบของสะพาน ..... 9

2.5 น้ำหนักบรรทุก ..... 14

2.6 ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) ..... 18

2.7 การสั่นพ้อง (Resonance) ..... 19

2.8 วิวัฒนาการของน้ำหนักกดเพลามาตรฐานของรถไฟไทย ..... 20

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน ..... 24

3.1 การสร้างแบบจำลองโครงสร้าง ..... 24

3.2 การตั้งค่าหน้าตัดของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ ..... 25

3.3 เขียนโครงสร้างสะพาน ..... 26

3.4 การตั้งค่ารถไฟชนิดต่างๆ ..... 28

# สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ ..... 31

4.1 วิเคราะห์โครงสร้างสะพานที่รถไฟไทยวิ่งผ่านโดยไม่คำนึงสั่นสะเทือนของไม้หมอน ..... 31

4.2 วิเคราะห์โครงสร้างสะพานที่รถไฟไทยวิ่งผ่านโดยคำนึกสั่นสะเทือนไม้หมอน ..... 46

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ ..... 69

5.1 สรุปผล ..... 69

5.2 ข้อเสนอแนะ ..... 73

เอกสารอ้างอิง ..... 74

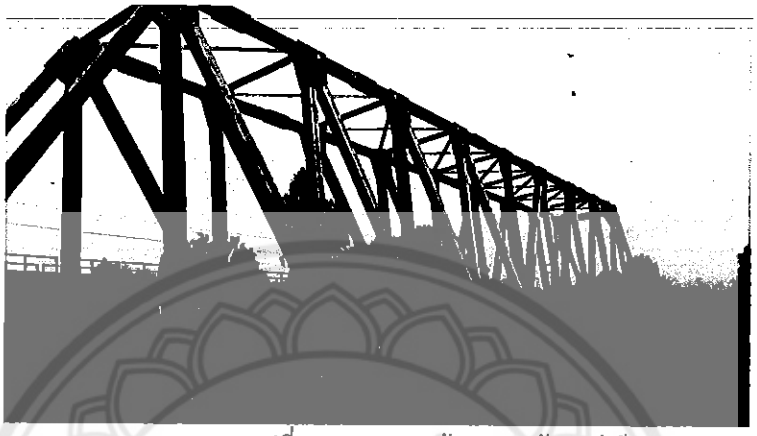
ภาคผนวก ก ..... 76

ภาคผนวก ข ..... 128

# บทที่ 1

# บทนำ

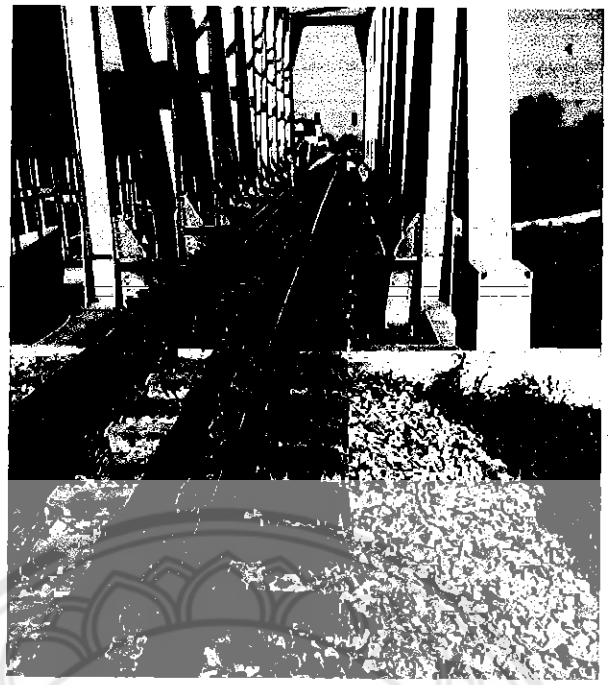
## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน



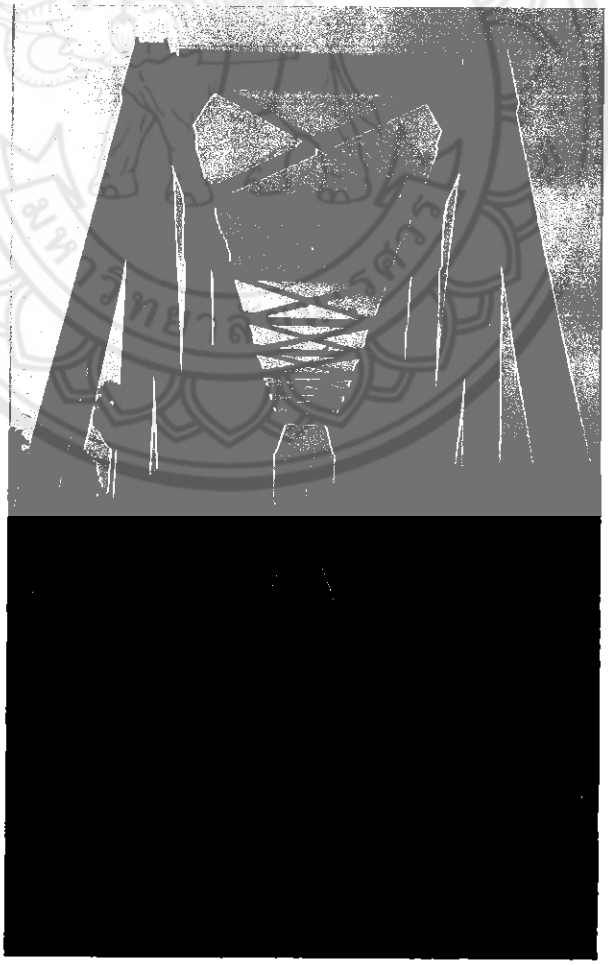
รูปที่ 1.1-1 สะพานข้ามคลองบ้านแม่เทียบ

สะพานรถไฟเป็นสิ่งก่อสร้างที่สร้างเพื่อข้าม แม่น้ำ, คลอง, ทางรถยนต์ เพื่อเชื่อมทางที่อยู่คนละฝั่งเข้าหากันทำให้รถไฟสามารถข้าม แม่น้ำ, คลอง หรือทางรถยนต์ นั้นไปได้ โครงสร้างของสะพานรถไฟจะต้องรับน้ำหนักบรรทุกแบบสถิต (น้ำหนักตัวสะพานเอง ,Static load) ซึ่งจะเป็นแรงกระทำอยู่กับที่ นอกจากนั้นต้องรับน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ได้ (น้ำหนักของรถไฟ ,Moving load) โดยแรงหรือน้ำหนักกระทำ จะส่งผลต่อโครงสร้าง เช่น แรงปฏิกิริยา (Reaction) แรงเฉือน (Shear) โมเมนต์ดัด (Bending) การโก่งตัว (Deflection) แรงกระทำตามแนวแกน (Axial force) นอกจากนี้ยังมี ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) ของตัวสะพานเองซึ่งเกิดจากการแกว่งตัวอย่างอิสระ รวมถึง ความเร็ว (Velocity) ที่รถไฟวิ่งผ่านสะพานจะทำให้เกิดกระจัดของตัวสะพาน (Displacement) และ อัตราเร่งทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ (Acceleration) เมื่อความถี่ที่เกิดขึ้นจากแรงกระทำภายนอกไปตรงกับความถี่ธรรมชาติจะทำให้เกิดการสั่นพ้อง (Resonance) และเป็นอันตรายได้ จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ตำแหน่งกลางสะพานเพื่อหาค่า การกระจัดสูงสุด อัตราเร่งในแนวดิ่งสูงสุดที่ทำให้เกิดการกระจัดสูงสุด และน้ำหนักรถไฟที่ความเร็วเท่าไหร่ที่กระทำบนโครงสร้างจนทำให้เกิดค่าสูงสุดของ แรงปฏิกิริยา แรงเฉือน โมเมนต์ดัด

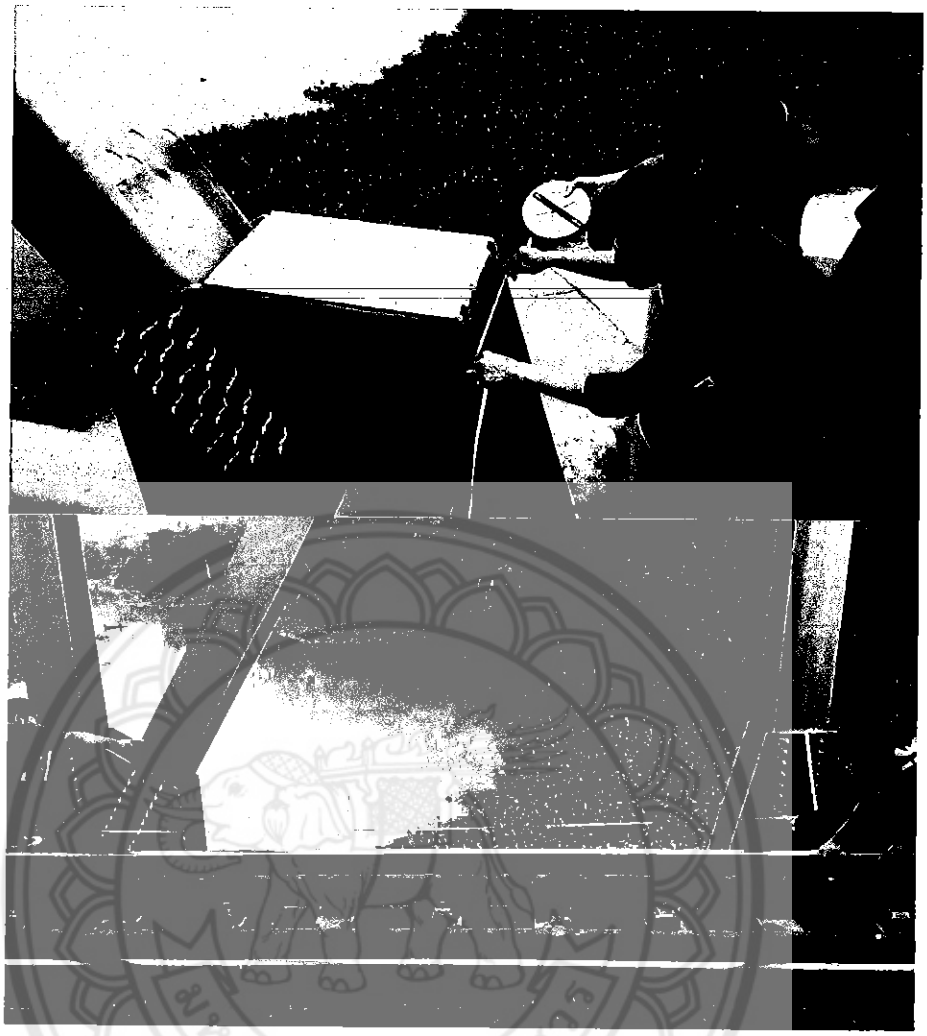
ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงคิดทำการวิจัยนี้เพื่อศึกษาหาการตอบสนองพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของสะพานรถไฟแบบโครงถักที่บ้านแม่เทียบ ตำบลบางกระทุ่ม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ดังรูปที่1.1-1, 1.1-2, 1.1-3, 1.1-4, 1.1-5 เมื่อมีน้ำหนักรถไฟชนิดต่างๆเคลื่อนที่ผ่าน โดยใช้โปรแกรม SAP 2000 ในการวิเคราะห์ เพื่อเป็นการลดเวลาในการวิเคราะห์โครงสร้าง ในการศึกษานี้ได้พิจารณากรณีวิเคราะห์เมื่อรถไฟแต่ละชนิดวิ่งผ่านที่ความเร็วใดๆ เป็น 2 กรณี เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงรถไฟหรือตัวโครงสร้างสะพานก็สามารถทำในโปรแกรมได้



รูปที่ 1.1-2 ทางเข้าสะพานก่อนถึงสถานีแม่เทียบ



รูปที่ 1.1-2 ทางออกสะพานก่อนจะเข้าสถานีแม่เทียบ



รูปที่ 1.1-4 วัดขนาดสะพาน

รูปที่ 1.1-5 บริเวณด้านใต้สะพาน

**1.2. วัตถุประสงค์ของโครงงาน**

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของสะพานรถไฟบ้านแม่เทียบ ตำบลบางกระทุ่ม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก เนื่องจากการวิ่งผ่านของรถไฟแต่ละชนิดในความเร็วที่เปลี่ยนไป

1.2.2 เพื่อต้องการทราบว่ารถไฟชนิดไหน ที่ความเร็วที่เท่าไหร่มี Displacement Acceleration Bending Moment Shear และ Reaction ที่สูงที่สุด

**1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1.1.1 สามารถประยุกต์ใช้งานโปรแกรม SAP2000 วิเคราะห์ทางพลศาสตร์ เพื่อหาแรงภายในสะพานได้

1.1.2 สามารถลดเวลาในการวิเคราะห์โครงสร้างและนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

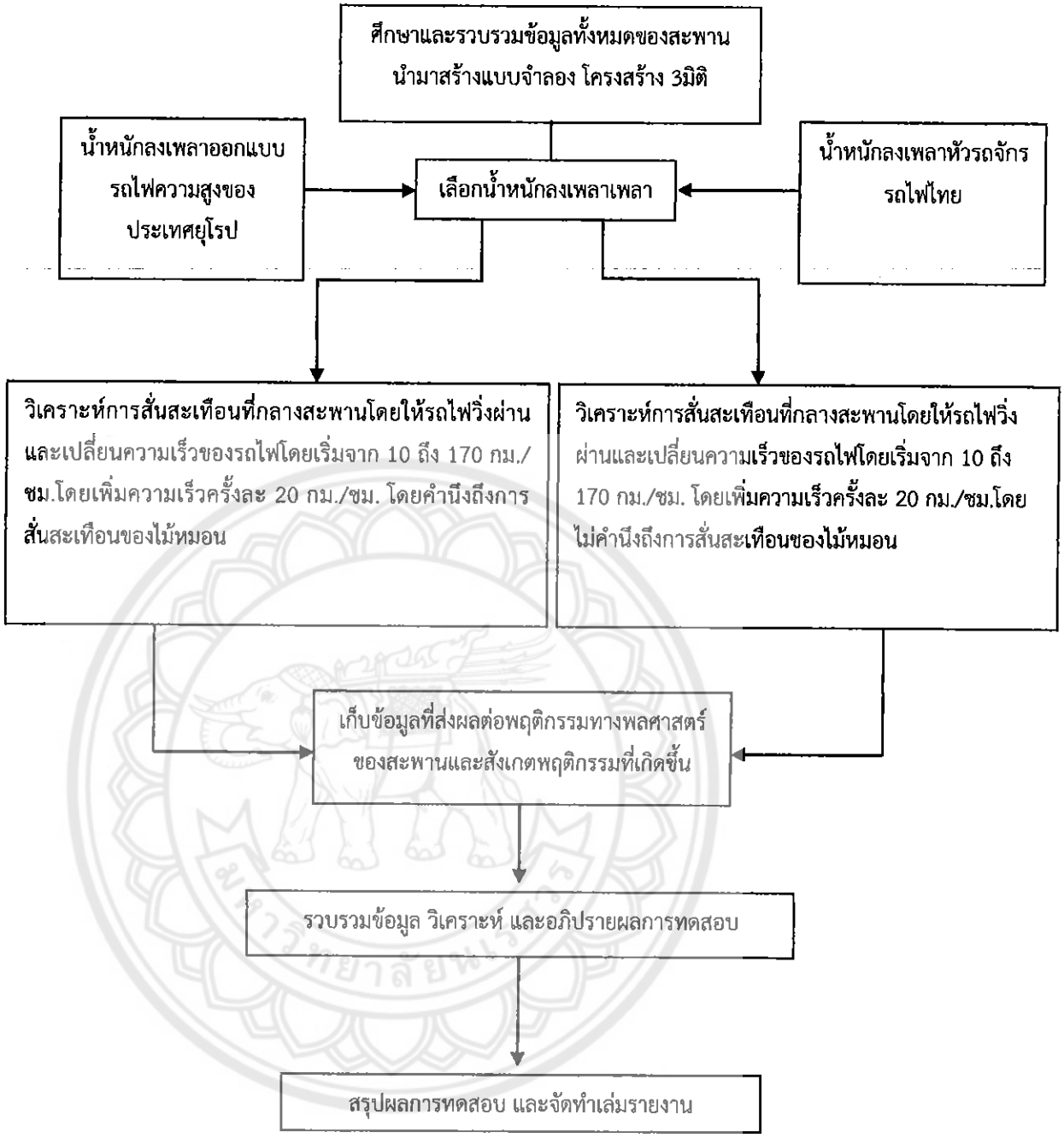
1.1.3 สามารถทราบค่าการตอบสนองที่สูงที่สุดของรถไฟแต่ละประเภทที่วิ่งผ่านสะพานด้วยความเร็วใดๆได้

**1.4. ขอบเขตการทำโครงงาน**

วิเคราะห์การสั่นสะเทือนของสะพาน โดยใช้ความเร็วของรถไฟในการวิเคราะห์เริ่มจาก 10-170 กม./ชม. โดยเพิ่มทีละ 20 กม./ชม. เนื่องจากความเร็วของรถไฟที่วิ่งบนรางแบบ Meter gauge ได้สูงสุด 160 กม./ชม. จึงเผื่อความเร็วไว้ที่ 170 กม./ชม. โดยใช้น้ำหนักออกแบบรถไฟความเร็วสูงของประเทศแถบยุโรป (The high speed load model, HSLM) และน้ำหนักหัวรถจักรรถไฟไทย และวิเคราะห์พฤติกรรม ของโครงสร้างสะพานเนื่องจาก น้ำหนักและความเร็วของรถไฟ โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ คำนึงถึงการสั่นสะเทือนของไม้หมอน และไม่คำนึงถึงการสั่นสะเทือนของไม้หมอน

**1.5. แผนและขั้นตอนการดำเนินงาน**

วิธีการดำเนินงานจะเริ่มจากการศึกษาโครงสร้างสะพาน เก็บข้อมูลทั้งหมดของสะพานนำมาสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากนั้นใช้น้ำหนักออกแบบรถไฟความเร็วสูงของประเทศแถบยุโรป (The high speed load model, HSLM) และน้ำหนักลงเพลาหัวรถจักรรถไฟไทยนำมาทำการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ทั้ง 2 กรณี คือ คำนึงถึงการสั่นสะเทือนของไม้หมอนและไม่คำนึงถึงการสั่นสะเทือนของไม้หมอน จากนั้นเก็บข้อมูลที่ส่งผลต่อพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของสะพานและสังเกตพฤติกรรมที่เกิดขึ้น แล้วรวบรวมข้อมูล ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผลการทดสอบ และ สรุปผลการทดสอบ สามารถสรุปแนวคิดและวิธีดำเนินการวิจัยได้ดังรูป 1.5-1




รูปที่ 1.5-1 แผงผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

**1.6. รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน**

| | | |
|---|---|---|
| 1. ค่าเอกสารหนังสือ | 1000 | บาท |
| 2. เข้าเล่มโครงการ | 1000 | บาท |
| 3. ค่าวัสดุ | 500 | บาท |
| 4. ค่าเดินทาง | 500 | บาท |
| รวมเป็นเงิน | 3000บาท (สามพันบาทถ้วน) | |

# บทที่ 2
# หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

## 2.1 หลักการทั่วไปของการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์โครงสร้างจริงเราจะเป็นต้องวิเคราะห์จากแบบจำลองย่อส่วน หรือแบบจำลองทางเรขาคณิตของโครงสร้างจริงเหล่านั้น หมายความว่าการจำลองโครงสร้างเพื่อวิเคราะห์โครงสร้าง มีความสำคัญและความจำเป็นมากที่จะต้องทำความเข้าใจกระบวนการวิเคราะห์ให้ละเอียดและรอบคอบ เพื่อให้ได้พฤติกรรมที่ใกล้เคียงโครงสร้างจริงมากที่สุด และผลจากพฤติกรรมดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สิน

ดังนั้นถ้าหากต้องการที่จะให้พฤติกรรมของโครงสร้างที่แสดงออกมาจากแบบจำลองมีความละเอียด ถูกต้อง และใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด แบบจำลองดังกล่าวต้องถูกจำลอง ด้วยเงื่อนไขต่างๆที่ใกล้เคียงกับโครงสร้างของจริงมากที่สุด

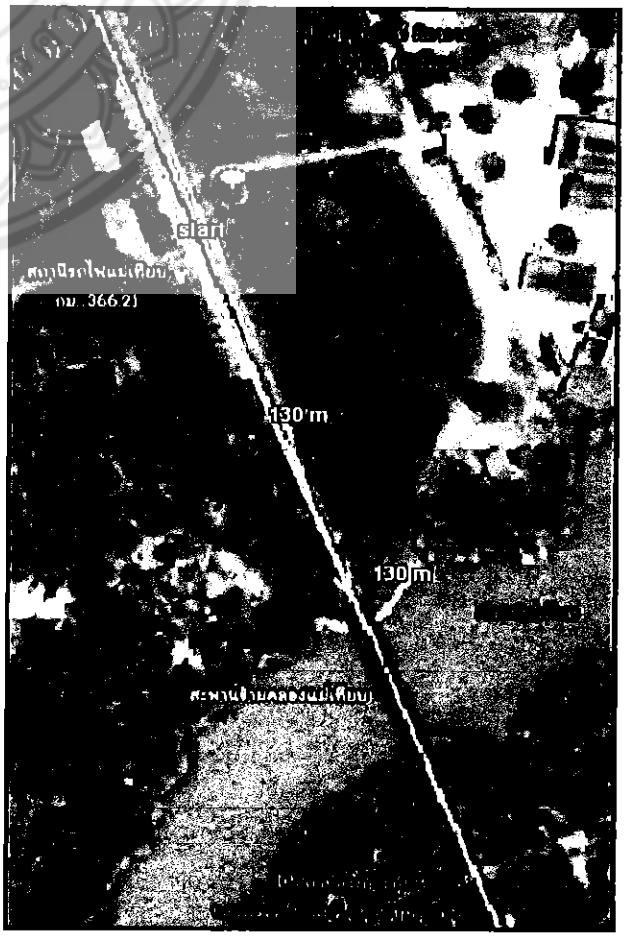
**ขั้นตอนโดยทั่วไปในการใช้โปรแกรมวิเคราะห์**

1. เขียนหรือสร้างรูปทรงเรขาคณิต(Geometry) ของโครงสร้าง เรียกว่า การจำลองโครงสร้าง
2. กำหนดประเภทของวัสดุ, ขนาดของวัสดุ และคุณสมบัติของวัสดุให้กับแบบจำลองเช่น คานรับพื้น (Floor Beam) ใช้เหล็กรูปพรรณ W 900x300
3. กำหนดลักษณะของจุดต่อ (Joint) ของแบบจำลอง เช่น เป็นจุดต่อแบบหมุน (Pin), จุดต่อแบบแข็งเกร็ง (Rigid) ,จุดหมุนภายใน (Internal Hinge) และการยึดรั้ง (Constrain) ต่างๆ
4. กำหนดจุดรองรับ (Support) ให้ตรงกับโครงสร้างจริงในแบบจำลอง เช่น แบบล้อหมุน (Roller), แบบบานพับ (Hinge), แบบยึดแน่น (Fixed) และ สปริง (spring)
5. กำหนดน้ำหนักบรรทุก อาจจะแยกตามแต่ละข้อกำหนด
6. กำหนดวิธีวิเคราะห์โครงสร้างโดยแบ่งตามกรณีที่เราต้องการศึกษา

## 2.2 สะพานข้ามคลองแม่เทียบ

รูปที่ 2.2-1 สะพานรถไฟข้ามคลองแม่เทียบ

สะพานข้ามคลองแม่เทียบ เป็นสะพานที่สร้างด้วยเหล็กรูปพรรณรูปแบบต่างๆ รถไฟตั้งอยู่ที่ บ้านแม่เทียบ ตำบลบางกระทุ่ม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก อยู่ห่างจากมหาวิทยาลัยนเรศวร ประมาณ 20 กิโลเมตร รูปแบบสะพานข้ามคลองบ้านแม่เทียบ มีขนาดความยาว 50 เมตร กว้าง 4.3 เมตร และสูง 8.7 เมตร เป็นสะพานโครงถัก แบบ Through Truss




รูปที่ 2.2-2ภาพแผนที่แสดงที่ตั้งสะพาน
ที่มาhttp://portal.rotfaithai.com/modules.php?

## 2.3 องค์ประกอบของสะพาน

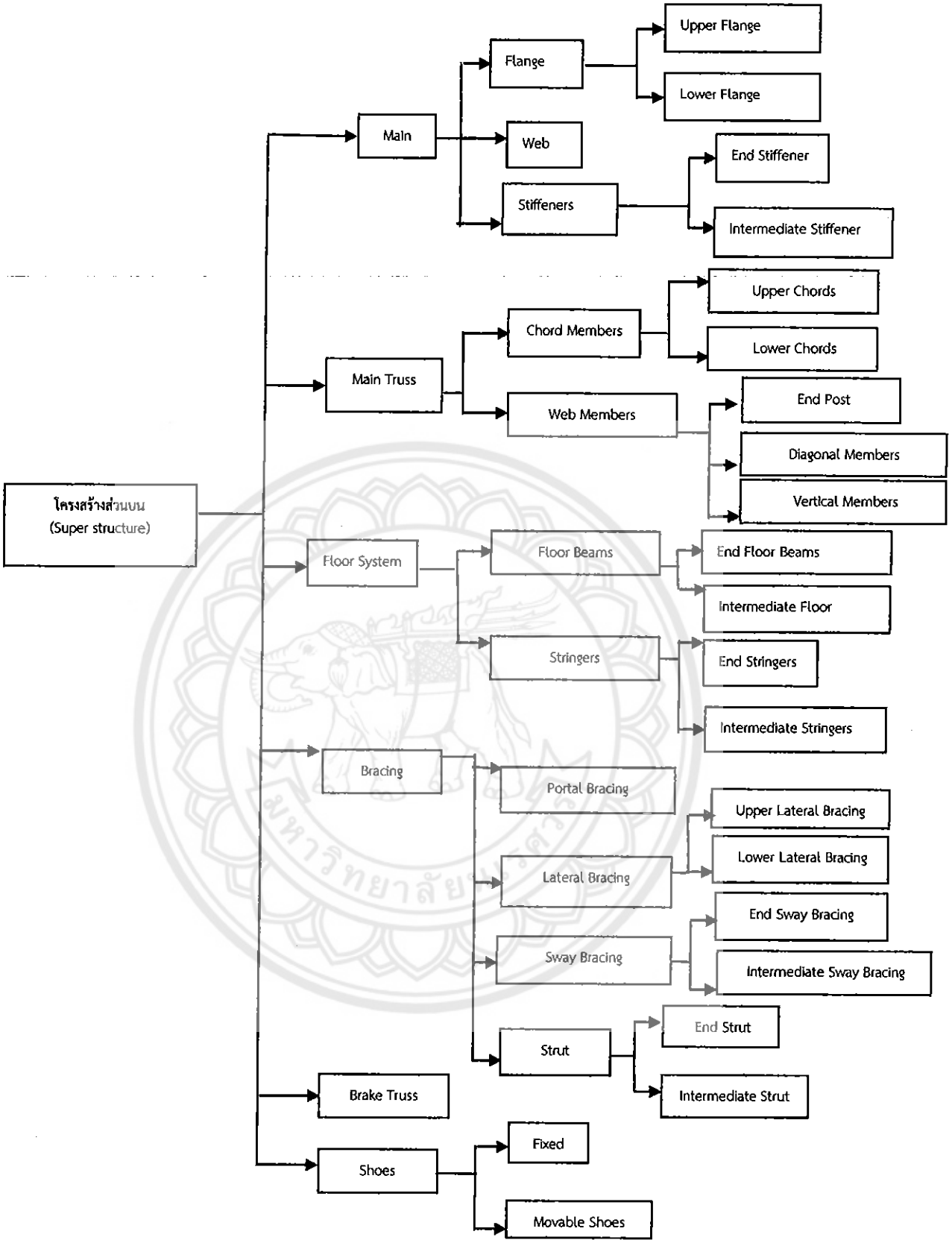
สะพานแบ่งโครงสร้างออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ **โครงสร้างส่วนบน (Superstructure)** กับ**โครงสร้างส่วนล่าง** (Substructure)

### 2.3.1 โครงสร้างส่วนบน (Superstructure)

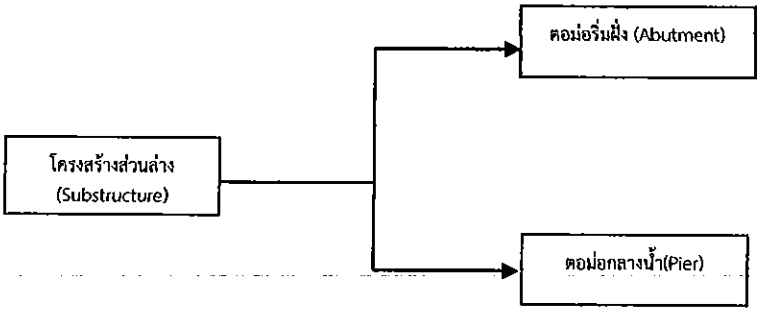
โครงสร้างส่วนบนเป็นโครงสร้างหลักของสะพาน มีหน้าที่รับน้ำหนักของยานพาหนะที่วิ่งบนสะพาน และน้ำหนักของตัวสะพานแล้วถ่ายน้ำหนักลงไปสู่โครงสร้างส่วนล่างรายละเอียดของโครงสร้างส่วนบนสามารถเขียนแสดงเป็นแผนผังได้ดังรูป 2.3.1-1

### 2.3.2 โครงสร้างส่วนล่าง (Substructure)

โครงสร้างส่วนล่างได้แก่ ตอม่อ (รวมถึงฐานรากขงตอม่อด้วย) **โดยตอม่อมีหน้าที่**รับน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนบนแล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินฐานราก ตอม่อ**แบ่งเป็น ตอม่อริมฝั่งแม่น้ำ** (Abutment) และ**ตอม่อกลางน้ำ** (Pier) เขียนแสดงเป็นแผนผัง**ได้ดังรูป** 2.3.1-2



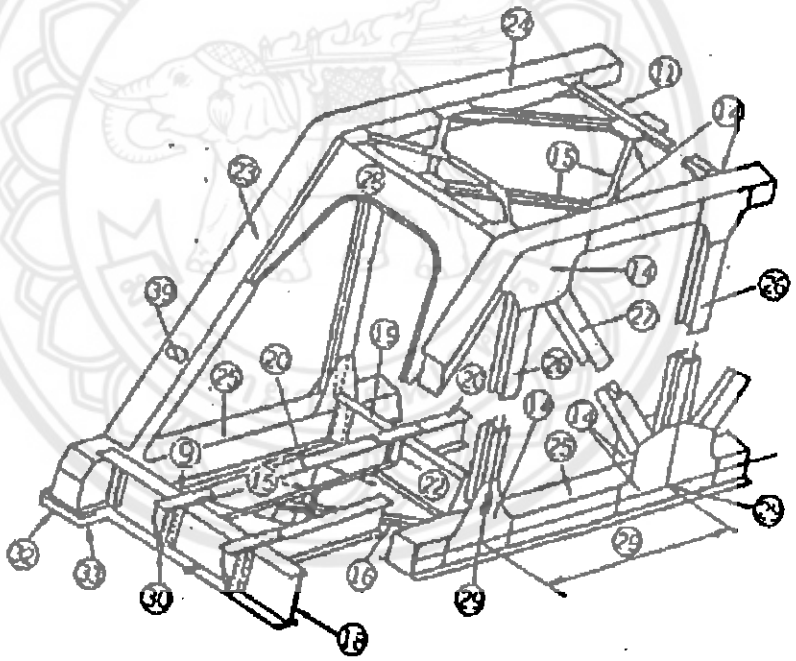

รูปที่ 2..3-1 แผนผังแสดงรายละเอียดขององค์ประกอบโครงสร้างส่วนบน




**รูปที่ 2.3-2 แผนผังแสดงรายละเอียดขององค์ประกอบโครงสร้างส่วนล่าง**

2.4 สะพานแบบ Through Truss

มีทั้ง คานตั้ง (Stringers), คานขวาง (Floor Beams) และ โครงถัก (Main Truss) น้ำหนักรถไฟจะถ่ายลงบน คานตั้ง แล้วจาก คานตั้ง ถ่ายไปสู่ คานขวาง จาก คานขวาง ลงสู่ โครงถัก และจาก โครงถัก ลงสู่ จุดรองรับและตอม่อในที่สุด



รูปที่ 2.4-1 สะพานแบบ Through Truss

**ชื่อเรียกชิ้นส่วนต่างๆของสะพานและหน้าที่ของแต่ละชิ้นส่วน**

จากรูปที่ 2.2-5 สะพานสามารถแบ่งชิ้นส่วนต่างๆดังนี้ (ดูรูปภาพประกอบ)

**ชิ้นที่ 9** แผ่นเหล็กรับแรงดัด (Moment plate)

เป็นแผ่นเหล็กที่รอยต่อ มีหน้าที่หลักคือรับแรงดัด (Bending Moment)

ชิ้นที่ 11 แกงแนงขวางตัวใน (Intermediate Strut)

เป็นส่วนประกอบของแกงแนงตั้งตัวใน ถ้าไม่มีแกงแนงตั้งตัวในแกงแนงขวางตัวในจะกลายเป็นชิ้นส่วน(Member) อิสระชิ้นส่วนหนึ่งมีหน้าที่ยึดตรึงคานประธานซ้ายขวาเข้าไว้ด้วยกัน

ชิ้นที่ 14 เหล็กแผ่นรวมจุดตัด (Gusset)

คือ แผ่นเหล็กใช้เป็นแผงรวมจุดตัดของชิ้นส่วนต่างๆของโครงถัก(Truss) หรือแกงแนงราบโดยย้ำหมุด ยึดตรึงชิ้นส่วนเหล่านั้นไว้กับเหล็กแผ่นรวมจุดตัด

ชิ้นที่ 15 แกงแนงราบตัวบน (Upper Lateral Bracing)

เป็นโครงถัก ที่วางนอนในแนวราบทางขวางมีหน้าที่ต้านทานแรงทางข้าง ได้แก่ แรงลม (Wind load) และแรงตามขวาง (Lateral Force) เป็นต้น แกงแนงราบที่คอร์ดบน (Upper Chord) ของโครงถักทั้งซ้ายและขวาเรียก แกงแนงราบบน (Upper Lateral Bracing)

ชิ้นที่ 16 แกงแนงราบล่าง (Lower Lateral Bracing)

เป็นโครงถัก ที่วางนอนในแนวราบทางขวางมีหน้าที่ต้านทานแรงทางข้าง ได้แก่ แรงลม (Wind load) และแรงตามขวาง (Lateral Force) เป็นต้น แกงแนงราบที่คอร์ดล่าง (Lower Chord) ของโครงถักทั้งซ้ายและขวาเรียก แกงแนงราบล่าง (Lower Lateral Bracing)

ชิ้นที่ 18 คานขวางตัวริม (End Floor Beam)

เป็นชิ้นส่วนที่ประกอบกันขึ้นเป็นระบบพื้น (Floor System) ของสะพานโครงถัก มีหน้าที่รับน้ำหนักของขบวนรถไฟ ซึ่งถ่ายผ่านชิ้นส่วนในแนวดิ่งของโครงถัก (Vertical Member) สู่คานขวาง คานขวางที่ตั้งอยู่หัวและท้ายของสะพานเรียกว่าคานขวางตัวริม

ชิ้นที่ 19 คานขวางตัวใน (Intermediate Floor Beam)

คานขวางตัวที่อยู่ถัดจากหัวและท้ายสะพานเข้าไปข้างใน

ชิ้นที่ 20 คานตั้งตัวริม (End Stringer)

เป็นชิ้นส่วนหนึ่งที่ประกอบขึ้นเป็น ระบบพื้น (Floor System) ของสะพานโครงถัก เป็นคานรับน้ำหนักหมอนรางรถไฟ เครื่องยึดเหนี่ยว และน้ำหนักจากรถไฟโดยตรง โดยยึดหัวและท้ายไว้กับคานขวาง (Floor Beam) ชิ้นส่วนดังกล่าวนี้เรียกว่า คานตั้ง (Stringer) และคานที่ตั้งอยู่ในช่วงแรก และช่วงสุดท้ายของสะพานเรียกว่า คานตั้งตัวริม (End Stringer)

ชิ้นที่ 22 เหล็กยึดตรึง (Connection Angle)

คือ เหล็กฉากที่ใช้เป็นองค์กระกอบในการยึดตรึง Web ที่หัวและท้าย ของ String ติดกับ web ของ Floor Beam เรียกว่า เหล็กฉากยึดตรึง มีหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากคานตั้ง ไปยัง คานขวาง

ชิ้นที่ 23 เสาที่หัวและท้ายของสะพาน (End Post)

คือ ชิ้นส่วนที่ตั้งอยู่หัวและท้ายของ โครงถักหลัก ของสะพานโครงถัก ที่ระหว่างเสาหัวท้ายของโครงถักจะติดตั้งชุ้มประตู เพื่อทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากแรงลมที่กระทำลงสู่จุดรองรับ

ชิ้นที่ 24 คอร์ดบน (Upper Chord)

คือชิ้นส่วนตัวบนของโครงถัก สำหรับ กรณี Simple Truss คอร์ดบนมีหน้าที่ต้านทานแรงอัด (Compression)

ชิ้นที่ 25 คอร์ดล่าง (Lower Chord)

คือชิ้นส่วนตัวบนของโครงถัก สำหรับ กรณี Simple Truss คอร์ดบนมีหน้าที่ต้านทานแรงดึง (Tension)

ชิ้นที่ 26 ชิ้นส่วนตั้งแนวดิ่ง (Vertical Member)

ชิ้นส่วนหนึ่งของโครงถัก ตั้งอยู่ในแนวดิ่ง ไม่ได้รับแรง เพียงแต่ถ่ายแรงจากคานขวางลงบนจุดตัด

ชิ้นที่ 27 ชิ้นส่วนตั้งแนวเอียง (Diagonal Member)

เป็นชิ้นส่วนที่ประกอบขึ้นเป็น โครงถัก มีหน้าทีต้านทานแรงเฉือน (Shearing Force) ที่กระทำต่อโครงถัก และขึ้นอยู่กับตำแหน่งของน้ำหนักที่มากระทำ ชิ้นส่วนตั้งบางชิ้นรับแรงดึงเพียงอย่างเดียวและหรือเฉพาะแรงอัดเพียงอย่างเดียว และก็มีบางตัวที่ต้องรับแรงดึงและแรงอัดสลับกันไปมา ได้แก่ ชิ้นส่วนที่ตั้งบริเวณ กลางสะพาน เป็นต้น

ชิ้นที่ 28 ซุ้มประตู (Portal)

เป็นชิ้นส่วนมีหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากคอร์ดบนมากระทำลงสู่ จุดรองรับ นอกจากนั้นยังจำเป็นต้องมีไว้เพื่อรักษาสเถียรภาพ (Stability) ในทางขวางของโครงถัก อีกด้วย

ชิ้นที่ 29 จุดตัดรวมชิ้นส่วน (Panel Point)

จุดที่แต่ละชิ้นส่วน ของโครงถัก จะมาจับกลุ่มกัน โดยชิ้นส่วนต่างๆที่จุดตัวจะถูกยึดติดไว้กับแผ่นเหล็กรวมจุดตัดโดยหมุดย้ำ

ชิ้นที่ 30 ท้าวแขน (Bracket)

ส่วนที่ยื่นออกไปจากสะพาน สะพานเหล็กโครงขึ้น และสะพานเหล็กแผงขึ้น จะติดตั้ง Bracket ที่ระหว่าง คานขวางริม กับผนังกันหินของตอม่อริมฝั่งหรือกับคานขวางริมของสะพานช่วงถัดไป แล้วแต่กรณี สำหรับสะพานเหล็กโครงขึ้นต้องมี Bracket เสมอ

ชิ้นที่ 32 จุดรองรับ (Shoes, Support)

มีหน้าที่ถ่ายน้ำหนัก จาก โครงถัก ไปยังตอม่อ

ชิ้นที่ 33 ลูกกลิ้ง (Roller Support)

เหล็กลูกกลิ้ง อยู่ใต้ Movable Shoes ทำหน้าที่ให้ Movable Shoes ขยับเขยื้อนได้

ชิ้นที่ 39 ป้ายชื่อ (Name Plate)

เป็นแผ่นป้ายสำหรับบอกเลขที่ แบบน้ำหนัก กดเพลามาตรฐานที่ใช้ออกแบบ ชื่อบริษัทผู้ผลิต และวันเดือนปีที่ผลิต ควรติดไว้ ณ จุดหรือตำแหน่งที่มองเห็นได้ง่าย

**2.5 น้ำหนักบรรทุก**

น้ำหนักบรรทุกของสะพานรถไฟ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆดังนี้คือ น้ำหนักบรรทุกหลัก (Principal loads) กับน้ำหนักบรรทุกรอง (Secondary loads)

**น้ำหนักบรรทุกหลัก (Principal loads)**

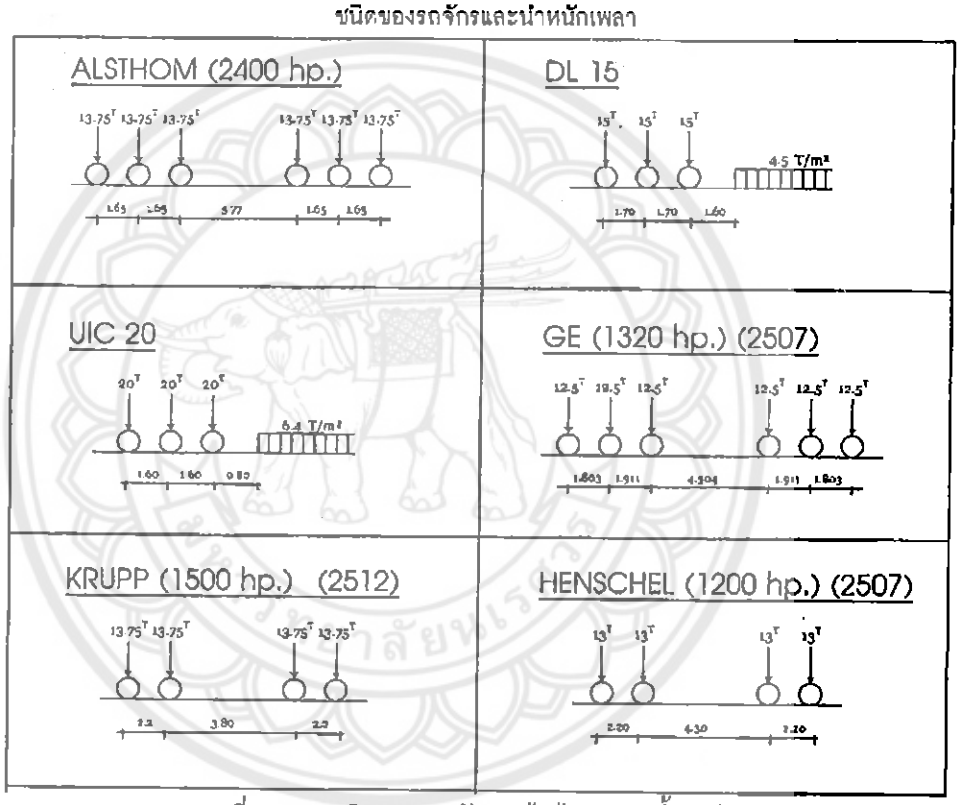
น้ำหนักบรรทุกหลัก คือ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงบนชิ้นส่วนหลักๆของสะพาน เช่น โครงถัก (Main Truss) คานตั้งรับน้ำหนักหมอนรางรถไฟ (Stringer) และ คานขวาง (Floor Beam) น้ำหนักบรรทุกหลักมี 4 น้ำหนัก คือ

**1.**น้ำหนักคงที่ (Dead load)

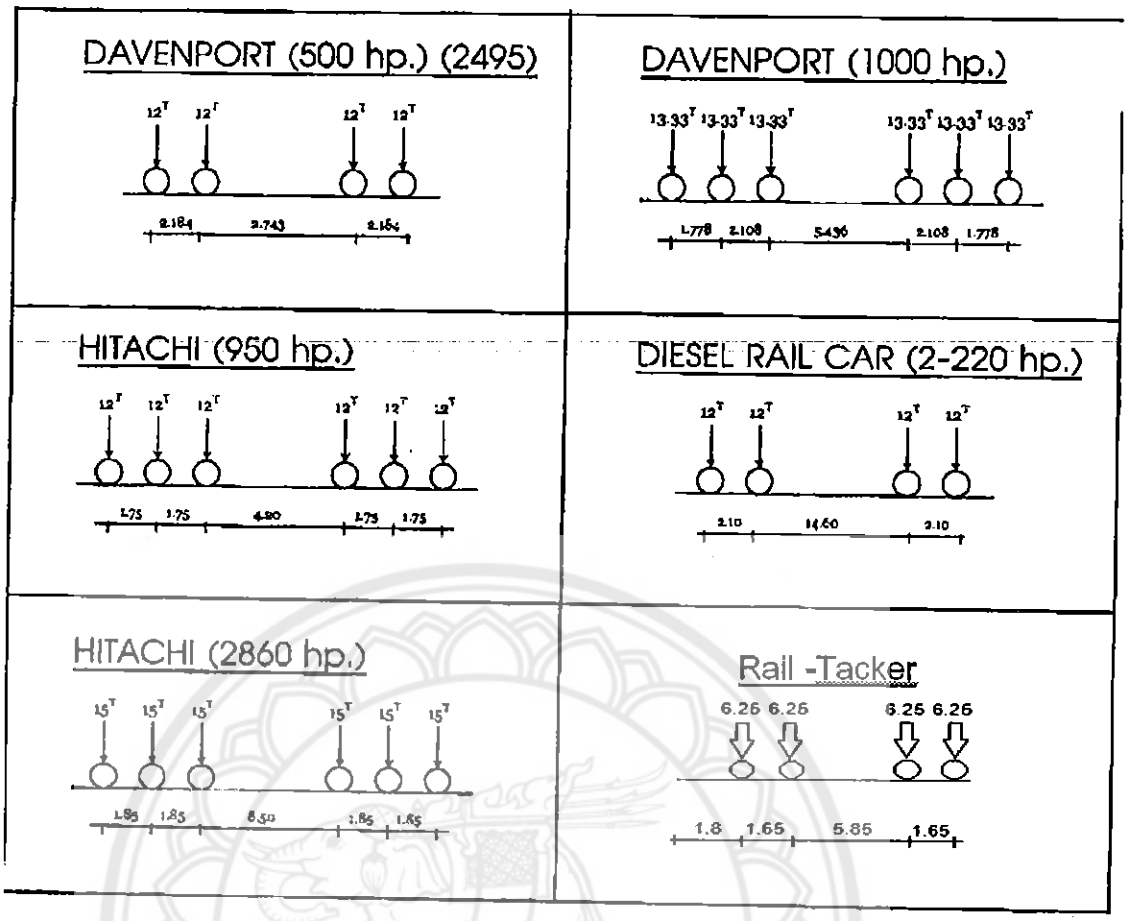
คือน้ำหนักของวัสดุต่างๆที่ประกอบขึ้นเป็นตัวสะพาน เช่น รางรถไฟ, เหล็กรูปพรรณรีดร้อน, เหล็กรูปพรรณรีดเย็น, ไม้หมอน, คอนกรีตเสริมเหล็ก

**2.** น้ำหนักบรรทุกจร (Live load)

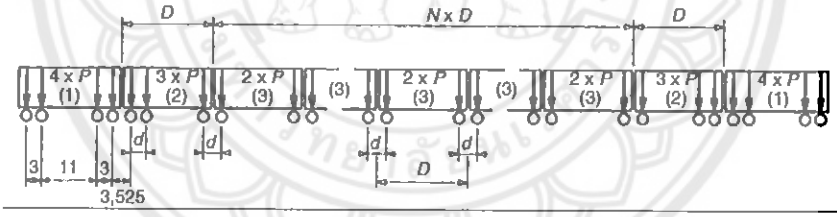
คือน้ำหนักของหัวรถจักรรถไฟและน้ำหนักออกแบบรถไฟของประเทศยุโรป (The High Speed Model, HSLM) มีหลายชนิด (รูปที่)




รูปที่ 2.5-1 ชนิดของรถจักรรถไฟไทยและน้ำหนักลงเพลา




รูปที่ 2.5-2 ชนิดของรถจักรรถไฟไทยและน้ำหนักลงเพลา




| Representative train | Number intermediate cars N | Length of cars D [m] | Distance between axle of bogie d [m] | Force p [kN] |
|---|---|---|---|---|
| A1 | 18 | 18 | 2.0 | 170 |
| A2 | 17 | 19 | 3.5 | 200 |
| A3 | 16 | 20 | 2.0 | 180 |
| A4 | 15 | 21 | 3.0 | 190 |
| A5 | 14 | 22 | 2.0 | 170 |
| A6 | 13 | 23 | 2.0 | 180 |
| A7 | 13 | 24 | 2.0 | 190 |
| A8 | 12 | 25 | 2.5 | 190 |
| A9 | 11 | 26 | 2.0 | 210 |
| A10 | 11 | 27 | 2.0 | 210 |

รูปที่ 2.5-3 ชนิด และน้ำหนักลงเพลาออกแบบของรถไฟในทวีปยุโรป (HSLM)

**3.น้ำหนักกระแทก** (Impact load)

**คือ น้ำหนักที่เกิดขึ้นเนื่องจาก การเคลื่อนที่ของน้ำหนักบรรทุกจรบนสะพาน สมมติให้ ค่า i เป็น สัมประสิทธิ์กระแทก** (Impact Coefficient)

$$i = \frac{\text{น้ำหนักที่เกิดขึ้นของน้ำหนักบรรทุกจร}}{\text{น้ำหนักบรรทุกจรเมื่อหยุดอยู่กับที่ (จอดนิ่งๆบนสะพาน)}}$$

**ค่า สัมประสิทธิ์การกระแทก ที่การรถไฟแห่งประเทศไทยใช้ อยู่ในปัจจุบัน และได้เริ่มใช้มาตั้งแต่ปี 2504มีดังต่อไปนี้**

$$i = 0.7 - \frac{L^2}{4000}$$

เมื่อ L ≤ 30 เมตร

$$i = \frac{10}{L} + 0.14$$

เมื่อ L > 30 เมตร

L คือความยาว ของชิ้นส่วนในกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้

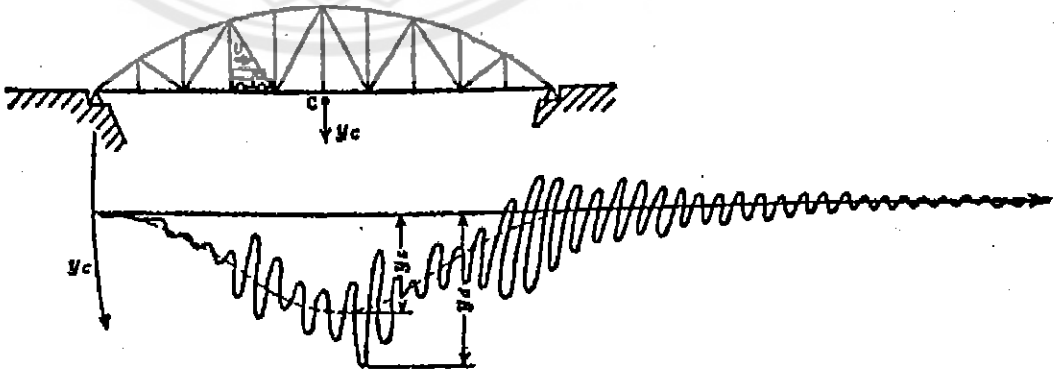
(1) กรณีของ คานหลัก (Main Girder) และโครงถัก (Main Truss) **(เฉพาะ คอร์ดบน และคอร์ดล่าง)** L คือขนาดช่วงของสะพาน

(2) กรณีของ คานตั้ง (Stringer) L คือ ความยาวของ คานตั้งตัว**นั้นๆ**

(3) กรณีของคานขวาง (Floor Beam) L คือผลรวมของความยา**วที่อยู่ด้านหน้าและด้านหลัง**คานขวางตัวนั้นๆ

(4) กรณีของ ชิ้นส่วนในแนวทแยงและแนวดิ่ง คิดเท่ากับ 75% **ของขนาดช่วง**สะพาน

(5) กรณีของชิ้นส่วนในแนวดิ่ง (Hip vertical) คิดแบบเดียวกับ**ข้อ (3)**




**รูปที่ 2.5-4แสดงผลการวัดจริงของระยะแอ่นตกท้องช้าง** (Defection) **เมื่อน้ำหนักบรรทุกจรวิ่งเคลื่อนที่บนสะพาน**

**4.** แรงเหวี่ยง (Centrifugal Force)

กรณีที่สะพานอยู่ในโค้ง จะมีแรงเหวี่ยงมากระทำเมื่อมีรถวิ่งบนสะพาน แรงเหวี่ยงมีค่าเท่ากับน้ำหนักบรรทุกจร คูณ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ในตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1

| รัศมีของโค้ง (เมตร) | สัมประสิทธิ์ |
|---|---|
| R ≤ 1000 | 0.12 |
| 1000 < R < 2000 | 0.08 |
| R ≥ 2000 | 0 |

น้ำหนักบรรทุกรอง (Secondary loads)

คือน้ำหนักที่กระทำต่อชิ้นส่วนที่เล็กๆลงมา เช่น ค้ำยันด้านข้าง คำยันด้านหน้า น้ำหนักบรรทุกรองมี 3 น้ำหนัก คือ

1. แรงลม (Wind load)

แรงลมจะมีแรงกระทำตั้งฉากกับแนวแกนสะพาน แรงกระทำ ต่อค้ำยันด้านข้าง และด้านหน้าประตู

2.แรงตามแนวขวาง (Lateral Force)

แรงตามขวางจะเกิดขึ้นจากการแกว่งตัวของรถไฟ แรงนี้จะกระทำในแนวราบกระทำในแนวตั้งฉากกับ แนวแกนสะพานมีค่าเท่ากับ 15 % ของน้ำหนักลงเพลาในแต่ละเพลา

3.แรงตามแนวยาว (Longitudinal Force)

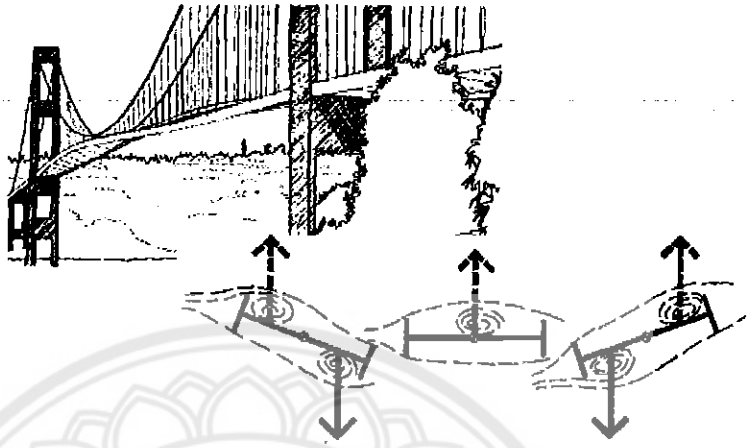
คือแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากรถไฟเบรกบนสะพาน หรือเกิดจากรถไฟที่หยุดนิ่งบนสะพานเคลื่อนที่ออกจากสะพาน มีค่า เท่ากับ 15% ของน้ำหนักบรรทุกจร หรือเท่ากับ 25% ของเพลาขับเคลื่อน (Driving Axle) ของน้ำหนักบรรทุกจร ที่เข้ามากระทำอยู่บนสะพานนั้น

2.6 **ความถี่ธรรมชาติ** (Natural frequency)

คือ การแกว่งอย่างอิสระของวัตถุ ถ้าหากโครงสร้างสั่นโดยไม่มีแรงภายนอกมากระทำตัวโครังสร้าง โครงสร้างจะสั่นโดยความถี่ธรรมชาติที่สอดคล้องกับน้ำหนักและความแข็งเกร็งของตัวโครงสร้าง (ความถี่ธรรมชาติมีหน่วยเป็น Hz)

**2.7 การสั่นพ้อง** (Resonance)

คือ ระบบของการสั่นที่มีความรุนแรงที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่มีความถี่ค่าหนึ่ง กล่าวคือ การสั่นพ้องจะเกิดขึ้นได้เมื่อระบบได้รับแรงกระทำภายนอกซึ่งมีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติทำให้ขนาด ของความถี่ของการเคลื่อนที่นั้นเพิ่มขึ้น ยกตัวอย่างเช่น สะพาน Tacoma



รูปที่ 2.7-1 การสั่นของสะพาน Tacoma Narrows (ที่มา http://www.wsdot.wa.gov/TNBhistory/Machine/machine3.htm)

**รูปที่ 2.7-2 สะพาน Tacoma Narrows Bridge**

(ที่มา http://en.wikipedia.org/wiki/File:Tacoma-narrows-bridge-collapse.jpg)

วันที่ 1 พฤศจิกายน ค.ศ. 1940 สะพานได้พังถล่มลงมา เพียงเพราะการกระทำของแรงลม

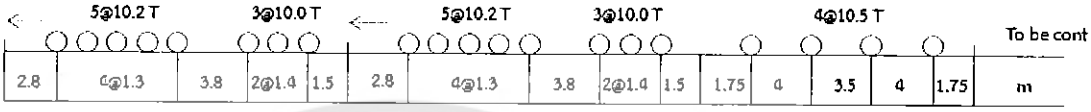
## 2.8 วิวัฒนาการของน้ำหนักกดเพลามาตรฐานของรถไฟไทย

เท่าที่รวบรวมได้มี 9 มาตรฐานด้วยกัน คือ

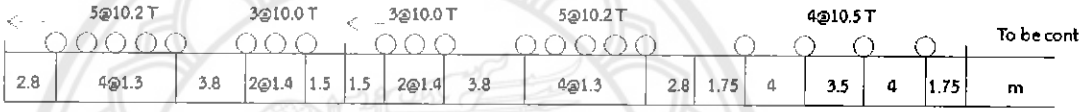
### 2.8.1 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน 10.5 ตัน (แบบเลขที่ 1965)

ระหว่างปี พ.ศ.2455 ถึง พ.ศ. 2477 (23 ปี) การรถไฟแห่งประเทศไทยได้ใช้น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน 10.5 ตัน ตามแบบเลขที่ 1965

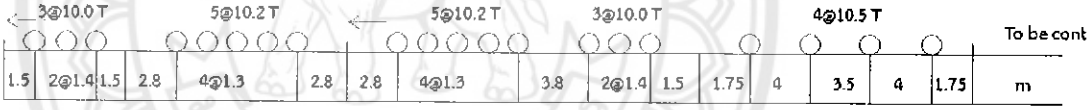
กรณีที่ 1 หัวรถจักรวิ่งตามกัน




กรณีที่ 2 หัวรถจักรท้ายชนกันวิ่ง



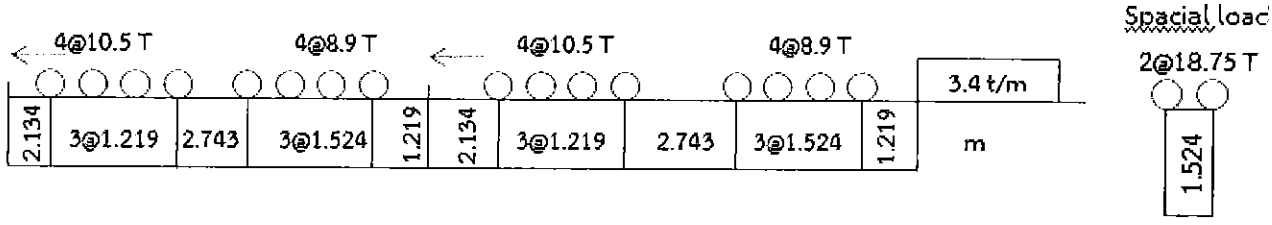

กรณีที่ 3 หัวรถจักรหัวชนกันวิ่ง




รูปที่ 2.8-1 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน 10.5 ตัน ตามแบบเลขที่ 1965

### 2.8.2 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน 10.5 ตัน (แบบเลขที่ 1965-2)

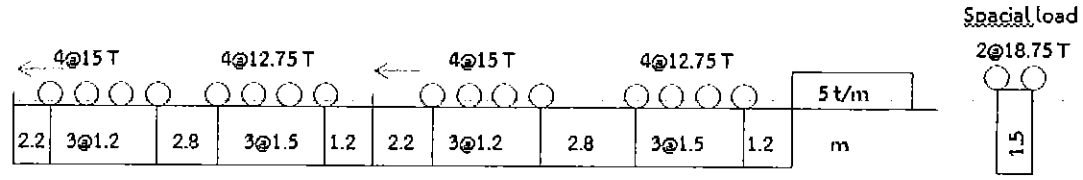
ระหว่างปี พ.ศ.2477 ถึง พ.ศ.2489 (13 ปี) การรถไฟแห่งประเทศไทยได้ใช้น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน 10.5 ตัน ตามแบบเลขที่ 1965-2




รูปที่ 2.8-2 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน 10.5 ตัน ตามแบบเลขที่ 1965-2

### 2.8.3 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน S-15 (แบบเลขที่ 1965-8)

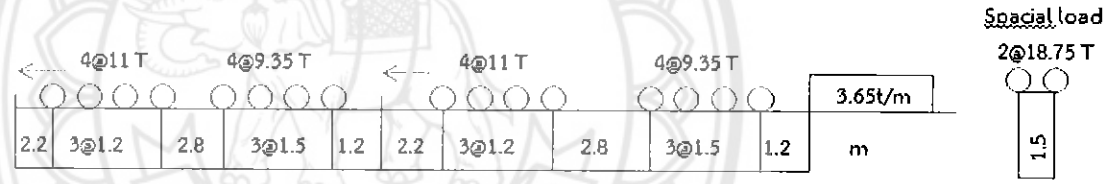
ระหว่างปี พ.ศ.2489 ถึง พ.ศ.2518 (30 ปี) การรถไฟแห่งประเทศไทยได้ใช้น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน S-15ตามแบบเลขที่ 1965-8




รูปที่ 2.8-3 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน S-15 ตามแบบเลขที่ 1965-8

### 2.8.4 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน S-11 (แบบเลขที่ 1965-12)

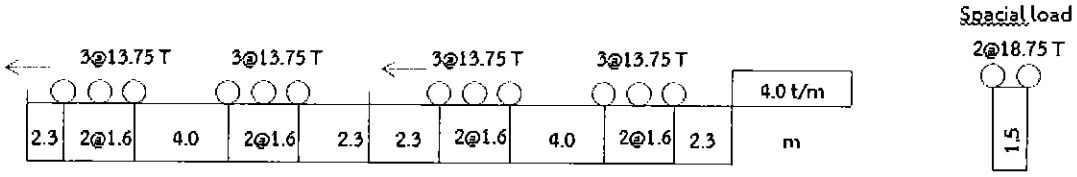
น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน S-11 ไม่ได้ใช้เป็นมาตรฐานสำหรับออกแบบสะพานแต่ได้ใช้เป็นมาตรฐานสำหรับการจัดซื้อหัวรถจักรของ การรถไฟแห่งประเทศไทย มีน้ำหนักกดเพลาเท่ากับ 11/15 เท่าของน้ำหนักกดเพลามาตรฐาน S-15




รูปที่ 2.8-4 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน S-11 ตามแบบเลขที่ 1965-12

### 2.8.5 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน 13.75 ตัน (แบบเลขที่ 1965-21)

เมื่อปี พ.ศ.2512 หน่วยงานชื่อ UKRAS แห่งประเทศอังกฤษได้ให้ความช่วยเหลือสำรวจสะพานเหล็กของรถไฟไทยจำนวน 385 แห่ง (499 ช่วง) เพื่อสุ่มหากำลัง (Capacity) เพื่อใช้น้ำหนักกดเพลามาตรฐานที่คิดว่าเหมาะสมที่สุดขึ้นใหม่ให้แก่ รถไฟไทย และได้เป็นผลน้ำหนักกดเพลามาตรฐาน 13.75 ตัน ได้อนุมัติใช้เป็นน้ำหนักกดเพลามาตรฐานสำหรับออกแบบสะพานของการรถไฟแห่งประเทศไทยแต่ต่อมา



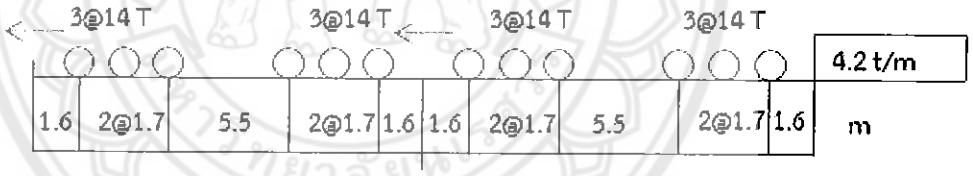

รูปที่ 2.8-5 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน 13.75 ตัน ตามแบบเลขที่ 1965-21

### 2.8.6 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน DL-14 (แบบเลขที่ 1965-23)

เมื่อปี พ.ศ.2514 ECAFE (ESCAP ในปัจจุบัน) ได้ขอความช่วยเหลือจากรัฐบาลญี่ปุ่น ขอให้ส่งผู้เชี่ยวชาญไปสำรวจสะพานรถไฟเหล็กของ ร.ฟ.อ. ,การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทยและ การรถไฟแห่งประเทศไทย เพื่อใช้ผลสำรวจเป็นข้อมูล สำหรับการกำหนดน้ำหนักกดเพลามาตรฐานขึ้นมาใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับการที่ทั้ง 3 การรถไฟ ดังกล่าวนั้นได้นำเอาหัวรถจักรดีเซลมาใช้แทนรถจักรไอน้ำดังนั้นเมื่อต้นปี พ.ศ.2515 รัฐบาลญี่ปุ่นโดย JICA ได้ส่งผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 นาย ประกอบด้วย Dr. H.Abe, Mr. E.Kurakawa และ Mr. T.Nagakura มาจำการสำรวจสะพานเหล็กของการรถไฟแห่งประเทศไทยเพื่อหาข้อมูลใช้กำหนดน้ำหนักลงเพลามาตรฐานขึ้นมาใหม่ เป็นน้ำหนักกดเพลามาตรฐาน DL-14 โดยผ่านทาง ECAFE เมื่อต้นเดือนมีนาคม พ.ศ.2515 และการรถไฟแห่งประเทศไทย ได้อนุมัติให้ใช้เป็นน้ำหนักกดเพลามาตรฐานเมื่อกี้ พ.ศ.2518 โดยให้ใช้ได้เฉพาะกรณีดังต่อไปนี้

1.สำหรับการจัดซื้อหัวรถจักรใหม่

2.สำหรับการ Check เพื่อหากำลังของ Existing Steel Bridge ถ้าสะพานใดรับน้ำหนักกดเพลามาตรฐาน DL-14 ไม่ได้ให้ถือว่าเป็นสะพานที่อ่อนแอและต้องทำการปรับปรุงโดยเสริมกำลัง (Strengthening) ให้เป็นรับน้ำหนักกดเพลามาตรฐาน DL-15 (ข้อ 2.6.7)



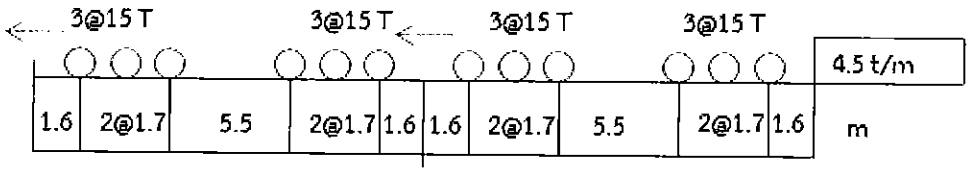

รูปที่ 2.8-6 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน DL-14 ตามแบบเลขที่ 1965-23

### 2.8.7 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน DL-15 (แบบเลขที่ 1965-24)

เมื่อปี พ.ศ.2518 การรถไฟแห่งประเทศไทย ได้อนุมัติให้ใช้น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน DL-15 โดยให้ใช้ได้ในกรณีต่อไปนี้

1.กรณีของสะพานที่อ่อนแอคือรับน้ำหนักกดเพลามาตรฐาน DL-14 ไม่ได้ให้เสริมกำลังเป็นสะพานรับ DL-15

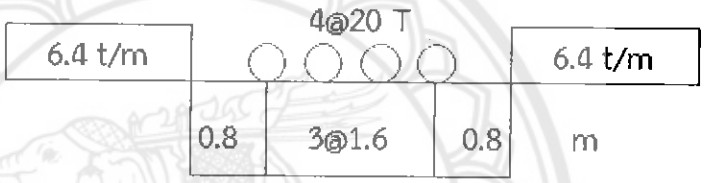
2.กรณีของสะพานที่จะซื้อใหม่ให้ออกแบบโดยน้ำหนักกดเพลามาตรฐาน DL-15




รูปที่ 2.8-7 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน DL-15 ตามแบบเลขที่ 1965-24

**2.8.8 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน U. 20 (ตามแบบเลขที่ 1965-25)**

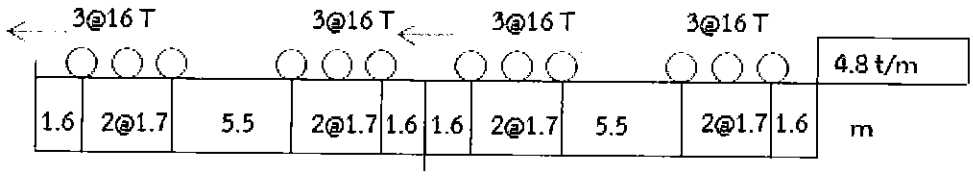
เมื่อปี พ.ศ. 2523 การรถไฟแห่งประเทศไทยได้อนุมัติให้ใช้น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน U.20 สำหรับออกแบบสะพานใหม่ ในเส้นทางรถไฟช่วงสถานีชุมทางบางซื่อถึงสถานีฉะเชิงเทรา ทางรถไฟสายสัตหีบและในทางรถไฟสายอื่นๆที่จะสร้างใหม่ในอนาคต




รูปที่ 2.8-8 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน U.20 ตามแบบเลขที่ 1965-25

**2.8.9 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน DL-16**

เมื่อวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2539 การรถไฟแห่งประเทศไทย (ฝ่ายช่างการโยธา) ได้จัดประชุมวิศวกรอำนวยการและวิศวกรกำกับการที่เกี่ยวข้อง โดยมีวิศวกรใหญ่ฝ่ายการช่างโยธา (นายช่าง วัฒนา อัศวกุล) เป็นประธาน เพื่อพิจารณาน้ำหนักกดเพลาสำหรับปรับปรุงสะพานให้ขบวนรถวิ่ง 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน DL-16 น้ำหนักกดเพลา DL-16




รูปที่ 2.8-9 น้ำหนักกดเพลามาตรฐาน DL-16

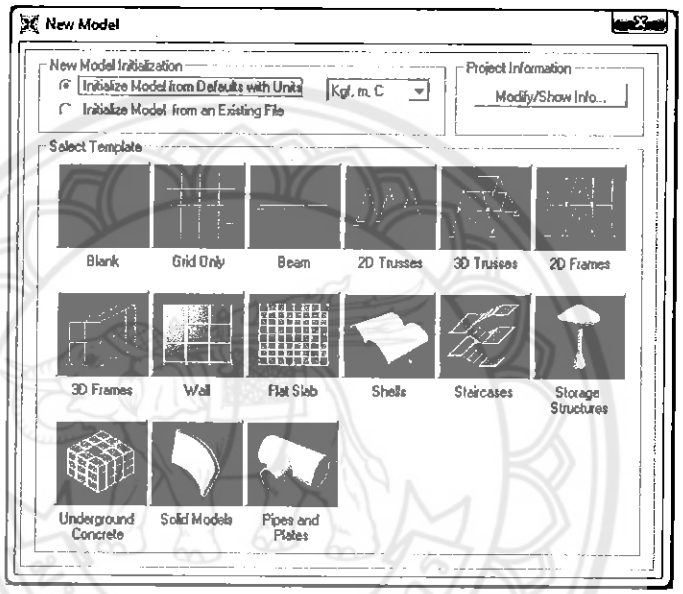
# บทที่ 3
# วิธีดำเนินโครงงาน

## 3.1 การสร้างแบบจำลองโครงสร้าง

วิธีการที่ใช้ในในการจำลองแบบโครงสร้าง

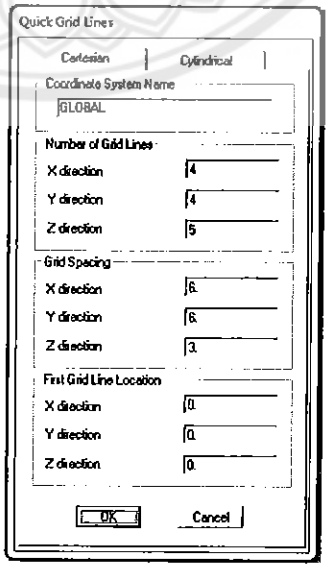
**สร้างแบบจำลอง ใหม่**

เลือกคำสั่ง File → New model เลือก Grid Only และเปลี่ยนหน่วยได้ตามที่ต้องการ

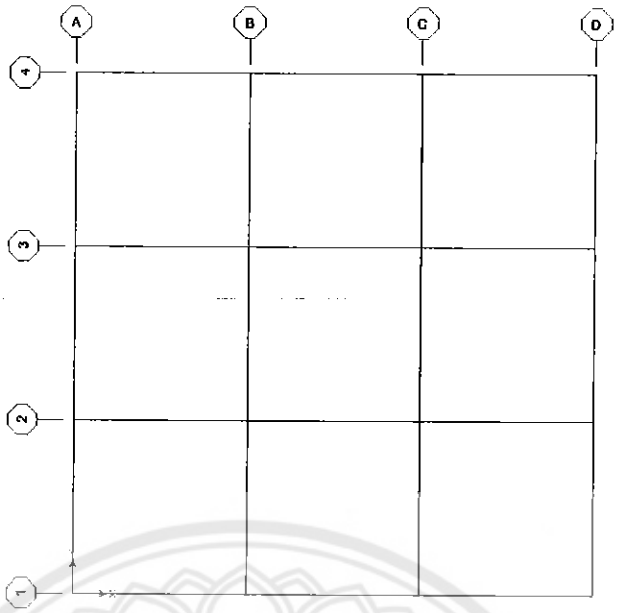



รูปที่ 3.1-1 New model

กำหนด จำนวนเส้นและระยะห่างของ Grid Line ในระนาบ X ,Y ,Z




รูปที่ 3.1-2 Quick Grid Lines



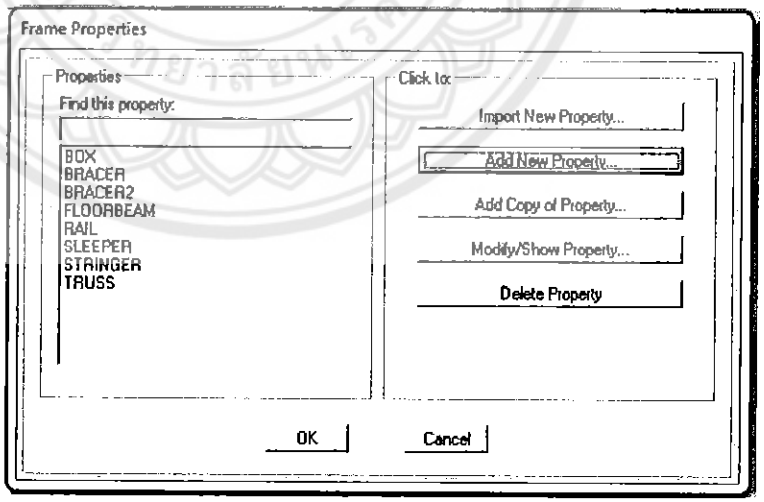

รูปที่ 3.1-3 ตัวยาง Grid Line

**3.2 การตั้งค่าหน้าตัดของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ**

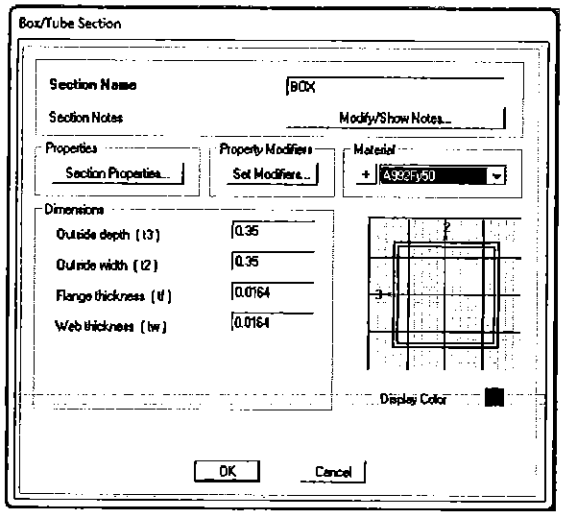
เมื่อสร้าง Grid Lines ของ แบบจำลองโครงสร้างได้แล้ว **ต้องสร้างหน้าตัด** ของโครงสร้าง

ตั้งค่าวัสดุ

เลือกคำสั่ง Define → Section Properties → Frame section → Add New Property... ช่อง Frame Section property Type ให้เลือก เป็น Steel



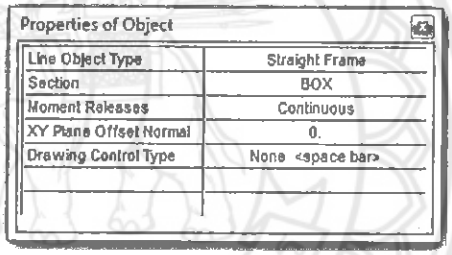

รูปที่ 3.2-1 Frame Properties



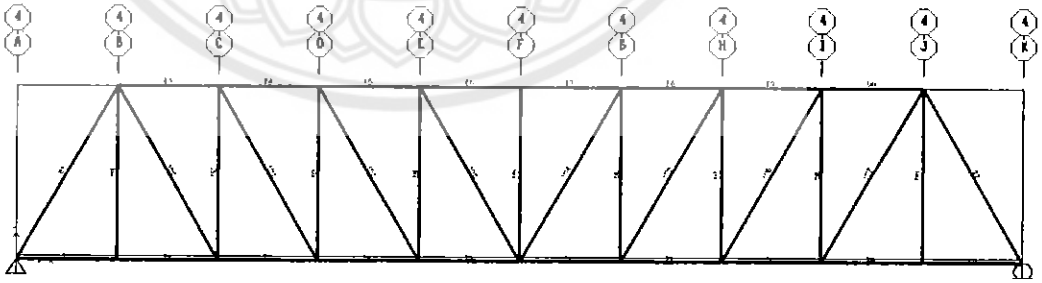

รูปที่ 3.2-2 การตั้งค่าหน้าตัดเหล็กรูปพรรณ

## 3.3 เขียนโครงสร้างสะพาน

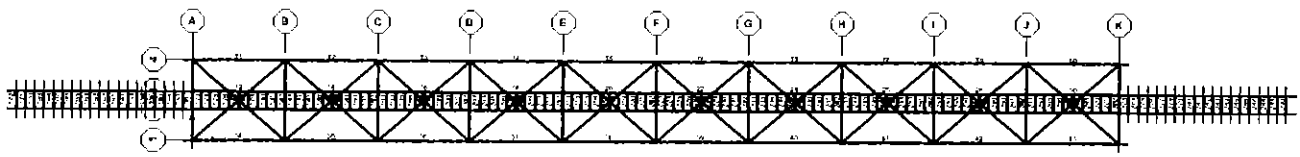
เมื่อตั้งค่า หน้าตัดเรียบร้อยแล้ว ก็เขียนแบบจำลอง โดยการเขียนจะต้องค่อยๆเขียนทีละชิ้น โดยที่จะเลือกกดที่ เมนู จะมีหน้าต่างเล็กๆ ขึ้นมา เลือก โครงข้อแข็ง (Straight Frame)

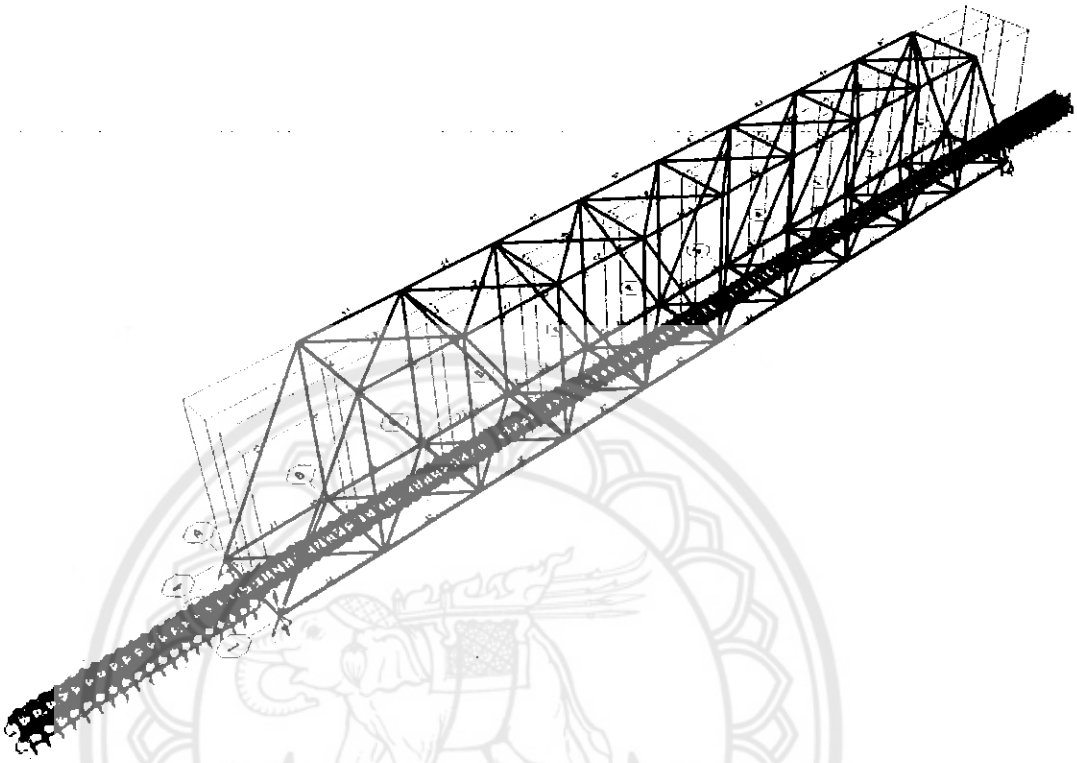



รูปที่ 3.3-1 เลือกประเภทของชิ้นส่วนที่ต้องการลาก



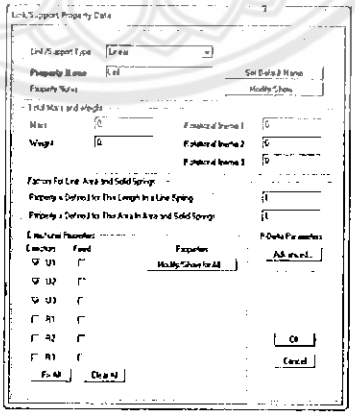
รูปที่ 3.3-2 โครงสร้างโครงถักด้านข้างของสะพาน





รูปที่ 3.3-3 รูปแบบจำลองโครงสร้างสะพาน

ในการสร้างแบบจำลองสะพานสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างในโครงงานนี้ จะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ วิเคราะห์โครงสร้างสะพานแบบคำนึงถึงการสั่นสะเทือนของไม้หมอน และ ไม่คำนึงถึงการสั่นสะเทือนของไม้หมอน (Directional Properties) โดยตั้งค่าดังรูป



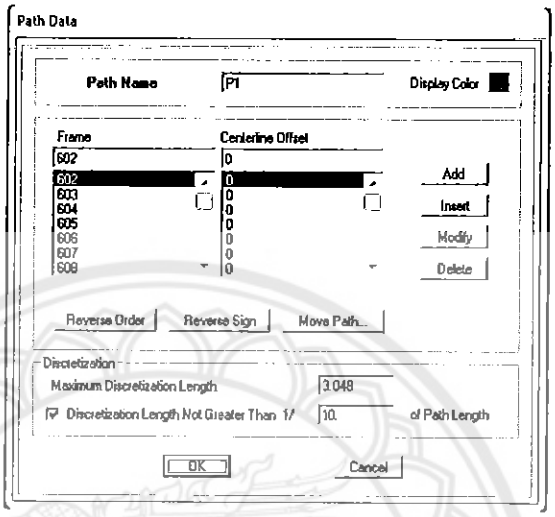
**รูปที่ 3.3-4 ตั้งค่าหมอนรองรางรถไฟ**

### 3.4 การตั้งค่ารถไฟชนิดต่างๆ

ต้องกำหนดชิ้นส่วนที่ต้องการให้รถไฟวิ่งผ่าน และกำหนดชนิดของรถไฟที่วิ่งด้วยความเร็วต่างๆ

#### 3.4.1 ตั้งค่าเส้นทางการวิ่ง

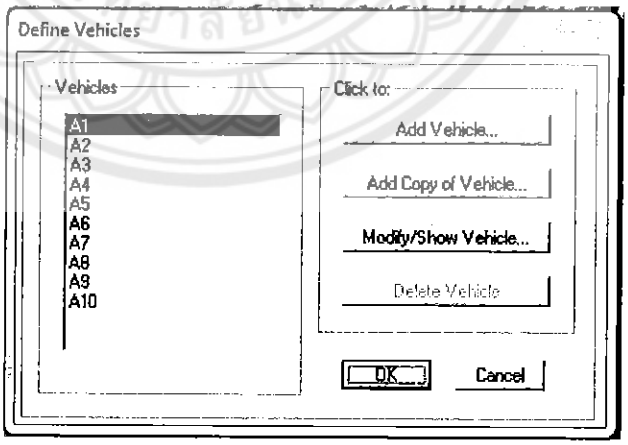
ไปที่ เมนู Define → Moving load →Paths... ใส่เลขในช่อง Frame แล้ว กด Add




รูปที่ 3.4.1-1 การกำหนดเส้นทางที่ให้รถไฟวิ่ง

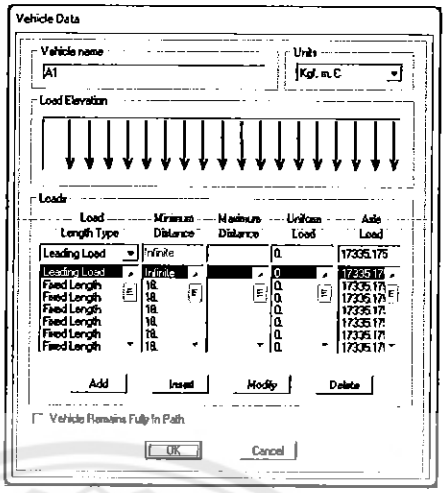
#### 3.4.2 ตั้งค่ารถไฟ

ไปที่ เมนู Define → Moving load →Vehicle กด Add Vehicle




รูปที่ 3.4-2 Define Vehicle

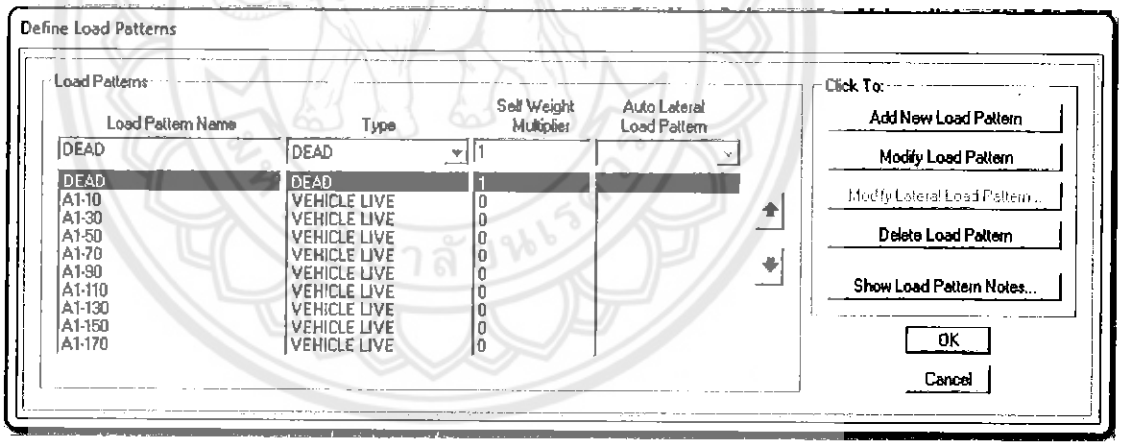
เมื่อกด Add Vehicle แล้วจะขึ้นหน้าจอดังรูป ใส่ชื่อ เปลี่ยนหน่วย ใส่น้ำหนัก ใส่ระยะเพลาตามต้องการ




รูปที่ 3.4-3 การตั้งค่ายานพาหนะ

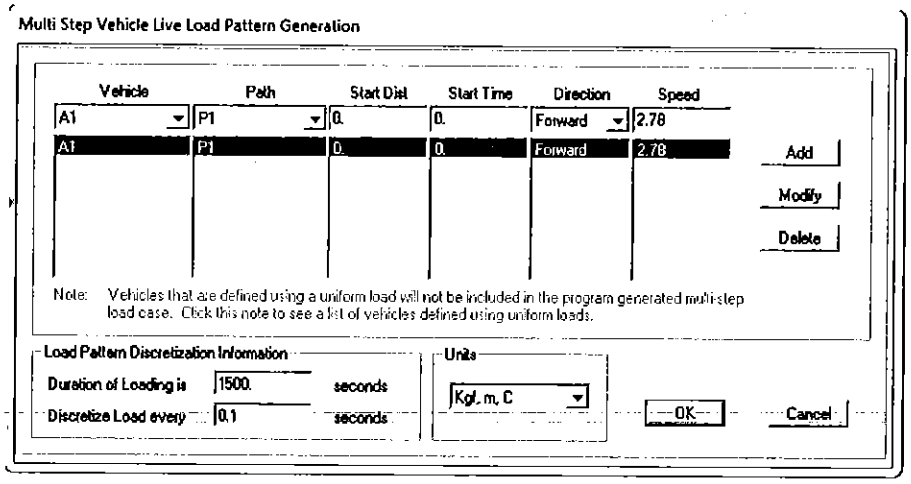
### 3.4.3 การตั้งค่ารูปแบบรถไฟ

ไปที่เมนู Define → Load Patterns →คลิกตั้งชื่อด้านบน แล้วกด Add New Load Pattern ใส่จำนวนยานพาหนะตามที่เราต้องการ




รูปที่ 3.4-4 Define Load Pattern

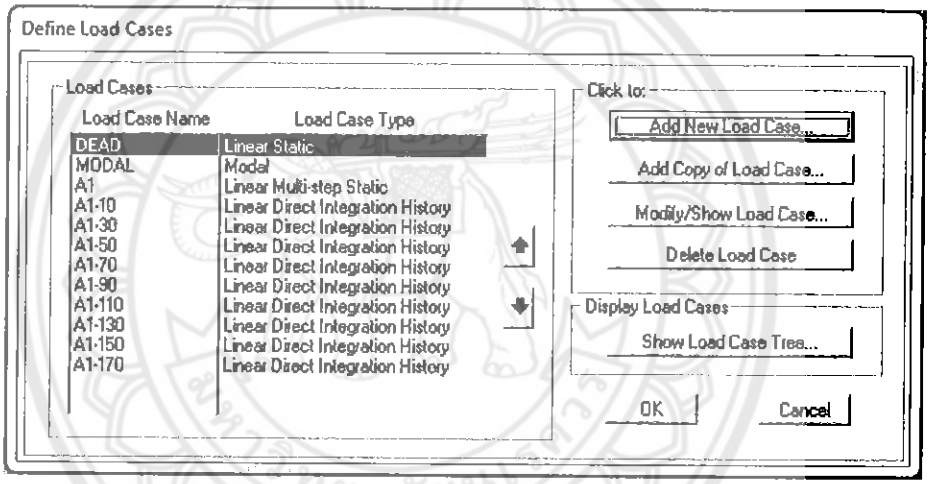
เลือกยานพาหนะที่เราตั้งชื่อไว้ กด Modify Load Pattern เลือกชนิดของ รถไฟ (Vehicle) เลือกเส้นทาง (Path) ความเร็ว (Speed) กำหนดระยะเวลาที่รถไฟวิ่งผ่าน (Load Pattern Discretization Information) กำหนดหน่วย (Unit)



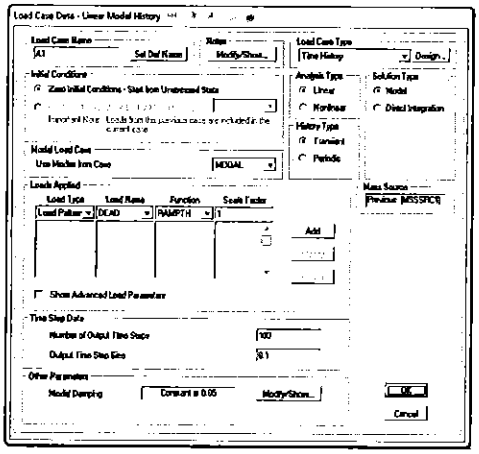

รูปที่ 3.4-5 Multi Step Vehicle Live Load Pattern Generation

### 3.4.4 กรณีน้ำหนักของรถไฟ

ไปที่เมนู Define → Load Case




เมื่อกด Add New Load Case ตั้งชื่อ (Load Case Name) เลือกกรณีของแรง (Load Case Type) กรณีความเร็วของรถไฟ = 0 เลือก Multi-step Static รถไฟวิ่งผ่านมีความเร็วและพฤติกรรมแบบพลศาสตร์ เลือก Time History จากนั้นกำหนดเวลา (Time Step Data)



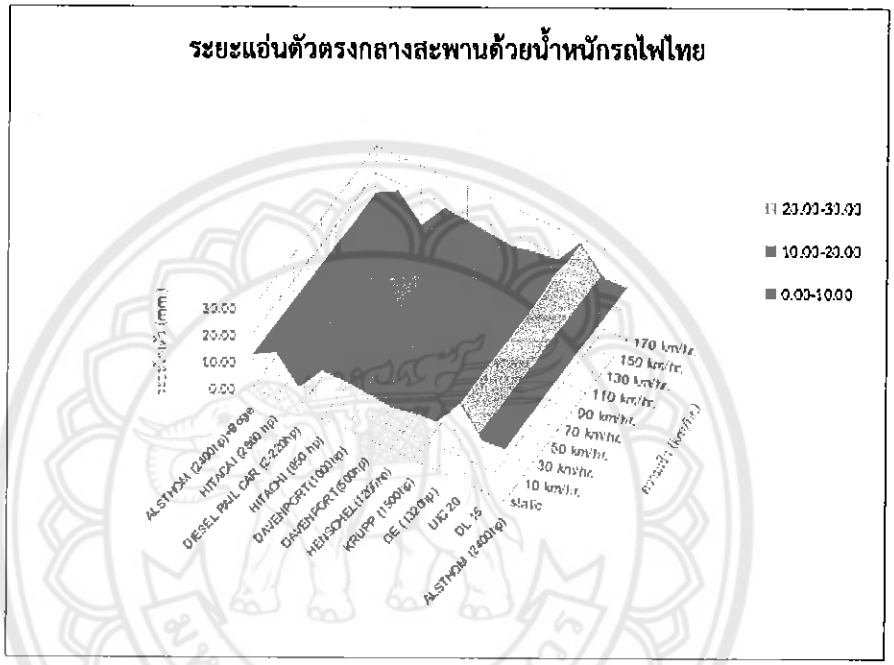
รูปที่ 3.4-7 Load Case Data

# บทที่ 4

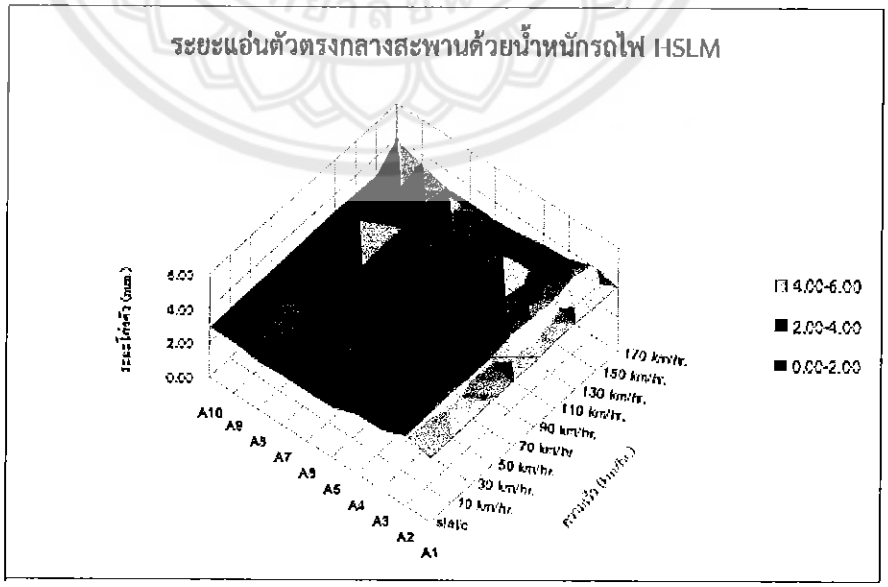
# ผลการทดลองและวิเคราะห์

## 4.1 วิเคราะห์โครงสร้างสะพานที่รถไฟไทยวิ่งผ่านโดยไม่คำนึงสั่นสะเทือนของไม้หมอน

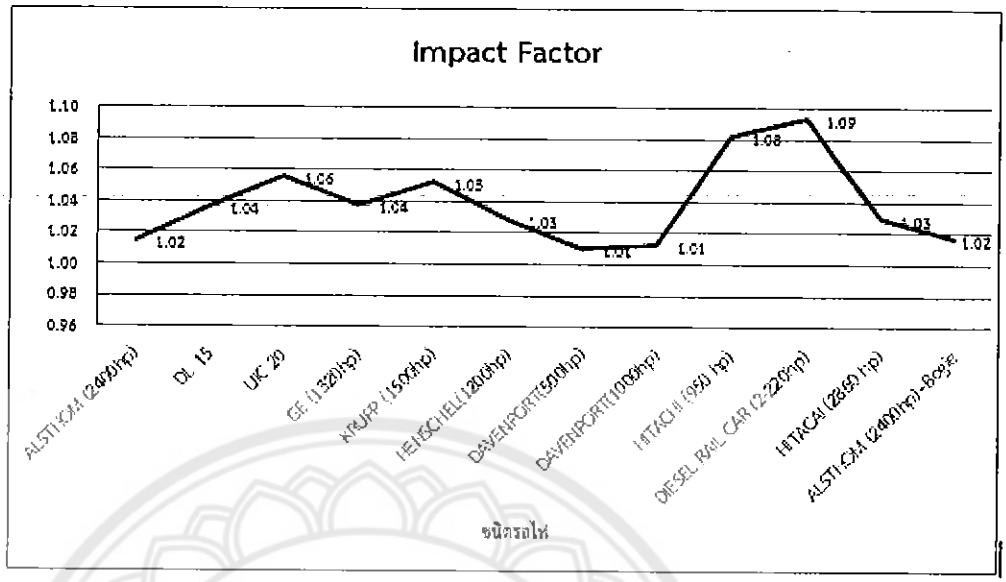
### 4.1.1 ระยะการแอ่นตัว (Displacement)

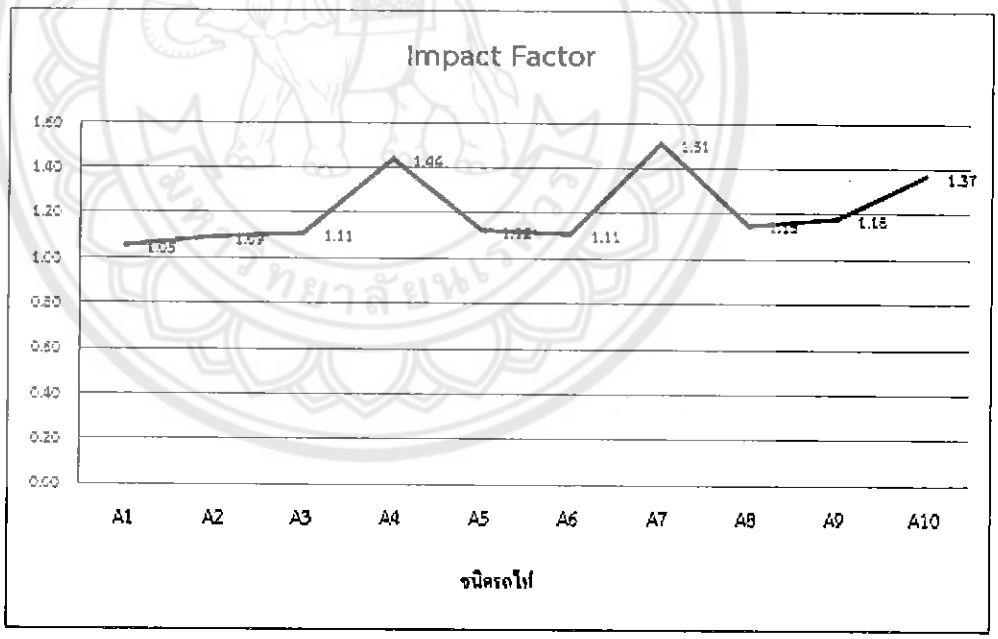



รูปที่ 4.1.1-1 ระยะการแอ่นตัวตรงกลางสะพานด้วยน้ำหนักของรถไฟไทย



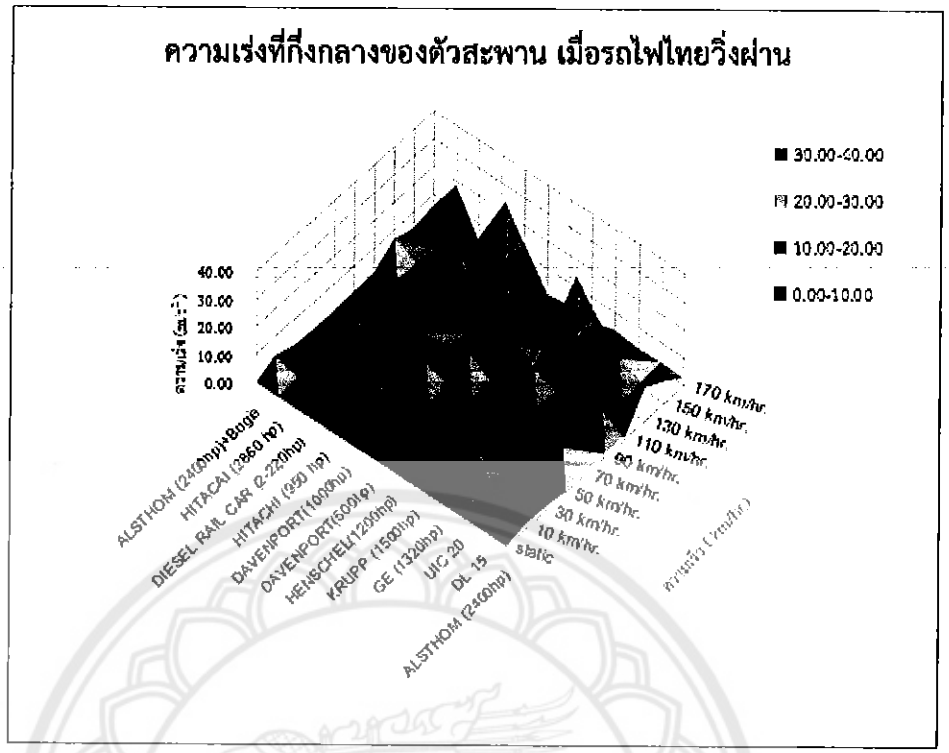

รูปที่ 4.1.1-2 ระยะการแอ่นตัวที่กลางสะพานด้วยน้ำหนักของรถไฟ HSLM



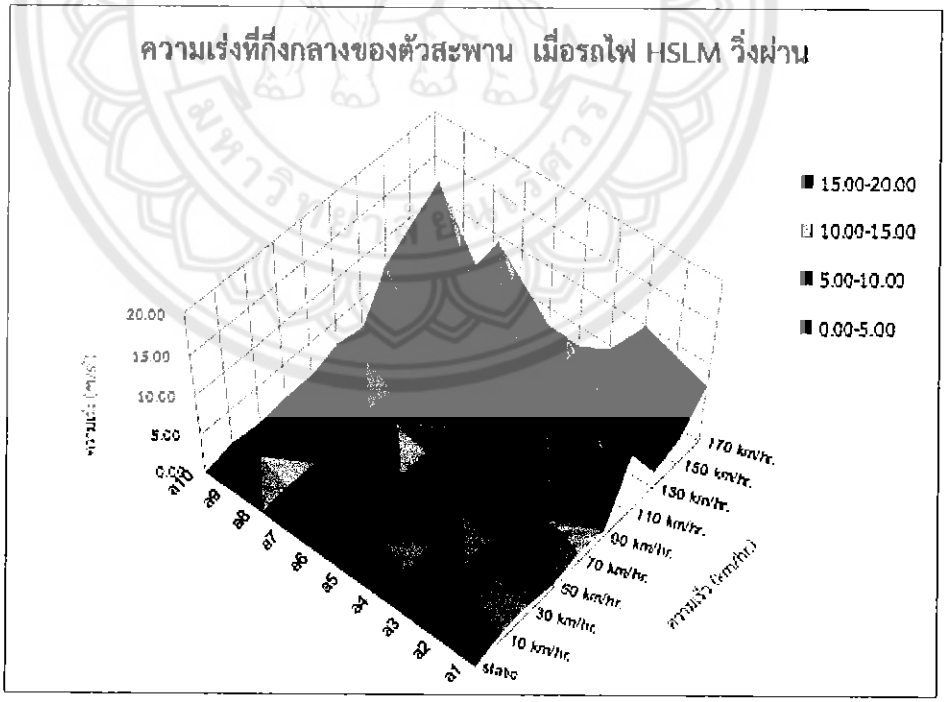




รูปที่ 4.1.1-3 ค่า Impact Factor การแอ่นตัวที่กลางสะพานของรถไฟไทย และรถไฟ HSLM

4.1.2 ความเร่ง (Acceleration)

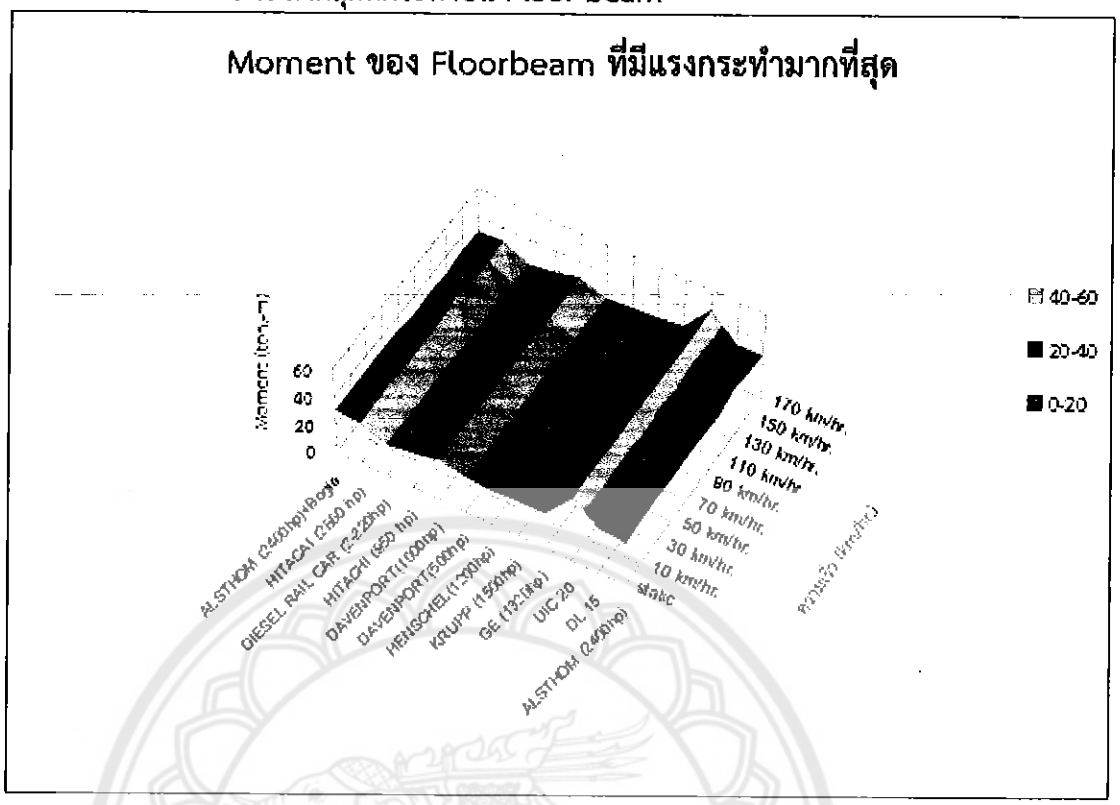



รูปที่ 4.1.2-1 ความเร่งที่กึ่งกลางสะพาน เมื่อรถไฟไทยวิ่งผ่าน

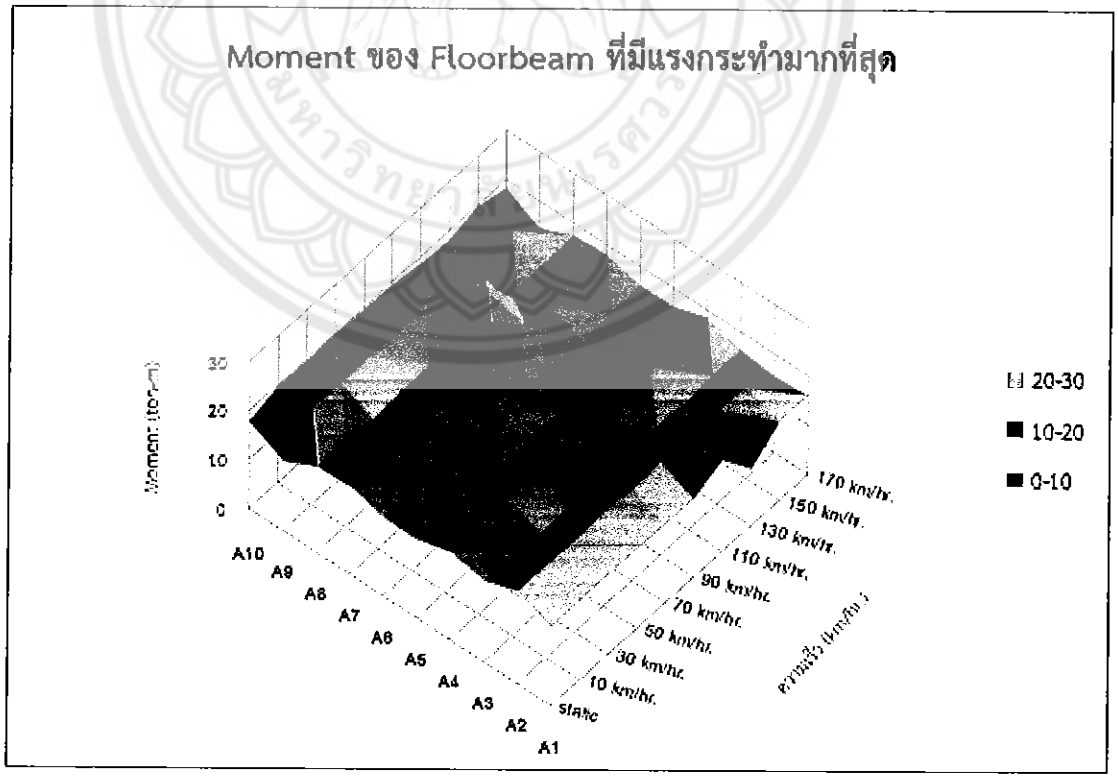



รูปที่ 4.1.2-2 ความเร่งที่กึ่งกลางสะพาน เมื่อรถไฟ HSLM วิ่งผ่าน

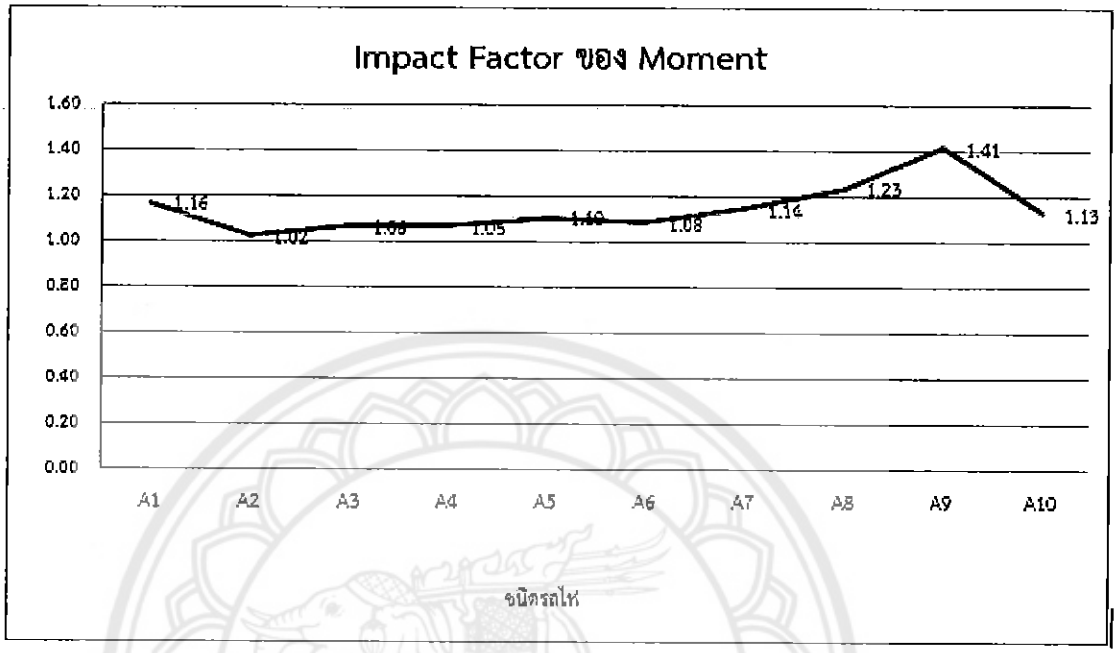
### 4.1.3 Moment มากสุดที่กระทำบน Floor beam

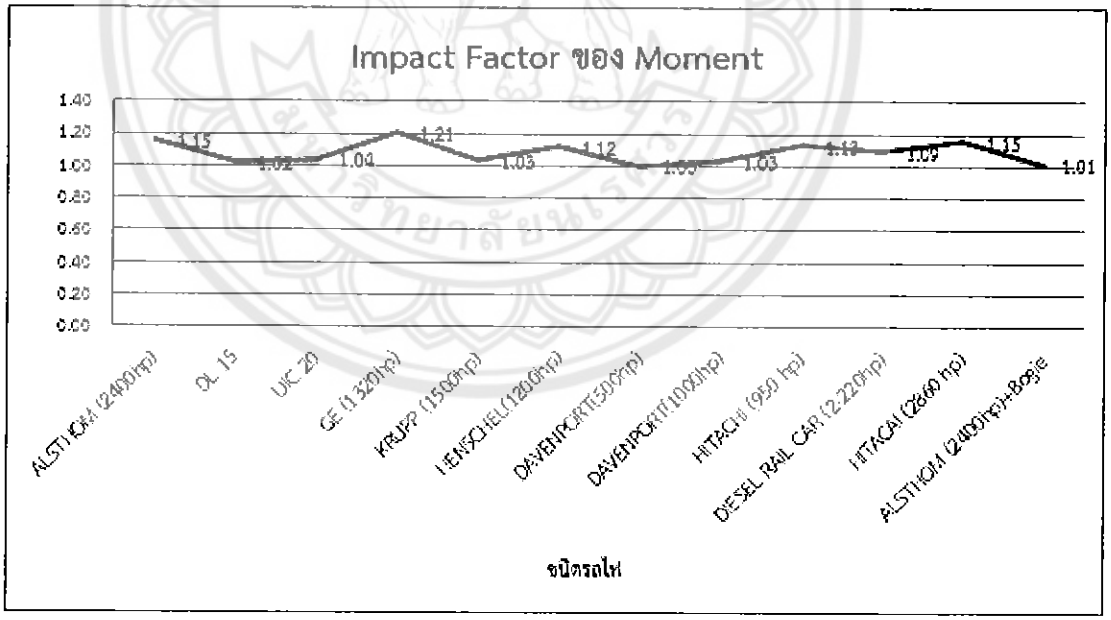



รูปที่ 4.1.3-1 Moment มากสุดที่กระทำบน Floor beam ด้วยน้ำหนักของรถไฟไทย



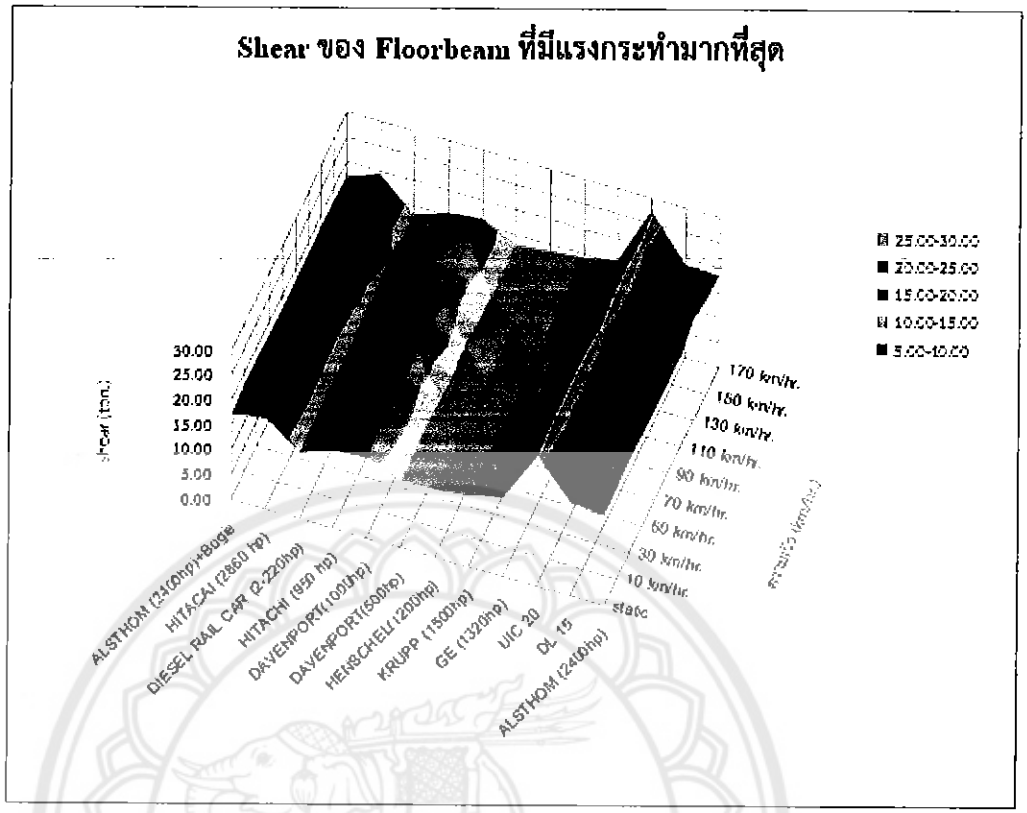

รูปที่ 4.1.3-2 Moment มากที่สุดที่กระทำบน Floor beam ด้วยน้ำหนักของรถไฟ HSLM



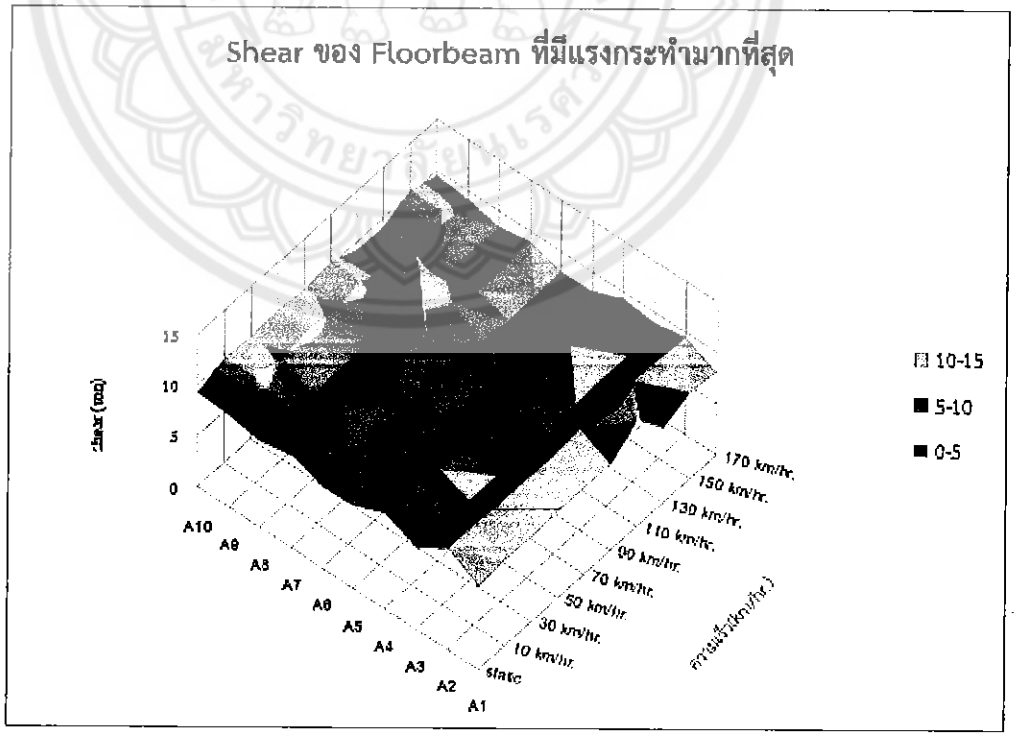




รูปที่ 4.1.3-3 Impact Factor ของ Moment บน Floor beam

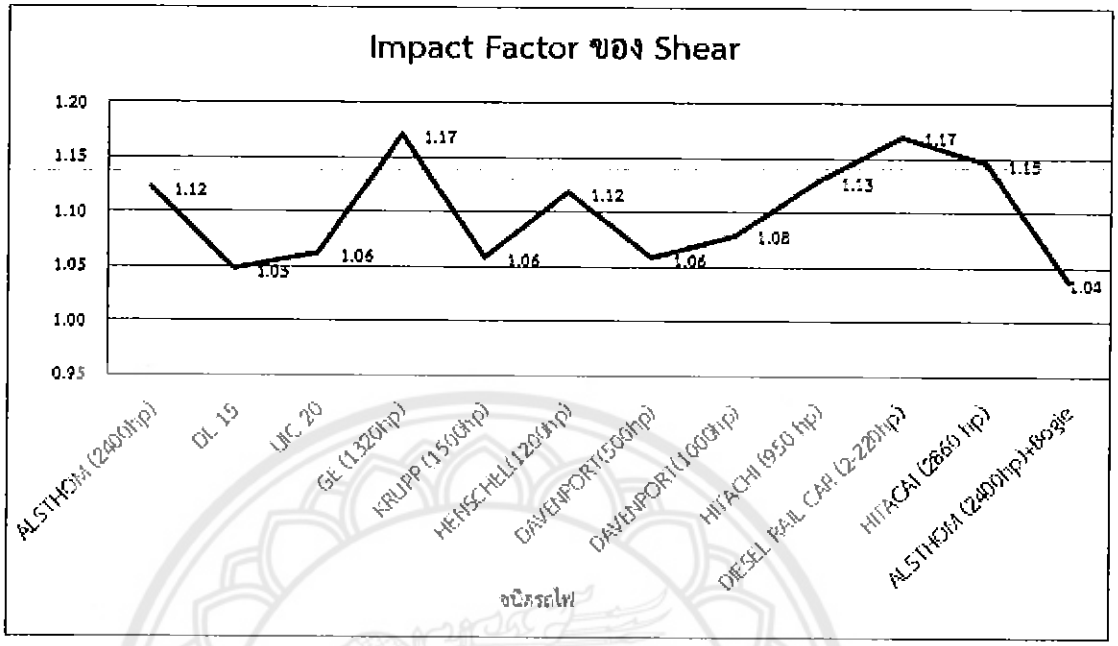
### 4.1.4แรงเฉือนมากสุดที่กระทำบน Floor beam

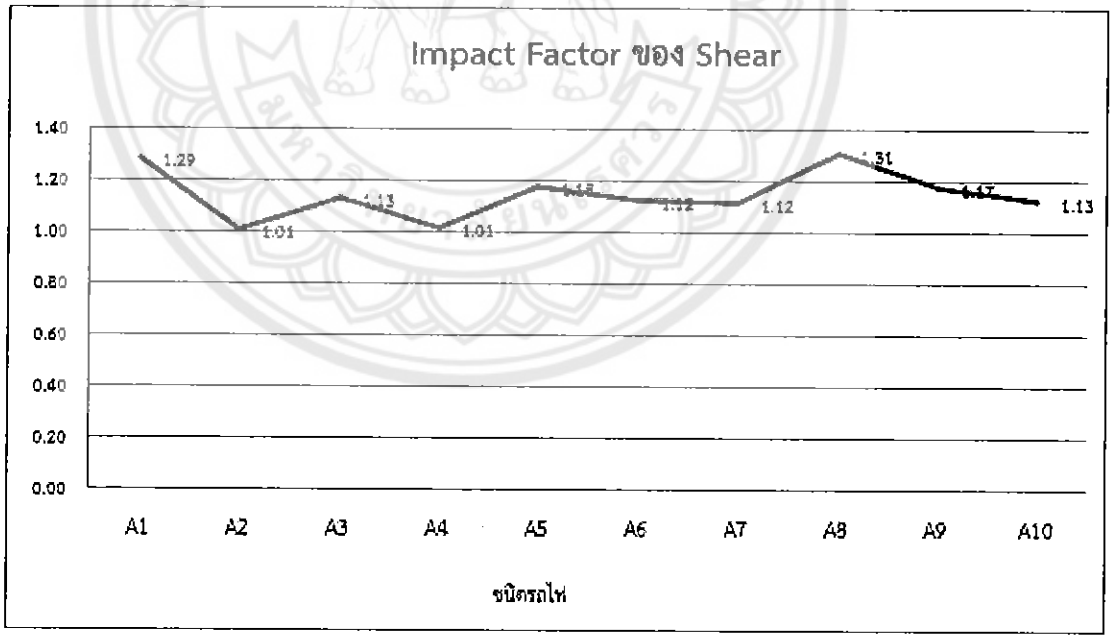



รูปที่ 4.1.4-1 แรงเฉือนมากที่สุดที่กระทำบน Floor beamด้วยน้ำหนักของรถไฟไทย



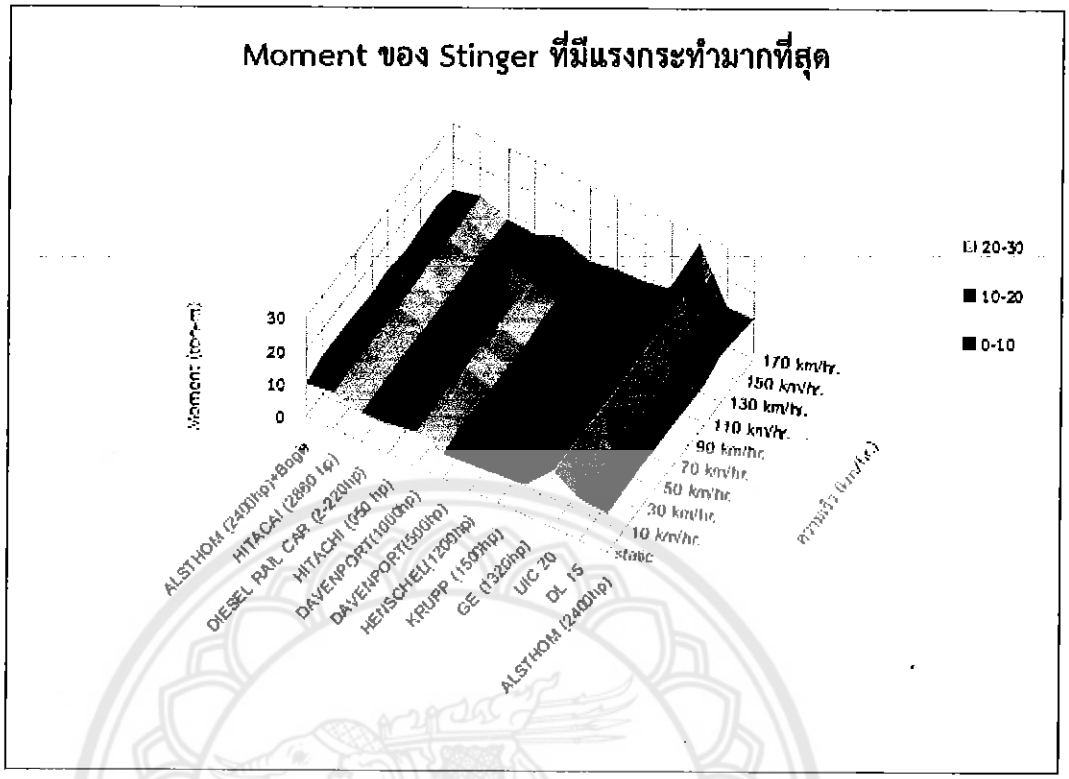

รูปที่ 4.1.4-2 แรงเฉือนมากที่สุดที่กระทำบน Floor beamด้วยน้ำหนักของรถไฟ HSLM



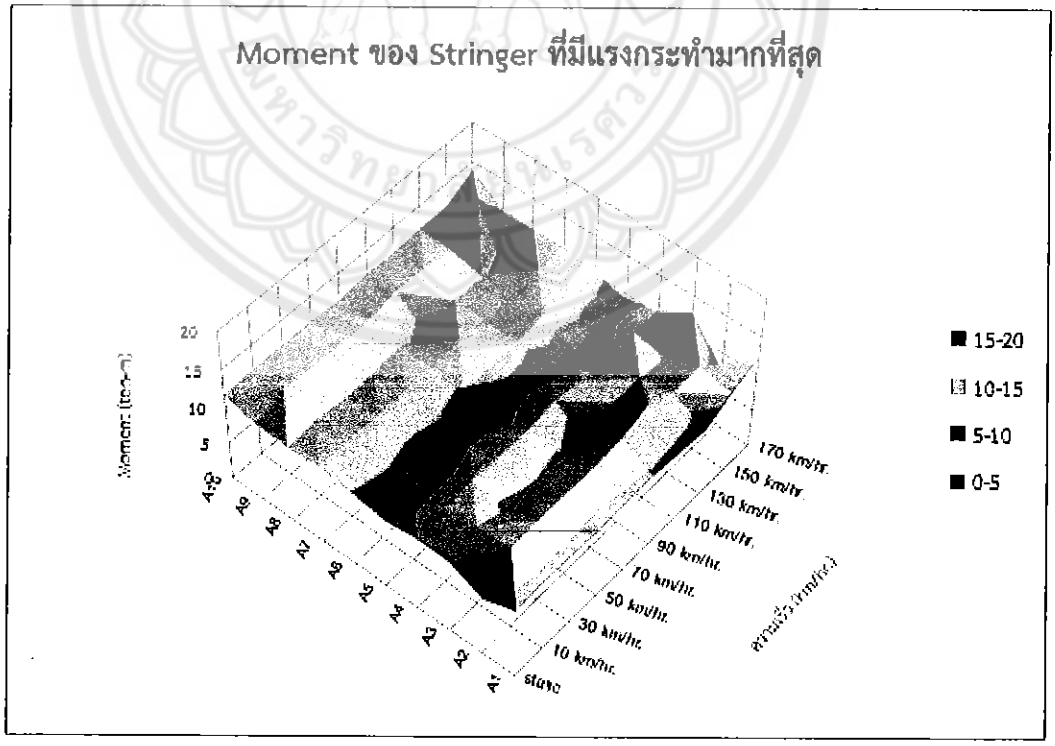




รูปที่ 4.1.4-3 Impact Factor ของแรงเฉือนบน Floor beam

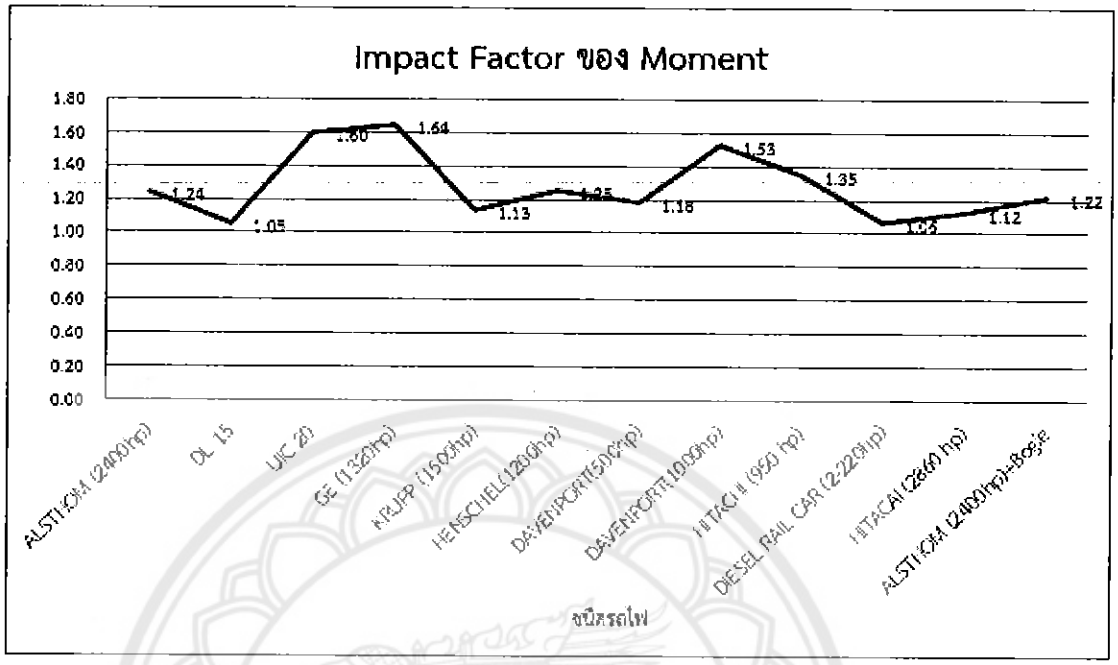
### 4.1.5 Moment มากสุดที่กระทำบน Stringer

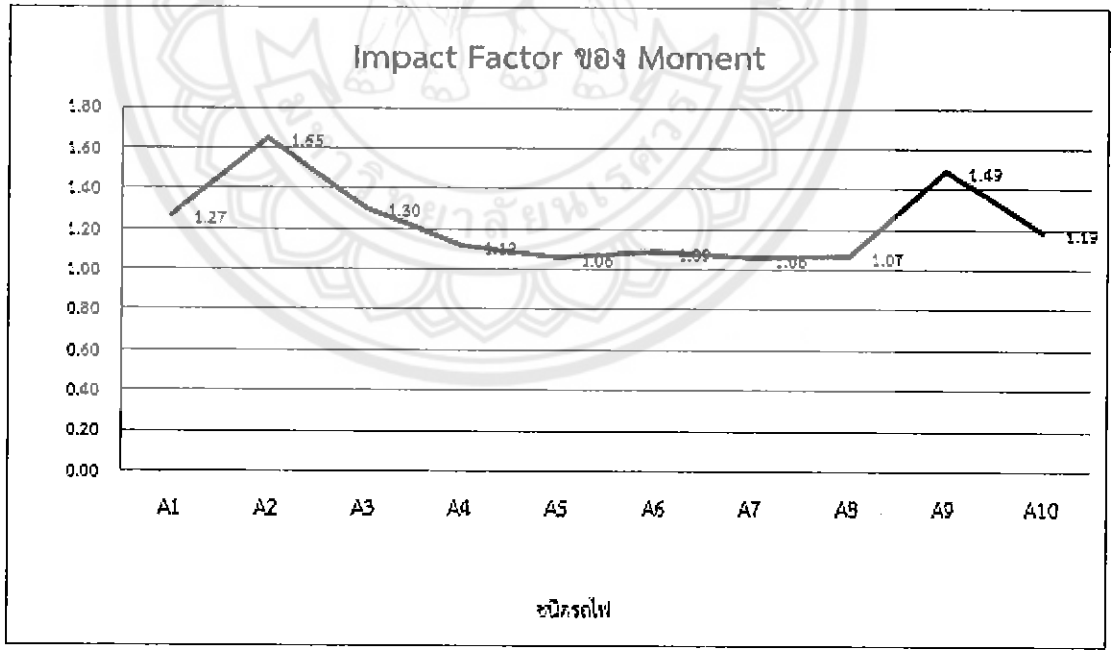



รูปที่ 4.1.5-1 Moment มากสุดที่กระทำบน Stringer ด้วยน้ำหนักของรถไฟไทย



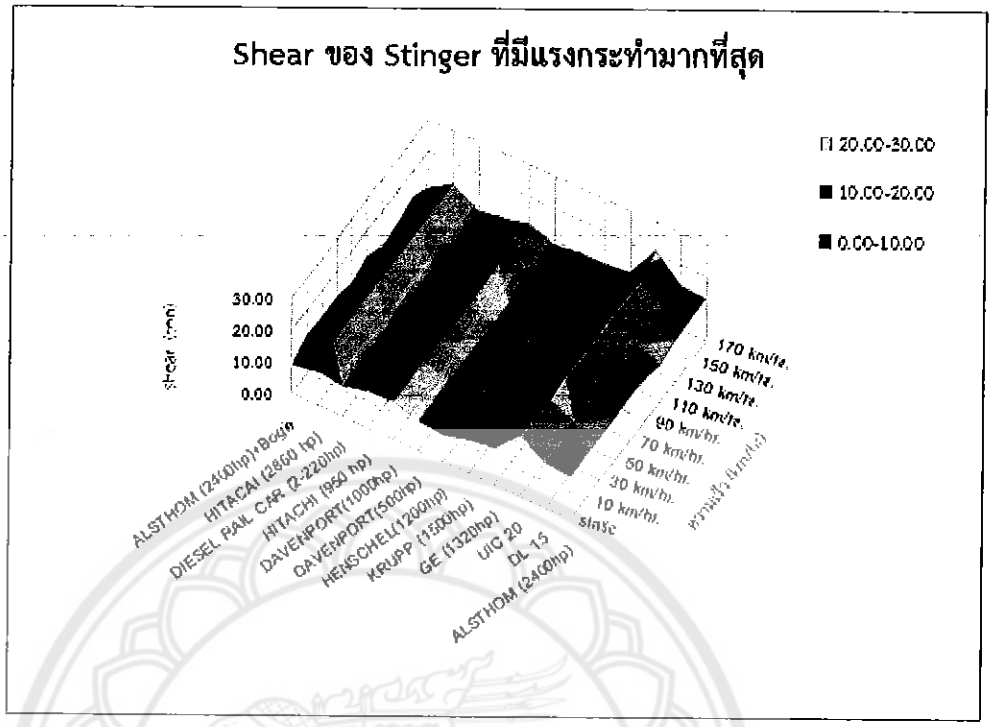

รูปที่ 4.1.5-2 Moment มากสุดที่กระทำบน Stringer ด้วยน้ำหนักของรถไฟ HSLM



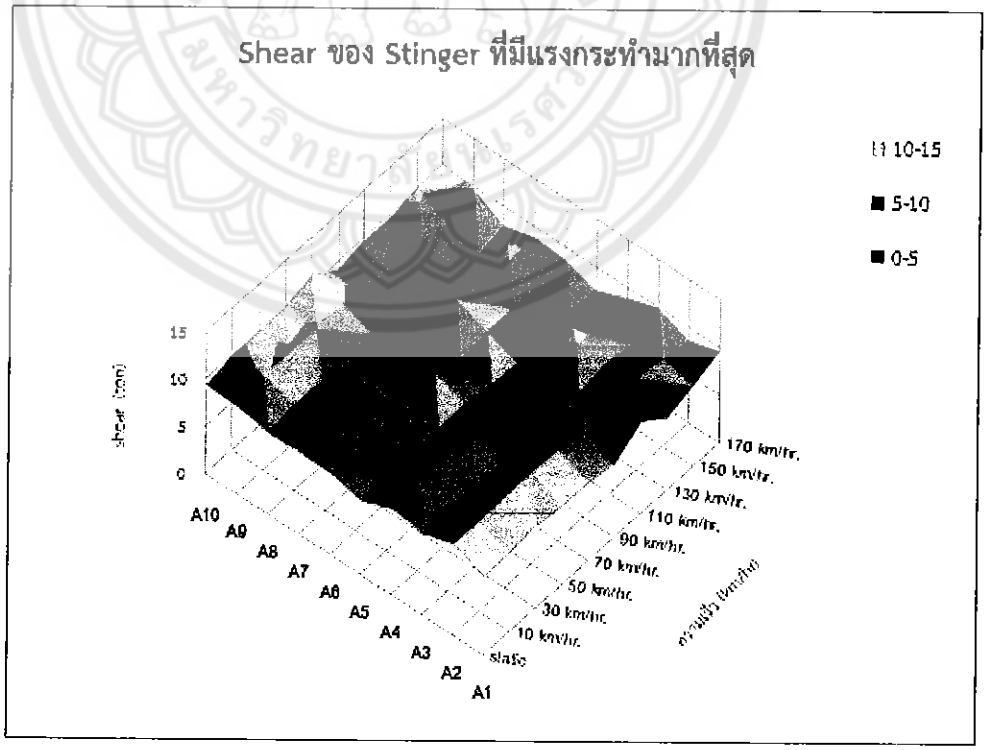




รูปที่ 4.1.5-3 Impact Factor ของ Moment บน Stringer

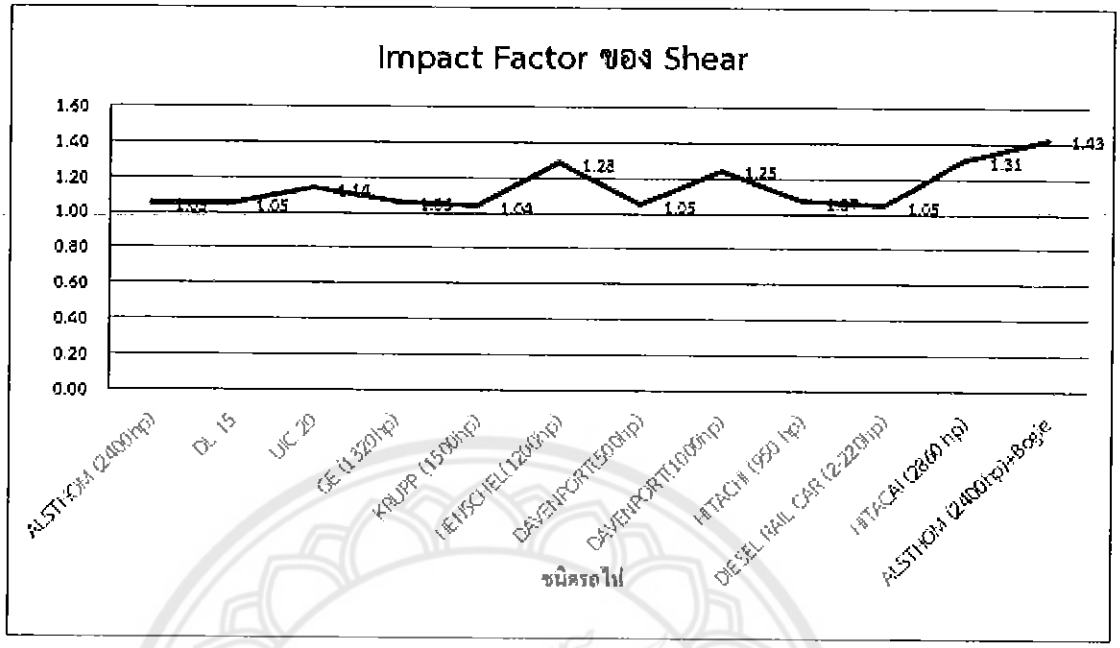
4.1.6 แรงเฉือนมากสุดที่กระทำบน Stringer

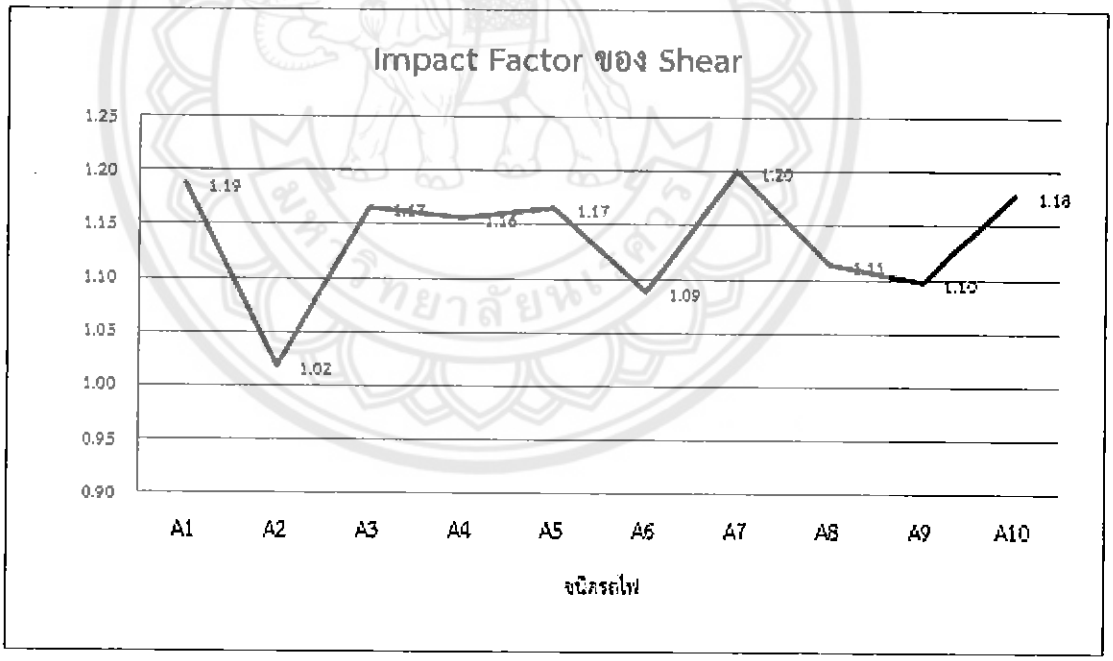



รูปที่ 4.1.6-1 แรงเฉือนมากสุดที่กระทำบน Stringer ด้วยน้ำหนักของรถไฟไทย



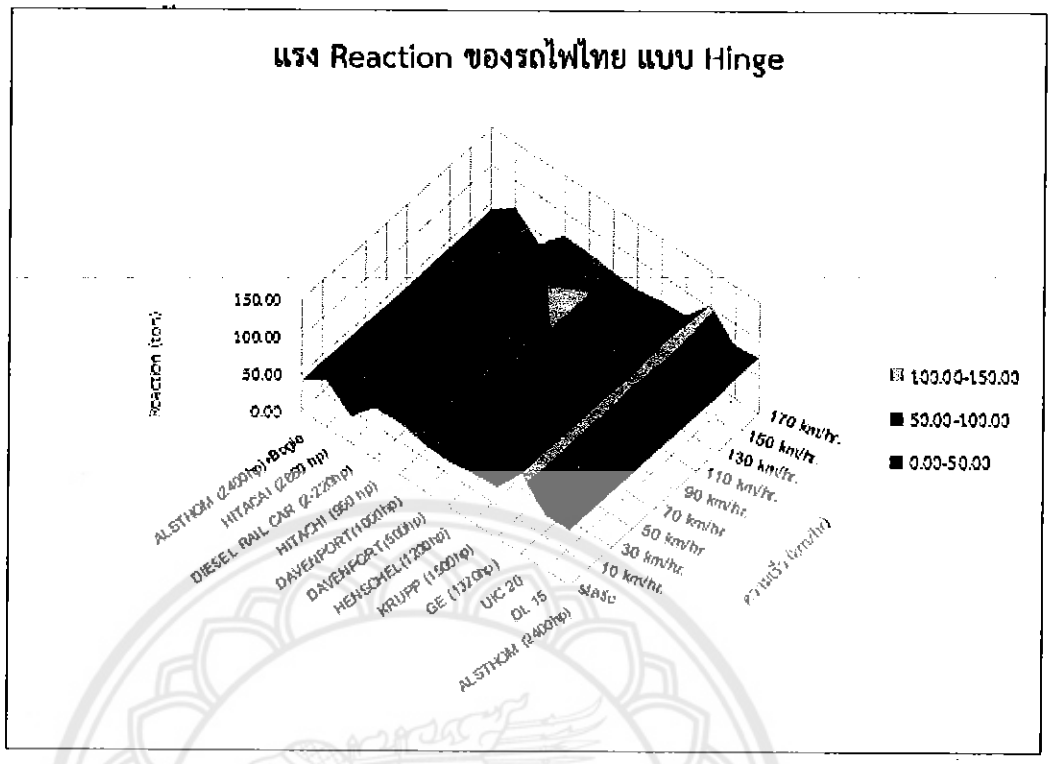

รูปที่ 4.1.6-2 แรงเฉือนมากสุดที่กระทำบน Stringer ด้วยน้ำหนักของรถไฟ HSLM



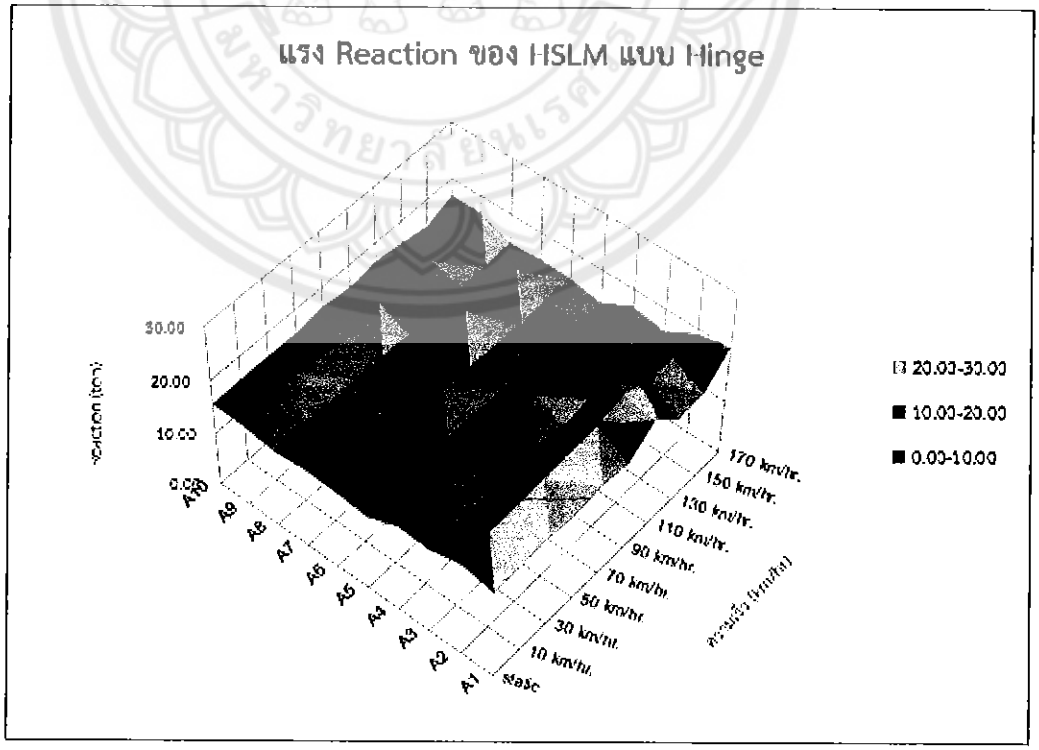




รูปที่ 4.1.6-3 Impact Factor ของแรงเฉือนบน Stringer

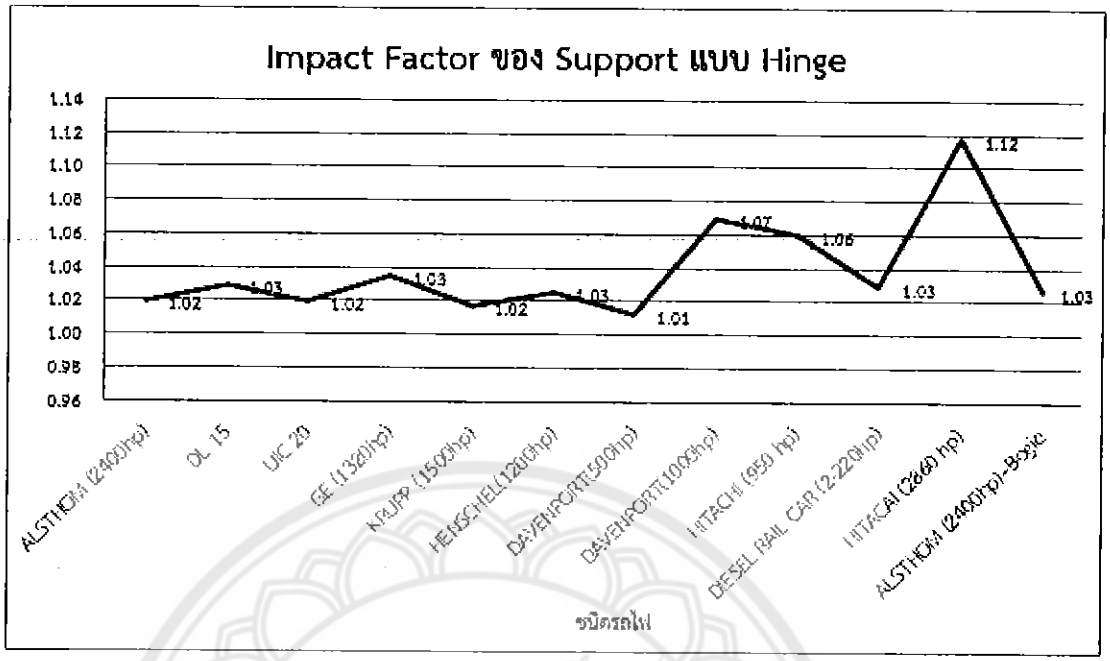
4.1.7 แรงปฏิกิริยาของ Hinge Support

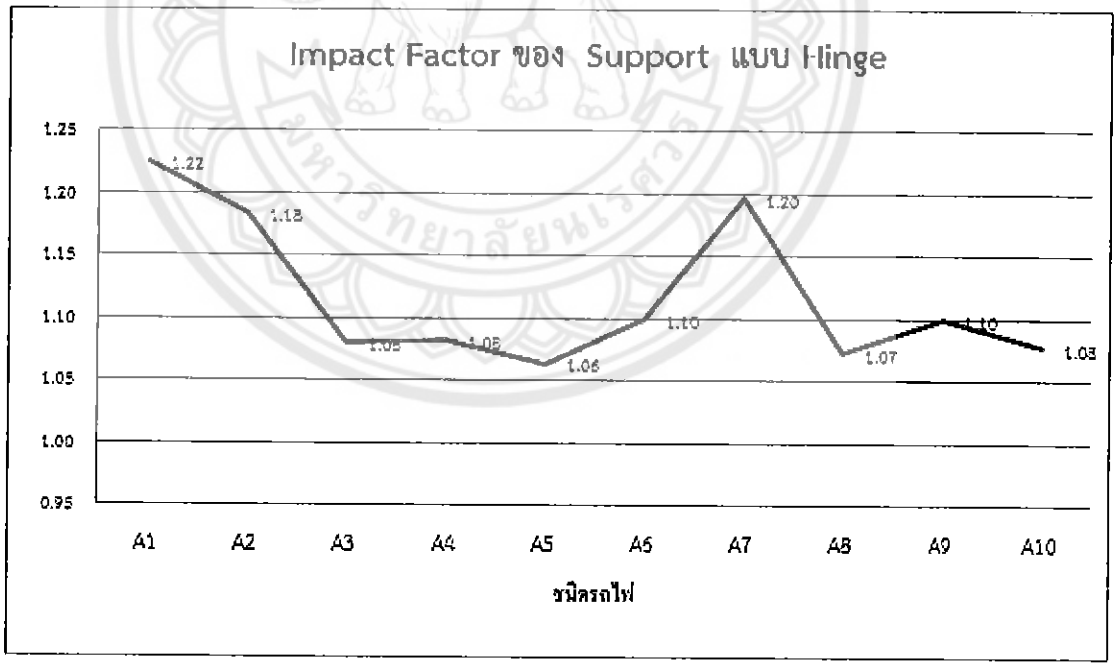



รูปที่ 4.1.7-1 แรงปฏิกิริยาใน Hinge Support ของรถไฟไทย



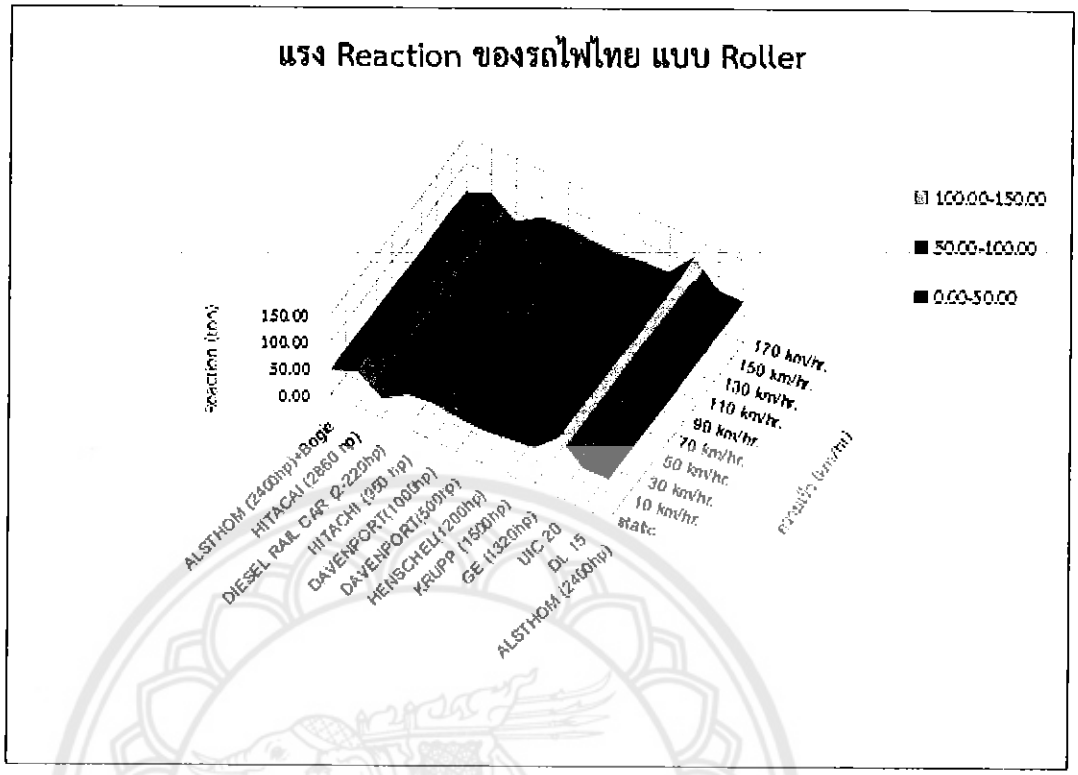

รูปที่ 4.1.7-2 แรงปฏิกิริยาใน Hinge Support ของรถไฟ HSLM



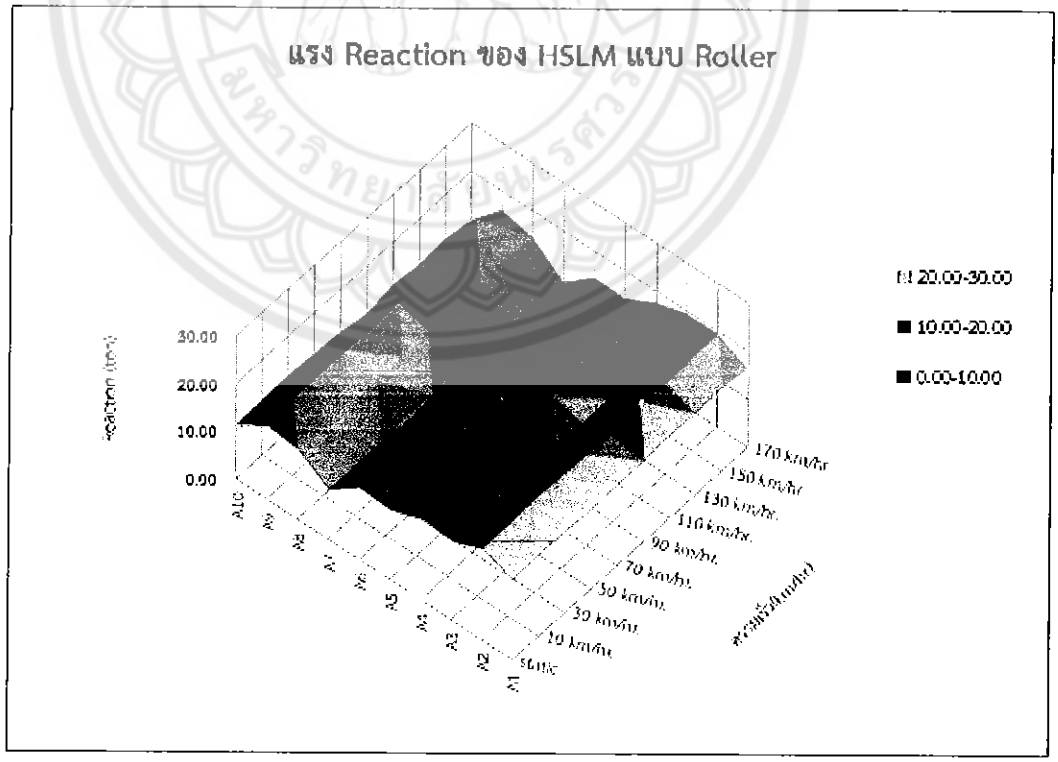




รูปที่ 4.1.7-3 Impact Factor ของ Hinge Support

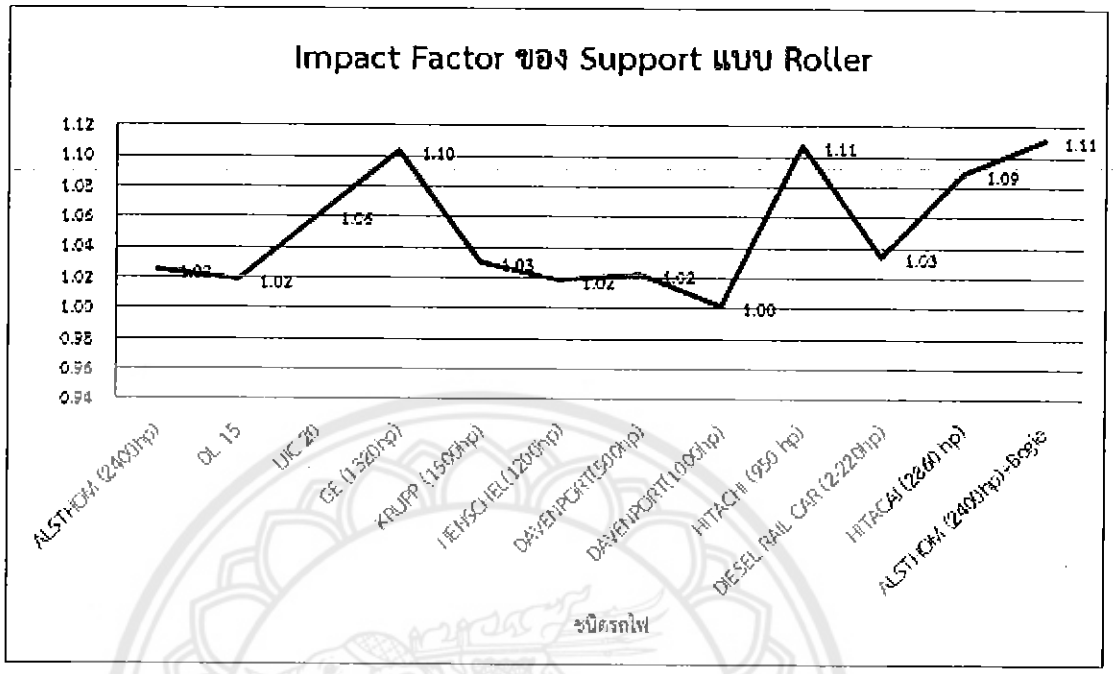
### 4.1.8 แรงปฏิกิริยาของ Roller Support

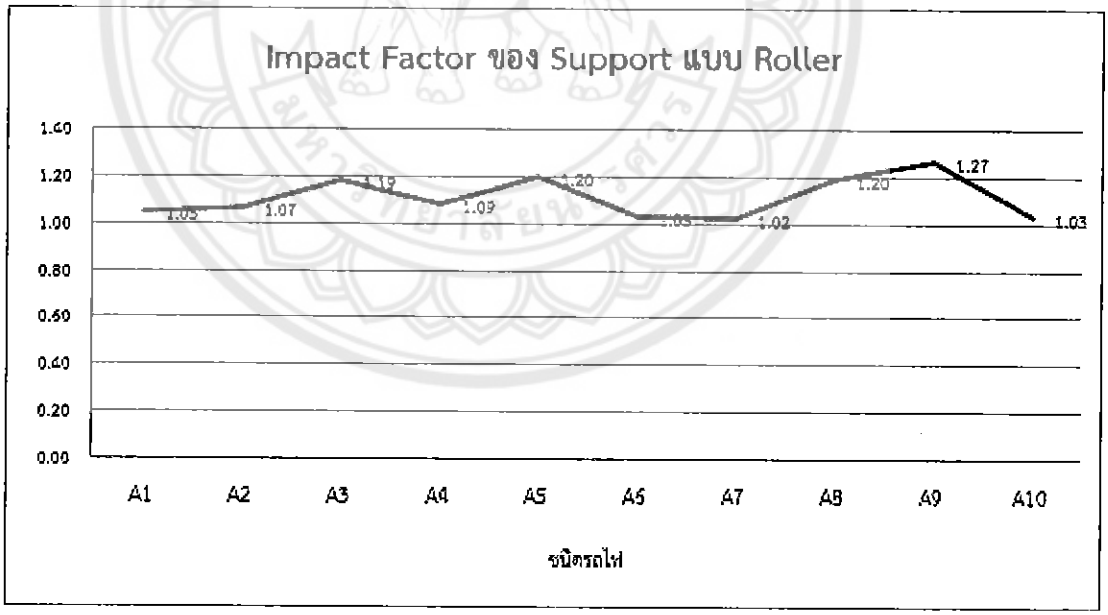



รูปที่ 4.1.8-1 แรงปฏิกิริยาใน Roller Support ของรถไฟไทย




รูปที่ 4.1.8-2 แรงปฏิกิริยาใน Roller Support ของรถไฟ HSLM

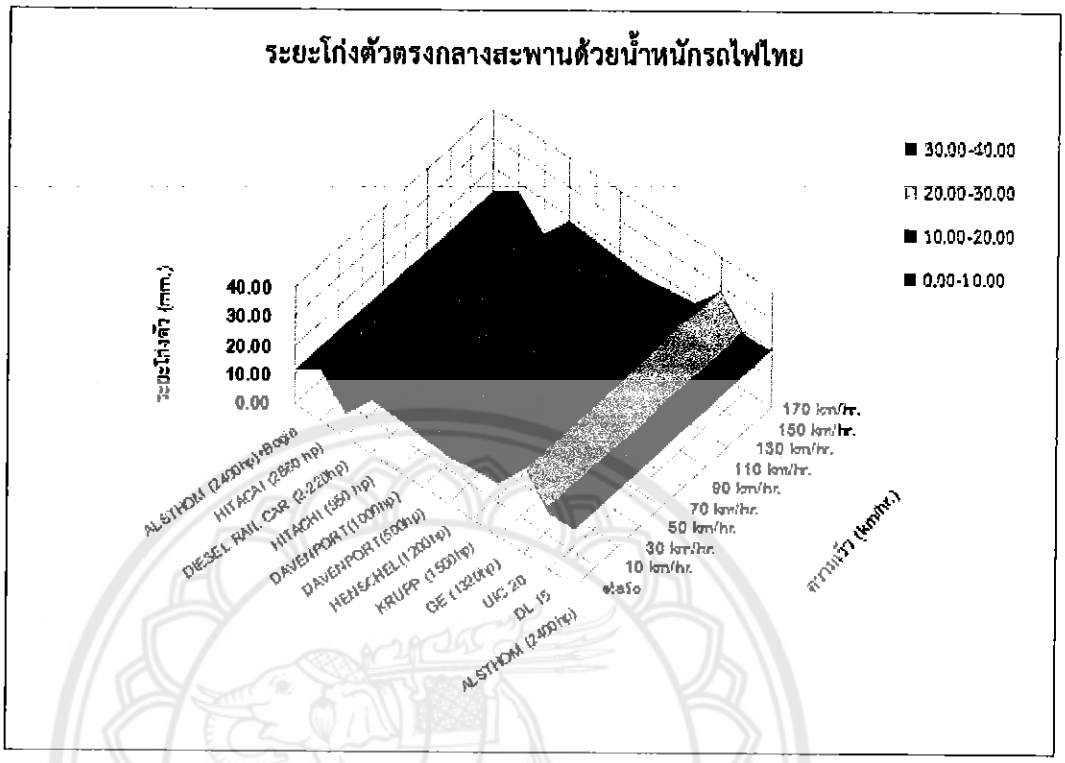


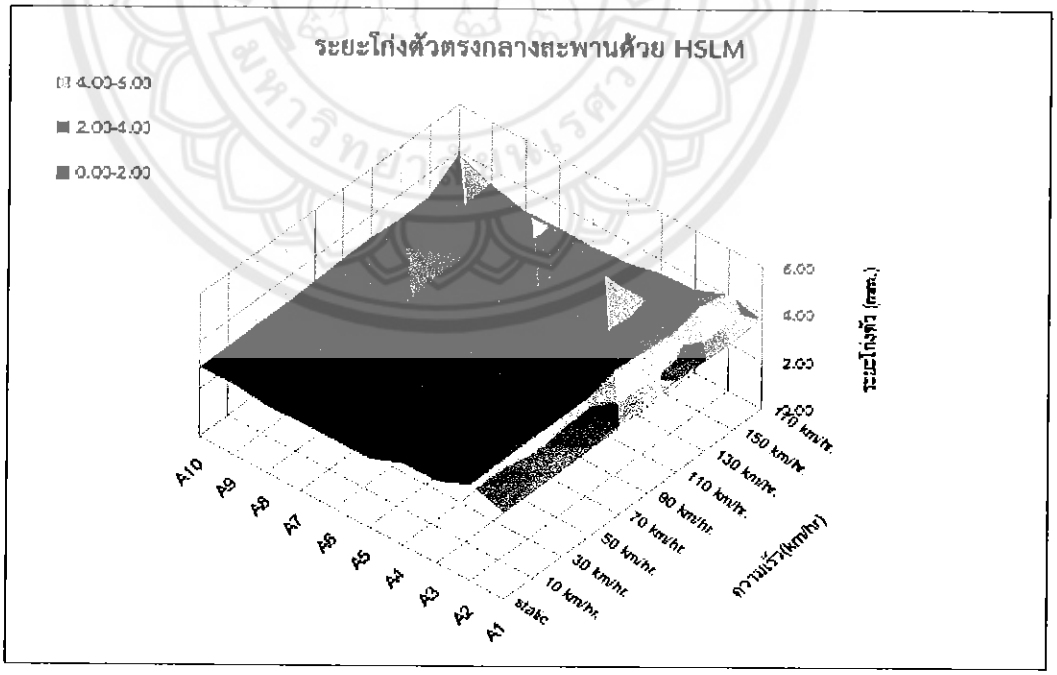

รูปที่ 4.1.8-3 Impact Factor ของ Roller Support

## 4.2วิเคราะห์โครงสร้างสะพานที่รถไฟไทยวิ่งผ่านโดยคำนึกสั่นสะเทือนไม้หมอน

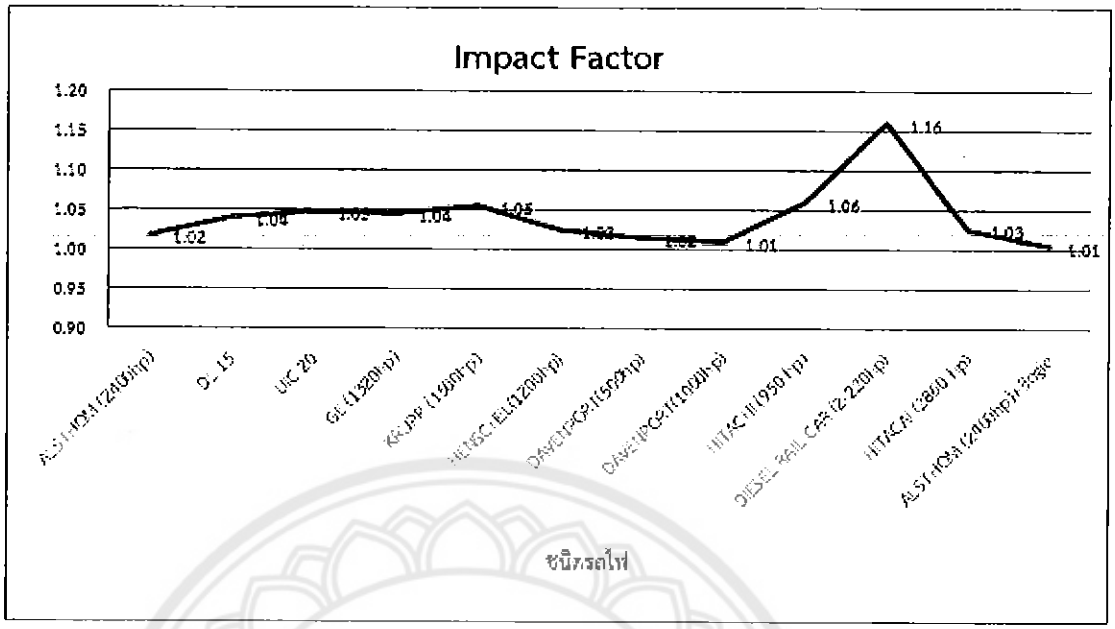
### 4.2.1 ระยะการแอ่นตัว (Displacement)

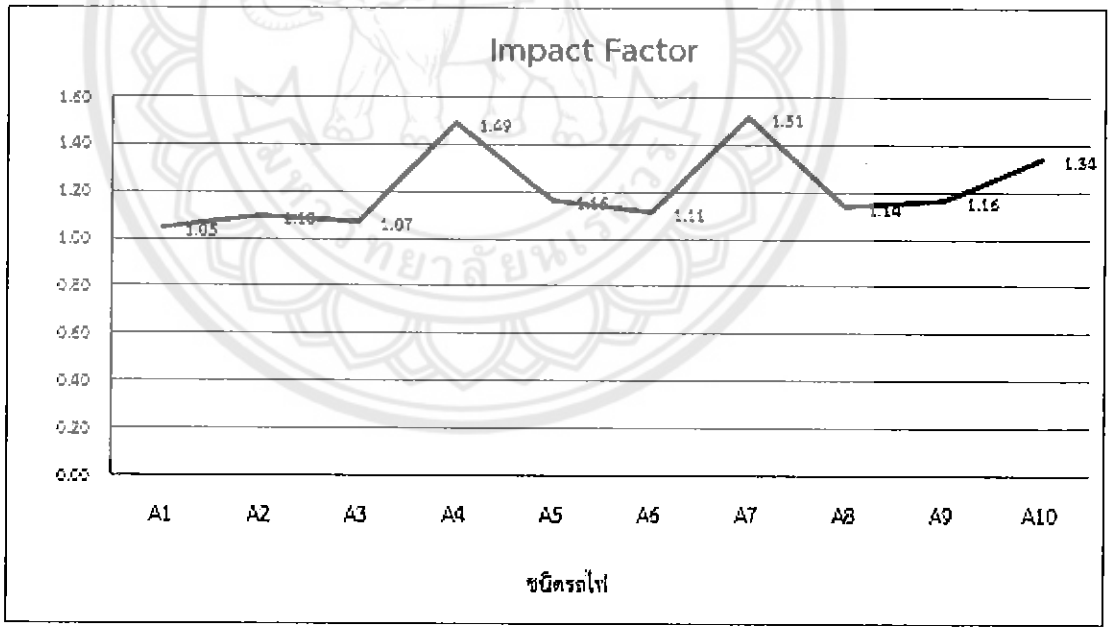



รูปที่ 4.2.1-1 ระยะการแอ่นตัวตรงกลางสะพานด้วยน้ำหนักของรถไฟไทย



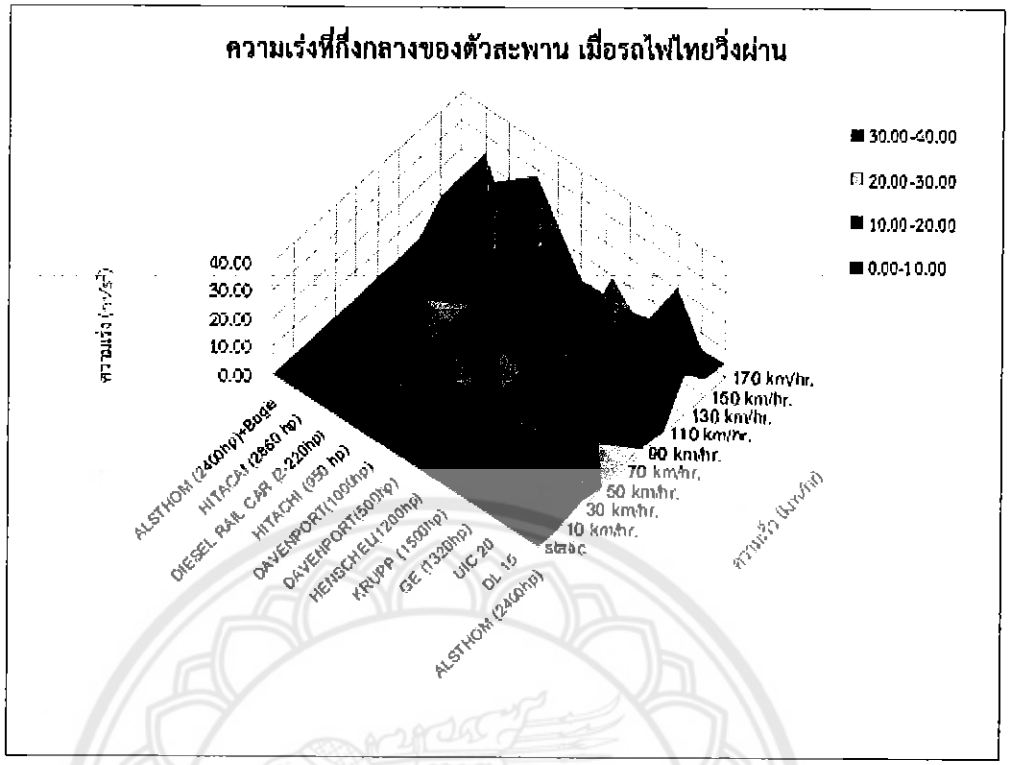

รูปที่ 4.2.1-2 ระยะการแอ่นตัวที่กลางสะพานด้วยน้ำหนักของรถไฟ HSLM



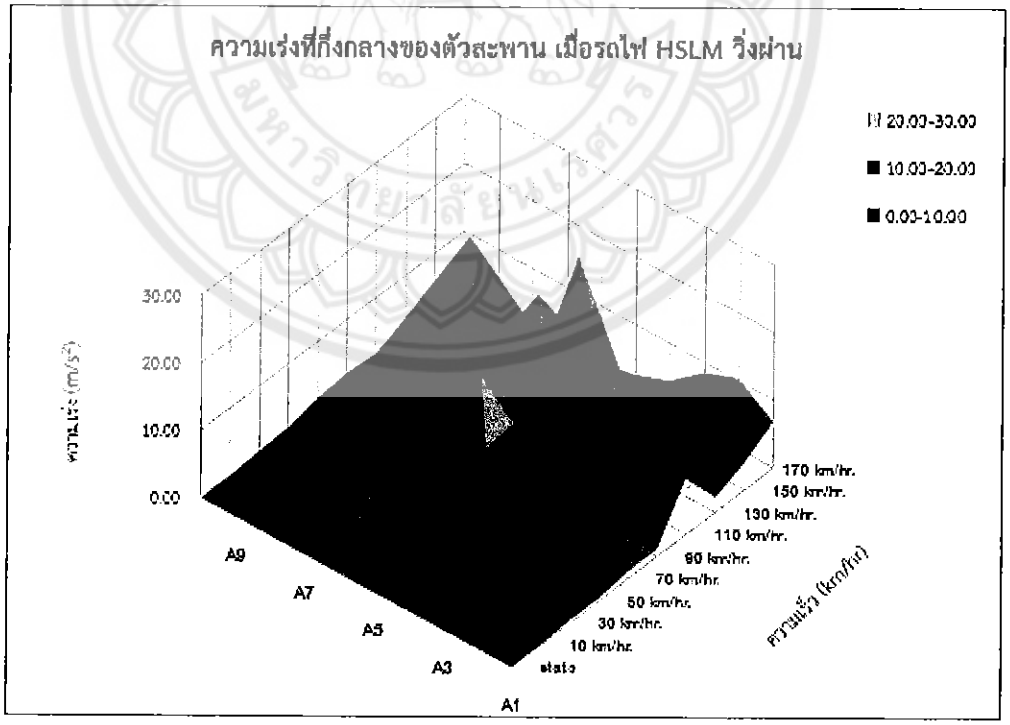




รูปที่ 4.2.1-3 ค่า Impact Factor การแอ่นตัวที่กลางสะพานของรถไฟไทย และรถไฟ HSLM

### 4.2.2ความเร่ง (Acceleration)

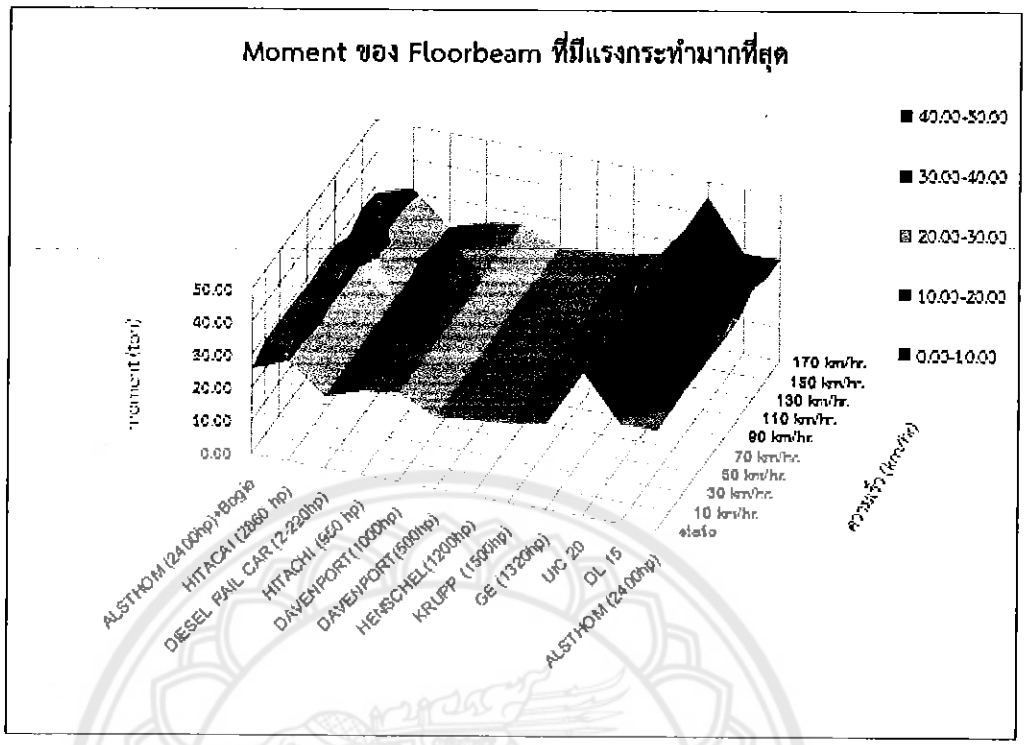



รูปที่ 4.2.2-1 ความเร่งที่กึ่งกลางสะพาน เมื่อรถไฟไทยวิ่งผ่าน

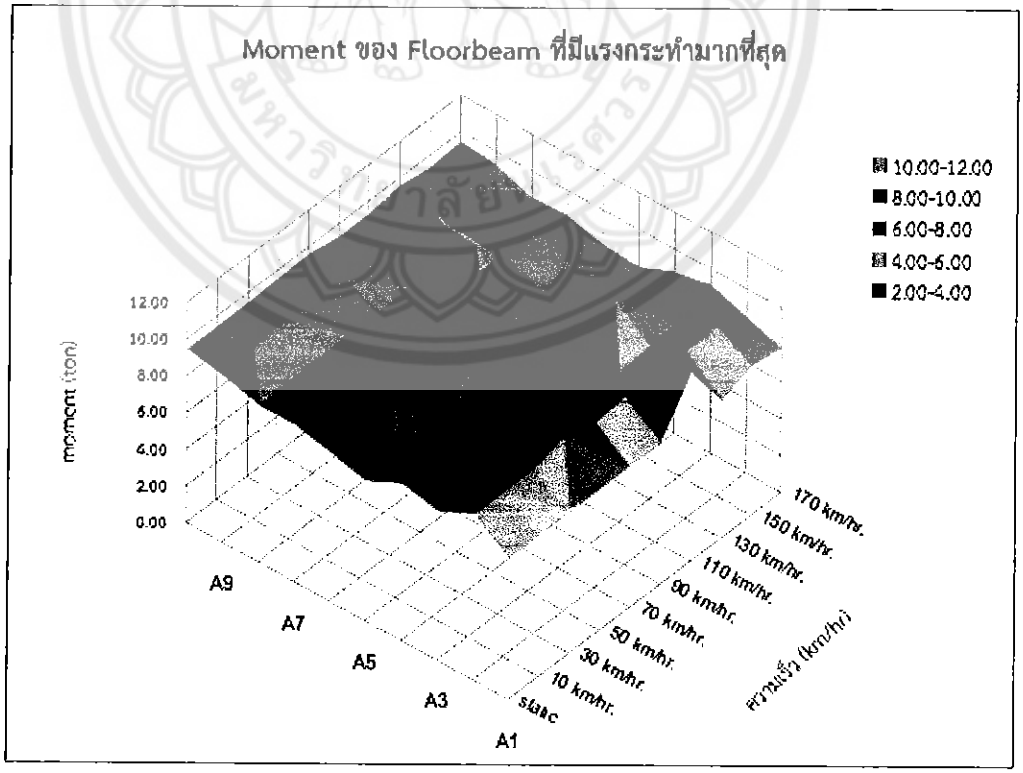



รูปที่ 4.2.2-2 ความเร่งที่กึ่งกลางสะพาน เมื่อรถไฟHSLM วิ่งผ่าน

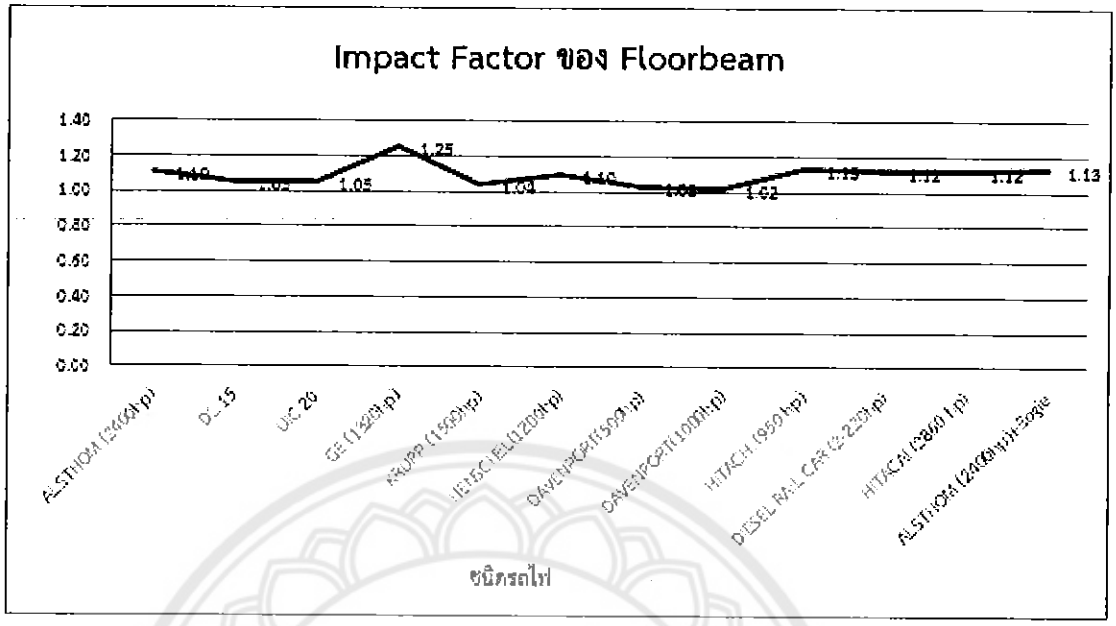
### 4.2.3 Moment มากสุดที่กระทำบน Floor beam

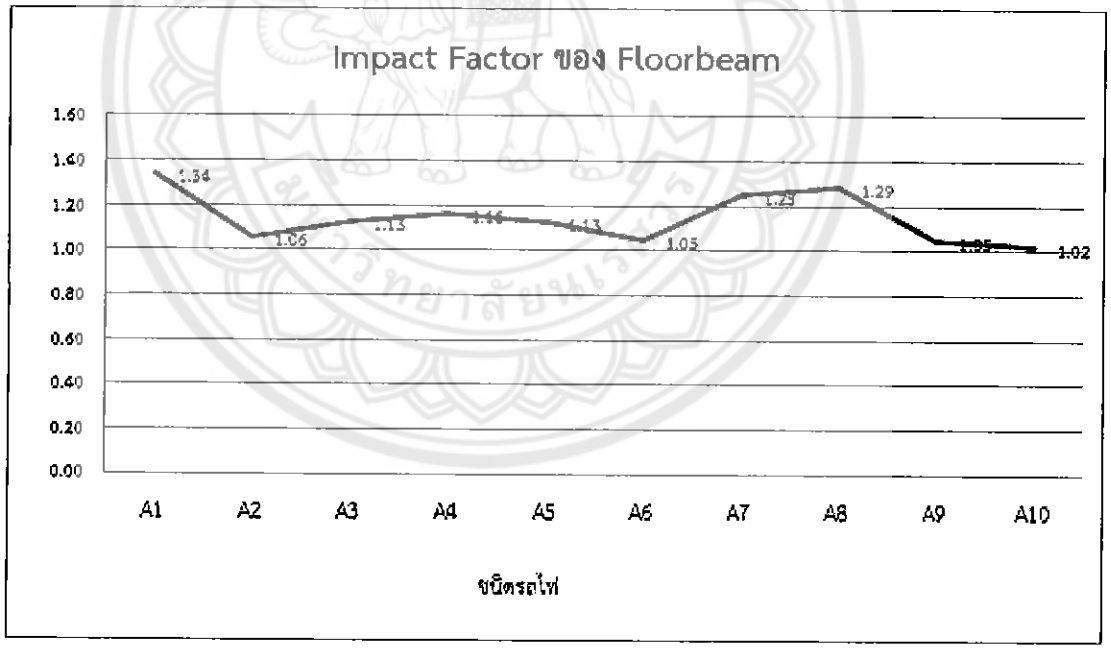



รูปที่ 4.2.3-1 Moment มากสุดที่กระทำบน Floor beam ด้วยน้ำหนักของรถไฟไทย



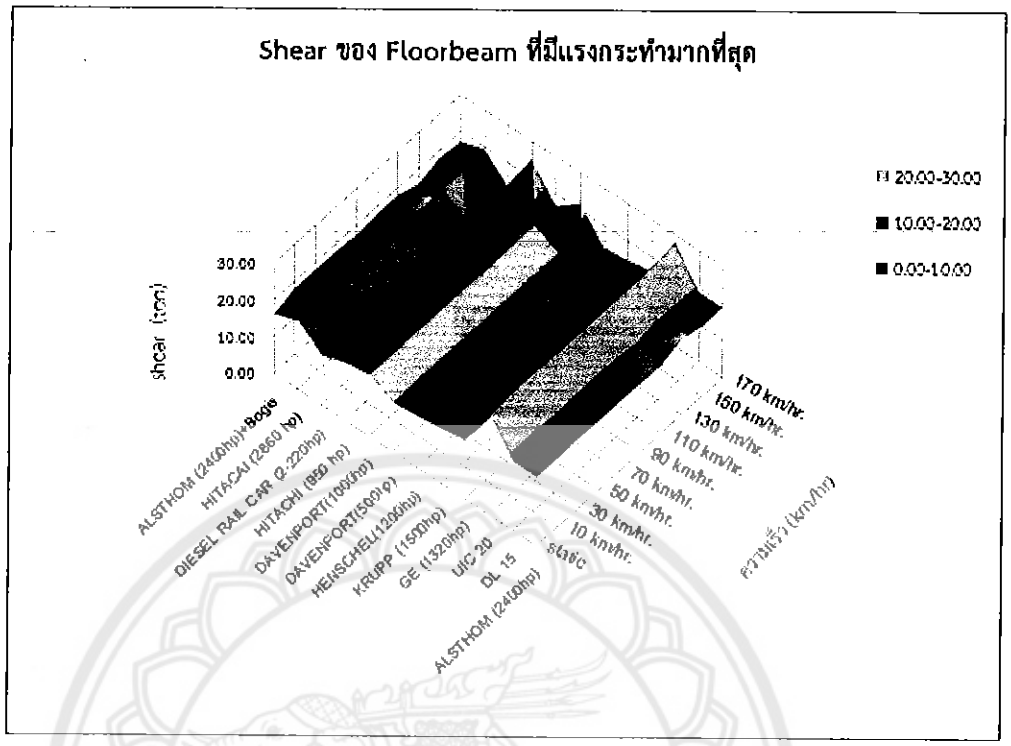

รูปที่ 4.2.3-2 Moment มากสุดที่กระทำบน Floor beam ด้วยน้ำหนักของรถไฟ HSLM



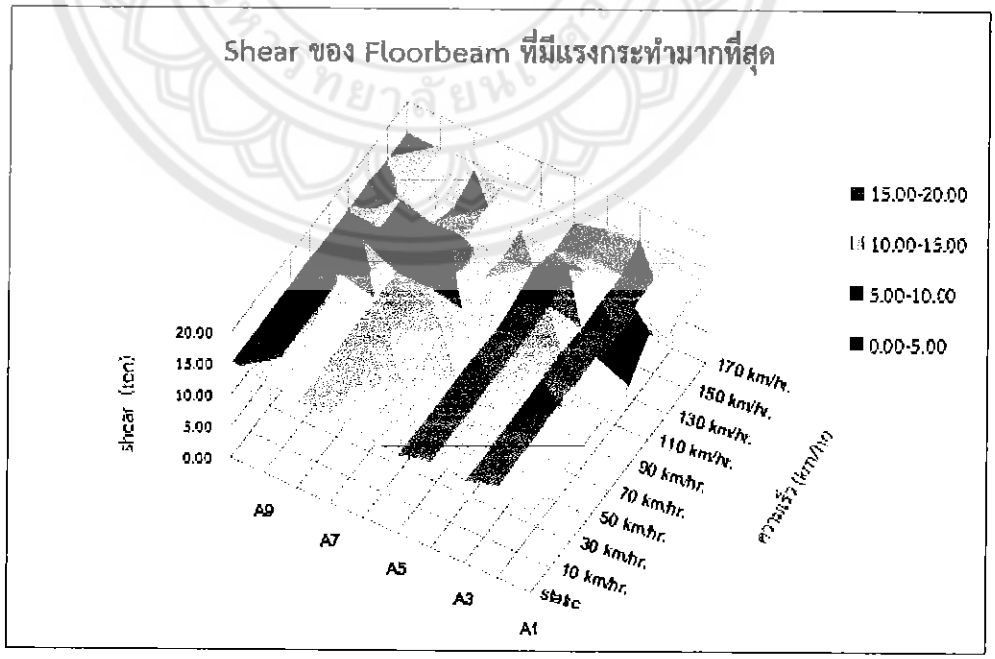




รูปที่ 4.2.3-3 Impact Factor ของ Moment บน Floor beam

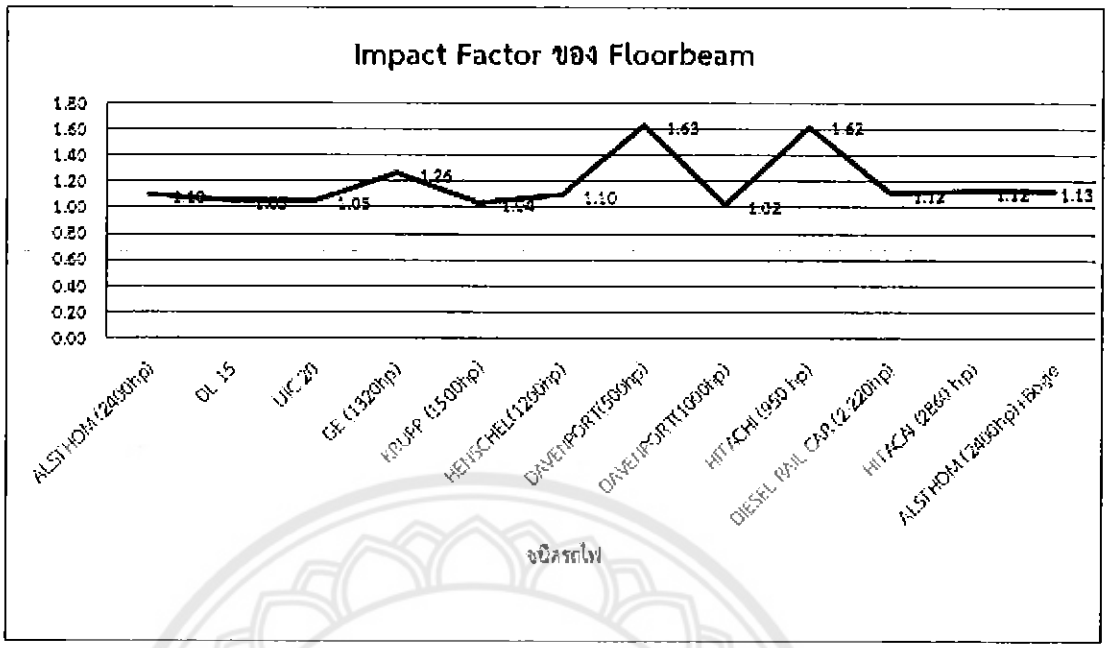
### 4.1.4แรงเฉือนมากสุดที่กระทำบน Floor beam

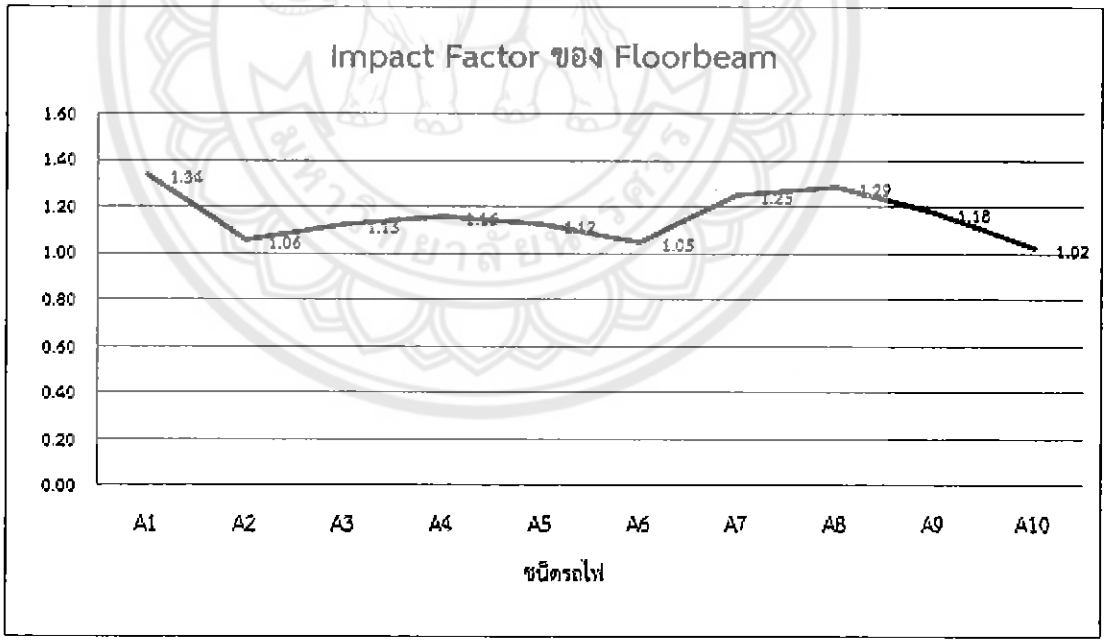



รูปที่ 4.2.4-1 แรงเฉือนมากที่สุดที่กระทำบน Floor beam ด้วยน้ำหนักของรถไฟไทย



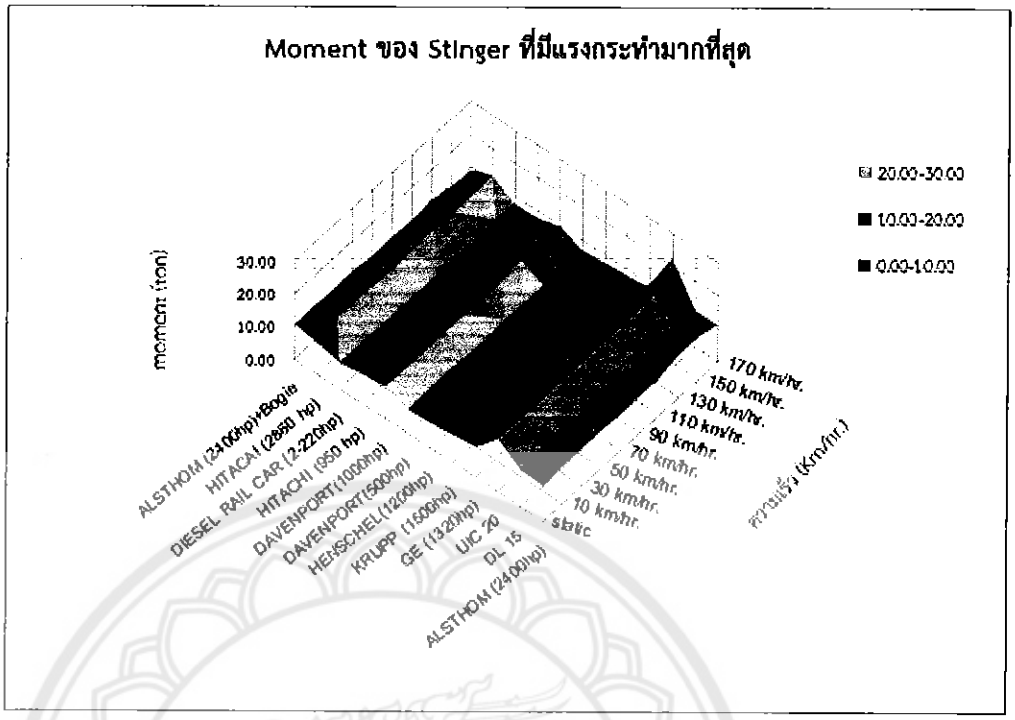

รูปที่ 4.2.4-2 แรงเฉือนมากที่สุดที่กระทำบน Floor beam ด้วยน้ำหนักของรถไฟ HSLM



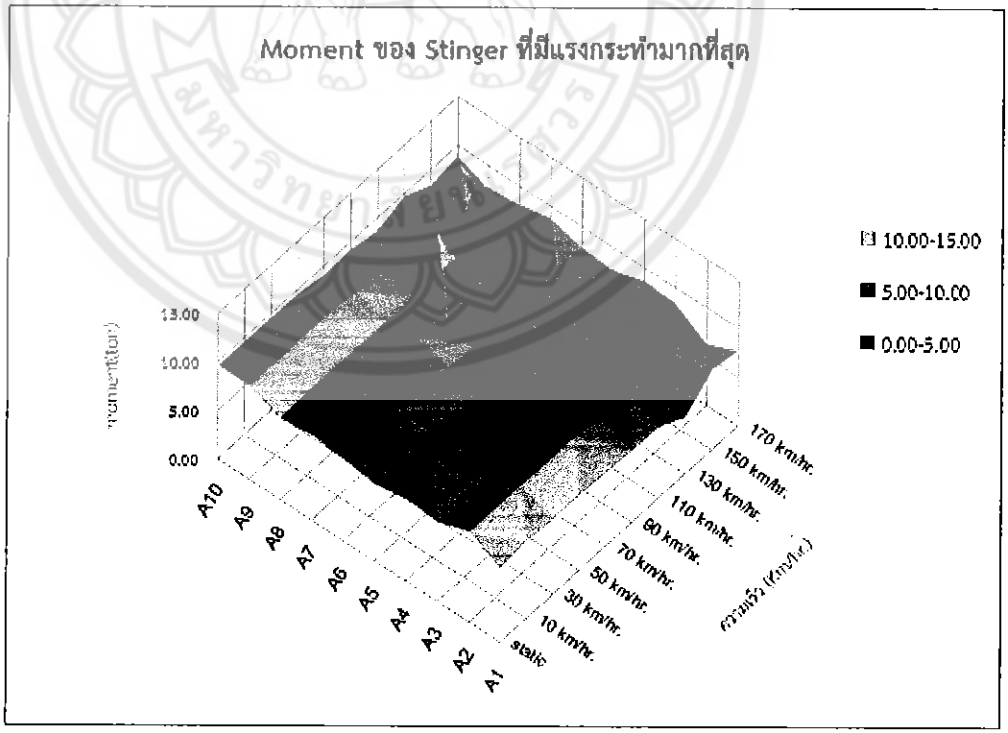




รูปที่ 4.2.4-3 Impact Factor ของแรงเฉือนบน Floor beam

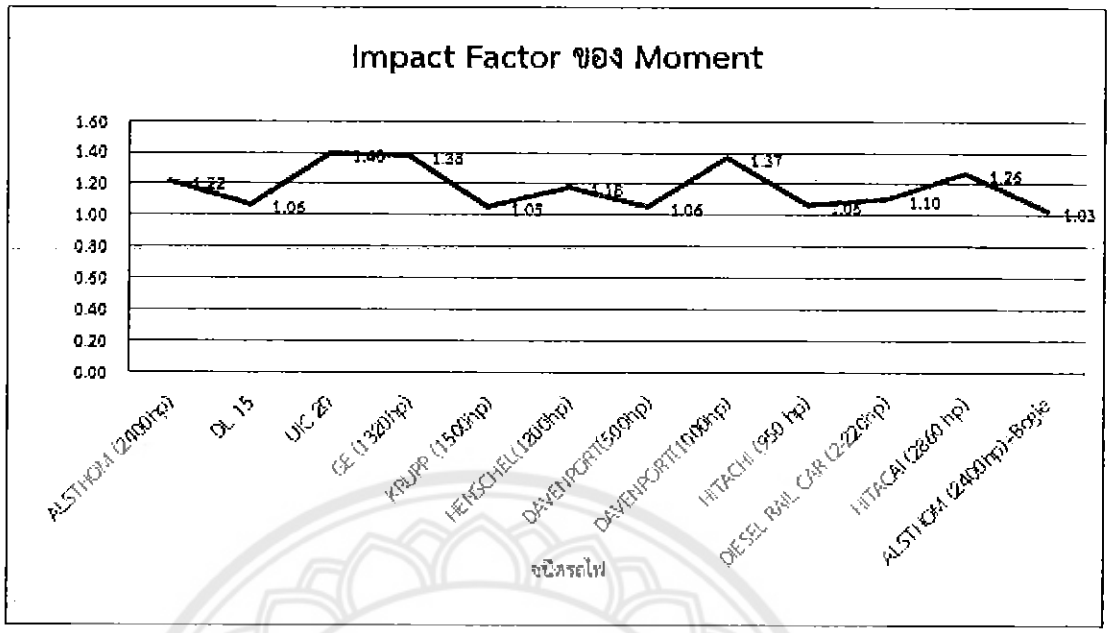
### 4.2.5 Moment มากสุดที่กระทำบน Stringer

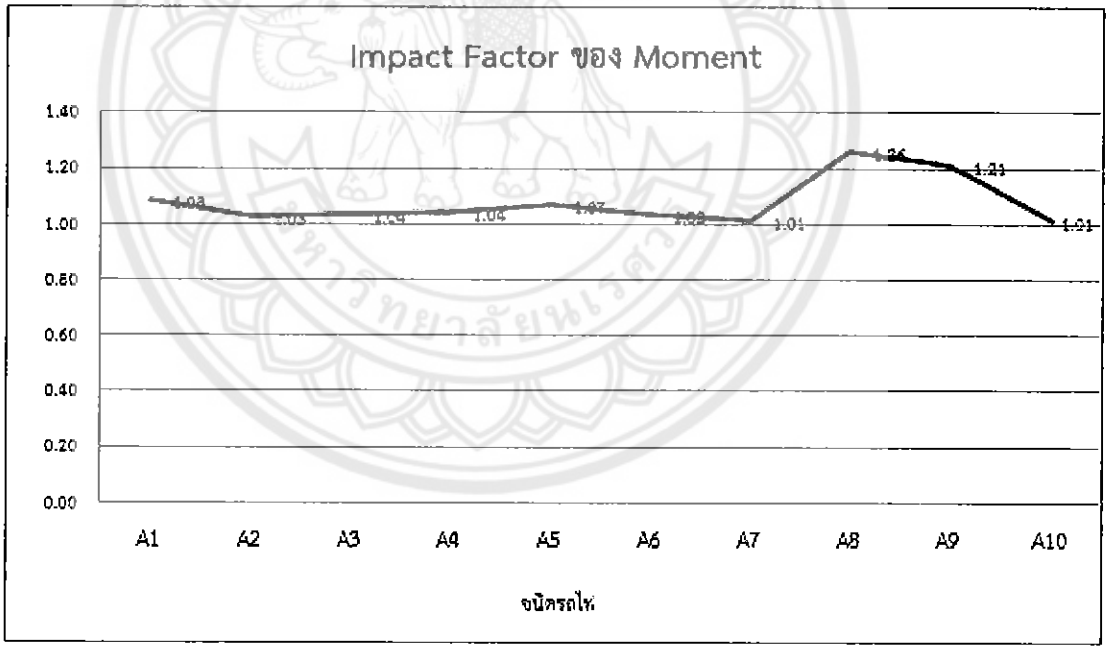



รูปที่ 4.2.5-1 Moment มากสุดที่กระทำบน Stringer ด้วยน้ำหนักของรถไฟไทย



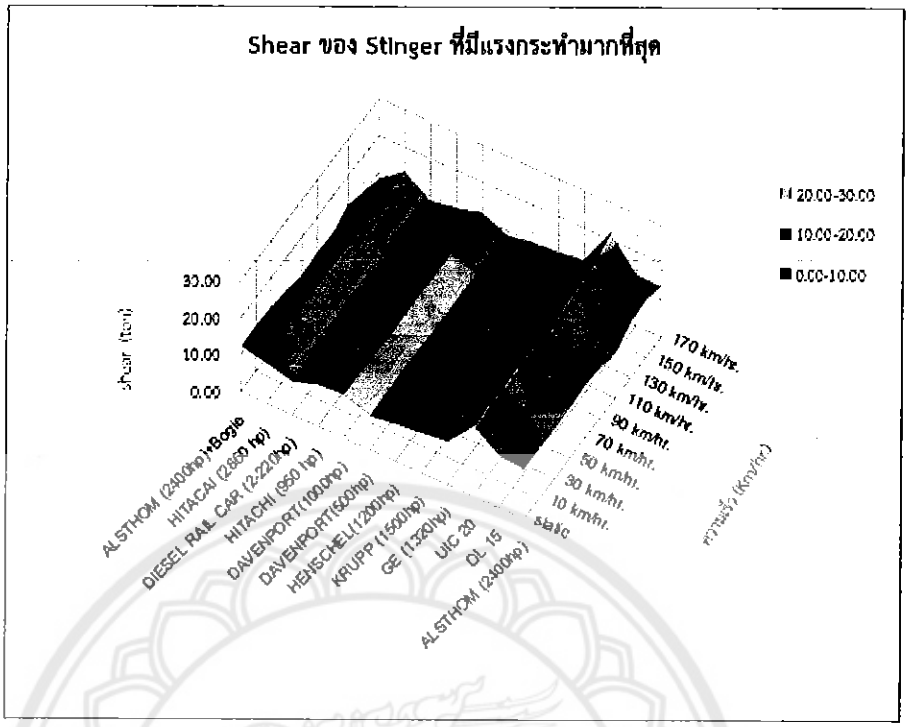

รูปที่ 4.2.5-2 Moment มากสุดที่กระทำบน Stringer ด้วยน้ำหนักของรถไฟ HSLM



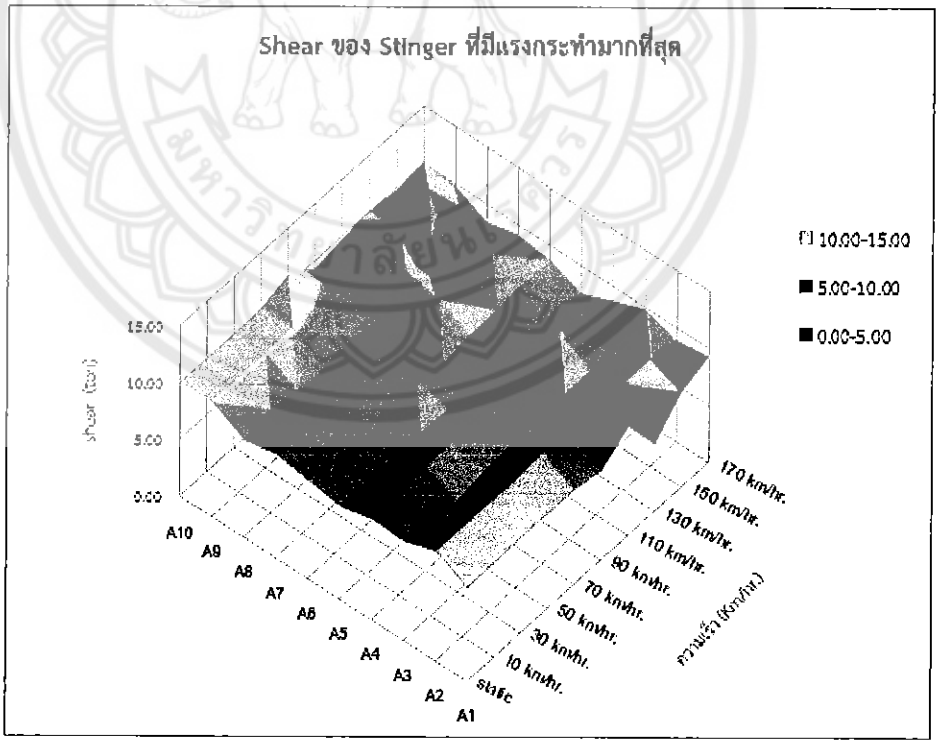




รูปที่ 4.2.5-3 Impact Factor ของ Moment บน Stringer

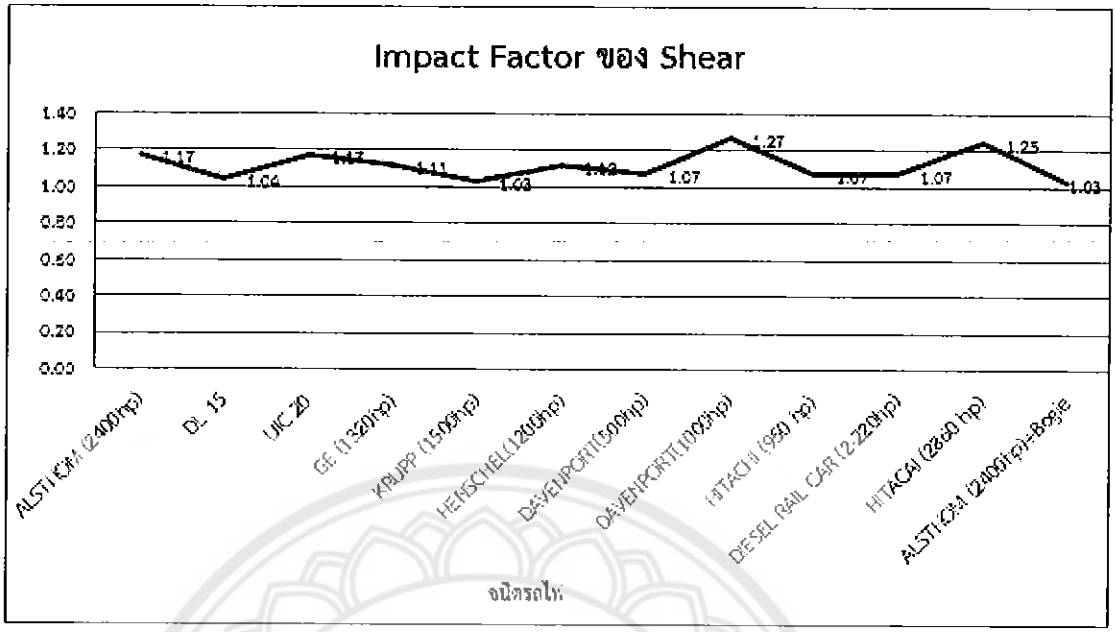
### 4.2.6 แรงเฉือนมากสุดที่กระทำบน Stringer

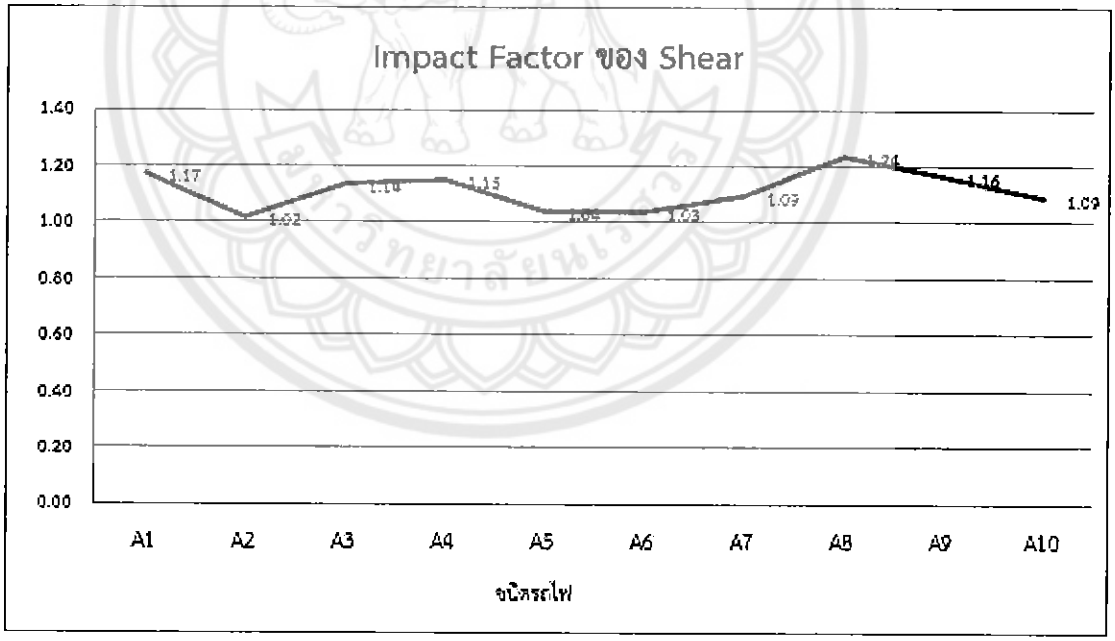



รูปที่ 4.2.6-1 แรงเฉือนมากสุดที่กระทำบน Stringer ด้วยน้ำหนักของรถไฟไทย



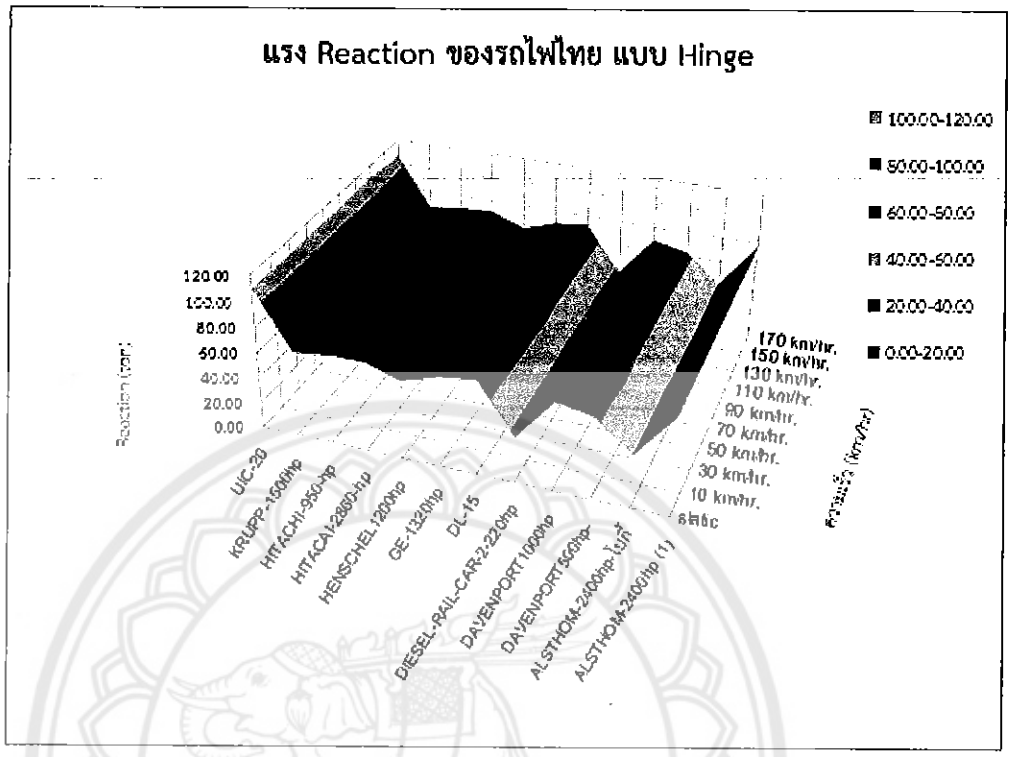

รูปที่ 4.2.6-1 แรงเฉือนมากสุดที่กระทำบน Stringer ด้วยน้ำหนักของรถไฟ HSLM



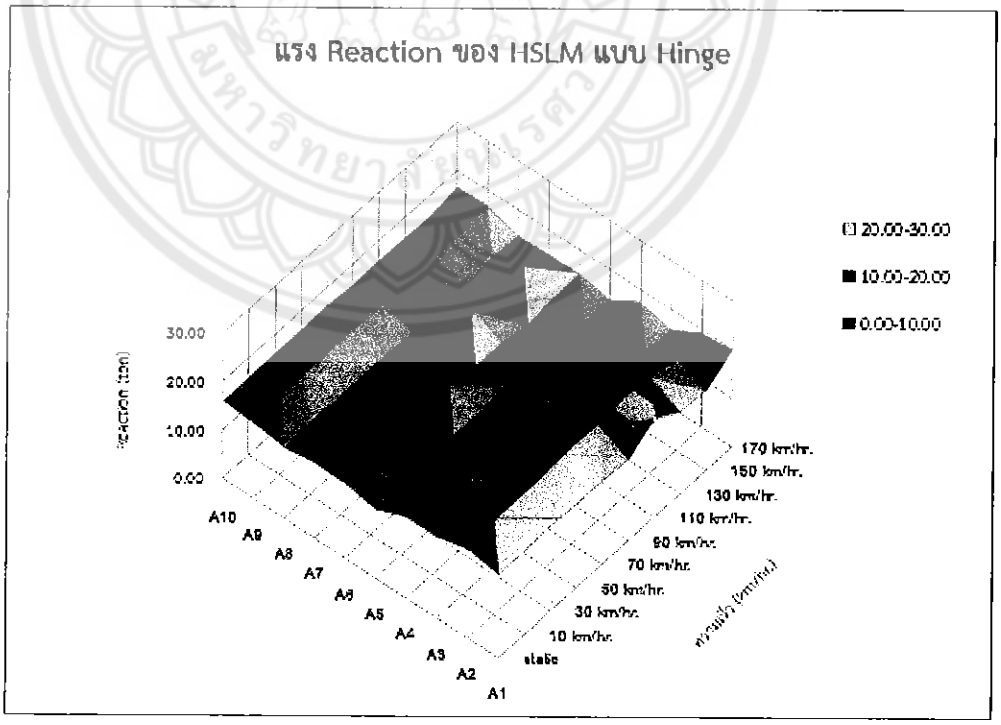




รูปที่ 4.1.6-3 Impact Factor ของแรงเฉือนบน Stringer

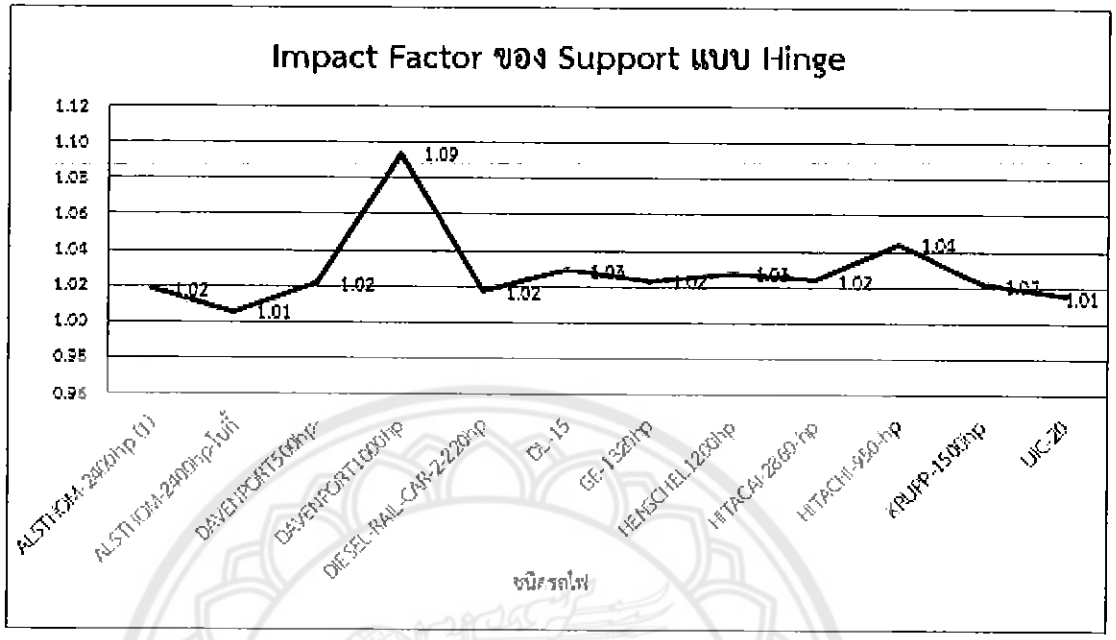
### 4.2.7 แรงปฏิกิริยาของ Hinge Support

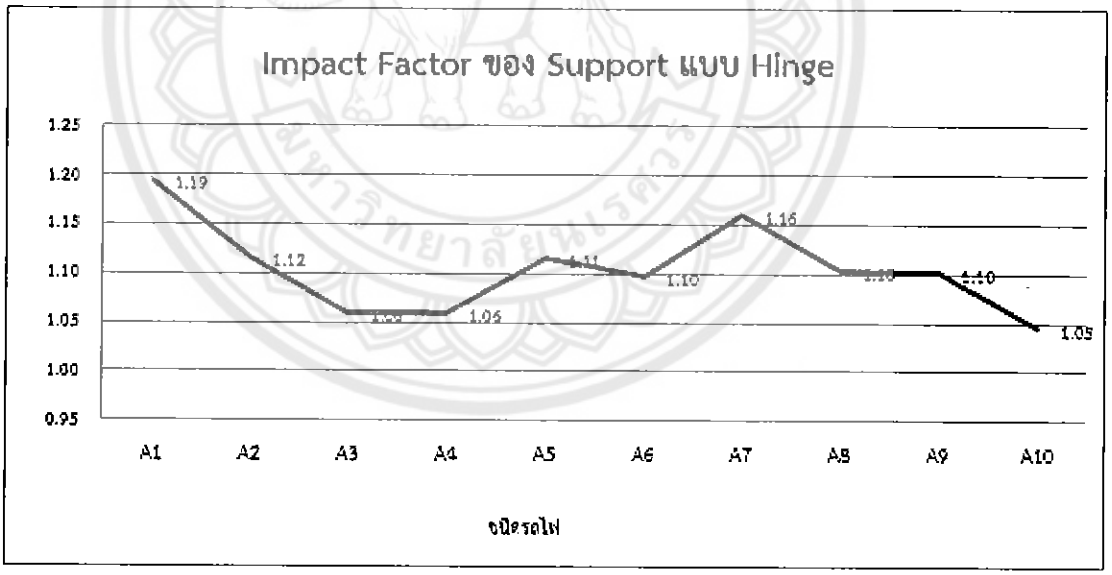



รูปที่ 4.2.7-1 แรงปฏิกิริยาใน Hinge Support ของรถไฟไทย



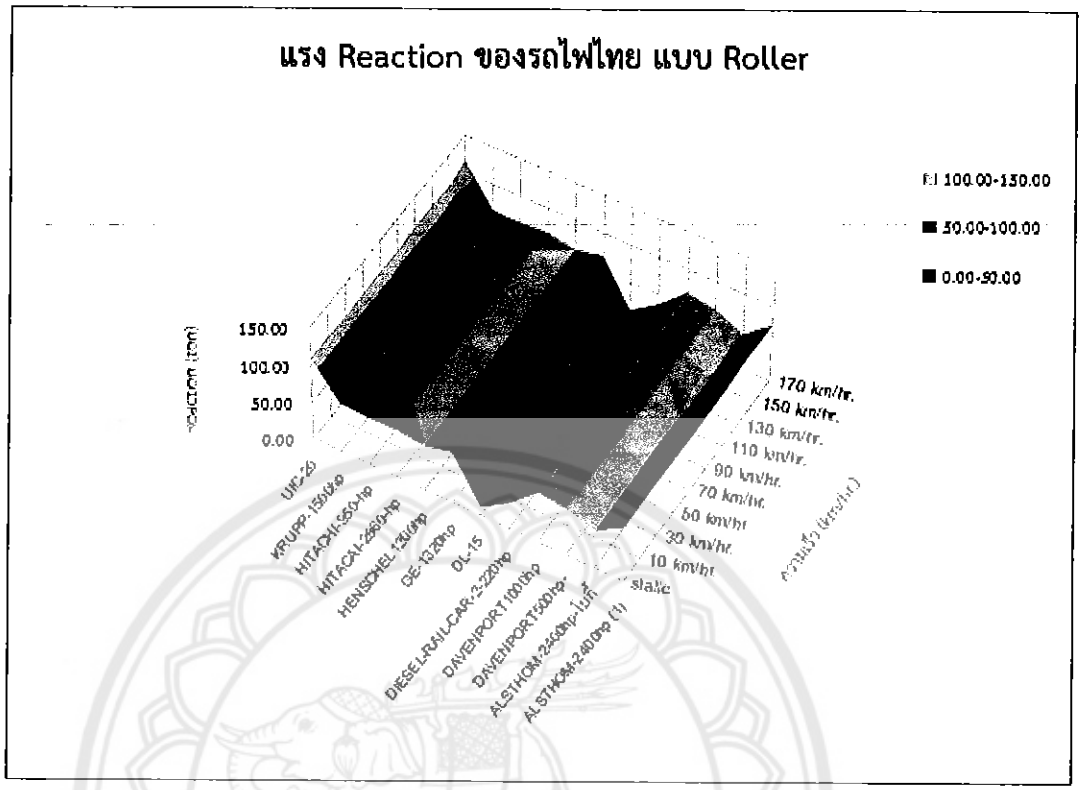

รูปที่ 4.2.7-2 แรงปฏิกิริยาใน Hinge Support ของรถไฟไทย



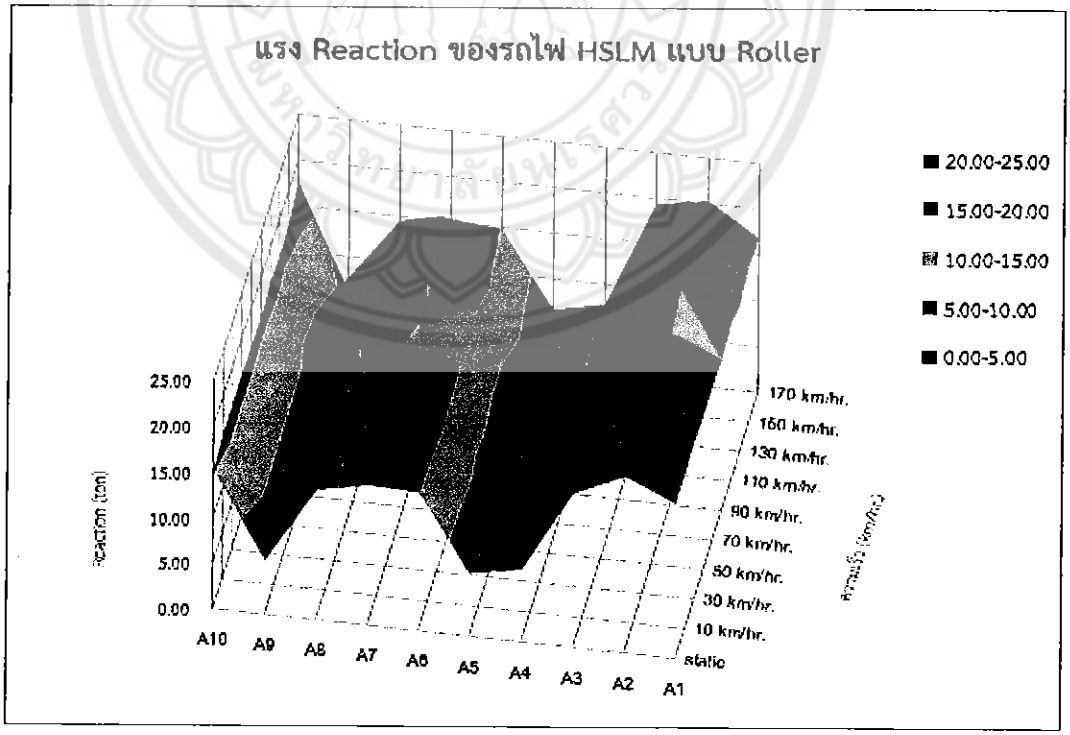




รูปที่ 4.2.7-3 Impact Factor ของ Hinge Support

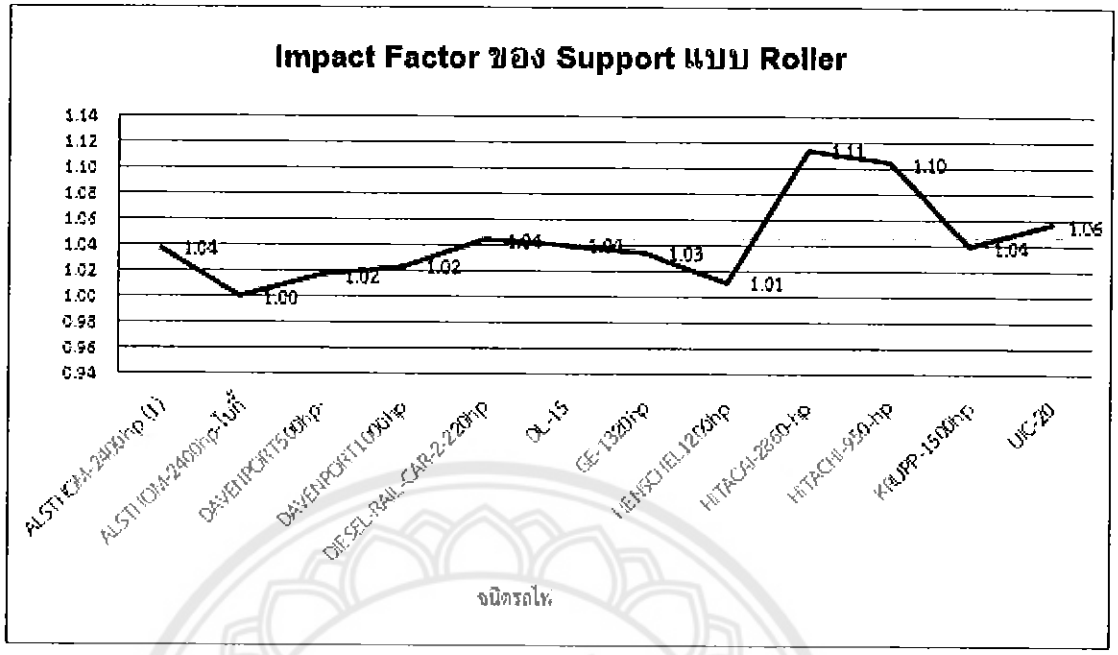
### 4.2.8 แรงปฏิกิริยาของ Roller Support

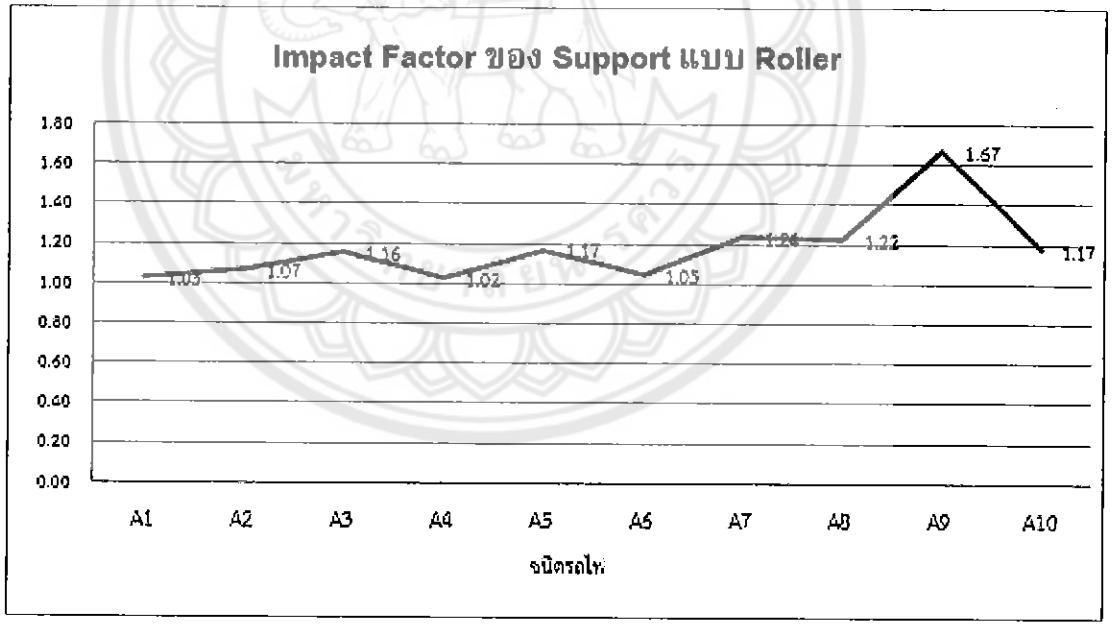



รูปที่ 4.2.8-1 แรงปฏิกิริยาใน Roller Support ของรถไฟไทย




รูปที่ 4.2.8-2 แรงปฏิกิริยาใน Roller Support ของรถไฟไทย

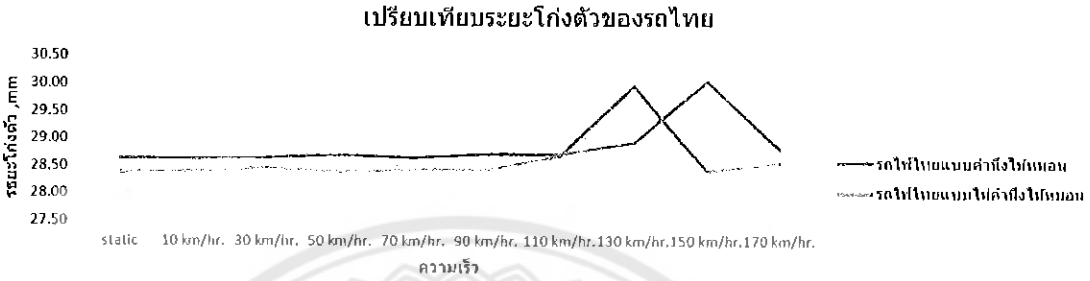


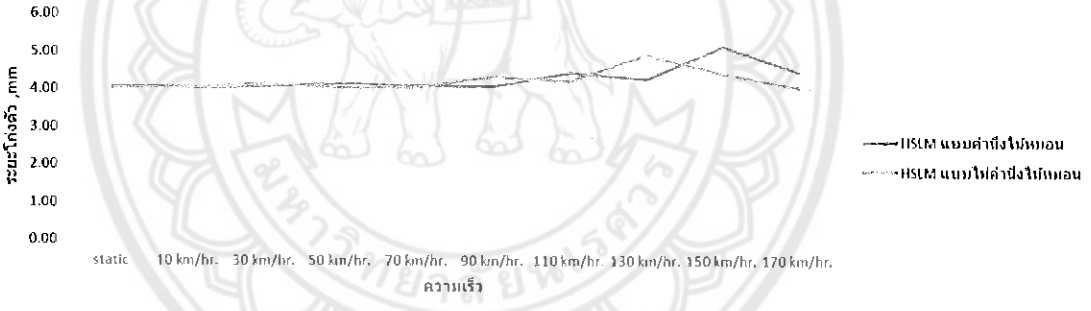

รูปที่ 4.2.8-3 Impact Factor ของ Roller Support

## 4.3 การเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์โครงสร้างแบบไม่คำนึกไม้หมอนกับคำนึงไม้หมอน

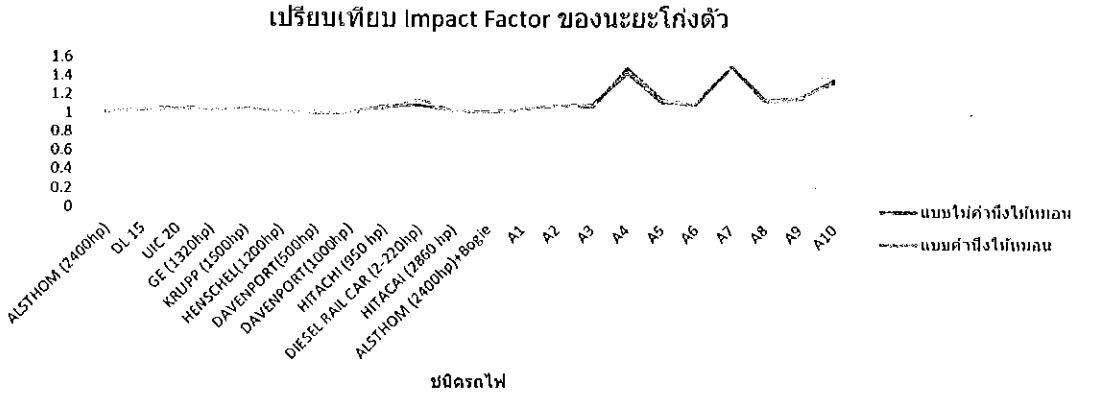
### 4.3.1 ระยะการแอ่นตัว (Displacement)




รูปที่ 4.3.1-1 เปรียบเทียบระยะแอ่นตัวของสะพานเมื่อรถไฟไทยวิ่งผ่าน

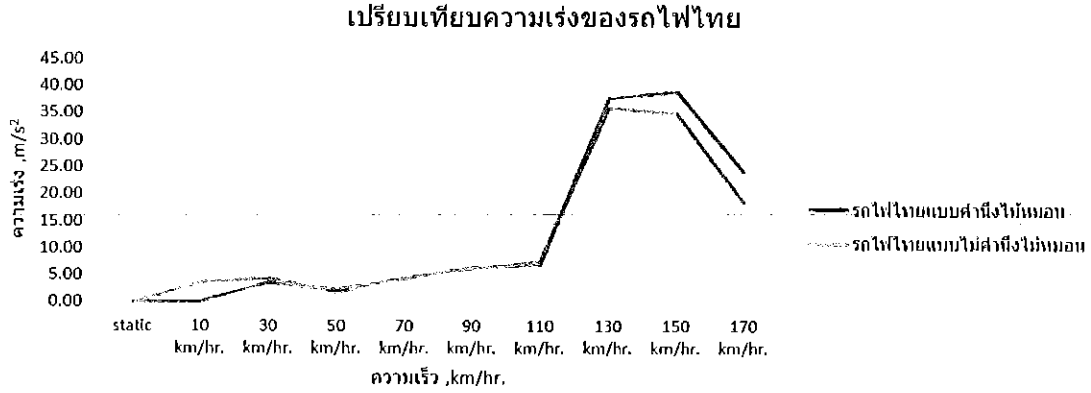



รูปที่ 4.3.1-2 เปรียบเทียบระยะแอ่นตัวของสะพานเมื่อรถไฟ HSLM วิ่งผ่าน

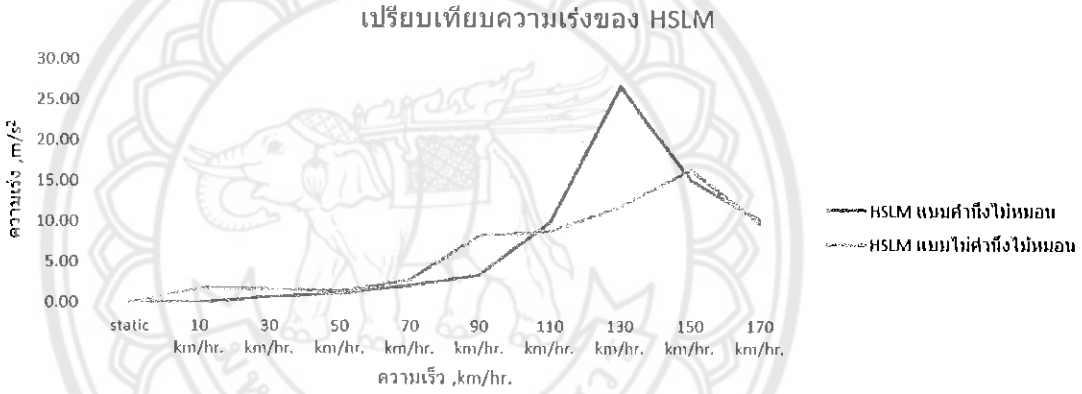



รูปที่ 4.3.1-3 เปรียบเทียบค่า Impact Factor ของระยะการแอ่นตัว

### 4.3.2 ความเร่ง (Acceleration)

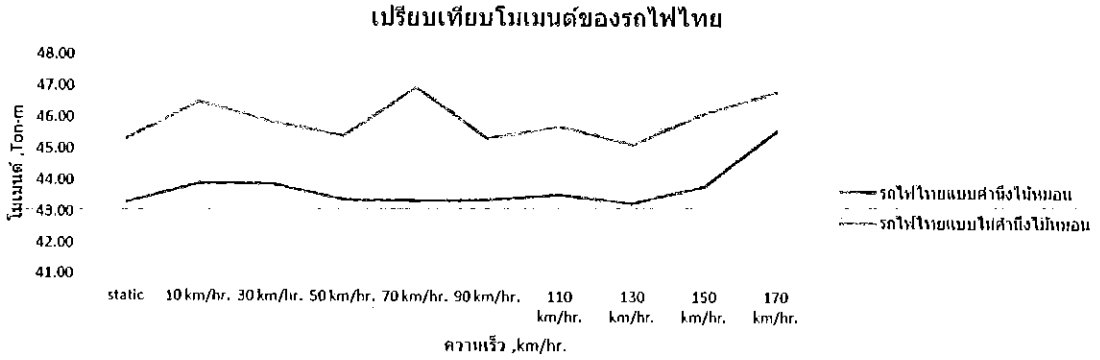



รูปที่ 4.3.2-1 เปรียบเทียบค่าความเร่งของรถไฟไทย

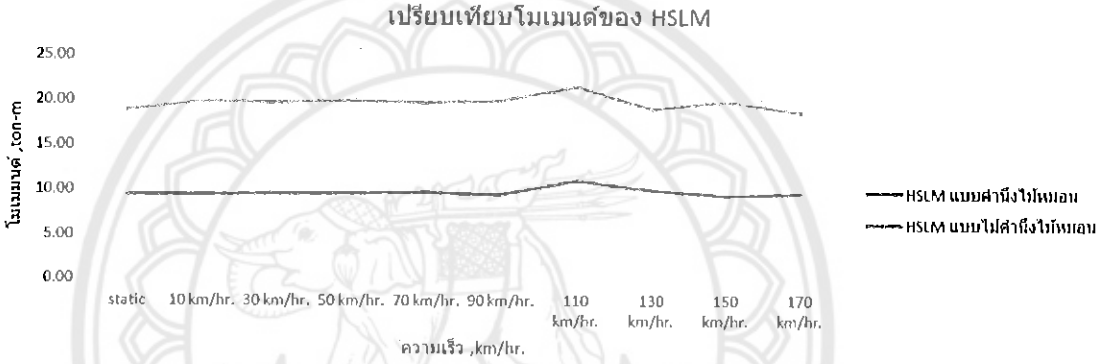



รูปที่ 4.3.2-2 เปรียบเทียบค่าความเร่งของรถไฟ HSLM

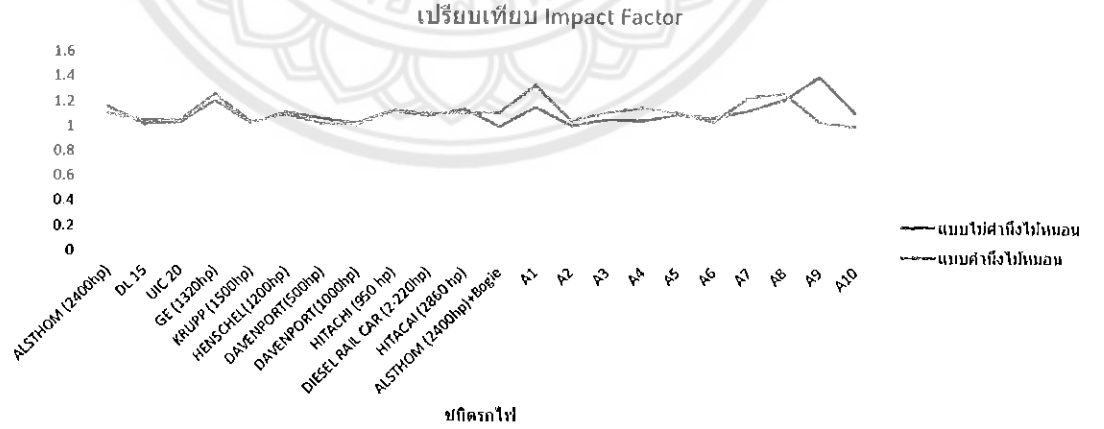
### 4.3.3Moment มากสุดที่กระทำบน Floor beam




รูปที่ 4.3.3-1 เปรียบเทียบโมเมนต์ที่เกิดขึ้นใน Floor Beam ของรถไฟไทย

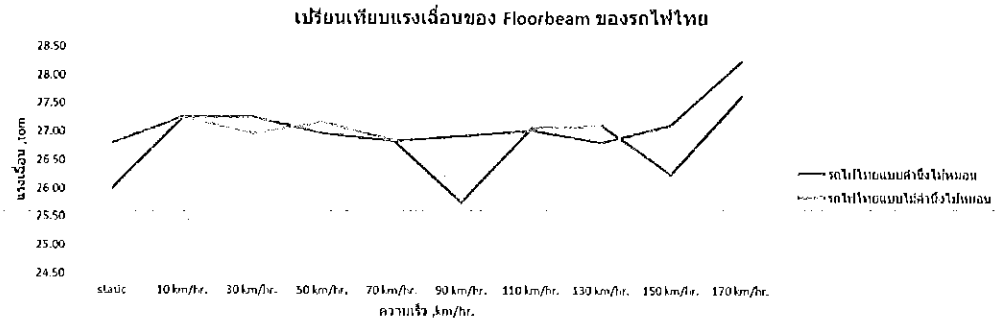



รูปที่ 4.3.3-2 เปรียบเทียบโมเมนต์ที่เกิดขึ้นใน Floor Beam ของรถไฟ HSLM

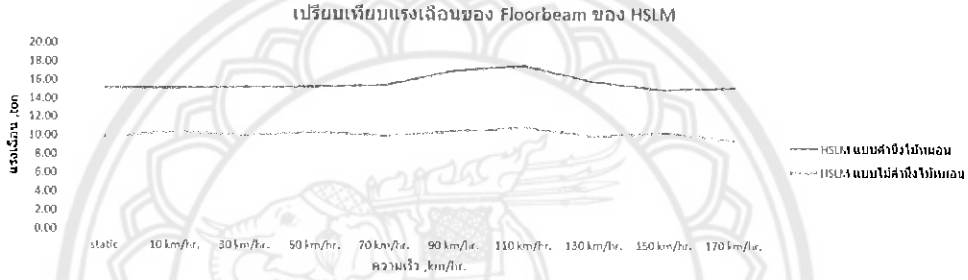



รูปที่ 4.3.3-3 เปรียบเทียบค่า Impact Factor ของโมเมนต์ที่เกิดขึ้นใน Floor Beam

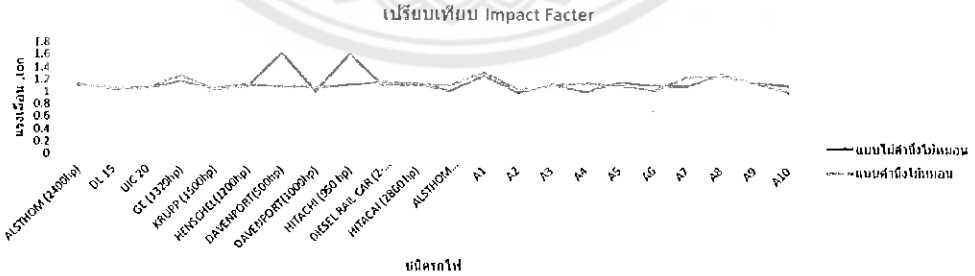
## 4.3.4 แรงเฉือน (Shear) มากสุดที่กระทำบน Floor beam




รูปที่ 4.3.4-1 เปรียบเทียบแรงเฉือนบน Floor Beam ของรถไฟไทย

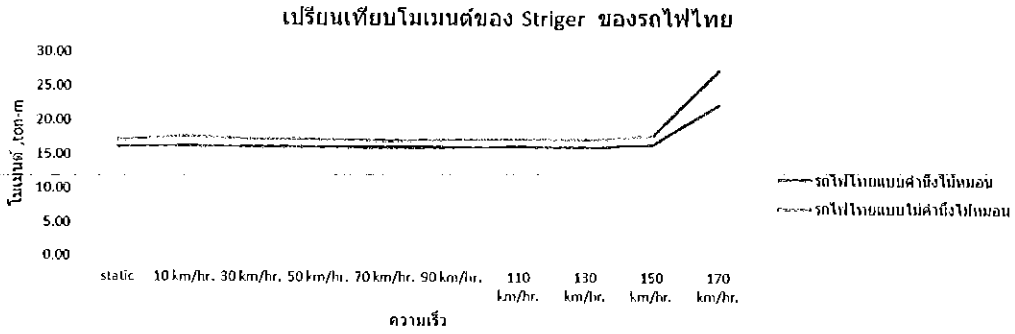



รูปที่ 4.3.4-2 เปรียบเทียบแรงเฉือนบน Floor Beam ของรถไฟ HSLM

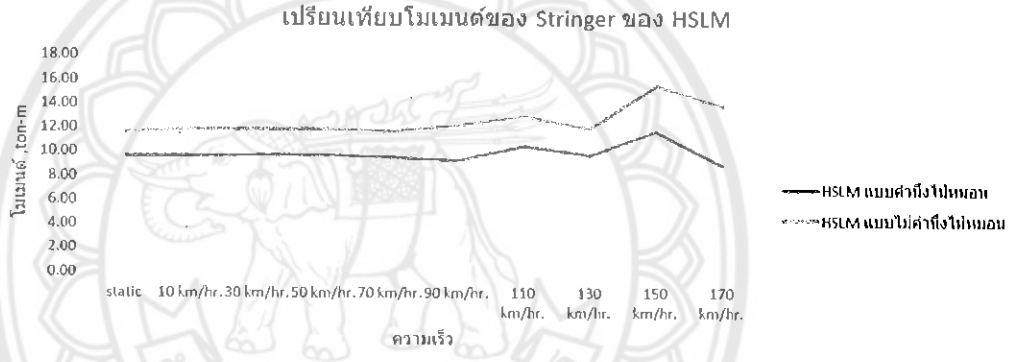



รูปที่ 4.3.4-3 เปรียบเทียบค่า Impact Factor ของแรงเฉือน บน Floor Beam

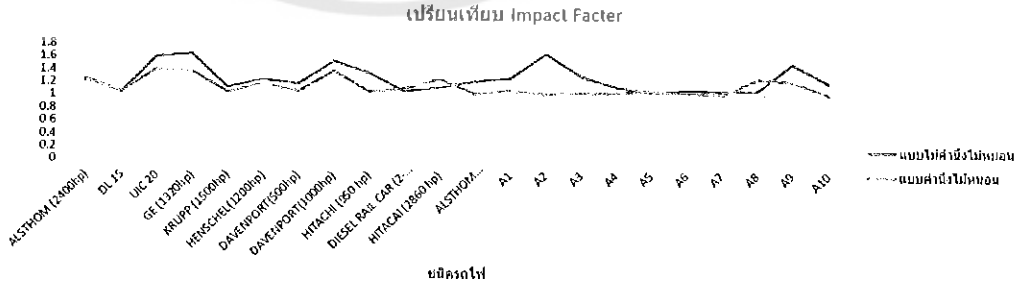
## 4.3.5 โมเมนต์ (Moment) มากสุดที่กระทำบน Stringer




รูปที่ 4.3.5-1 เปรียบเทียบโมเมนต์บน Stringer ของรถไฟไทย

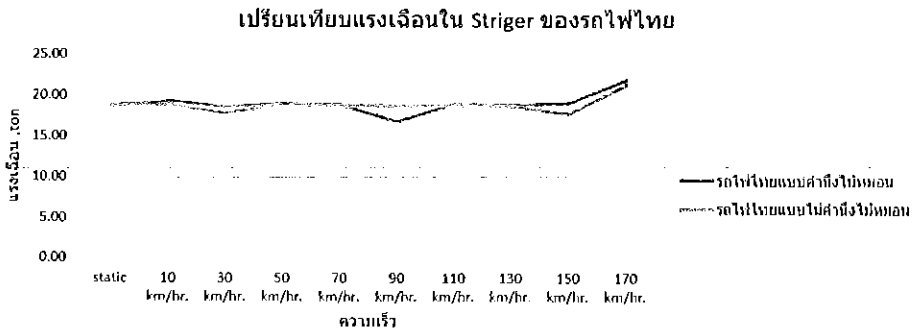



รูปที่ 4.3.5-2 เปรียบเทียบโมเมนต์บน Stringer ของรถไฟ HSLM

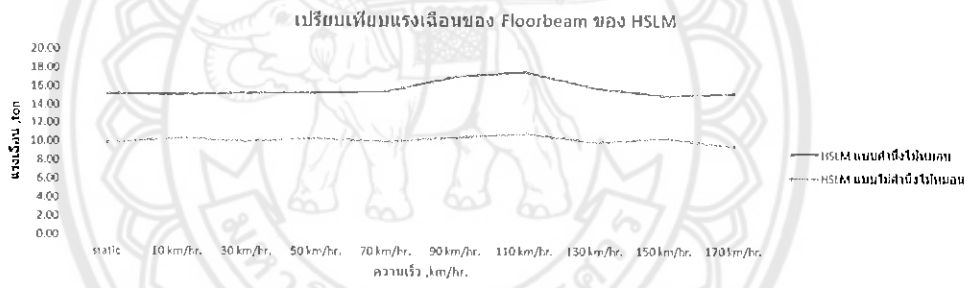



รูปที่ 4.3.5-3 เปรียบเทียบค่า Impact Factor ของโมเมนต์บน Stringer

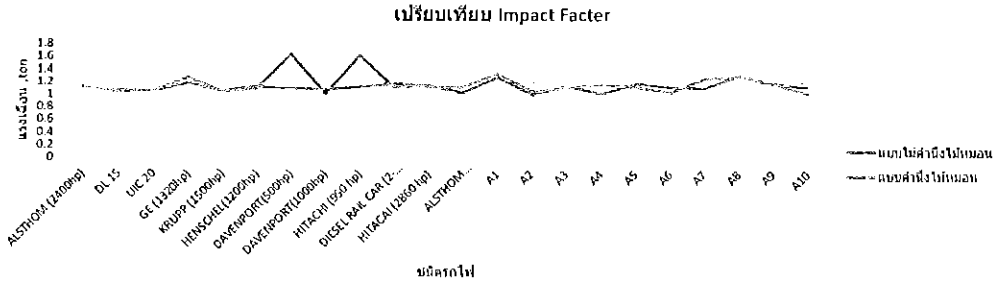
### 4.3.6 แรงเฉือน (Shear) มากสุดที่กระทำบน Stringer




รูปที่ 4.3.6-1 เปรียบเทียบแรงเฉือนใน Stringer ของรถไฟไทย

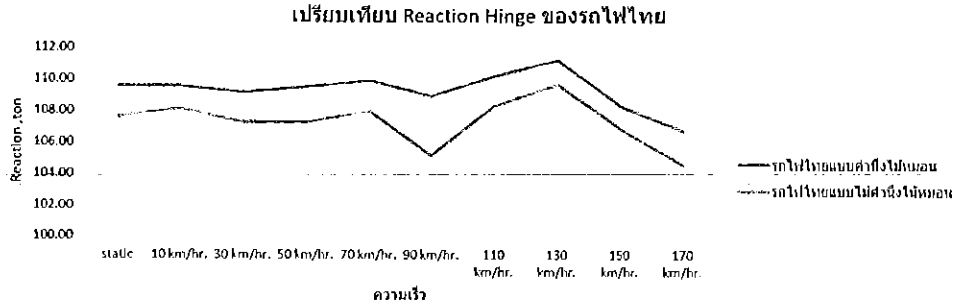



รูปที่ 4.3.6-2 เปรียบเทียบแรงเฉือน ใน Stringer ของ รถไฟ HSLM

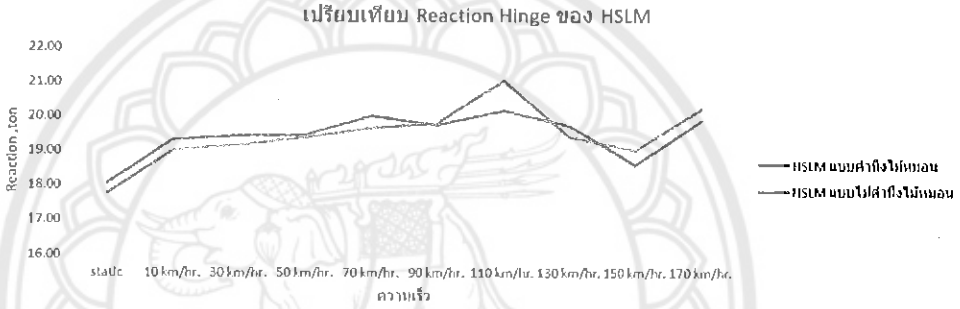



รูปที่ 4.3.6-3 เปรียบเทียบค่า Impact Factor ของแรงเฉือนใน Stringer

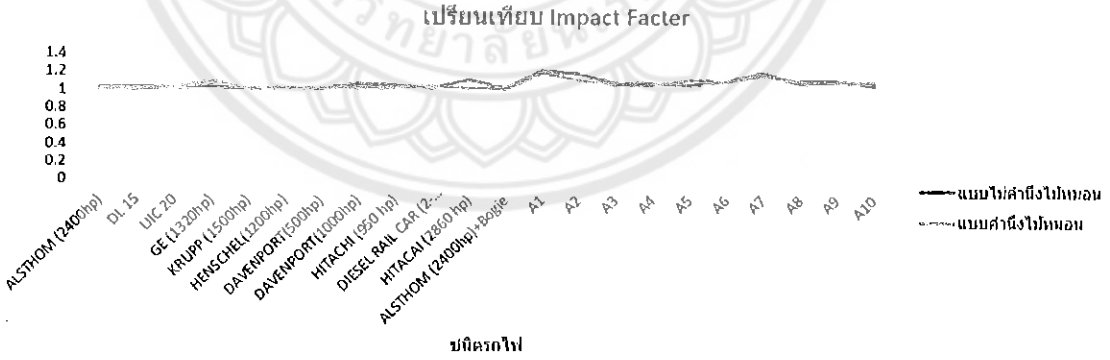
### 4.3.7 แรงปฏิกิริยาของ Hinge Support




รูปที่ 4.3.7-1 เปรียบเทียบค่า Reaction Hinge ของรถไฟไทย

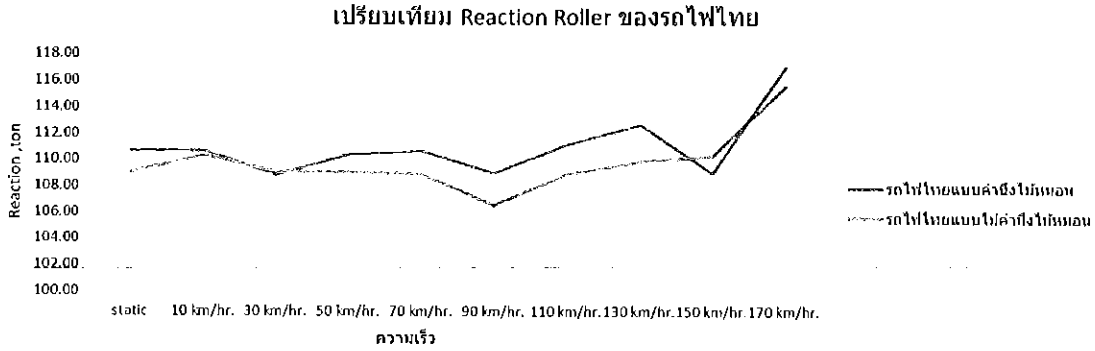



รูปที่ 4.3.7-2 เปรียบเทียบค่า Reaction Hinge ของรถไฟ HSLM

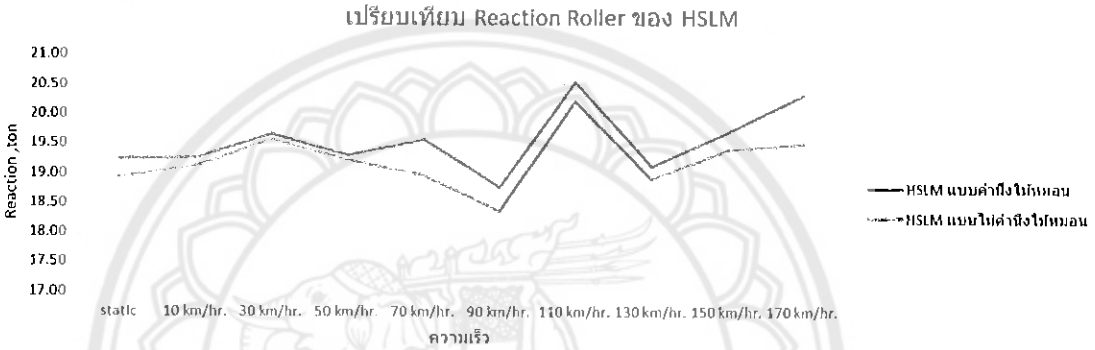



รูปที่ 4.3.7-3 เปรียบเทียบค่า Impact Factor ของReaction Hinge

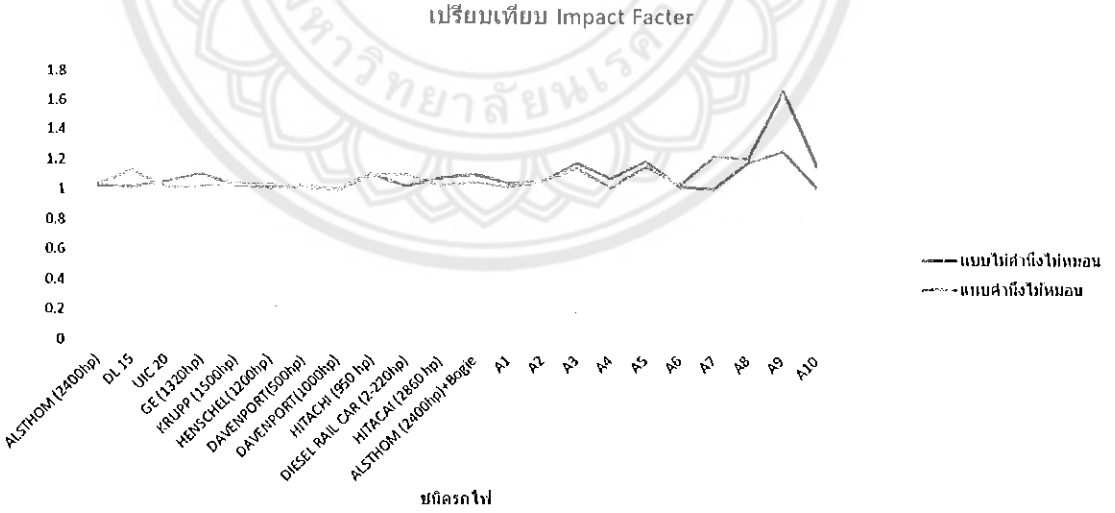
## 4.3.8แรงปฏิกิริยาของ Roller Support




รูปที่ 4.3.8-1 เปรียบเทียบ Reaction Roller ของ รถไฟไทย




รูปที่ 4.3.8-1 เปรียบเทียบ Reaction Roller ของรถไฟ HSLM




รูปที่ 4.3.8-3 เปรียบเทียบค่า Impact Factor ของ Roller Support

# บทที่ 5
# บทสรุปและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผล

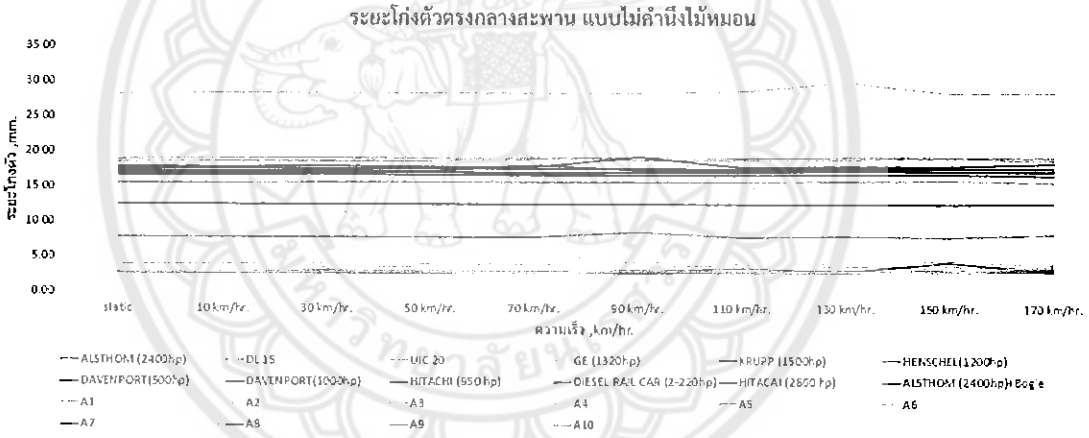
### 5.1.1 ระยะโก่งตัว

ระยะโก่งตัวในแนวดิ่งของสะพานเมื่อมีรถไฟวิ่งผ่านนั้นต้องมีค่าห้ามเกิน L/800 (62.5 mm.) จากมาตรฐาน International Union of Railways, UIC 776-2R โดยรูปที่5-2, 5-3, 5-4, 5-4 มีค่าของระยะโก่งตัวในแนวดิ่งทุกๆชนิดรถไฟและความเร็วไม่เกินมาตรฐาน ส่วนรถไฟที่มีระยะโก่งตัวแนวดิ่งที่มีค่าสูงสุด ดังรูปที่ 5-1

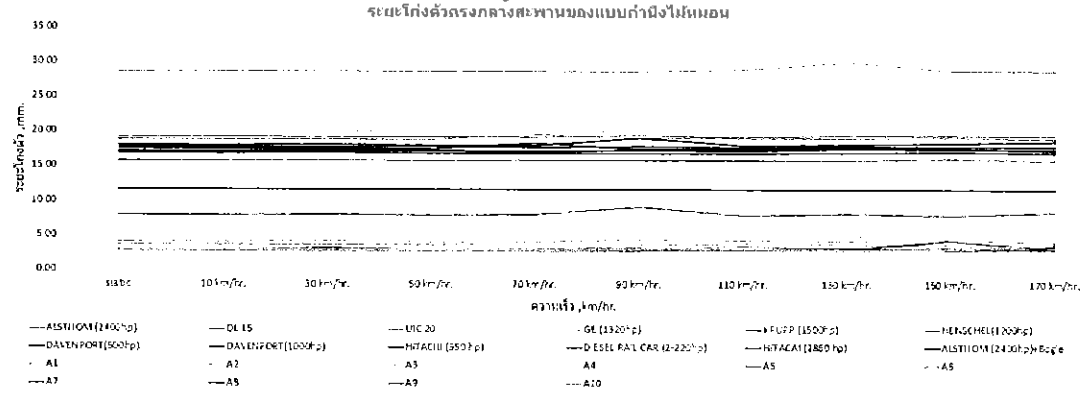
ตารางแสดงชนิดรถไฟที่มีระยะโก่งตัวสูงสุด

| ชนิดรถไฟ | แบบไม่คำนึงไม้หมอน | | แบบคำนึงไม้หมอน | | สัดส่วนความแตกต่าง (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| | ความเร็ว (Km/hr) | ระยะโก่งตัว (mm) | ความเร็ว (Km/hr) | ระยะโก่งตัว (mm) | |
| UIC 20 | 130.00 | 29.95 | 130.00 | 28.90 | 3.50 |

รูปที่ 5-1




รูปที่ 5-2




รูปที่ 5-3

ตารางแสดงระยะโก่งตัวที่ผ่านและไม่ผ่านมาตราฐาน UIC 776-2R แบบไม่คำนึงไม่หมอน

| | static | 10 km/hr. | 30 km/hr. | 50 km/hr. | 70 km/hr. | 90 km/hr. | 110 km/hr. | 130 km/hr. | 150 km/hr. | 170 km/hr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ALSTHOM (2400hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| DL 15 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| UIC 20 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| GE (1320hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| KRUPP (1500hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| HENSCHEL(1200hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| DAVENPORT(500hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| DAVENPORT(1000hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| HITACHI (950 hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| DIESEL RAIL CAR (2-220hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| HITACAI (2860 hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| ALSTHOM (2400hp)+Bogie | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A1 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A2 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A3 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A4 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A5 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A6 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A7 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A8 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A9 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A10 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |

* Y = ผ่าน X = ไม่ผ่าน

รูปที่ 5-4

ตารางแสดงระยะโก่งตัวที่ผ่านและไม่ผ่านมาตราฐาน UIC 776-2R แบบคำนึงไม่หมอน

| | static | 10 km/hr. | 30 km/hr. | 50 km/hr. | 70 km/hr. | 90 km/hr. | 110 km/hr. | 130 km/hr. | 150 km/hr. | 170 km/hr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ALSTHOM (2400hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| DL 15 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| UIC 20 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| GE (1320hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| KRUPP (1500hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| HENSCHEL(1200hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| DAVENPORT(500hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| DAVENPORT(1000hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| HITACHI (950 hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| DIESEL RAIL CAR (2-220hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| HITACAI (2860 hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| ALSTHOM (2400hp)+Bogie | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A1 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A2 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A3 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A4 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A5 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A6 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A7 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A8 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A9 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| A10 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |

* Y = ผ่าน X = ไม่ผ่าน

รูปที่ 5-5

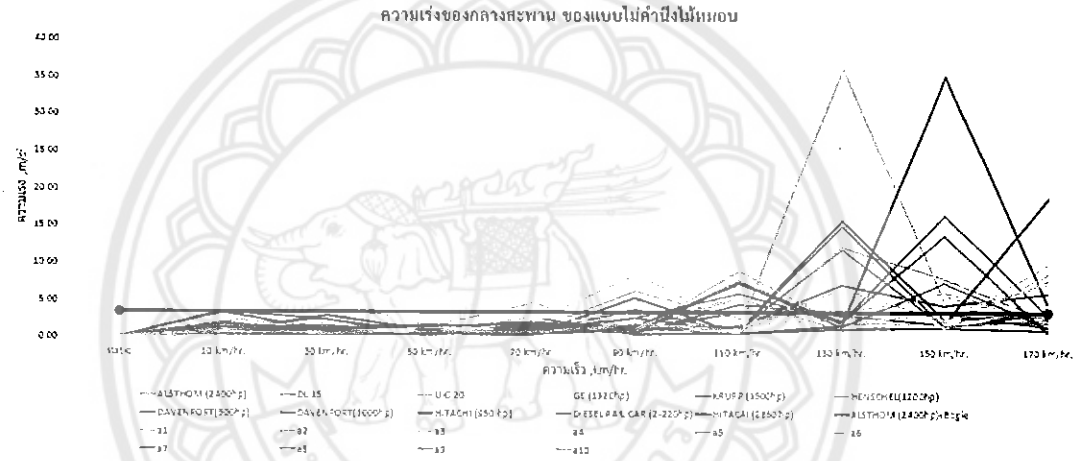
### 5.1.2 ความเร่ง

ความเร่งในแนวดิ่งของสะพานเมื่อมีรถไฟวิ่งผ่านนั้นต้องมีค่าห้ามเกิน 0.35g ( 3.43 $m/s^2$) กับ 0.5g (4.9 $m/s^2$) สำหรับทางวิ่งแบบหินโรยทาง กับ สำหรับทางวิ่งแบบไม่มีหินโรยทาง ตามลำดับ จากมาตรฐาน International Union of Railways, UIC 776-2R จากรูปที่ 5-7 กับ 5-8 พบว่าตั้งแต่ความเร็ว 90 km/hr. เป็นต้นไปจะมีค่าความเร่งตรงการสะพานเกินว่าค่ามาตรฐาน UIC 776-2R ชนิดรถไฟกับความเร็วดังรูปที่ 5-9 กับ 5-10 ส่วนรถไฟที่มีค่าสูงสุดดูดังรูปที่ 5-6

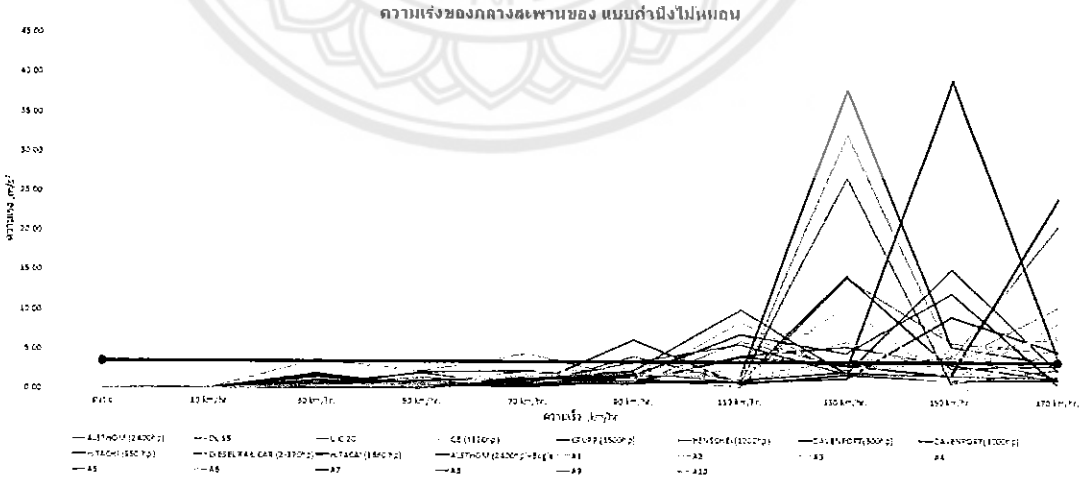
ตารางแสดงชนิดรถไฟที่มีความเร่งสูงสุด

| ชนิดรถไฟ | แบบไม่คำนึงไม้หมอน | | แบบคำนึงไม้หมอน | | สัดส่วนความแตกต่าง |
|---|---|---|---|---|---|
| | ความเร็ว (Km/hr) | ระยะโก่งตัว (mm) | ความเร็ว (Km/hr) | ระยะโก่งตัว (mm) | (%) |
| DAVENPORT(1000hp) | 150.00 | 36.10 | 130.00 | 39.10 | -8.30 |
| HITACHI (950 hp) | 130.00 | 35.02 | 150.00 | 37.86 | -8.10 |

รูปที่5-6




รูปที่ 5-7




รูปที่ 5-8

**ตารางแสดงความเร่งที่ผ่านและไม่ผ่านมาตราฐาน UIC 776-2R แบบไม่คำนึกไม้หมอน**

| | static | 10 km/hr. | 30 km/hr. | 50 km/hr. | 70 km/hr. | 90 km/hr. | 110 km/hr. | 130 km/hr. | 150 km/hr. | 170 km/hr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ALSTHOM (2400hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | | Y |
| DL 15 | Y | Y | Y | Y | | Y | | Y | Y | Y |
| UIC 20 | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | | | Y |
| GE (1320hp) | Y | Y | | Y | Y | Y | Y | | | |
| KRUPP (1500hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | Y | Y |
| HENSCHEL(1200hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | Y | Y |
| DAVENPORT(500hp) | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | Y | Y | Y |
| DAVENPORT(1000hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | |
| HITACHI (950 hp) | Y | | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | |
| DIESEL RAIL CAR (2-220hp) | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | | Y | Y |
| HITACAI (2860 hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | Y | |
| ALSTHOM (2400hp)+Bogie | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | | |
| A1 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | Y | |
| A2 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | Y | |
| A3 | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | | Y | |
| A4 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | |
| A5 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | Y |
| A6 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y |
| A7 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | | Y |
| A8 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | | Y |
| A9 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | | Y |
| A10 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | |

* Y = ผ่าน X = ไม่ผ่าน

รูปที่ 5-9

**ตารางแสดงความเร่งที่ผ่านและไม่ผ่านมาตราฐาน UIC 776-2R แบบคำนึงไม้หมอน**

| | static | 10 km/hr. | 30 km/hr. | 50 km/hr. | 70 km/hr. | 90 km/hr. | 110 km/hr. | 130 km/hr. | 150 km/hr. | 170 km/hr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ALSTHOM (2400hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | | |
| DL 15 | Y | Y | | Y | | Y | | Y | | |
| UIC 20 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | |
| GE (1320hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | | |
| KRUPP (1500hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | | Y | Y |
| HENSCHEL(1200hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | | Y |
| DAVENPORT(500hp) | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | Y | Y | Y |
| DAVENPORT(1000hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | |
| HITACHI (950 hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | | Y |
| DIESEL RAIL CAR (2-220hp) | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | | Y | Y |
| HITACAI (2860 hp) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | Y | |
| ALSTHOM (2400hp)+Bogie | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | |
| A1 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | | |
| A2 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | | |
| A3 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | |
| A4 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | |
| A5 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | Y |
| A6 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | Y |
| A7 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | | | Y |
| A8 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y | Y | Y |
| A9 | Y | Y | Y | Y | Y | | | Y | | Y |
| A10 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | | |

*Y = ผ่าน X = ไม่ผ่าน

รูปที่ 5-10

**สรุป**

พบว่าการความเร็วรถไฟตั้งแต่ 90 Km/hr. ขึ้นไป นั้นทำให้สะพานมีความเร่งสูงกว่าค่ามาตรฐาน International Union of Railways, UIC 776-2R จึงอาจจส่งผลให้เกิดความอันตรายต่อโครงสร้างและการสั่นของตัวรถไฟ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ถ้าทางการรถไฟแห่งประเทศไทยจะเพิ่มความเร็วของให้มากกว่า 90 km/hr. ขึ้นไปต้องคำนึงถึงอันตรายจากการสั่นของตัวสะพานเมื่อมีรถไฟวิ่งผ่านต่อตัวโครงสร้างของตัวสะพานและการสั่นของตัวรถไฟ

# เอกสารอ้างอิง

UIC 776-2R

ทวี ทองปาน .(2544). สะพานไฟของ ร.ฟ.ท.

Raimundo Delgado & Rui Calcada.(2009). Dynamics of High-Speed Railway Bridges.

New York: CRC Press/Balkema

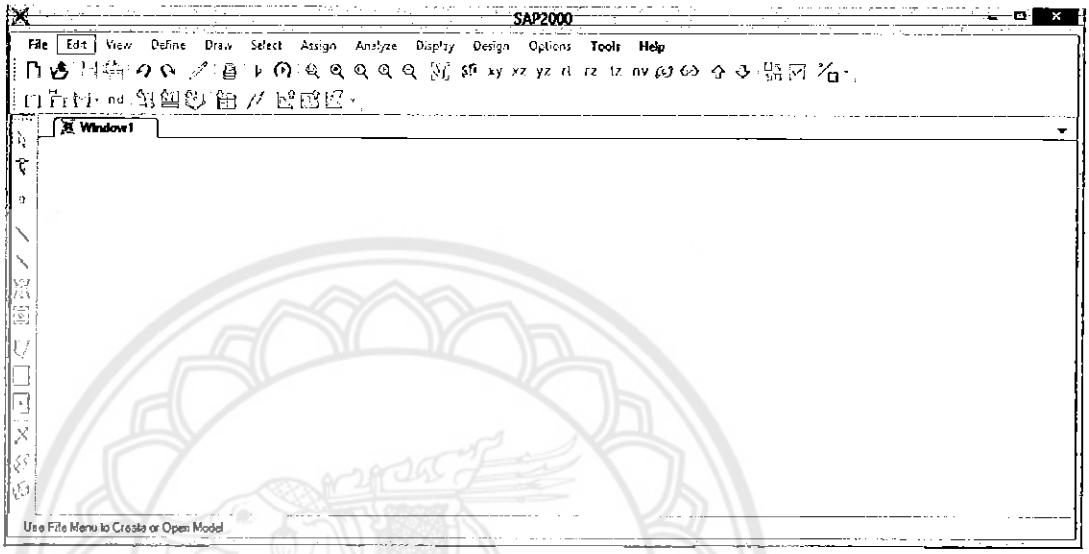
# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

## การสร้างโมเดลโดยใช้โปรแกรม Sap2000

ขั้นตอนที่ 1. สร้างโมเดล

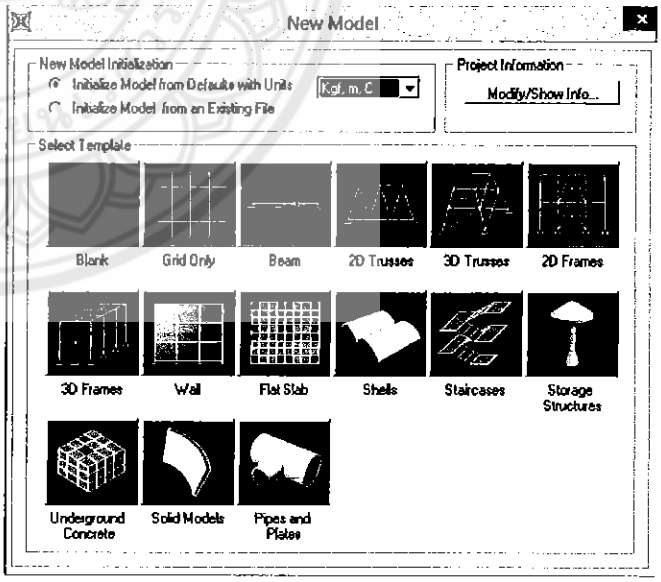
กดไอคอนของโปรแกรมขึ้นมา จะปรากฏหน้าต่างของโปรแกรมดังรูปที่ ก-1




รูปที่ ก-1

เมื่อขึ้นหน้าต่างของโปรแกรมแล้วกด NEW MODEL... ( ) เพื่อสร้างงานใหม่ จะมีหน้าต่างดังรูปที่ ก-2 ในหน้าต่างนี้เป็นการเลือก หน่วย และมีการสร้างแบบสำเร็จรูปแบบอื่น ที่โปรแกรมจัดทำมาให้ง่ายต่อการสร้างแบบจำลอง

แต่เราจะสร้างแบบจำลองโดยการวาดเอง โดยใช้Grid Only เพื่อสร้างแบบจำลอง

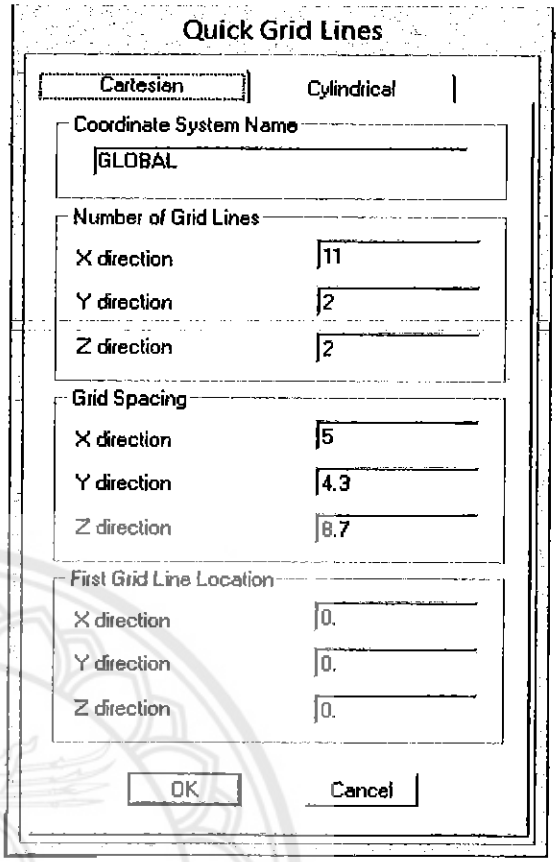



รูปที่ ก-2

เมื่อเราเลือก Grid Only จะมีหน้าต่างดังรูปที่ ก-3 จะเห็นว่ามีการตั้งค่าของเส้นระดับที่เราจะสร้างขึ้นมาปรากฏขึ้น มีทั้งหมด 3 กรอบใหญ่แต่ละกรอบมี 3 ตัวที่ให้ใส่ค่า

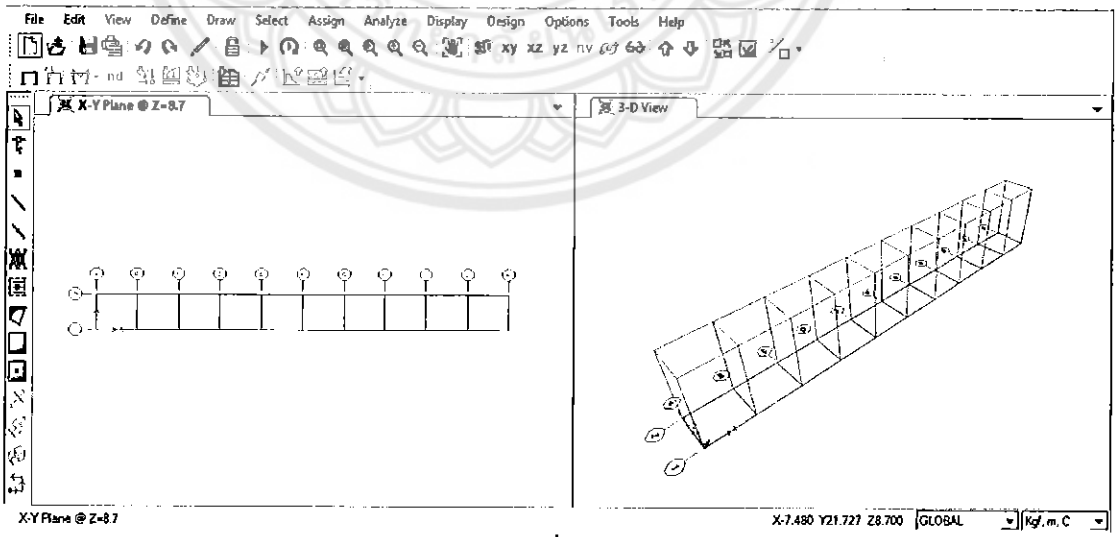
กรอบที่1 Number of Grid Lines การบอกจำนวนเส้นระดับตามแกน เช่น ให้ X=11 คือให้มีเส้นระดับในแกนX มี 11 เส้น

กรอบที่ 2 Grid Spacing บอกระยะหางของแต่ระเส้นระดับในแต่ละแกน เช่น ให้แกน X=5 คือให้เส้นในแกน X มีความห่างกัน 5 หน่วย ตามหน่วยที่เราตั้งขั้นต้น




รูปที่ ก-3

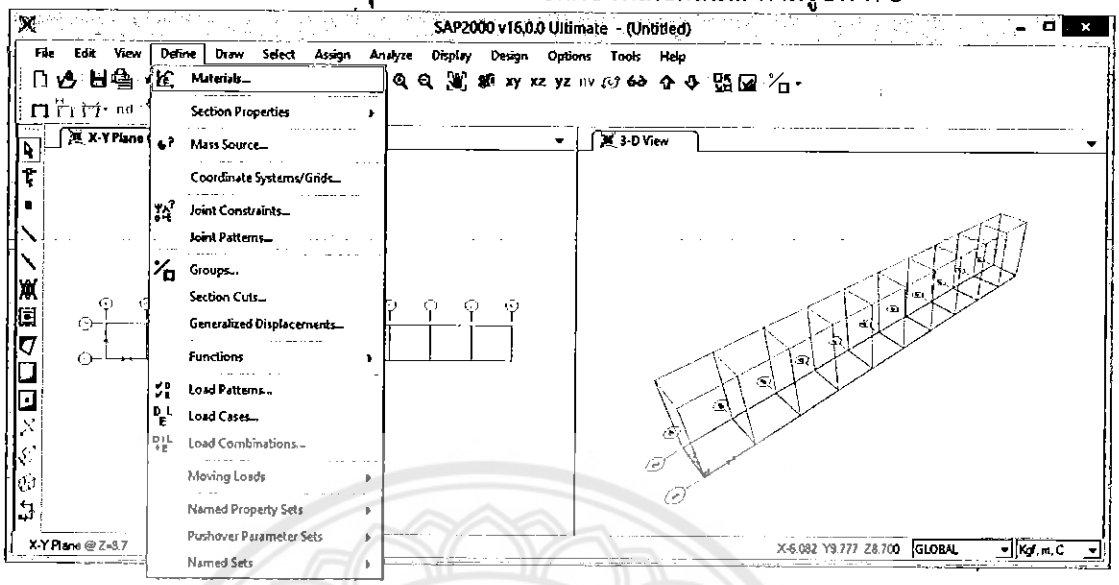
เมื่อกำหนดของเส้นระดับตามรูปที่ ก-3 แล้วเราจะได้ รูปเส้นระดับตาม รูปที่ ก-4




รูปที่ ก-4

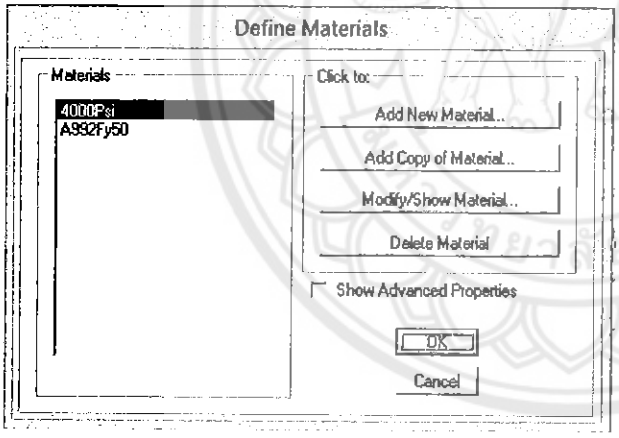
ขั้นตอนที่ 2. กำหนดวัสดุ และหน้าตัดของชิ้นโครงสร้าง

2.1 กำหนดวัสดุได้โดย เลือก Define-Materials... ตามรูปที่ ก-5

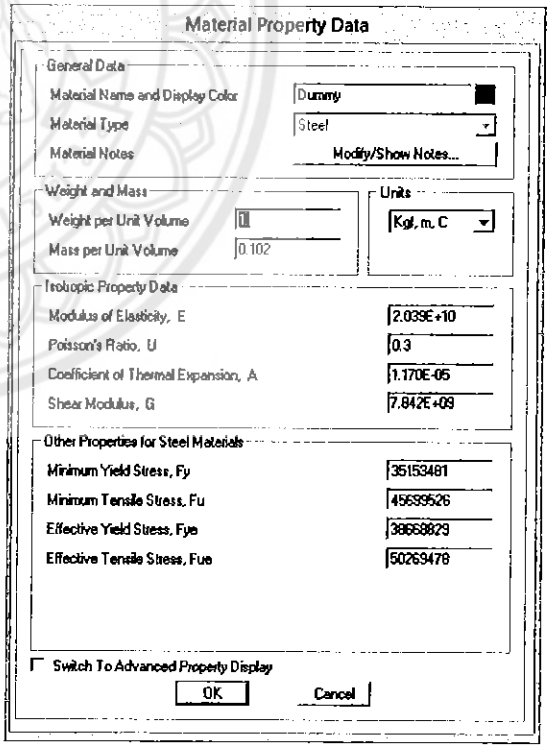



รูปที่ ก-5

จะขึ้นหน้าต่างดังรูปที่ ก-6กด Add New Material.. เพื่อกำหนดคุณสมบัติให้ ตรงกับวัสดุที่เราต้องการดังรูปที่ ก-7

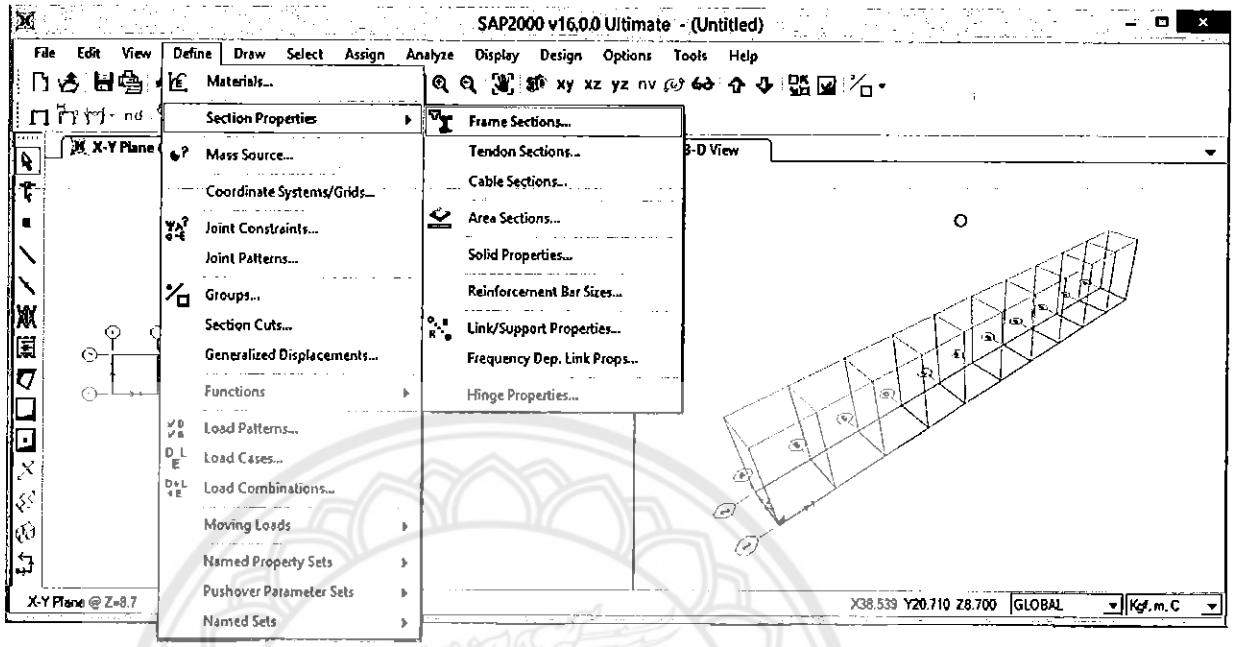



รูปที่ ก-6



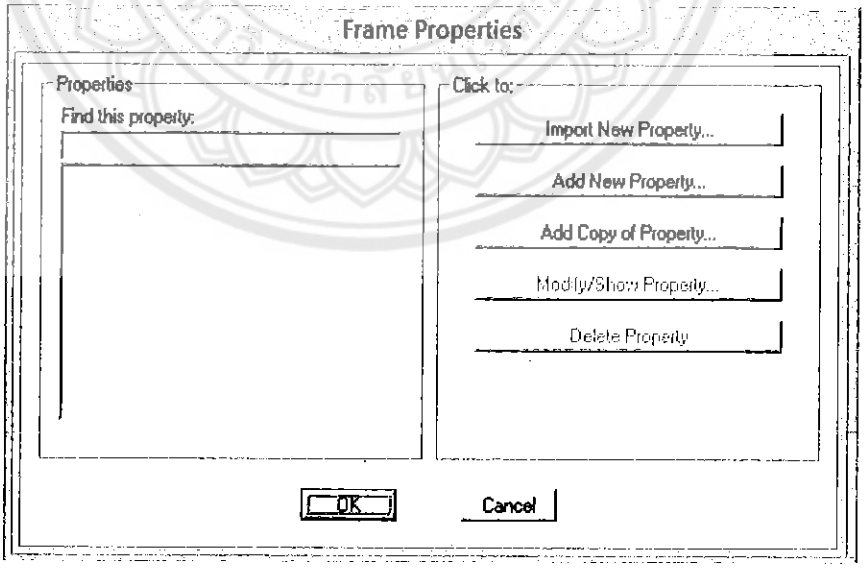

รูปที่ ก-7

2.2 สร้างหน้าตัดของโครงสร้าง กด Define→Section Properties→Frame Sections...ดังรูปที่ ก-8



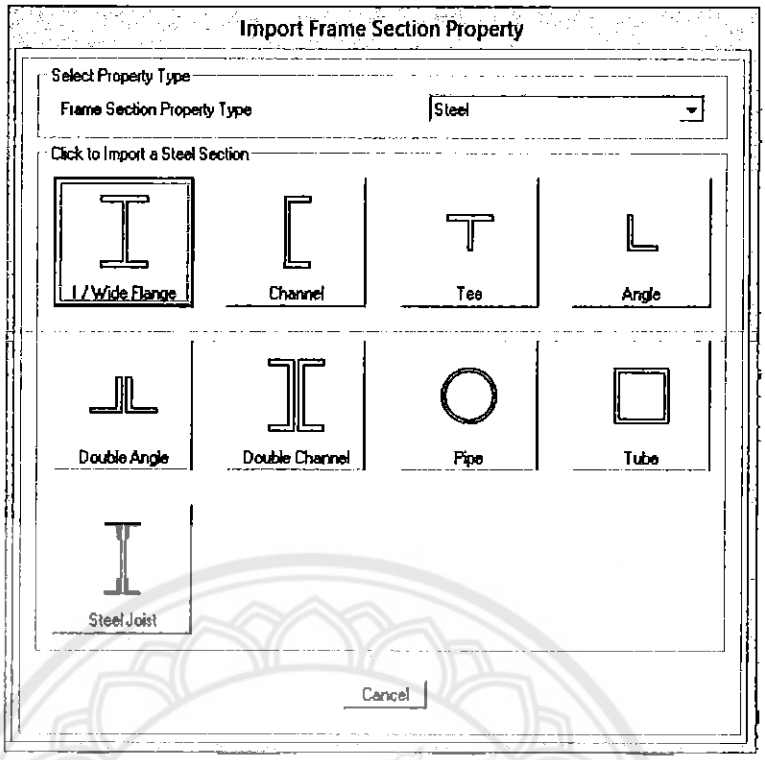

รูปที่ ก-8

เมื่อได้ เข้า Frame Sections ก็จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ ก-9 แล้วเราก็**สร้างหน้าตัดใหม่โดยสร้**างหน้าตัดเองกด Add New Property ก็จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ ก-10

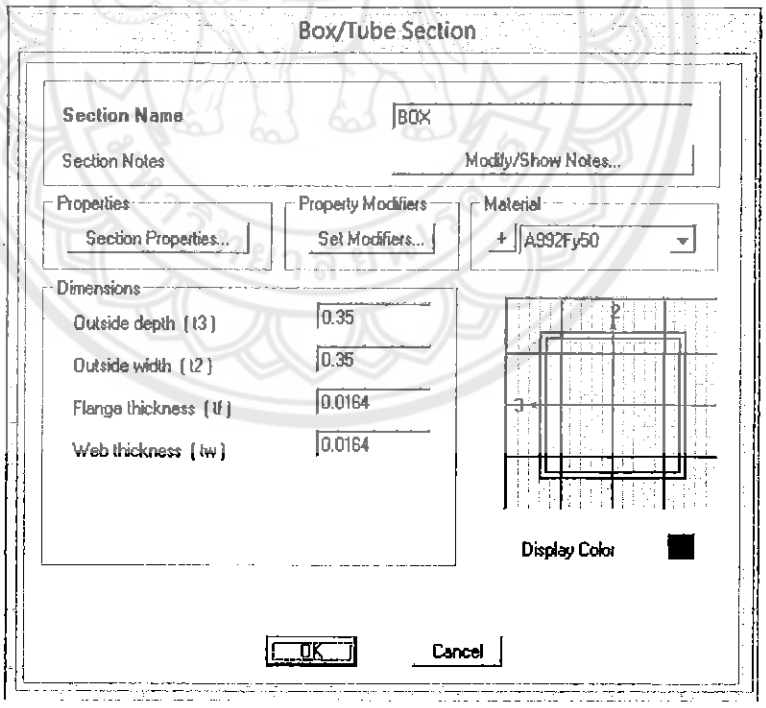



รูปที่ ก-9

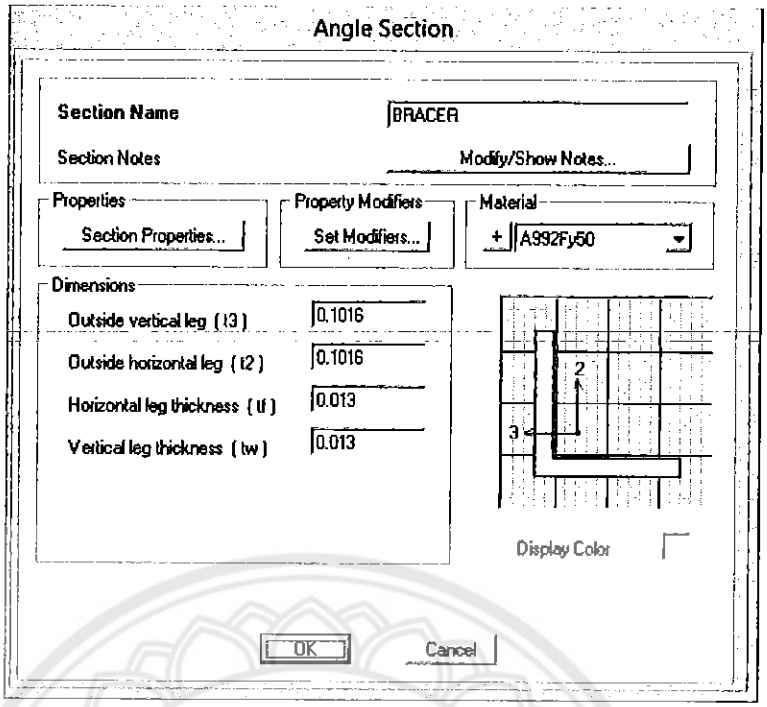
**ในรูปที่ ก-10 เราสามารถสร้างหน้าตัดต่างๆ ได้ตามโปรแกรมสร้างหน้าตัดมาโดยเราเลือกหน้าตัดที่ต้องการแล้วไปตั้งค่าของขนาดหน้าตัดเองได้ หรือจะหน้าตัดเองได้เมื่อไม่มีหน้าตัดที่ต้องการ**



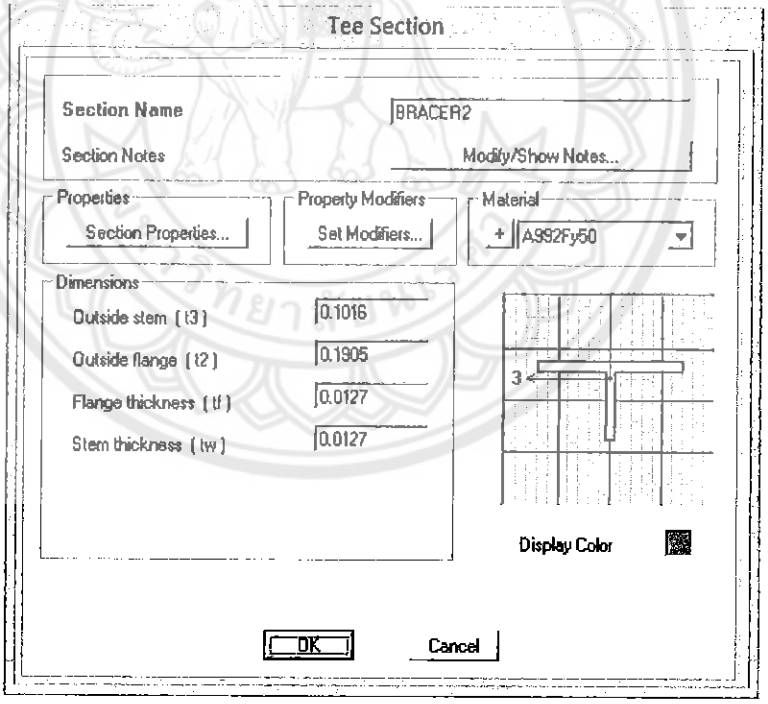

รูปที่ ก-10



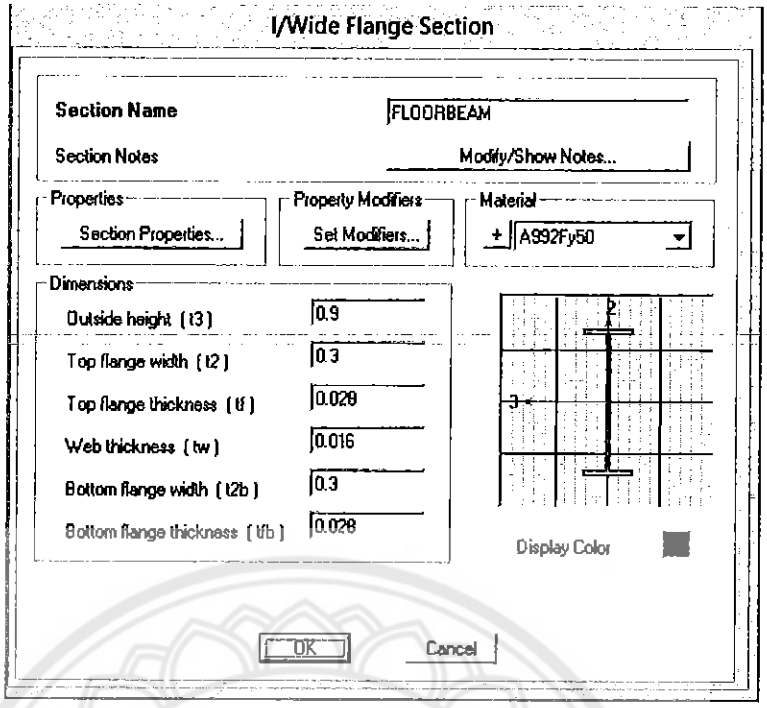

รูปที่ ก-11



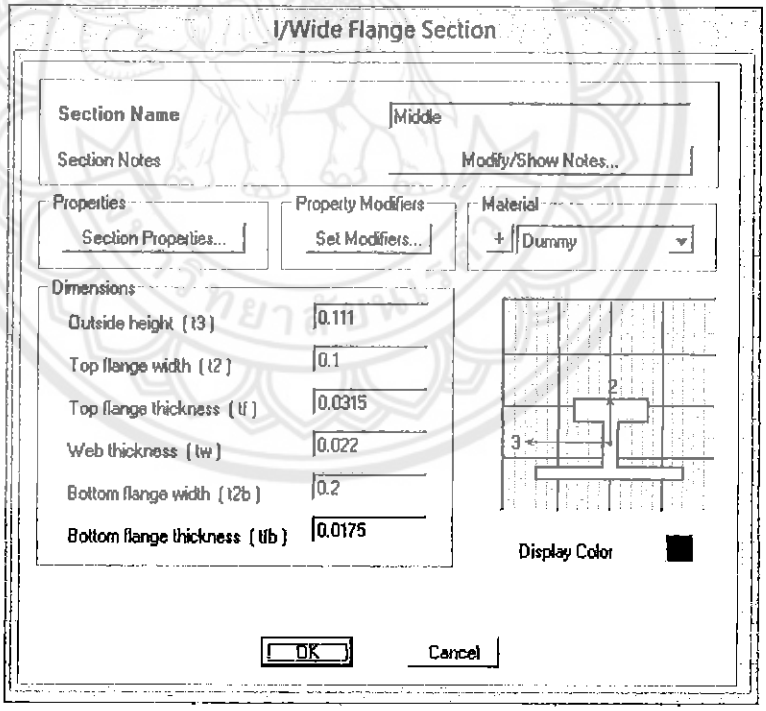

รูปที่ ก-12



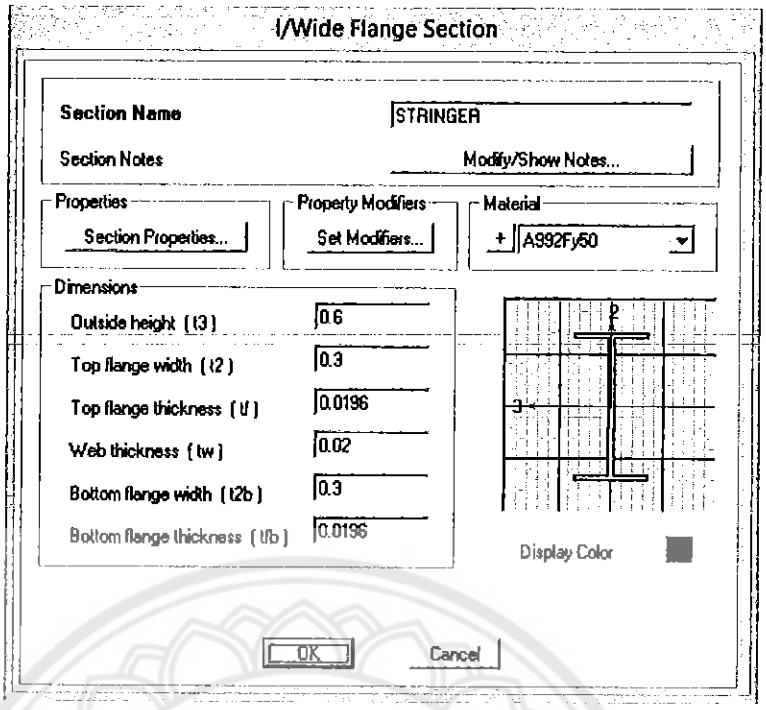

รูป ก-13



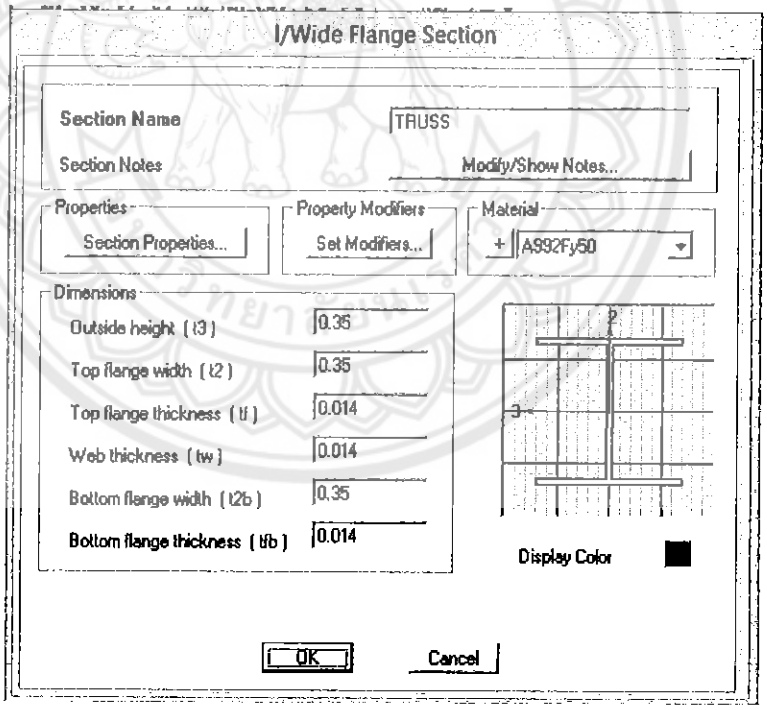

รูปที่ ก-14



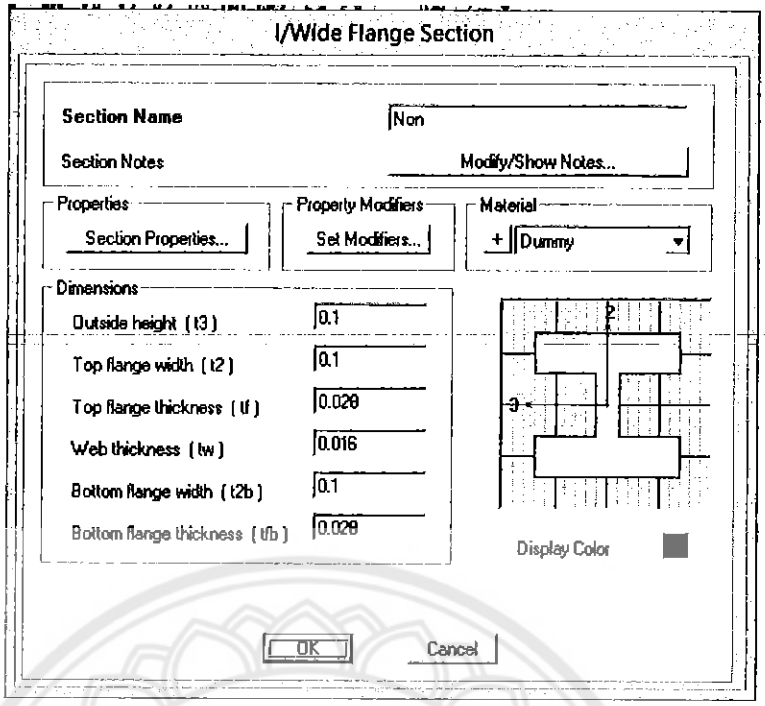

รูปที่ ก-15



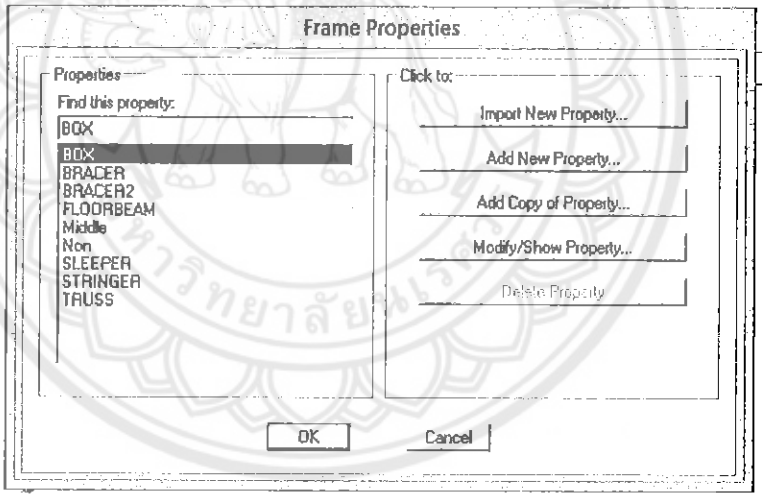

รูปที่ ก-16




รูปที่ ก-17




รูปที่ ก-18

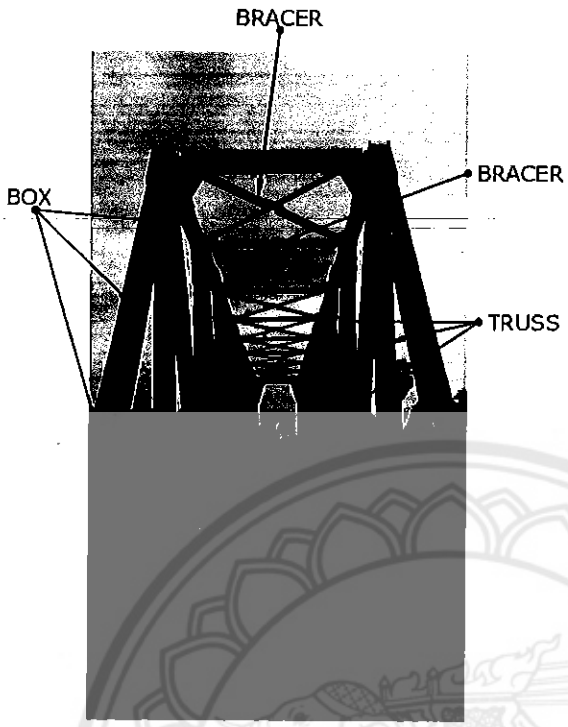


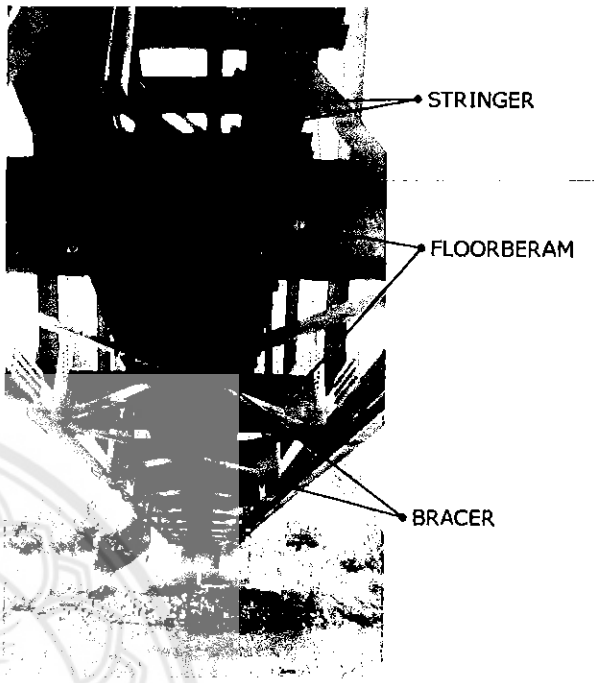

รูปที่ ก-19

เมื่อเราสร้างหน้าตัดที่ต้องการตามโครงสะพานที่เราสำรวจมาดังรูปที่ ก-12 , ก-13 , ก-14 , ก-16 , ก-17 , ก-18 , ก-19 เมื่อได้มาแล้วก็จะปรากฏชื่อของหน้าตัดต่างๆ ดังรูปที่ ก-21 แล้วกด OK (หน้าตัด Non ( รูปที่ ก-15 ) เป็นหน้าตัดที่สร้างขึ้นมาเพื่อถ่ายแรงเท่านั้น เพราะโปรแกรม Sap2000 วิเคราะห์ได้แค่ให้น้ำหนักของรถไฟวิ่งได้ เส้นเดียว แต่ในความจริงรถไฟจะวิ่งบนราง โดยมีรางคู่ขนานกันไป จึงทำให้ต้องสร้างทางวิ่งไว้ตรงกลางระหว่างราง โดยทำแค่ถ่ายแรงแต่ไม่มีน้ำหนัก และไม่รับโมเมนต์ (เหมือนไม่มีตัวตน)

ขั้นตอนที่ 3 วาดโมเดลสะพาน

สำรวจสะพานว่าชิ้นส่วนไหนอยู่ที่ไหน บ้าง ดังรูปที่ ก-21 , ก-22 , ก-23

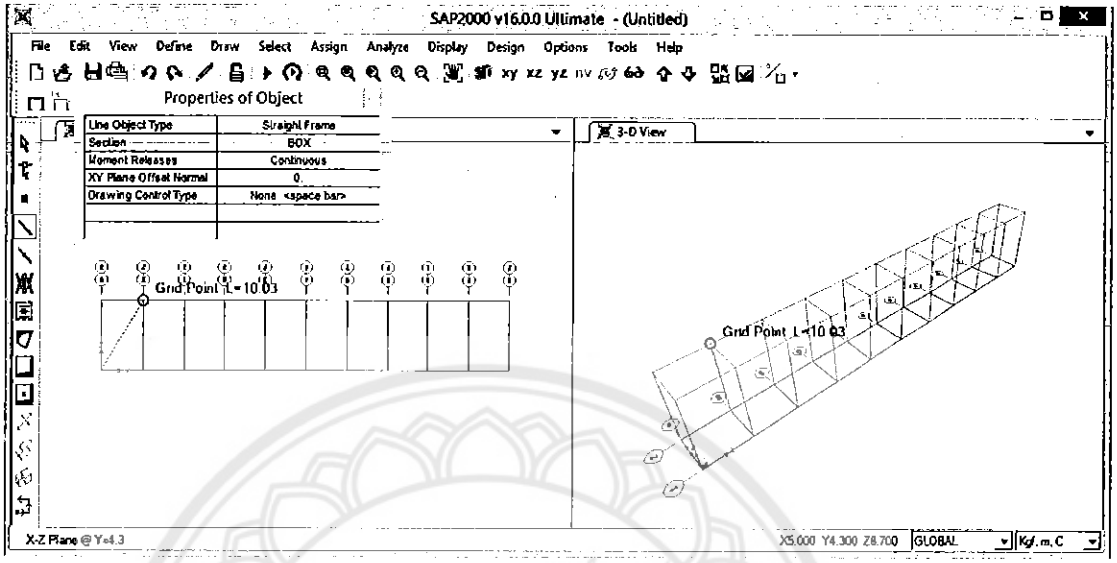


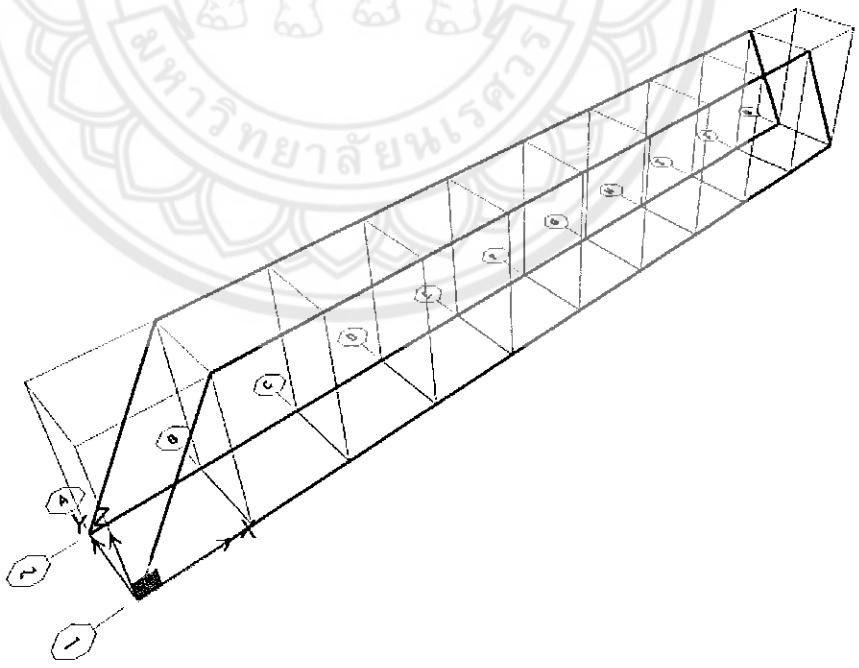

รูปที่ ก-22รูปที่ ก-21

รูปที่ ก-23

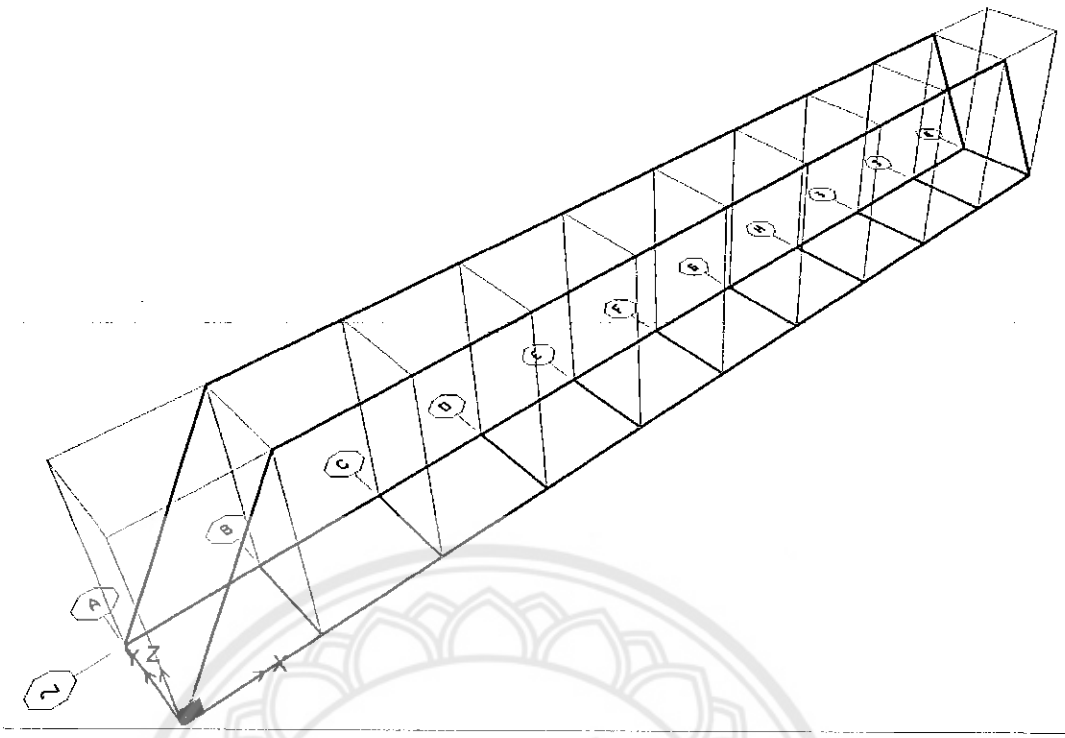
วิธีวาด กด เพื่อวาดเส้น จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ ก- 24 แล้วเลือกหน้าตัดของชิ้นส่วนที่จะวาด ที่ Section เพื่อเลือกหน้าตัดที่จะวาดตามตำแหน่งของแต่ระชิ้นส่วนรูป ก-24



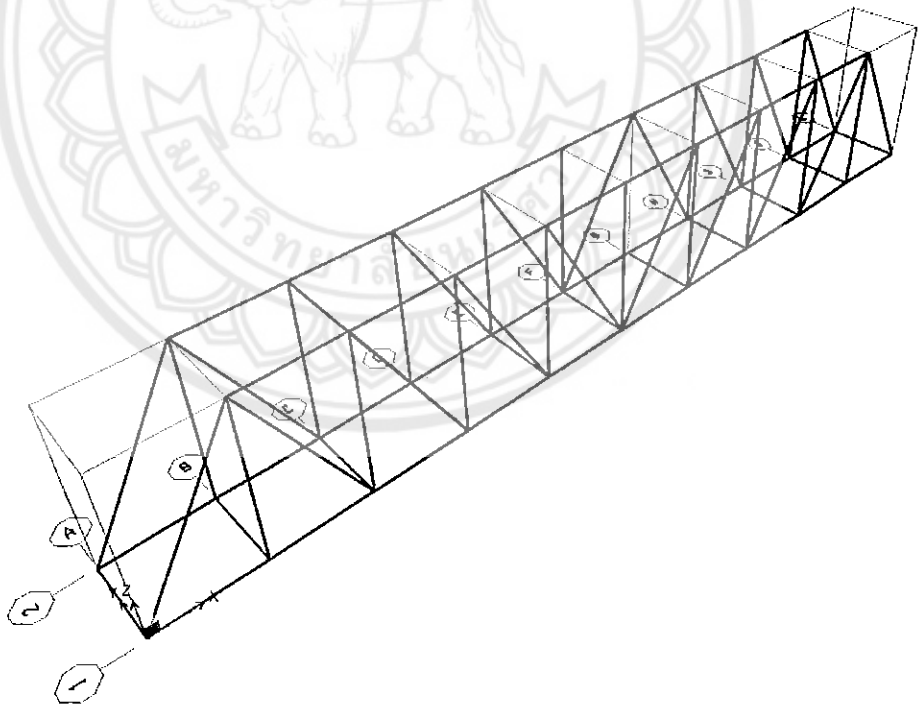

รูปที่ ก-24



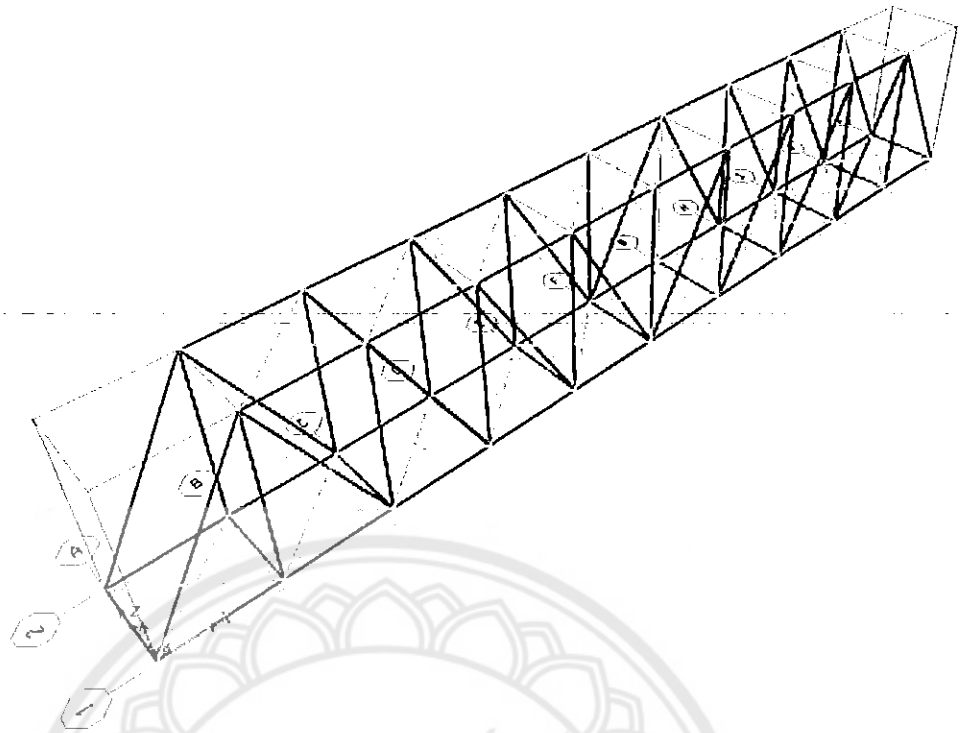
รูปที่ ก-25 (BOX)



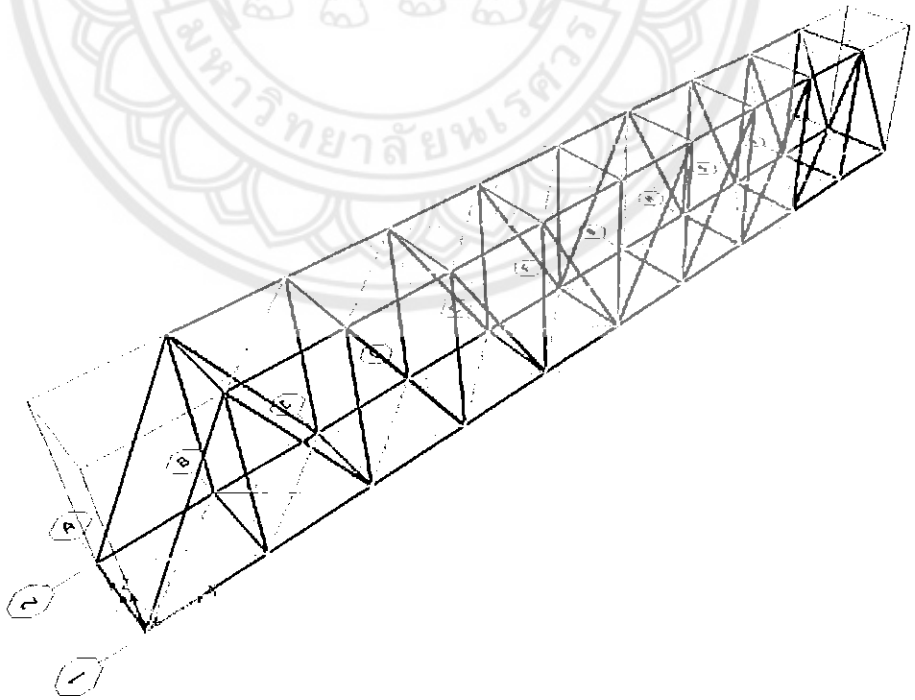
รูปที่ ก-26 (FOORBEAM)



รูปที่ ก-27 (TRUSS)

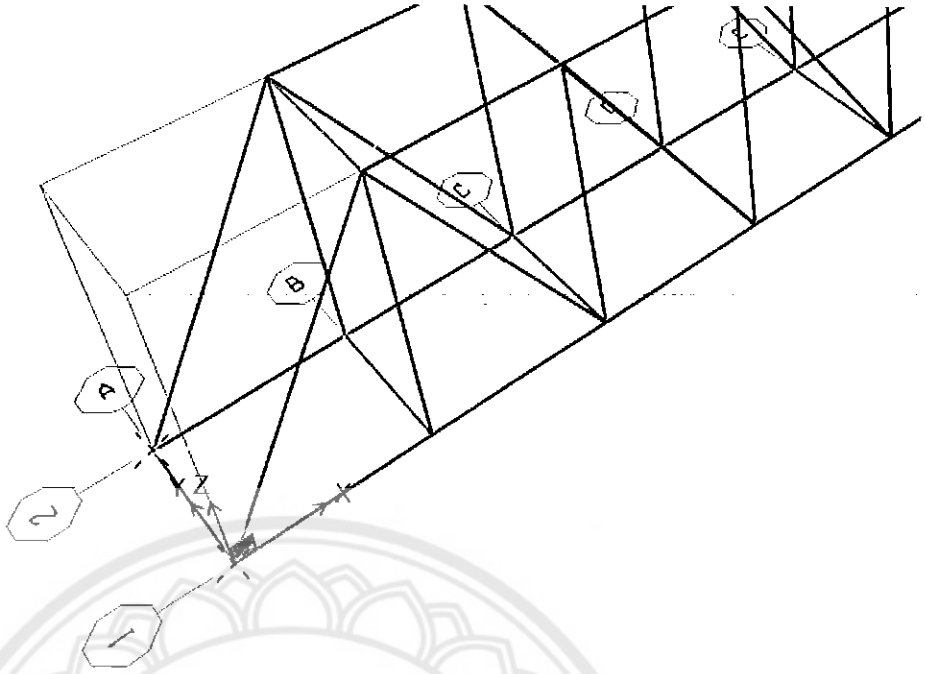


รูปที่ ก-28 (BRACER)



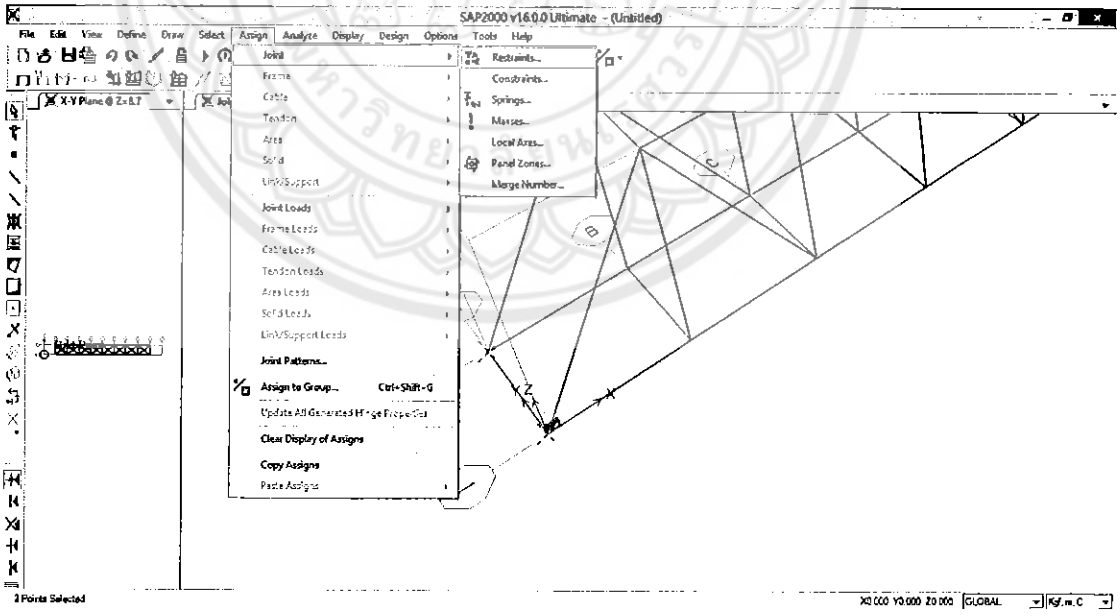
รูปที่ ก-29 (BRACER2)

กำหนดSupport ของสะพาน เริ่มแรกกดจุดที่ต้องการจะใส่ Supportดังรูปที่ ก-30

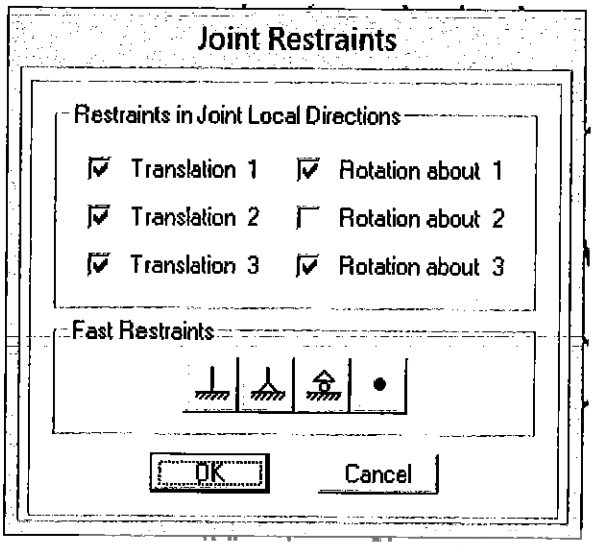



รูปที่ ก-30

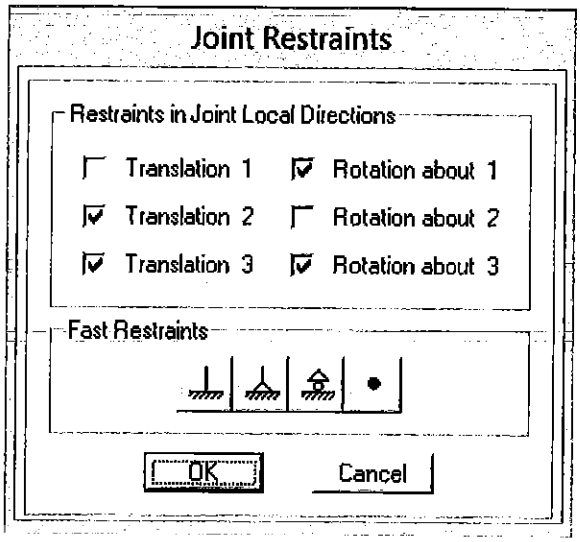
แล้วเข้าไปเลือก Assign→Joint→Restraints... รูปที่ ก-31 เมื่อกดไปแล้วจะปรากฏหน้าต่างในรูป ก-32 แล้วเลือกคุณสมบัติของHinge Supportดังรูปที่ ก-32 และRoller Supportดังรูปที่ ก-33




รูปที่ ก-31

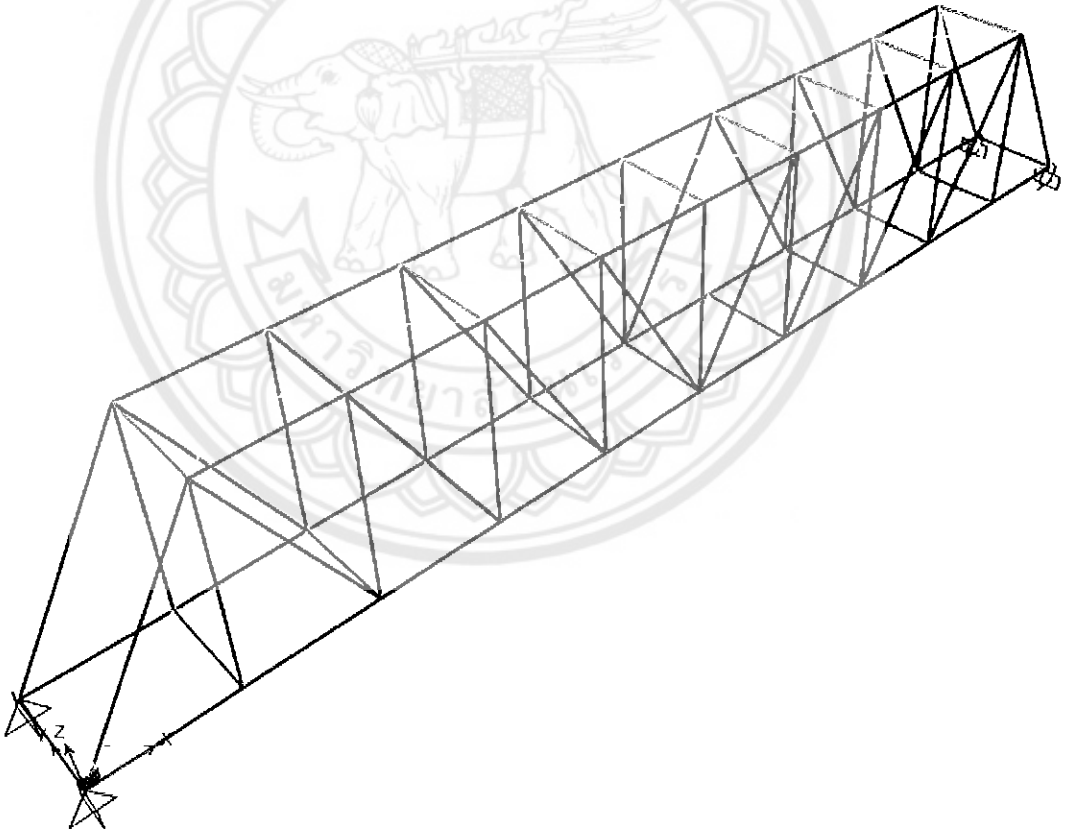



รูปที่ ก-32



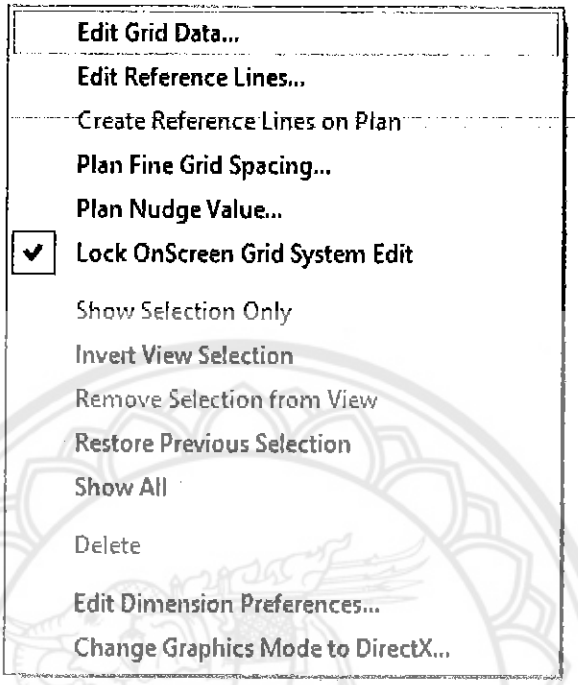

รูปที่ ก-33

**เมื่อใส่** Support แล้วจะเป็นดังรูปที่ ก-34

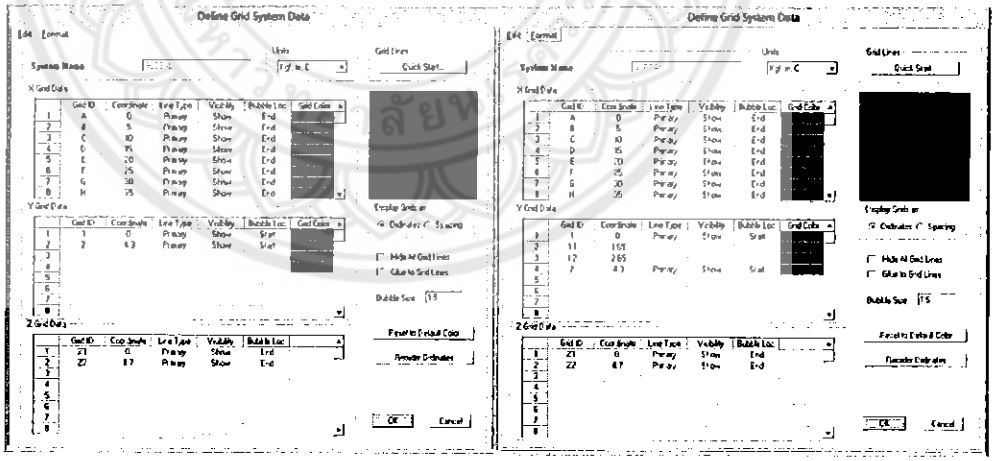



รูปที่ ก-34

ใส่ STRINGER เนื่องจากเราไม่ได้กำหนดเส้นระดับที่จะวาด STRINGER ได้เราจึงต้องสร้างเส้นระดับเพื่อเอามาวาด STINGER โดยการคลิ้กขาวในหน้าจอ Sap 2000 จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ ก-35แล้วเลือกคำสั่ง Edit Grid Data เพื่อเพิ่มเส้นระดับที่จะวาด STINGER ดังรูปที่ ก-36

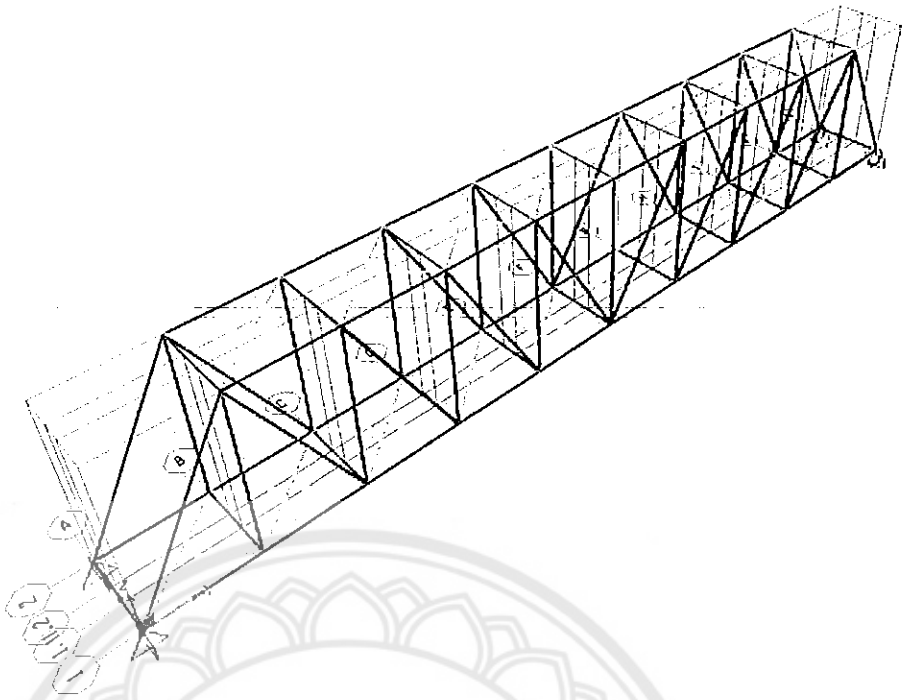



รูปที่ ก-35

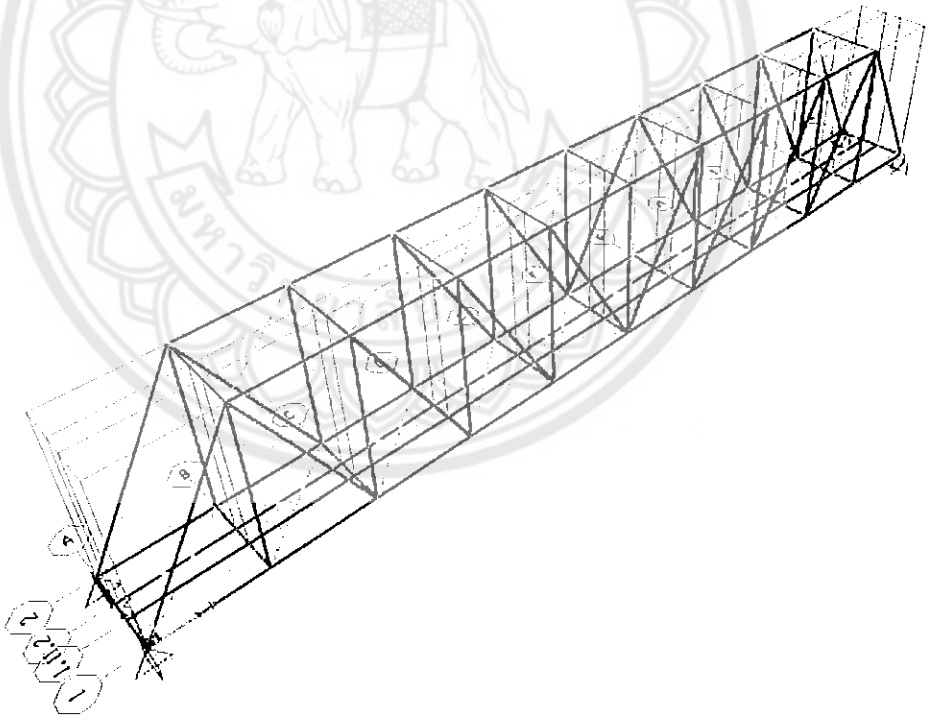


รูปที่ ก-36 (ซ้ายก่อนแก้ ขาวหลังแก้)

เมื่อกด OK แล้วก็จะได้ ดังรูป ก-37 จะเห็นว่ามีเส้นระดับเพิ่มมา แล้วก็วาด STINGER เหมือนข้างต้น เมื่อวาดเสร็จ ก็จะได้ดังรูปที่ ก-38



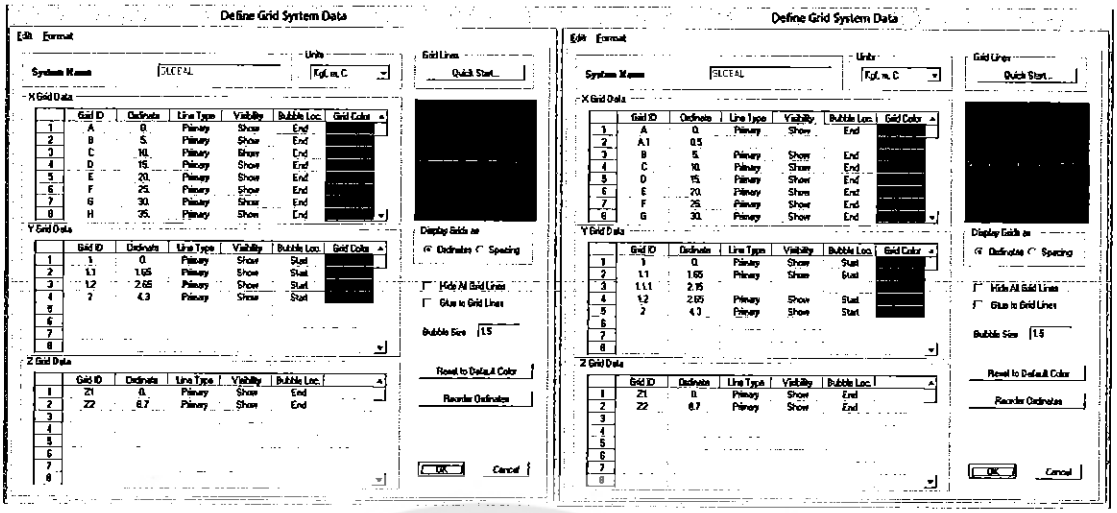
รูปที่ ก-37



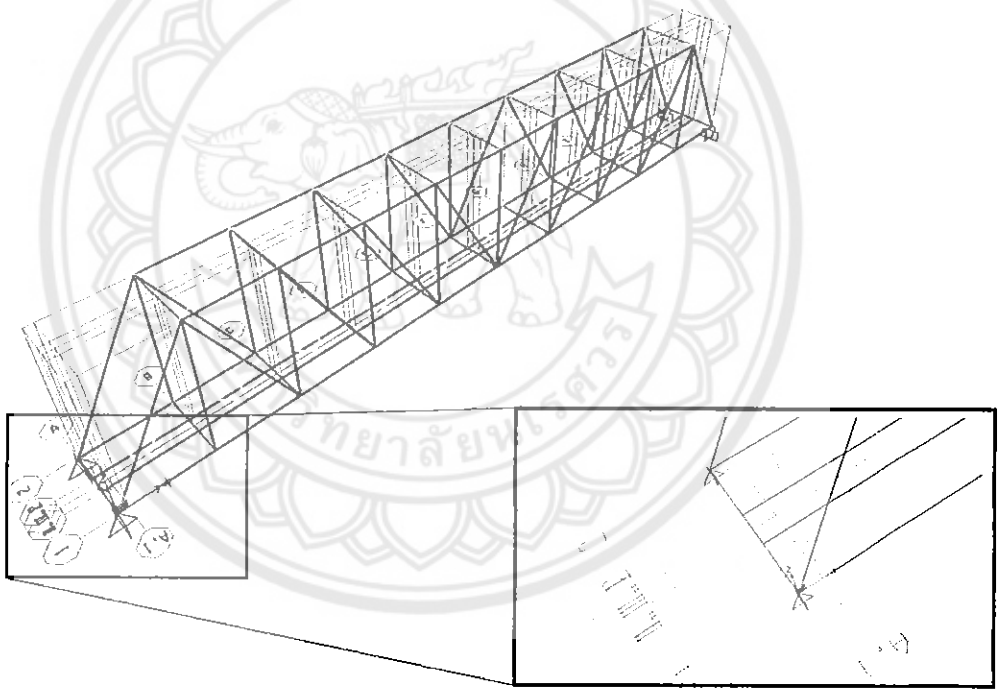
รูปที่ ก-38

ขั้นตอนที่ 4 จำลองทางวิ่งของแบบจำลองแบบไม่มีราง

เริ่มต้นต้องสร้างทางวิ่งที่รถไฟวิ่ง ไว้ตรงกลางระหว่างราง แล้วสร้างเส้นที่ถ่ายแรงเข้าสู่ตัวสะพานทุกระยะ50 ซม. ดังนั้นเริ่มแรกต้องสร้างเส้นระดับที่จะวาดเส้นทางวิ่งและเส้นที่วาดเส้นถ่ายแรง แก้ไขเส้นระดับดังรูปที่ ก-39 แล้วกด OK ก็จะได้เส้นระดับดังรูปที่ ก-40

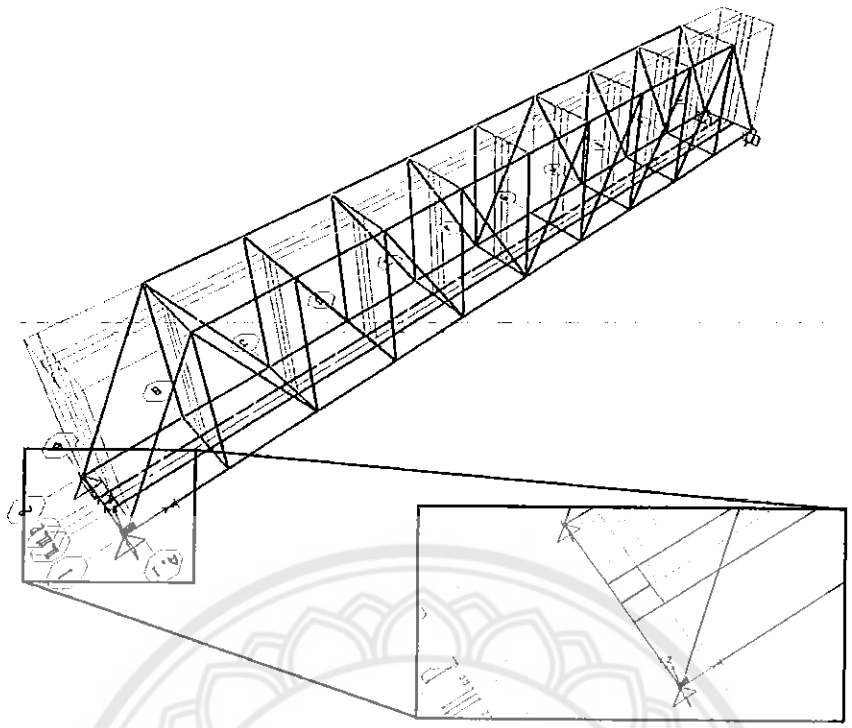



รูปที่ ก-39 (ขวาก่อน ซ้ายหลัง)

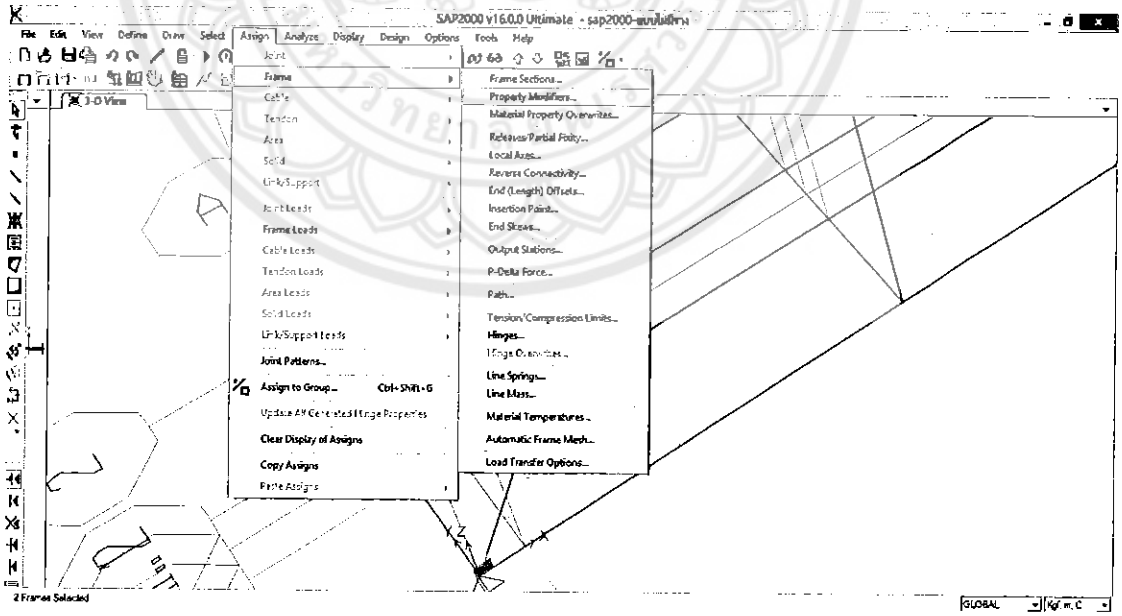


รูปที่ ก-40

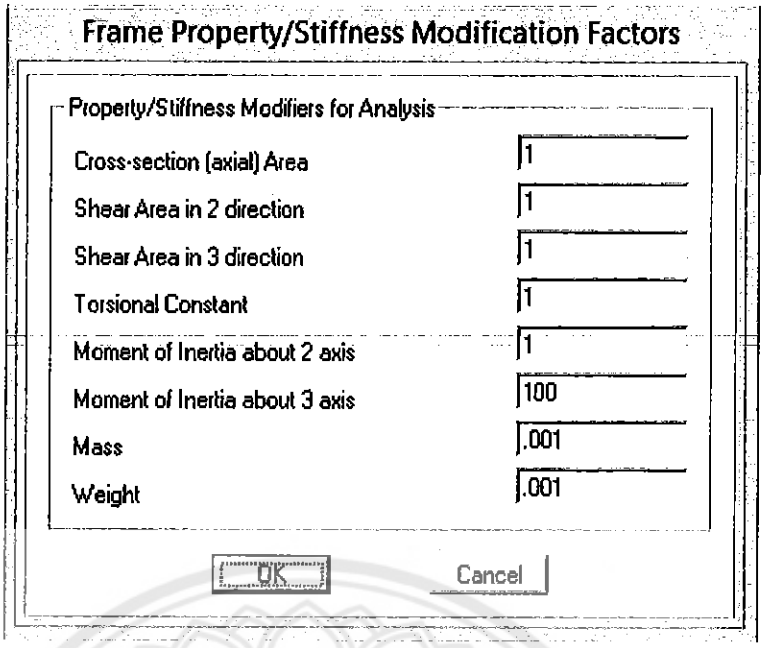
เมื่อสร้างเส้นระดับแล้วก็วาดเส้นของทางวิ่งรถไฟและตัวถ่ายแรง โดยใช้หน้าตัด Middle และ Non ตามลำดับ ของรถไฟสู่สะพานดังรูปที่ ก-41 เมื่อเสร็จแล้วก็มี หน้าตัดของ Middle และ Non ก็ทำให้ชิ้นส่วน Non ไม่มีผลมีผลต่อสะพานโดยให้มีน้ำหนักน้อยที่สุดและไม่มีการแอ่นตัวของชิ้นส่วนหน้าตัด Non โดนให้เลือกชิ้นส่วนที่ต้องการ แล้วกด Assign→Frame→Property Modifiers...ดังรูปที่ ก-42 แล้วกำหนดค่าตามรูปที่ ก-43 แล้วกด OK



รูปที่ ก-41

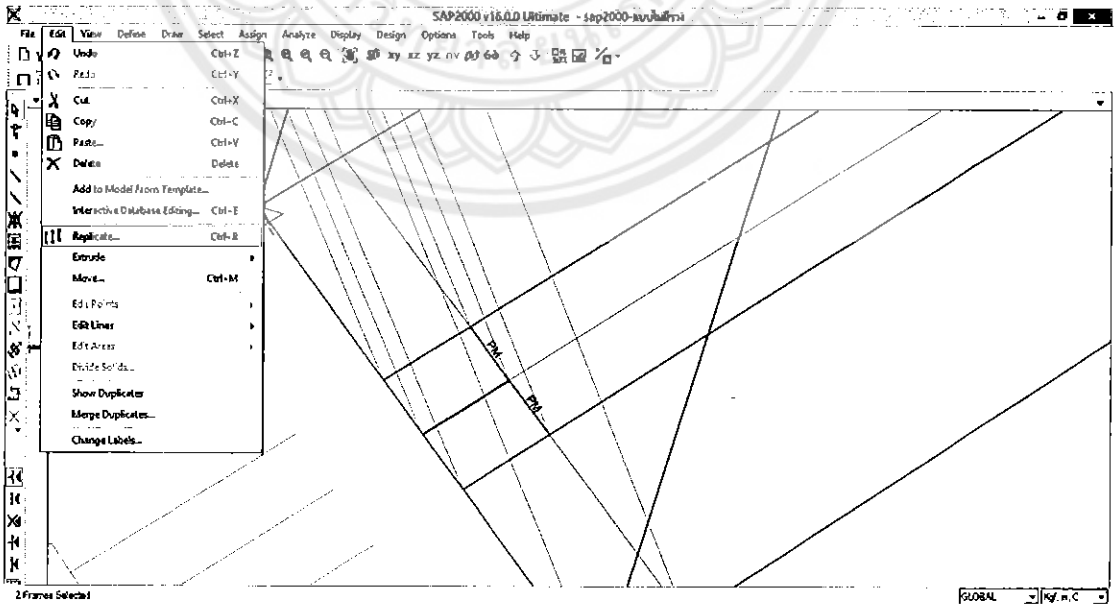



รูปที่ ก-42

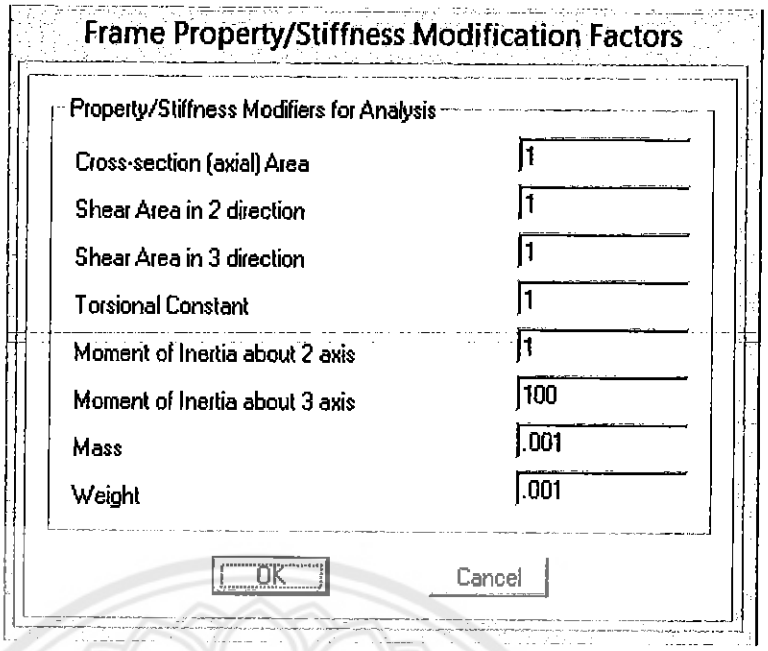



รูปที่ ก-43

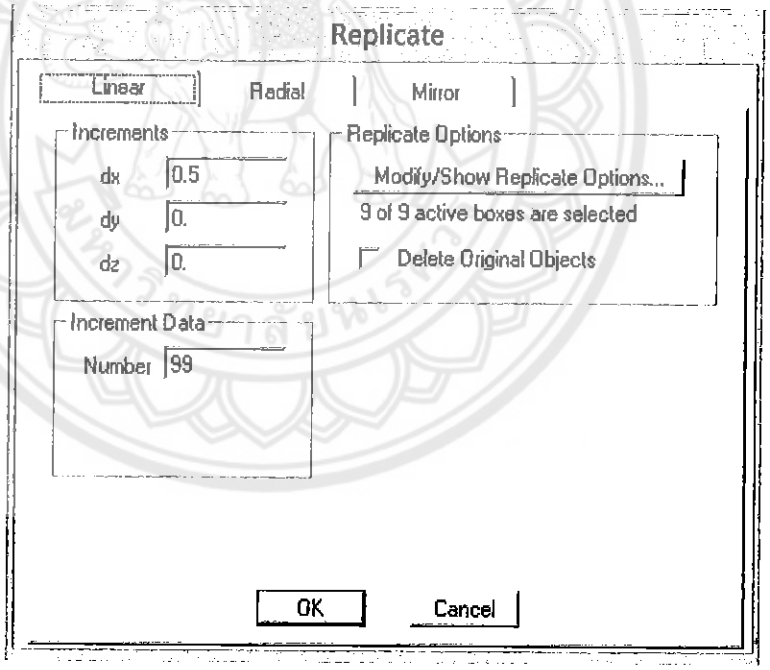
เมื่อตั้งค่าข้างต้นเสร็จแล้วก็ทำให้เส้นของทางวิ่งรถไฟและตัวถ่ายแรง ให้มีเต็มทั่วสะพานโดยเลือก แล้วกด Edit→Replicate...ดังรูปที่ ก-44 จะปรากฏหน้าตาดังรูปที่ ก-45 ในช่องแรงคือ Increments คือระยะห่างในแต่ระแกนโดยนับจากวัตถุที่เลือก ดังนั้นจึงใส่ในช่อง dx = 0.5 ส่วน Increment Data คือจำนวนที่จะคัดลอกว่าจะมีกี่ชิ้นส่วน ดั้งนั้นจึงใส่ 99 (สะพานยาว 50 ม. ชิ้นส่วนห่างกัน 0.5 ม. จะได้ 50x0.5 = 100 แล้ว ลบ 1 คือไม่คิดตัวต้นแบบ จึงได้ 100-1 = 99 ) ดังรูป ก-46 กด OK จะได้ ดังรูปที่ ก-47



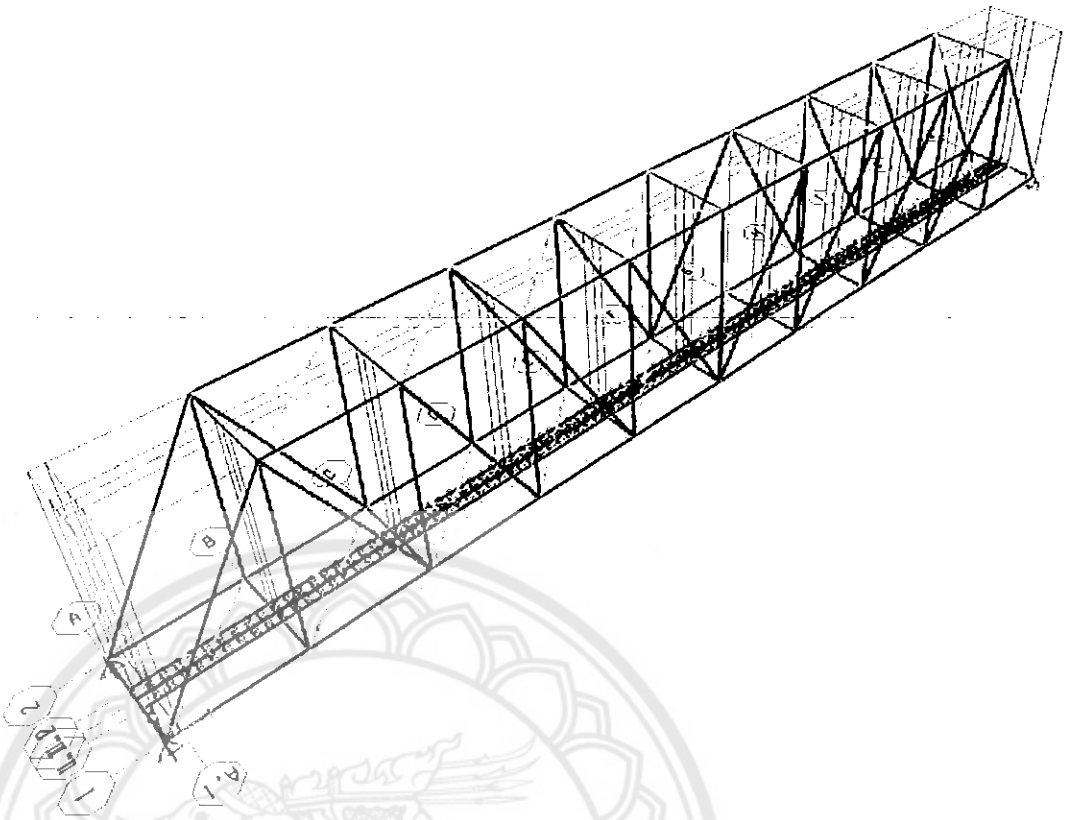

รูปที่ ก-44




รูปที่ ก-45



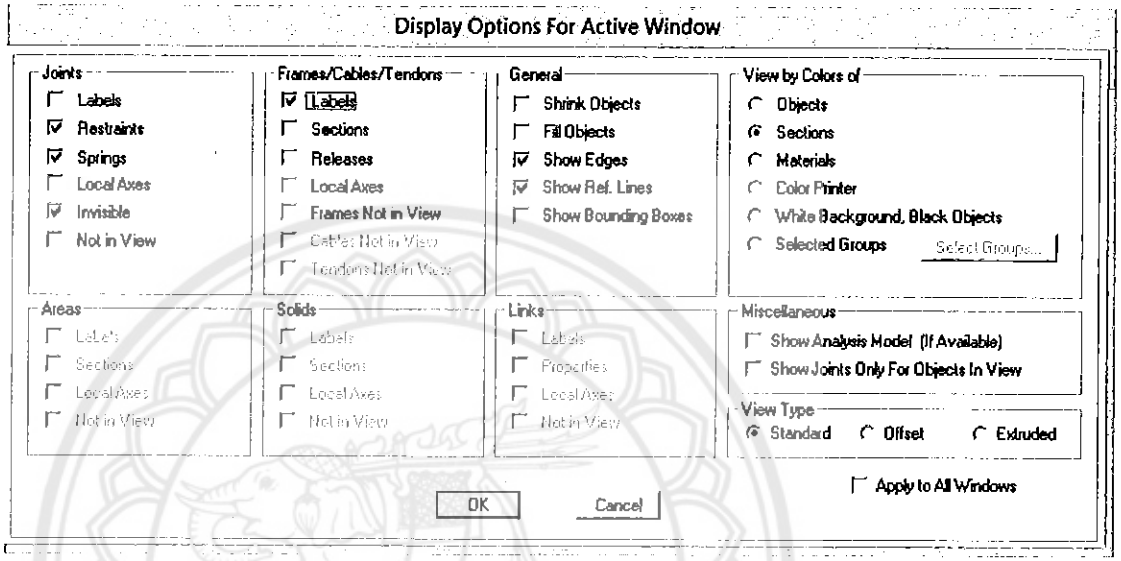

รูปที่ ก-46



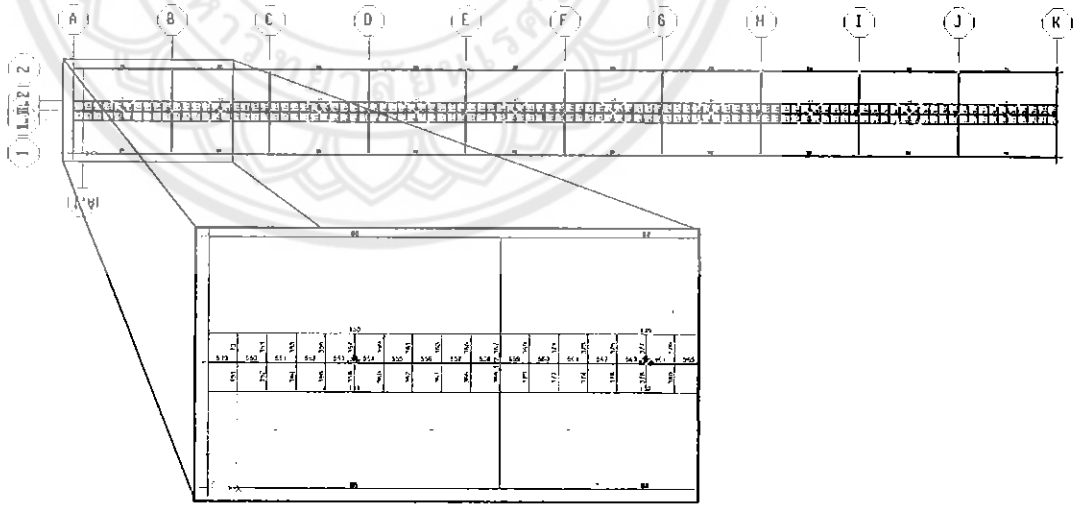
รูปที่ ก-47

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดเส้นทางให้รถไฟวิ่ง

ขั้นแรกเราต้องรู้ว่าชื่อของแต่ละชิ้นส่วน ของรถไฟวิ่ง โดยกด จะปรากฏหน้าต่าง แล้วเลือก Labels ของ Fame/Cable/Tendons ดังรูปที่ ก-48 จะปรากฏชื่อของชิ้นส่วนในแบบจำลอง ดังรูปที่ ก-49

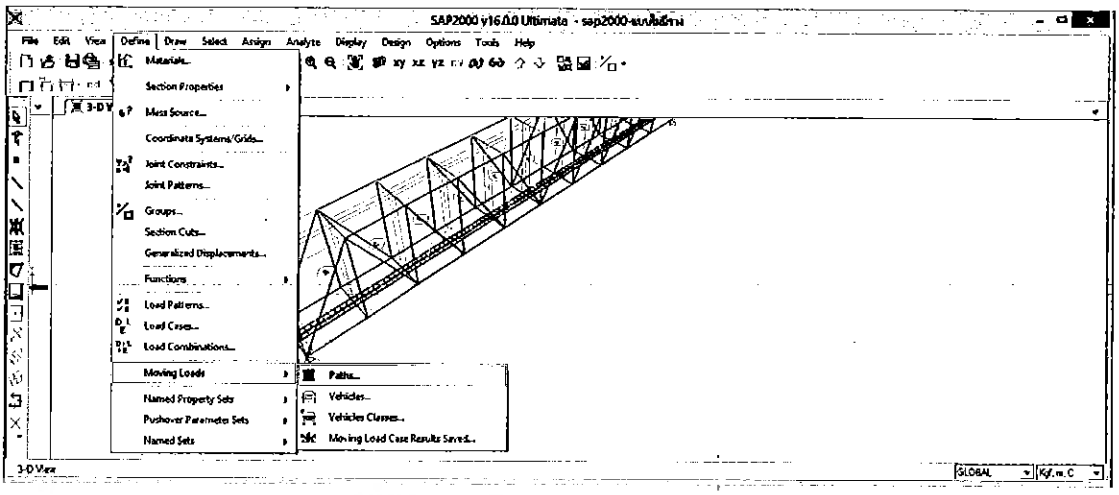



รูปที่ ก-48



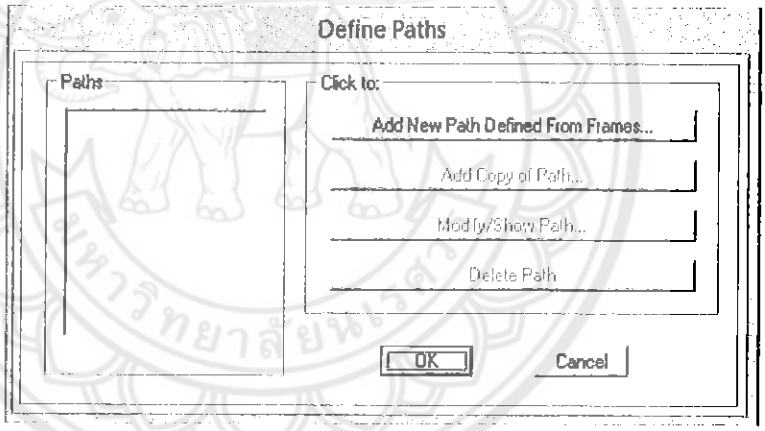

รูปที่ ก-49

การสร้างทางวิ่งโดย เลือกDefine→Moving→Paths...ดังรูปที่ ก-50



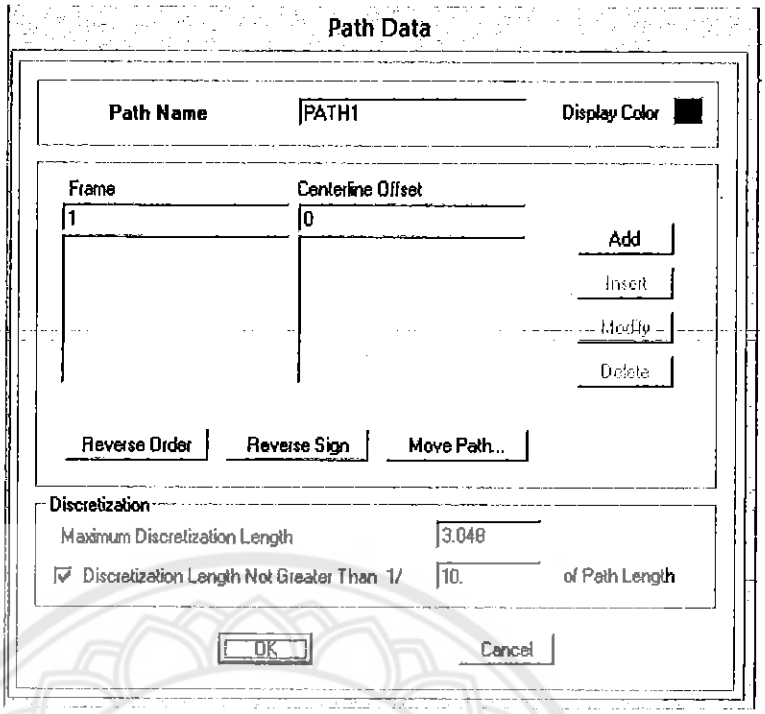

รูปที่ ก-50

จะปรากฏดังรูปที่ ก-51แล้วกด Addกด Add New Path Defined From Frames.. จะปรากฏดังรูปที่ ก-52

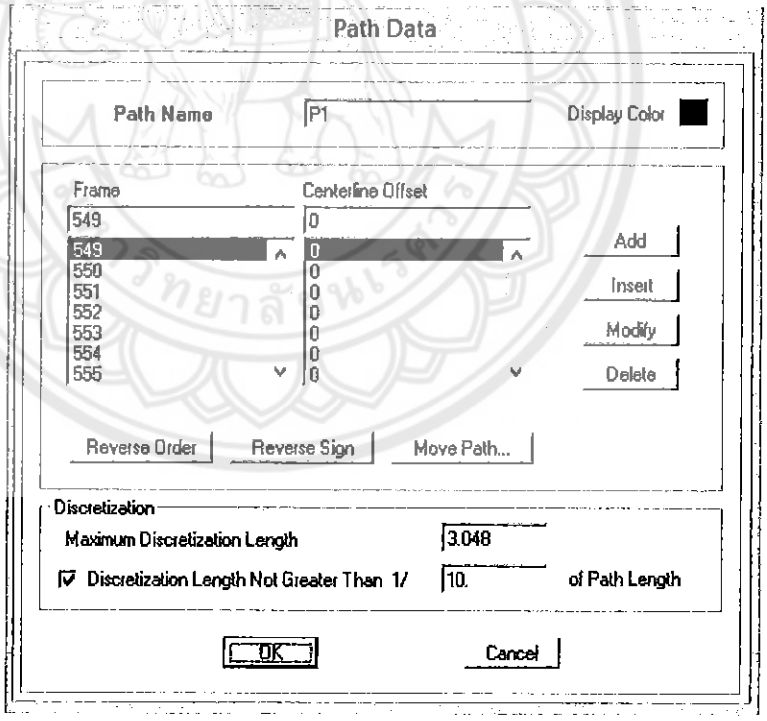



รูปที่ ก-51

ในรูปที่ ก-52 จะเห็นว่าส่วนแรก Path Data คือการตั้งชื่อเส้นทาง ส่วนช่อง Fame ให้ใส่ชื่อของชิ้นส่วนที่เราได้ดูข้างต้น ในรูปที่ ก-49 แล้วกด Add ไปที่ละชิ้นส่วนจากเริ่มจนถึงสุดท้ายตามลำดับ ดังรูปที่ ก-53 แล้วกด OK



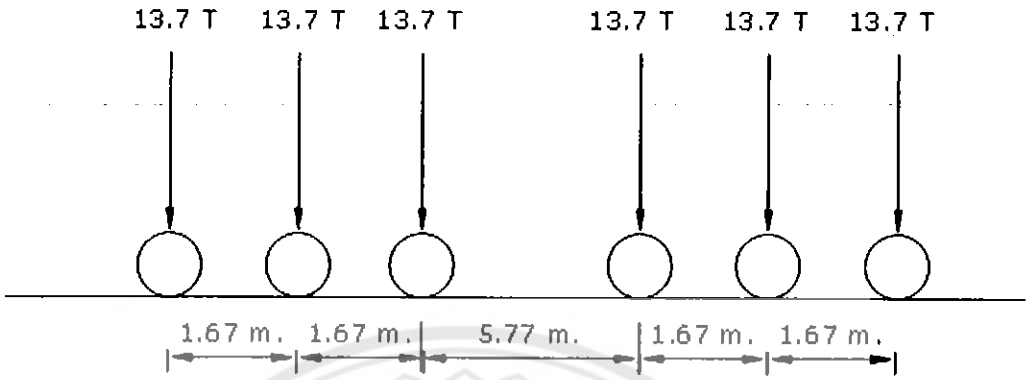

รูปที่ ก-52




รูปที่ ก-53

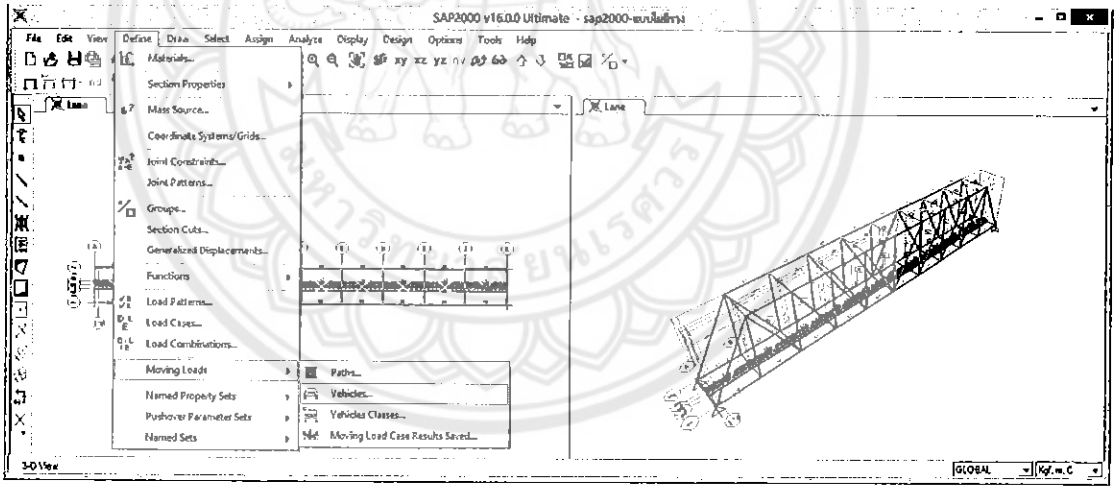
**ขั้นตอนที่ 6 จำลองน้ำหนังของรถไฟที่ลงเพลา**

**ต้องเตรียมน้ำหนังของรถไฟในที่นี้จะยกตัวอย่างของน้ำหนังลงเพลาของรถไฟไทย** Alsthom 2400 hp ดังรูปที่ ก-54

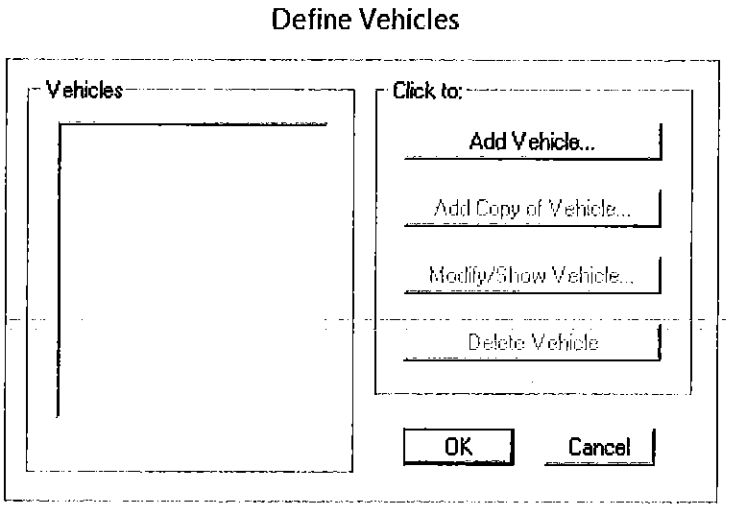



รูปที่ ก-54

เมื่อเรารู้น้ำหนักเพลาแล้วเริ่มจากเลือก Define→Moving Loads→Vehicles... ดังรูปที่ ก-55 จะปรากฏหน้าต่างที่ ก-56

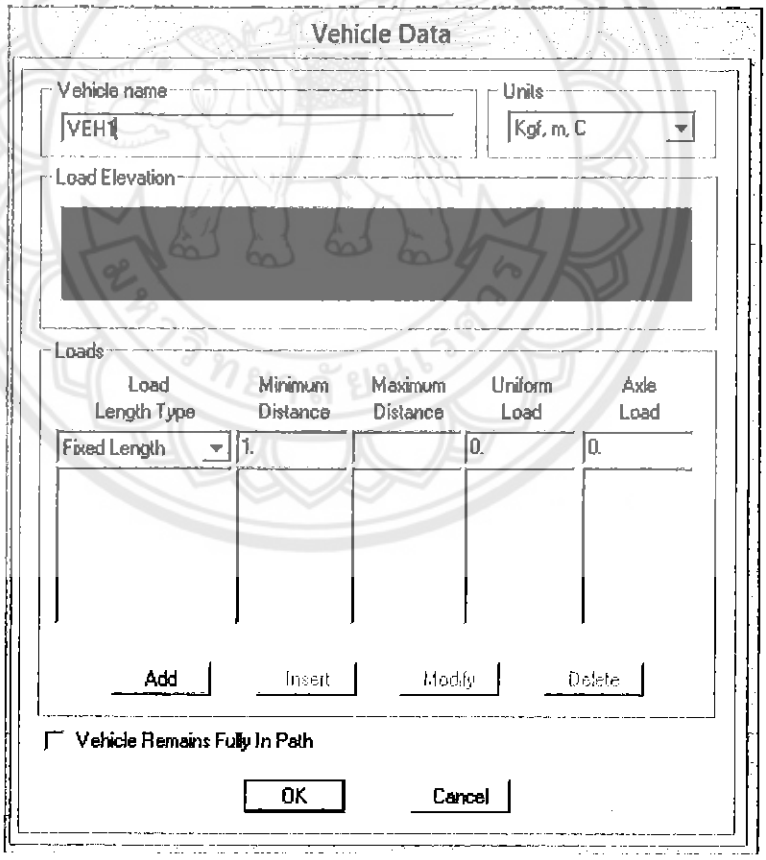



ดังรูปที่ ก-55




รูปที่ ก-56

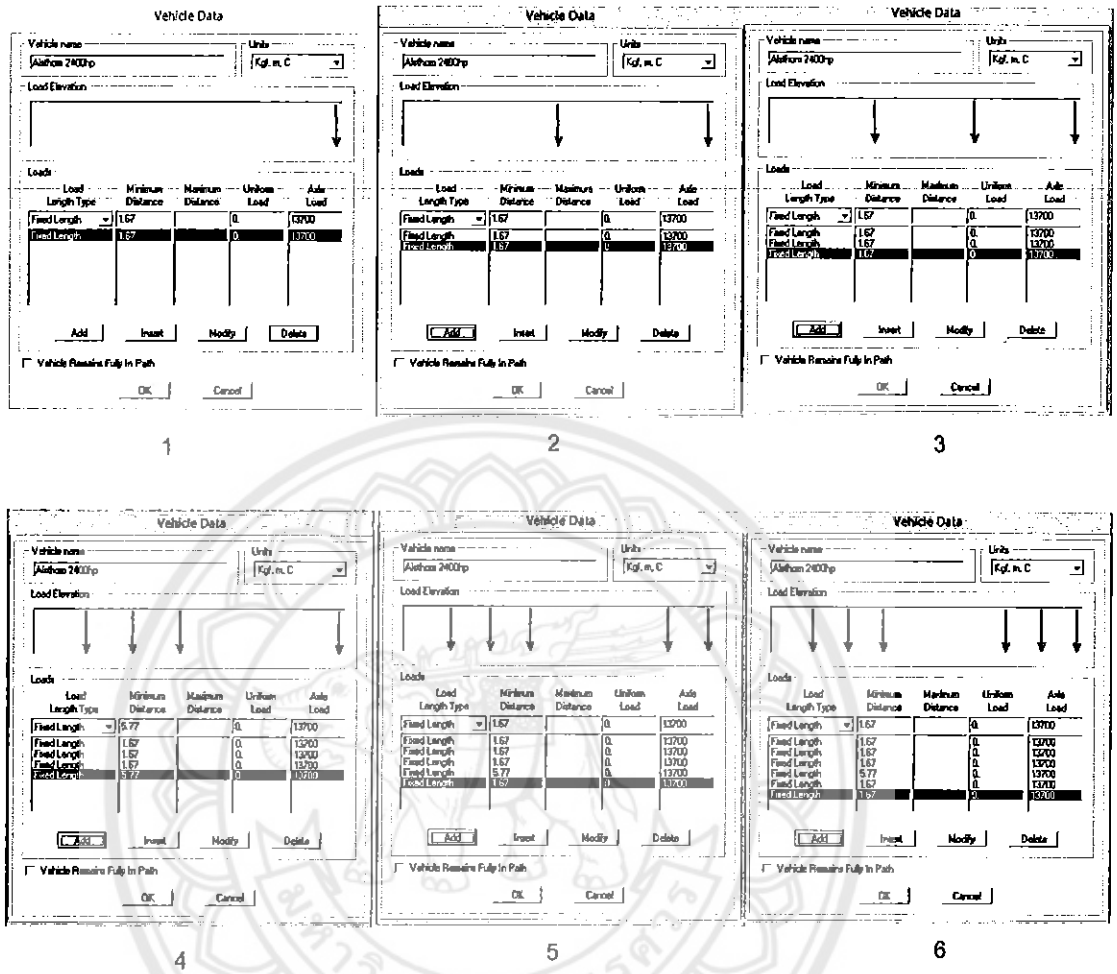
จากรูปที่ ก-56 กด Add Vehicle... จะปรากฏดังรูปที่ ก-57




รูปที่ ก-57

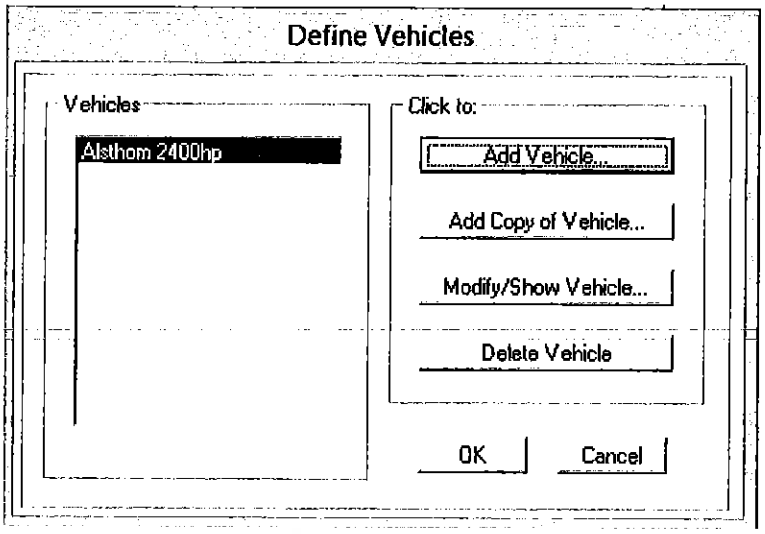
จากรูปที่ ก-57 จะเห็น Vehicle name คือชื่อของน้ำหนักของเรา Units คือหน่วยที่เราใช้ ต่อมาดูช่อง Loads จะเห็นว่า มีหลายช่องที่จะใส่ค่าได้ ขั้นแรก มาใส่ระยะห่างระหว่างน้ำหนัก

เพลาที่ช่อง Minimum Distance แล้วใส่โหลดที่ช่อง Axle Load แล้วกด All ไปที่ละน้ำหนังลงเพลาที่ละตัวจนหมด ดังรูปที่ ก-58




รูปที่ ก-58

เมื่อทำตามรูปที่ ก-58 เสร็จก็กด OK จะขึ้นชื่อของน้ำหนังเพลาดังรูปที่ ก-59 แล้วกด OK




รูปที่ ก-59

ขั้นตอนที่ 7 ตั้งค่ารูปแบบแรงกระทำต่อสะพาน

ขั้นแรกการกำหนดความเร็วของน้ำหนักลงเพลาที่วิ่งผ่านสะพาน **คือวิ่งด้วยความเร็ว** จาก 10 -170กม./ชม. โดยต้องแปลงความเร็วที่ได้เป็นหน่วย เมตร/วินาทีและหา**เวลาที่ผ่านสะพาน โดยคิด**จาก สูตร s = vt

s = ระยะทางของรถไฟ+ความยาวสะพาน (เมตร)

v = ความเร็วของรถไฟ (เมตร/วินาที)

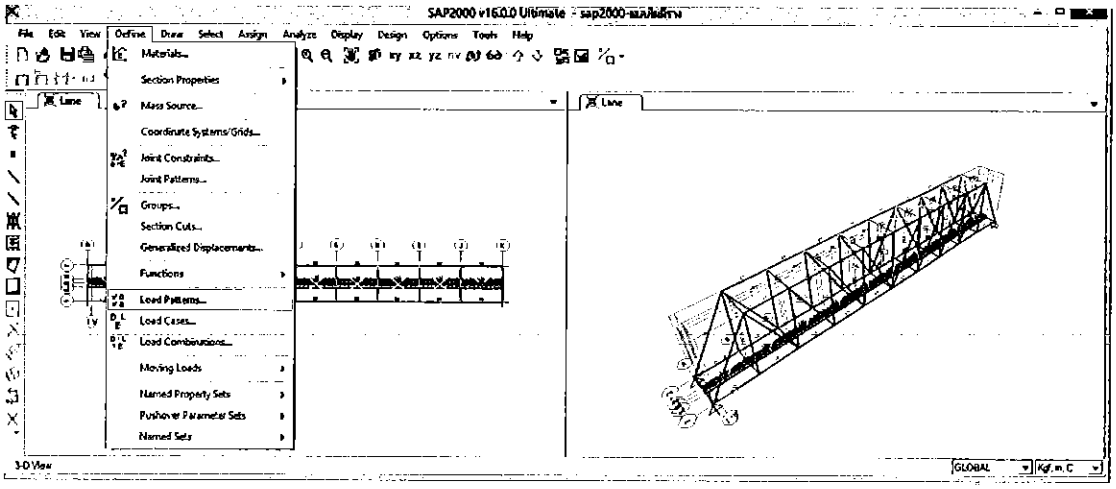
t = เวลา (วินาที)

เมื่อได้เวลามาแล้วเราเผื่อเวลาไว้สักหน่อย ดังรูปที่ ก-60

| km/hr. | m/s | ระยะเวลาที่รถวิ่งผ่านสะพาน (s) | ใช้เวลาลงโปรแกรมSap 2000 (s) |
|---|---|---|---|
| 10 | 2.78 | 128.16 | 130 |
| 30 | 8.33 | 42.72 | 45 |
| 50 | 13.89 | 25.63 | 30 |
| 70 | 19.44 | 18.31 | 20 |
| 90 | 25.00 | 14.24 | 15 |
| 110 | 30.56 | 11.65 | 15 |
| 130 | 36.11 | 9.86 | 10 |
| 150 | 41.67 | 8.54 | 9 |
| 170 | 47.22 | 7.54 | 8 |

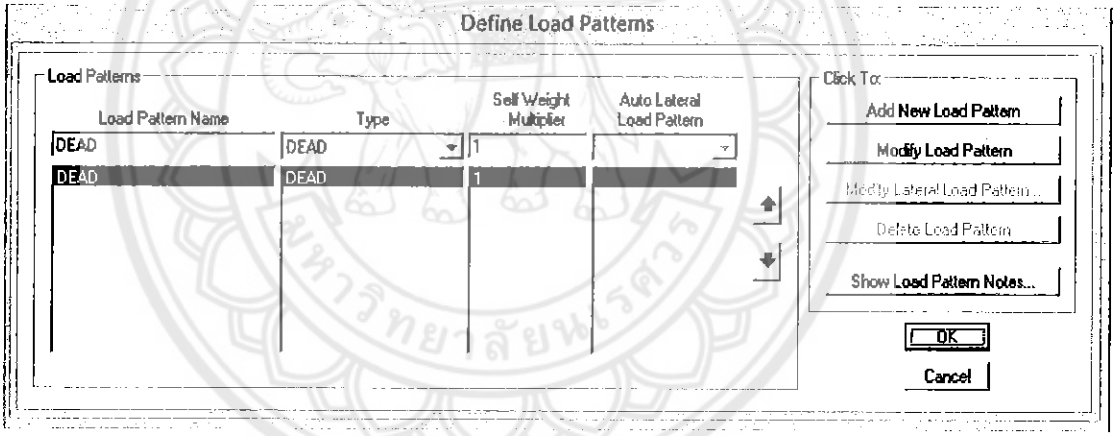
รูปที่ ก-60

เมื่อได้เวลาแล้ว ก็เอาความเร็วมาใส่ใน Sap 2000 โดยเลือกที่ Define→Load Patterns.. ดังรูปที่ ก-61

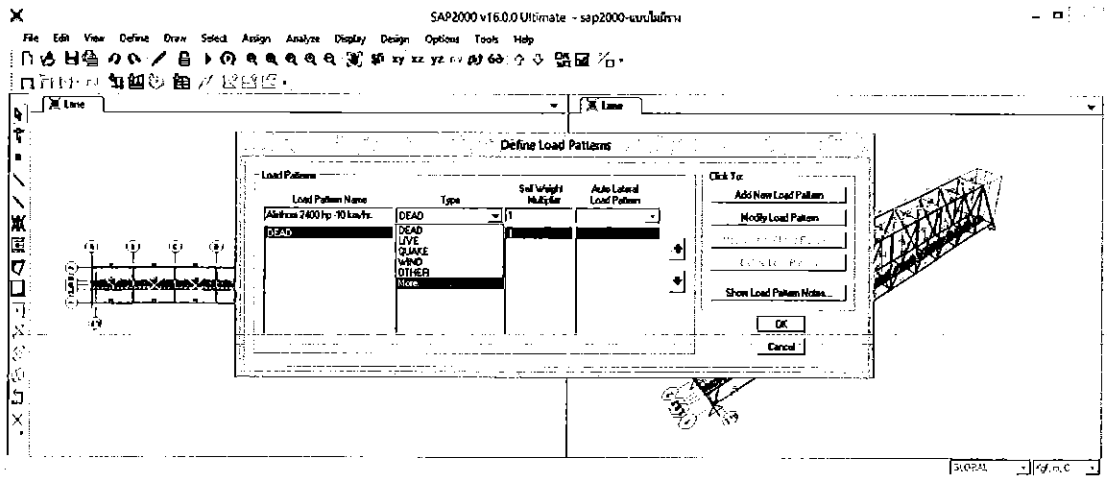



รูปที่ ก-61

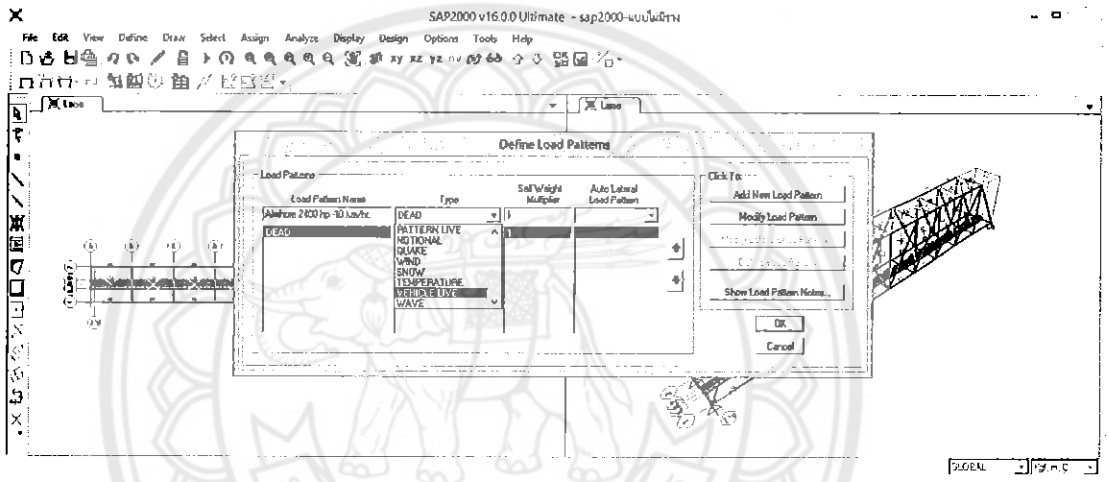
จะได้ปรากฏหน้าต่าง ดังรูปที่ ก-62 แล้วเราเข้าไปแก้ไขชื่อ Load Pattern Name แล้วไปเลือกไปเลือก Type เลือก VEHICLE LIVE ดังรูปที่ ก-63 แล้วกด Add New Load Pattern เสร็จแล้วจะเกิดดัง รูปที่ ก-64




รูปที่ ก-62

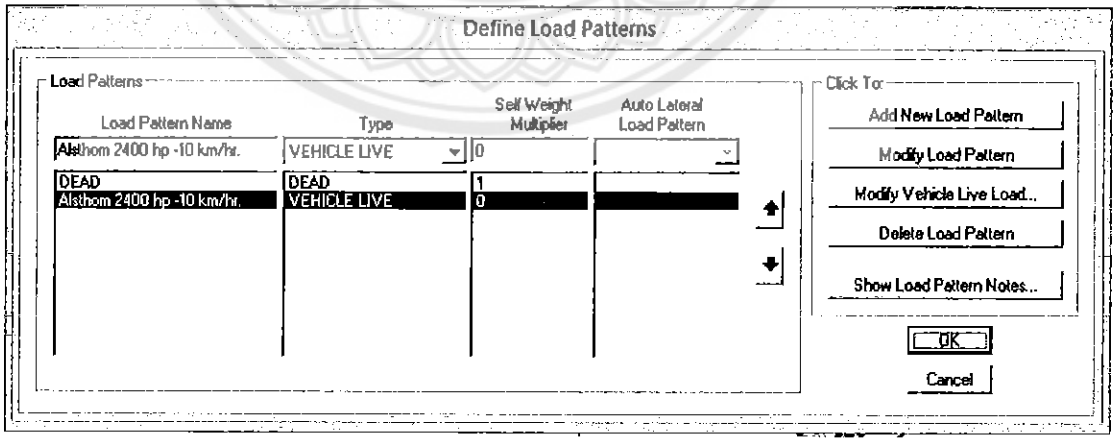



1




2

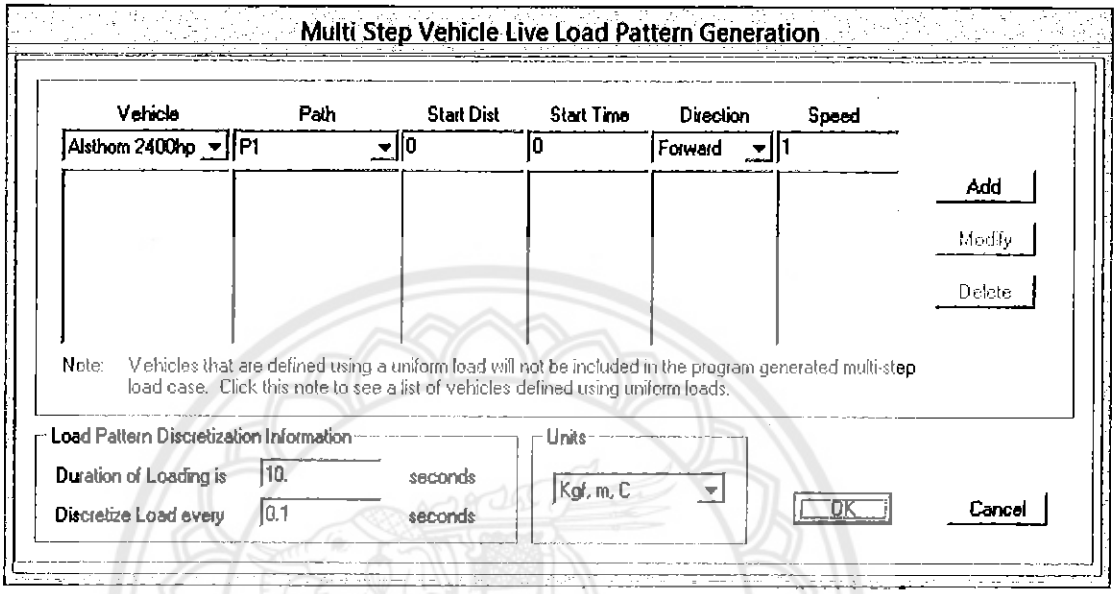
รูปที่ ก-63



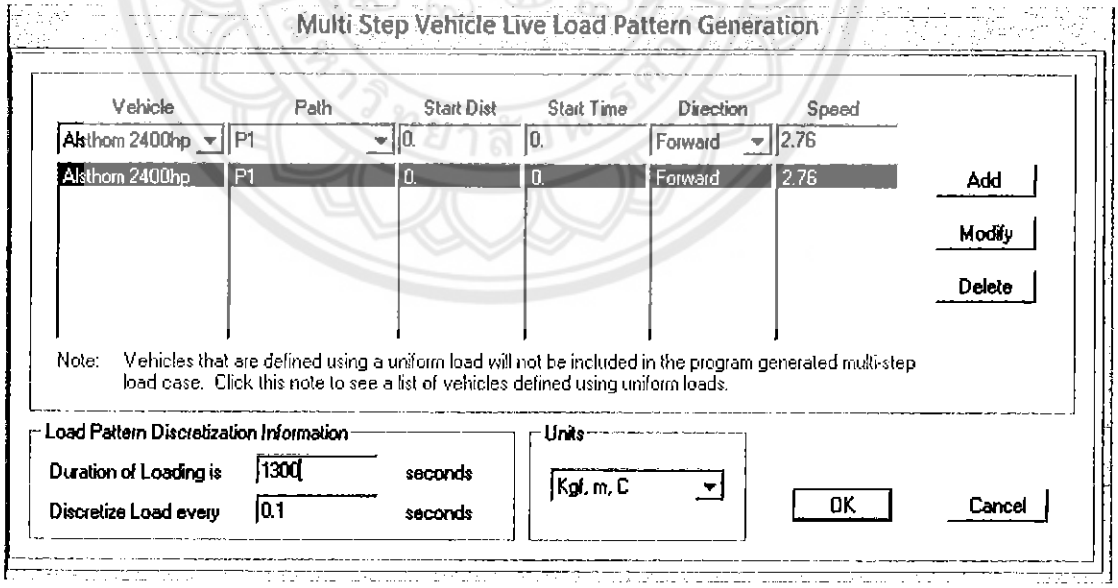

รูปที่ ก-64

เมื่อได้ ดังรูปที่ ก-64 แล้วกด Modify Vehicle Live Load จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ ก-65 แล้วมาดูที่ Speed ใส่ค่าของความเร็วโดยหน่วยเป็น เมตร/วินาที แล้วกด Add ต่อมามาดูที่ Duration of Load is ใส่ค่าเวลาเข้าไป โดยต้องคำนึงถึง Discretize Load every คือ

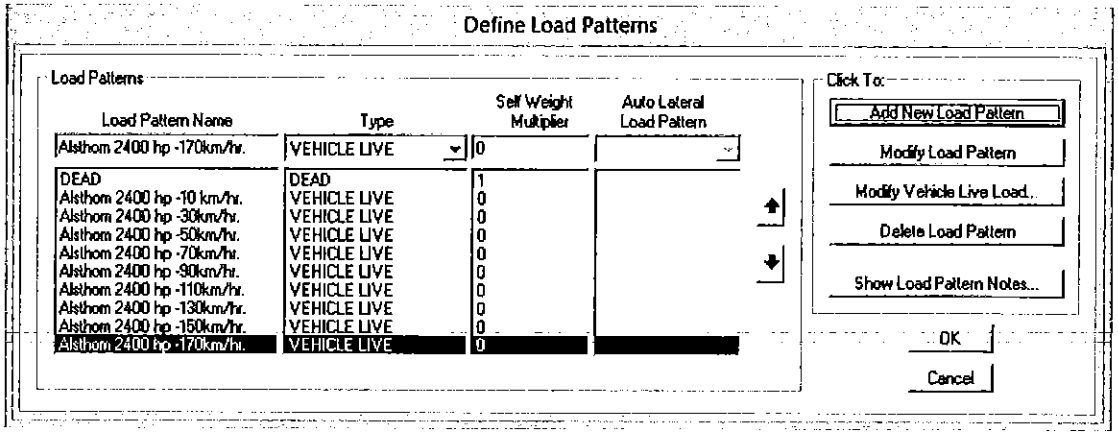
Duration of Load is คูณ Discretize Load every เท่ากับเวลาที่ใช้ (1300x0.1=130) ดังรูปที่ ก-66 แล้วกด OK แล้วทำยังนี้ต่อไปเรื่อยๆ ที่ละความเร็วจนครบ ดังรูปที่ ก-67




รูปที่ ก-65

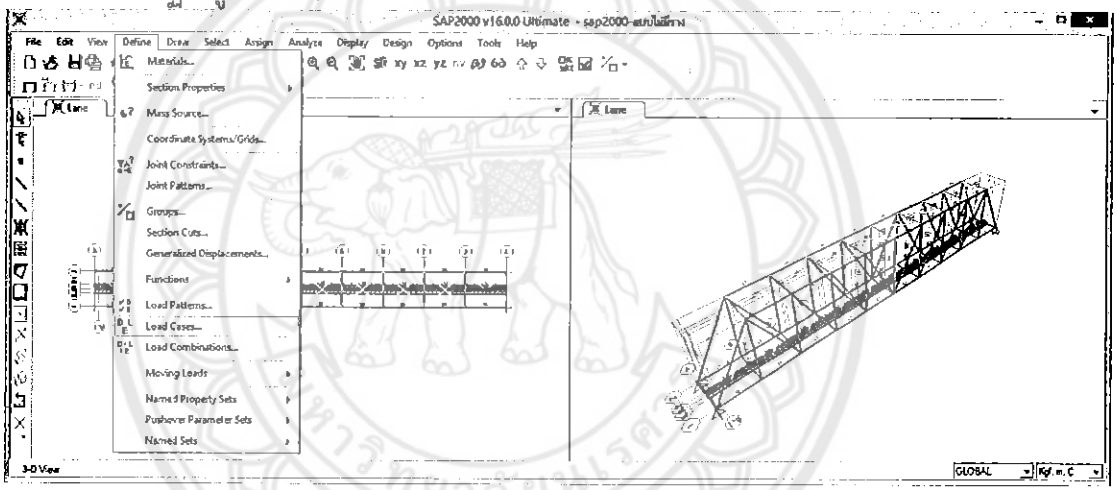



รูปที่ ก-66

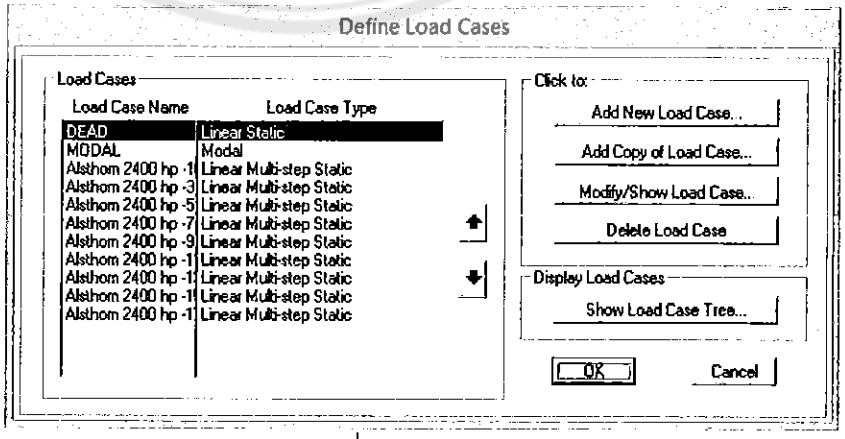



รูปที่ ก-67

ตั้งค่ารูปแบบแรงที่กระทำต่อสะพาน โดยเลือก Define→Load Cases...ดังรูปที่ ก-68 จะปรากฏดังรูปที่ ก-69



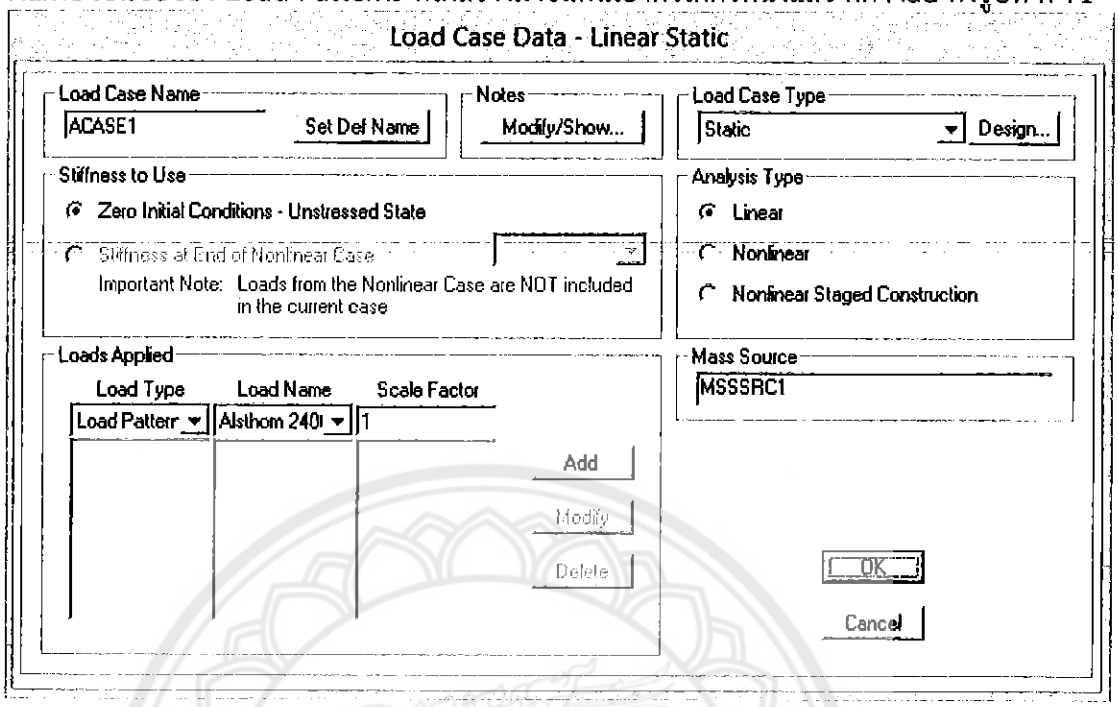

รูปที่ ก-68



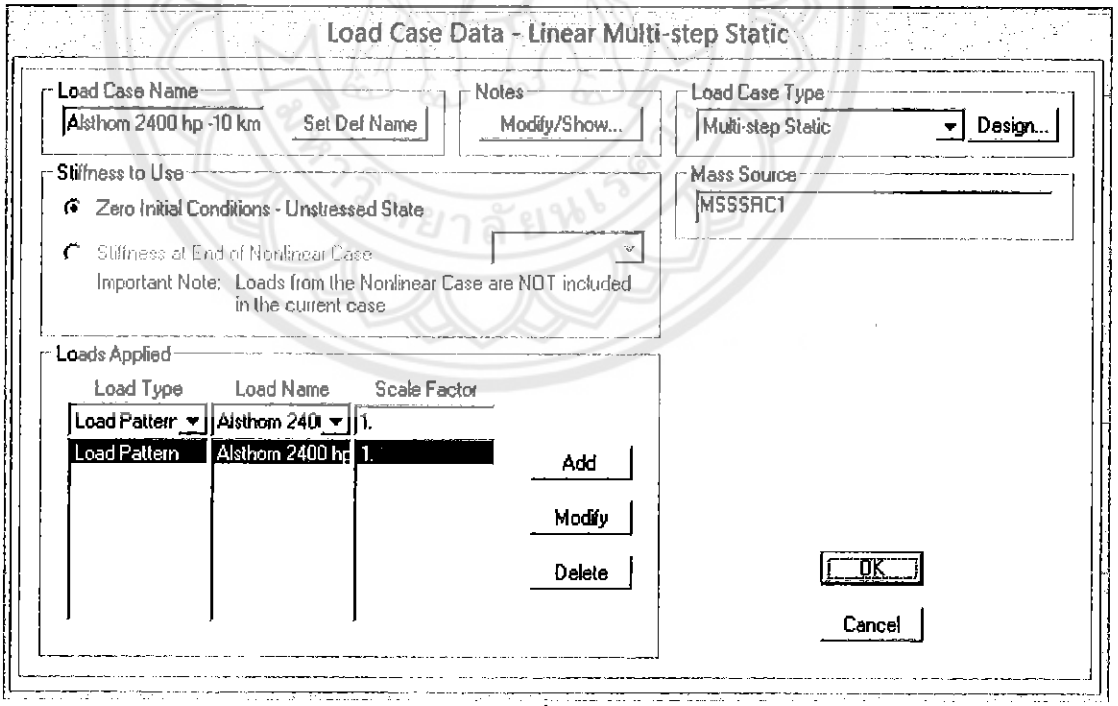

รูปที่ ก-69

ขั้นแรกคือการวิเคราะห์แบบสถิต คือที่รถไฟวิ่งโดยไม่คำนึงถึงความเร็ว กด Add New Load Case...จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ ก-70 เปลี่ยนชื่อในช่อง Load Case Name แล้วเลือก

Load Case Type เป็นแบบ Multi-step Static แล้วมาดูที่ช่อง Loads Applied เลือก Load Name เป็นชื่อของ Load Patterns ที่ได้สร้างมาขั้นต้นเอาตัวใดตัวหนึ่งแล้ว กด Add ดังรูปที่ ก-71

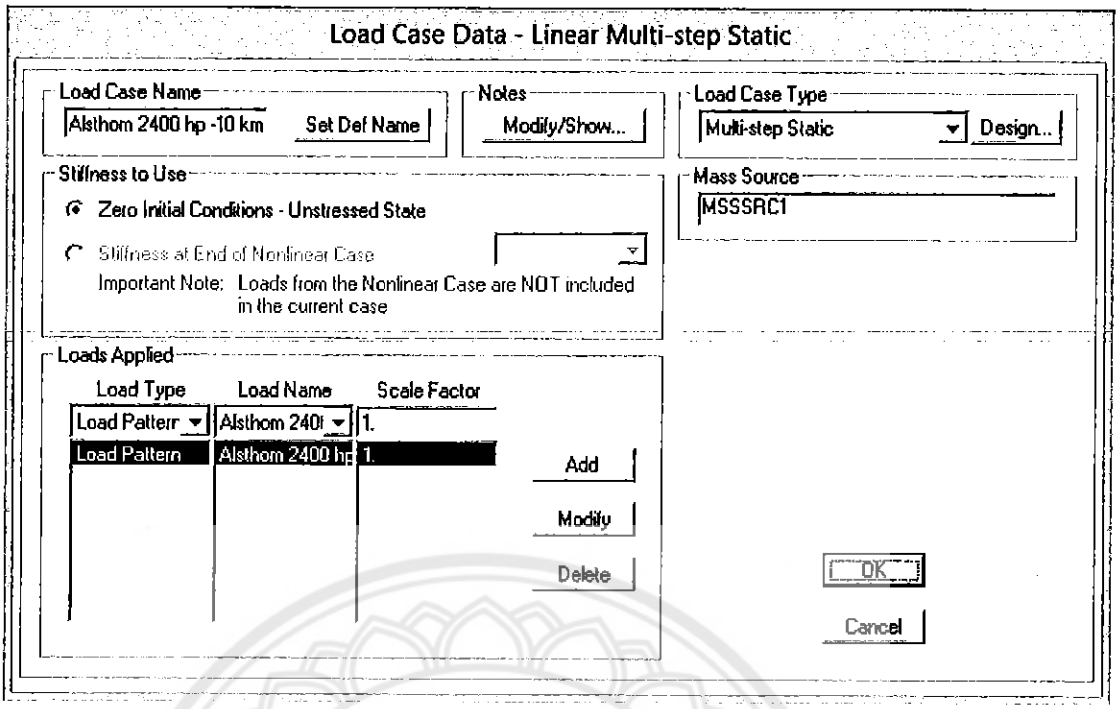



รูปที่ ก-70



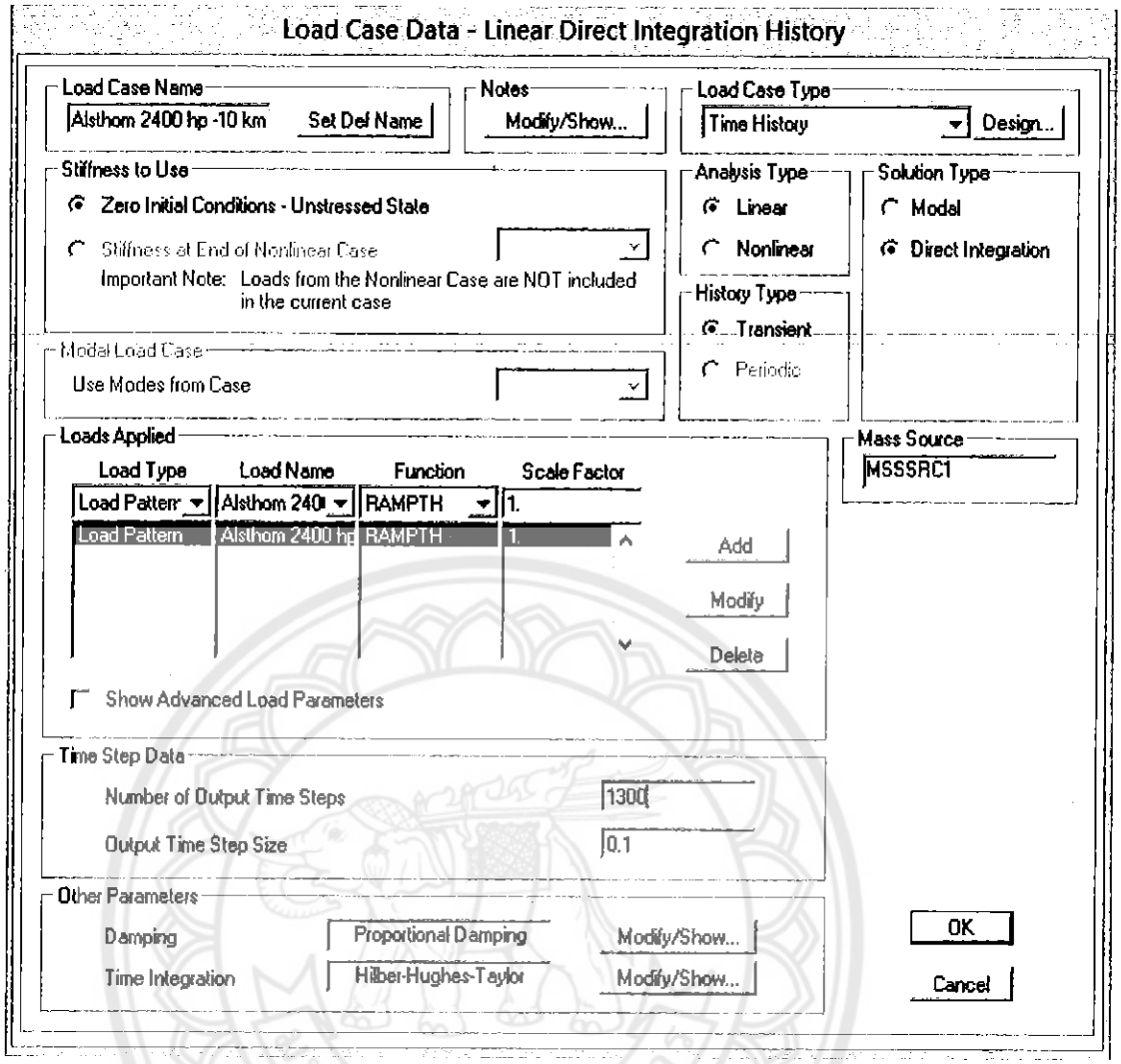

รูปที่ ก-71

ต่อมาคือการตั้งค่าแบบเคลื่อนที่โดยมีความเราเร็วกดชื่อของแต่ละความเร็วแล้วกด Modify/Show Load case...จะปรากฏดังรูปที่ ก-72



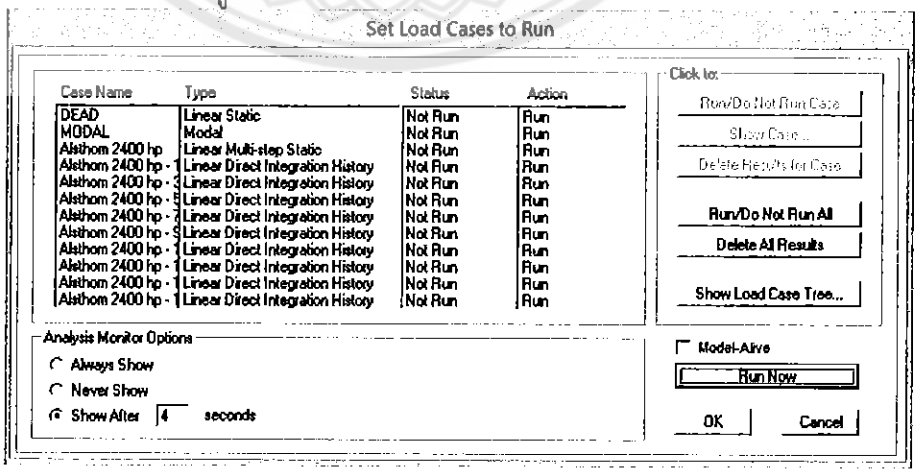

รูปที่ ก-72

จากรูปที่ ก-72 ให้เปลี่ยน Load Case Type ให้เป็น Time History แล้วจะขึ้น Solution Type เปลี่ยนจาก Modal เป็น Direct Integration แล้วมา Loads Applied เพื่อมาตรวจสอบ
น้ำหนักที่ตั้งค่าตรงกับความเร็วที่ต้องการใหม่ ต่อมาที่ช่อง Time Step Data ให้คิดเหมือนรูปที่ ก-66 (เวลา) ดังรูปที่ ก-73แล้วกด OK

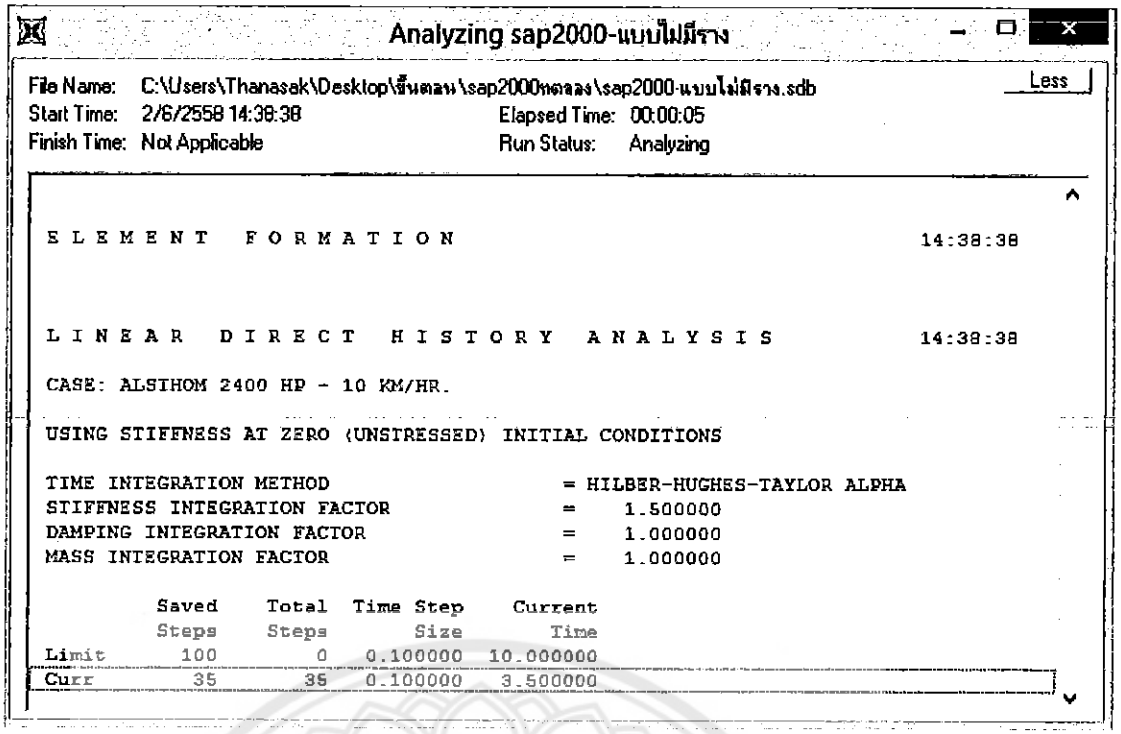



รูปที่ ก-73

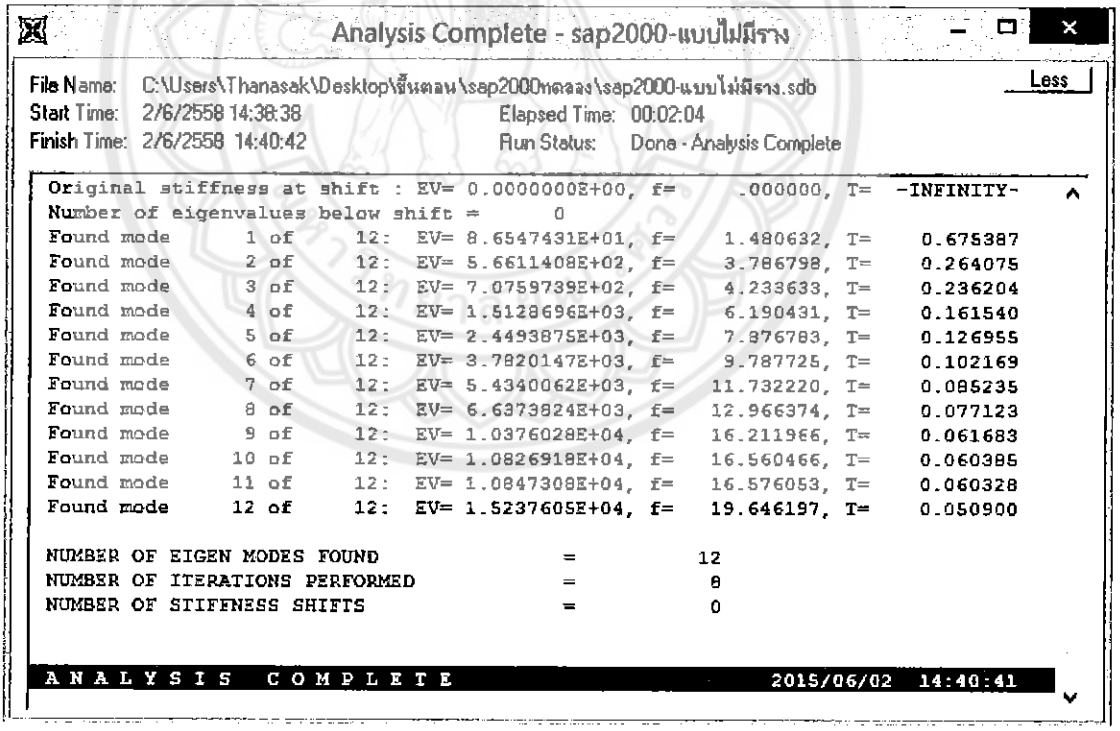
เมื่อทำตามรูปที่ ก-73 ของทุกๆความเร็วเสร็จแล้วกด ▶ จะปรากฏรูปที่ ก-74 แล้วกด Run Now จะขึ้นดังรูปที่ ก-75




รูปที่ ก-74




กำลังประมวลผลโปรแกรม

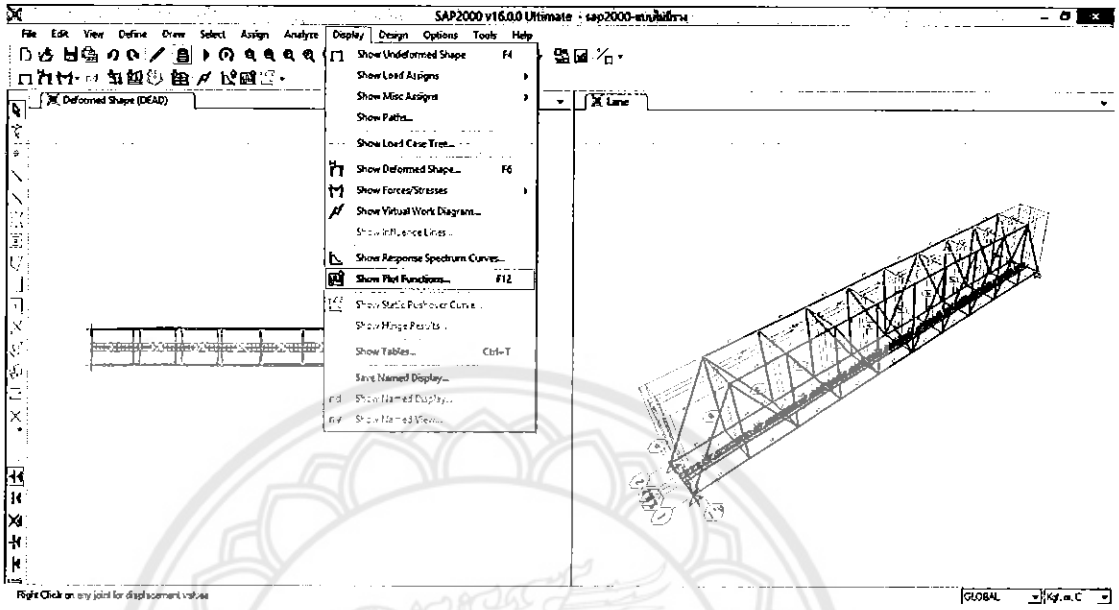



ประมวลผลเสร็จแล้ว

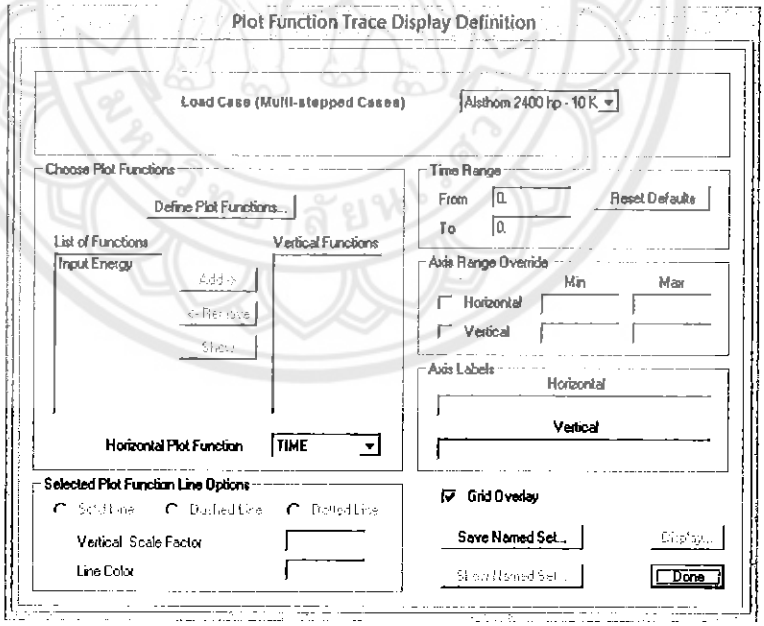
รูปที่ ก-75

ขั้นตอนที่ 8 วิธีเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลของระยะโก่งตัว โดยเลือก Display → Show Plot Functions.. ตามรูปที่ ก-76จะขึ้นหน้าต่างดังรูป ก-77

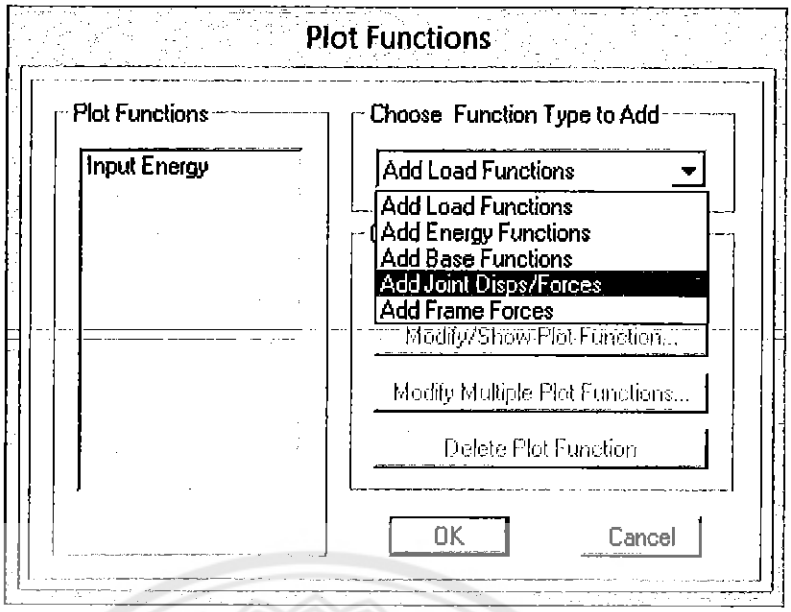



รูปที่ ก-76

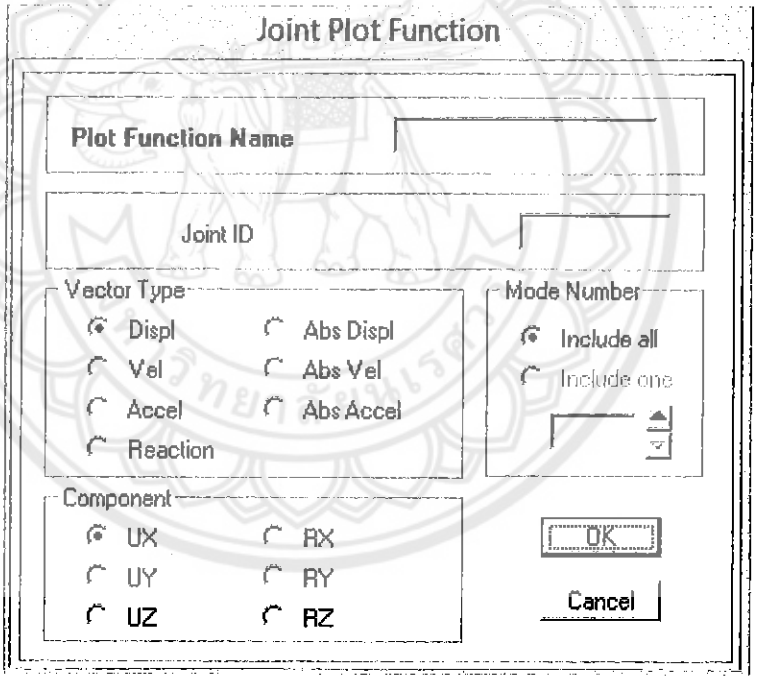



รูปที่ ก-77

จากรูปที่ ก-77 กด Define Plot Function แล้วเลือก Add Joint Disps/Forces ดังรูปที่ ก-78 จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ ก-79

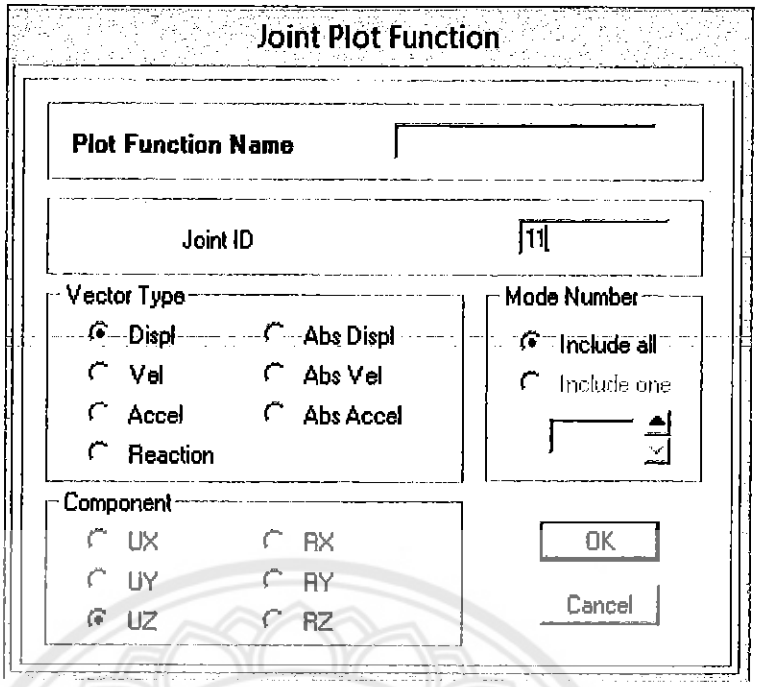



รูปที่ ก-78

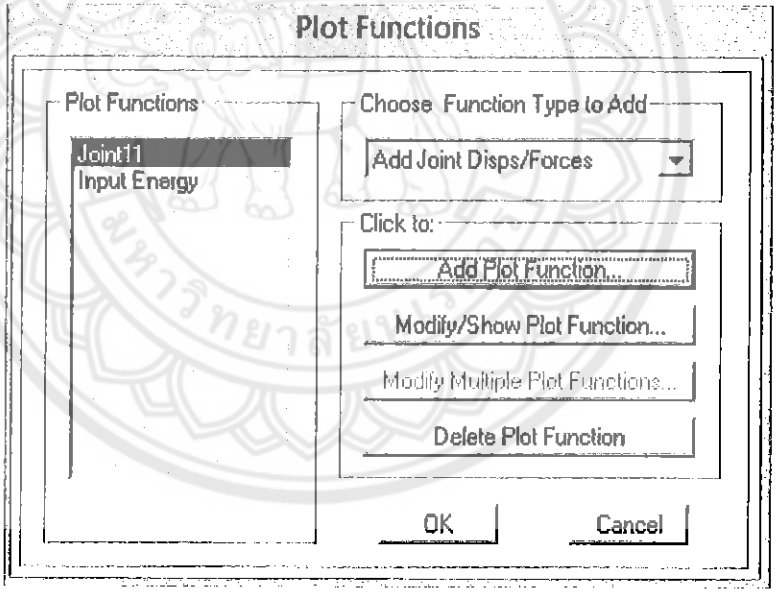



รูปที่ ก-79

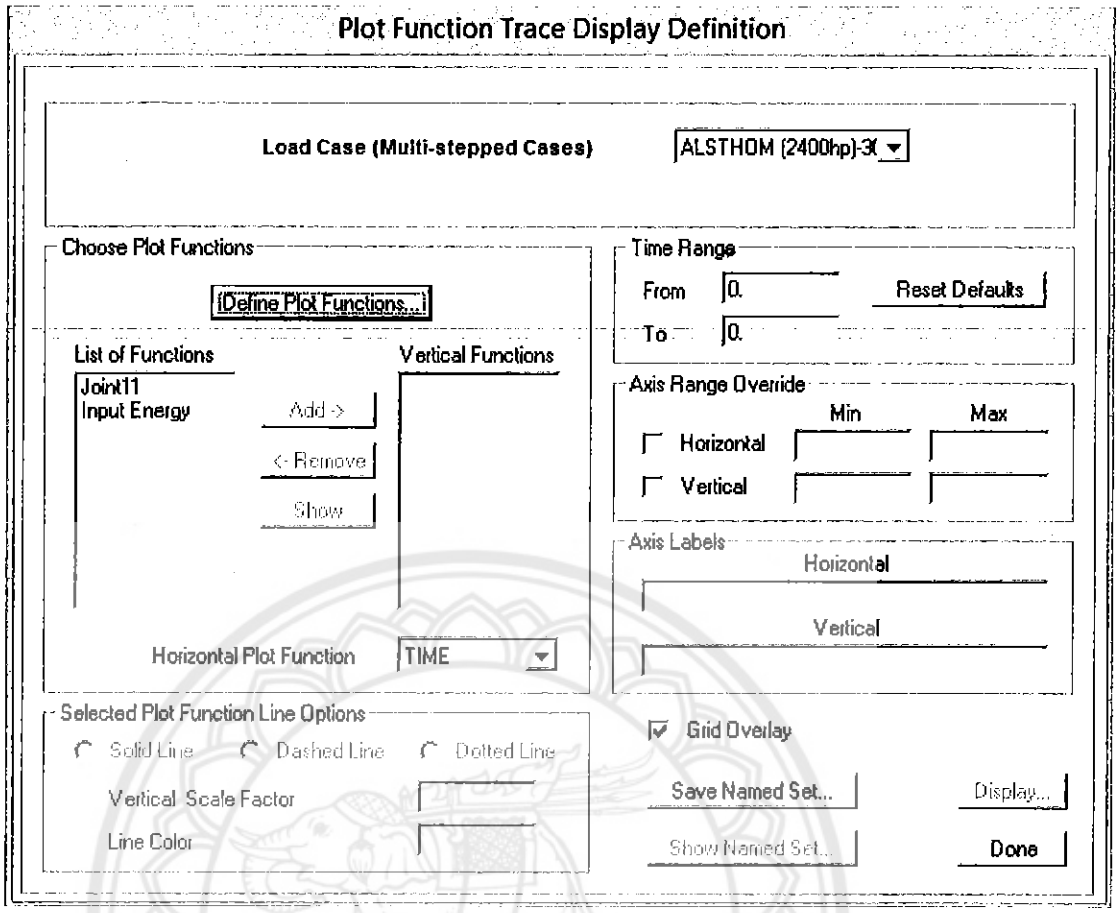
จากรูป ก-79 ในช่อง Joint ID ใส่ตำแหน่งจุดที่ต้องการหาระยะแอ่นตัว ส่วน Vector Type เลือก Displ ส่วน Component ให้เลือก UZ ดังรูปที่ ก-80 แล้วกด OK จะเห็นว่าจะขึ้นชื่อจุดที่เราจะหาระยะโก่งตัวขึ้นในช่อง Plot Functions ดังรูปที่ ก-81แล้วกด OK จะปรากฏดังรูปที่ ก-82




รูปที่ ก-80

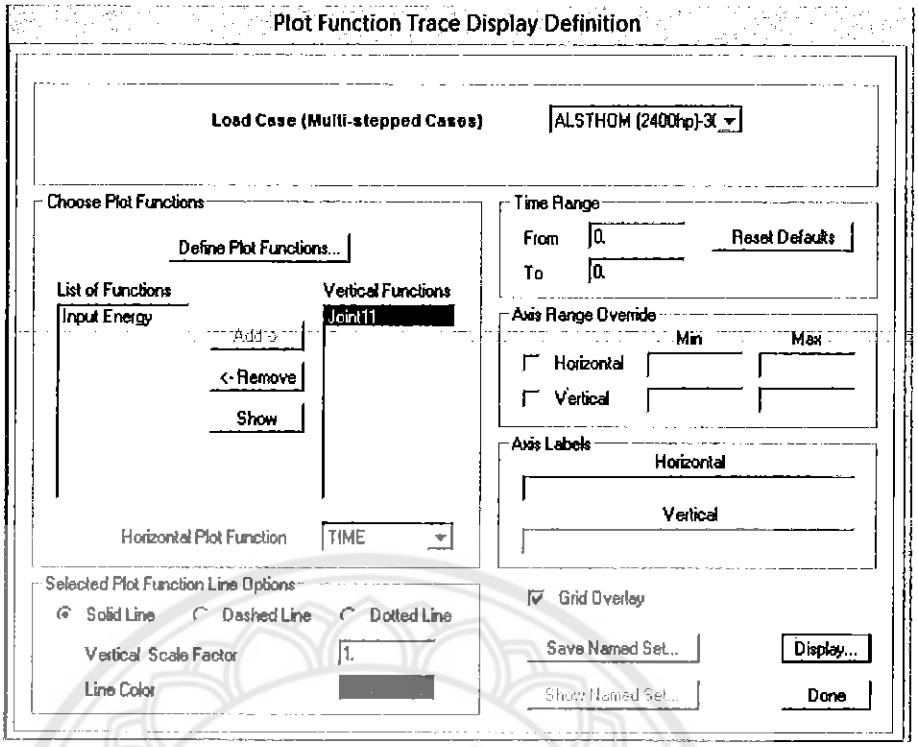



รูปที่ ก-81

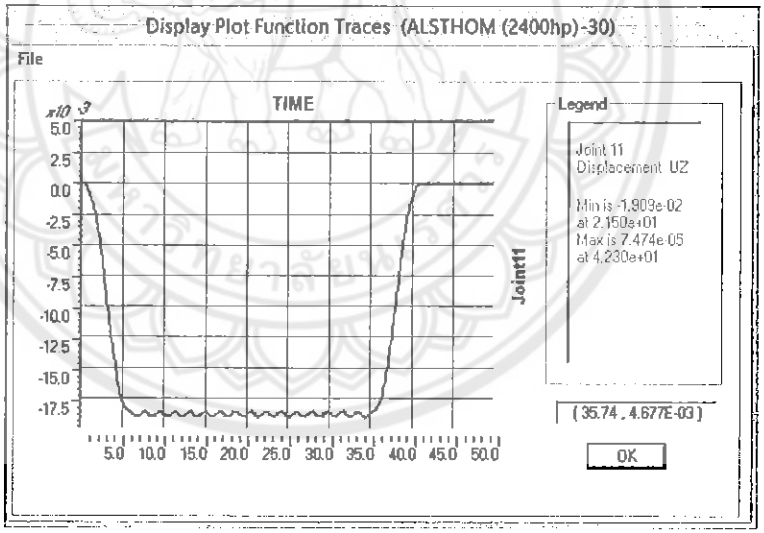



รูปที่ ก-82

จากรูปที่ ก-82 จะพบว่าจุดที่เราต้องการหาค่าระยะแอ่นตัวอยู่ที่ช่อง List of Functions เราเอาเมาส์ไปคลิกชื่อจุดที่ต้องการหาค่า แล้วกด Add->แล้วจุดที่ 11 มาอยู่ฝั่ง Vertical Functions ดังรูปที่ ก-83 แล้วกด Display จะปรากฏของรูปกราฟระหว่างระยะเวลากับระยะแอ่นตัว และทางขวามือจะบอกค่าของระยะแอ่นตัวสูงสุดกับค่าที่น้อยที่สุด ดังรูปที่ ก-84

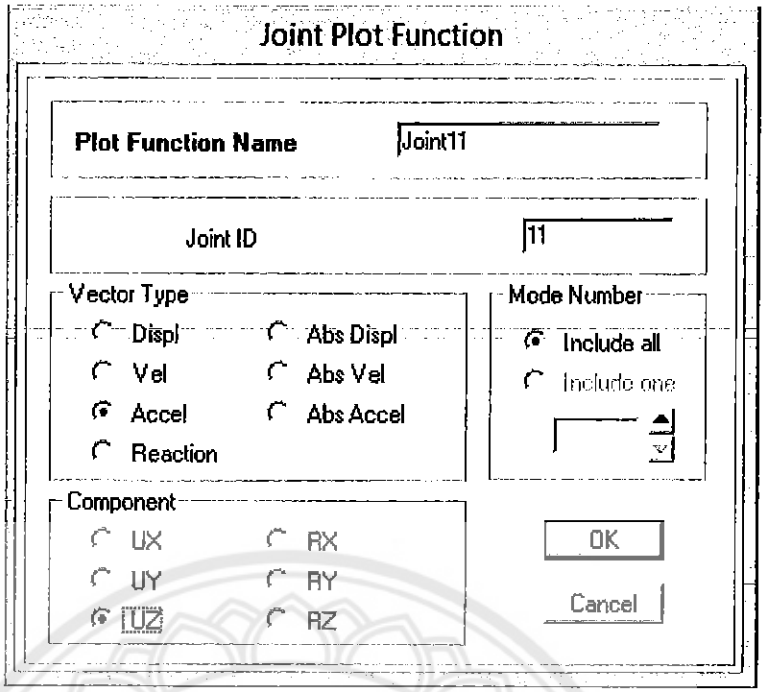



รูปที่ ก-83

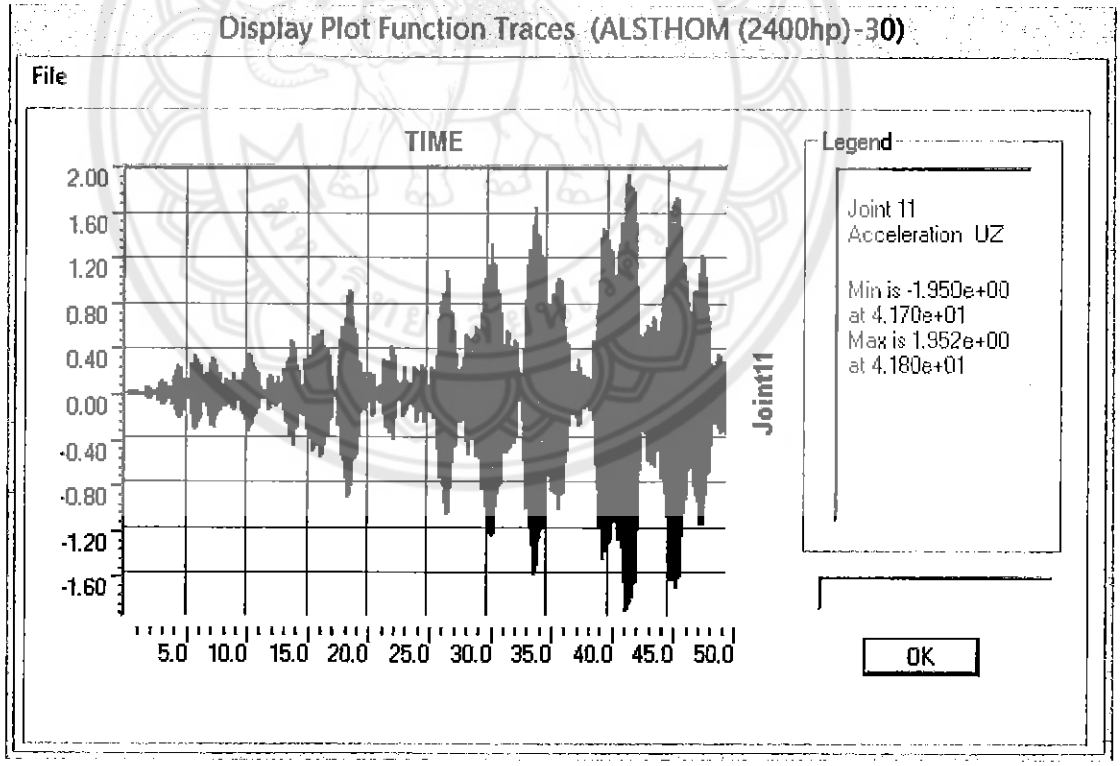



รูปที่ ก-84

ส่วนความเร่งก็ทำเหมือนกันแค่เป็นค่าของ Vector Type ให้เป็น Accel ดังรูปที่ ก-85 และข้อมูลที่ได้ดังรูปที่ ก-86



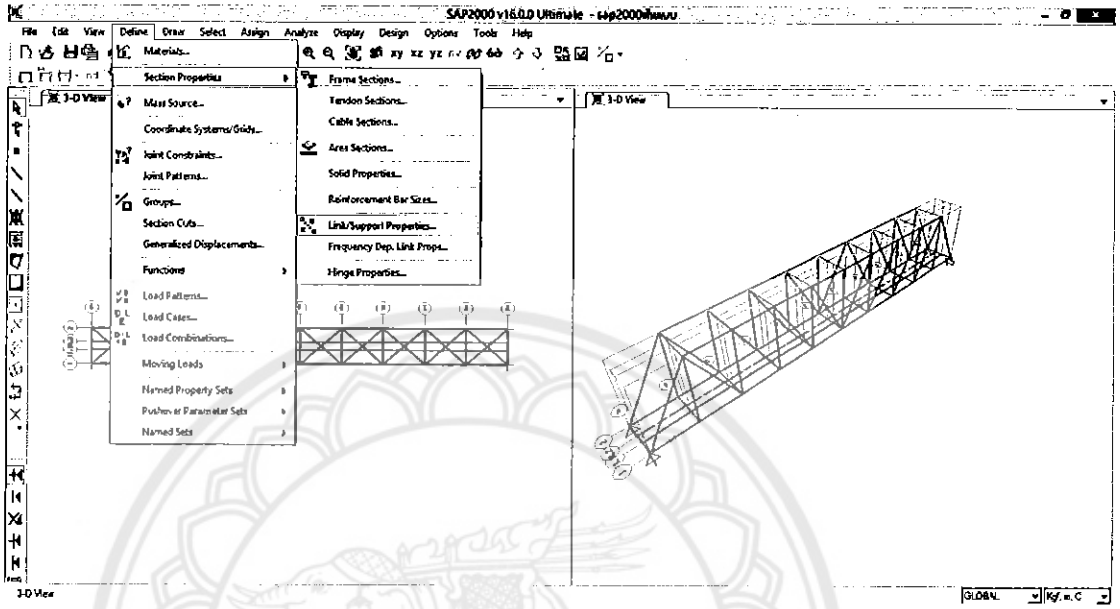

รูปที่ ก-85



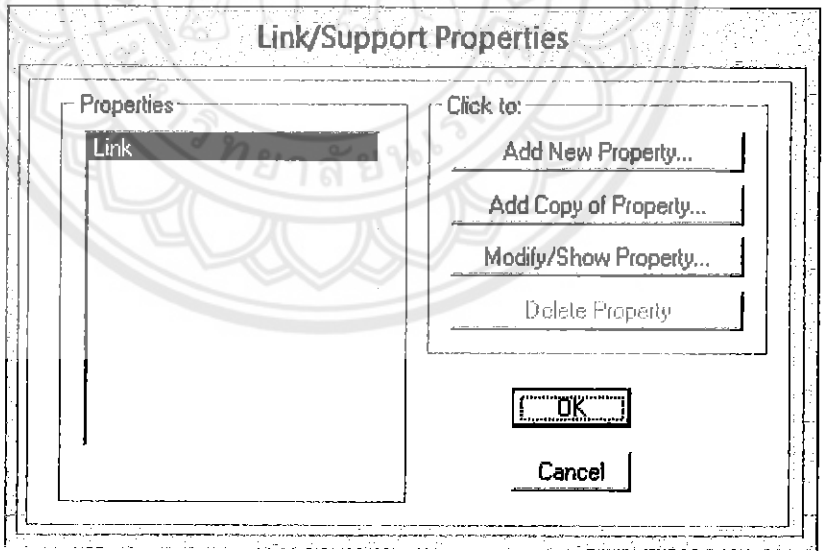

รูปที่ ก-86

**ขั้นตอนที่ 9 โมเดลสะพานโดยมีราง**

ทำต่อจากขั้นตอนที่ 3 โดยขั้นแรกสร้างลิงค์เพื่อเป็นตัวถ่ายแรงโดยเลือก Define→Section Properties→Link/Support Properties... ดังรูปที่ ก-87 จะปรากฏหน้าต่างที่ ก-88

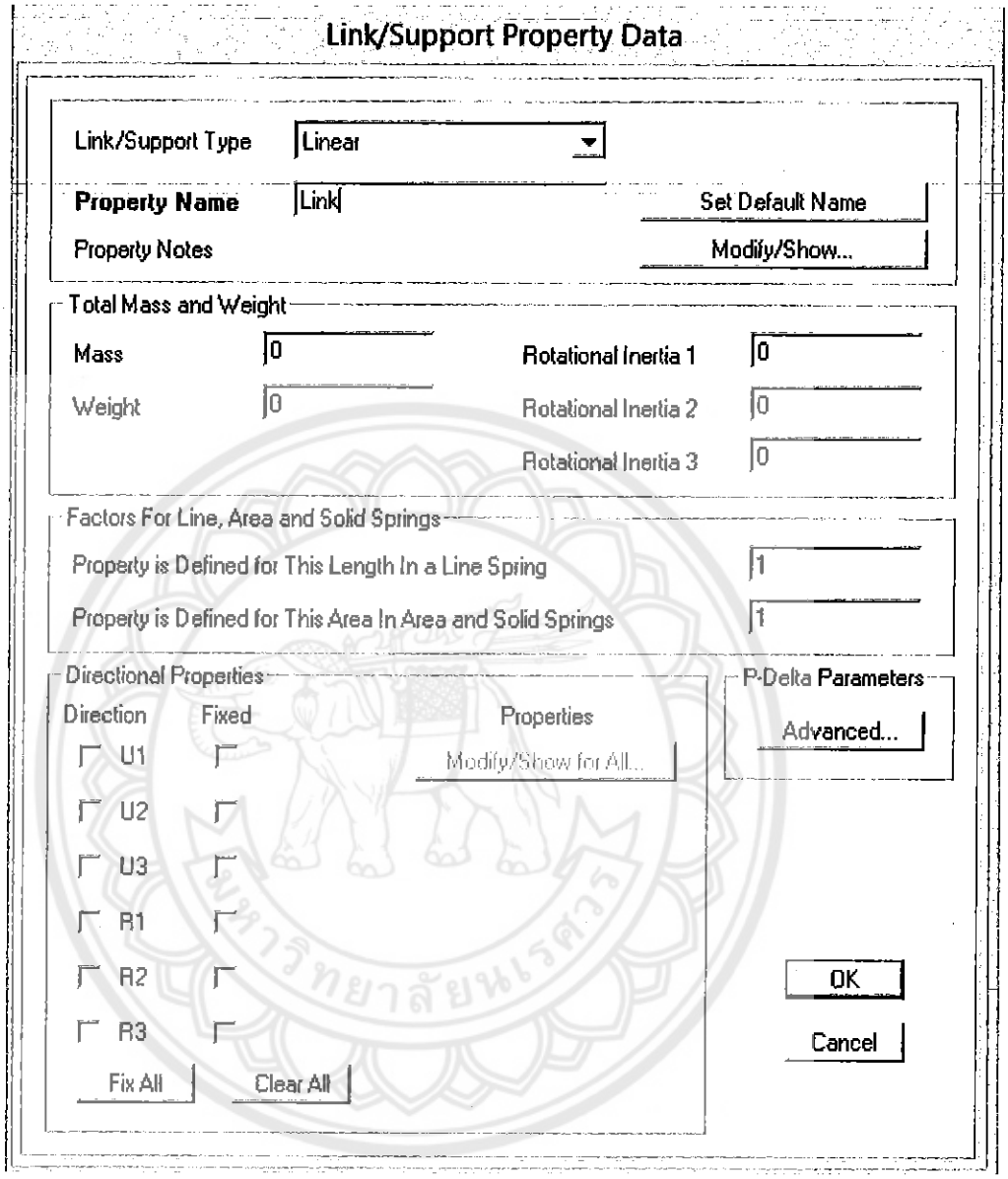



รูปที่ ก-87

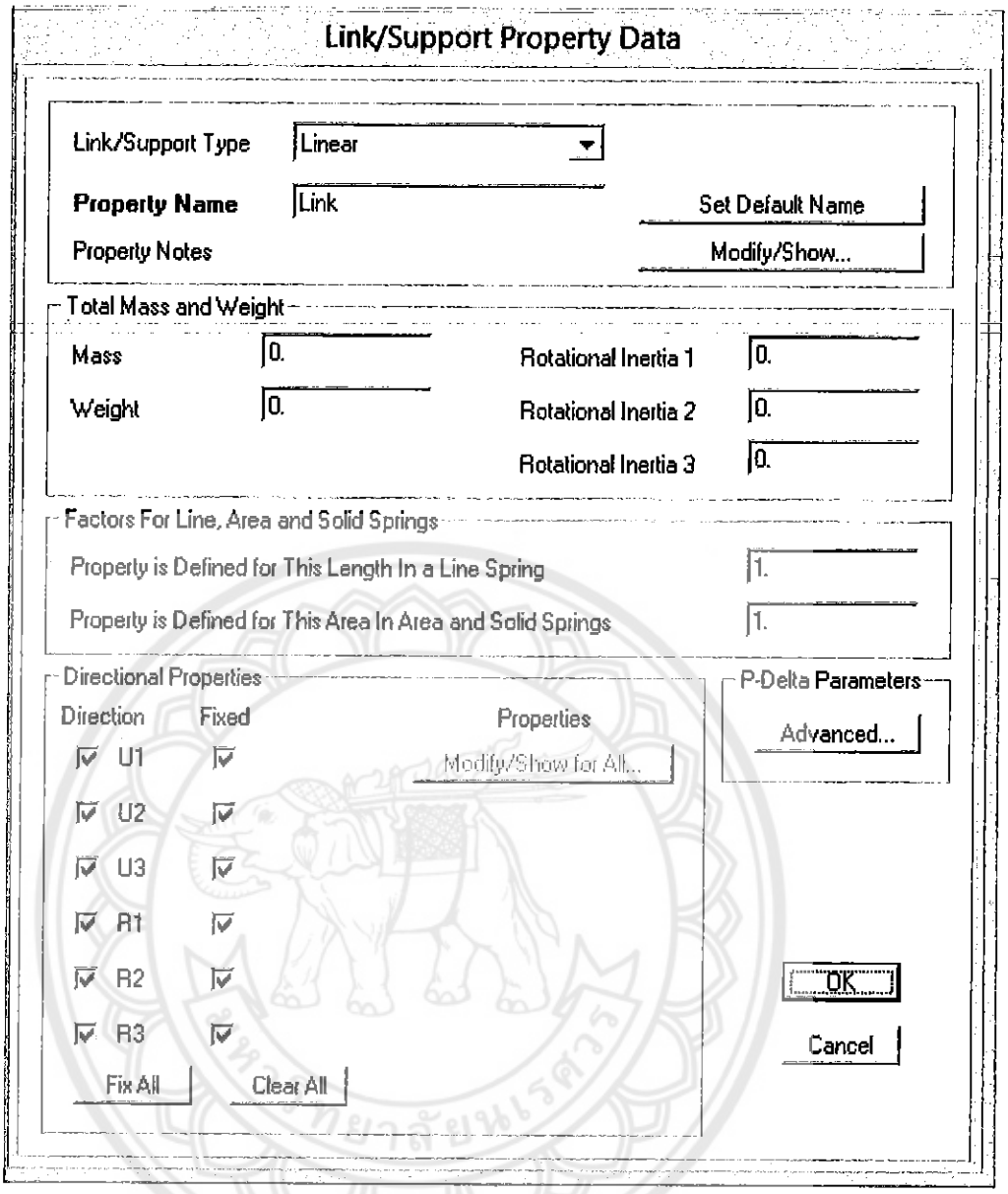



รูปที่ ก-88

จากรูปที่ ก-88 เลือก Modify/Show Property...จะปรากฏหน้าต่างรูปที่ ก-89 ให้ตั้งชื่อที่ช่อง Property Name โดยตั้งค่าโดยเลือก Fix all เพื่อไม่ขยับ ดังรูปที่ ก-90

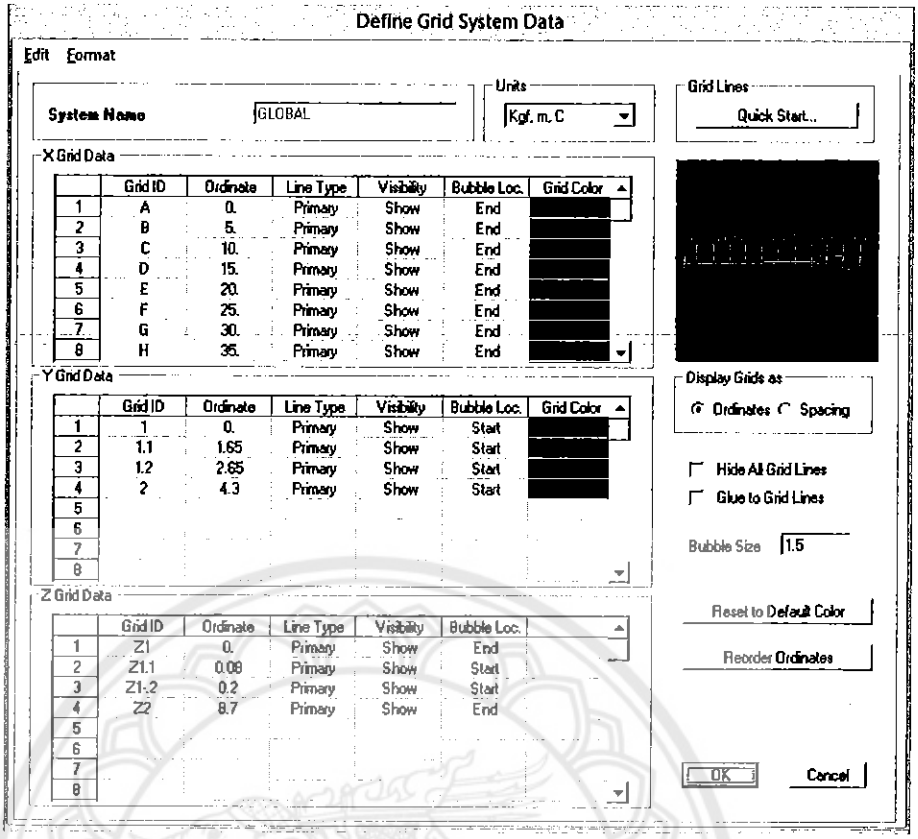



รูปที่ ก-89

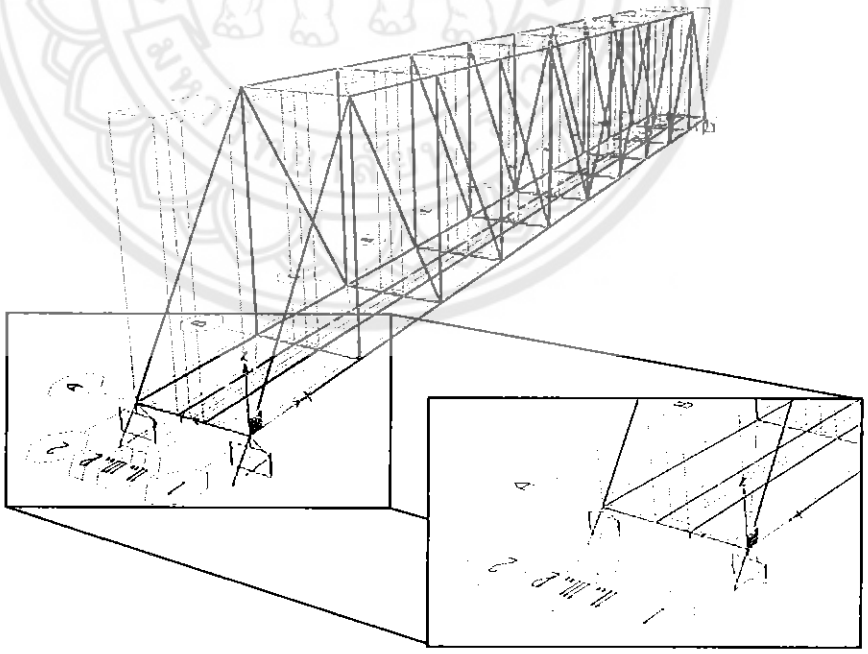



รูปที่ ก-90

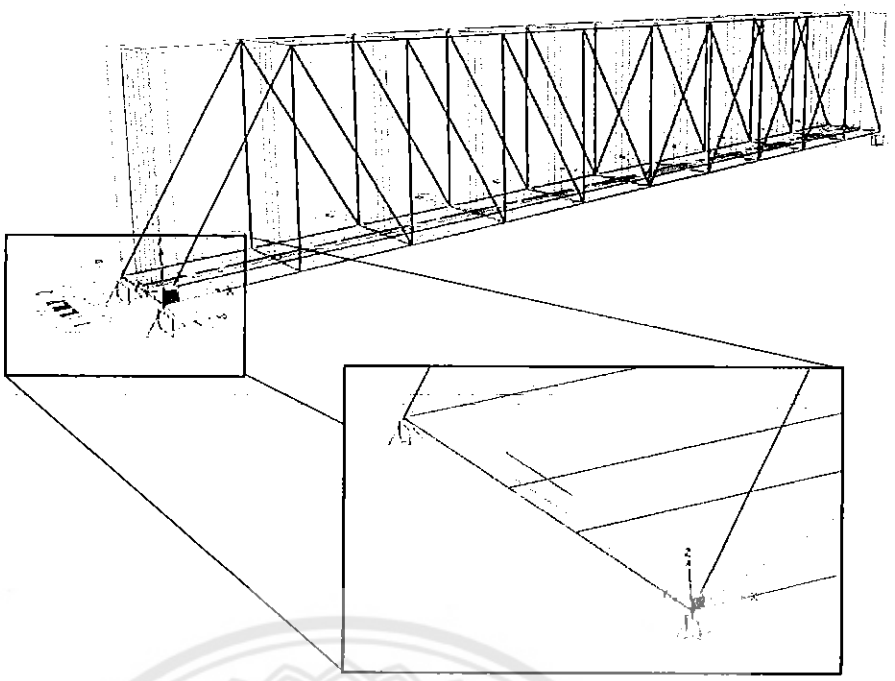
แล้วตั้งค่าเส้นระดับให้เป็นที่วาดของไม้หมอน และราง ตั้งค่าเส้นระดับดังรูปที่ ก-91 เมื่อกด OK แล้วรูปเส้นระดับที่ได้จะเหมือนรูปที่ ก-92




รูปที่ ก-91

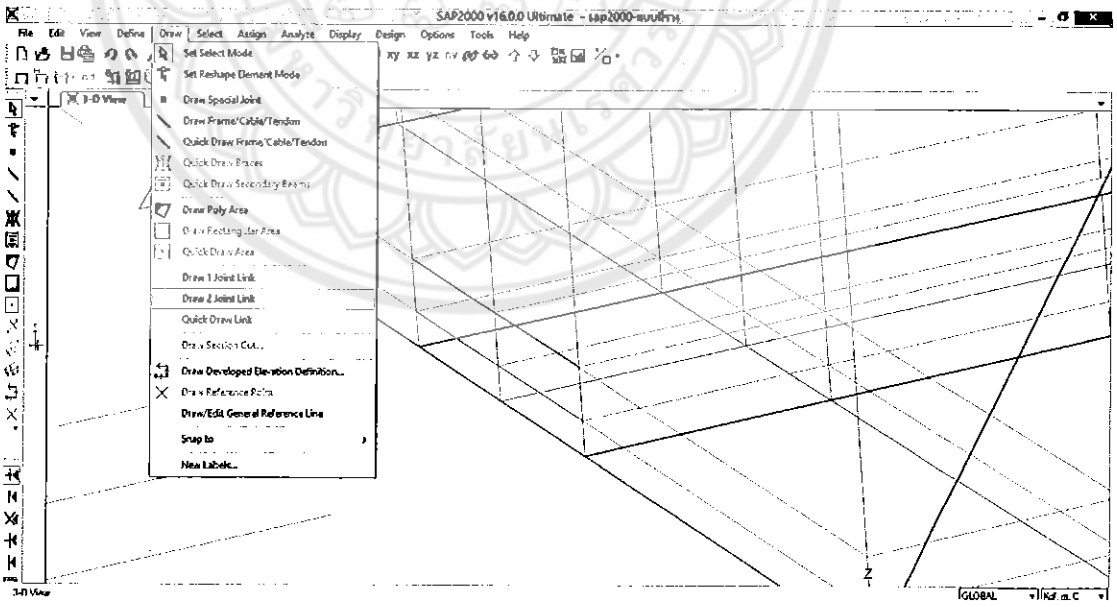


รูปที่ ก-92
ลากเส้นของ Sleeper กับ Non (ชมพู กับ ฟ้า ตามลำดับ) ดังรูปที่ ก-93



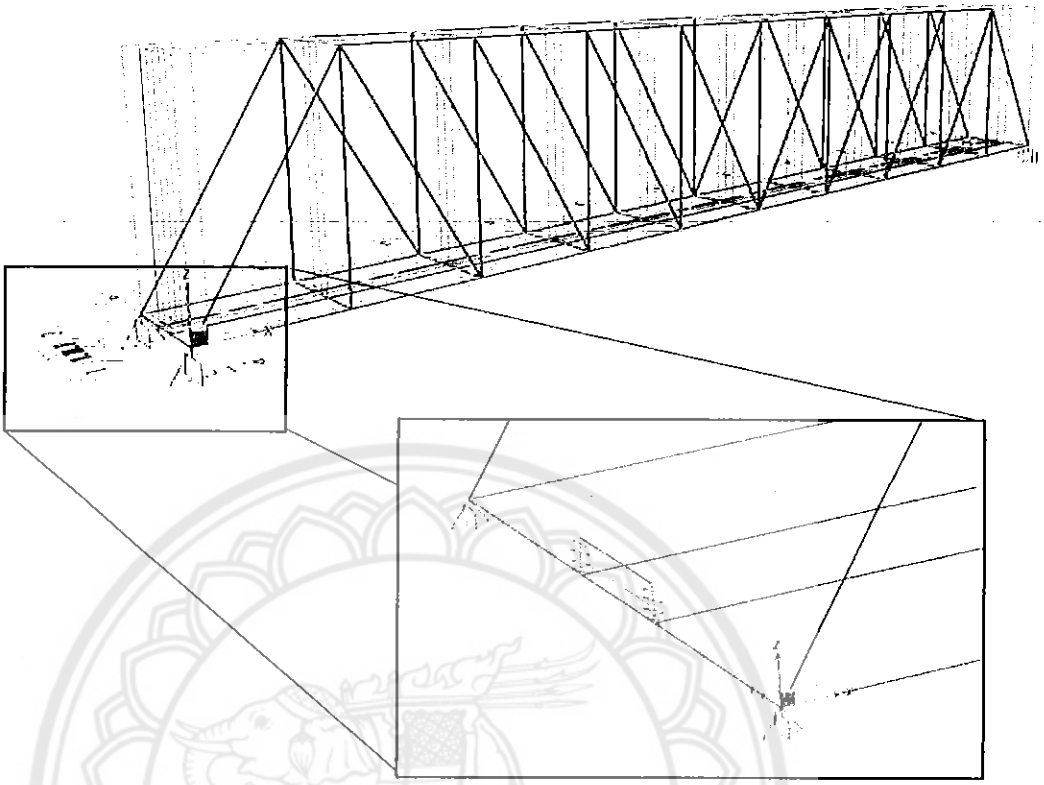
รูปที่ ก-93

เมื่อได้ ดังรูปที่ ก-93 เราก็สร้างลิงค์ต่อให้ถ่ายแรงลงตัวสะพานโดย กด Draw→Draw 2 Joint Link ดังรูปที่ ก-94แล้วลากเส้นเลือกต่อระหว่างปลายทั้งสองด้านลงสู่สะพาน ดังรูปที่ ก-95

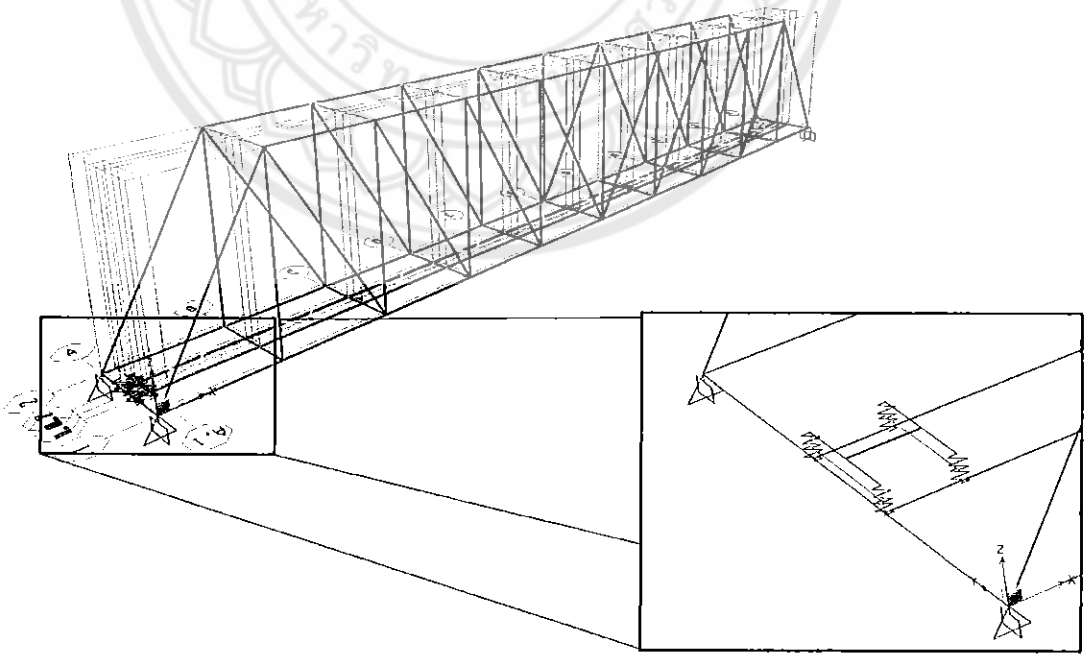



**รูปที่ ก-94**

รูปที่ ก-95

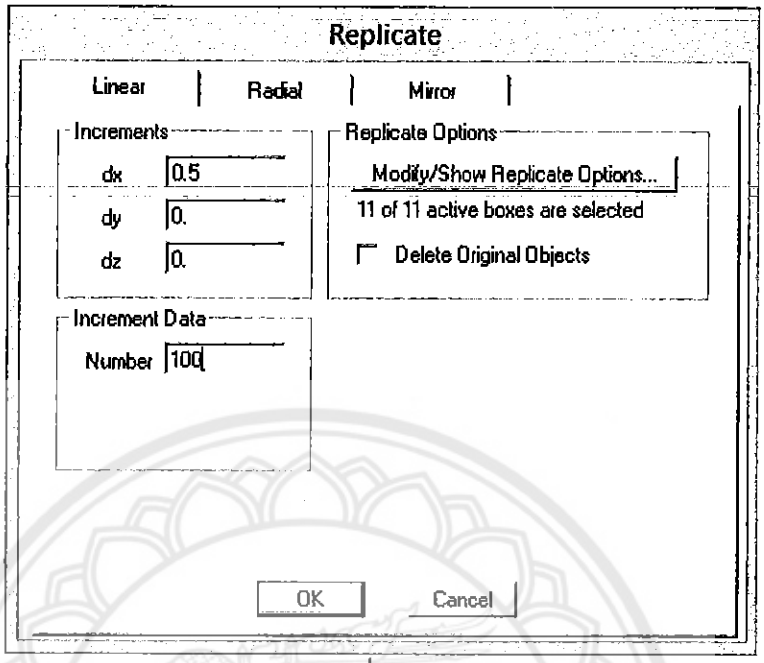


เมื่อวาดเสร็จดังรูปที่ ก-95 แล้วเราวาดเส้นทางวิ่งเหมือนแบบจำลองของแบบไม่มีตัวราง (Middle) ดังรูปที่ ก-96

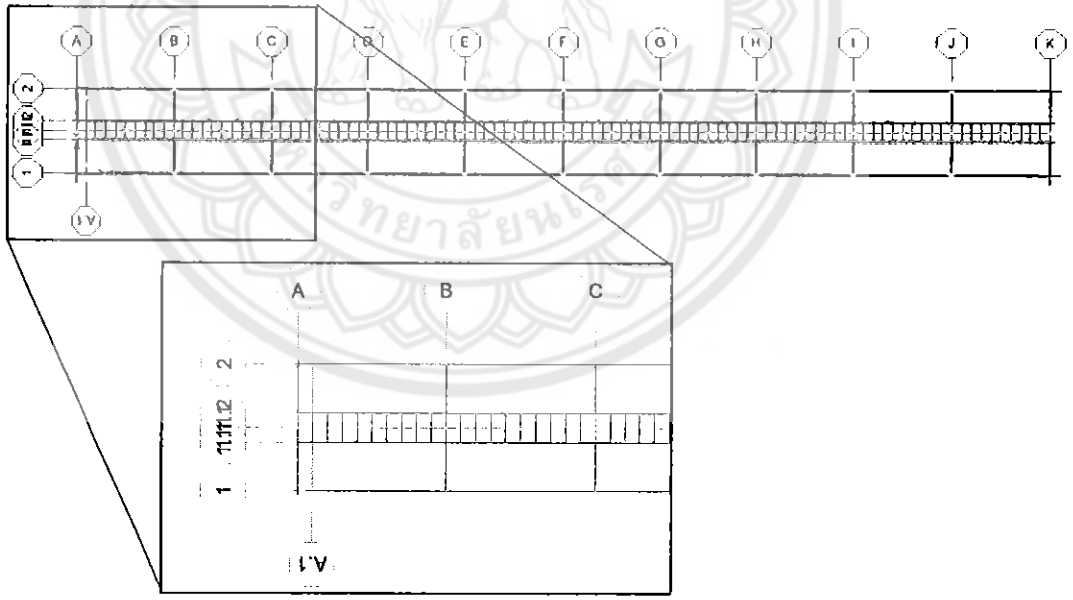


รูปที่ ก-96

ต่อมาก็ทำให้ Sleeper Non และ Middle ให้เต็มสะพานโดยกดเลือกชิ้นส่วนที่ต้องการ แล้วกด Ctrl + R จะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาให้ตั้งค่าการคัดลอกแล้วตั้งค่าดังรูปที่ ก-97ผลที่ได้ดังรูปที่ ก-98

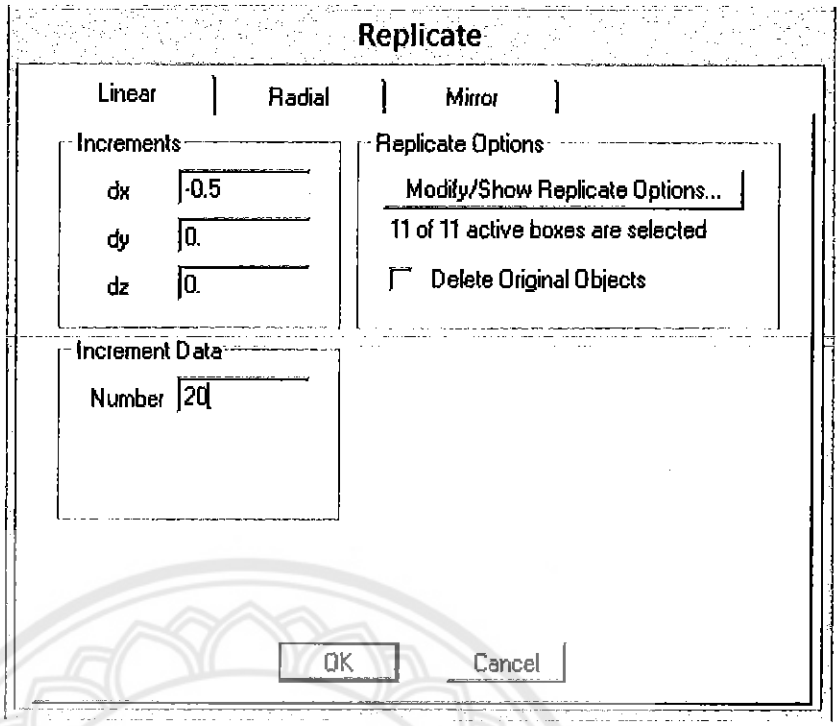



รูปที่ ก-97

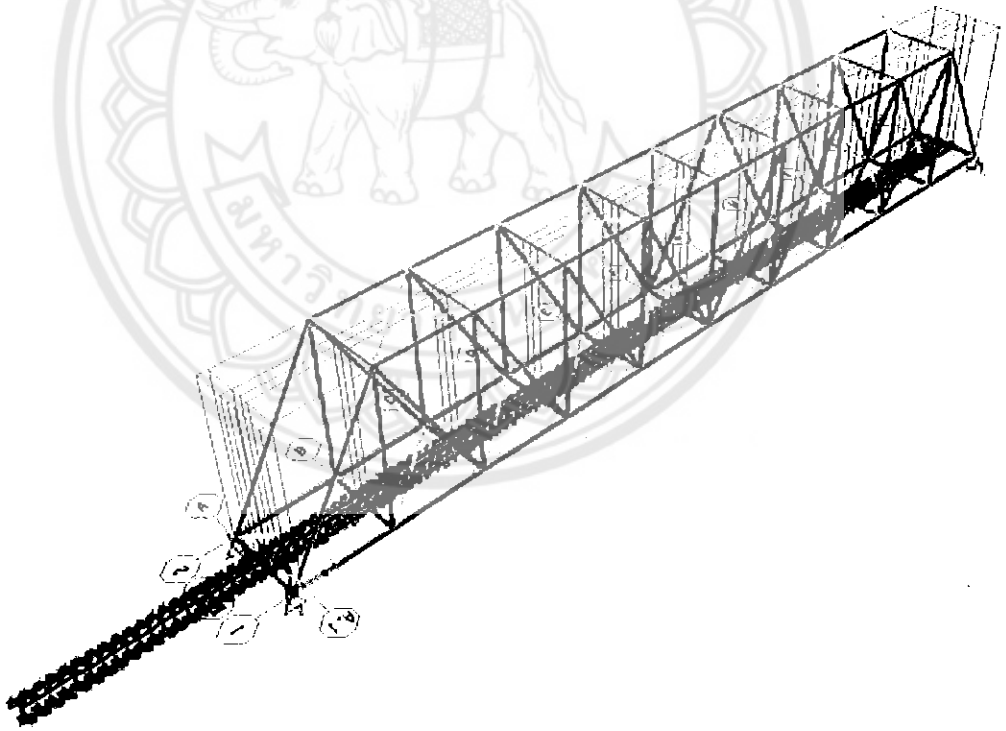



รูปที่ ก-98

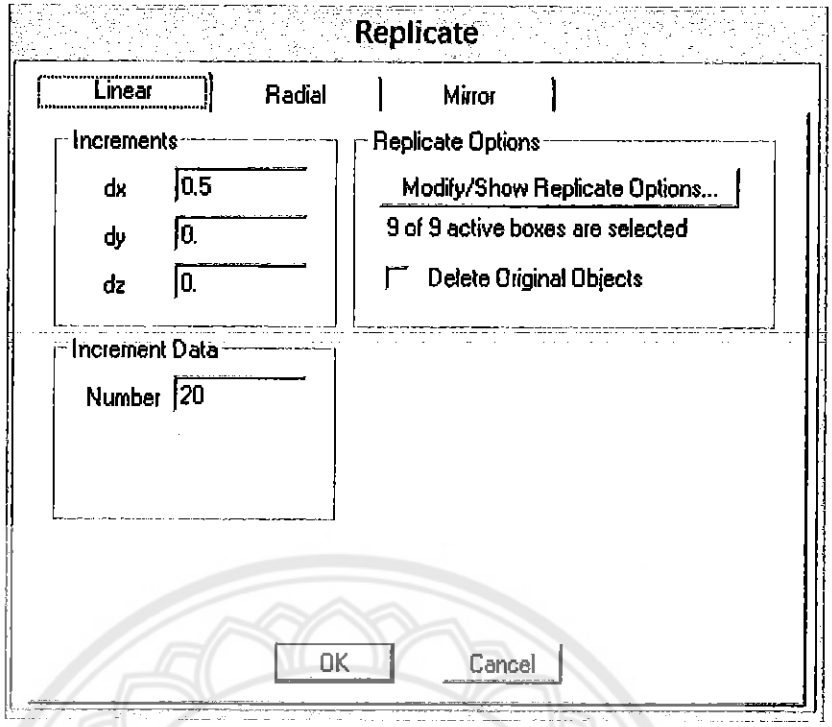
ต่อมาก็ทำให้ลากออกมาจากสะพาน 10 ม. โดยคัดลอกหัว(ทางขวา)แล้ว กด Ctrl + R ดังรูปที่ ก-99 ผลที่ได้ดังรูปที่ ก-100 และคัดลอกท้าย(ซ้าย)แล้วกด Ctrl + R ดังรูปที่ ก-101 ผลที่ได้ ดังรูปที่ ก-102



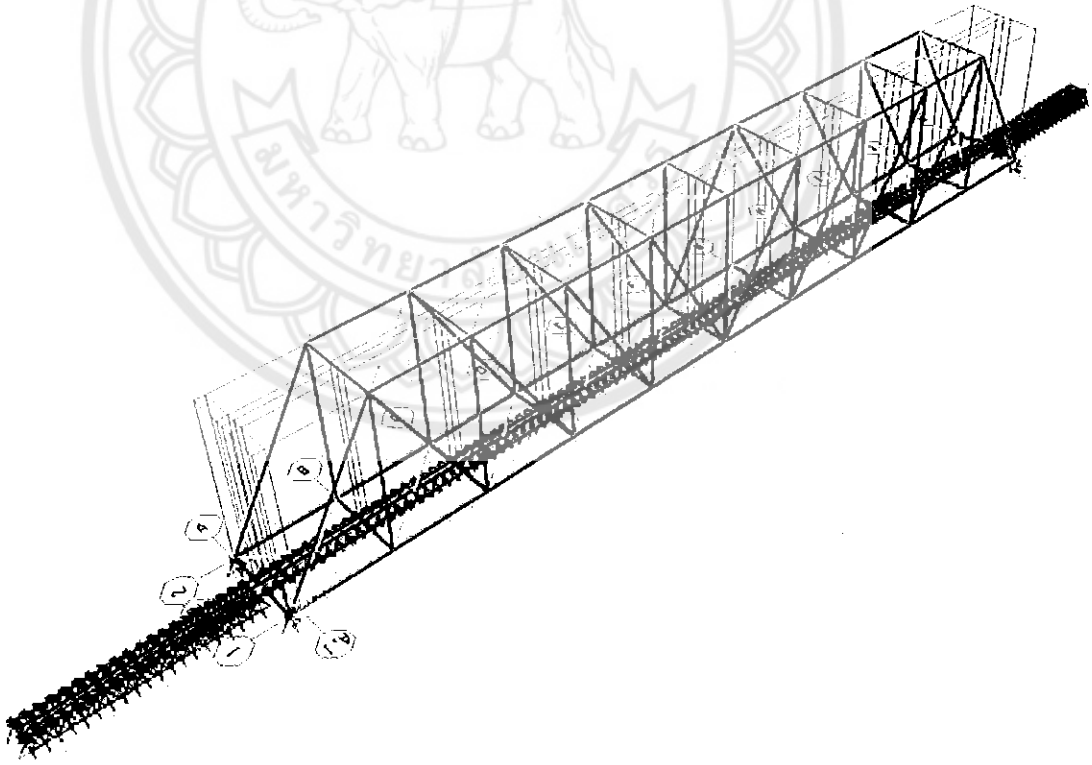

รูปที่ ก-99



รูปที่ ก-100




รูปที่ ก-101

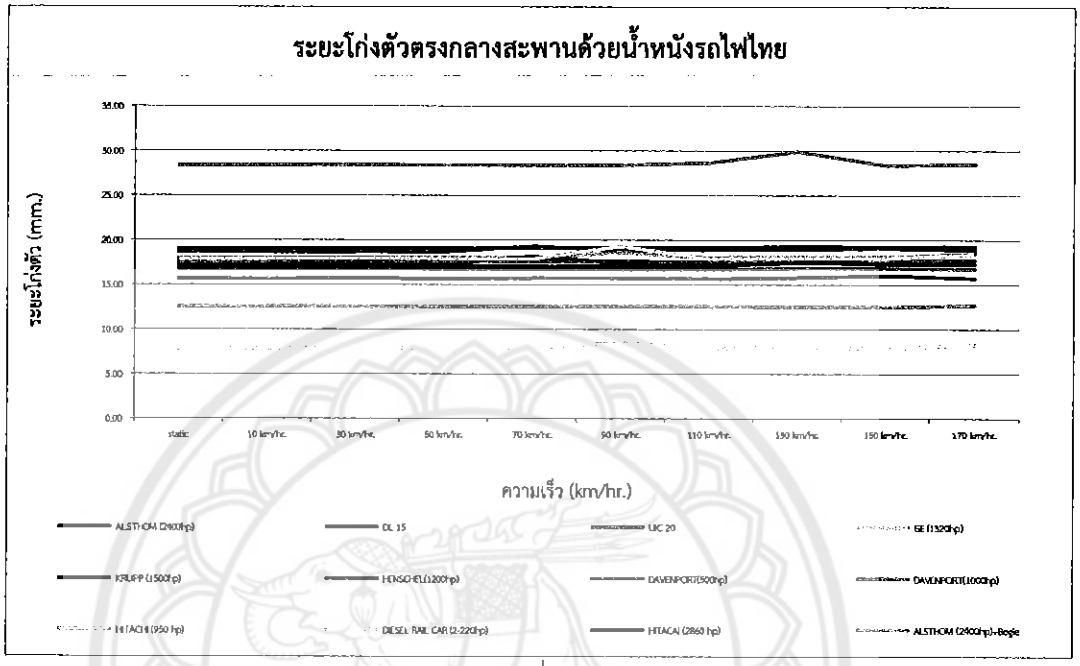


รูปที่ ก-102

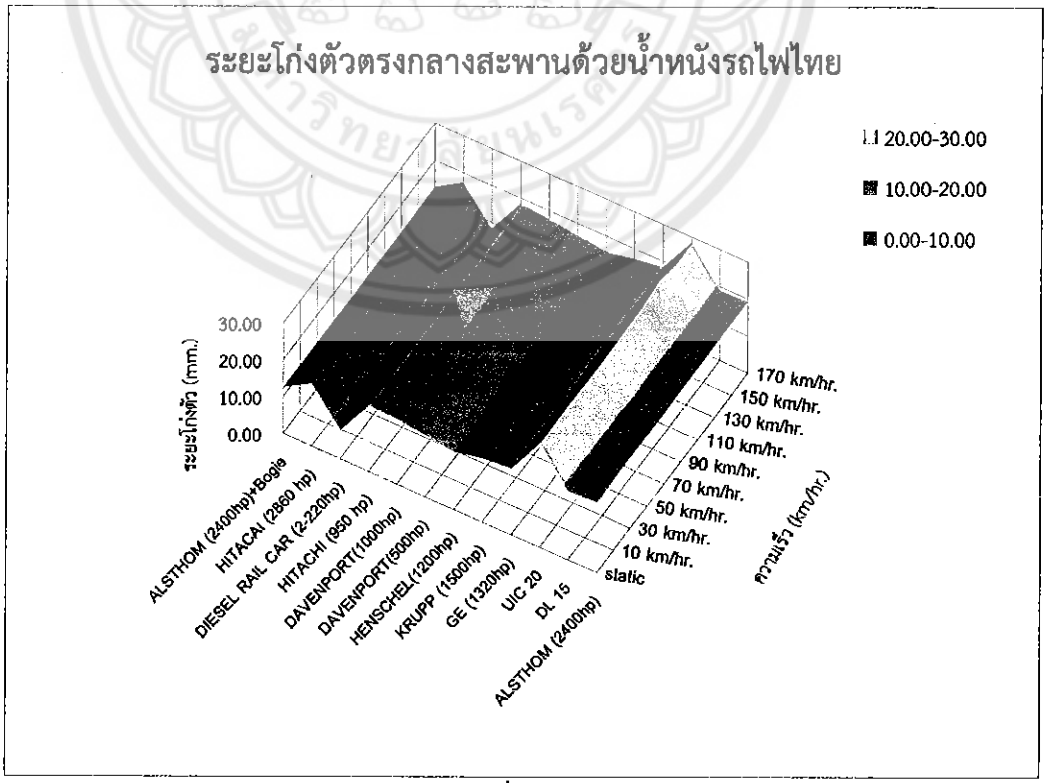
# ภาคผนวก ข

แบบไม่คำนึงไม้หมอน

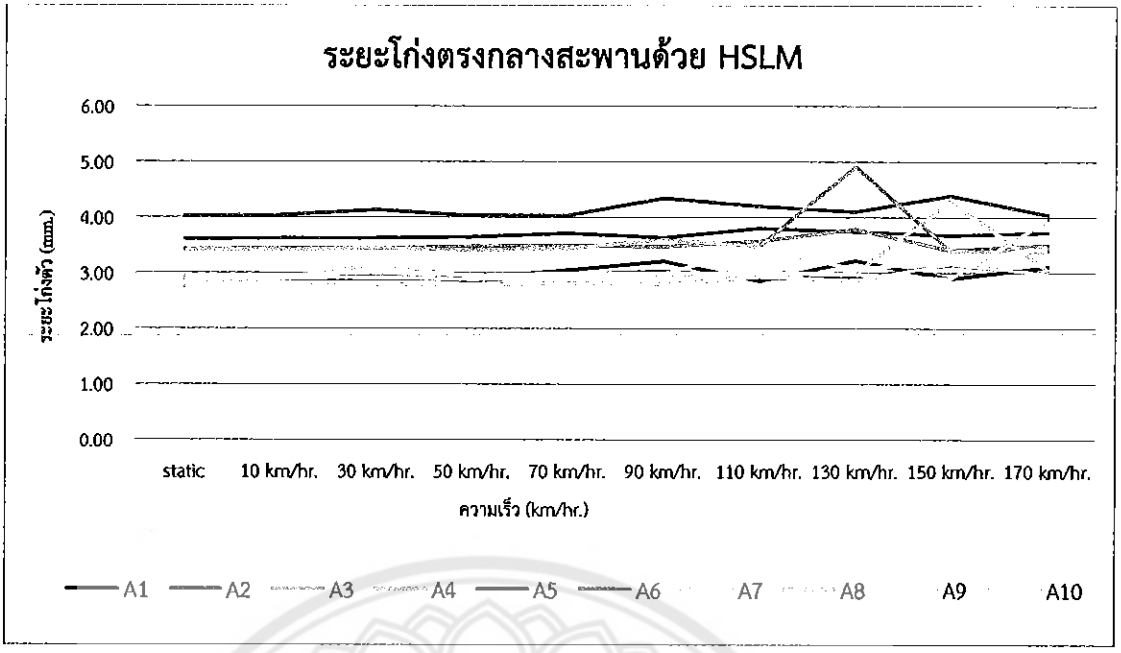
ระยะโก่งตัว



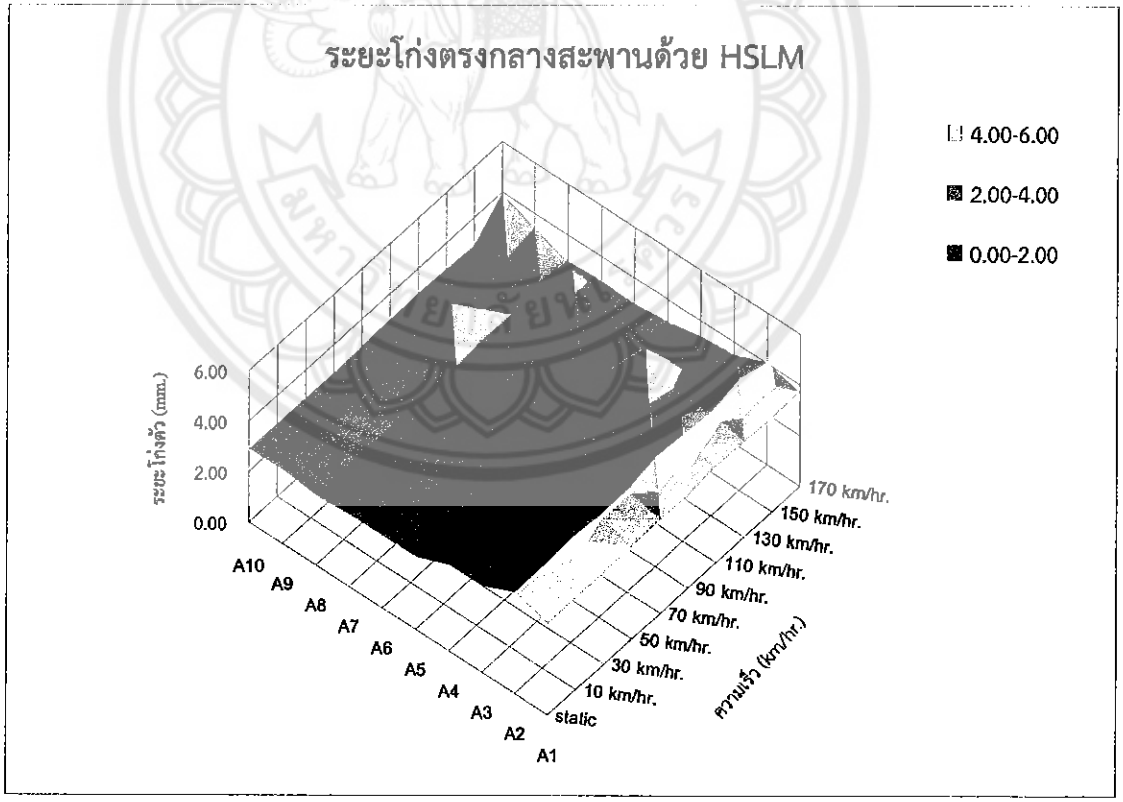

รูปที่ ข-1



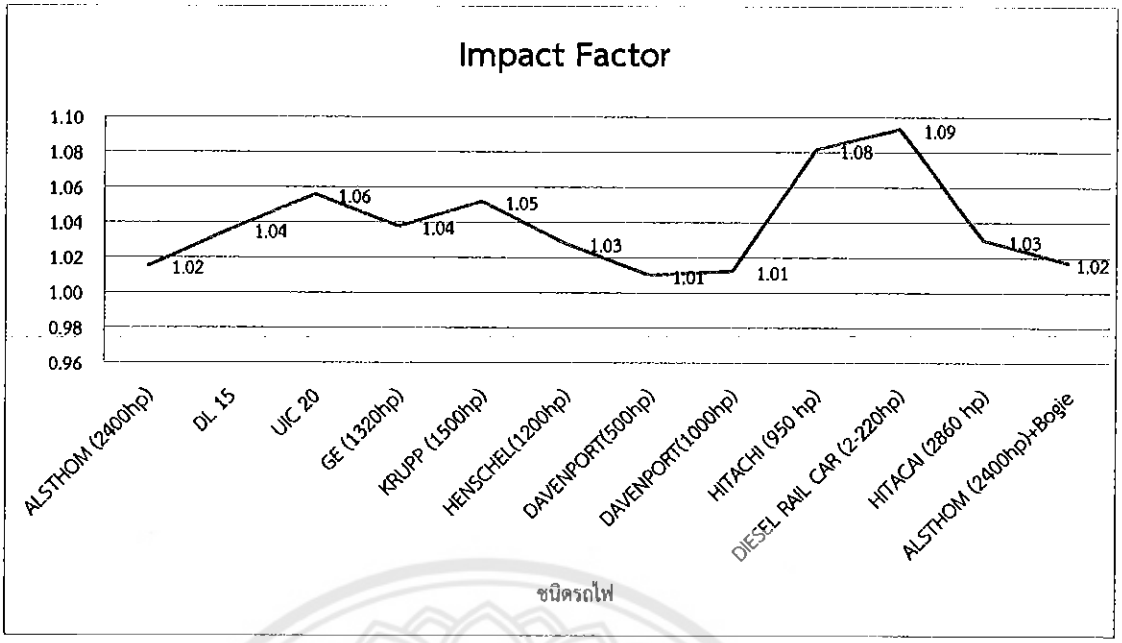

รูปที่ ข-2


ระยะโก่งตรงกลางสะพานด้วย HSLM
6.00
5.00
4.00
3.00
2.00
1.00
0.00
ระยะโก่งตัว (mm.)
static
10 km/hr.
30 km/hr.
50 km/hr.
70 km/hr.
90 km/hr.
110 km/hr.
130 km/hr.
150 km/hr.
170 km/hr.
ความเร็ว (km/hr.)
A1
A2
A3
A4
A5
A6
A7
A8
A9
A10

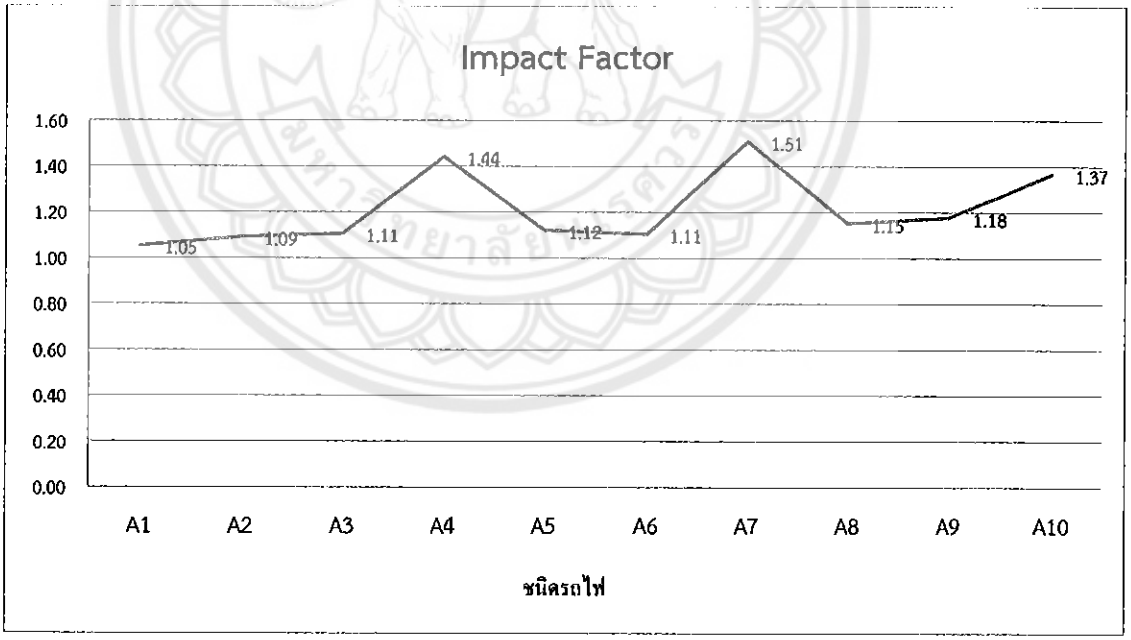
รูปที่ ข-3


ระยะโก่งตรงกลางสะพานด้วย HSLM
4.00-6.00
2.00-4.00
0.00-2.00
ระยะโก่งตัว (mm.)
6.00
4.00
2.00
0.00
A10
A9
A8
A7
A6
A5
A4
A3
A2
A1
static
10 km/hr.
30 km/hr.
50 km/hr.
70 km/hr.
90 km/hr.
110 km/hr.
130 km/hr.
150 km/hr.
170 km/hr.
ความเร็ว (km/hr.)

รูปที่ ข-4

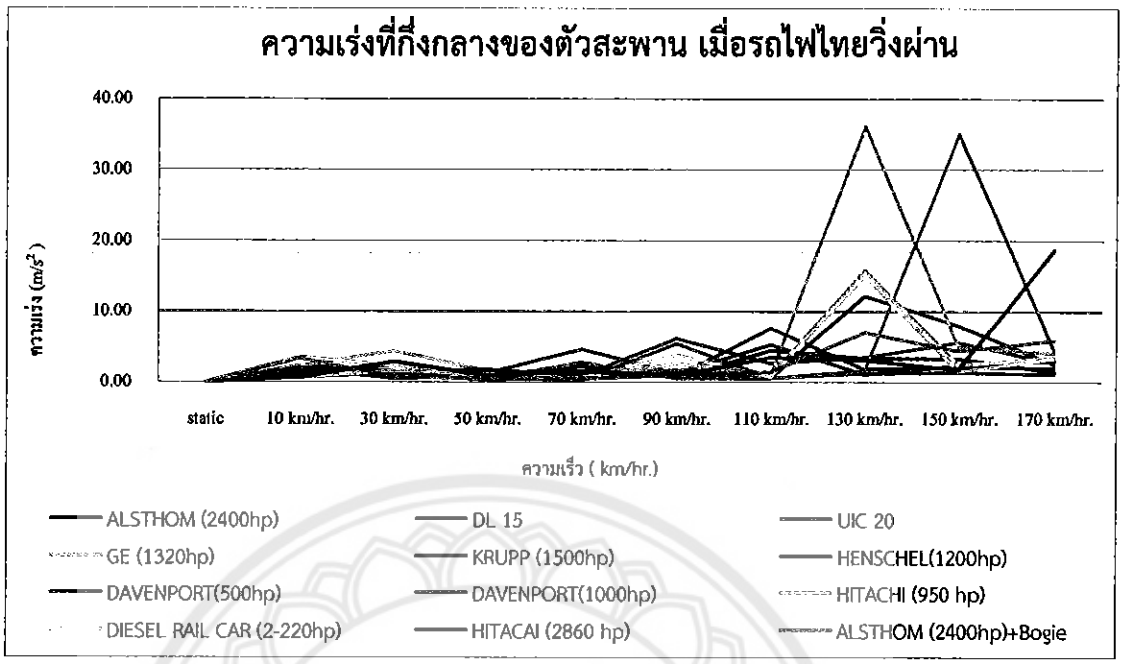

Impact Factor
1.10
1.08
1.06
1.04
1.02
1.00
0.98
0.96
1.02
1.04
1.06
1.04
1.05
1.03
1.01
1.01
1.08
1.09
1.03
1.02
ALSTHOM (2400hp)
DL 15
UIC 20
GE (1320hp)
KRUPP (1500hp)
HENSCHEL(1200hp)
DAVENPORT(500hp)
DAVENPORT(1000hp)
HITACHI (950 hp)
DIESEL RAIL CAR (2-220hp)
HITACAI (2860 hp)
ALSTHOM (2400hp)+Bogie
ชนิดรถไฟ

รูปที่ ข-5

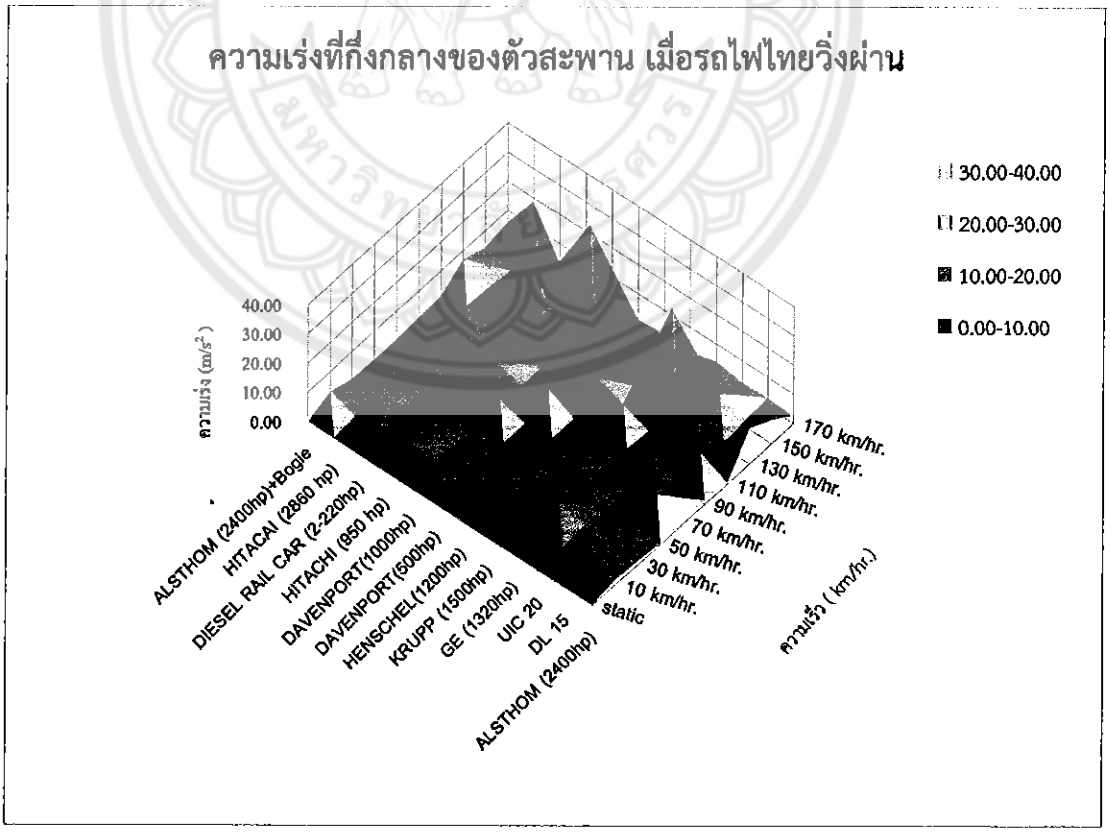

Impact Factor
1.60
1.40
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
1.05
1.09
1.11
1.44
1.12
1.11
1.51
1.15
1.18
1.37
A1
A2
A3
A4
A5
A6
A7
A8
A9
A10
ชนิดรถไฟ

รูปที่ ข-6

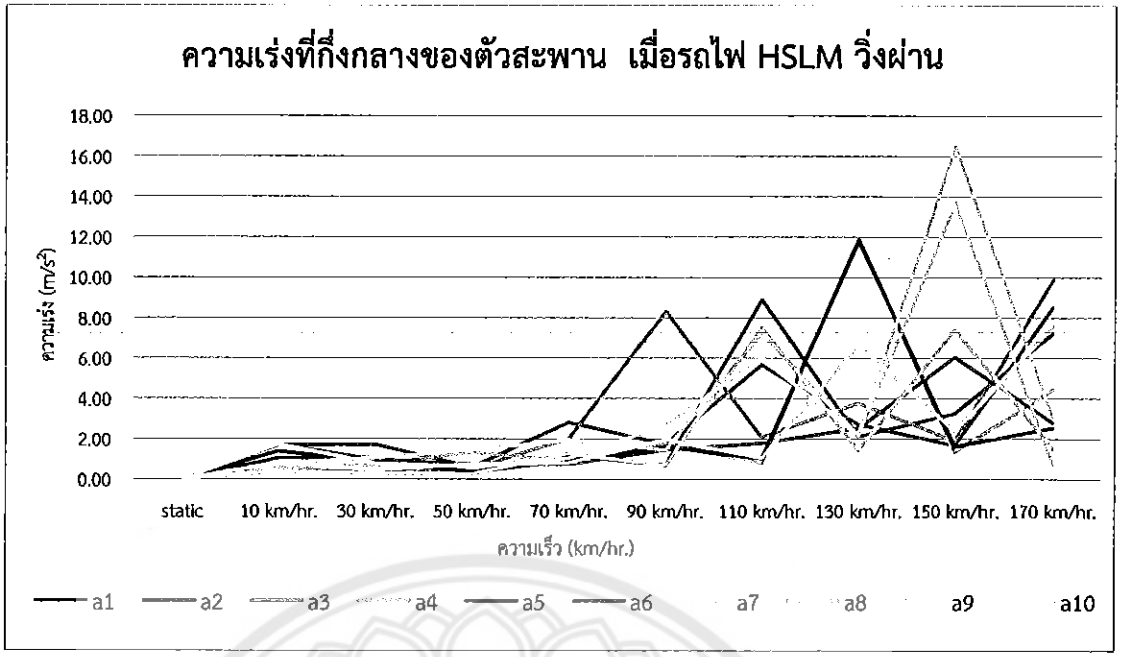
ความเร่ง



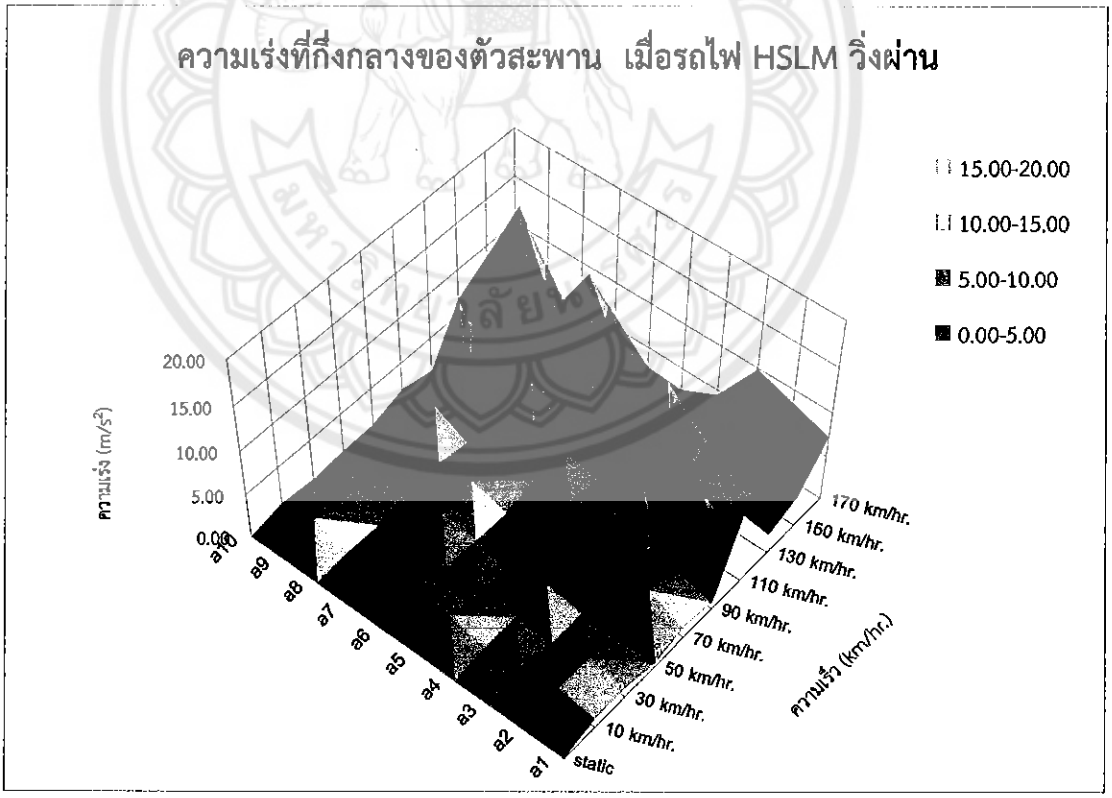

รูปที่ ข-7




รูปที่ ข-8

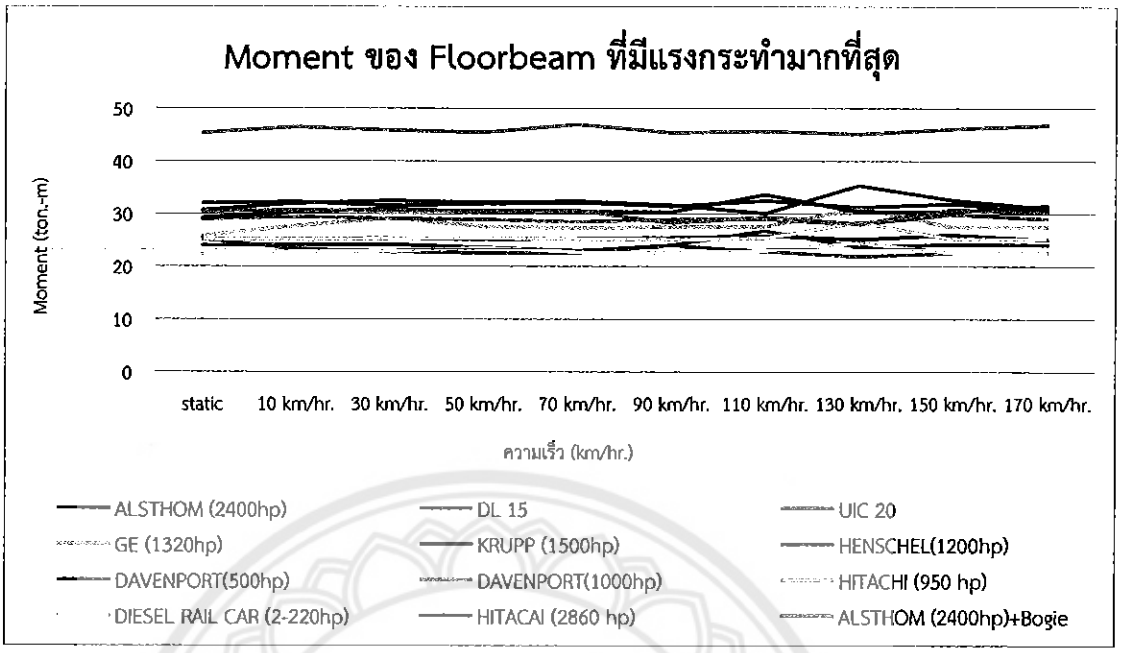



รูปที่ ข-9

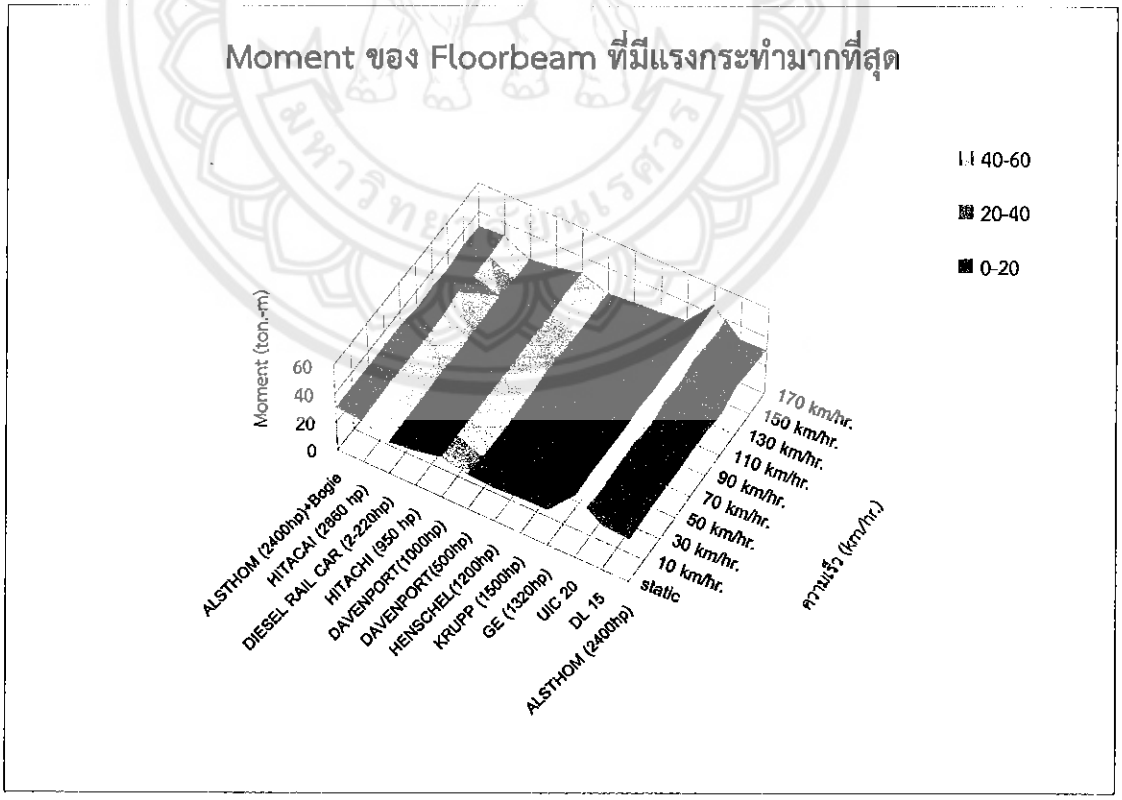



รูปที่ ข-10

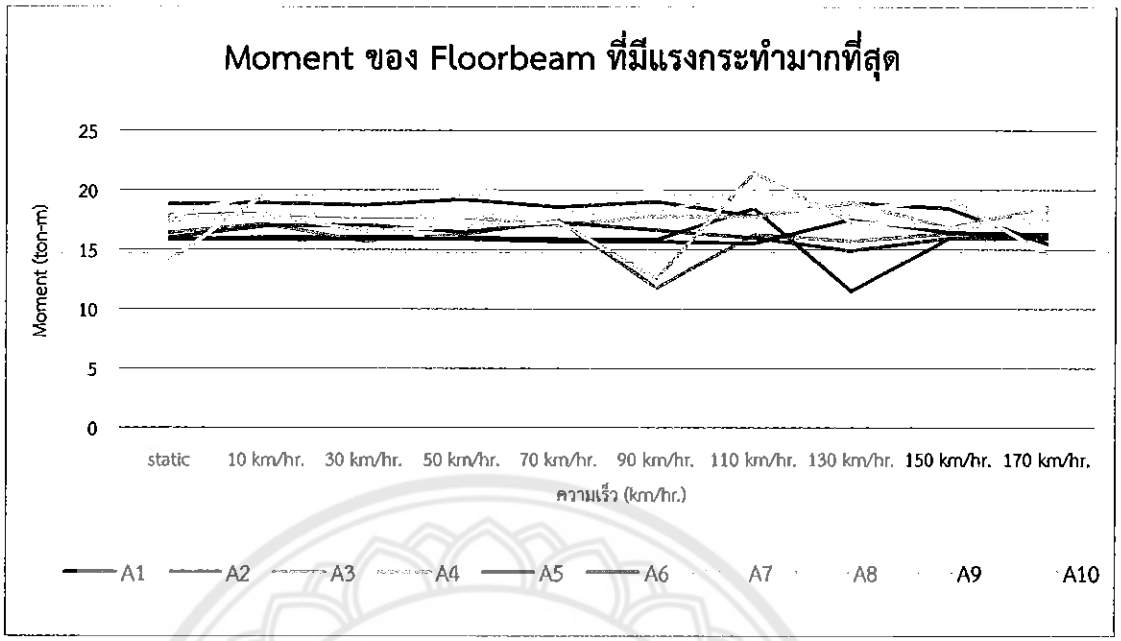
โมเมนต์ของ Floorbeam



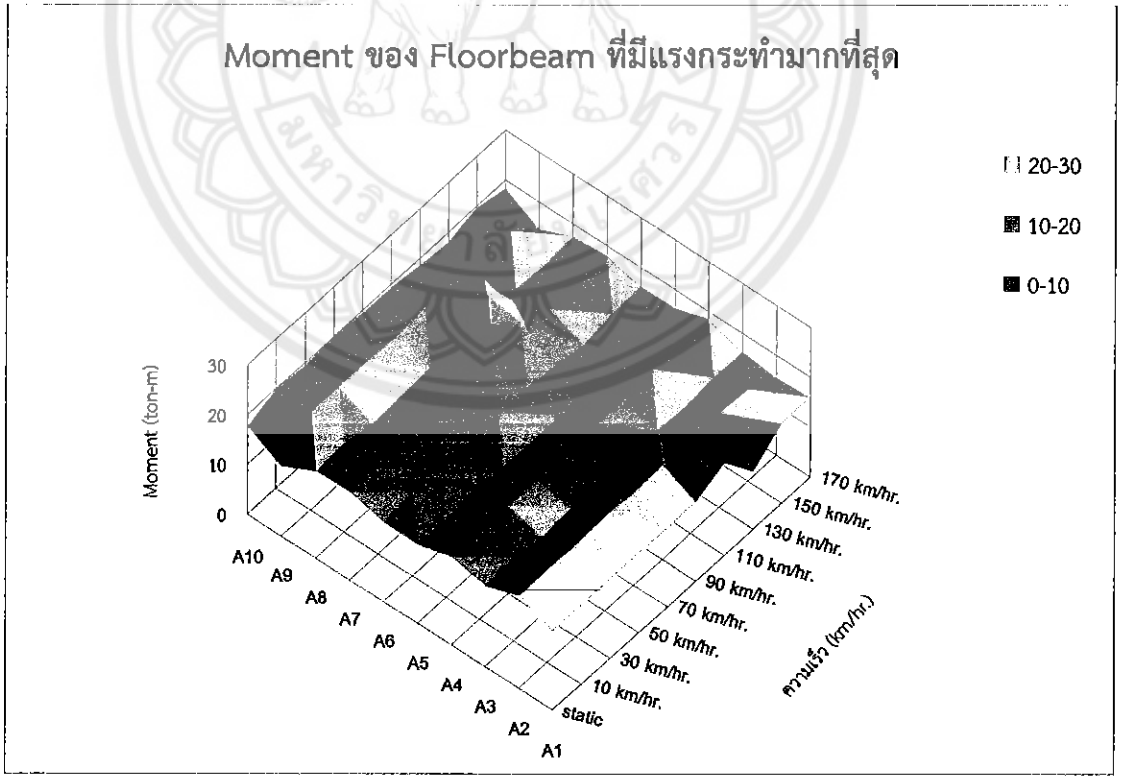

รูปที่ ข-11



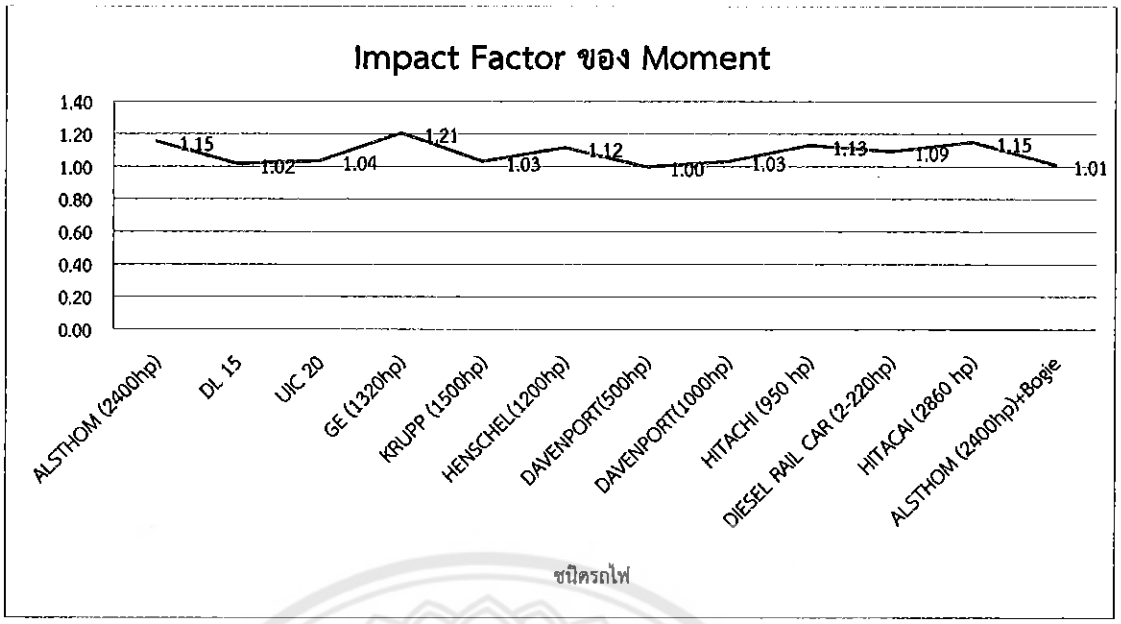

รูปที่ ข-12



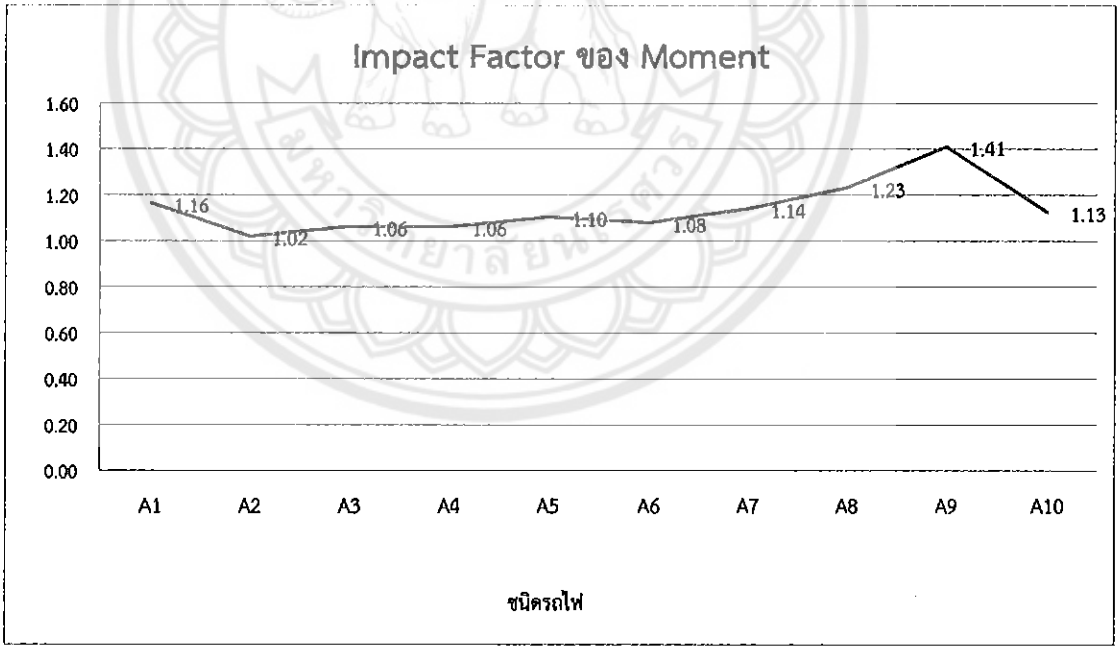

รูปที่ ข-13




รูปที่ ข-14

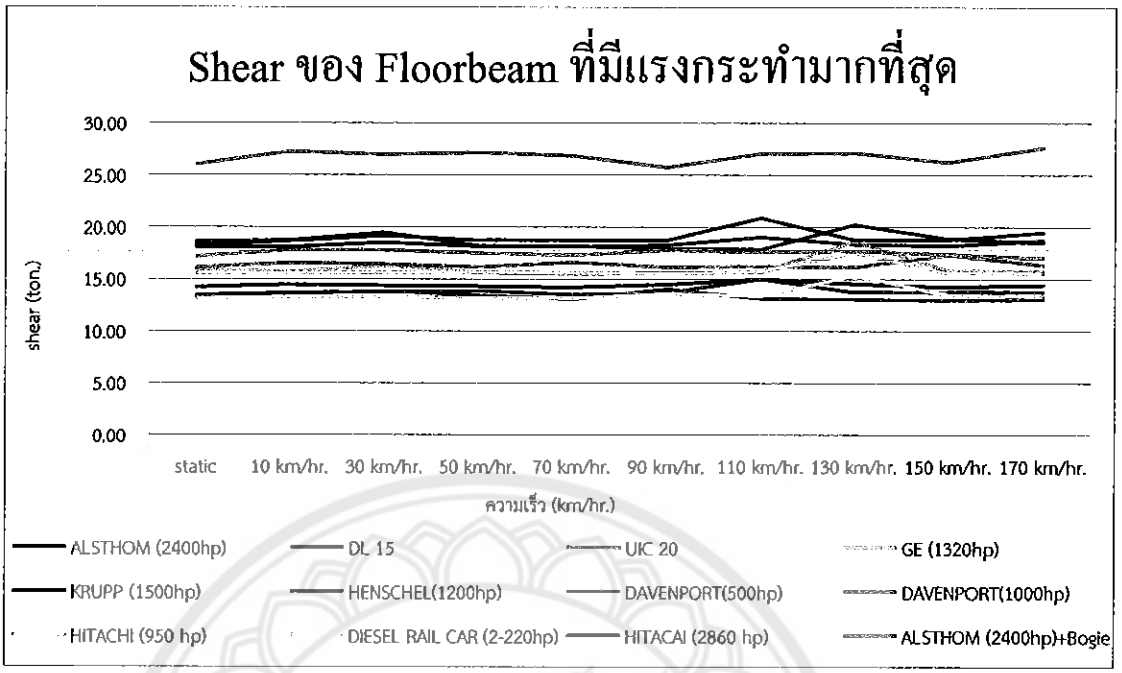



รูปที่ ข-15

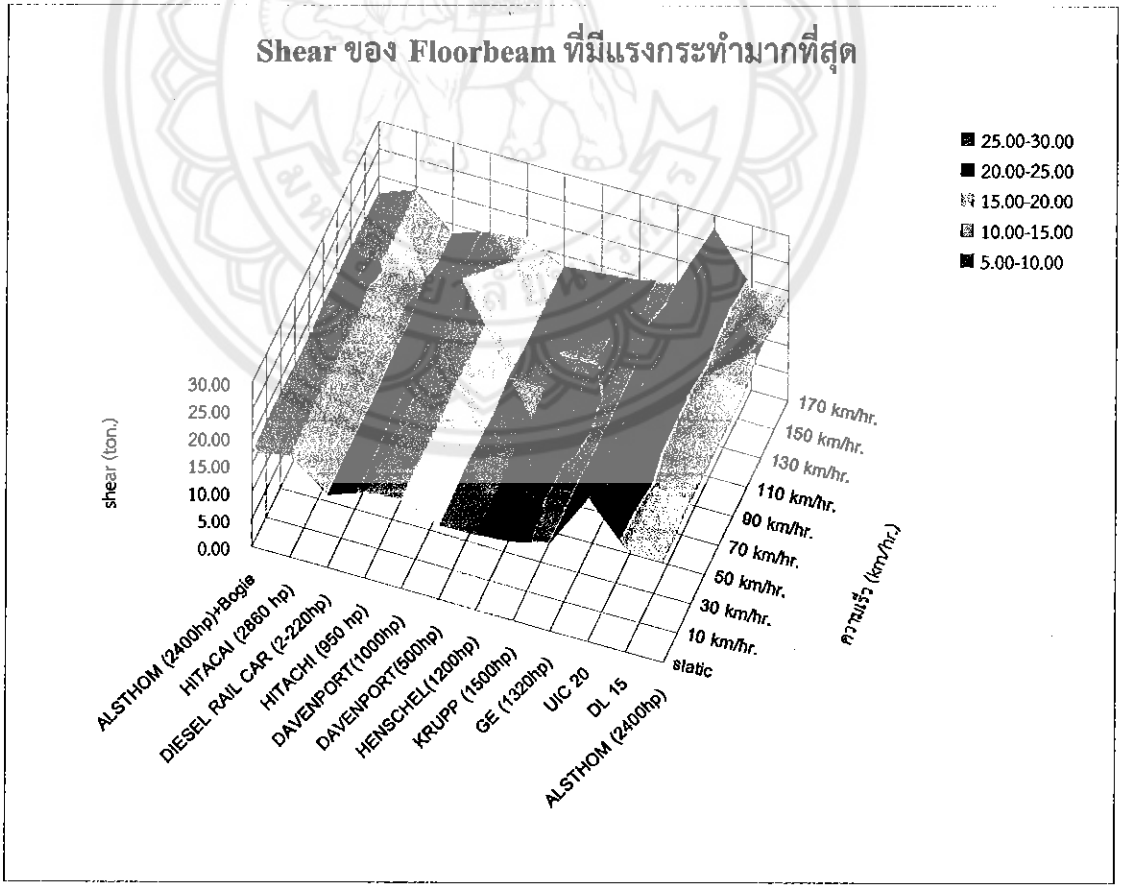



รูปที่ ข-16

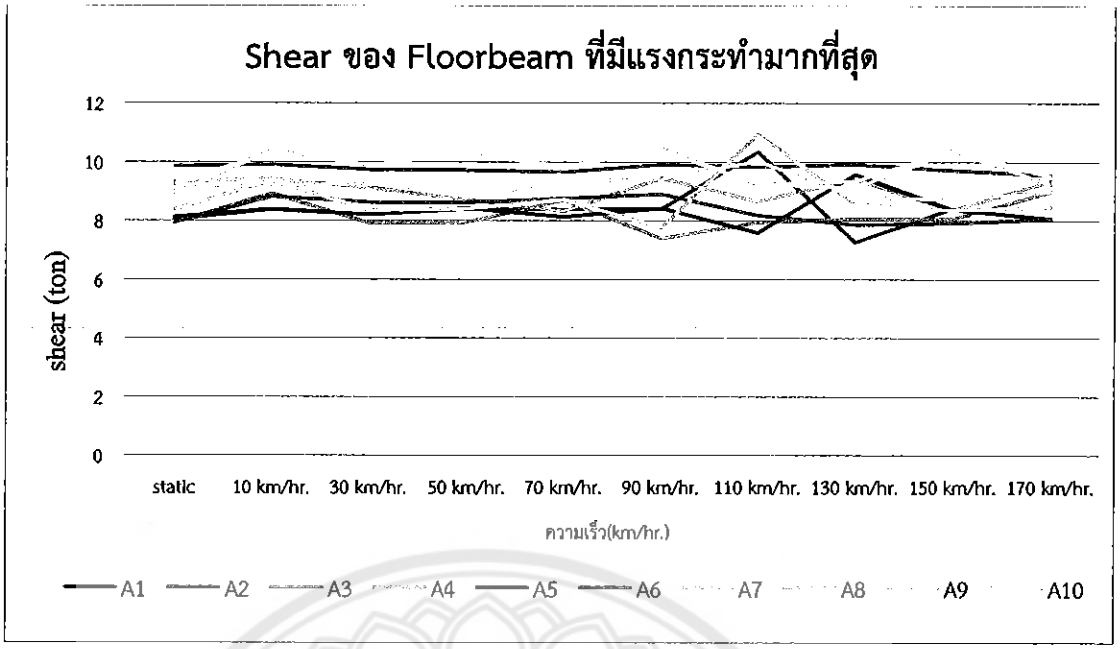
แรงเฉือนของ Floor beam



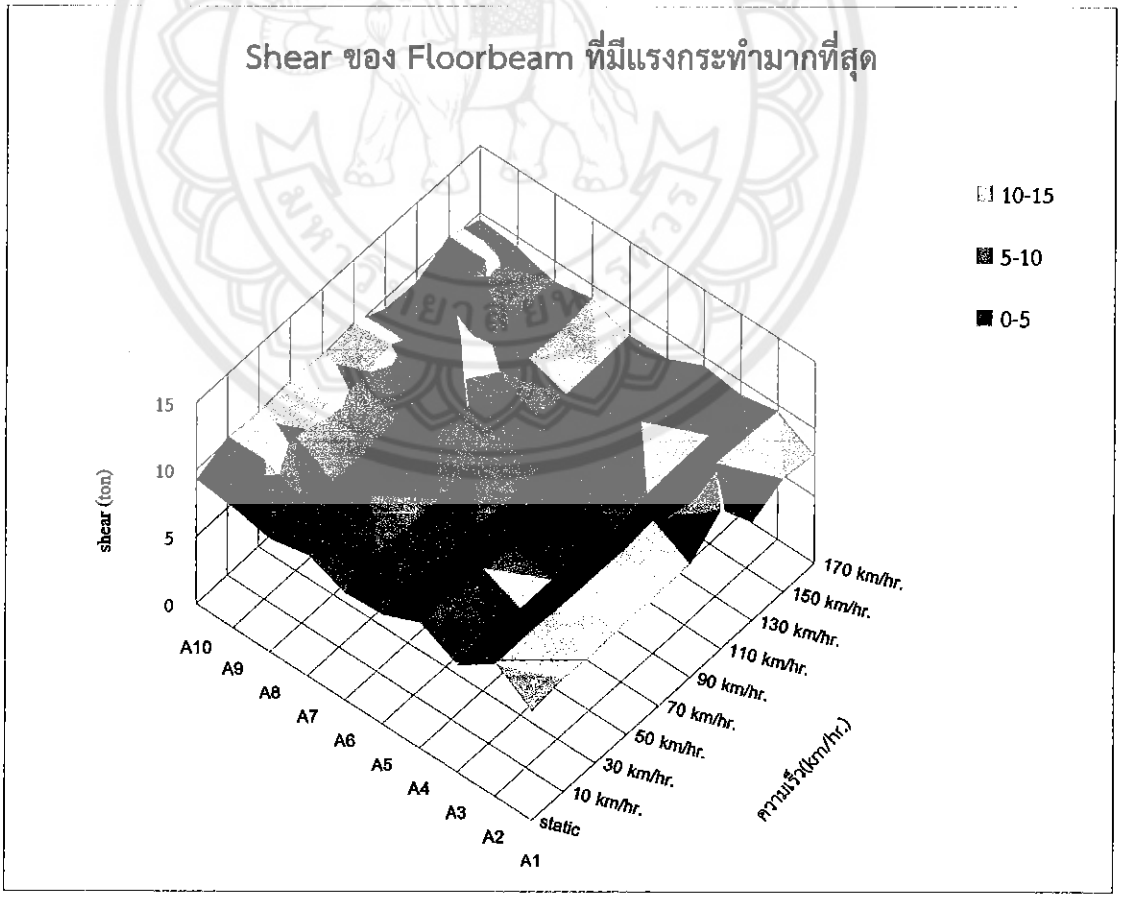

รูปที่ ข-17



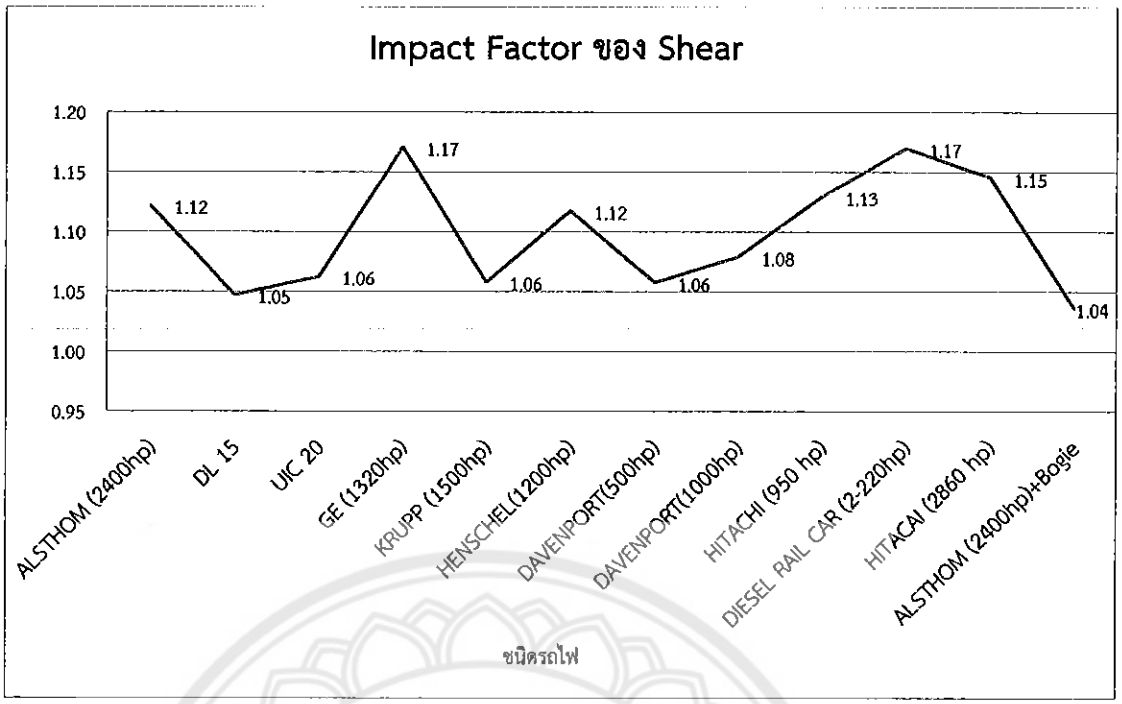

รูปที่ ข-18



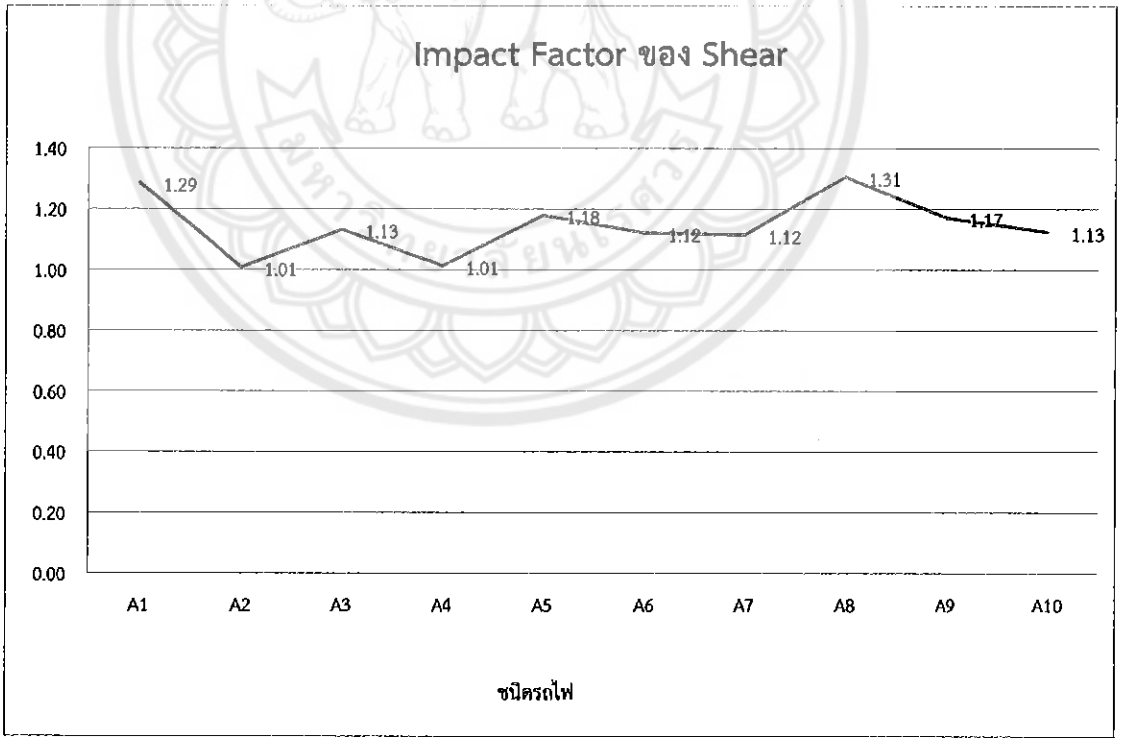

รูปที่ ข-19




รูปที่ ข-20

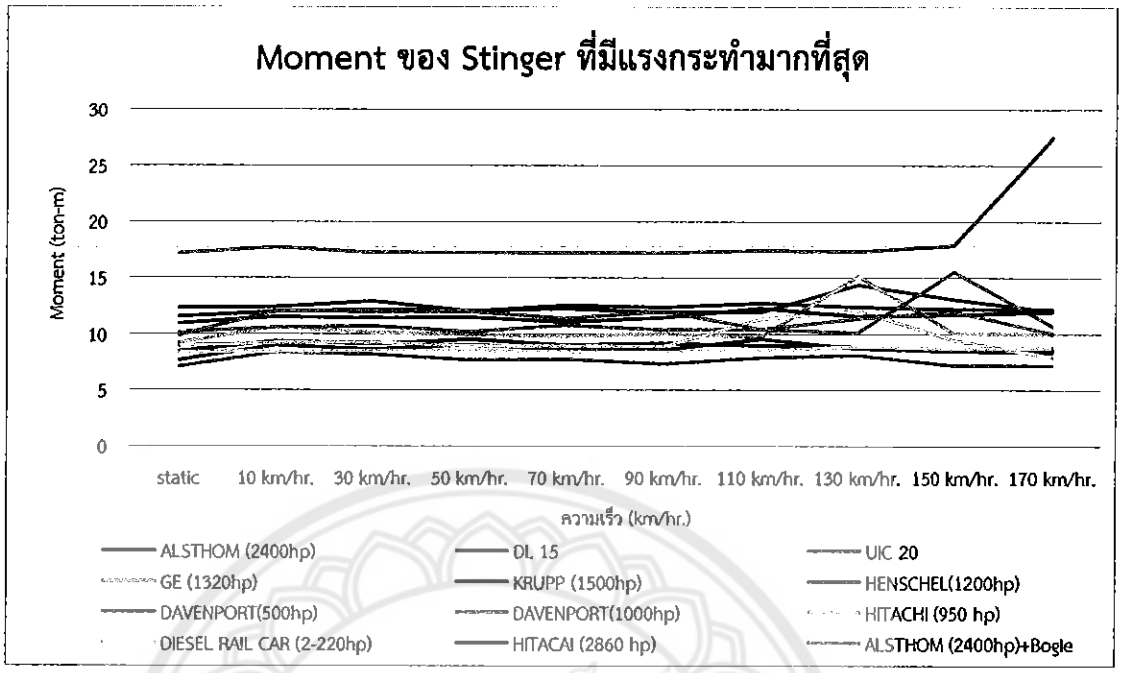



รูปที่ ข-21

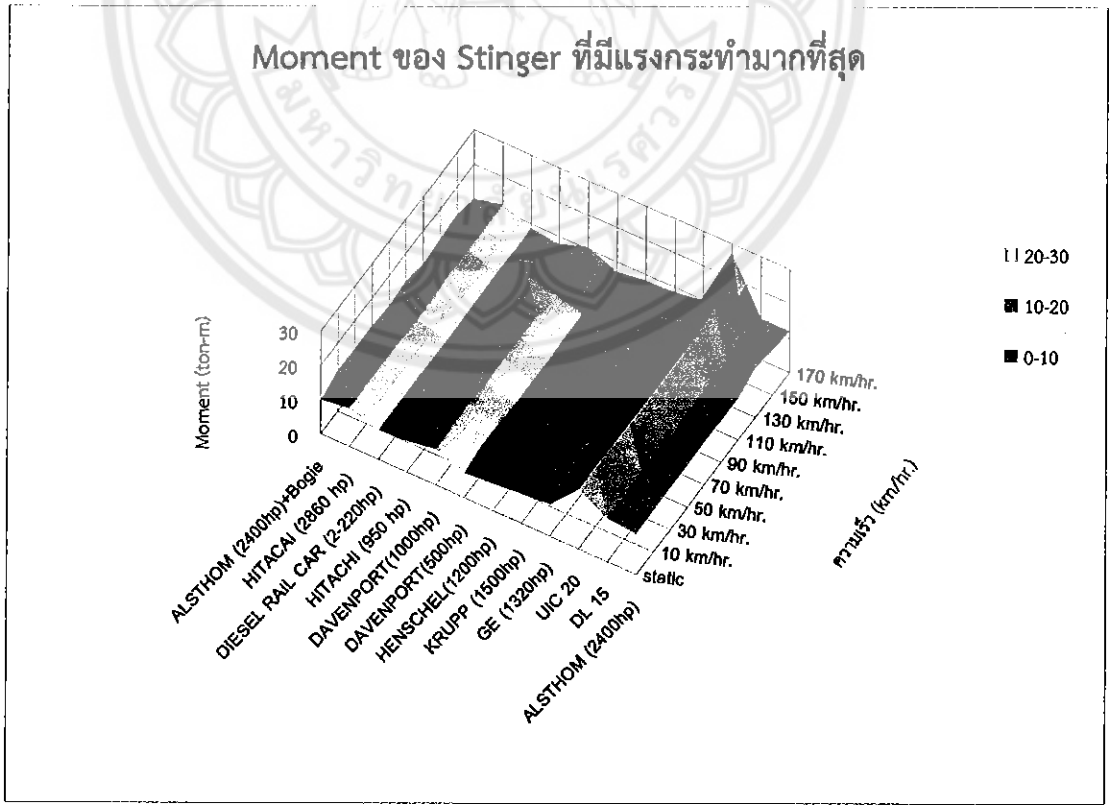



รูปที่ ข-22

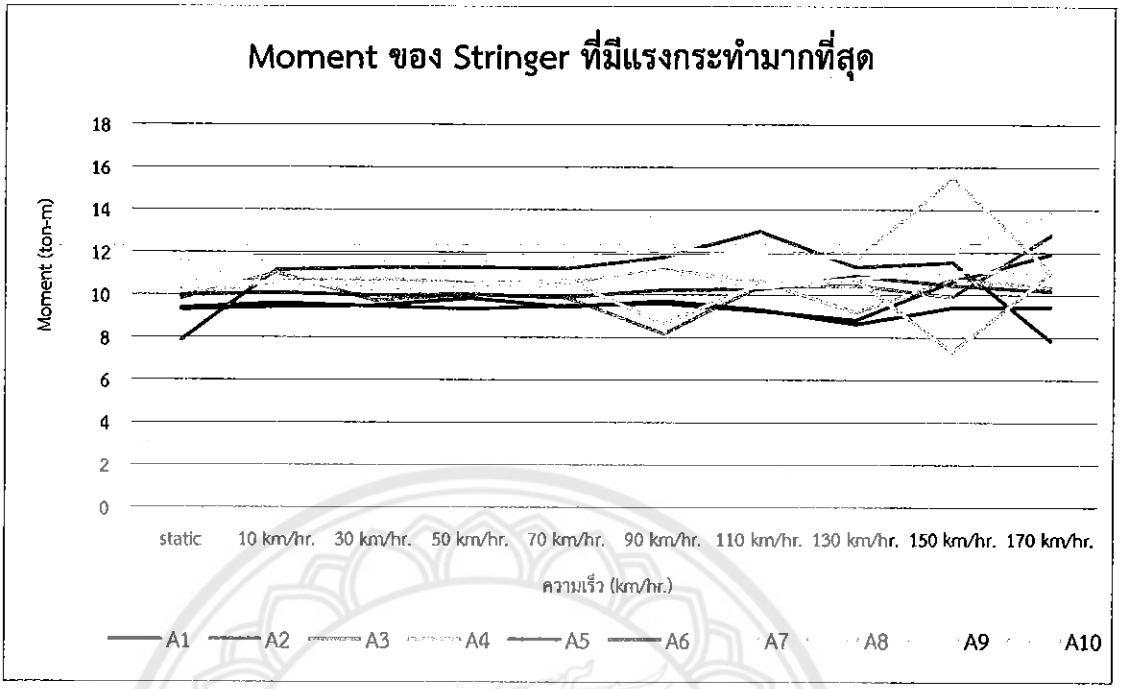
โมเมนต์ของ Stinger



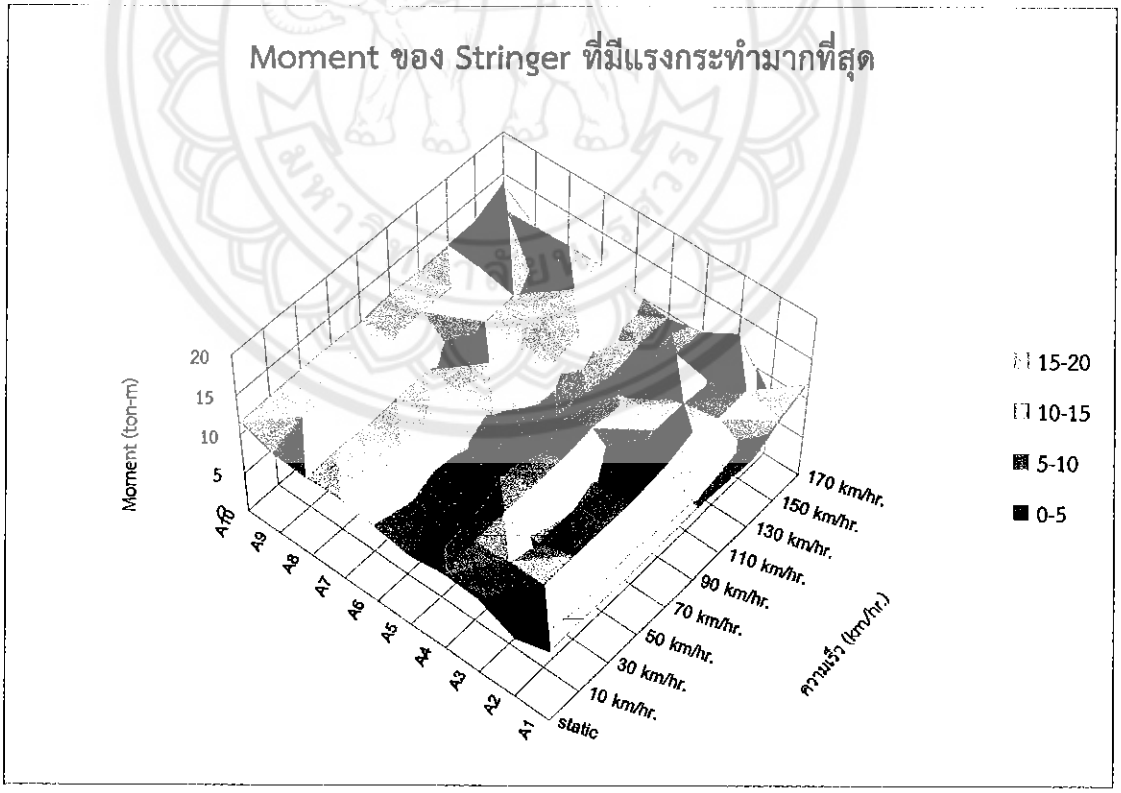

รูปที่ ข-23



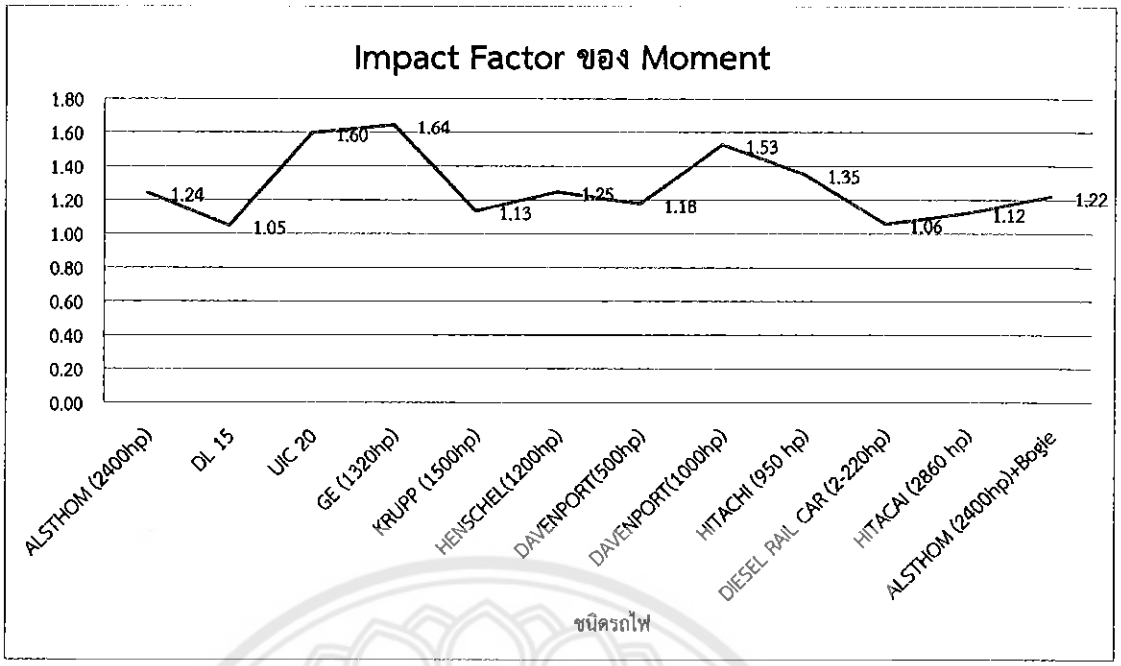

รูปที่ ข-24



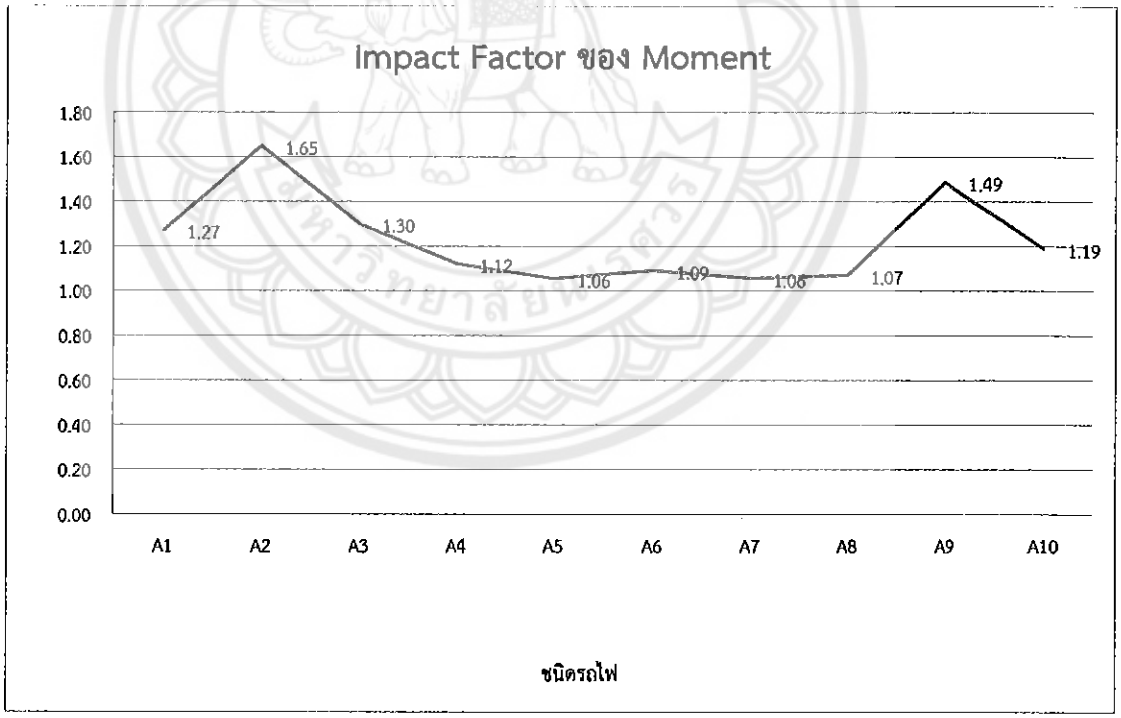

รูปที่ ข-25




รูปที่ ข-26

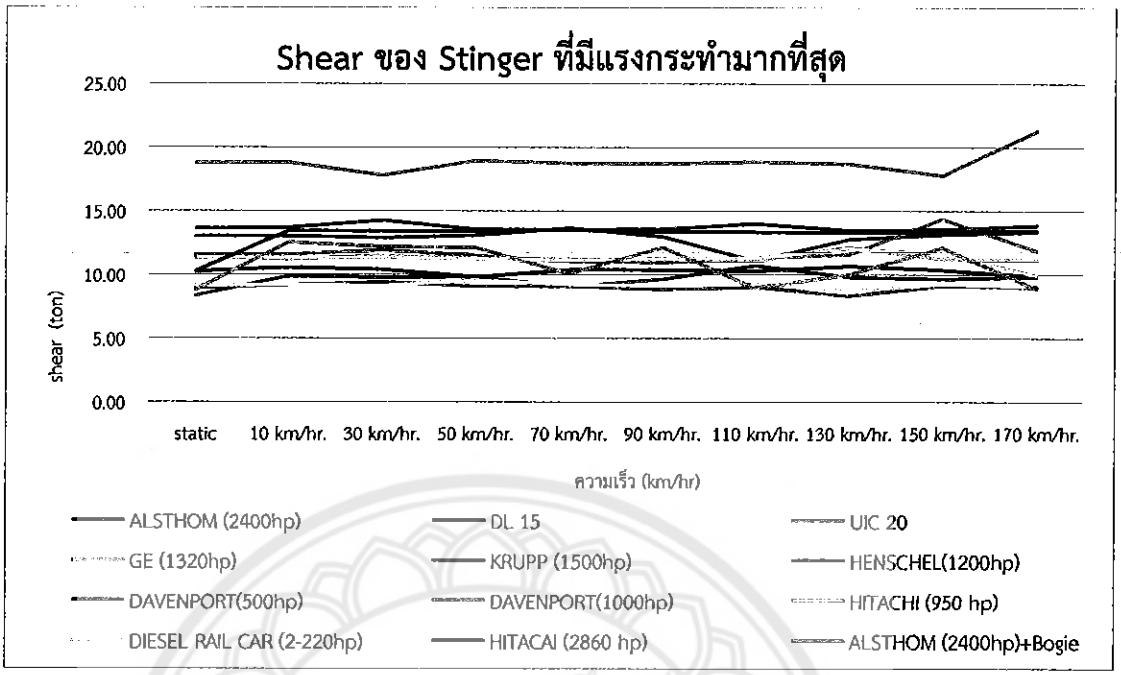



รูปที่ ข-27

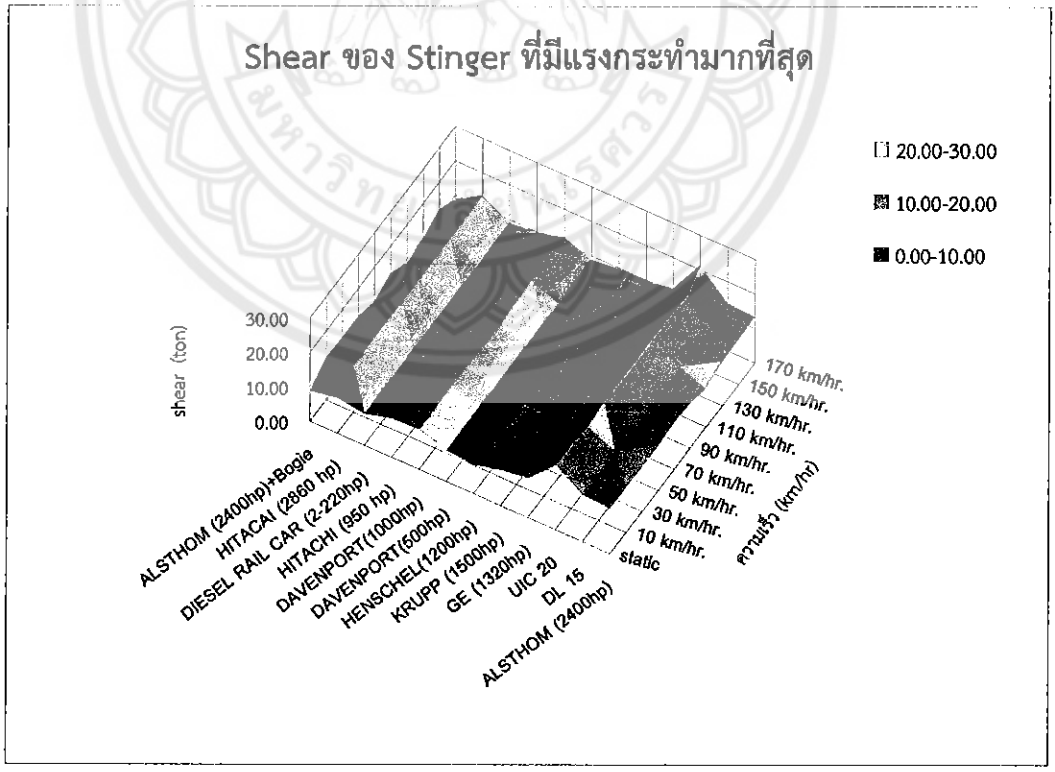



รูปที่ ข-28

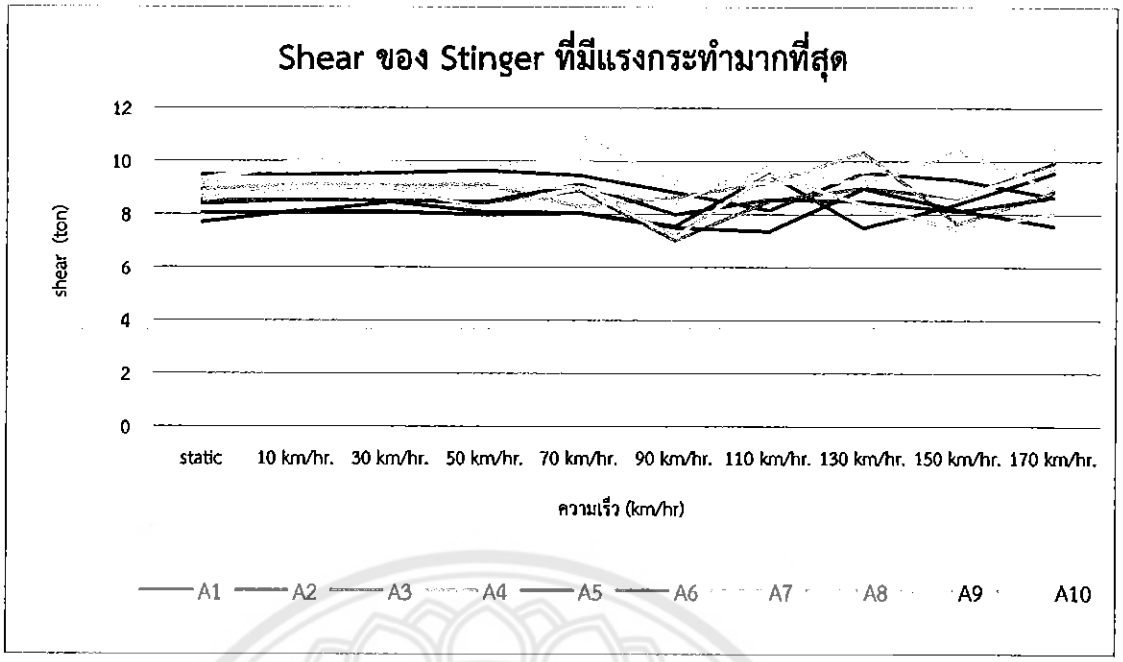
แรงเฉือนของ Stinger



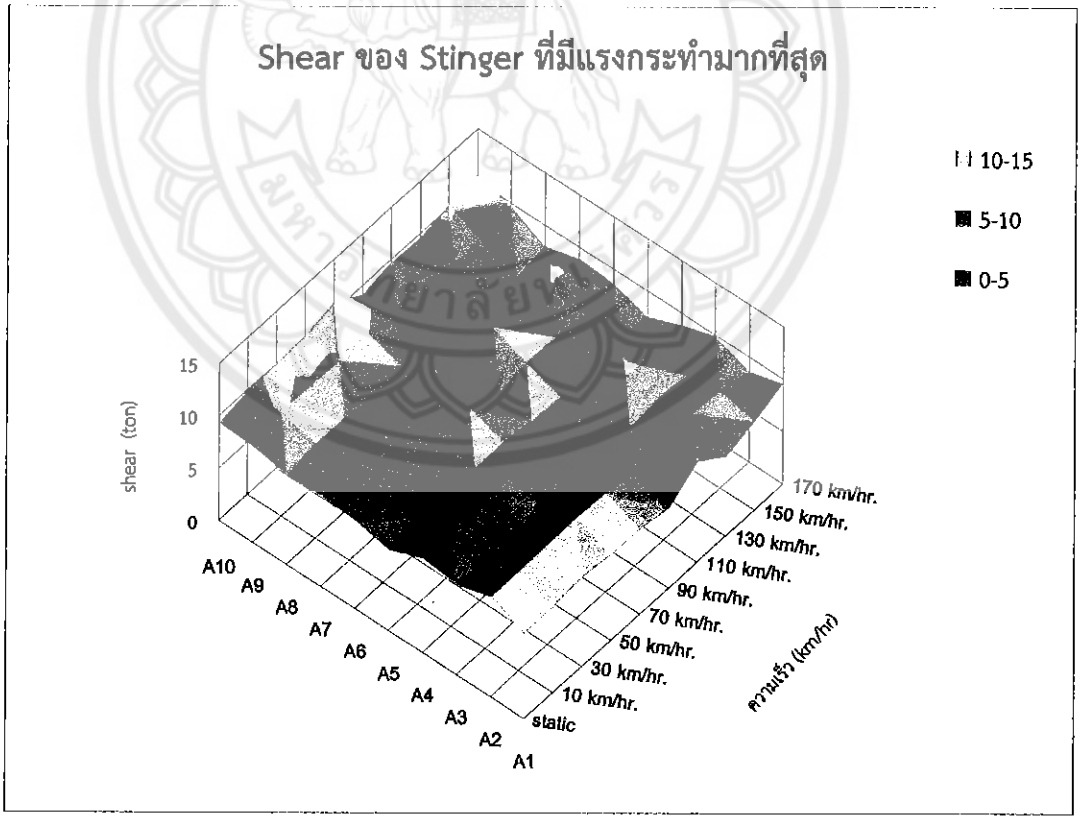

รูปที่ ข-29



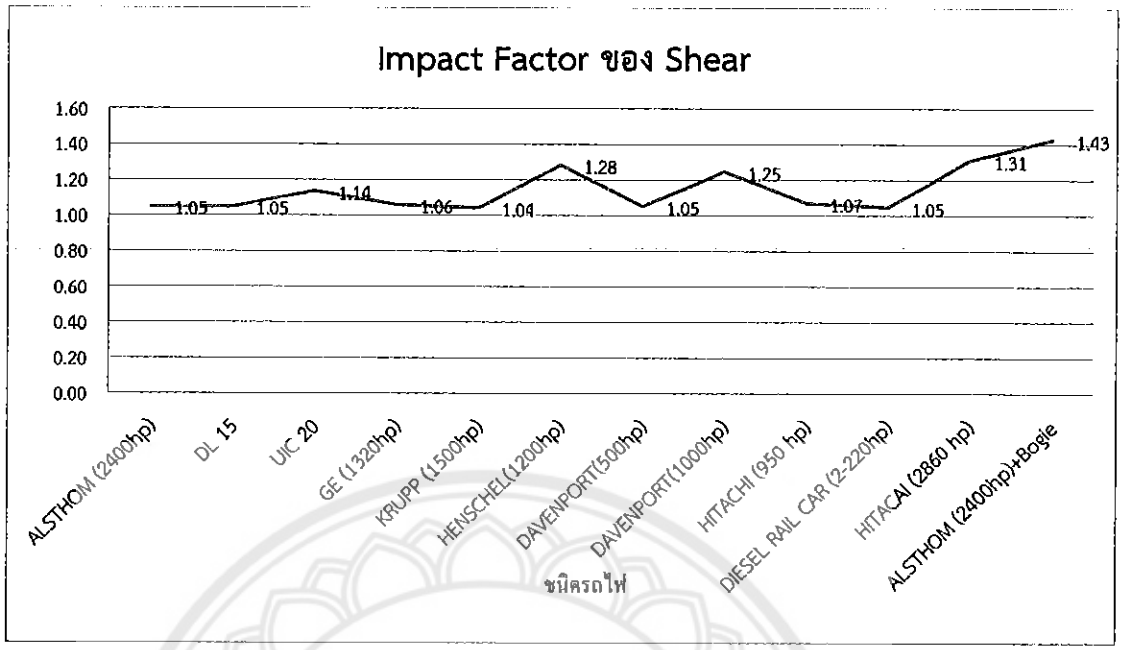

รูปที่ ข-30



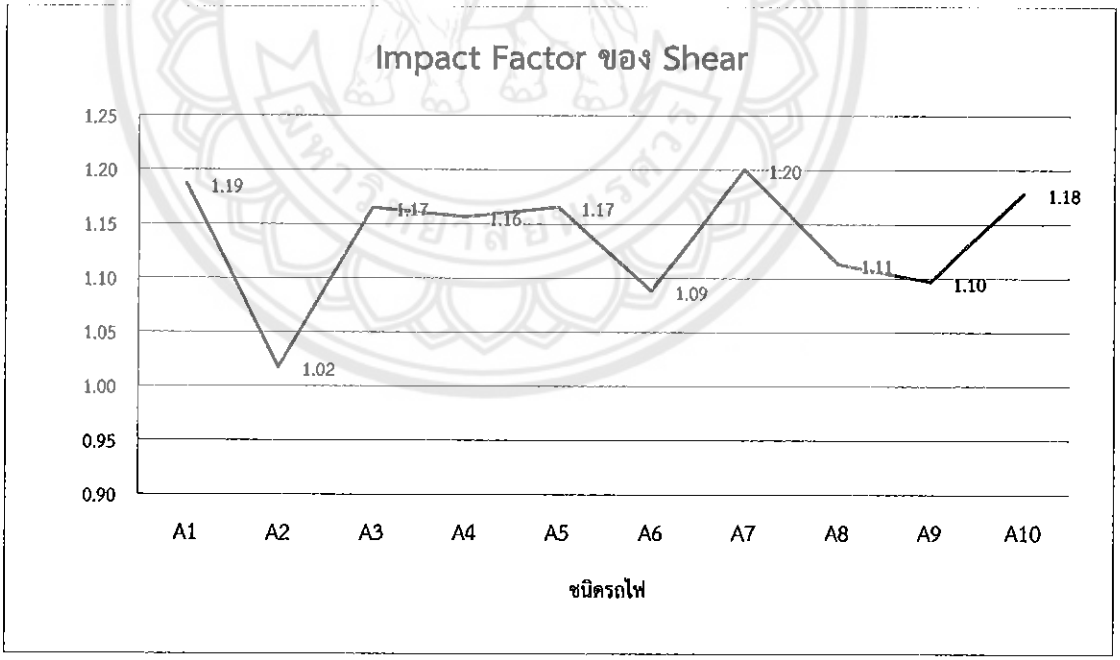

รูปที่ ข-31




รูปที่ ข-32

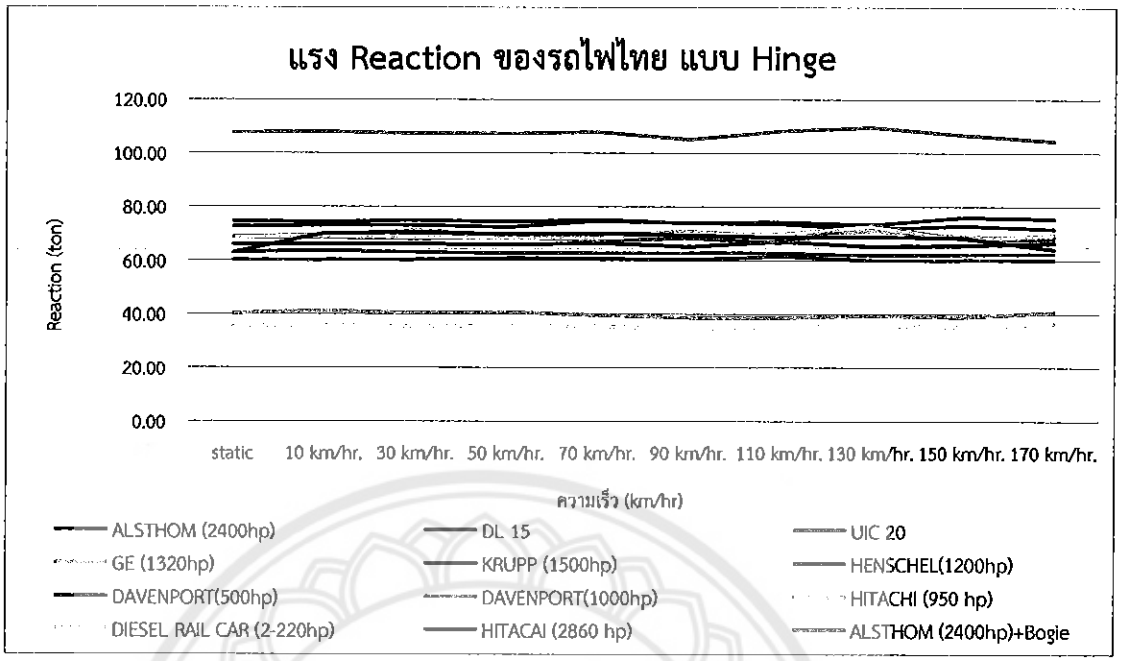



รูปที่ ข-33

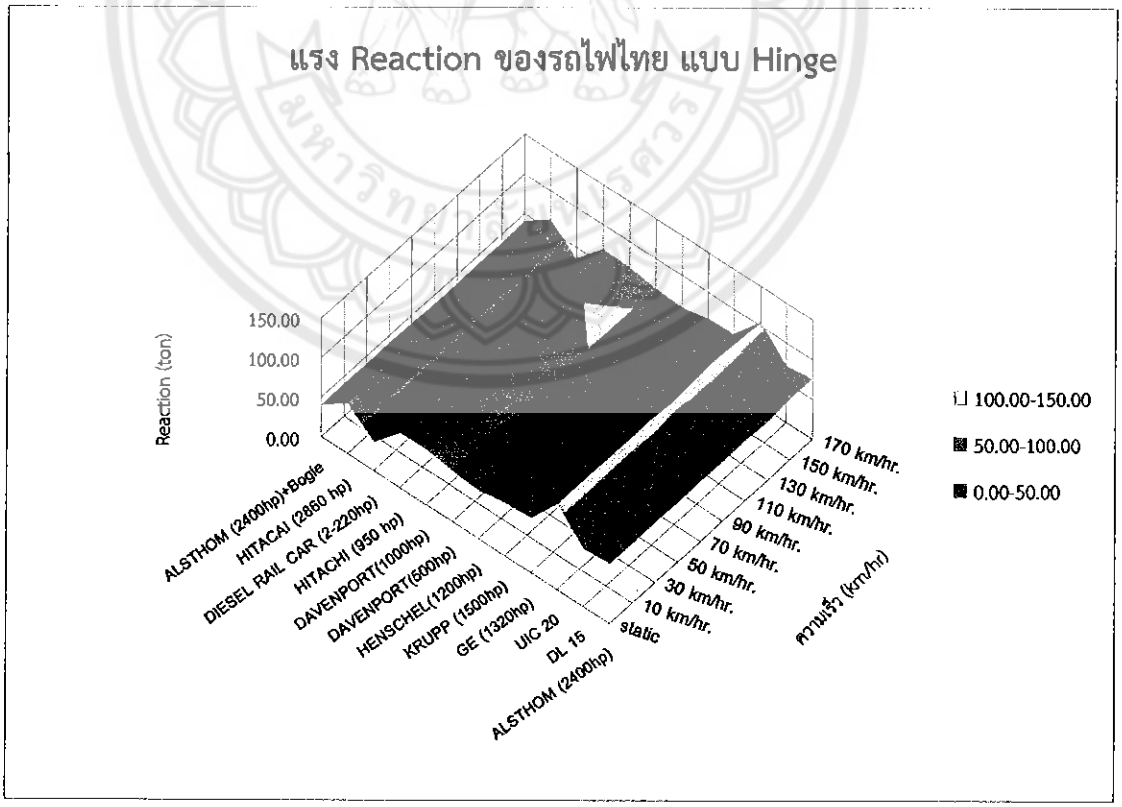



รูปที่ ข-34

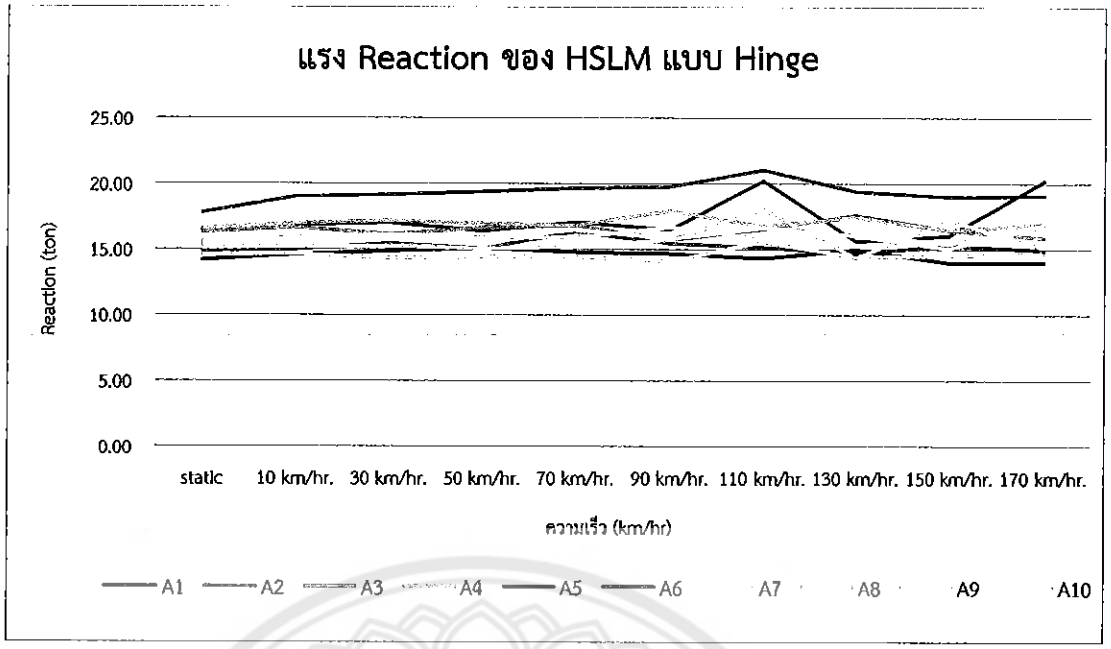
แรงปฏิกิริยาของ Hinge



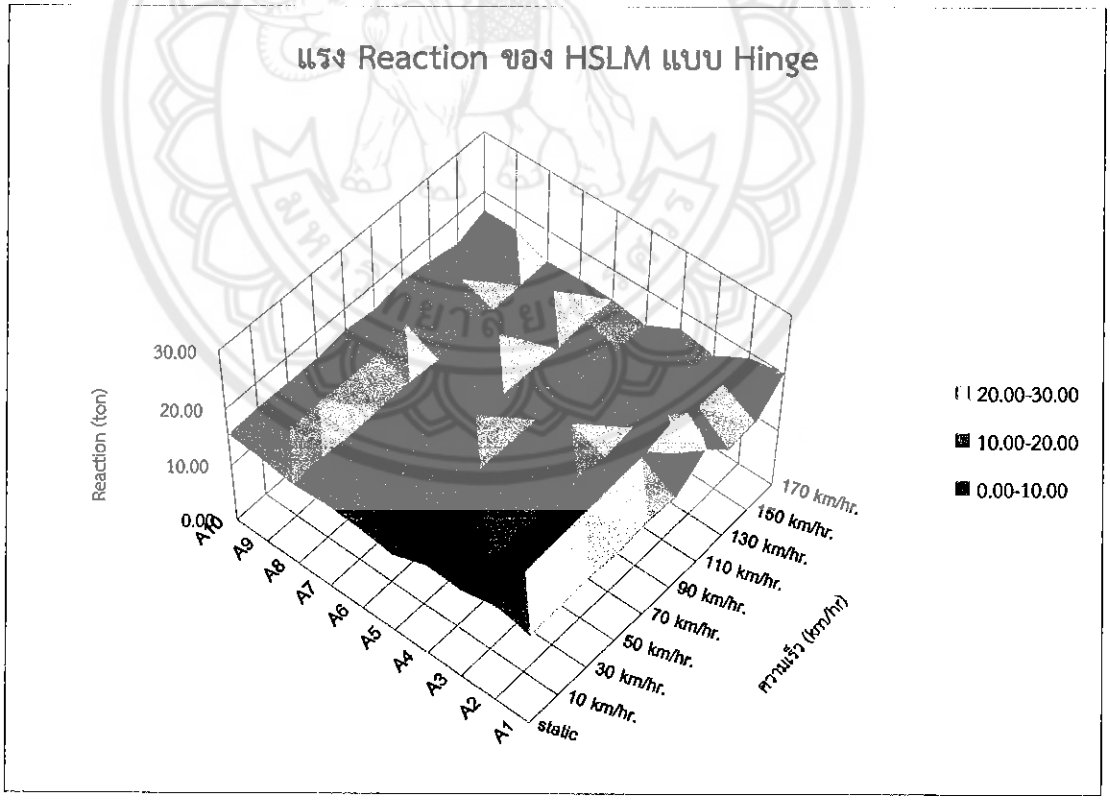

รูปที่ ข-35



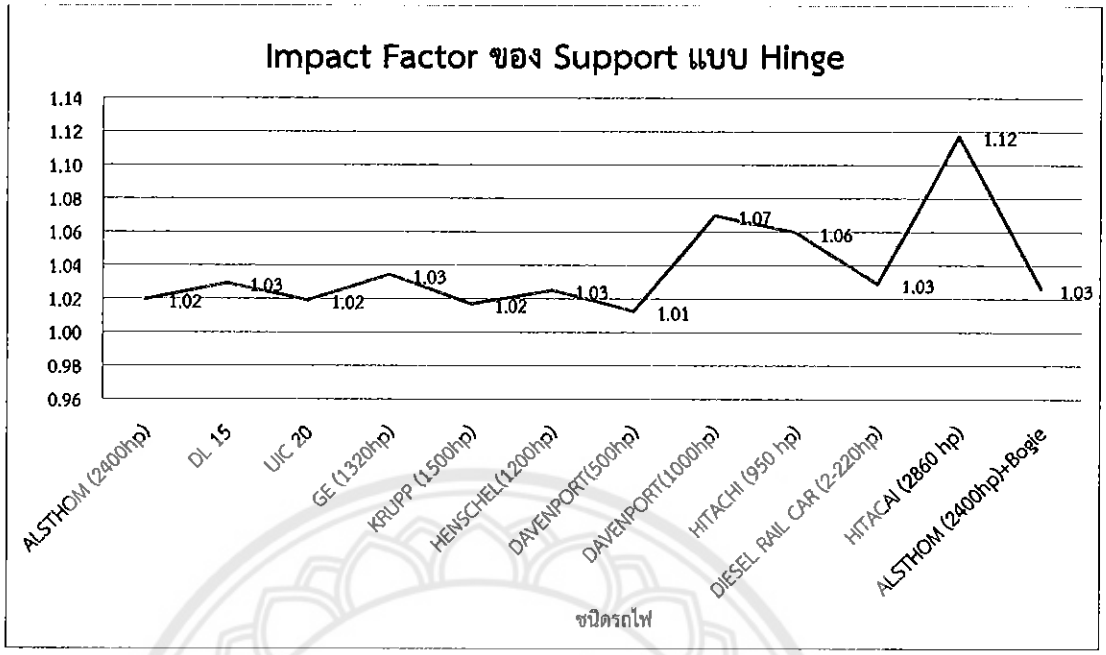

รูปที่ ข-36



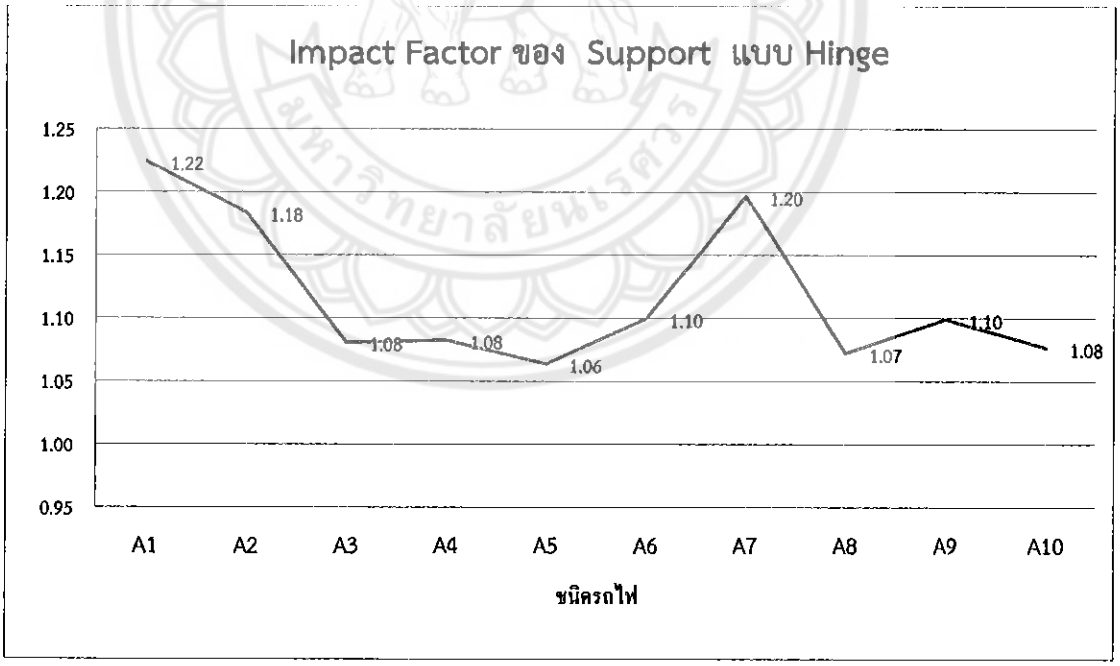

รูปที่ ข-37




รูปที่ ข-38

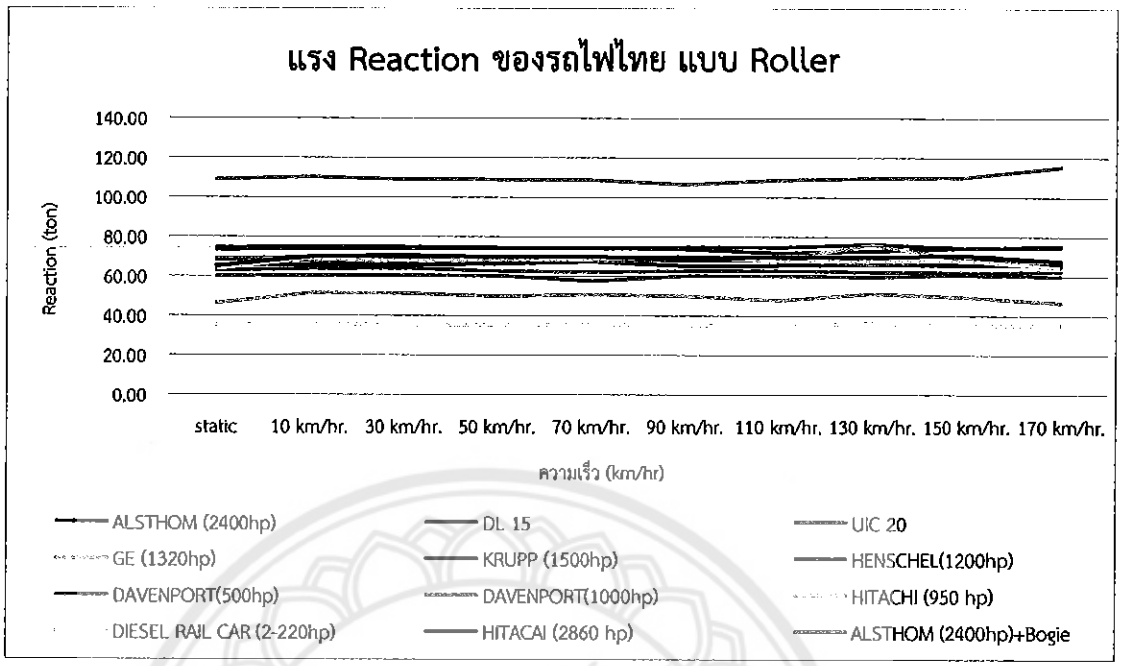



รูปที่ ข-39

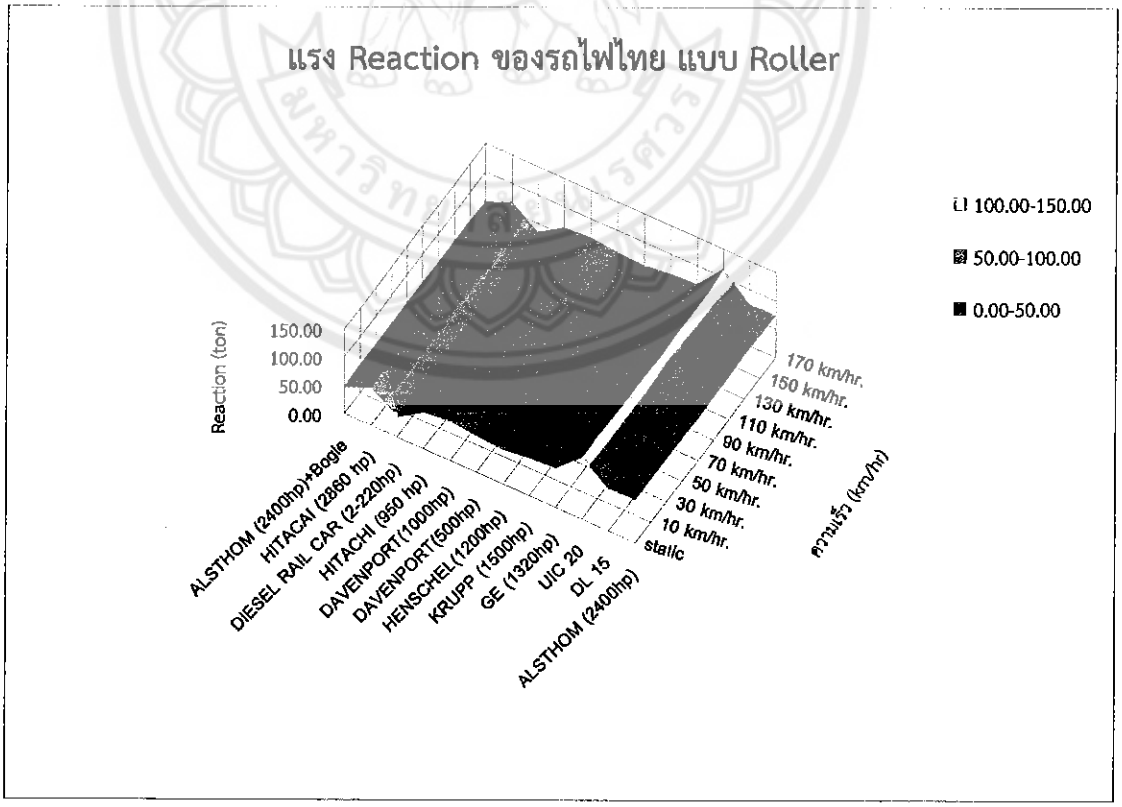



รูปที่ ข-40

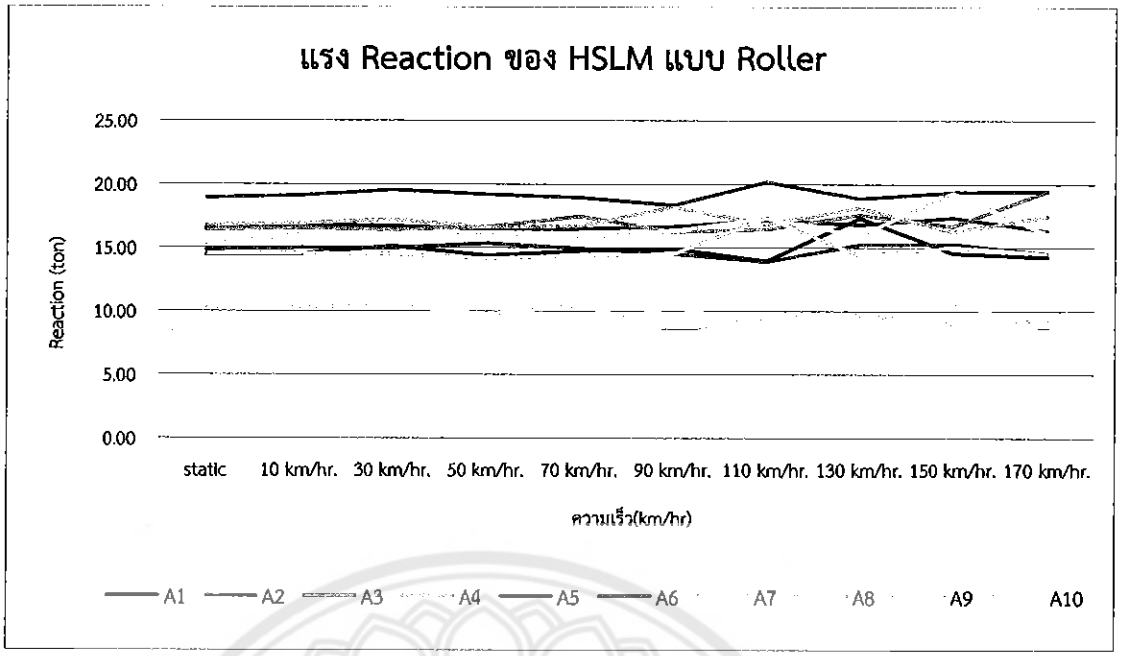
แรงปฏิกิริยาของ Roller



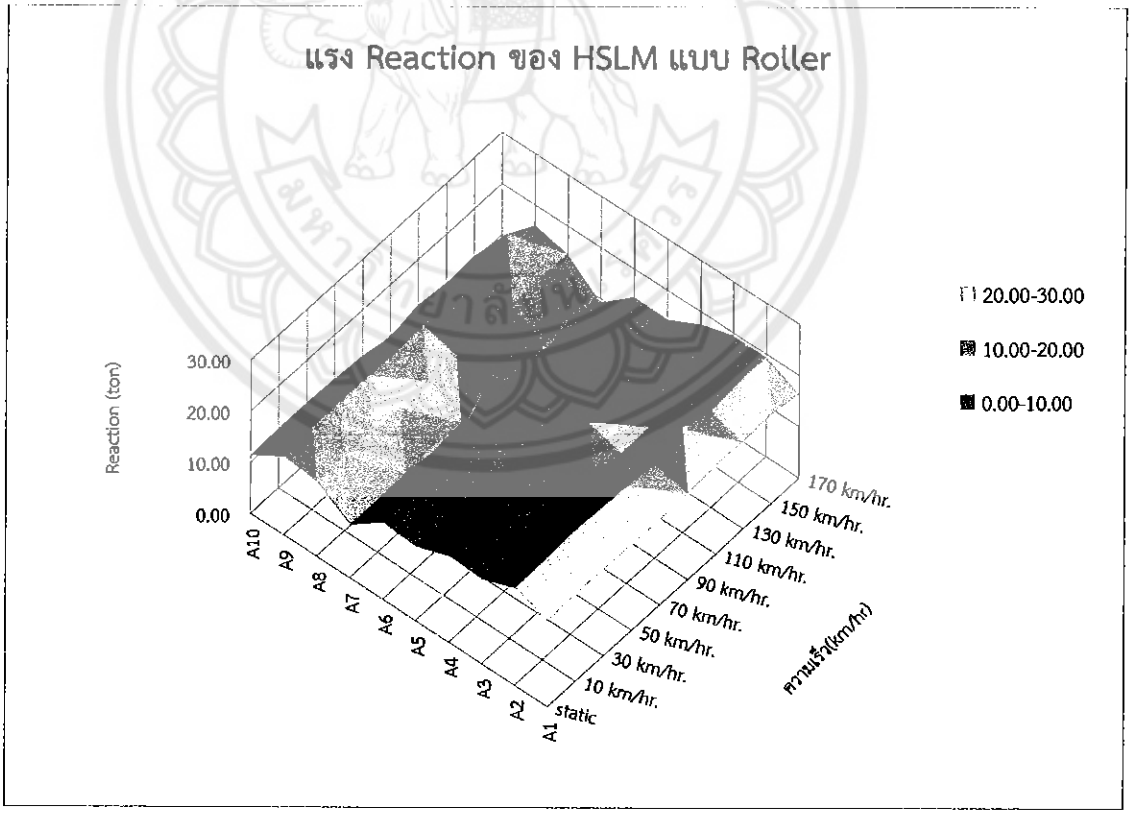

รูปที่ ข-41



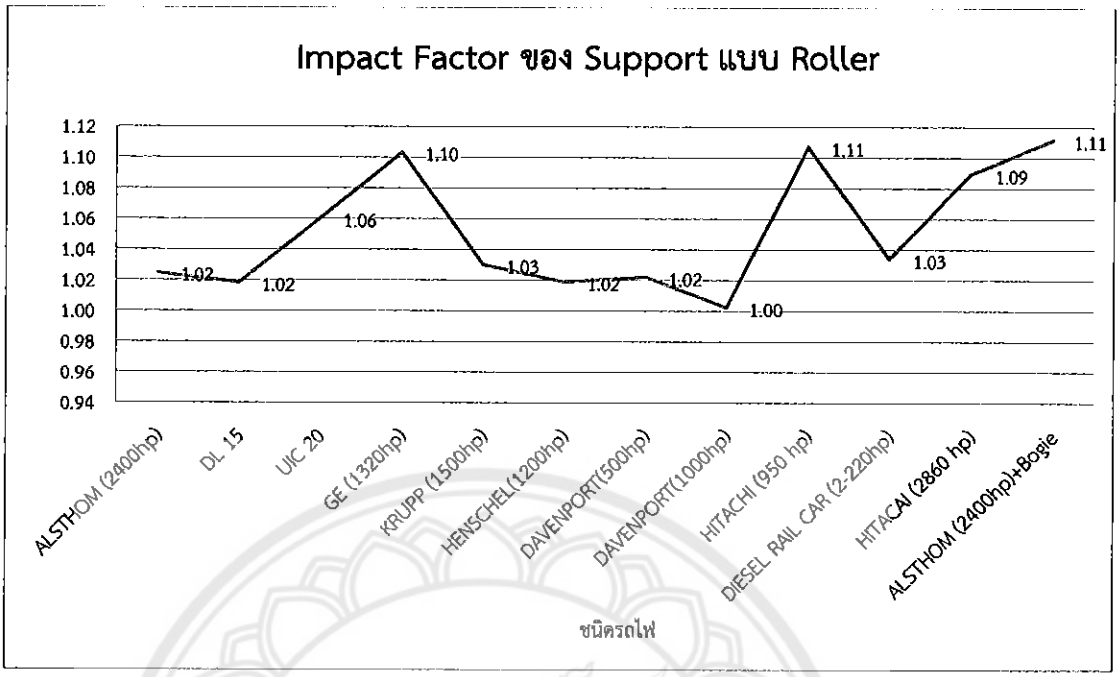

รูปที่ ข-42



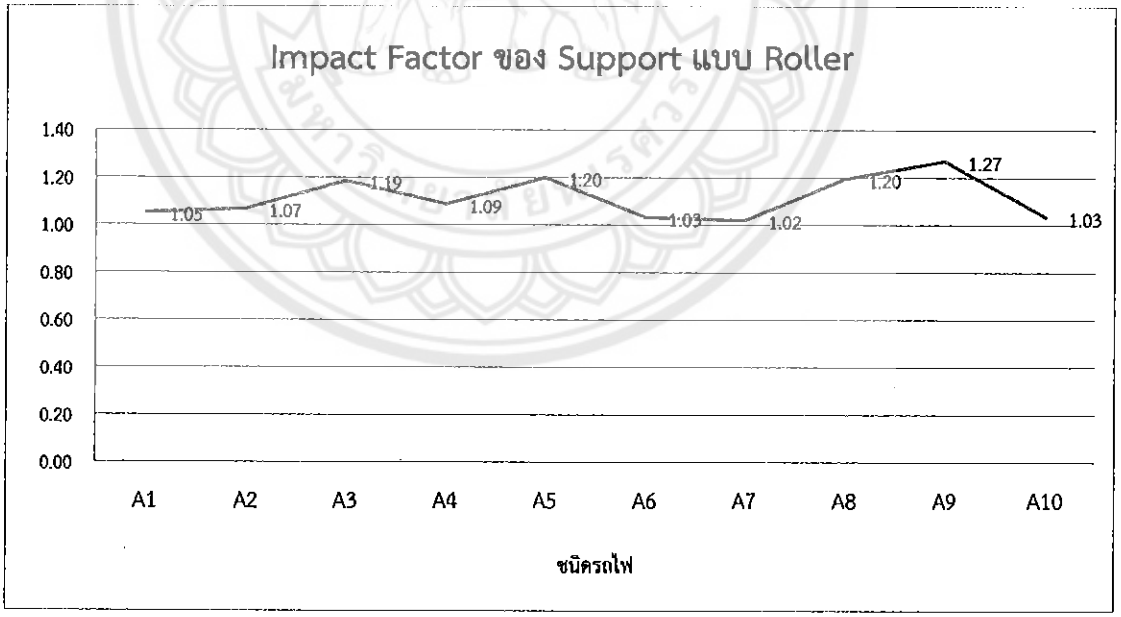

รูปที่ ข-43




รูปที่ ข-44



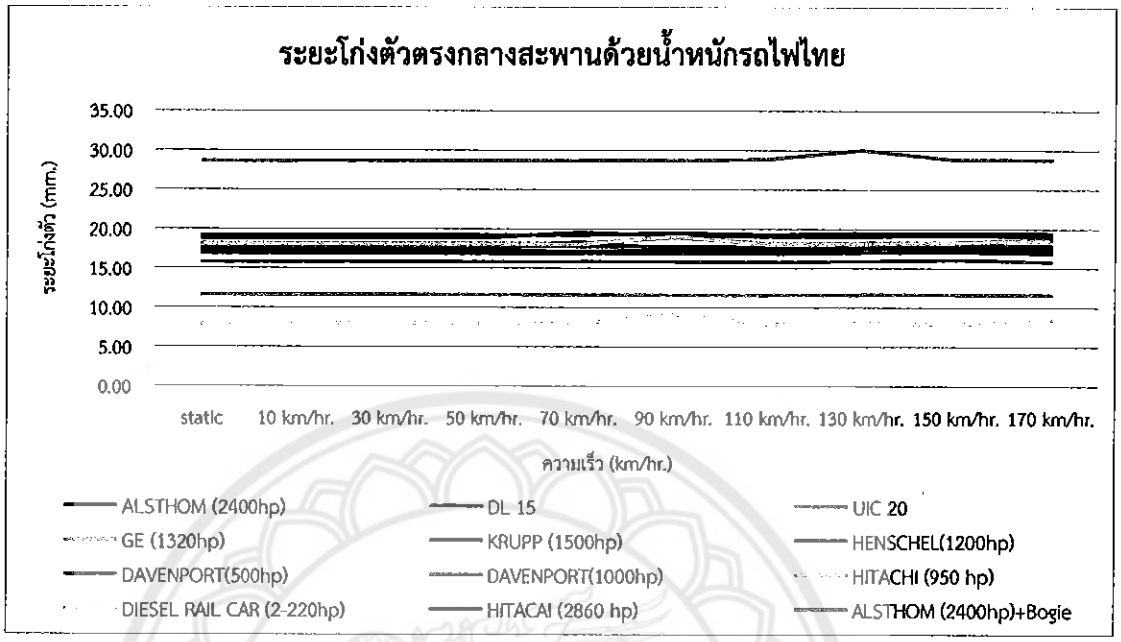

รูปที่ ข-45



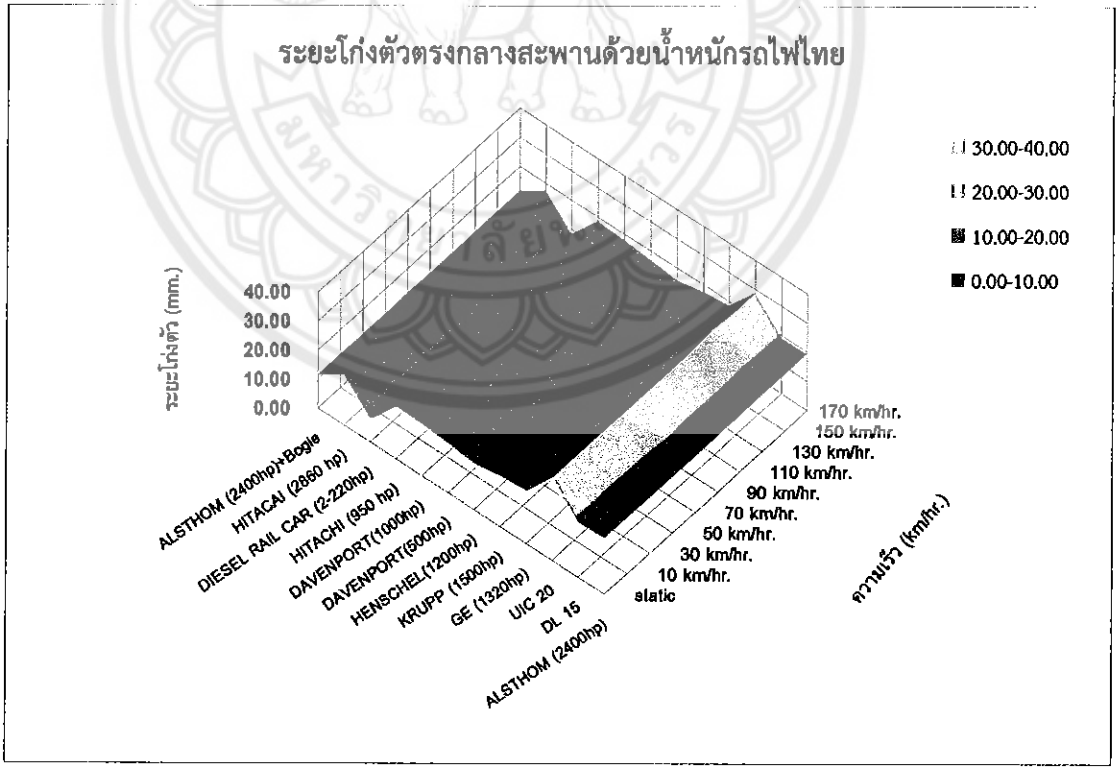

รูปที่ ข-46

แบบคำนึงไม้หมอน

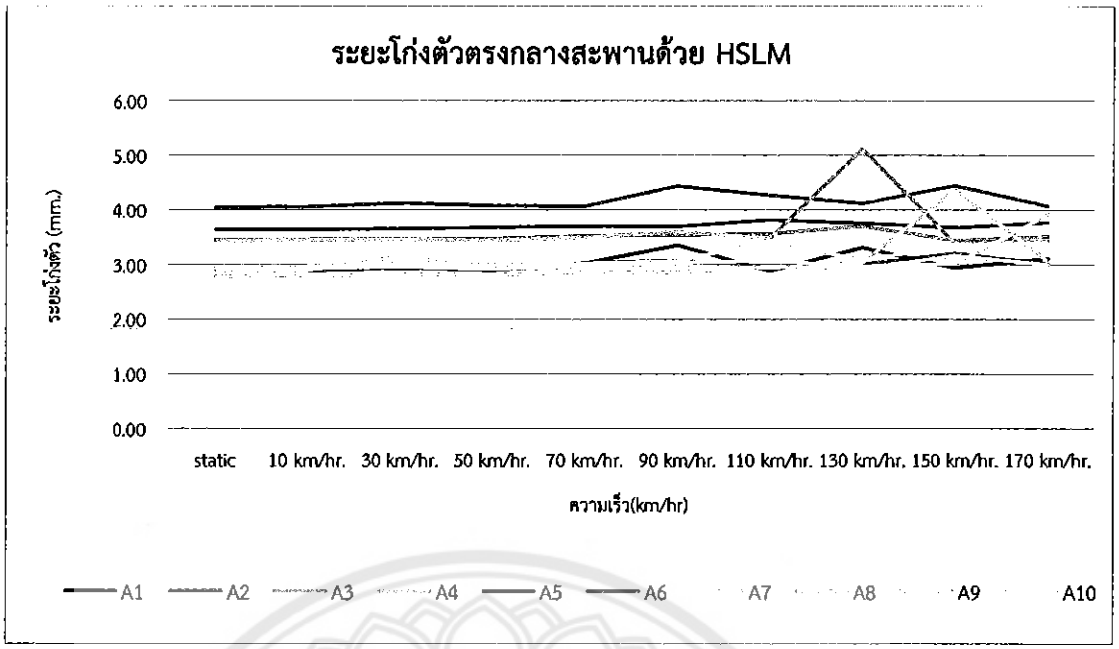
ระยะโก่งตัว



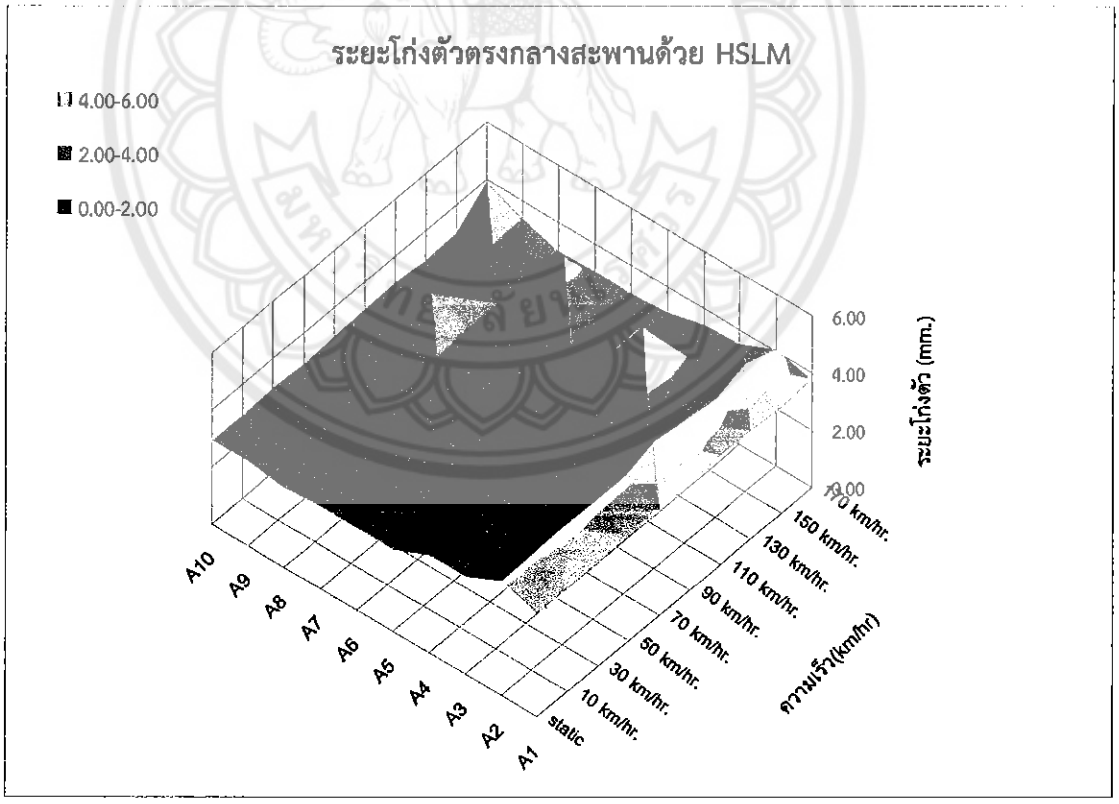

รูปที่ ข-47



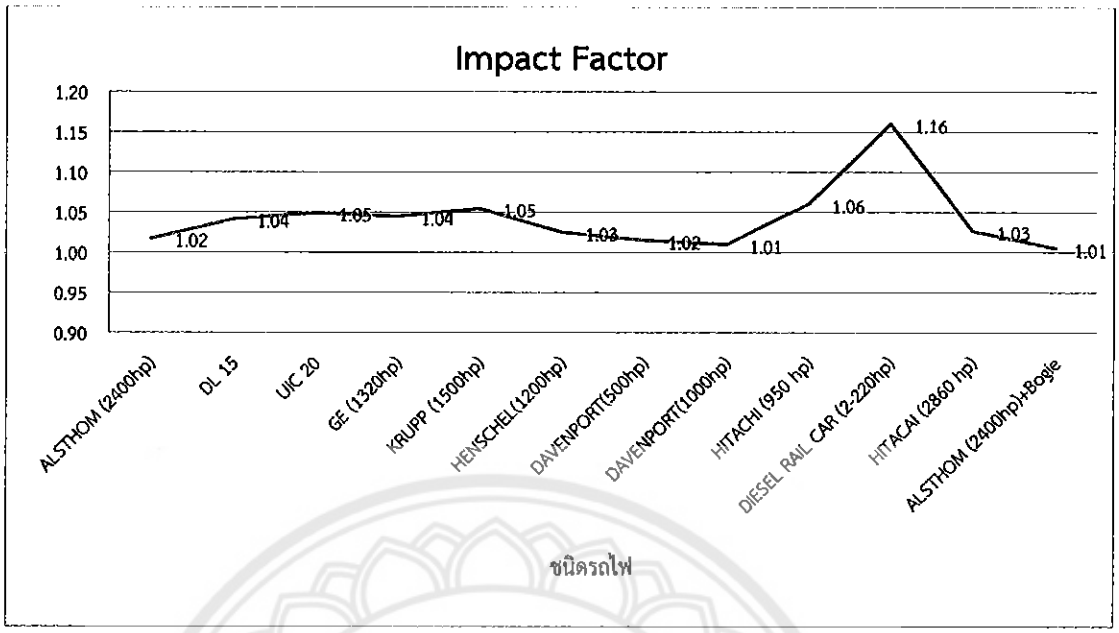

รูปที่ ข-48



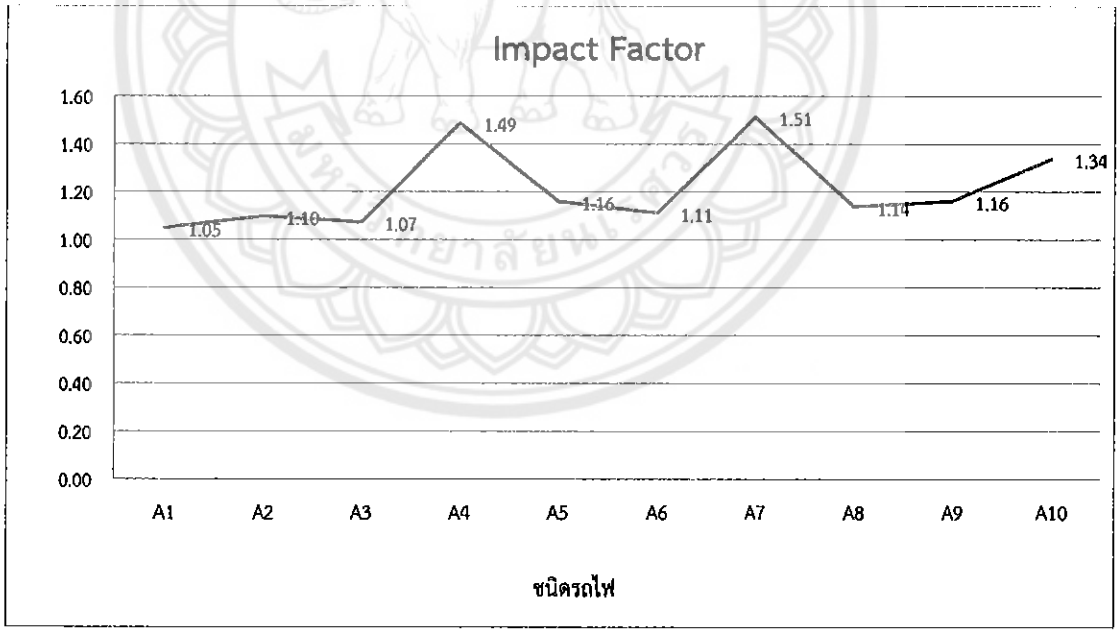

รูปที่ ข-49




รูปที่ ข-50

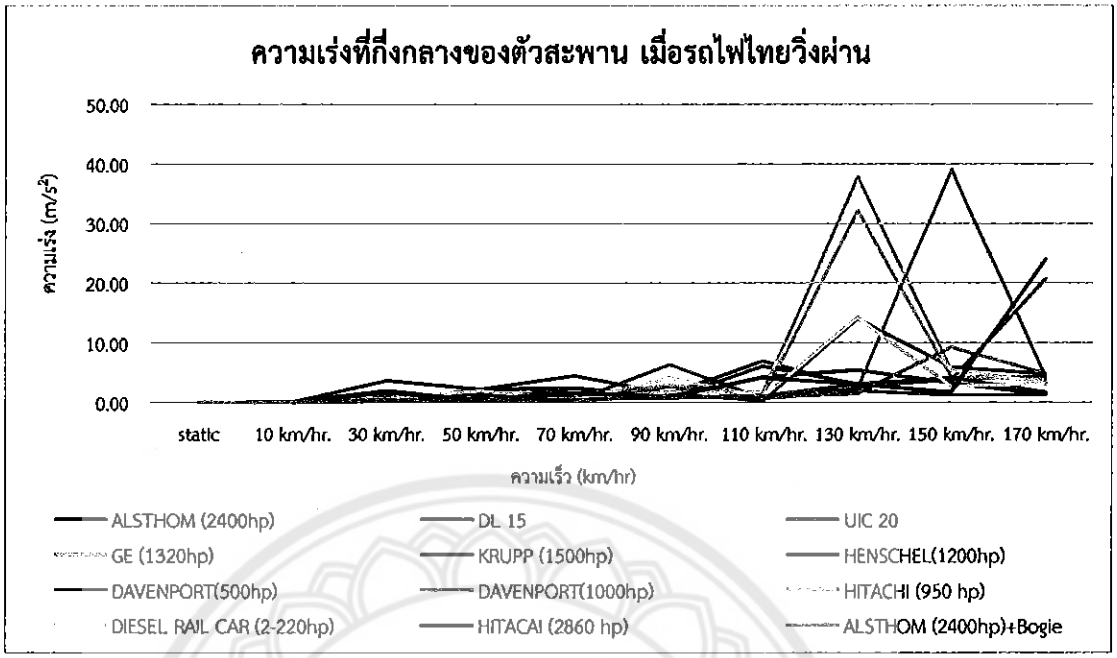



รูปที่ ข-51

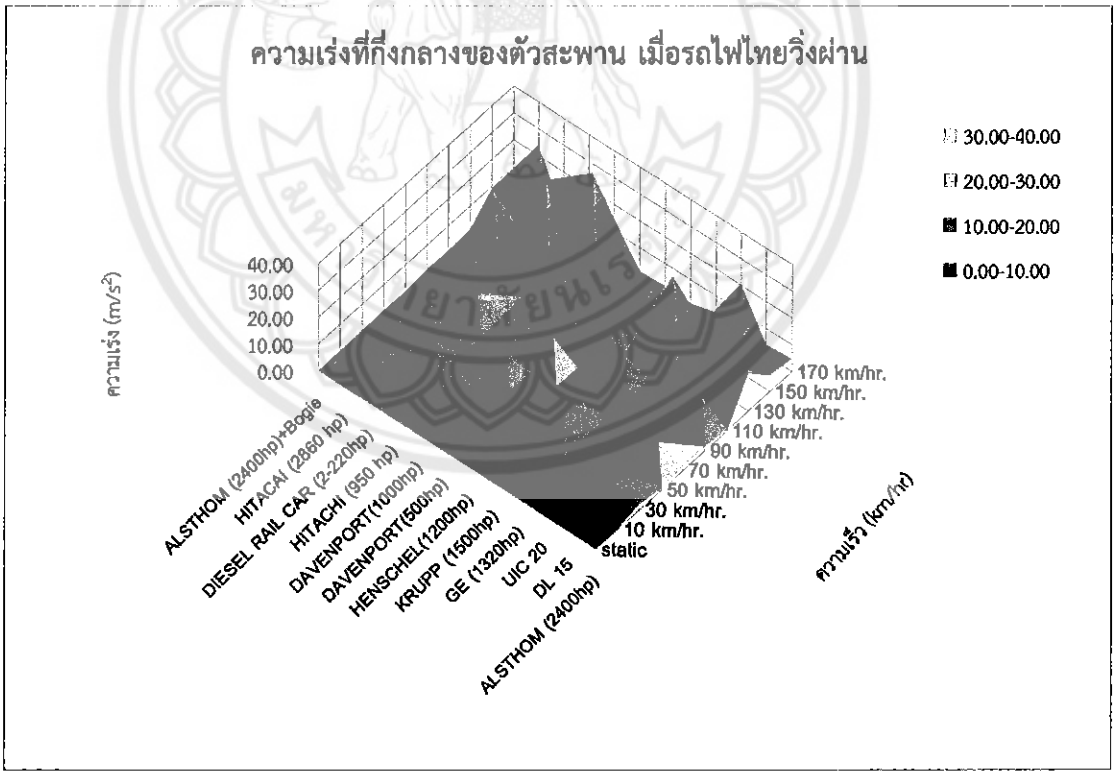



รูปที่ ข-52

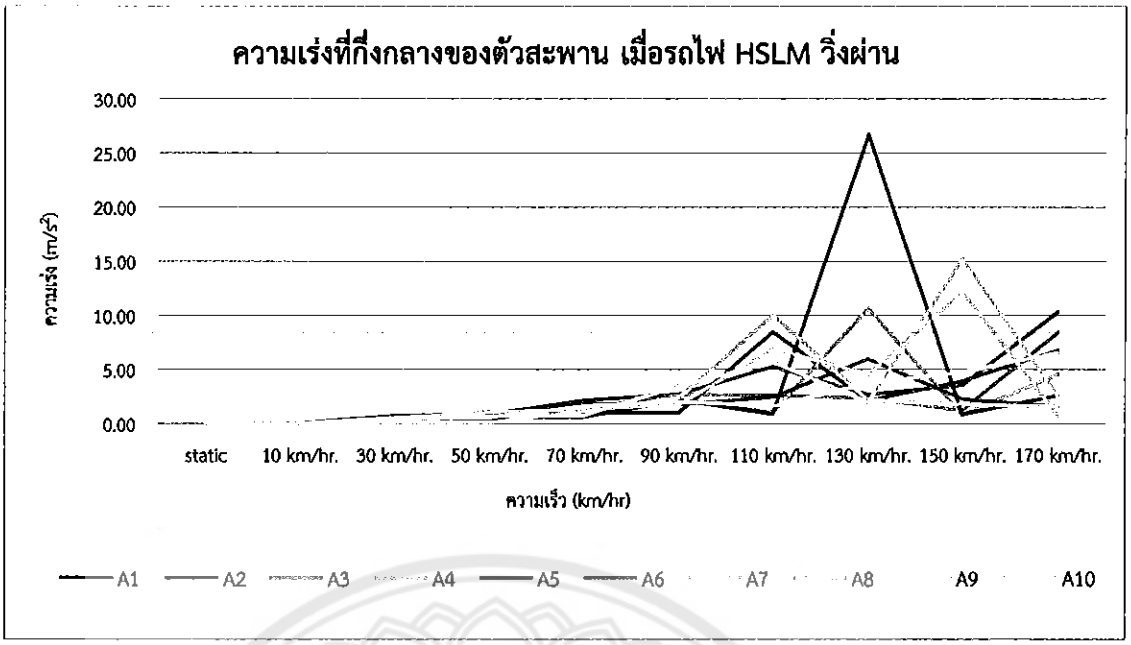
ความเร่ง



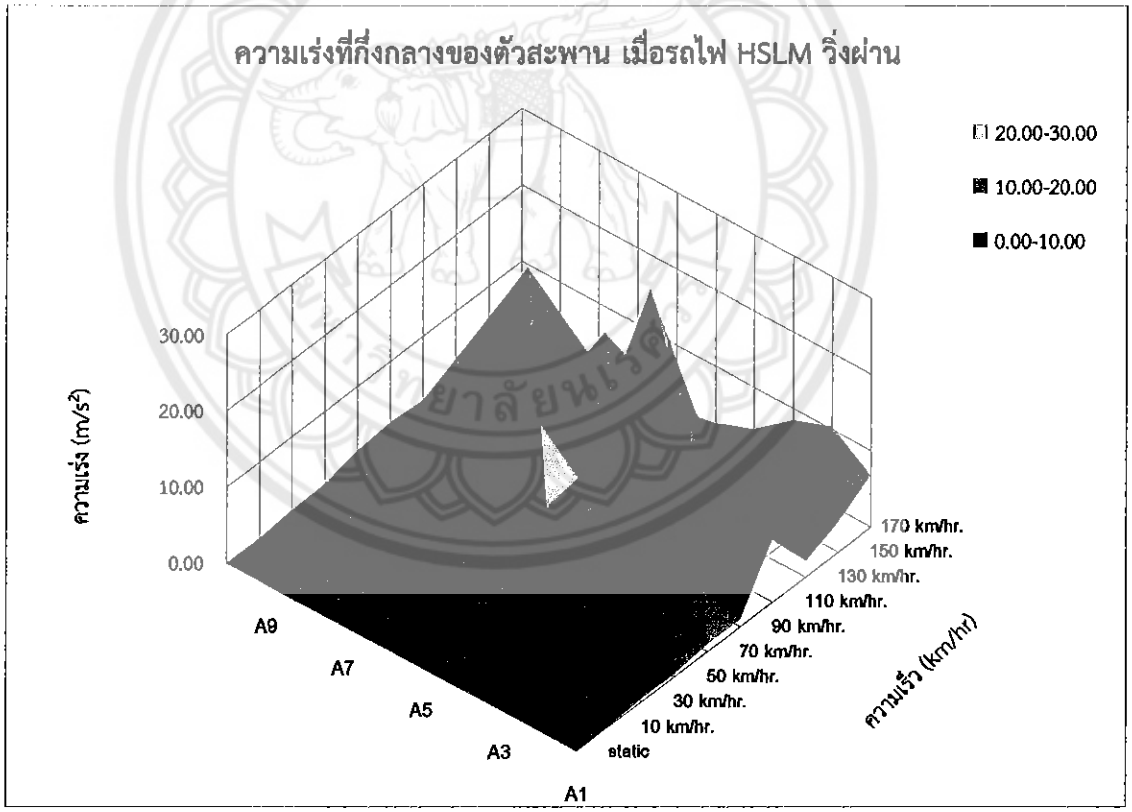

รูปที่ ข-53




รูปที่ ข-54

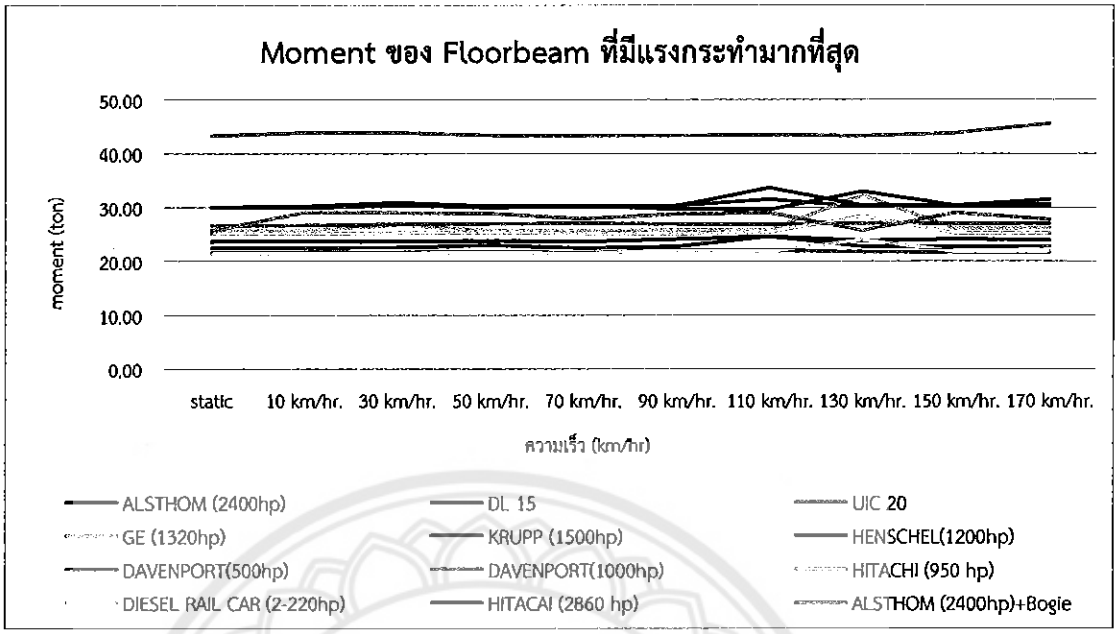



รูปที่ ข-55

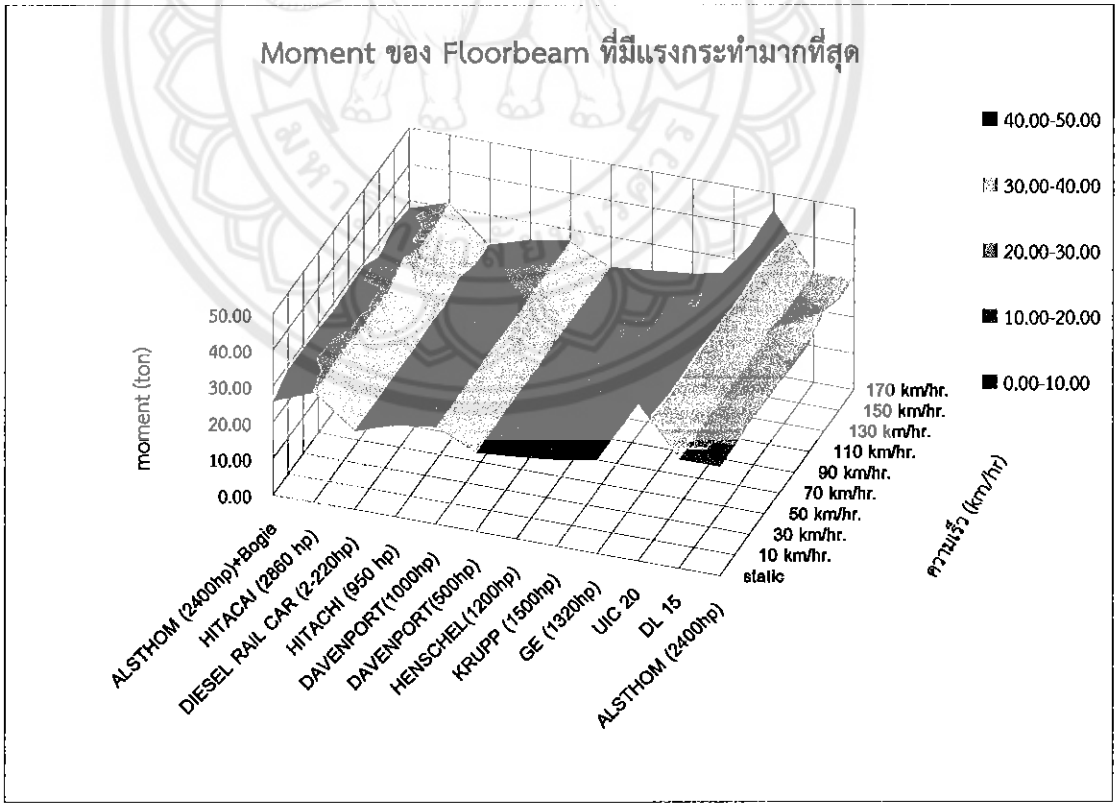



รูปที่ ข-56

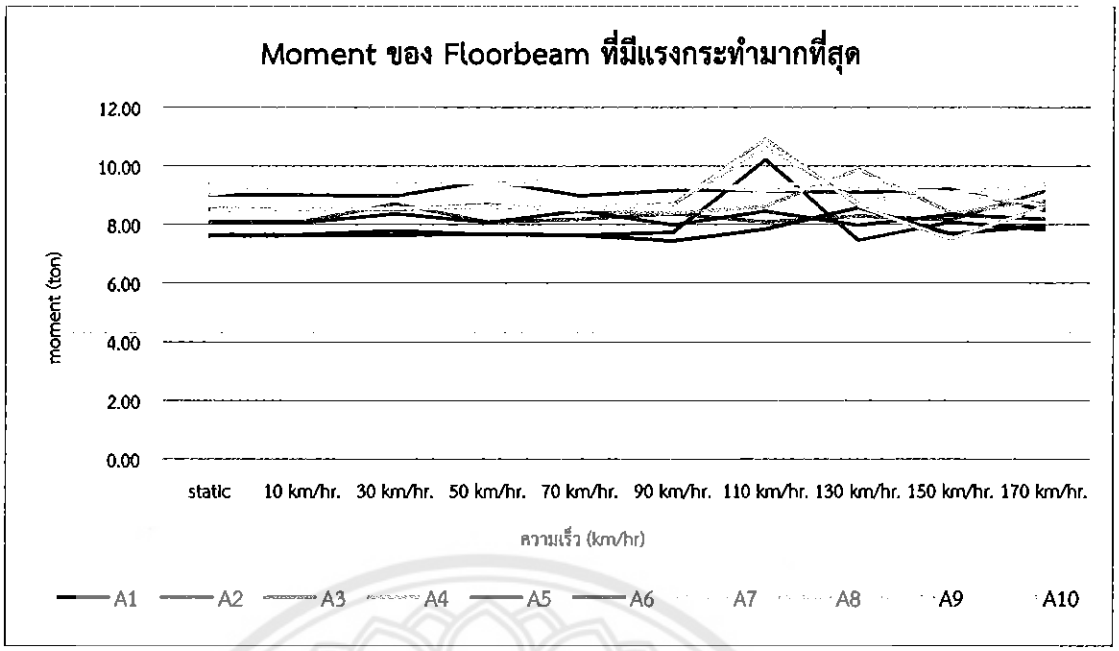
โมเมนต์ที่ Floorbeam



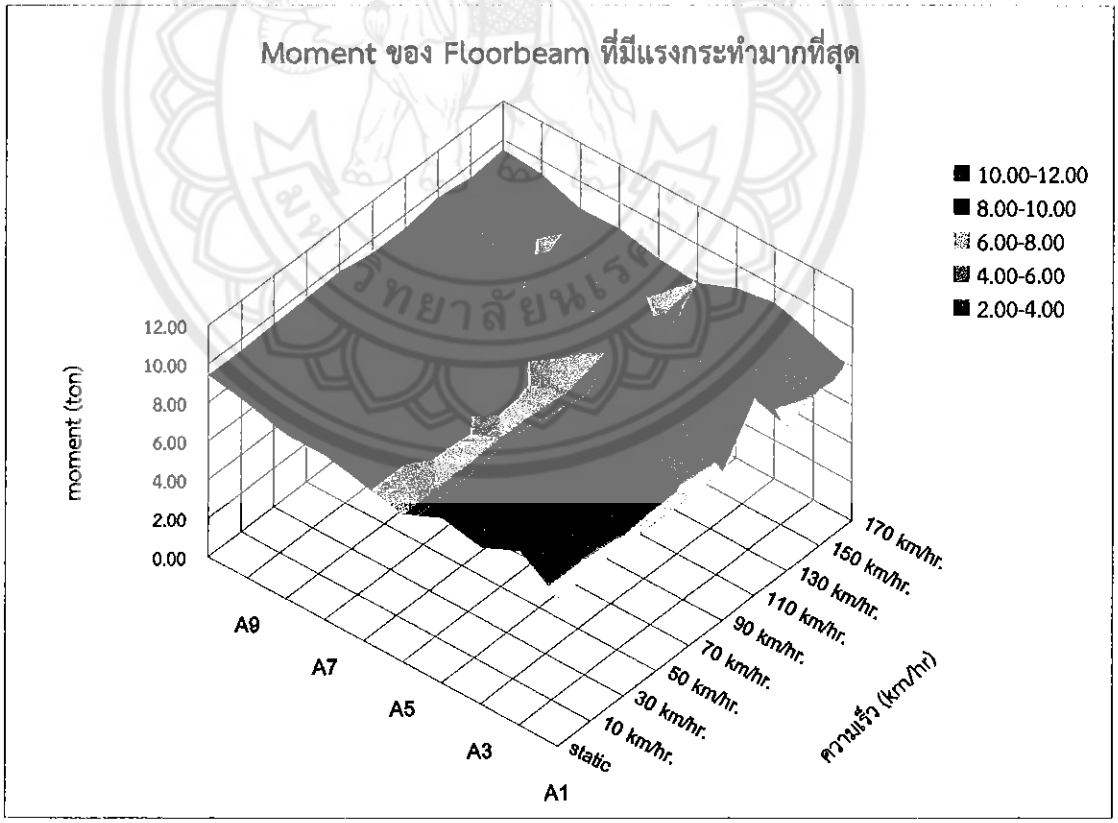

รูปที่ ข-57



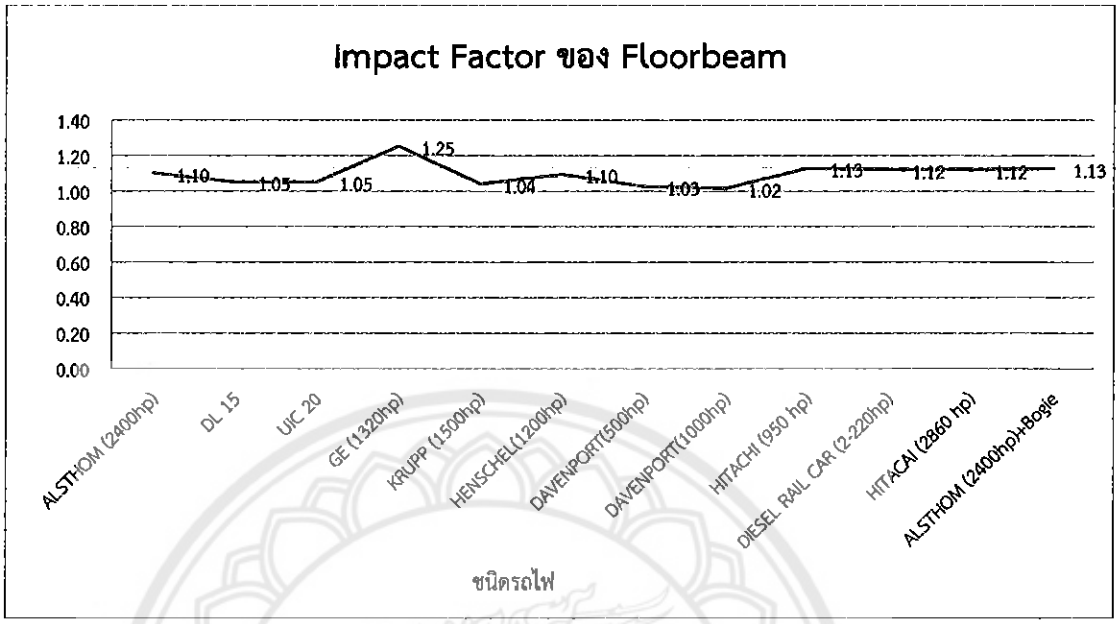

รูปที่ ข-58



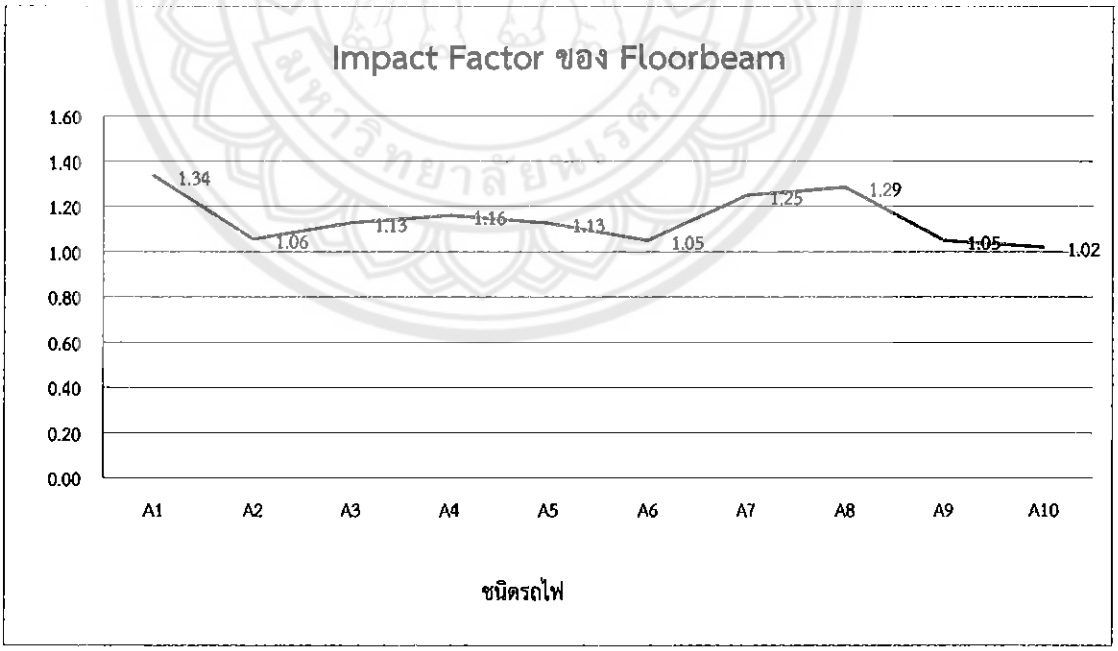

รูปที่ ข-59




รูปที่ ข-60

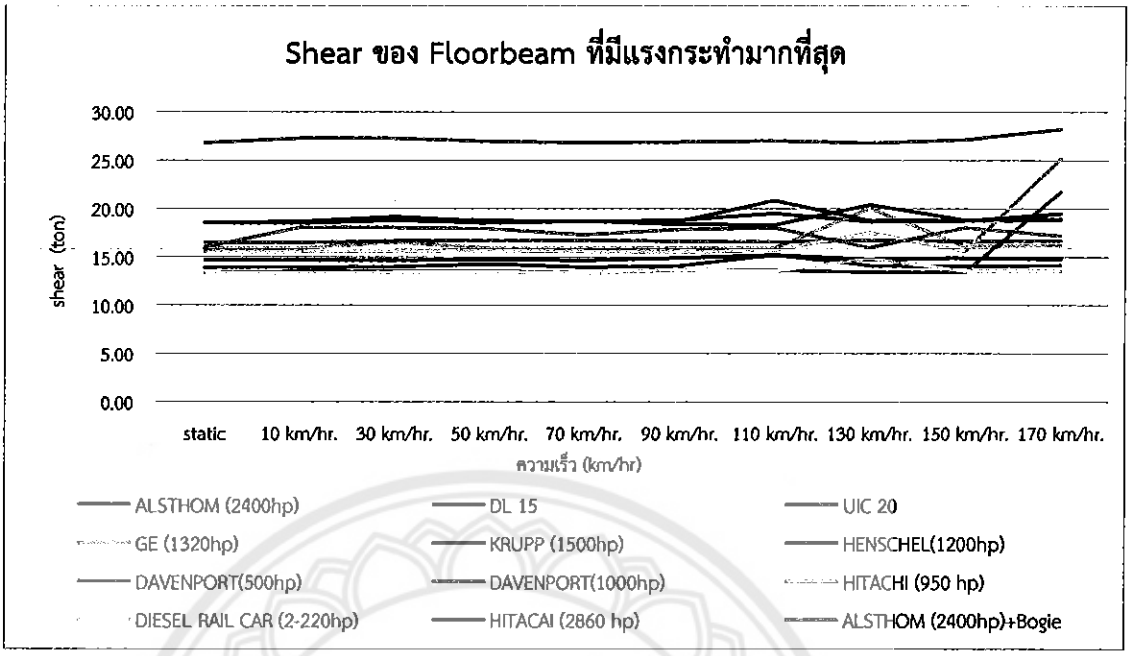



รูปที่ ข-61

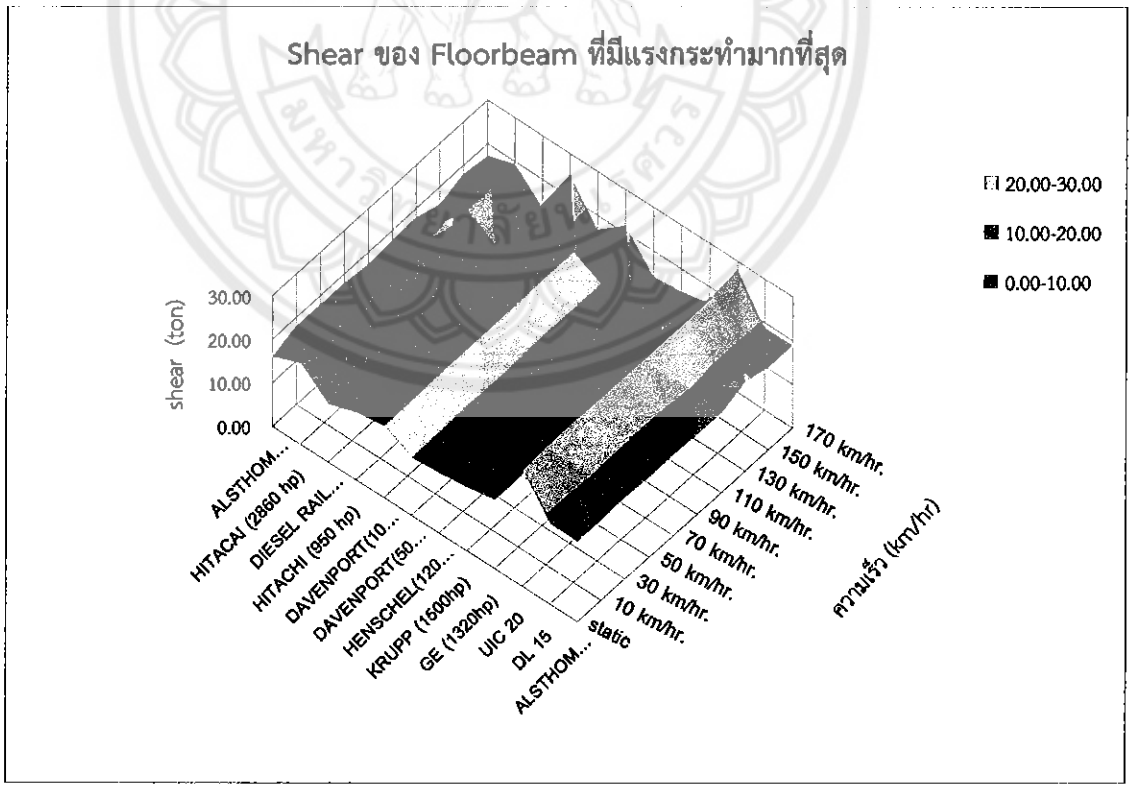



รูปที่ ข-62

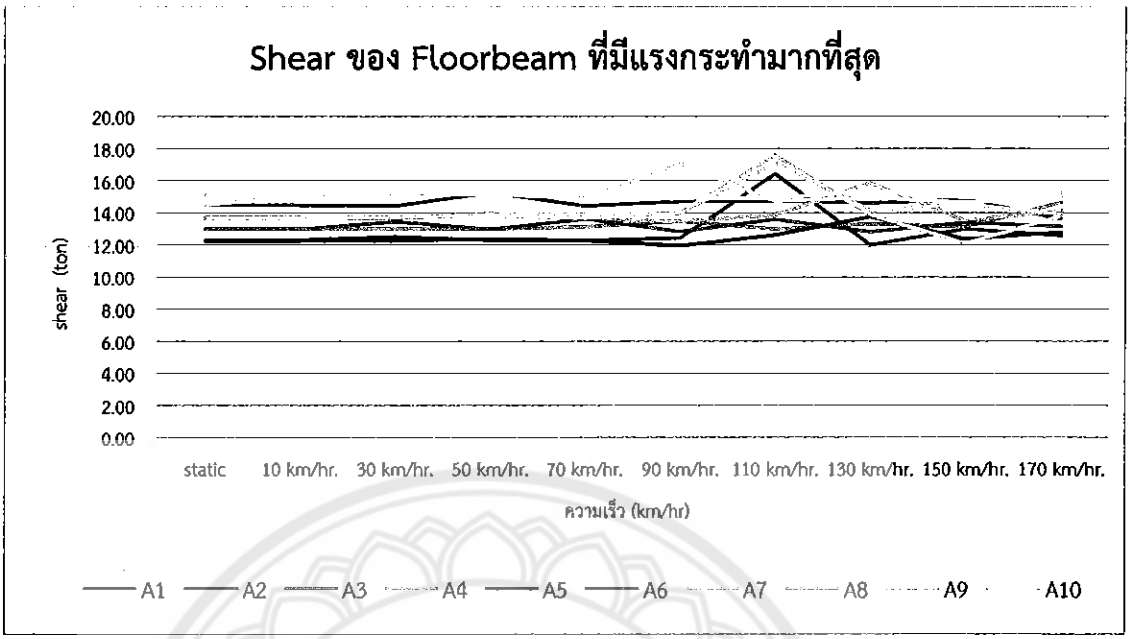
แรงเฉือนของ Floor beam



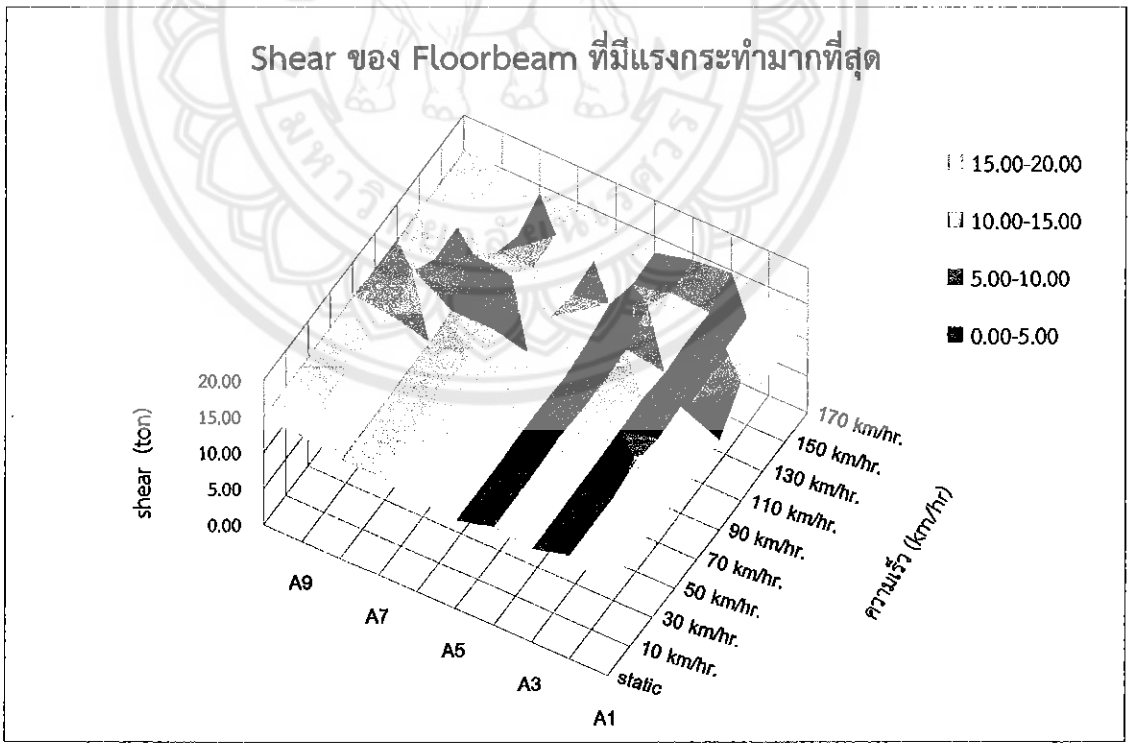

รูปที่ ข-63



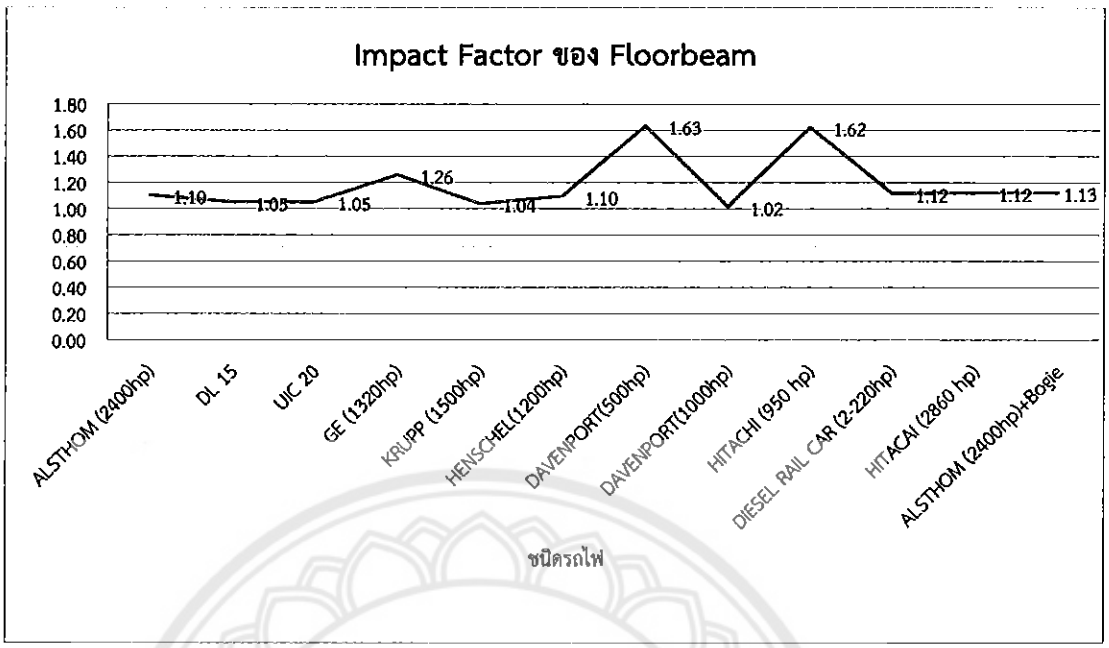

รูปที่ ข-64



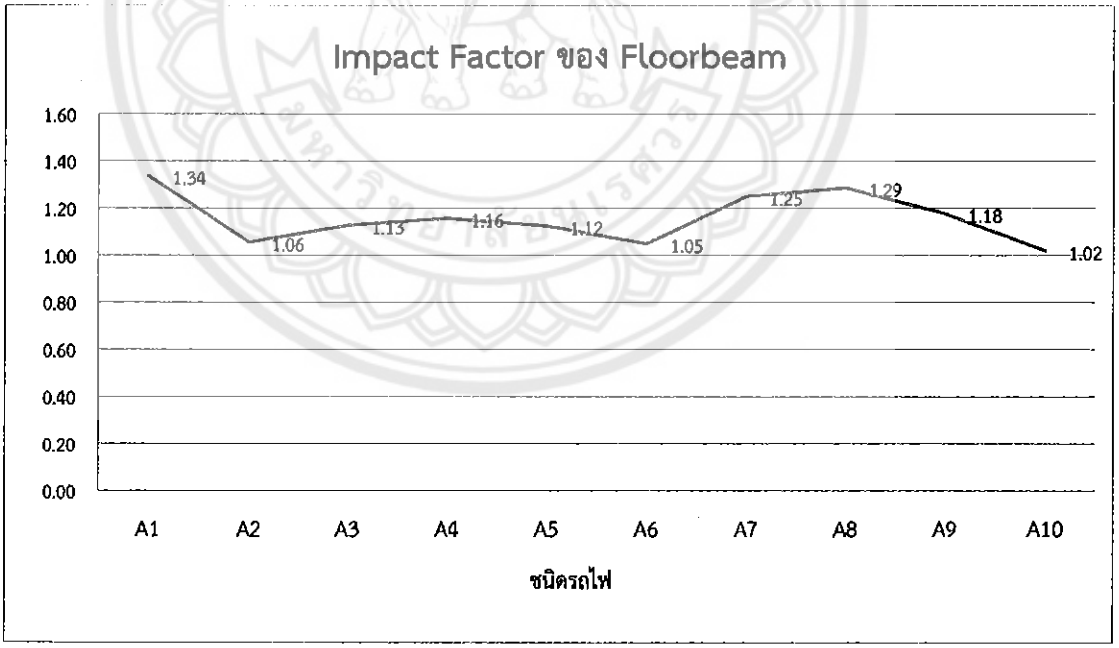

รูปที่ ข-65




รูปที่ ข-66

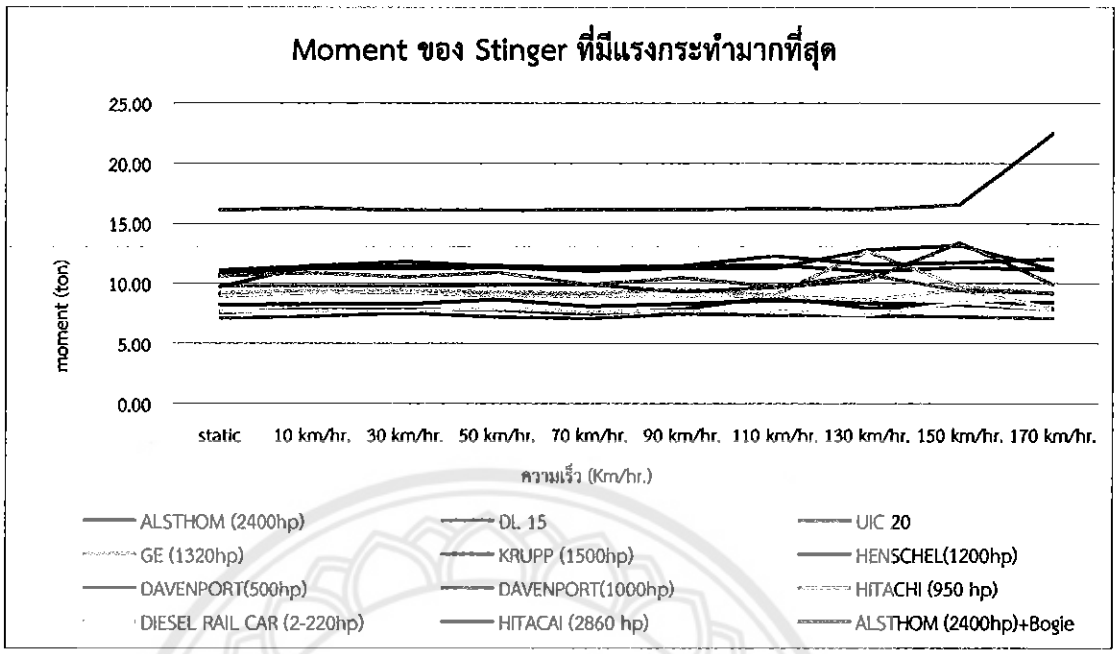



รูปที่ ข-67

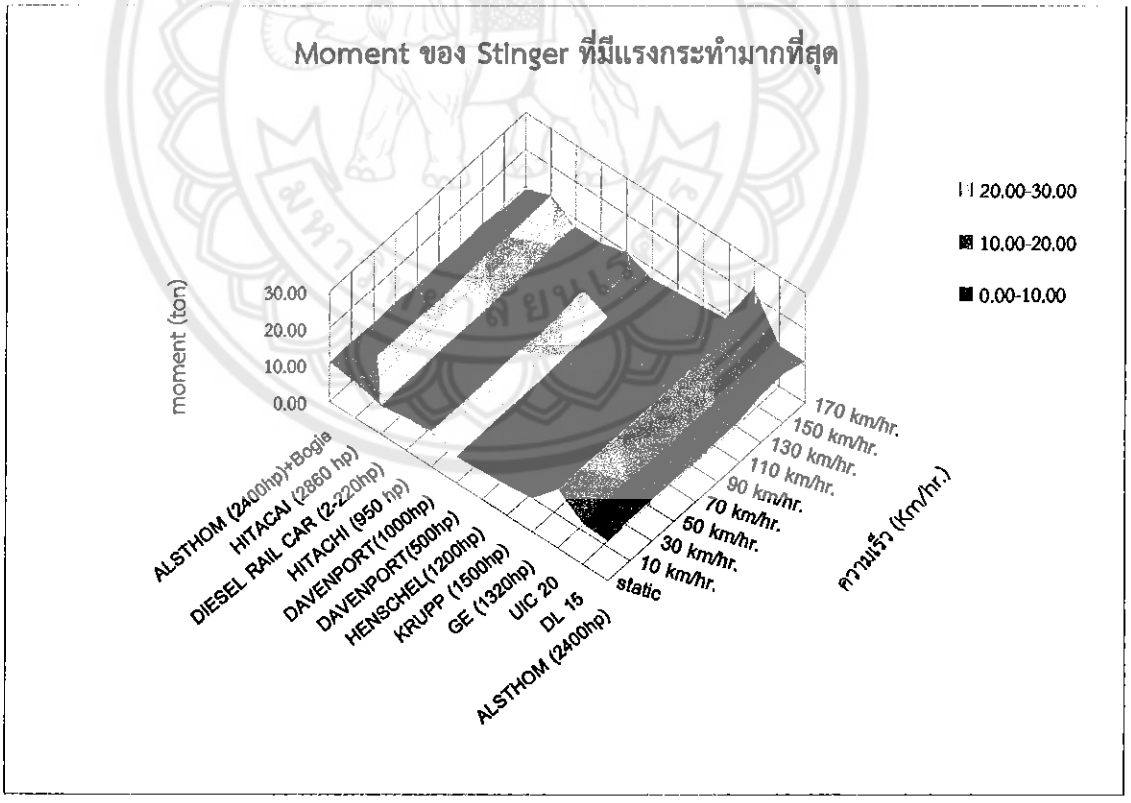



รูปที่ ข-68

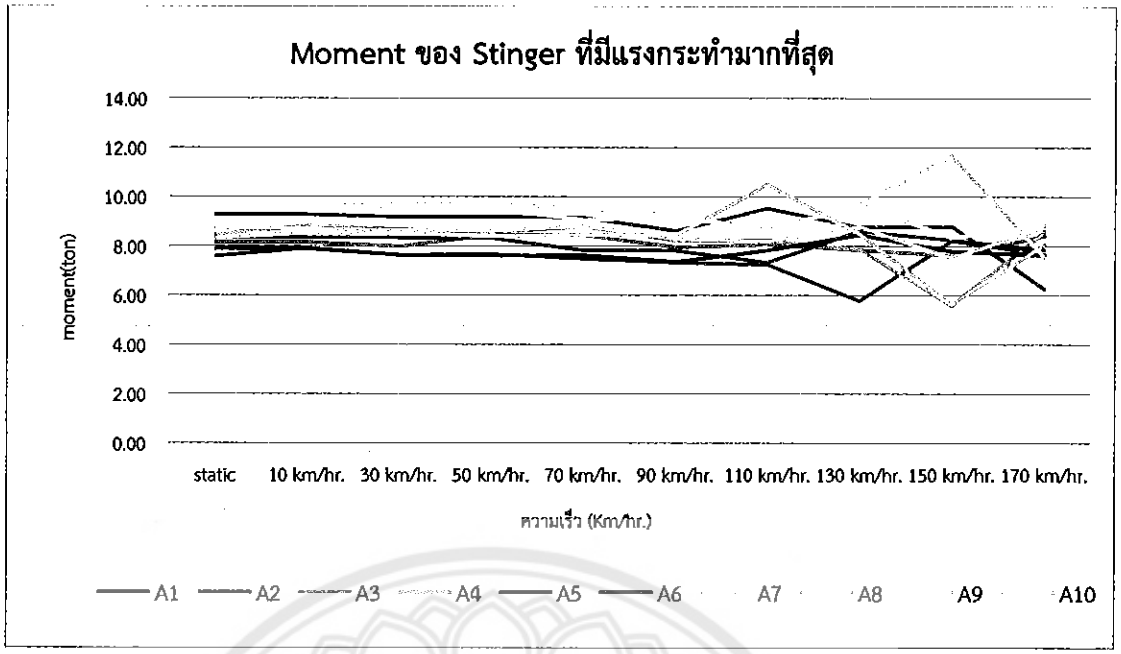
โมเมนต์ของ Stinger



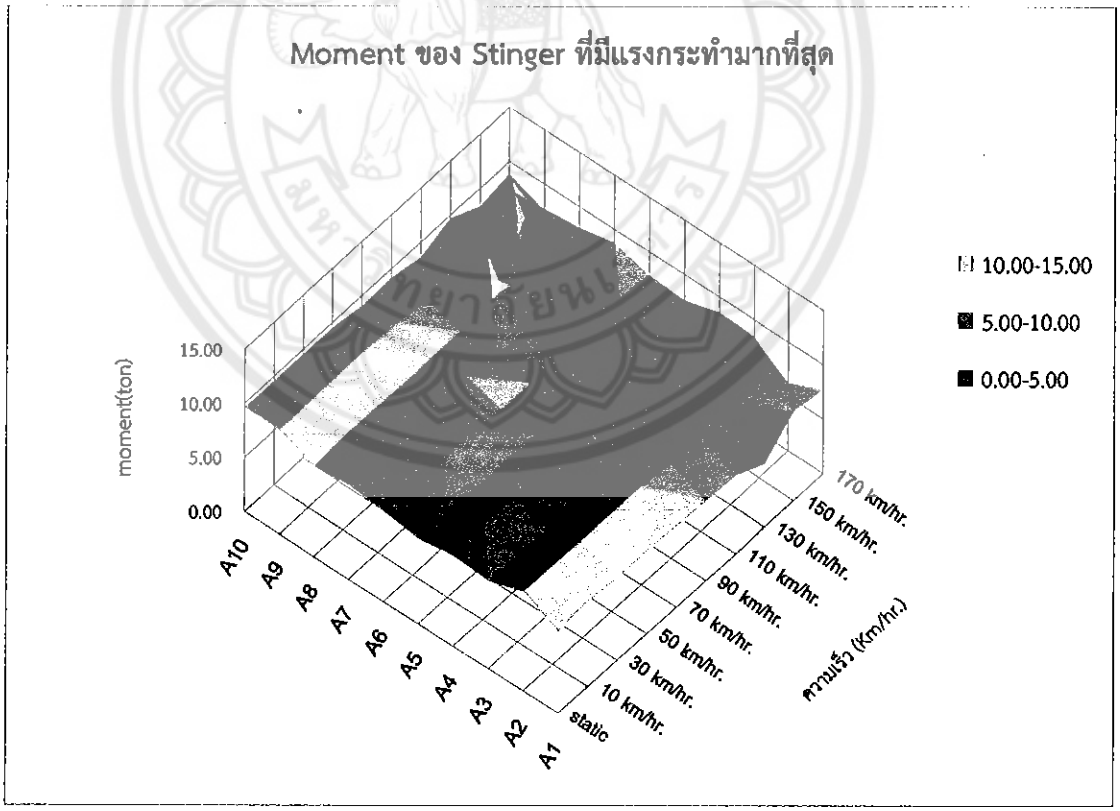

รูปที่ ข-69



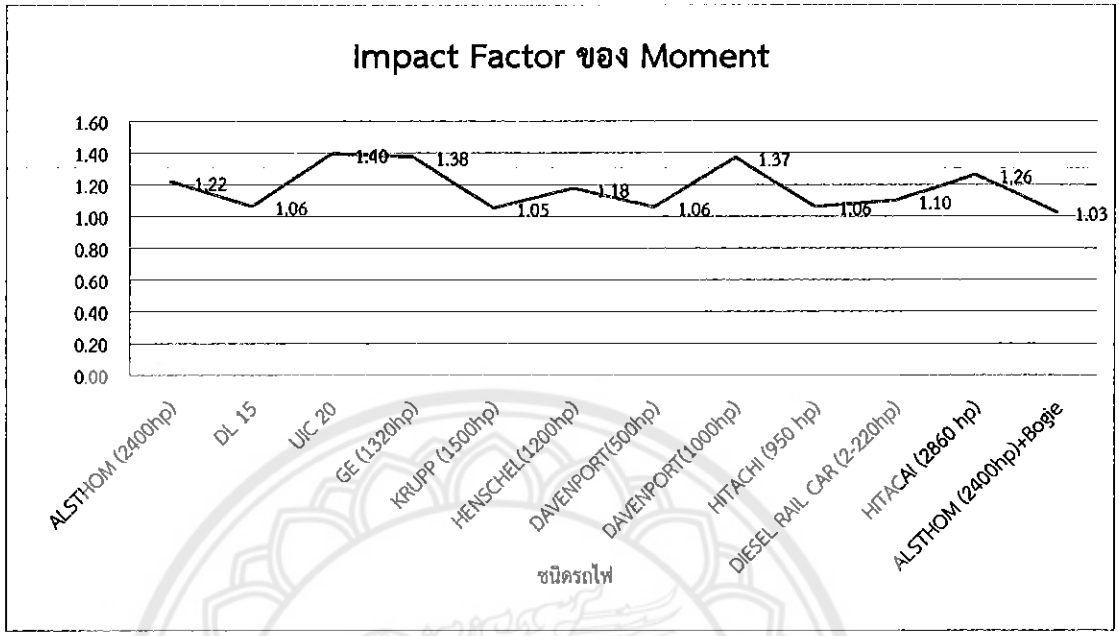

รูปที่ ข-70



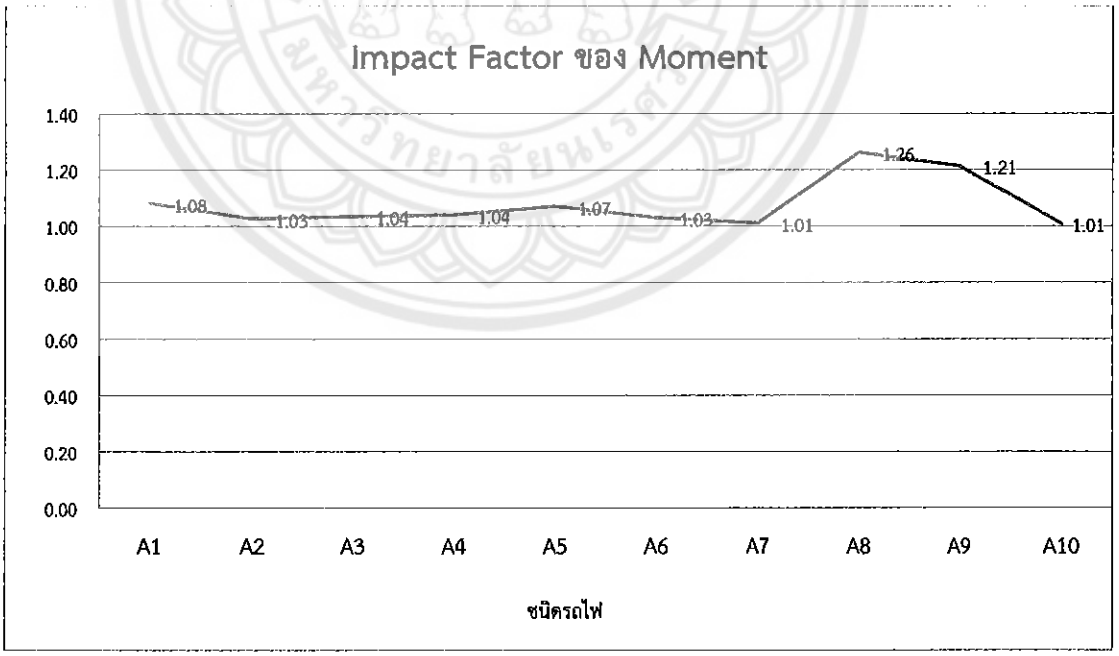

รูปที่ ข-71




รูปที่ ข-72

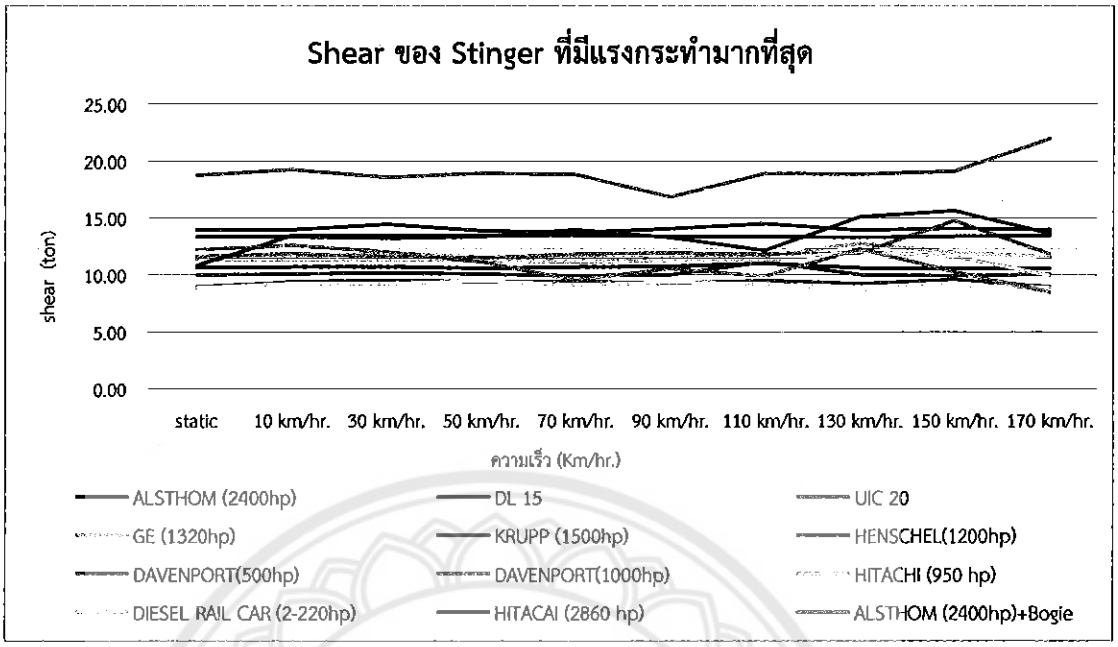



รูปที่ ข-73

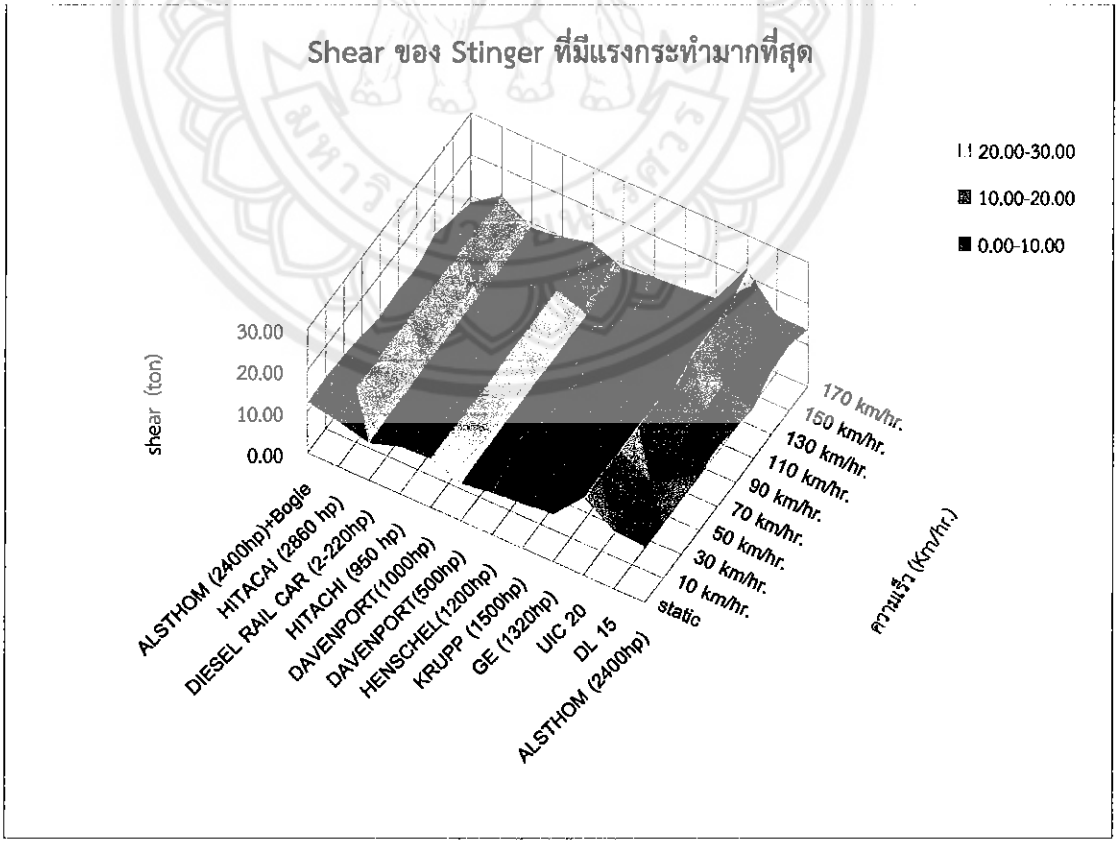



รูปที่ ข-74

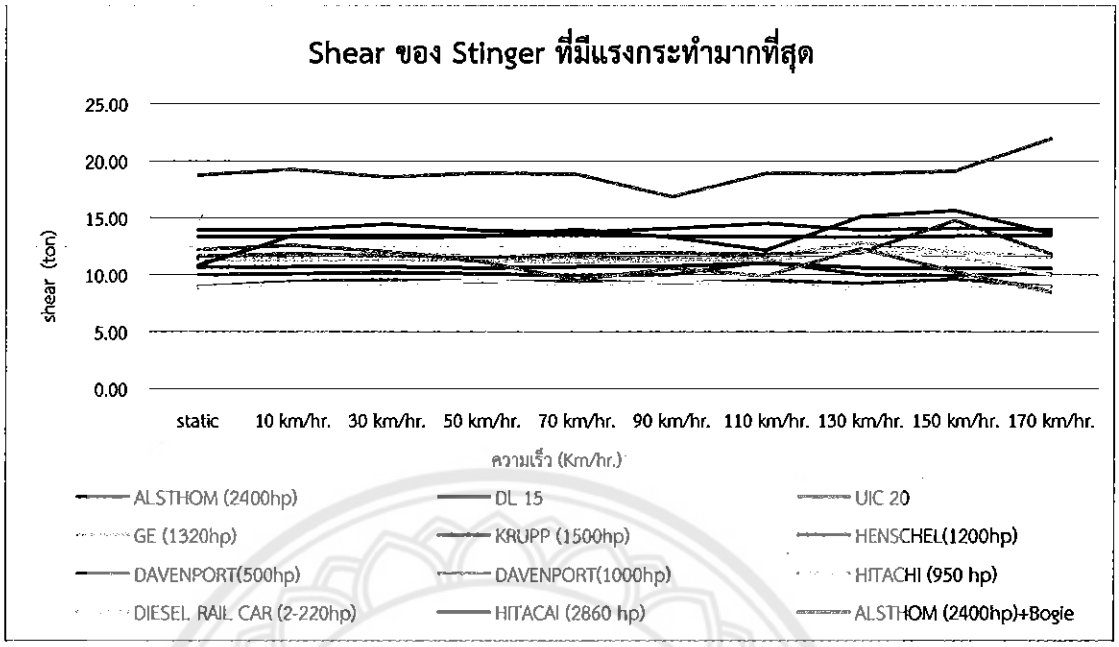
แรงเฉือนของ Stinger



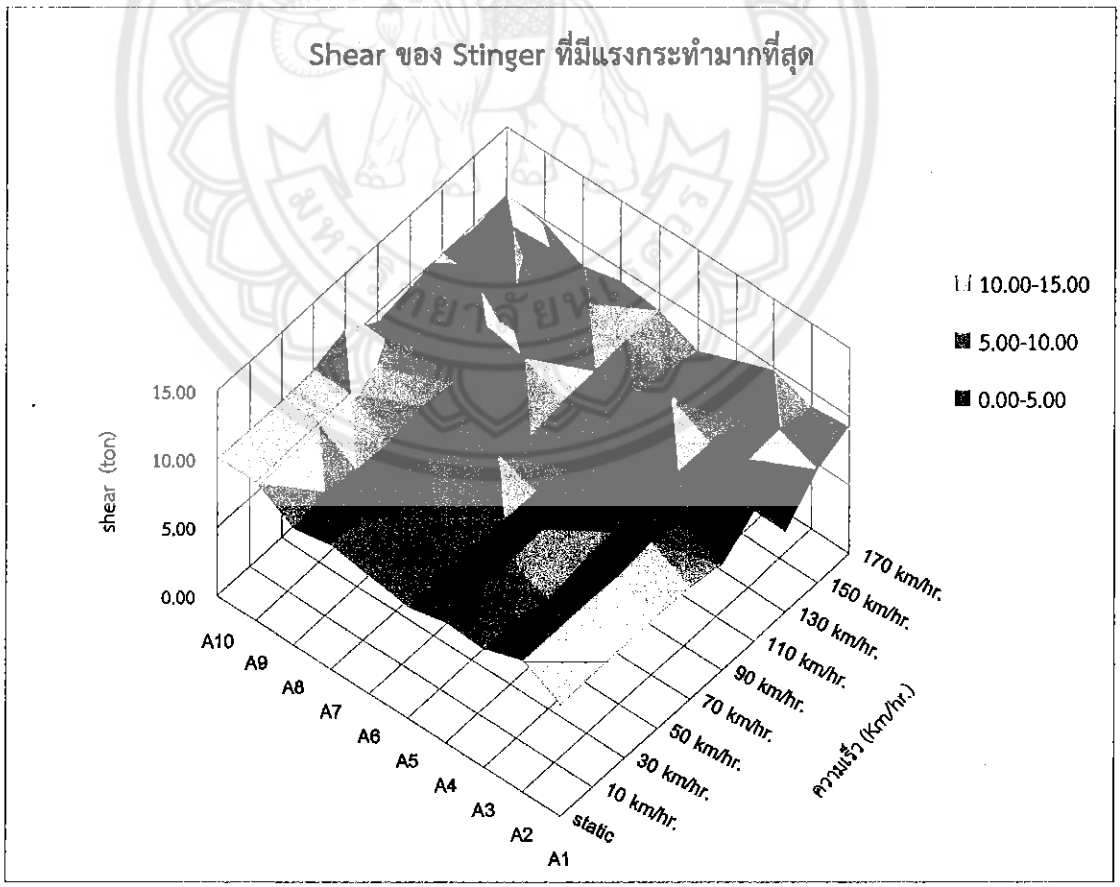

รูปที่ ข-75



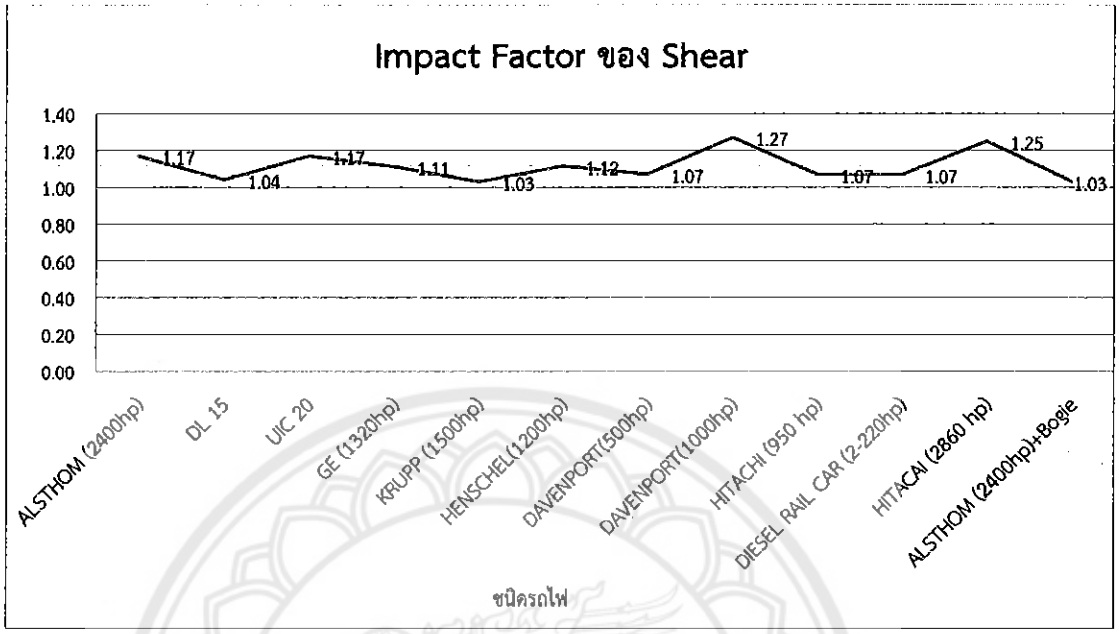

รูปที่ ข-76



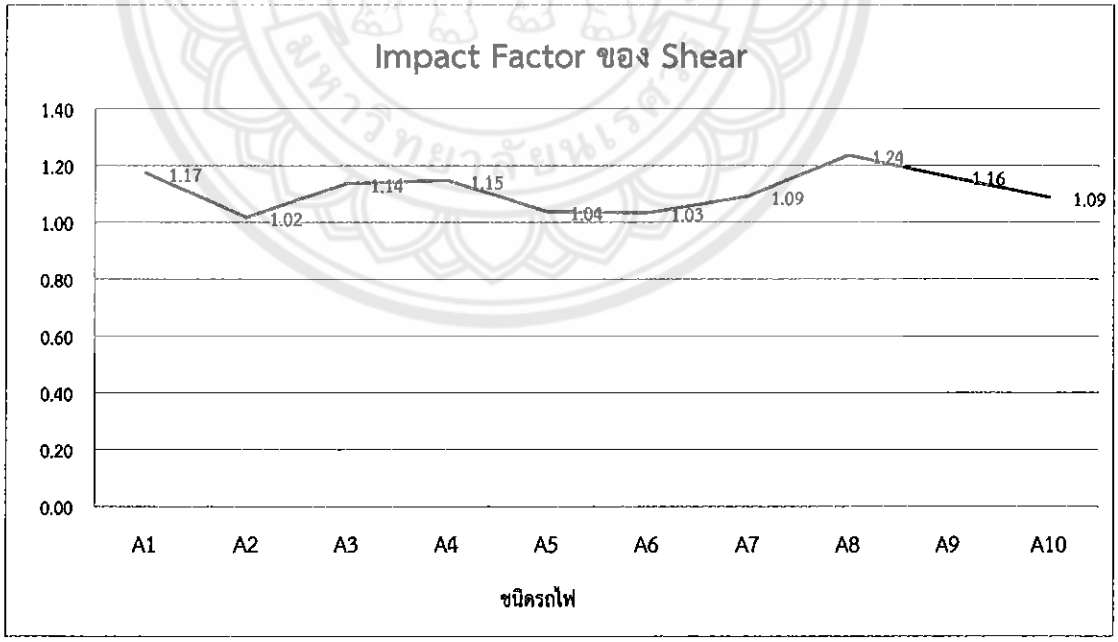

รูปที่ ข-77




รูปที่ ข-78

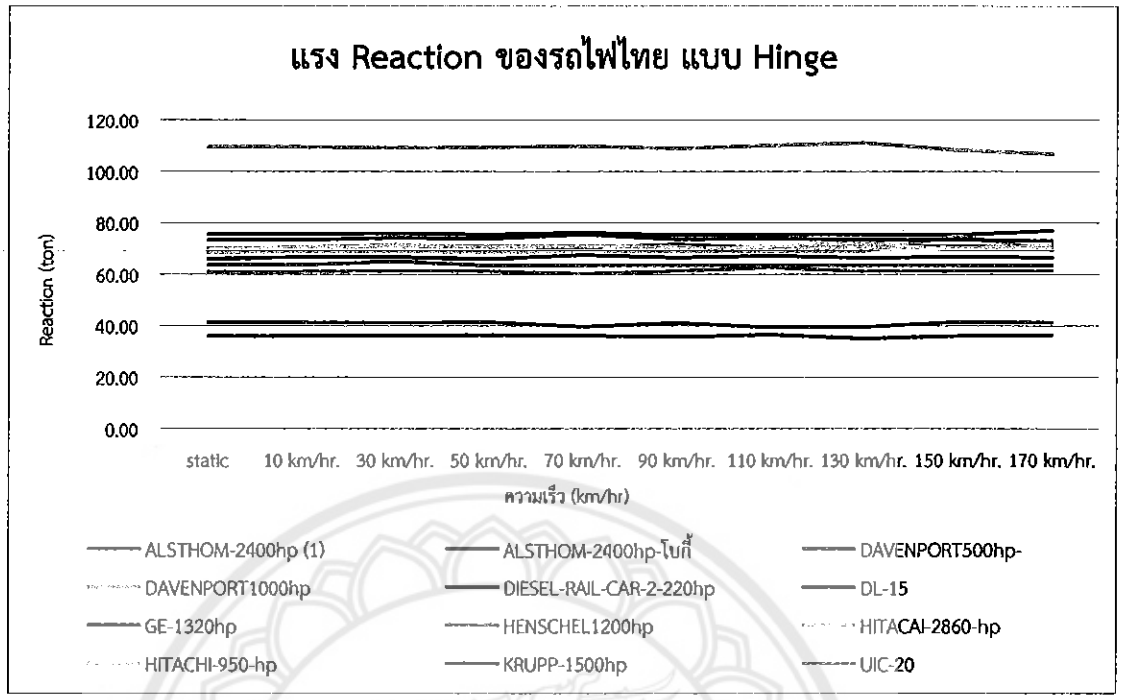



รูที่ ข-79

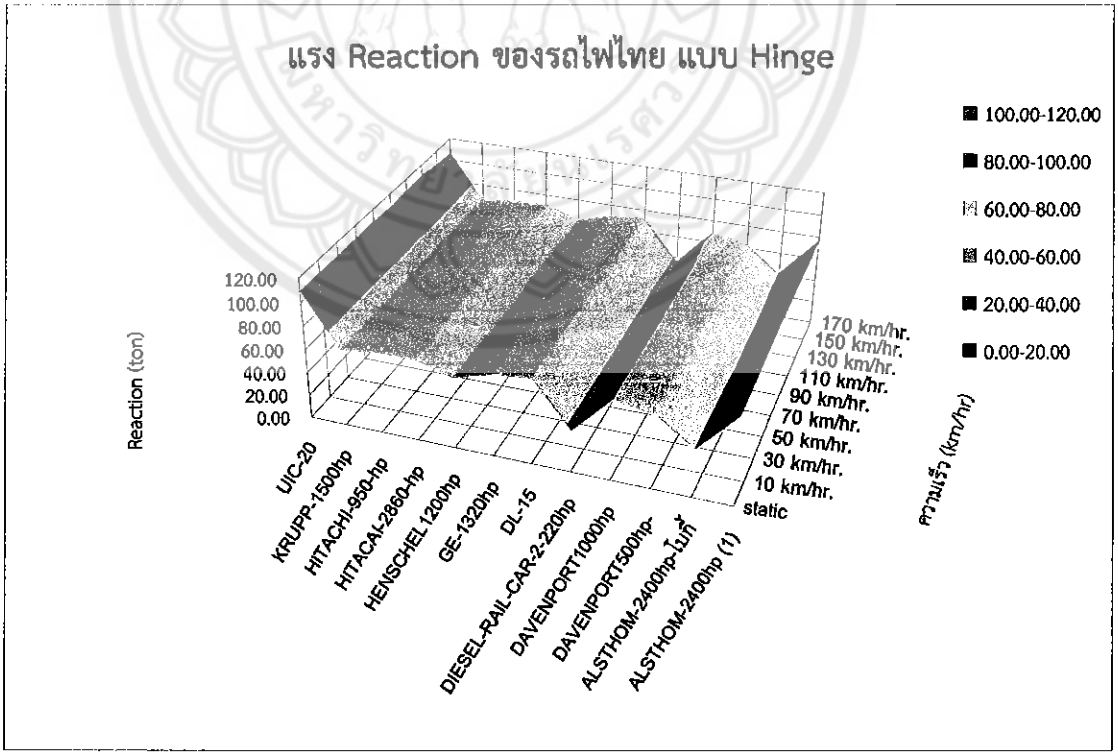



รูปที่ ข-80

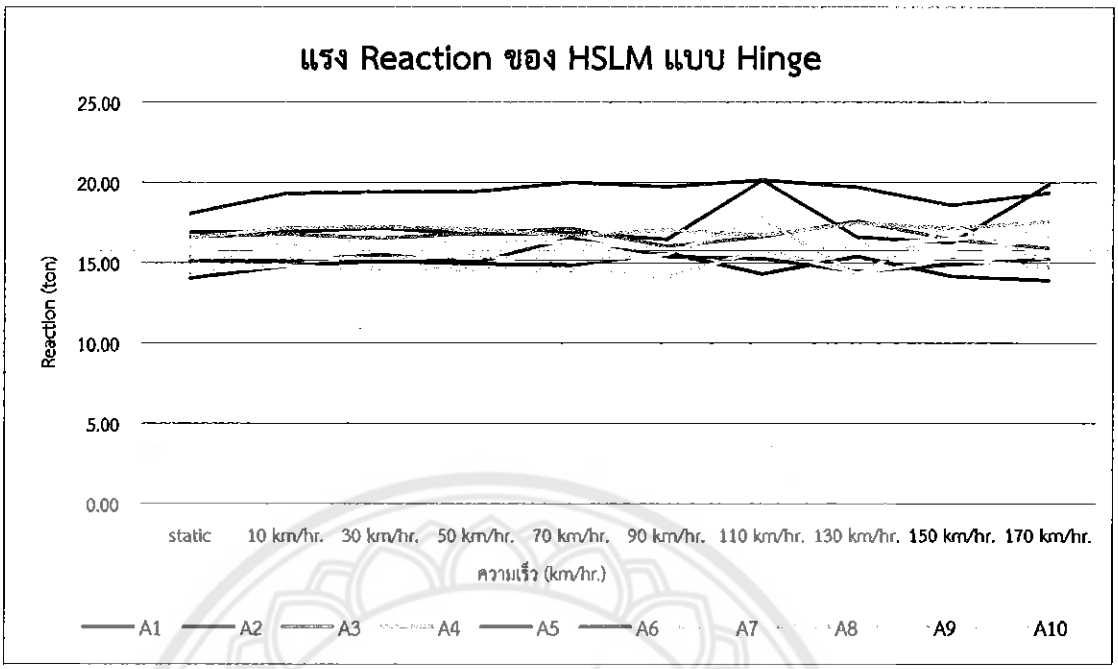
แรงปฏิกิริยาของ Hinge



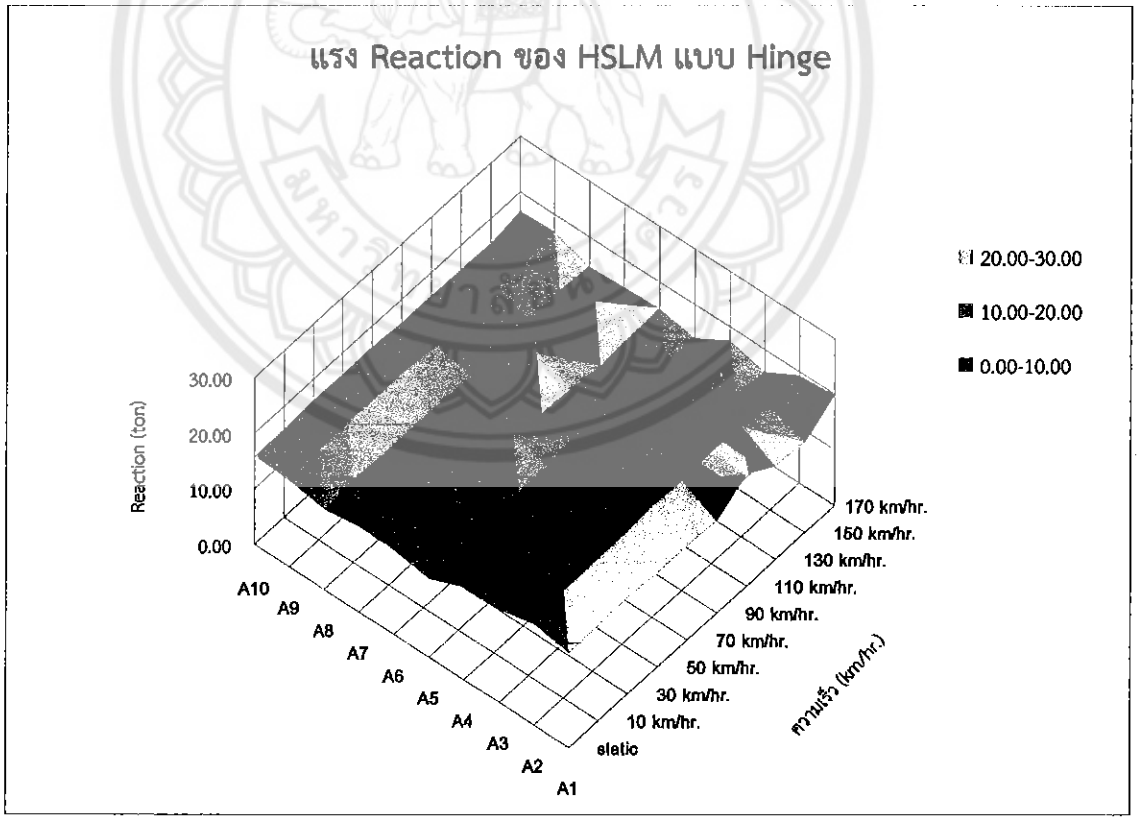

รูปที่ ข-81



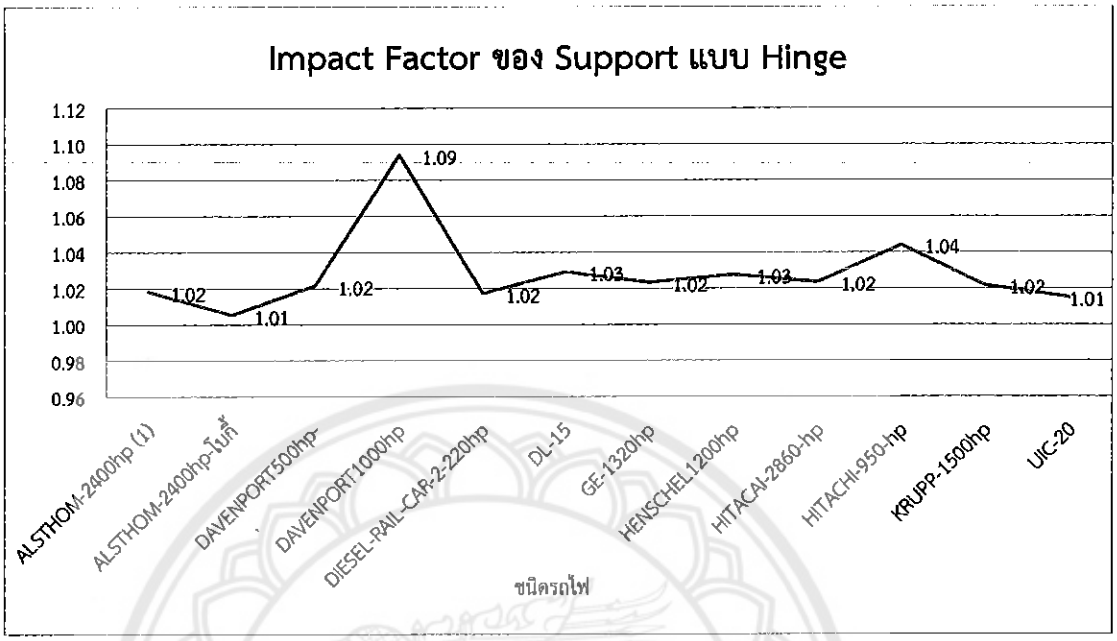

รูปที่ ข-82



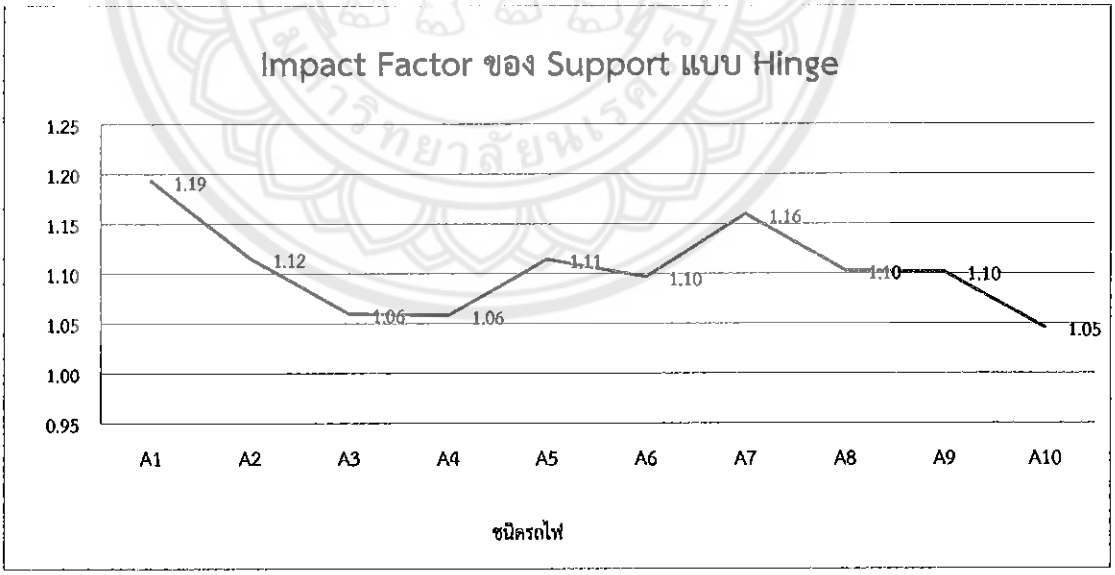

รูปที่ ข-83




รูปที่ ข-84

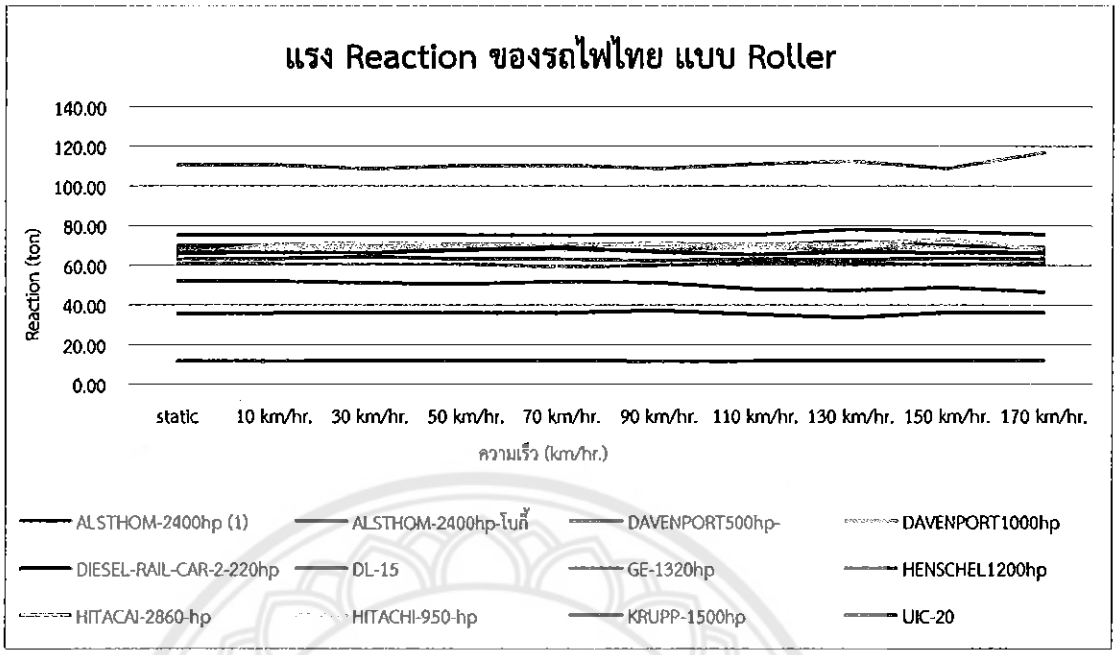



รูปที่ ข-85

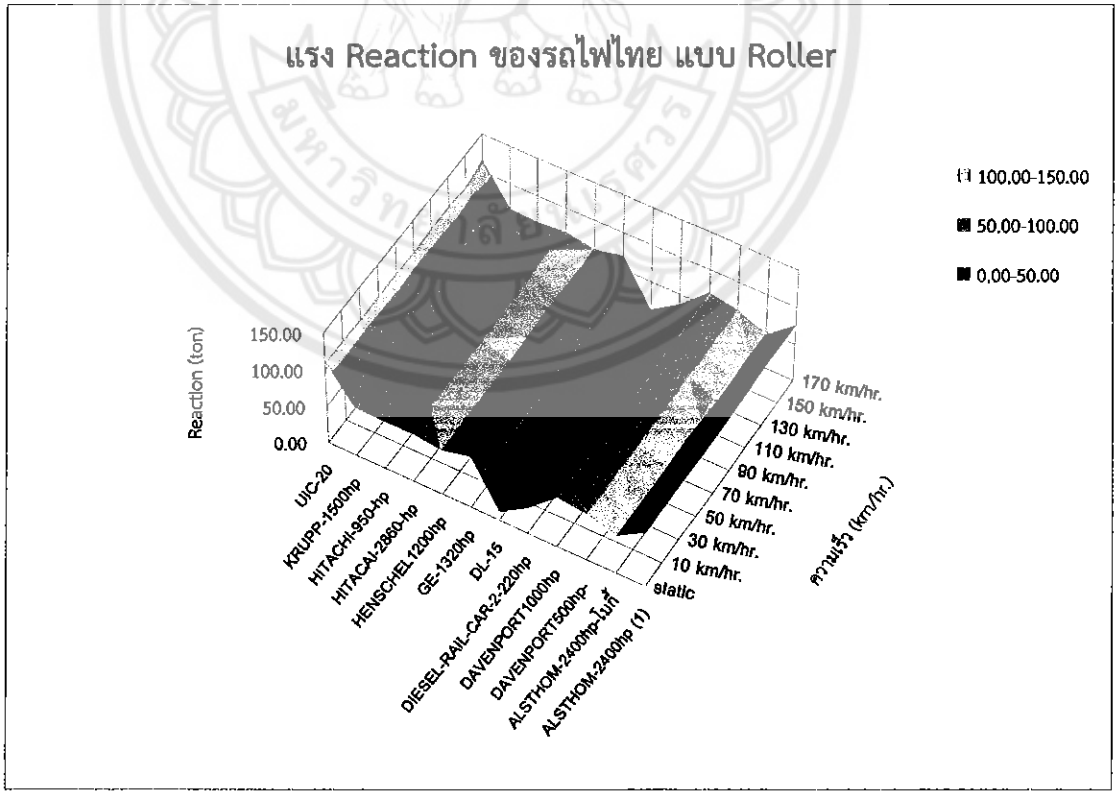



รูปที่ ข-86

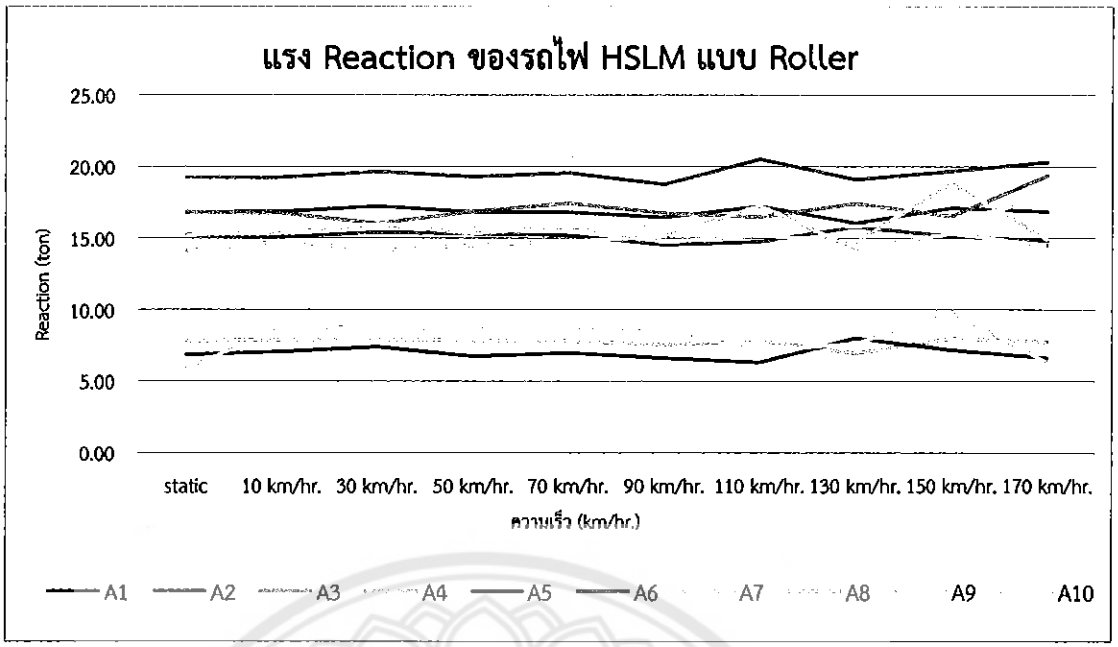
แรงปฏิกิริยาของ Roller



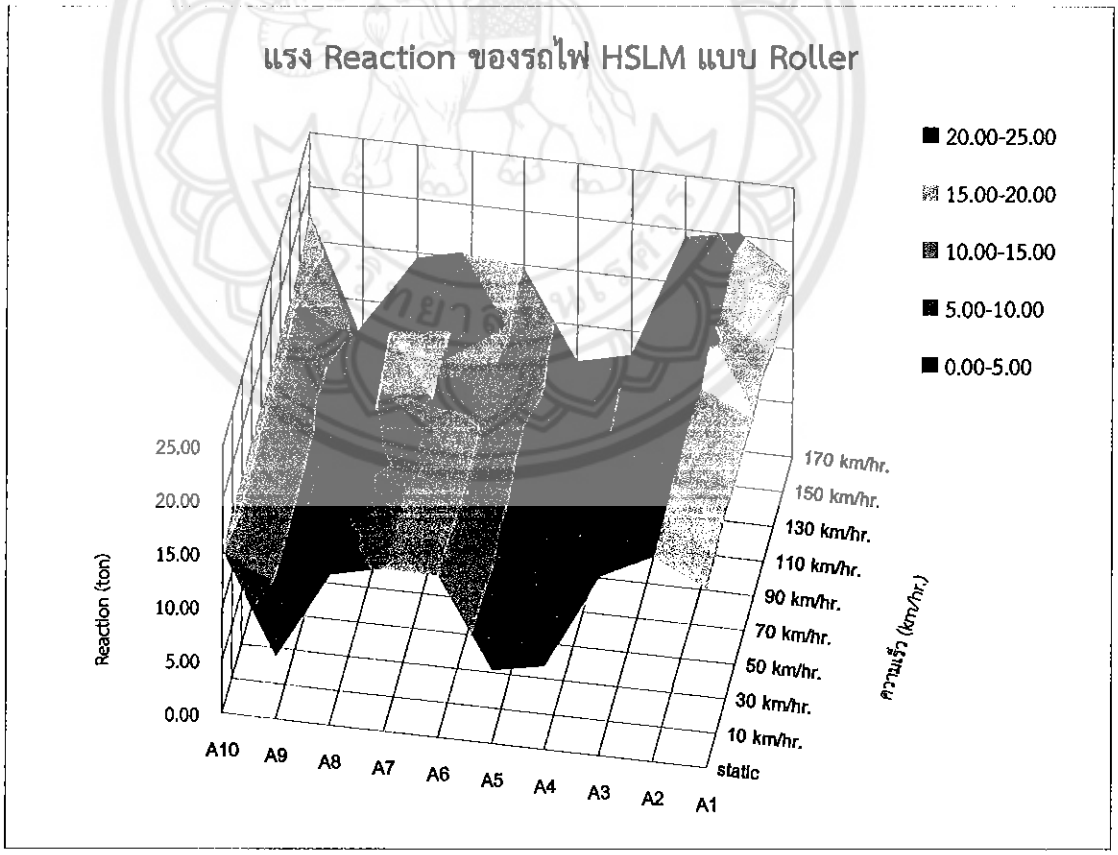

รูปที่ ข-87



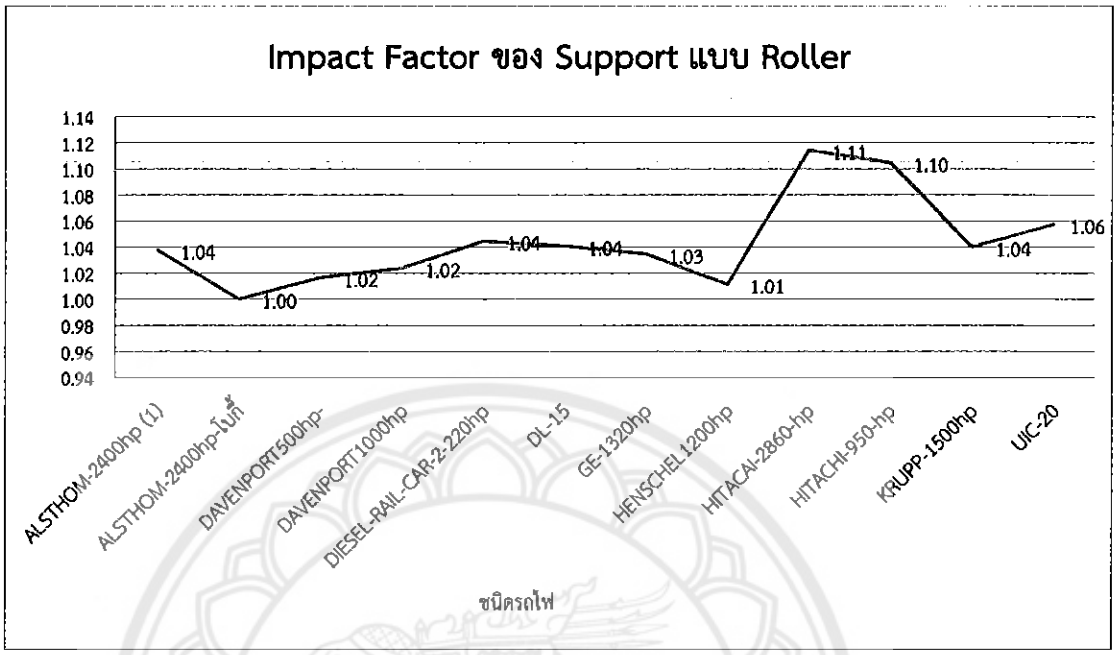

รูปที่ ข-88



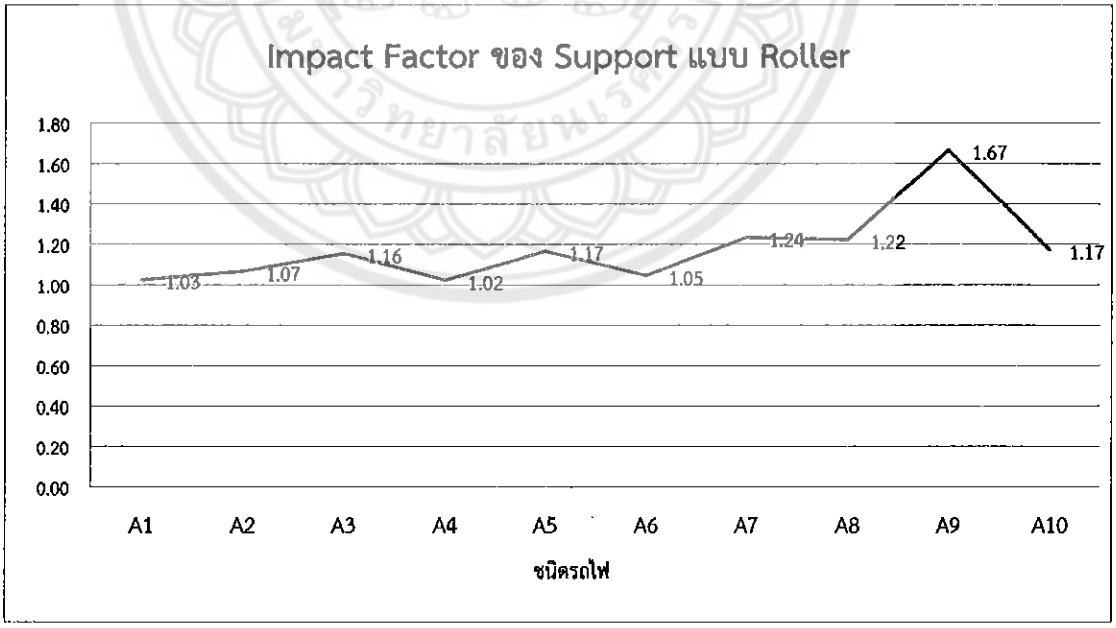

รูปที่ ข-89




รูปที่ ข-90




รูปที่ ข-91




รูปที่ ข-92