



รายงานการวิจัย

เทคนิคการประเมินสภาพและพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของสะพานรถไฟ
Health Monitoring Technique and Dynamic Behaviour of Railway Bridges

ชื่อผู้วิจัย

วิวัฒน์ พัทธสนานนท์
กิตติศักดิ์ ชันดิยวิชัย
เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานงบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2548

ISBN 974-7789-05-1



A Research Report

Health Monitoring Technique and Dynamic Behaviour of Railway Bridges

Researchers

Wiwat Puatatsananon
Kittisak Kuntiyawichai
Griengsak Kaewkulchai

Faculty of Engineering, Ubonratchathani University

This Research was Financially Supported from Bureau of The Budget Thailand

In Fiscal Year, 2004

ISBN 974-7789-05-1

รายงานการวิจัยเรื่อง	เทคนิคการประเมินสภาพและพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของสะพานรถไฟ	
หัวหน้าโครงการวิจัย	นายวิวัฒน์	พัทธานานท์
ผู้ร่วมโครงการวิจัย	นายกิตติศักดิ์	ขันติวิชัย
	นายเกรียงศักดิ์	แก้วกุลชัย
คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	
ปีงบประมาณ	2548	
งบประมาณที่ได้รับ	121,000.- บาท	
คำสำคัญ	การตอบสนองทางพลศาสตร์, สะพานรถไฟ, การประเมินสภาพโครงสร้าง, ระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลข	

บทคัดย่อ

รายงานการวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาผลของการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกของรถไฟต่อพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของสะพานแบบ Through Truss (TT) โดยในเบื้องต้นได้ทำการรวบรวมชนิดและองค์ประกอบของสะพานที่ใช้อยู่ในประเทศไทยรวมทั้งรวบรวมขั้นตอนการตรวจสอบสภาพการรับน้ำหนักของสะพานโดยใช้วิธีการตรวจสอบด้วยตาเปล่าและลักษณะความเสียหายที่พบโดยทั่วไปของสะพานแต่ละชนิด หลังจากนั้นก็จะนำข้อมูลของสะพานมาทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของสะพานรถไฟแบบ TT เมื่อมีขบวนรถไฟวิ่งผ่านโดยใช้วิธีคำนวณเชิงตัวเลข (Finite Element Analysis) ในการศึกษาผลกระทบของการเพิ่มน้ำหนักเพลาของรถไฟต่อพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของโครงสร้างสะพาน โดยใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear ซึ่งการศึกษานี้ได้จำลองแบบสะพานรถไฟที่มีขนาดความยาว 30 เมตร, 50 เมตร และ 80 เมตร โดยทำการเพิ่มน้ำหนักต่อเพลาของรถไฟ จาก 12 ตัน, 16 ตัน เป็น 20 ตัน อนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการตอบสนองของสะพานอันได้แก่ความเร็วของขบวนรถไฟและความหน่วงของโครงสร้างก็ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ด้วย

ผลศึกษาพบว่า การเพิ่มน้ำหนักเพลาของรถไฟมีผลทำให้การแอ่นตัวของสะพานเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันถ้าเพิ่มน้ำหนักเพลาและเพิ่มความเร็วของรถไฟก็ส่งผลให้การแอ่นตัวมีค่าสูงขึ้น การเพิ่มความหน่วงแก่โครงสร้างก็มีส่วนช่วยในการลดค่าการแอ่นตัวของสะพาน นอกจากนี้วิธีการเพิ่มความสามารในการรับน้ำหนักของสะพานรถไฟแบบ Through Truss (TT) โดยการใส่ Cover Plate เข้าไปในโครงสร้าง ก็ได้ทำการนำเสนอในรายงานวิจัยฉบับนี้ด้วย

Project Title	Health Monitoring Technique and Dynamic Behaviour of Railway Bridges
Head of Project	Mr. Wiwat Puatatsananon
Co-researchers	Mr. Kittisak Kuntiyawichai Mr. Griengsak Kaewkulchai Faculty of Engineering, Ubonratchathani University
In Finance Year	2004 for 121,000.- Baht
Keyword	Dynamic response, Railway bridges, Structural health monitoring, Finite element analysis

Abstract

The main purpose of this research work is to study the effect of increasing axle load on the Through Truss bridge (TT) structure. Literature concerned about non-destructive inspection technique (Visual inspection) and typical damage patterns of Railway bridge in Thailand are described. After that, Finite Element analyses have been carried out for 30 m., 50 m. and 80 m. TT bridge using SAP 2000 finite element program. Effect of increasing axle load on the bridge response is investigated. In addition, influential parameters on the response of TT bridge including train velocity and damping are also studied.

The results from this study show that the increasing axle load increases the deflection of the bridge. At the same time, increasing axle load and velocity of the moving train also affect on the deflection of the bridge. Adding damping into bridge structure can also reduce the displacement of the bridge. Finally, the method for improving TT bridge performance by adding cover plate is presented in this report.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานงบประมาณแผ่นดินที่ได้สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี
งบประมาณ 2548 และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ใน
การทำวิจัย สุดท้ายคณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้
อนุเคราะห์ให้ใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear

คณะผู้วิจัย

ตุลาคม 2548

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 วิธีการดำเนินการ	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6เค้าโครงเนื้อหาของงานวิจัย	2
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสะพานรถไฟ	
2.1 บทนำ	3
2.2 ชนิดของสะพานรถไฟ	4
2.3 ชิ้นส่วนต่างๆของสะพาน	8
2.4 ชนิดของความชำรุดเสียหายของสะพาน	16
2.5 สรุป	19
บทที่ 3 หลักการตรวจสอบและประเมินความเสียหายของสะพาน	
3.1 บทนำ	20
3.2 หลักการตรวจสอบสะพาน	20
3.3 การบันทึกความเสียหายและหลักการกรอกแบบฟอร์ม	29
3.4 การวัดชิ้นส่วนต่างๆของสะพาน	45
3.5 การสรุปผลการตรวจสอบในแต่ละวัน	45
3.6 อุปกรณ์ในการตรวจสอบสะพาน	46
3.7 สรุป	47
บทที่ 4 ชนิดและการตรวจสอบ Bearing	
4.1 บทนำ	48
4.2 ชิ้นส่วนของ Bearing	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ชนิดของ Bearing แบบเคลื่อนตัวได้	50
4.4 การตรวจสอบ Bearing	56
4.5 สรุป	61
บทที่ 5 การใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear	
5.1 บทนำ	62
5.2 การใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear	65
5.3 สรุป	76
บทที่ 6 การตรวจสอบภาคสนามและการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์	
6.1 วัตถุประสงค์ของการออกตรวจภาคสนาม	77
6.2 การนำผลที่ได้มาทำแบบจำลองคอมพิวเตอร์	78
6.3 แบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ของสะพาน	82
6.4 สรุป	101
บทที่ 7 สรุปผลและวิจารณ์	
7.1 สรุป	102
7.2 วิจารณ์	103
7.3 งานที่จะทำต่อไป	103
บรรณานุกรม	104
ประวัตินักวิจัย	105

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางข้อขึ้นส่วนและตัวข้อที่ใช้	25
3.2 การประเมินสภาพเฉพาะตำแหน่งความเสียหายบนชิ้นส่วน โครงสร้างเหล็ก	26
3.3 การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างของสะพานเหล็ก โดย Overall Condition Rating	27
3.4 การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างสะพานคอนกรีต	28
4.1 ตารางการตรวจสอบ Bearing	61
6.1 สรุปการเฝ้าตัว ความเร็วและความเร่ง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพานเมื่อความเร็วและน้ำหนักรถบรรทุกของรถไฟเปลี่ยนไปของสะพาน 30 เมตร	88
6.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเฝ้าตัวก่อนและหลังการเสริม Cover Plate ที่ความเร็ว 100 กม./ชม. ของสะพาน 30 เมตร โดยมีค่าความหน่วงและความยาวของแผ่นเหล็กต่างกัน	90
6.3 สรุปการเฝ้าตัว ความเร็วและความเร่ง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพานเมื่อความเร็วและน้ำหนักรถบรรทุกของรถไฟเปลี่ยนไปของสะพาน 50 เมตร	94
6.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเฝ้าตัวก่อนและหลังการเสริม Cover Plate ที่ความเร็ว 100 กม./ชม. ของสะพาน 30 เมตร โดยมีค่าความหน่วงและความยาวของแผ่นเหล็กต่างกัน	96
6.5 สรุปการเฝ้าตัว ความเร็ว และความเร่ง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน เมื่อความเร็วและน้ำหนักรถบรรทุกของขบวนรถเปลี่ยนไปของสะพาน 80 เมตร	99

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ชนิดของสะพานรถไฟที่มีอยู่ในประเทศไทย	3
2.2 สะพาน Deck Girder (DG)	4
2.3 สะพาน Deck Plate Girder (DP)	4
2.4 สะพาน Through Plate Girder (TP)	5
2.5 สะพาน Through Truss (TT)	5
2.6 สะพาน Steel Slab (SS)	6
2.7 สะพาน Composite (CB)	6
2.8 สะพาน Reinforced Concrete Slab (RS)	7
2.9 สะพาน Prestressed Concrete Slab (PC)	7
2.10 สะพาน Viaduct (VD)	8
2.11 สะพานชนิด Through Plate	12
2.12 สะพานชนิด Through Truss	12
2.13 สะพานชนิด Deck Plate Girder	13
2.14 สะพานชนิด Composite	13
2.15 สะพานชนิด Steel Slab	14
2.16 สะพานชนิด Reinforced Concrete Slab	14
2.17 สะพานชนิด Deck Truss Girder	15
2.18 สะพานชนิด Deck Girder	15
2.19 การเสียหายของโครงสร้างสะพานเหล็ก	17
2.20 การเสียหายของโครงสร้างสะพานคอนกรีต	18
3.1 แบบฟอร์มที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของสะพาน	31
3.2 แบบฟอร์มที่ 2 ข้อมูลการตรวจสอบ Steel Superstructure	32
3.3 แบบฟอร์มที่ 2.1 รูปจำลองสะพานชนิด Through Plate Girder	33
3.4 แบบฟอร์มที่ 2.2 รูปจำลองสะพานชนิด Through Truss Girder or Deck Truss Girder	34
3.5 แบบฟอร์มที่ 2.3 รูปจำลองสะพานชนิด Deck Girder	35
3.6 แบบฟอร์มที่ 2.4 รูปจำลองสะพาน Deck Plate Girder	36
3.7 แบบฟอร์มที่ 2.5 รูปจำลองสะพาน Composite	37
3.8 แบบฟอร์มที่ 2.6 รูปจำลองสะพาน Steel Slab	38
3.9 แบบฟอร์มที่ 3 Concrete Superstructure Inspection Data	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 แบบฟอร์มที่ 3.1 แบบจำลองสะพาน Reinforced Concrete Slab	40
3.11 แบบฟอร์มที่ 3.2 แบบจำลองสะพาน Prestressed Concrete Slab	41
3.12 แบบฟอร์มที่ 4 ข้อมูลการตรวจสอบ Substructure	42
3.13 แบบฟอร์มที่ 5.1 หน้าตัดชิ้นส่วนต่างๆของสะพาน	43
3.14 แบบฟอร์มที่ 5.2 หน้าตัดของ Stinger และ Floor Beam	44
4.1 รูปแสดงการทำงานของ Bearing (Roller)	48
4.2 Bearing แบบยึดหมุนและแบบเคลื่อนตัวได้	49
4.3 ชิ้นส่วนและส่วนประกอบต่าง ๆ ของ Bearing	50
4.4 Bearing แบบแผ่นโลหะเลื่อน	51
4.5 Bearing แบบลูกกลิ้งกลุ่ม (Roller Nest Bearing)	52
4.6 Bearing แบบลูกกลิ้งเดี่ยว (Single Roller Bearing)	52
4.7 Bearing แบบ Rocker กลุ่ม (Rocker Nest Bearing)	53
4.8 Bearing คานแบบหมุดและดิงก์	53
4.9 Pot Bearing	54
4.10 Restraining Bearing	54
4.11 Laminated Neoprene Bearing	55
4.12 Lead Isolation Bearing	55
4.13 รายการตรวจสอบ Bearing แบบแผ่นเหล็กเลื่อน (Sliding Plate Bearing)	57
4.14 รายการตรวจสอบ Bearing แบบ Rocker	58
4.15 มุมของการหมุนของ Pot Bearing	59
5.1 แสดงแบบจำลอง (รูป ก-ข) ตัวอย่างการเสีรูป (รูป ข) ตัวอย่างแรงปฏิกิริยา (รูป ฅ) ตัวอย่างแรงตามแกน (รูป ฅ) ตัวอย่าง SFD (รูป ฅ) ตัวอย่าง BMD (รูป ฅ) ตัวอย่างแรงบิด (รูป ค) ตัวอย่างการ Check of Structure Element (รูป ค) เทียบกับ Rating (รูป ฅ) ถ้าเกิน ขึ้นไปแสดงว่าเกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง	64
6.1 ถ่ายภาพทัศนียภาพรอบข้างของสะพานและภายในสะพาน	78
6.2 ตรวจสอบสภาพของชิ้นส่วนของโครงสร้างสะพานทุกชิ้นส่วนพร้อมให้คะแนน (การให้คะแนนความเสียหายของ Bottom Cord)	78
6.3 บันทึกขนาดของสะพาน และขนาดของหน้าตัดสะพาน	78
6.4 Single-Degree-Of-Freedom-System (SDOF)	79
6.5 คานที่มีแรงเคลื่อนที่ P เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ V	80

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.6 แรงที่เกิดขึ้นใน Element	80
6.7 แบบจำลองสะพาน 30 ม.	82
6.8 แบบจำลองสะพาน 50 ม.	82
6.9 แบบจำลองสะพาน 80 ม.	82
6.10 การเข้า Mode Shape (ลักษณะการเสีรูป) ของสะพาน	83
6.11 การเข้า Time History Display Definition เพื่อดู Time History Function	84
6.12 ลักษณะการเสีรูปของสะพานรถไฟ 30 ม.	85
6.13 Time History Function ของการแอ่นตัว ความเร็วและความเร่งของสะพาน 30 ม. ในแนวดิ่งเมื่อรับน้ำหนัก 12 ตันและมีค่าความหน่วงเท่ากับ 0%	87
6.14 ลักษณะการเสีรูปของสะพานรถไฟ 50 ม.	91
6.15 Time History Function ของการแอ่นตัว ความเร็วและความเร่งของสะพาน 50 ม. ในแนวดิ่งเมื่อรับน้ำหนัก 12 ตันและมีค่าความหน่วงเท่ากับ 0%	93
6.16 ลักษณะการเสีรูปของสะพานรถไฟ 80 ม.	97
6.17 Time History Function ของการแอ่นตัว ความเร็วและความเร่งของสะพาน 80 ม. ในแนวดิ่งเมื่อรับน้ำหนัก 12 ตันและมีค่าความหน่วงเท่ากับ 0%	99
6.18 แสดงค่าการรับแรงของชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน 80 เมตร	101

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

การคมนาคมขนส่งที่เป็นอยู่ในปัจจุบันขยายตัวอย่างกว้างขวางในทุกๆด้าน และการคมนาคมขนส่งทางบกก็ขยายตัวเช่นเดียวกัน การขนส่งทางรถยนต์นับวันก็ยิ่งจะเพิ่มความคับคั่งของการจราจรมากยิ่งขึ้น ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการขนส่งทางรถยนต์ที่พอจะจำแนกได้ก็มีดังนี้ ปัญหาการจราจรติดขัด ปัญหาถนนชำรุดเสียหาย ปัญหาราคาค่าเชื้อเพลิงที่ปัจจุบันมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ปัญหาอากาศเสียที่เกิดจากปริมาณจราจรที่เพิ่มมากขึ้น และปัญหาอุบัติเหตุ

การขนส่งทางบกใช้ว่าจะมีแค่การขนส่งทางรถยนต์เท่านั้นที่มีในปัจจุบัน การขนส่งทางรถไฟก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในปัจจุบัน เพราะมีความสะดวกสบายพอสมควร เนื่องจากว่าทางรัฐบาลมีนโยบายที่จะส่งเสริมการขนส่งทางรถไฟให้มากเพื่อรองรับกับความต้องการที่จะมีในอนาคตและเพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการขนส่งสินค้าที่มีน้ำหนักมาก การรถไฟแห่งประเทศไทยจึงได้มีมาตรการที่จะเพิ่มน้ำหนักบรรทุกของรถไฟจากที่ปัจจุบันที่มีการบรรทุกที่น้ำหนักเพลาไม่เกิน 16 ตัน เป็น 20 ตันในอนาคต เพื่อเพิ่มทางเลือกให้มีการขนส่งสินค้าที่มีน้ำหนักมากให้มาใช้บริการขนส่งทางรถไฟเพิ่มมากขึ้นเพราะจะช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายของทั้งในภาครัฐบาลและเอกชนด้วย เนื่องจากเอกชนสามารถขนส่งสินค้าได้มากขึ้นในราคาที่ถูกลง ขณะเดียวกันรัฐบาลก็สามารถลดปริมาณการสั่งซื้อเชื้อเพลิงในตลาดโลกลงด้วย

การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกของรถไฟเพื่อให้มีการขนส่งทางรถไฟมากขึ้นนับเป็นสิ่งที่การรถไฟแห่งประเทศไทยต้องคำนึงถึงความเสียหายอาจจะเกิดขึ้นที่ใดก็ได้ตลอดเส้นทาง ดังนั้นจึงต้องทำการตรวจสอบการรับน้ำหนักของรางรถไฟตลอดเส้นทางทุกสายโดยให้ความสำคัญกับสะพานเป็นอันดับแรกสุด เพราะเป็นโครงสร้างที่ต้องมีการรับน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักของตัวเอง จึงเป็นจุดที่ค่อนข้างอันตรายเพราะว่าสะพานรถไฟปัจจุบันมีการออกแบบรับน้ำหนักการบรรทุกที่เพลาไม่เกิน 16 ตันซึ่งถ้าหากเปลี่ยนเป็น 20 ตันจึงจำเป็นต้องตรวจสอบให้ดีว่าสามารถที่จะรับน้ำหนักบรรทุกที่ 20 ตันได้หรือไม่ ถ้าไม่ได้ต้องมีการปรับปรุงแก้ไขในส่วนใดหรือจะปรับปรุงแก้ไขอย่างไรเพื่อที่จะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัยโดยมีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด

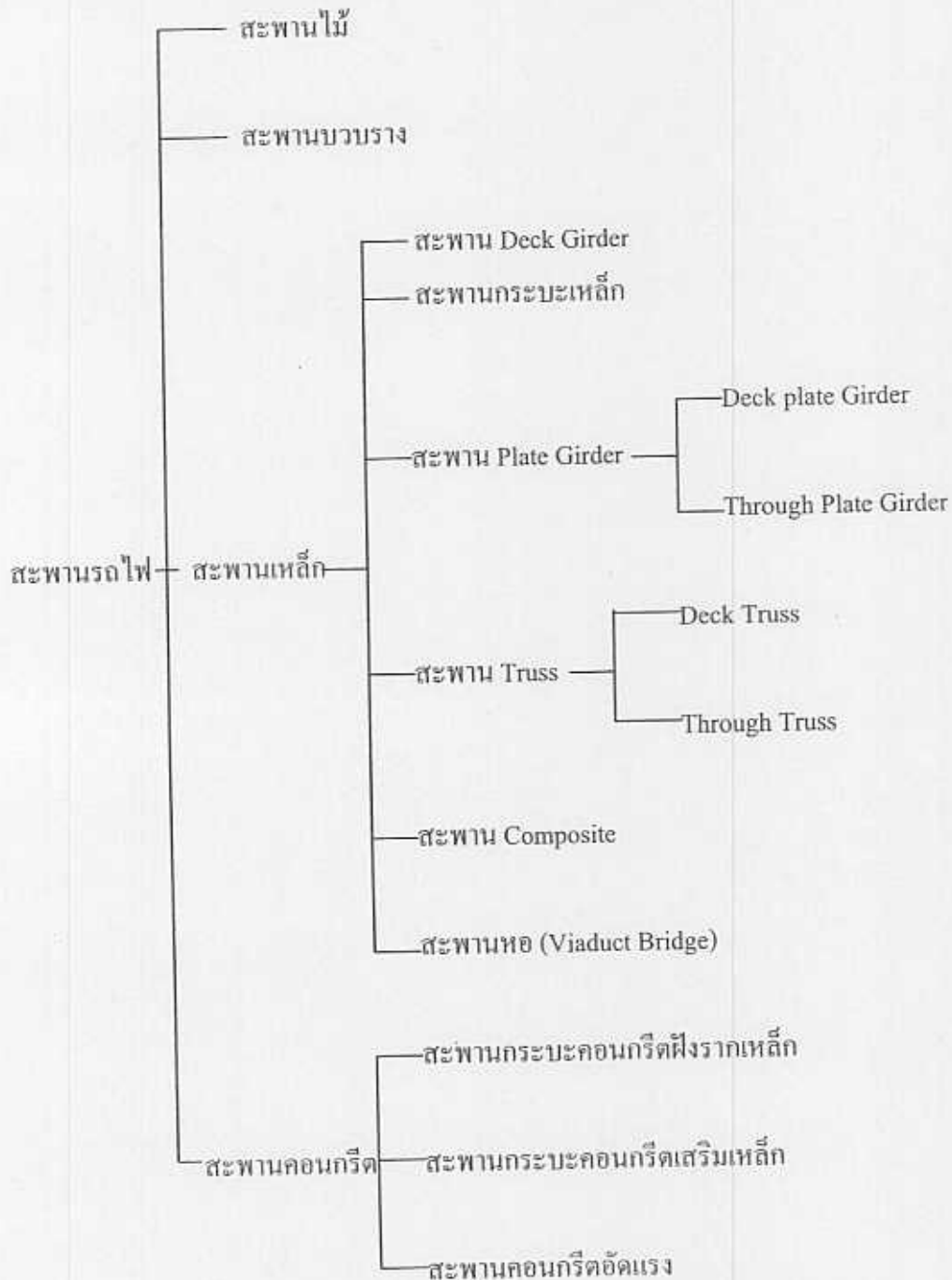
งานวิจัยเล่มนี้จะนำเสนอชนิดและองค์ประกอบของสะพานที่ใช้อยู่ในประเทศไทยรวมทั้งรวบรวมขั้นตอนการตรวจสอบสภาพการรับน้ำหนักของสะพานโดยใช้วิธีการตรวจสอบด้วยคาเปล่าและลักษณะความเสียหายที่พบโดยทั่วไปของสะพานแต่ละชนิด หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของสะพานเมื่อมีขบวนรถไฟวิ่งผ่านโดยใช้วิธีคำนวณเชิงตัวเลข (Finite Element Analysis)

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสะพานรถไฟ

2.1 บทนำ

บทนี้กล่าวถึง ชนิดของสะพานรถไฟ ซึ่งแตกต่างกันออกไปตามชนิดของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง, ความยาวช่วงสะพาน, น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ออกแบบ และความเจริญก้าวหน้าในการออกแบบและเทคนิคการก่อสร้าง เป็นต้น นอกจากนั้นประกอบด้วย ชิ้นส่วนต่างๆของสะพานและหน้าที่ ชนิดความชำรุดเสียหายของสะพานรถไฟ ชนิดของสะพานดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ทวี, 2544)



รูปที่ 2.1 ชนิดของสะพานรถไฟที่มีอยู่ในประเทศไทย

บทที่ 3

หลักการตรวจสอบและประเมินความเสียหายของสะพาน

3.1 บทนำ

บทนี้กล่าวถึงหลักการตรวจสอบสะพานรถไฟแต่ละชนิด ข้อปฏิบัติในการตรวจสอบสะพาน หลักการประเมินความเสียหาย การบันทึกความเสียหายลงในแบบฟอร์มต่างๆ โดยอาศัยความเดิมในบทก่อนหน้านี และอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบสะพาน

3.2 หลักการตรวจสอบสะพาน

หลักการตรวจสอบจะขึ้นอยู่กับชนิดของสะพานตลอดจนชิ้นส่วนย่อยๆ ภายในสะพาน ดังต่อไปนี้

3.2.1 สะพาน Through Plate Girder

จะต้องทำการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ของสะพานในทุกตำแหน่ง ว่ามีความเสียหายเกิดขึ้นหรือไม่ โดยเฉพาะในบริเวณที่รับน้ำหนักหลัก (Critical Stress Area) ของชิ้นส่วนต่างๆ (Main Girder, Stringer, และ Floor Beam) ซึ่งได้แก่

- Web บริเวณใกล้ฐานรองสะพาน
- Flange ที่กึ่งกลางของชิ้นส่วนที่ทำการตรวจสอบ
- รอยต่อ (Connection) ระหว่างชิ้นส่วน

*** จะต้องตรวจสอบชิ้นส่วนเหล่านี้อย่างละเอียด โดยที่ผู้ตรวจสอบจะต้องอยู่ห่างจากชิ้นส่วนภายในระยะ 0.5 เมตร โดยเรียงลำดับชิ้นส่วนต่างๆ ที่ต้องการตรวจสอบดังต่อไปนี้

Main Girder (ตรวจอย่างละเอียด)

- ที่ตอม่อ ตรวจ Web บริเวณฐานรองสะพาน (Support) ว่ามีการสูญเสียหน้าตัดเนื่องจากการผุกร่อน หรือมีการคองอ (Bulking) หรือไม่
- ที่ตำแหน่งช่วงกึ่งกลางสะพาน (Mid Span) ตรวจทั้ง Flange บนและล่างว่ามีการสูญเสียหน้าตัดเนื่องจากการผุกร่อน ตลอดจนตรวจ Flange บนว่ามีการคองอและ Flange ล่างมีรอยแตกหรือไม่
- ตรวจการแอ่นตัว (Deflection) ที่ตำแหน่งช่วงกึ่งกลางสะพาน
- ตรวจการเสียรูปร่าง (Deformation)
- ตรวจรอยต่อ (Welding หรือ Rivet) ที่ Cover Plate ของ Flange บนและล่างว่ามีรอยแตก (Cracking) หรือไม่

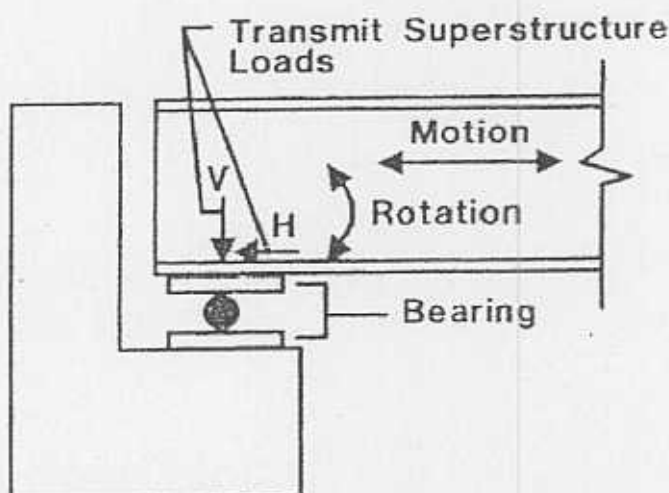
บทที่ 4

ชนิดและการตรวจสอบ Bearing

4.1 บทนำ

Bearing เป็นชิ้นส่วนของ Superstructure ซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมโยงระหว่าง Superstructure และ Substructure โดย Bearing มีหน้าที่หลัก 3 ประการ (ดังรูปที่ 4.1) คือ

1. เพื่อส่งถ่ายน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดจาก Superstructure ไปยัง Substructure
2. เพื่อให้ Superstructure สามารถเคลื่อนตัวตามแนวยาว เนื่องจากการขยายตัวจากความร้อนและการหดตัว
3. เพื่อให้ฐานรองรับของ Superstructure สามารถหมุน (Rotation) เนื่องจากการแอ่นตัวโดยน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) และน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ได้



รูปที่ 4.1 รูปแสดงการทำงานของ Bearing (Roller)

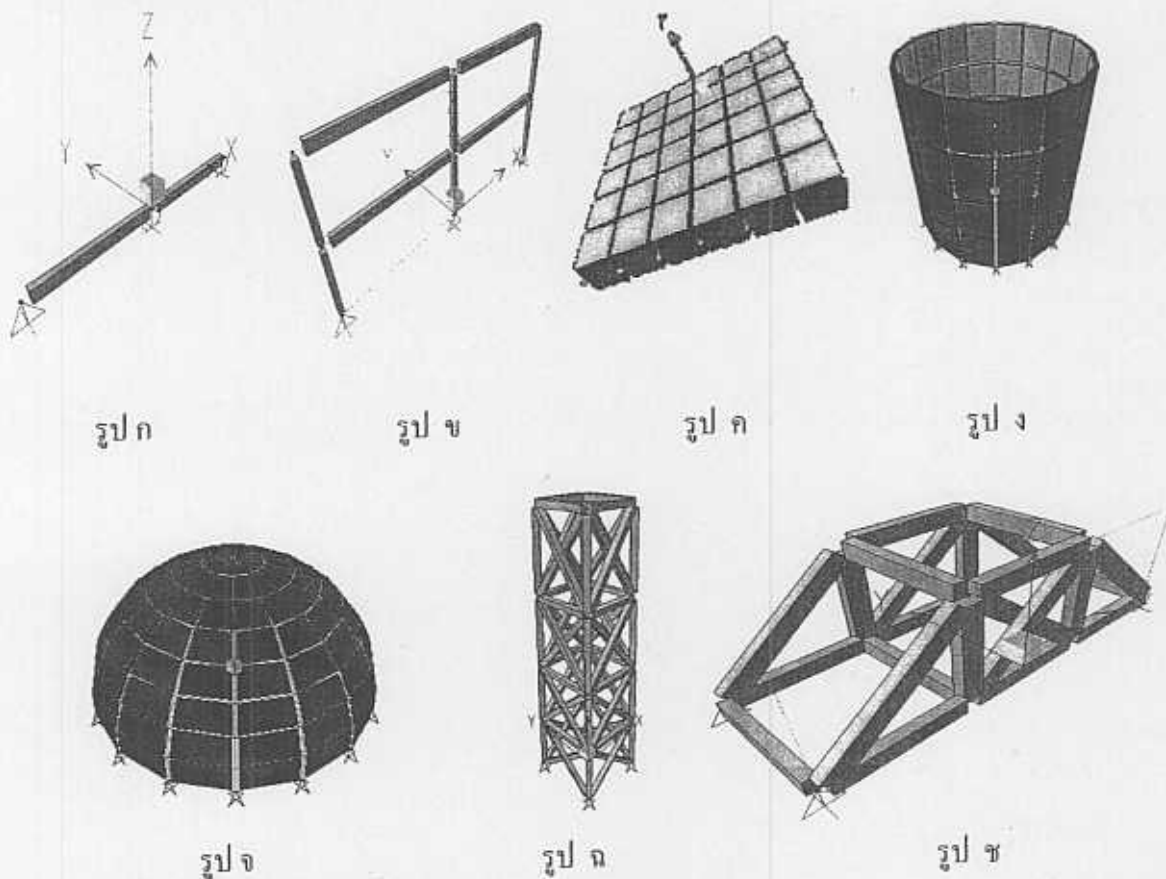
ชนิดของ Bearing ตามหลักกลศาสตร์แบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลัก คือ แบบยึดหมุนและแบบเคลื่อนตัวได้ (Pined and Expansion Bearings) โดย Bearing แบบยึดหมุน (Pined Bearing) จะไม่ยอมให้เกิดการเคลื่อนตัวตามแนวยาวของ Superstructure แต่จะทำหน้าที่เหมือนหมุดหรือบานพับที่สามารถหมุนได้ (รูปที่ 4.2) Bearing แบบเคลื่อนตัวได้ (Expansion Bearing) จะสามารถเคลื่อนตัวตามแนวยาว อันเนื่องจากการขยายตัวและหดตัวของ Superstructure และสามารถรองรับการหมุนเนื่องจากการแอ่นตัวของ Superstructure ได้ ถ้า Pined Bearing เกิดการต้านทานต่อการเคลื่อนตัวตามแนวยาว อันเนื่องจากการเสียดสีหรือจากเหตุอื่นๆแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นก็จะขัดขวางการขยายตัวหรือการหดตัวของ Superstructure ทั้งยังทำให้เกิดแรงเสียดทานอื่นๆขึ้นในช่วงของ Superstructure

บทที่ 5

การใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear

5.1 บทนำ

โปรแกรม SAP2000 Nonlinear เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างทั้งที่เป็น คาน แผ่นพื้น โครงข้อแข็ง โครงข้อหมุน ทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ โดยที่โปรแกรมนั้นจะทำหน้าที่ประมวลผลหาสิ่งที่ต้องการ เมื่อใส่ค่าที่ถูกต้องที่มีอยู่ภายนอกหรือแรงกระทำต่างๆ หน้าตัดของ Element รวมไปถึงตำแหน่งของ Joint ที่ถูกต้องครบถ้วน ก็จะได้ค่าต่าง ๆ เช่น แรงปฏิกิริยา แรงดึงหรือแรงอัดภายใน แรงบิด แรงเฉือน (SFD) โมเมนต์ (BMD) รวมไปถึงการเสียรูปของ โครงสร้างโดยการคิดเป็นจำนวนเท่าของความเป็จริง โดยที่แรงเฉือนและโมเมนต์จะแสดง ออกมาอยู่ในรูปของกราฟ แต่อย่างไรก็ตาม ต้องทำการตรวจสอบค่าที่ส่งให้โปรแกรมด้วยว่ามีความถูกต้องหรือไม่เพราะโปรแกรมจะสามารถที่จะคำนวณให้และแสดงผลได้ แม้ว่าบางทีข้อมูลที่ได้จะไม่ถูกต้องครบถ้วนก็ตาม ดังนั้นค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นก็จะมีผิดพลาด



รูปที่ 5.1 รูป ก- รูป ช แสดงแบบจำลอง

บทที่ 6

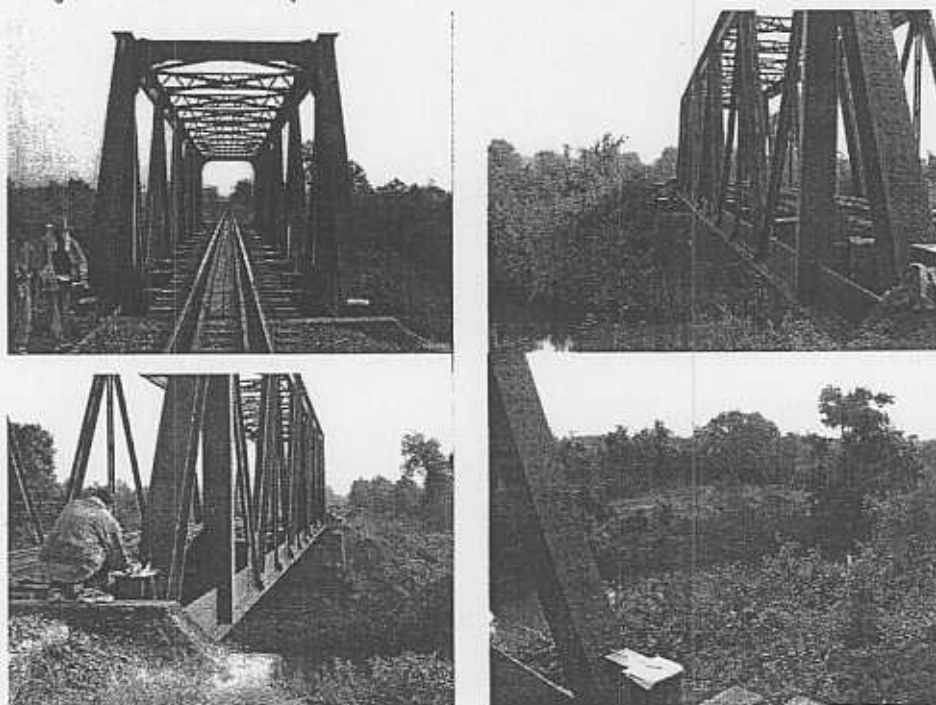
การตรวจสอบภาคสนามและการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์

ในบทนี้นำเสนอผลของการออกตรวจภาคสนาม ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสำหรับการสร้างแบบจำลองของสะพานด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์และแสดงผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมในการจำลองสภาพการรับน้ำหนักของสะพานรถไฟ รวมถึงการสังเกตพฤติกรรมของสะพานเมื่อรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นของสะพานทั้ง 3 ความยาวและหาทางเสริมกำลังให้สะพานเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้

6.1 การออกตรวจภาคสนาม

การตรวจสอบภาคสนามของสะพานมีวัตถุประสงค์หลักคือ การสำรวจสภาพความเสียหายของโครงสร้างสะพานที่พบในชิ้นส่วนต่างๆ พร้อมทั้งประเมินสภาพของโครงสร้างสะพานโดยการให้คะแนนตามหลักเกณฑ์ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 นอกจากนี้ ขนาดของหน้าตัด, ขนาดสะพาน และพิกัดตำแหน่งของสะพานก็ได้ทำการบันทึกด้วยเพื่อแก้ไขเป็นข้อมูลสะพานต่อไป ซึ่งภายหลังก็ได้ข้อมูลดังกล่าวแล้วก็จะได้นำมาสร้างเป็นแบบจำลองของสะพาน โดยแบบจำลองนี้จะเป็นแบบจำลองสะพานที่มีสภาพสมบูรณ์ภายใต้การเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟต่อไป

ในการออกตรวจภาคสนามได้ทำการออกตรวจสะพานชนิดที่เป็น TT, PC, DG, DP, RC และ TP เพื่อที่จะเก็บข้อมูลสภาพความเสียหายโดยทั่วไปและให้คะแนนตามหลักเกณฑ์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งหากสะพานตัวใดมีคะแนนในช่วงที่ต้องทำการปรับปรุงก็จะได้แจ้งให้การรถไฟแห่งประเทศไทยได้ทำการซ่อมแซมต่อไป สำหรับตัวอย่างการตรวจสอบภาคสนามที่ได้นำเสนอในงานวิจัย ได้แก่ การตรวจสอบสะพานแบบ TT (Through Truss) โดยจะมีขั้นตอนการตรวจสอบดังที่ได้แสดงในรูปที่ 6.1 ถึง 6.3 ซึ่งสรุปได้ดังนี้



บทที่ 7

สรุป และข้อเสนอแนะ

7.1 สรุป

สะพานรถไฟเป็นโครงสร้างที่มีการรับน้ำหนักแบบมีการเคลื่อนที่ของแรง โดยที่โครงสร้างที่มีความยาวช่วงมากกุนั้นจะทำการสร้างเป็นโครง Truss ซึ่งสมมติฐานในการรับแรงของ Truss จะรับเฉพาะแรงดึงและแรงอัดเท่านั้น สำหรับขั้นตอนการศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักสะพานนั้น ขั้นตอนแรกต้องมีการออกตรวจสอบสภาพสะพานภาคสนามเพื่อทำการเก็บข้อมูลของสะพานที่จะทำการตรวจสอบโดยหลักการออกตรวจสอบสภาพสะพานภาคสนาม ด้วยสายตาและการประเมินสภาพสะพาน รวมถึงระบบโครงสร้างและชิ้นส่วนที่สำคัญของสะพาน หน้าที่ของชิ้นส่วนของโครงสร้าง รวมไปถึงความเหมาะสมของสะพานชนิดใดควรใช้เมื่อใด เช่น บริเวณที่ต้องมีการสัญจรด้านล่างเมื่อด้านล่างเป็นถนนควรใช้สะพานที่มีความลึกของตัวสะพานนั้นไม่มาก เพราะจะได้ไม่กีดกันการสัญจรด้านล่างหรือช่วงที่มีความยาวมาก ๆ และ ไม่ต้องการสร้างค่อมตรงกลางหรือบางครั้งด้านล่างอาจมีการสัญจรก็เลือกใช้สะพานที่มีความสามารถเช่นสะพานชนิด Through Truss หรือเป็นชนิดคอนกรีตอัดแรงแต่ความสามารถของสะพานคอนกรีตอัดแรงเองก็มีขีดจำกัดความยาวเช่นกัน หลังจากนั้นจึงทำการตรวจสอบความเสียหายของสะพานเพื่อที่จะนำข้อมูลความเสียหายมาพิจารณาเพื่อที่จะทำการซ่อมแซมต่อไป

ภายหลังจากมีการเก็บข้อมูลภาคสนามแล้วจึงมีการนำมาสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม SAP2000 NONLINEAR ในการจำลองโครงสร้าง รวมถึงการใช้โปรแกรมอื่นที่เกี่ยวข้องในการทำงาน เช่น โปรแกรม AutoCAD, Section Builder ในการหาคุณสมบัติหน้าตัด เพราะหน้าตัดสะพานที่ใช้ส่วนมากเป็นหน้าตัดประกอบจึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้โปรแกรมอื่น ในการช่วยหาคุณสมบัติหน้าตัด และใช้ Microsoft Excel ในการช่วยเรื่องการหาค่าเวลาที่ล้อของรถไฟที่จะเข้าสู่สะพานทุกล้อเพื่อที่จะได้ง่ายต่อความเข้าใจและทำให้เกิดความรวดเร็วในการทำงานเพราะจะต้องนำไปใช้ในการสร้าง Time History Function ให้กับโปรแกรม เพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งผลที่ต้องการคือดูพฤติกรรมเมื่อมีขบวนรถไฟเข้ามาในสะพานและเมื่อรถไฟออกจากสะพาน โดยจะทำการศึกษาผลที่ได้คือ การแอ่นตัว ความเร็วในการขึ้นลง และความเร่งในการขึ้นลงของจุดที่ตรงกลางสะพานเพื่อที่จะนำมาศึกษาสภาพการรับน้ำหนักเมื่อมีการเปลี่ยนความเร็ว น้ำหนักบรรทุก และค่าความหน่วงของสะพานที่ต่างกันว่าสามารถรับน้ำหนักนั้นได้หรือไม่

การเสริมกำลังให้กับสะพานเพื่อที่จะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นได้จะทำการเสริมแผ่นเหล็กประกบที่ด้านล่างของ Bottom Cord ของสะพานที่ความยาวของแผ่นเหล็กต่างกันคือ $L/2$, $L/4$, และ $L/8$ ให้กับสะพานที่มีค่าการแอ่นตัวมีเกินค่าที่ยอมรับได้คือ $L/360$ และสามารถเป็นแนวทางที่จะนำไปใช้ในการเสริมกำลังและหาความเหมาะสมของการเสริมกำลังจริงให้กับสะพานในสนามตลอดจนวิธีการที่จะให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดของกำลังของสะพาน

บรรณานุกรม

- Cifuentes, A.O. (1996). Dynamic Analysis of Railway Bridge Using MSC/NASTRAN. Private correspondence.
- Diana, G. and Chili, F. (1989). Dynamic interaction of railway systems with large bridge. *Vehicle System Dynamics* 18, 71-106.
- Fryba, L. (1972). *Vibration of solid and structures under moving loads*. Groningen: Noordhoff International Publishing.
- Kuntyawichai, K., Bhokha, S. and Jeerasap, Y. (2003). Engineering guide on dynamic analysis of bridge structure subjected to moving load. The 2nd Seminar on Highway Engineering (Manus Corvanich), Bangkok, PP.231-242
- Multongka, J., Seelachot, S. and Kuntyawichai, K. (2004). Dynamic behavior of railway bridge subjected to moving train. The 9th National Convention on Civil Engineering, Cha-um, Petchaburi, pp. STR71-77.
- Mutsuura, A.A. (1976). Study of dynamics behaviors of bridge girders for high-speed railway. *J JSCE* 256, 35-47
- Wu, J.J., Whittaker, A.R. and Cartmell, M.P. (2000). The use of finite element technique for calculating the dynamics response of structure to moving load. *Computer&Structure*. 78, 789-799
- Xia, H., Xu, Y.L. and Chan, T.H.T. (2000). Dynamic interaction of long suspension bridge with running trains. *Int J Sound vibr* 237(2), 263-80.
- Yang, Y.B. and Yau, J.D. (1997). Vehicle -bridge interaction element for dynamics analysis. *J Struct Engng ASCE* 123(11), 1512-8
- ทวี ทองปาน (2001). สะพานรถไฟของ ร.ฟ.ท., การรถไฟแห่งประเทศไทย

ประวัตินักวิจัย

WIWAT PUATATSANANON

Department of Civil Engineering, UbonRatchathani University,
Warinchamrab, UbonRatchathani 34190, Thailand
66-45-353348 (O); E-mail: enwiwapu@ubu.ac.th

EDUCATION

- | | | |
|-------------------|--|-----------|
| Aug. 98 – Aug. 02 | University of Colorado , Boulder, Colorado, USA.
Ph.D., Structural Engineering
Thesis: Numerical Simulation of Coupled Chemical-Mechanical Deterioration of Concrete.
(Saouma, V.E.) | Aug. 2002 |
| Aug. 96 – Aug. 98 | University of Colorado , Boulder, Colorado, USA.
M.Sc., Civil Engineering;
Thesis: Probabilistic Fracture Mechanics. (Saouma, V.E.) | Aug. 1998 |
| June 91 – Oct. 94 | Khon Kaen University (KKU) , Khon Kaen, Thailand.
B.Eng., Civil Engineering, | Oct. 1994 |

RESEARCH EXPERIENCE

- | | |
|-------------------|---|
| Aug. 00 – Aug. 02 | Research Assistant
Department of Civil & Environmental Engineering, University of Colorado , Boulder,
Colorado, USA |
|-------------------|---|

WORK EXPERIENCE

- | | |
|-------------------|---|
| Apr. 03 – present | Assistant Professor
Department of Civil Engineering, UbonRatchathani
University, Warinchamrab, UbonRatchathani 34190, Thailand |
| Aug. 02 – Apr. 04 | Lecturer
Department of Civil Engineering, UbonRatchathani
University, Warinchamrab, UbonRatchathani 34190, Thailand |
| Dec. 93 – Aug. 96 | Lecturer
Department of Civil Engineering, UbonRatchathani
University, Warinchamrab, UbonRatchathani 34190, Thailand |

COMPUTER SKILLS

- Operating systems: Window NT, Window 95/98, Window XP, UNIX
- Software: Visual C++, Sap2000, MS Word, MS Excel, MS Powerpoint

SCHOLARSHIP/HONORS/AWARDS

- | | |
|-------------------|---|
| Oct. 04 – Sep. 05 | Research Grant: Assessment of dynamic behaviour and loading capacity of railway bridges:
Inspection and analytical technique |
| Oct. 03 – Sep. 04 | Research Grant: A study and development of windows base program of reliability analysis
for assessing service life of cracked connections |
| Aug. 96 – Aug. 02 | Thai Government Scholarship for M.Sc./Ph.D. in Structural Engineering. |

SELECTED PUBLICATIONS/PRESENTATIONS

INTERNATIONAL JOURNAL

- 1 Puatatsananon, W. and Saouma, V., Nonlinear Coupling of Carbonation and Chloride Diffusion in Concrete, in-print ASCE J. of Materials Engineering, April 2005

NATIONAL JOURNAL

- 1 Kittisak Kuntiyawichai, **Wiwat Puatatsananon**, Griengsak Kaewkulchai and Suchart Limkatanyu, (2005), "A comparative study on dynamic response of different floor types subjected to walking load", *Submitted to KKU Engineering Journal*.
- 2 Kittisak Kuntiyawichai, **Wiwat Puatatsananon** and Suchart Limkatanyu, (2005), "A study and development of windows based program of reliability analysis for assessing service life of crack connections ", *Submitted to Songklanakarin J. Sci. Technol.*

INTERNATIONAL CONFERENCE PAPER

- 1 **W. Puatatsananon**, K. Kuntiyawichai, (2003), "Service life assessment of cruciform connection using probabilistic approach" The Fourth Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Engineering , RSID4, Thailand

NATIONAL CONFERENCE PAPERS

- 1 **Puatatsananon, W.**, Kuntiyawichai, K., Kaewkulchai, G. and Limkatanyu, S. (2005) "Effects of statistical variability of applied stress range and size of initial cracks in fatigue life of cruciform connection." The 10th National Convention on Civil Engineering 2003 at Chonburi, Petchaburi, pp. STR33.
- 2 Kaewkulchai, G., Bhokha, S., **Puatatsananon, W.**, and Kuntiyawichai, K. (2005) "Analysis for progressive collapse of building frames." The 10th National Convention on Civil Engineering 2003 at Chonburi, Petchaburi, pp. STR132.
- 3 Kaewkulchai, G., **Puatatsananon, W.**, Kuntiyawichai, K. and Limkatanyu, S. (2004) "Progressive Collapse of Building Frames." The 3rd PSU-Engineering Conference, PEC3, Prince of Songkla University, Songkla, Thailand, December 8-9, 2004.
- 4 Limkatanyu, S., **Puatatsananon, W.**, Kuntiyawichai, K. and Kaewkulchai, G. (2004) "Seismic Analysis of Reinforced Concrete Frames Including Reinforcement Slippage Effects." The 3rd PSU-Engineering Conference, PEC3, Prince of Songkla University, Songkla, Thailand, December 8-9, 2004.
- 5 **Puatatsananon, W.**, Kuntiyawichai, K., Kaewkulchai, G. and Limkatanyu, S. (2004) "Reliability Analysis of Cruciform Welded Joint Containing Lack of Penetration (LOP) Defect." The 3rd PSU-Engineering Conference, PEC3, Prince of Songkla University, Songkla, Thailand, December 8-9, 2004.
- 6 Kuntiyawichai, K., **Puatatsananon, W.** and Kaewkulchai, G. (2004). "Dynamic Behaviour of Through Truss Bridge (TT) under Passing Train." The 8th Annual National Symposium on Computational Science and Engineering, ANSCSE8, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand, July 21-23, 2004.
- 7 S. Nilrat, **W. Puatatsananon**, K. Kuntiyawichai, 2004, "Vibration behaviour of long-span flat concrete floor subjected to human walking", The 9th National Convention on Civil Engineering 2003 at Cha-um, Petchaburi, pp. STR78-83.

KITTISAK KUNTIYAWICHAI

Department of Civil Engineering, UbonRatchathani University,
Warinchamrab, UbonRatchathani 34190, Thailand
66-45-353 339 (O); E-mail: enkittka@ubu.ac.th

EDUCATION

- | | | |
|-------------------|---|-----------|
| Jan. 99 – Aug. 01 | The University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST),
Manchester, United Kingdom.
Ph.D., Structural Engineering
Thesis: Assessment of Fracture in Structures subjected to Dynamic Loading.
(F.M. Burdekin) | Aug. 2001 |
| Sep. 97 – Sep. 98 | The University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST),
Manchester, United Kingdom.
M.Sc., Structural Engineering;
Thesis: Strength of Iron Column. (T. Swailes) | Sep. 1998 |
| June 92 – Oct. 95 | Khon Kaen University (KKU), Khon Kaen, Thailand.
B.Eng., Civil Engineering,
Project: Prediction of pile loading capacity using Blow Count and SPT. | Oct. 1995 |

RESEARCH EXPERIENCE

- | | |
|-------------------|---|
| Oct. 04 – Sep. 05 | Postdoctoral Research Fellow
Institute of Engineering Mechanics (IfM),
University of Innsbruck,
Austria, EU |
| Jan. 99 – Aug. 01 | Research Assistant
Department of Civil & Structural Engineering,
The University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST), Manchester,
United Kingdom.
Objectives: Evaluated Fracture Behaviour of Steel Structures especially Steel Connections
subjected to Northridge Earthquake in 1994 and Obtained the Simplify Method. |

WORK EXPERIENCE

- | | |
|-------------------|--|
| May.03 – present | Assistant Professor
Department of Civil Engineering, UbonRatchathani
University, Warinchamrab, UbonRatchathani 34190, Thailand |
| Feb. 96 – Apr. 03 | Lecturer
Department of Civil Engineering, UbonRatchathani
University, Warinchamrab, UbonRatchathani 34190, Thailand |
| Jan. 99 – Aug. 01 | Teaching Assistant (Finite Element Class)
Department of Civil & Structural Engineering,
The University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST), Manchester,
United Kingdom. |
| Jan. 99 – Aug. 01 | Laboratory Demonstrator (Structural Engineering Lab)
Department of Civil & Structural Engineering,
The University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST), Manchester,
United Kingdom. |

COMPUTER SKILLS

- Operating systems: Window NT, Window 95/98, Window XP, Linux, UNIX
- Software: ABAQUS, LUSAS, Sap2000, FEAP, MS Word, MS Excel, MS Powerpoint

SCHOLARSHIP/HONORS/AWARDS

Oct. 04 – Sep. 05	Research Grant: Assessment of dynamic behaviour and loading capacity of railway bridges: Inspection and analytical technique
Oct. 03 – Sep. 04	Research Grant: A study and development of windows base program of reliability analysis for assessing service life of cracked connections
Oct. 03 – Sep. 04	Research Grant: A comparative study on dynamic response of different floor types subjected to walking load, dancing load and running load
Jul. 03 – Jun. 05	Research Grant: Assessment of fracture in offshore structures subjected to wave loading (TRF Grant)
Oct. 02 – Sep. 03	Research Grant: Finite Element of Long-Span Concrete Floor Subjected to Walking Load.
Sep. 97 – Sep. 01	Thai Government Scholarship for M.Sc./Ph.D. in Structural Engineering.
Apr. 95 – Oct. 95	Ubonratchathani University Scholarship for the Final Year of Undergraduate Student at KKU, Khon Kaen, Thailand.

SELECTED PUBLICATIONS/PRESENTATIONS

TECHNICAL REPORT

- 1 P.S. Koutsourelakis, K. Kuntiyawichai, and G.I. Schuëller, (2005), "Effect of material uncertainties on fatigue life calculations of aircraft fuselages: a cohesive element model", Fortschritt-Berichte VDI Verlag, Germany
- 2 K. Kuntiyawichai (2005), "Quality assurance issues of structures (Literature review)", *Internal working report No.47-05*, Institute of Engineering Mechanics (IfM), University of Innsbruck, Austria.

INTERNATIONAL JOURNAL

- 1 K. Kuntiyawichai and S. Chuchepsakul, (2005), "Assessment of through-wall crack in Minimum structures subjected to wave loading", *Submitted to Engineering Structures*.
- 2 P.S. Koutsourelakis, K. Kuntiyawichai, and G.I. Schuëller, (2005), "Effect of material uncertainties on fatigue life calculations of aircraft fuselages: a cohesive element model", *Submitted to Engineering Fracture Mechanics*.
- 3 K. Kuntiyawichai and F.M. Burdekin, (2003), "Damage assessment of structures under Earthquake dynamic loading using Fourier transformation", *International Journal of Materials and Structural Reliability*, Vol.1, No. 1, pp. 1-18.
- 4 F.M. Burdekin and K. Kuntiyawichai, (2001), "Elastic Plastic FE Analyses of Sub Models of Connections in Steel Framed Moment Resisting Buildings Under Earthquake Loading", *Welding in the World*, X-1474-01, March-April 2002, vol.46, No. 3-4, pp. 3-11
- 5 F.M. Burdekin, W. Zhao, K. Kuntiyawichai and W.G.Xu., (2001), "Assessment of Structural Integrity under Dynamic Loading", *Key Engineering Materials*, Vols 204-205, p. 3-16.

NATIONAL JOURNAL

- 1 Kittisak Kuntiyawichai, Wiwat Puatatsananon, Griengsak Kaewkulchai and Suchart Limkatanyu, (2005), "A comparative study on dynamic response of different floor types subjected to walking load", *Submitted to KKU Engineering Journal*.
- 2 Kittisak Kuntiyawichai, Wiwat Puatatsananon and Suchart Limkatanyu, (2005), "A study and development of windows based program of reliability analysis for assessing service life of crack connections", *Submitted to Songklanakarin J. Sci. Technol.*
- 3 Kittisak Kuntiyawichai and Suchart Limkatanyu (2005), "State of the Art in Quality Assurance Issues of Structures with Particular Emphasis on Strength Degradation", *Submitted to Songklanakarin J. Sci. Technol.*
- 4 Note Sangtian, Pattarawan Pansuwan, Nakharin Sanookpant and Kittisak Kuntiyawichai (2005), "Artificial Laterite", *KKU Engineering Journal*, vol.32, No. 4, pp. 578-584

INTERNATIONAL CONFERENCE PAPER

- 1 P.S. Koutsourelakis, **K. Kuntiyawichai**, and G. I. Schuëller, (2005), "Fatigue life calculations including the crack initiation phase and material uncertainties: a cohesive element model" 9th International Conference On Structural Safety and Reliability, ICOSSAR2005, Rome, Italy
- 2 **Kuntiyawichai K.**, Chucheeprakul S, Lee M.M.K., (2004), "Analysis of offshore structures subjected to various types of sea waves" 23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vancouver, Canada
- 3 W. Puatatsananon, **K. Kuntiyawichai**, (2003), "Service life assessment of cruciform connection using probabilistic approach" The Fourth Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Engineering, RSID4, Thailand
- 4 **K. Kuntiyawichai**, N. Sangtian, (2002), "Finite element study of long-span flat concrete floor subjected to walking load", International Conference on Structural Stability and Dynamics, ICSSD 2002, Singapore

NATIONAL CONFERENCE PAPER

- 1 Puatatsananon, W., **Kuntiyawichai, K.**, Kaewkulchai, G. and Limkatanyu, S. (2005) "Effects of statistical variability of applied stress range and size of initial cracks in fatigue life of cruciform connection." The 10th National Convention on Civil Engineering 2003 at Chonburi, Petchaburi, pp. STR33.
- 2 Kaewkulchai, G., Bhokha, S., Puatatsananon, W., and **Kuntiyawichai, K.** (2005) "Analysis for progressive collapse of building frames." The 10th National Convention on Civil Engineering 2003 at Chonburi, Petchaburi, pp. STR132.
- 3 Kaewkulchai, G., Puatatsananon, W., **Kuntiyawichai, K.** and Limkatanyu, S. (2004) "Progressive Collapse of Building Frames." The 3rd PSU-Engineering Conference, PEC3, Prince of Songkla University, Songkla, Thailand, December 8-9, 2004.
- 4 Limkatanyu, S., Puatatsananon, W., **Kuntiyawichai, K.** and Kaewkulchai, G. (2004) "Seismic Analysis of Reinforced Concrete Frames Including Reinforcement Slippage Effects." The 3rd PSU-Engineering Conference, PEC3, Prince of Songkla University, Songkla, Thailand, December 8-9, 2004.
- 5 Puatatsananon, W., **Kuntiyawichai, K.**, Kaewkulchai, G. and Limkatanyu, S. (2004) "Reliability Analysis of Cruciform Welded Joint Containing Lack of Penetration (LOP) Defect." The 3rd PSU-Engineering Conference, PEC3, Prince of Songkla University, Songkla, Thailand, December 8-9, 2004.
- 6 **Kuntiyawichai, K.**, Kaewkulchai, G., Kaewsena, N., and Limkatanyu, S. (2004) "Comparative Study of Seismic Design Codes." The 3rd PSU-Engineering Conference, PEC3, Prince of Songkla University, Songkla, Thailand, December 8-9, 2004 (in Thai).
- 7 **Kuntiyawichai, K.**, Puatatsananon, W. and Kaewkulchai, G. (2004). "Dynamic Behaviour of Through Truss Bridge (TT) under Passing Train." The 8th Annual National Symposium on Computational Science and Engineering, ANSCSE8, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand, July 21-23, 2004.
- 8 S. Bhokha, **K. Kuntiyawichai**, 2004, "Ministerial rule on building assessment under the building code B.E. 2543 and future changes in building regulations in thailand", The 9th National Convention on Civil Engineering 2003 at Cha-um, Petchaburi, pp. SIE112-17.
- 9 N. Sangtian, **K. Kuntiyawichai**, 2004, "Piezocone saturation related to pore water pressure response", The 9th National Convention on Civil Engineering 2003 at Cha-um, Petchaburi, pp. GTE183-186
- 10 S. Nilrat, W. Puatatsananon, **K. Kuntiyawichai**, 2004, "Vibration behaviour of long-span flat concrete floor subjected to human walking", The 9th National Convention on Civil Engineering 2003 at Cha-um, Petchaburi, pp. STR78-83.
- 11 J. Multongka, S. Seelachot, **K. Kuntiyawichai**, 2004, The 9th National Convention on Civil Engineering 2003 at Cha-um, Petchaburi, pp. STR71-77.
- 12 **K. Kuntiyawichai**, S. Bhokha, T. Tubkaew, (2003), "Damage detection of cracked concrete using wavelet transformation", The 2nd Seminar on Highway Engineering (Manus Corvanich) 2003, Bangkok, (in Thai), pp. 217-230.

- 13 K. Kuntiyawichai, S. Bhokha, T. Tubkaew, (2003), "Engineering guide on dynamic analysis of bridge structure subjected to moving load", The 2nd Seminar on Highway Engineering (Manus Corvanich) 2003, Bangkok (in Thai), pp. 231-242.
- 14 K. Kuntiyawichai, N. Sangtian, S. Kanarkard, (2002), "Dynamic behaviour of long-span flat concrete floor due to walking load", The 8th National Convention on Civil Engineering 2002 at Khon Kaen, pp. STR124-129.

GRIENGSAK KAEWKULCHAI

Department of Civil Engineering, UbonRatchathani University,
Warinchamrab, UbonRatchathani 34190, Thailand
66-45-353340 (O); E-mail: griengsak@ubu.ac.th

EDUCATION

- | | | |
|-------------------|---|-----------|
| Aug. 98 – Aug. 03 | University of Texas at Austin, Texas, USA.
Ph.D., Structural Engineering
Thesis: Dynamic Progressive Collapse of Frame Structures | Aug. 2003 |
| Aug. 96 – Aug. 97 | Colorado State University, Colorado, USA.
M.Sc., Structural Engineering and Mechanics;
Thesis: Design Oriented Equations for Tapered Columns | Aug. 1997 |
| June 91 – Apr. 95 | Khon Kaen University (KKU), Khon Kaen, Thailand.
B.Eng. (1st-Class Honors), Civil Engineering, | Apr. 1995 |

RESEARCH EXPERIENCE

- | | |
|-------------------|--|
| Aug. 98 – Aug. 03 | Research Assistant
Department of Civil & Environmental Engineering, University of Texas at Austin, Texas, USA. |
| Aug. 96 – Aug. 97 | Research Assistant
Department of Civil & Environmental Engineering, Colorado State University, Colorado, USA. |

WORK EXPERIENCE

- | | |
|----------------|---|
| 2003 – present | Lecturer
Department of Civil Engineering, UbonRatchathani University, Warinchamrab, UbonRatchathani 34190, Thailand |
| 2000-2002 | Teaching Assistant/Grader,
University of Texas at Austin, USA |
| 1995-1996 | Lecturer
Department of Civil Engineering, UbonRatchathani University, Warinchamrab, UbonRatchathani 34190, Thailand |
| 1994 | Engineer/Estimator, Taisei (Thailand) Co., Ltd. |

SCHOLARSHIP/HONORS/AWARDS

- | | |
|------|---|
| 2003 | Departmental Fellowship, Department of Civil Engineering, The University of Texas at Austin |
| 1995 | First-Class Honors, Bachelor of Engineering in Civil Engineering, Khon Kaen University |
| 1994 | Outstanding Academic Performance Award, Faculty of Engineering, Khon Kaen University |
| 1993 | Outstanding Academic Performance Award, Faculty of Engineering, Khon Kaen University |
| 1992 | Outstanding Academic Performance Award, Faculty of Engineering, Khon Kaen University |

SELECTED PUBLICATIONS/PRESENTATIONS

INTERNATIONAL JOURNAL

- 1 Kaewkulchai, G. and Williamson, E.B. (2004) "Beam Element Formulation and Solution Procedure for Dynamic Progressive Collapse Analysis." *Computers and Structures, Elsevier Science*, V.82, No.7-8, p.639-651.

INTERNATIONAL CONFERENCE PAPER

- 1 **Kaewkulchai, G., Kaewsena, N. and Phannikul, I. (2005)** "Elastic Buckling Capacity of Tapered Columns." Australian Structural Engineering Conference 2005, Newcastle, ASEC2005, Australia, Sep 11 – 14, 2005.
- 2 **Kaewkulchai, G. and Williamson, E.B. (2003)** "Progressive Collapse Behavior of Planar Frame Structures." Proceedings, Response of Structures to Extreme Loading Conference, Elsevier Science, Toronto, Canada, Aug 3-6, 2003.
- 3 **Kaewkulchai, G. and Williamson, E.B. (2003)** "Dynamic Behavior of Planar Frames during Progressive Collapse." Proceedings, The 16th Engineering Mechanics Conference, American Society of Civil Engineers, University of Washington, Seattle, Washington, USA, July 17-21, 2003.
- 4 **Williamson, E.B. and Kaewkulchai, G. (2003)** "Computational Modeling of Structural Collapse." The Fifth U.S.-Japan Workshop on Performance-Based Earthquake Engineering Methodology for Reinforced Concrete Building Structures, Japan, Sep 10-11, 2003.
- 5 **Kaewkulchai, G. and Williamson, E.B. (2002)** "Dynamic Progressive Collapse of Frame Structures." Proceedings, The 15th Engineering Mechanics Conference, American Society of Civil Engineers, Columbia University, New York, NY, USA, June 2-5, 2002.

NATIONAL CONFERENCE PAPERS

- 1 **Puatatsananon, W., Kuntiyawichai, K., Kaewkulchai, G. and Limkatanyu, S. (2005)** "Effects of statistical variability of applied stress range and size of initial cracks in fatigue life of cruciform connection." The 10th National Convention on Civil Engineering 2005 at Chonburi, Petchaburi, pp. STR33.
- 2 **Kaewkulchai, G., Bhokha, S., Puatatsananon, W., and Kuntiyawichai, K. (2005)** "Analysis for progressive collapse of building frames." The 10th National Convention on Civil Engineering 2003 at Chonburi, Petchaburi, pp. STR132.
- 3 **Kaewsena, N., Kaewkulchai, G., Phannikul, I. and Limkatanyu, S. (2005)** "Design-Oriented Equations for Buckling of Slender Tapered Columns." The 10th National Convention of Civil Engineering, NCCE10, Pattaya, Thailand, May 2-4, 2005 (in Thai).
- 4 **Kaewkulchai, G., Puatatsananon, W., Kuntiyawichai, K. and Limkatanyu, S. (2004)** "Progressive Collapse of Building Frames." The 3rd PSU-Engineering Conference, PEC3, Prince of Songkla University, Songkla, Thailand, December 8-9, 2004.
- 5 **Limkatanyu, S., Puatatsananon, W., Kuntiyawichai, K. and Kaewkulchai, G. (2004)** "Seismic Analysis of Reinforced Concrete Frames Including Reinforcement Slippage Effects." The 3rd PSU-Engineering Conference, PEC3, Prince of Songkla University, Songkla, Thailand, December 8-9, 2004.
- 6 **Kuntiyawichai, K., Kaewkulchai, G., Kaewsena, N., and Limkatanyu, S. (2004)** "Comparative Study of Seismic Design Codes." The 3rd PSU-Engineering Conference, PEC3, Prince of Songkla University, Songkla, Thailand, Dec 8-9, 2004 (in Thai).
- 7 **Puatatsananon, W., Kuntiyawichai, K., Kaewkulchai, G. and Limkatanyu, S. (2004)** "Reliability Analysis of Cruciform Welded Joint Containing Lack of Penetration (LOP) Defect." The 3rd PSU-Engineering Conference, PEC3, Prince of Songkla University, Songkla, Thailand, December 8-9, 2004.
- 8 **Kuntiyawichai, K., Puatatsananon, W. and Kaewkulchai, G. (2004)** "Dynamic Behaviour of Through Truss Bridge (TT) under Passing Train." The 8th Annual National Symposium on Computational Science and Engineering, ANSCSE8, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand, July 21-23, 2004.

7.2 ข้อเสนอแนะ

การใช้งานโปรแกรม SAP2000 Nonlinear นั้นผู้ใช้ควรที่จะต้องศึกษาระบบโครงสร้างให้เข้าใจเนื่องจากผลที่ได้จากโปรแกรมนั้นจะให้คำตอบได้ในทุกกรณี ซึ่งจุดนี้อาจจะทำให้ได้คำตอบไม่ตรงตามวัตถุประสงค์และเมื่อนำไปใช้อาจเกิดความเสียหายต่อโครงสร้างได้ ดังนั้นทางที่ดีควรที่จะมีการศึกษาคุณสมบัติของโปรแกรมและการทำงานของโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับงานที่จะต้องนำไปใช้ โดยการศึกษาคู่มือการทำงานของโปรแกรมและทดสอบดูกับงานที่มีการศึกษาไว้ก่อนหน้าเพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมกับงานที่ศึกษานั้นเพราะจะได้ความถูกต้องที่แน่นอนของโปรแกรมเมื่อมีการนำผลการคำนวณไปใช้

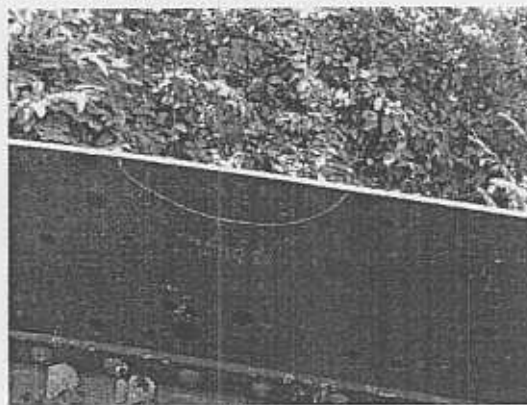
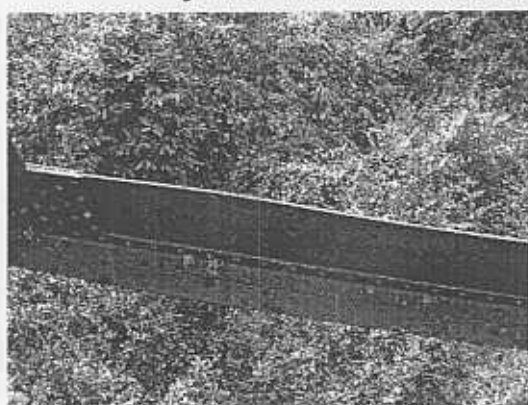
อีกหนึ่งหลักการออกตรวจภาคสนามนั้นมีเพื่อที่จะเป็นแนวทางให้กับผู้ที่ออกตรวจในอนาคตโดยจะมีมาตรฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการออกตรวจและถ้าเป็นการตรวจอาคารแนะนำให้ดูกฎหมายต่างๆที่เกี่ยวข้อง

7.3 งานที่ต้องทำต่อไป

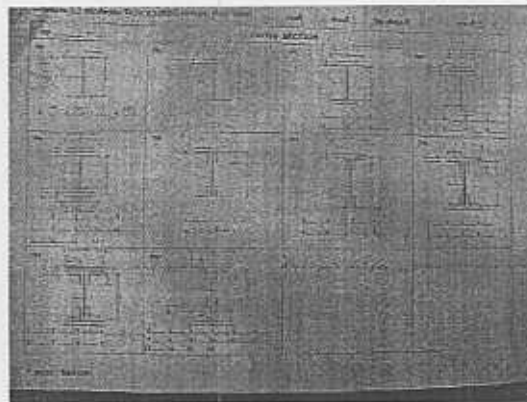
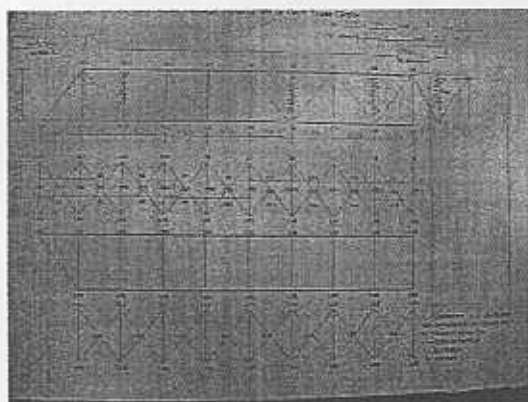
หลังจากโครงงานนี้สำเร็จแล้วผลที่ได้สามารถที่จะนำไปเป็นเอกสารอ้างอิงได้กับการคำนวณออกแบบสะพานชนิด Through Truss หรือโครงสร้างอื่นเมื่อมีการรับแรงที่มีพฤติกรรมแบบ Moving Load และข้อมูลในโครงงานนี้จะมีค่าที่น่าเชื่อถือมากขึ้น ก็ต่อเมื่อทำการวัดค่าการแอ่นตัวจากในสนามจริงแค่เนื่องจากงบประมาณที่ใช้จริงในการทดสอบค่อนข้างที่จะสูง (การทดสอบ Load Test) สุดท้ายผลการวัดความเร็วและความเร่งที่ได้จากโปรแกรมสามารถที่จะนำไปคำนวณหาความสัมพันธ์กับความถี่ธรรมชาติโดยใช้สมการความต่อเนื่องและจะทราบได้ว่าโครงสร้างจะสามารถรับน้ำหนักได้หรือไม่เมื่อมีหลายแรงมารวมกัน



รูปที่ 6.1 ถ่ายภาพทัศนียภาพรอบข้างของสะพานและภายในสะพาน



รูปที่ 6.2 ตรวจสอบสภาพของชิ้นส่วนของโครงสร้างสะพานทุกชิ้นส่วนพร้อมให้คะแนน
(การให้คะแนนความเสียหายของ Bottom Cord)



รูปที่ 6.3 บันทึกขนาดของสะพาน และขนาดของหน้าตัดสะพาน

6.2 การนำผลที่ได้มาทำการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

การใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear จำเป็นที่จะต้องทราบคุณสมบัติของหน้าตัดของชิ้นส่วน และสภาพทางกายภาพของสะพานรถไฟที่จะสร้างแบบจำลองทั้งหมด เพราะถ้าค่าที่ได้ นั้นเราจะได้อาชีพที่มีค่าความถูกต้องแม่นยำ เมื่อโปรแกรมทำการประมวลผลออกมา การใช้โปรแกรมนั้นได้มีการใช้โปรแกรมอื่นช่วยในการทำงานด้วย เช่น โปรแกรม AutoCAD 2002 และ โปรแกรม Section Builder ช่วยในการหาคุณสมบัติของหน้าตัดเพื่อที่ทำการทำงานมีความ สะดวกรวดเร็วและเกิดความถูกต้องเพราะว่าในกรณีที่หน้าตัดของชิ้นส่วนนั้นไม่มีในโปรแกรม

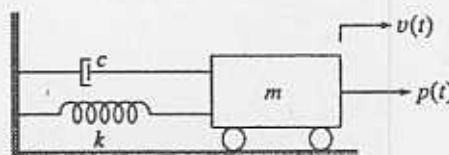
ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องสร้างหน้าตัดขึ้นมา โดยเราต้องทำการใส่คุณสมบัติหน้าตัดให้กับโปรแกรม เพื่อที่โปรแกรมจะนำค่าเหล่านั้นไปประมวลผลโดยที่ใช้สมมติฐานดังนี้

โดยทั่วไปการออกแบบโครงสร้างจะคำนึงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และอื่นๆ เช่น แรงลม แรงดันดิน หรือน้ำเป็นต้น ซึ่งแรงเหล่านี้จะถูกพิจารณาที่ค่าสูงสุด และไม่ได้คำนึงขนาดของแรงที่เปลี่ยนไปตามเวลา โดยแรงลักษณะนี้เรียกว่า แรงแบบสถิตยศาสตร์ (Static) แต่ในบางกรณีแรงเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาเรียกว่าแรงแบบพลศาสตร์ (Dynamic) ซึ่งในอดีตกการพิจารณาผลของแรงแบบพลศาสตร์จะพิจารณาในรูปของแรงกระแทก (Impact factor) แต่เนื่องจากแรงแบบพลศาสตร์มีความไม่แน่นอน จึงจำเป็นต้องศึกษาผลกระทบเนื่องจากแรงแบบพลศาสตร์ที่มีต่อโครงสร้างอย่างละเอียด ตัวอย่าง เช่น กรณีอาคารสูง สะพานที่มีช่วงยาวๆ ที่ถูกกระทำโดยแรงลม อาคารที่อยู่ในเขตพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว และสะพานรถไฟ เป็นต้น

แบบจำลองที่ง่ายที่สุดของการศึกษาเกี่ยวกับพลศาสตร์โครงสร้างแสดงในรูปที่ 6.4 โดยระบบจะประกอบด้วยมวล (m), ค่าคุณสมบัติของความยืดหยุ่น (Stiffness, k) และตัวดูดซับพลังงาน (Damper, c) โดยที่มวลนั้นวางบนล้อเลื่อนที่ปราศจากความฝืดระหว่างล้อกับพื้นผิวสัมผัส ดังนั้นมวลจึงสามารถเคลื่อนที่ได้เฉพาะในแนวราบ ระบบนี้ถูกเรียกว่า Single-Degree-Of-Freedom (SDOF) หากระบบนี้ไม่มีแรงภายนอกมากระทำและไม่มี ความหน่วง จะเรียกการเคลื่อนที่แบบนี้ว่าการเคลื่อนที่แบบอิสระ (Free Vibration) ซึ่งมีสมการของการเคลื่อนที่ดังแสดงในสมการที่ 1

$$m\ddot{y} + ky = 0 \quad (6.1)$$

ดังนั้นค่าความถี่เชิงมุม (ω_0) ของการเคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากับ $\sqrt{k/m}$



รูปที่ 6.4 Single-Degree-Of-Freedom-System (SDOF)

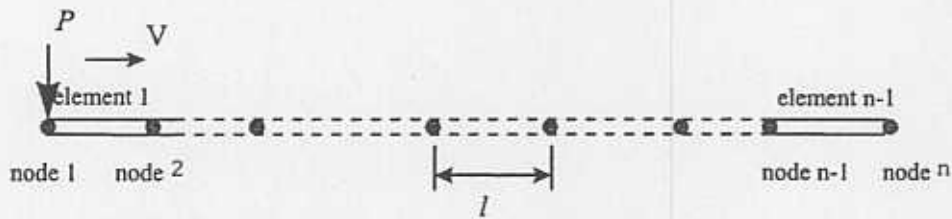
สำหรับกรณีที่ระบบถูกกระทำจากแรงภายนอก $p(t)$ สมการการเคลื่อนที่ที่สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2

$$m\ddot{y} + ky = p(t) \quad (6.2)$$

สมการที่ 2 เป็นสมการที่จะถูกใช้ในการคำนวณเพื่อหาการตอบสนองของโครงสร้างที่มีแรงกระทำจากภายนอก ในที่นี้จะหมายถึงแรงแบบเคลื่อนที่ที่จะอธิบายในหัวข้อต่อไป

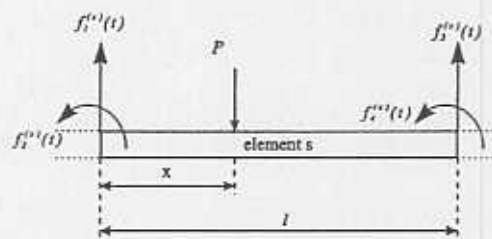
หลักการจำลองการเคลื่อนที่แบบ One-Force Model

ในเบื้องต้นจะกล่าวถึงหลักการของการจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำหนักขบวนรถ โดยขยกกรนิรดิไฟ โดยจะสมมติให้โบกีร์ดิไฟ 1 โบกี มีค่าเท่ากับแรงหนึ่งแรงเคลื่อนที่จาก Node 1 ไปยัง Node n ด้วยความเร็วคงที่ V ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 คานที่มีแรงแบบเคลื่อนที่ P เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ V

ถ้าหากพิจารณาเพียง 1 Element พบว่าแรงที่เกิดขึ้นใน Element ภายใต้อิทธิพลของแรงที่เคลื่อนที่ P สามารถเขียนได้ดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 แรงที่เกิดขึ้นใน Element

เมื่อ $f_1^{(s)}(t)$ และ $f_3^{(s)}(t)$ คือแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละปลายของ Element ส่วน $f_2^{(s+1)}(t)$ และ $f_4^{(s+1)}(t)$ คือโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในแต่ละปลายของ Element โดยที่ Wu et al. (2000) ได้เสนอแนะว่าค่าโมเมนต์ที่ปลายสามารถที่จะไม่ต้องนำมาพิจารณาได้ ดังนั้นค่าของแรงสามารถหาค่าได้จากสมการข้างล่าง

$$f_1^{(s)}(t) = P \left(1 - \frac{x}{l} \right) \quad (6.3)$$

$$f_3^{(s)}(t) = P\left(\frac{x}{l}\right) \quad (6.4)$$

สมการที่ 3 และ 4 เป็นค่าอย่างง่ายที่แนะนำที่เสนอขึ้นโดย Wu et al. (2000)

สำหรับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนแรงจาก Node 1 ไปยัง Node i ในรูปที่ 6.5 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$t_i = \frac{(i-1)\Delta x}{V}, i = 1, 2, \dots, n \quad (6.5)$$

เมื่อ Δx คือความยาวของแต่ละ element, $(x_i - x_{i-1})$ ขณะที่ t_i คือเวลาที่แรงใช้ในการเคลื่อนที่จาก Node 1 ไปหา node i และ V คือความเร็ว

หลักการจำลองการเคลื่อนที่แบบ Multi-Force Model

สำหรับการจำลองการเคลื่อนที่ของแรงในกรณีที่มีแรงมากกว่า 1 แรง ซึ่งเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่ของโบก๊รัดไฟที่มีจำนวนล้อยากน้อยไปตามลักษณะของขบวนรถจึงส่งผลให้มีรูปแบบเคลื่อนที่จำนวนเท่ากับจำนวนล้อ ในกรณีนี้แรงทั้งหมดจะไม่ได้กระทำที่โครงสร้างพร้อมกัน แต่จะกระทำไปตามลำดับของแรงที่มาก่อนหลัง ตัวอย่างเช่นสมมติให้แรงที่ 1 กระทำที่ Node 1 เมื่อเวลา $t=0$ ดังนั้นแรงที่ 2 จะเคลื่อนที่มากกระทำที่ node 1 ก็ต่อเมื่อเวลาผ่านไป t_2 เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Time Delay ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6

$$t_2 = s_2 / V \quad (6.6)$$

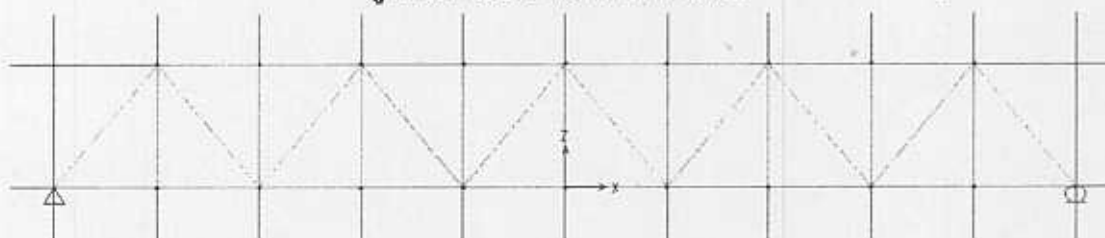
เมื่อ V คือความเร็วของแรง และ s_2 คือระยะห่างระหว่างแรงที่ 1 และแรงที่ 2 สำหรับกรณีของแรงที่ 3 ไปจนถึงแรงที่ n ก็สามารถคำนวณหา Time Delay ได้โดยเพียงพิจารณาระยะห่างระหว่างแรงที่พิจารณากับแรงที่ 1 ส่วนความเร็วก็มีค่าคงที่เนื่องจากเป็นขบวนรถไฟเดียวกัน

6.3 แบบจำลองไฟในทออีลิเมนต์ของสะพาน

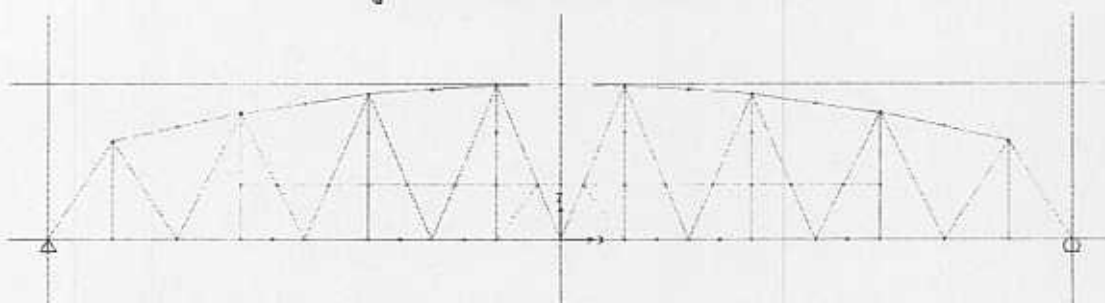
ในการทำงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองสะพานรถไฟแบบ Through Truss โดยที่สะพานมีความยาว 30 เมตร, 50 เมตร และ 80 เมตร สะพานแต่ละตัวจะมีขบวนรถไฟวิ่งผ่านด้วยความเร็ว 60 กม./ชม., 80 กม./ชม. และ 100 กม./ชม. และใส่ค่า Damping 0%, 1%, 2% และ 5% โดยมีแบบจำลองสะพานรถไฟดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 6.7 แบบจำลองสะพาน 30 ม.

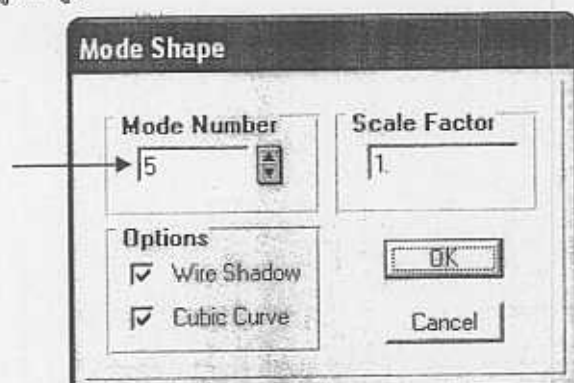


รูปที่ 6.8 แบบจำลองสะพาน 50 ม.



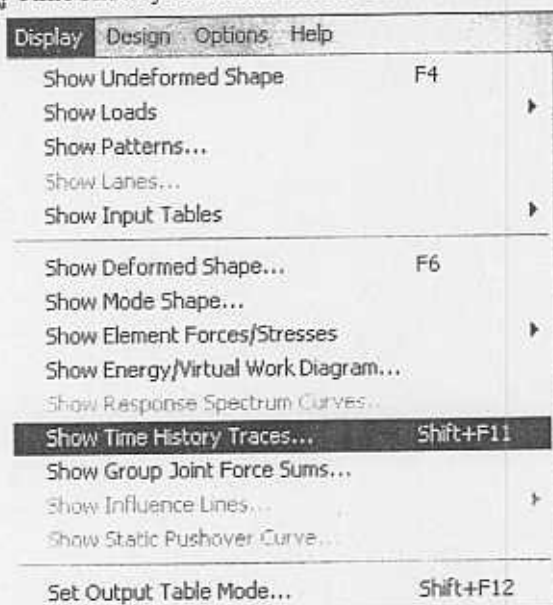
รูปที่ 6.9 แบบจำลองสะพาน 80 ม.

สำหรับการเลือกการเสียรูปของสะพานรถไฟในการทดลองนี้สะพานทั้ง 3 ขนาดความยาว จะมีลักษณะการเสียรูป 5 ลักษณะซึ่งสามารถดูได้จากแถบเครื่องมือดังนี้ Display/Show Mode Shape จะปรากฏข้อมูลดังรูป



รูปที่ 6.10 การเข้า Mode Shape ของสะพาน (ลักษณะการเสียรูป)

สำหรับการเข้าดู Time History Function ให้เข้าไปที่แถบเครื่องมือดังรูป 6.11



Time History Display Definition

F(t)s vs t **F(t) vs F(t)**

Time History Case: HIST1

Choose Functions

List of Functions: Joint131

Plot Functions: Joint11

Add > < Remove Show

Time Range

From: 0. Default

To: 3.68

Axis Range Override

☐ Horizontal Define

☐ Vertical Define

Line Options

☒ Solid ☐ Dashed ☐ Dotted

Line Color

Color

ScaleFactor

1

☒ Grid Overlay

Axis Labels

Horizontal

Vertical

Define Functions

Display Done

Time History Joint Function

Function Name: Joint11

Joint ID: 11

Vector Type

☒ Displ ☐ Abs Displ

☐ Vel ☐ Abs Vel

☐ Accel ☐ Abs Accel

☐ Spring Force ☐ Reaction

Mode Number

☒ Include all ☐ Include one

Component

☐ UX ☐ RX

☐ UY ☐ RY

☒ UZ ☐ RZ

OK Cancel

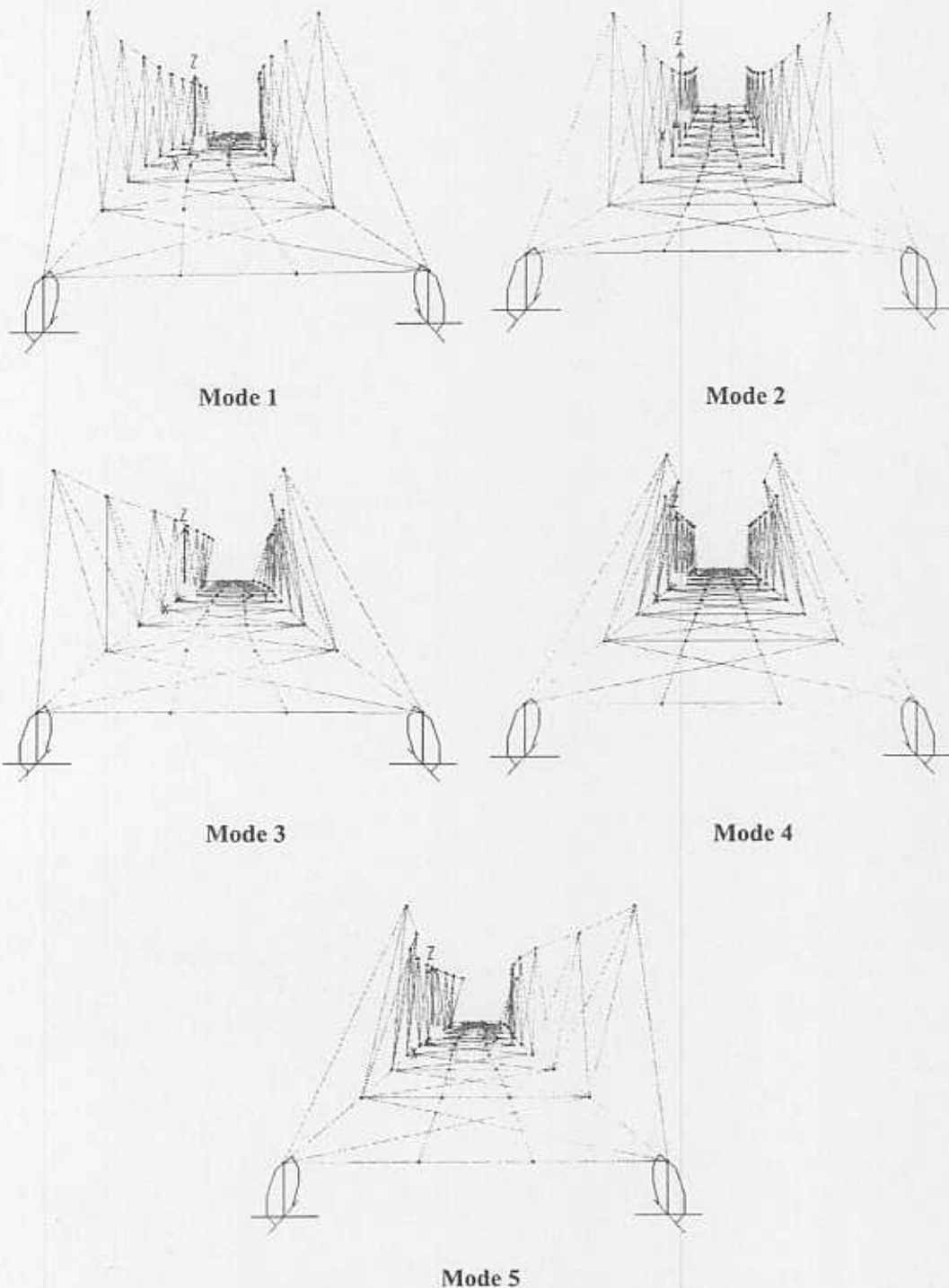
รูปที่ 6.11 การเข้า Time History Display Definition เพื่อดู Time History Function

6.3.1 แบบจำลองสะพานรถไฟ 30 ม.

ในแบบจำลองของสะพานรถไฟ 30 ม. จะมีการใส่น้ำหนักต่อเพลลาเมื่อมีขบวนรถไฟเคลื่อนที่ผ่านสะพานคือ ใส่ น้ำหนัก 12 ตัน , 16 ตัน และ 20 ตัน

- สะพาน 30 ม. ที่ความเร็วต่างๆ

ลักษณะการเสีรูปทั้ง 5 ลักษณะของสะพานรถไฟ 30 ม.

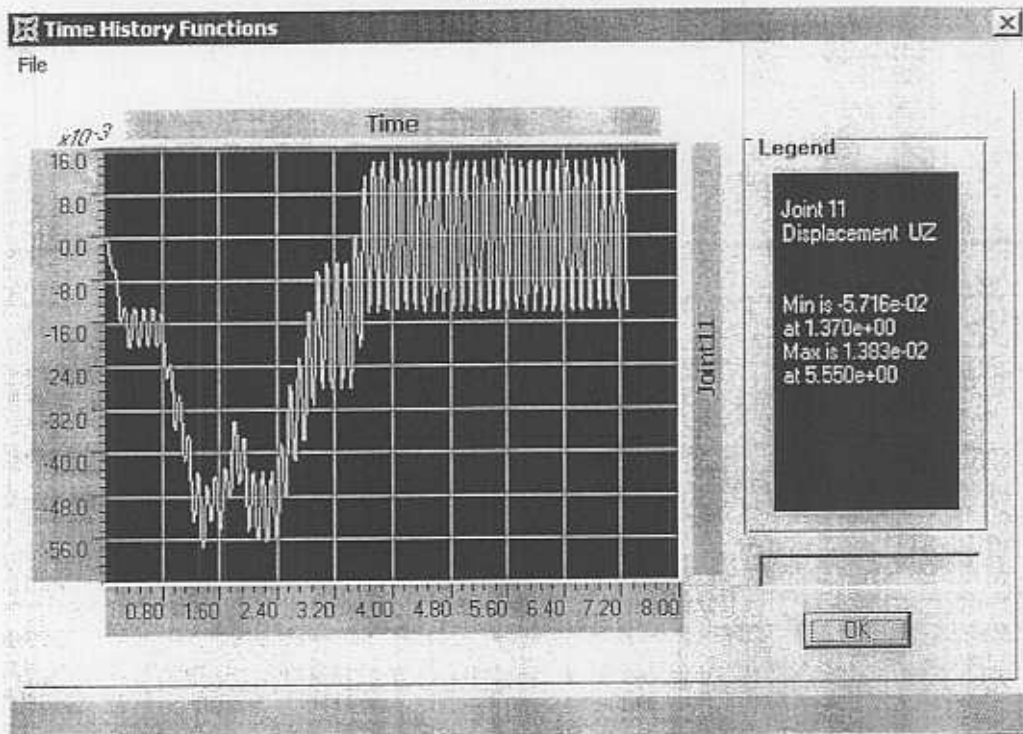


รูปที่ 6.12 ลักษณะการเสีรูปของสะพานรถไฟ 30 ม.

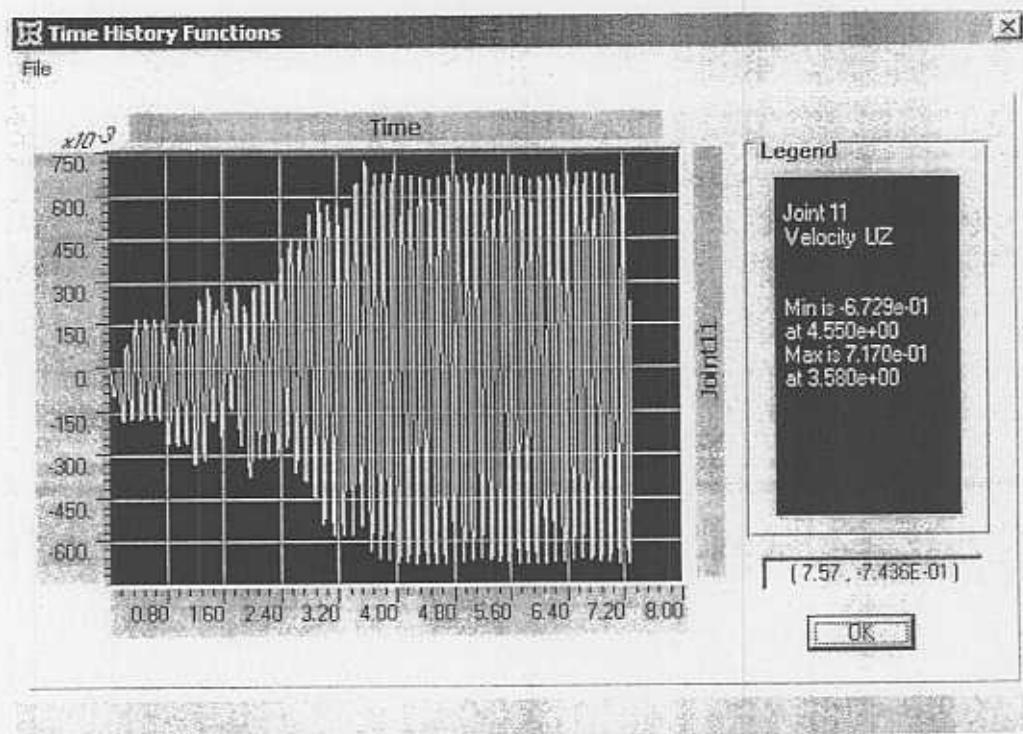
สะพานรถไฟ 30 ม. ที่ความเร็ว 60 กม./ชม. เมื่อรับน้ำหนัก 12 ตัน

Time History Function ของสะพาน 30 ม. ที่ความเร็ว 60 กม./ชม. เมื่อรับน้ำหนัก 12 ตัน
และทำการใส่ Damping ที่ 0%, 1%, 2% และ 5% (ในที่นี้จะแสดงเพียงค่า Damping 0%)

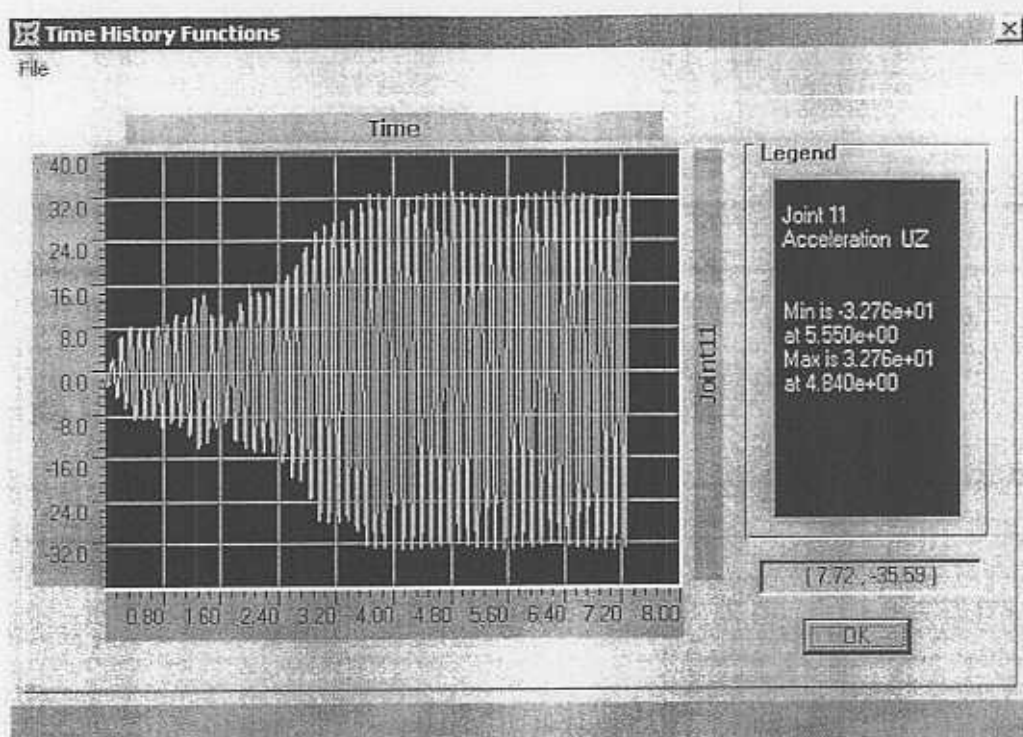
Damping 0 %



การแอ่นตัว (m)



ความเร็วในแนวดิ่ง (m/s)



ความเร่งในแนวดิ่ง (m/s^2)

รูปที่ 6.13 Time History Function ของการแอ่นตัว ความเร็วและความเร่งของสะพาน 30 ม. ในแนวดิ่ง ที่ความเร็ว 60 กม./ชม. เมื่อรับน้ำหนัก 12 ตัน และค่าความหน่วงเท่ากับ 0 %

ตารางที่ 6.1 สรุปการแอ่นตัว ความเร็ว และความเร่ง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน เมื่อความเร็วและน้ำหนักบรรทุกของรถไฟเปลี่ยนไปของสะพาน 30 เมตร

Length (m)	Velocity (km/hr)	Load (Tons)	Damping (%)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)	Displacement (cm.)	ค่าการ แอ่นตัว (%)
30	60	12	0	0.7170	32.65	5.716	
			1	0.4175	17.66	5.546	-3.07
			2	0.2941	12.38	5.450	-4.88
			5	0.1847	7.365	5.305	-7.75
		16	0	0.9561	43.54	7.622	
			1	0.5567	23.54	7.394	-3.08
			2	0.3921	16.51	7.266	-4.90
			5	0.2462	9.82	7.073	-7.76
		20	0	1.1950	54.42	9.527	
			1	0.6959	29.43	9.243	-3.07
			2	0.4901	20.64	9.083	-4.89
			5	0.3078	12.28	8.842	-7.75
30	80	12	0	0.2654	9.86	5.782	
			1	0.2097	6.84	5.744	-0.66
			2	0.1961	6.18	5.720	-1.08
			5	0.1690	4.70	5.682	-1.76
		16	0	0.3539	13.14	7.709	
			1	0.2796	9.12	7.659	-0.65
			2	0.2615	8.24	7.627	-1.08
			5	0.2253	6.27	7.575	-1.77
		20	0	0.4424	16.43	9.637	
			1	0.3495	11.40	9.574	-0.66
			2	0.3268	10.30	9.533	-1.09
			5	0.2817	7.84	9.469	-1.77
30	100	12	0	0.2162	7.55	5.266	
			1	0.1986	6.45	5.233	-0.63
			2	0.1952	5.97	5.211	-1.06
			5	0.1889	5.16	5.175	-1.76
		16	0	0.2883	10.07	7.022	
			1	0.2648	8.60	6.977	-0.64
			2	0.2603	7.97	6.948	-1.07
			5	0.2519	6.88	6.900	-1.77
		20	0	0.3604	12.59	8.777	
			1	0.3310	10.75	8.722	-0.63
			2	0.3253	9.96	8.685	-1.06
			5	0.3149	8.60	8.650	-1.47

ตารางที่ 6.1 สรุปการแอ่นตัว ความเร็ว และความเร่ง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน เมื่อความเร็วและน้ำหนักบรรทุกของรถไฟเปลี่ยนไปของสะพาน 30 เมตร (ต่อ)

Length (m)	Velocity (km/hr)	Load (Tons)	Damping (%)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)	Displacement (cm.)	ค่าการ แอ่นตัว (%)
30	100	20 Cover Plate L/2	0	0.4740	19.04	8.217	
			1	0.3652	13.56	8.171	-0.56
			2	0.3252	10.91	8.141	-0.93
			5	0.2997	8.14	8.093	-1.53
		20 Cover Plate L/4	0	0.3577	11.62	8.742	
			1	0.3277	10.59	8.688	-0.62
			2	0.3223	9.85	8.651	-1.05
			5	0.3133	8.56	8.593	-1.73
		20 Cover Plate L/8	0	0.3811	12.00	9.658	
			1	0.3456	10.09	9.700	0.43
			2	0.3450	8.91	9.726	0.70
			5	0.3191	8.26	9.756	1.00

ค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้ = 8.33 เซนติเมตร

จากตาราง 6.1 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความหน่วงให้กับสะพานแล้วค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นจะค่อย ๆ ลดลงและเมื่อการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นมีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมให้ก็ต่อเมื่อมีการรับน้ำหนักเกิน น้ำหนักเพลาที่ 16 ตัน คือเมื่อมีการรับน้ำหนักบรรทุกที่ 20 ตัน ดังนั้นจึงทำการเพิ่มแผ่นเหล็กประกบที่ด้านล่างของสะพาน (Bottom Cord) เพราะจะทำให้ค่าการแอ่นตัวลดลงอยู่ในค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้ได้โดยมีระยะการเพิ่มดังที่แสดงไว้ในตาราง คือความยาว ที่ L/2, L/4, L/8 ของความยาวช่วง เมื่อมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ระยะต่าง ๆ จะได้ค่าดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวก่อนและหลังการเสริม Cover Plate ที่ความเร็ว 100 กิโลเมตร ต่อ ชั่วโมง ของสะพาน 30 เมตร โดยมีค่าความหน่วงและความยาวแผ่นเหล็กต่างกัน

ความยาวของ Cover Plate	Damping	เปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวกรณี Cover Plate		% การแอ่นตัวลดลง
		ก่อนเสริม	หลังเสริม	
L/2	0	8.777	8.217	-6.38
	1	8.722	8.171	-6.32
	2	8.685	8.141	-6.26
	5	8.650	8.093	-6.44
L/4	0	8.777	8.742	-0.40
	1	8.722	8.688	-0.39
	2	8.685	8.651	-0.39
	5	8.650	8.593	-0.66
L/8	0	8.777	9.658	+10.04
	1	8.722	9.700	+11.21
	2	8.685	9.726	+11.99
	5	8.650	9.756	+12.79

ค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้ = 8.33 เซนติเมตร

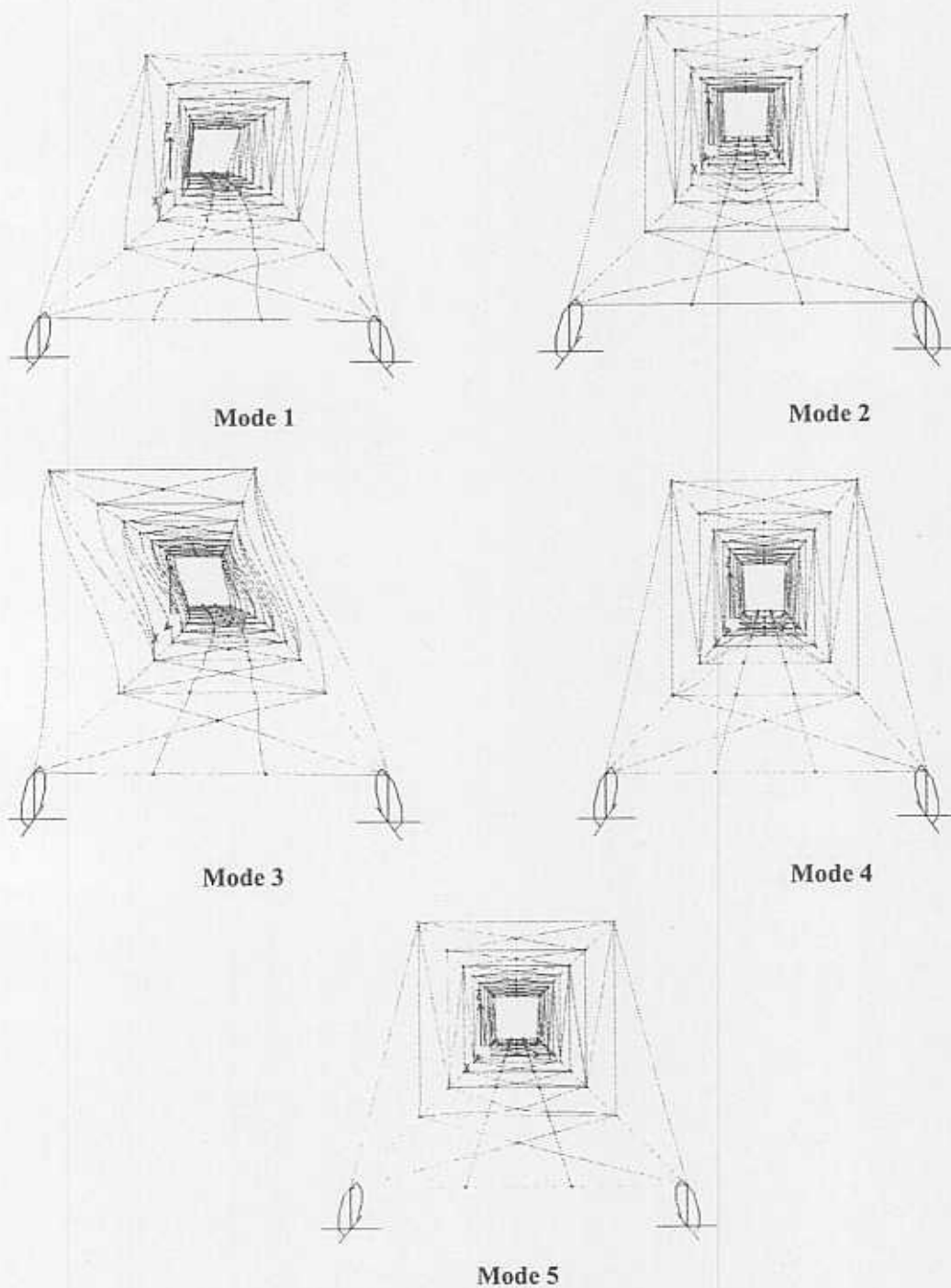
จากตาราง 6.2 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้นมีค่าที่เป็นบวกเนื่องจากว่าค่าความถี่ธรรมชาติมีค่าที่เปลี่ยนไปเมื่อทำการเสริมแผ่นเหล็กประกบที่ระยะสั้น เพราะเหล็กที่เสริมระยะสั้นนั้นได้ไปทำให้เป็นการเพิ่มน้ำหนักของสะพานและความสามารถในการช่วยรับแรงนั้นน้อยมาก

6.3.2 แบบจำลองสะพานรถไฟ 50 ม.

ในแบบจำลองของสะพานรถไฟ 50 ม. จะมีการใส่น้ำหนักต่อเพลาน้ำหนักขบวนรถไฟเคลื่อนที่ผ่านสะพานคือ ใส่น้ำหนัก 12 ตัน , 16 ตัน และ 20 ตัน

- สะพาน 50 ม. ที่ความเร็วต่าง ๆ

ลักษณะการเสียบรูปทั้ง 5 ลักษณะของสะพานรถไฟ 50 ม.

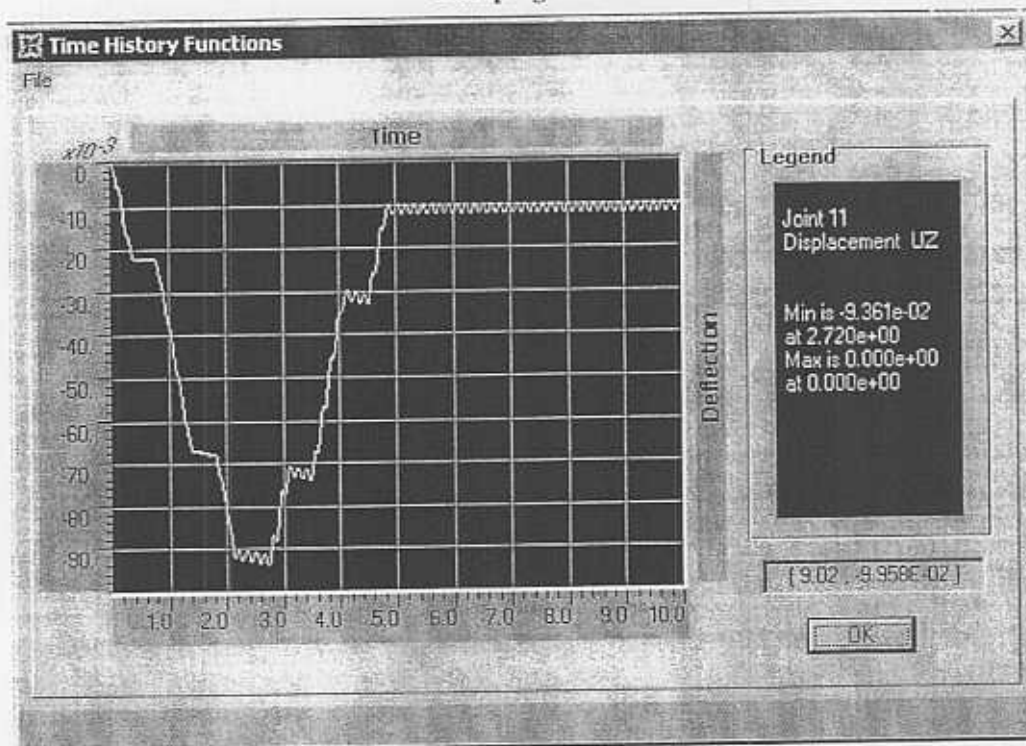


รูปที่ 6.14 ลักษณะการเสียบรูปของสะพานรถไฟ 50 ม.

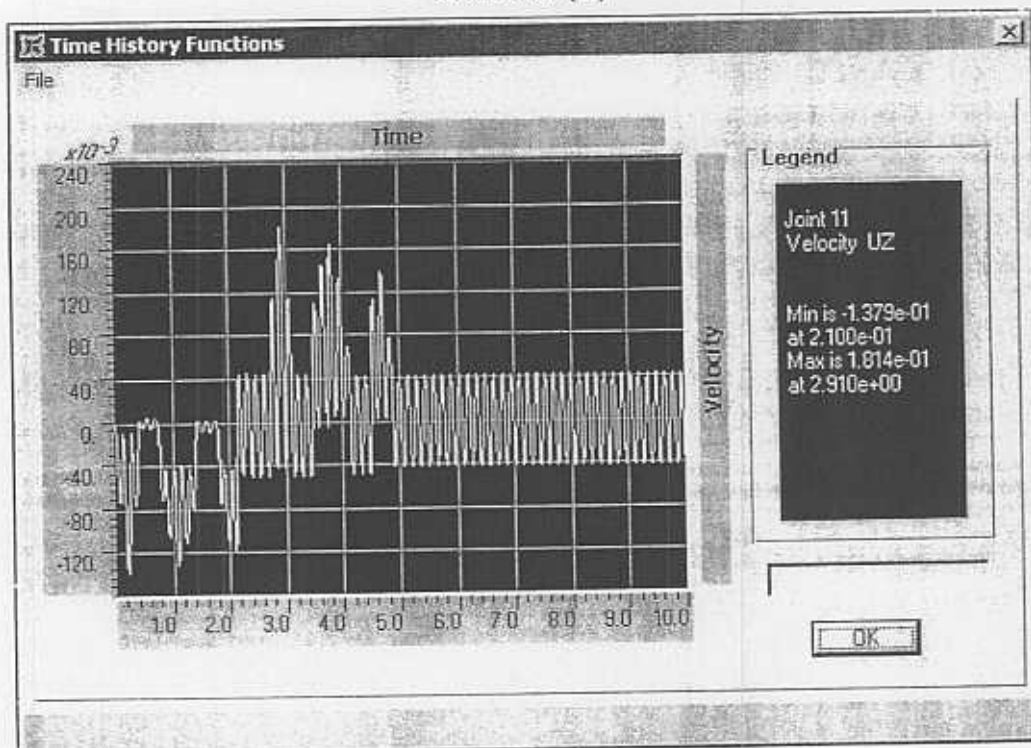
สะพานรถไฟ 50 ม. ที่ความเร็ว 60 กม./ชม. เมื่อรับน้ำหนัก 12 ตัน

Time History Function ของสะพาน 50 ม. ที่ความเร็ว 60 กม./ชม. เมื่อรับน้ำหนัก 12 ตัน
และทำการใส่ Damping ที่ 0%, 1%, 2% และ 5% (ในที่นี้จะแสดงเพียงค่า Damping 0 %)

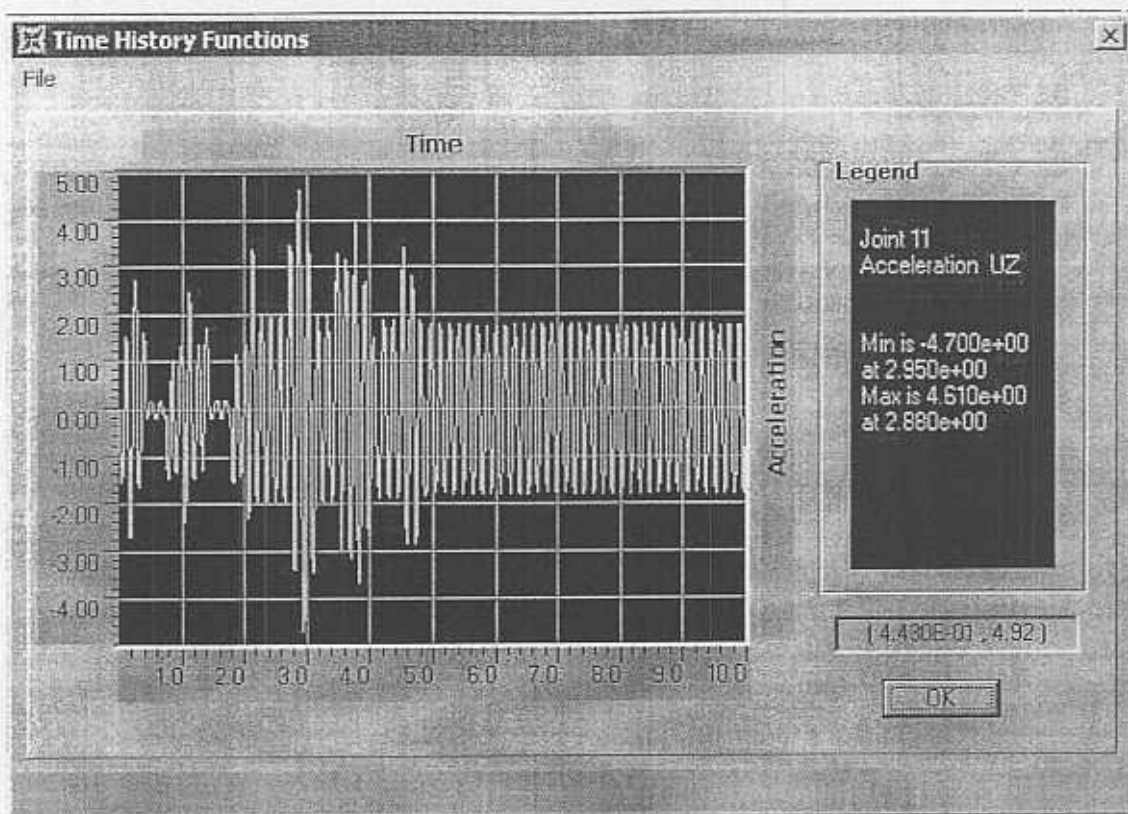
Damping 0 %



การแอ่นตัว (m)



ความเร็วในแนวดิ่ง (m/s)



ความเร่งในแนวดิ่ง (m/s^2)

รูปที่ 6.15 Time History Function ของการแอ่นตัว ความเร็วและความเร่งของสะพาน 50 ม. ในแนวดิ่ง ที่ความเร็ว 60 กม./ชม. เมื่อรับน้ำหนัก 12 ตัน และค่าความหน่วงเท่ากับ 0 %

ตารางที่ 6.3 สรุปการแอ่นตัว ความเร็ว และความเร่ง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน เมื่อความเร็วและน้ำหนักบรรทุกของขบวนรถเปลี่ยนไปของสะพาน 50 เมตร

Length (m)	Velocity (km/hr)	Load (Tons)	Damping (%)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)	Displacement (cm.)	ค่าการ แอ่นตัว (%)
50	60	12	0	0.1814	4.700	9.361	
			1	0.1660	4.062	9.344	-0.18
			2	0.1515	3.516	9.322	-0.42
			5	0.1257	2.953	9.285	-0.82
		16	0	0.2424	6.287	12.490	
			1	0.2216	5.426	12.470	-0.16
			2	0.2202	4.694	12.440	-0.40
			5	0.1677	3.941	12.390	-0.81
		20	0	0.3036	7.879	15.630	
			1	0.2773	6.794	15.600	-0.19
			2	0.2529	5.875	15.560	-0.45
			5	0.2098	4.932	15.500	-0.84
50	80	12	0	0.4719	15.73	9.537	
			1	0.3089	8.61	9.432	-1.11
			2	0.2826	7.66	9.394	-1.52
			5	0.2410	6.93	9.320	-2.33
		16	0	0.6298	20.98	12.730	
			1	0.4130	11.52	12.590	-1.11
			2	0.3775	10.24	12.540	-1.52
			5	0.3217	9.26	12.440	-2.33
		20	0	0.7880	26.22	15.930	
			1	0.5177	14.45	15.750	-1.14
			2	0.4729	12.84	15.690	-1.53
			5	0.4025	11.59	15.560	-2.38
50	100	12	0	0.2296	5.41	8.711	
			1	0.2218	5.17	8.711	0.00
			2	0.2156	4.96	8.707	-0.05
			5	0.1981	4.57	8.692	-0.22
		16	0	0.3068	7.22	11.620	
			1	0.2960	6.90	11.620	0.00
			2	0.2877	6.62	11.620	0.00
			5	0.2645	6.10	11.600	-0.17
		20	0	0.3833	9.04	14.540	
			1	0.3703	8.64	14.540	0.00
			2	0.3601	8.28	14.540	0.00
			5	0.3309	7.63	14.510	-0.21

ตารางที่ 6.3 สรุปการแอ่นตัว ความเร็ว และความเร่ง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน เมื่อความเร็วและน้ำหนักบรรทุกของขบวนรถเปลี่ยนไปของสะพาน 50 เมตร (ต่อ)

Length (m)	Velocity (km/hr)	Load (Tons)	Damping (%)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)	Displacement (cm.)	ค่าการ แอ่นตัว (%)
50	100	20 Cover Plate L/2	0	0.3567	8.36	13.770	
			1	0.3462	8.05	13.760	-0.07
			2	0.3343	7.65	13.750	-0.15
			5	0.3027	6.89	13.730	-0.29
		20 Cover Plate L/4	0	0.3667	8.63	14.090	
			1	0.3559	8.26	14.080	-0.07
			2	0.3443	7.87	14.080	-0.07
			5	0.3122	7.18	14.060	-0.21
		20 Cover Plate L/8	0	0.3719	8.80	14.130	
			1	0.3589	8.34	14.130	0.00
			2	0.3473	7.93	14.120	-0.07
			5	0.3178	7.32	14.100	-0.21

จากตาราง 6.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มน้ำหนักให้กับสะพานรถไฟแล้วถึงน้ำหนักเพลาที่ 20 ตัน จะทำให้การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นเกินค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้ของโครงสร้าง ในตอนท้ายของตารางจึงทำการเสริมเหล็กแผ่นประกบเพื่อที่จะทำให้สามารถรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้ โดยที่ไม่ต้องมีการรื้อสะพานเพื่อทำการสร้างใหม่ โดยตารางสรุปเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นระหว่างก่อนเสริมเหล็กแผ่นประกบและหลังการเสริมเหล็กแผ่นประกบดูได้จากตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวก่อนและหลังการเสริม Cover Plate ที่ความเร็ว 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ของสะพาน 50 เมตร โดยมีค่าความหน่วงและความยาวแผ่นเหล็กต่างกัน

ความยาวของ Cover Plate	Damping	เปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวกรณี เสริม Cover Plate		% การแอ่นตัว
		ก่อนเสริม	หลังเสริม	
L/2	0	14.540	13.770	-5.30
	1	14.540	13.760	-5.36
	2	14.540	13.750	-5.43
	5	14.510	13.730	-5.38
L/4	0	14.540	14.090	-3.09
	1	14.540	14.080	-3.16
	2	14.540	14.080	-3.16
	5	14.510	14.060	-3.10
L/8	0	14.540	14.130	-2.82
	1	14.540	14.130	-2.82
	2	14.540	14.120	-2.89
	5	14.510	14.100	-2.83

ค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้ = 13.89 เซนติเมตร

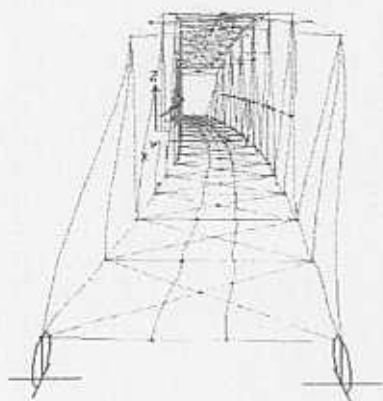
การเลือกใช้ค่าการเสริมแผ่นเหล็กประกบนั้น เลือกในกรณีที่ค่าการแอ่นตัวอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ โดยในกรณีนี้เลือกใช้ค่าที่ความยาวของแผ่นเหล็กประกบเท่ากับ L/2 เพราะค่าการแอ่นตัวไม่เกินค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้และเปอร์เซ็นต์การแอ่นตัวที่ลดลงนั้นมีค่าถึง 5 %

6.3.3 แบบจำลองสะพานรถไฟ 80 ม.

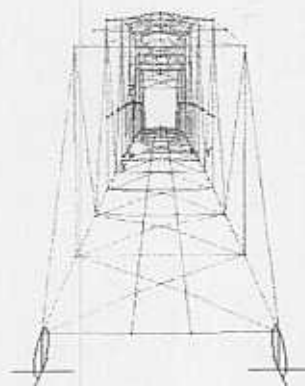
ในแบบจำลองของสะพานรถไฟ 80 ม. จะมีการใส่น้ำหนักต่อเพลामือมิชบวนรถไฟเคลื่อนที่ผ่านสะพานคือ ใส่น้ำหนัก 12 ตัน , 16 ตัน และ 20 ตัน

- สะพาน 80 ม. ที่ความเร็วต่างๆ

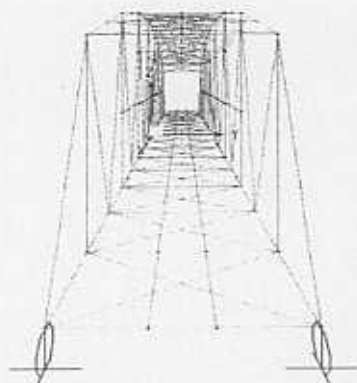
ลักษณะการเสีรูปทั้ง 5 ลักษณะของสะพานรถไฟ 80 ม.



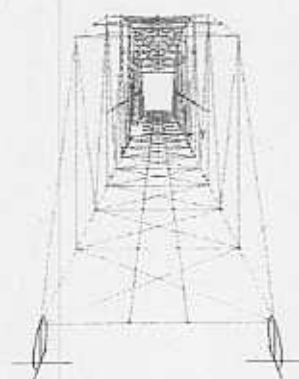
Mode 1



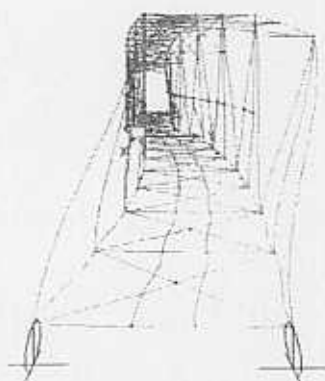
Mode 2



Mode 3



Mode 4



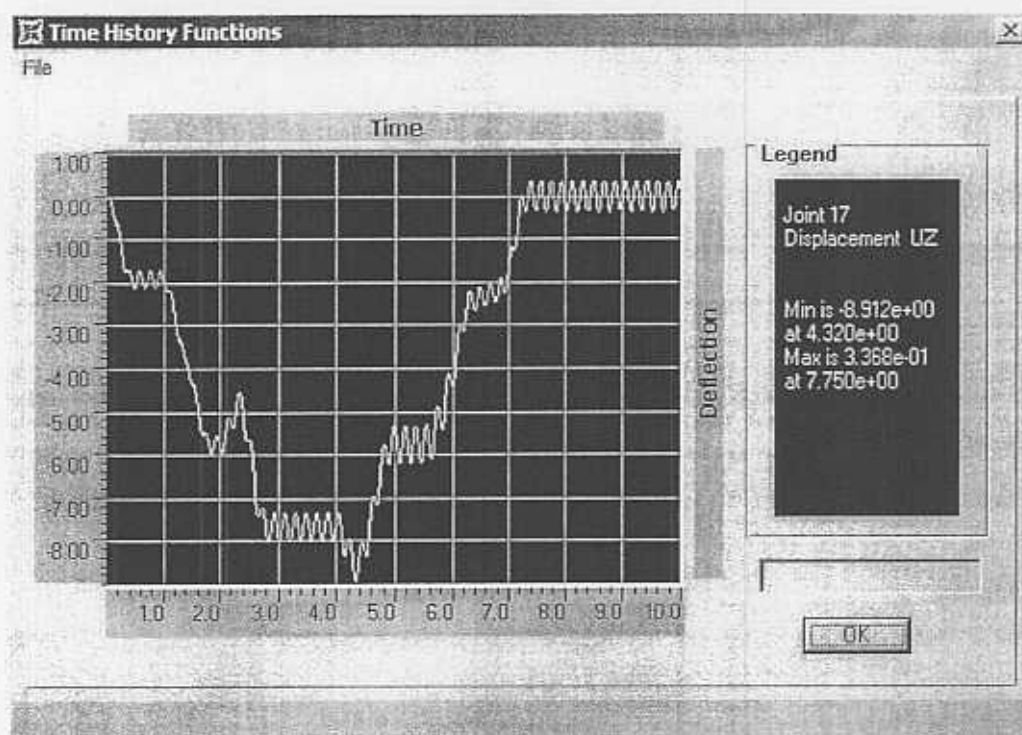
Mode 5

รูปที่ 6.16 ลักษณะการเสีรูปของสะพานรถไฟ 80 ม.

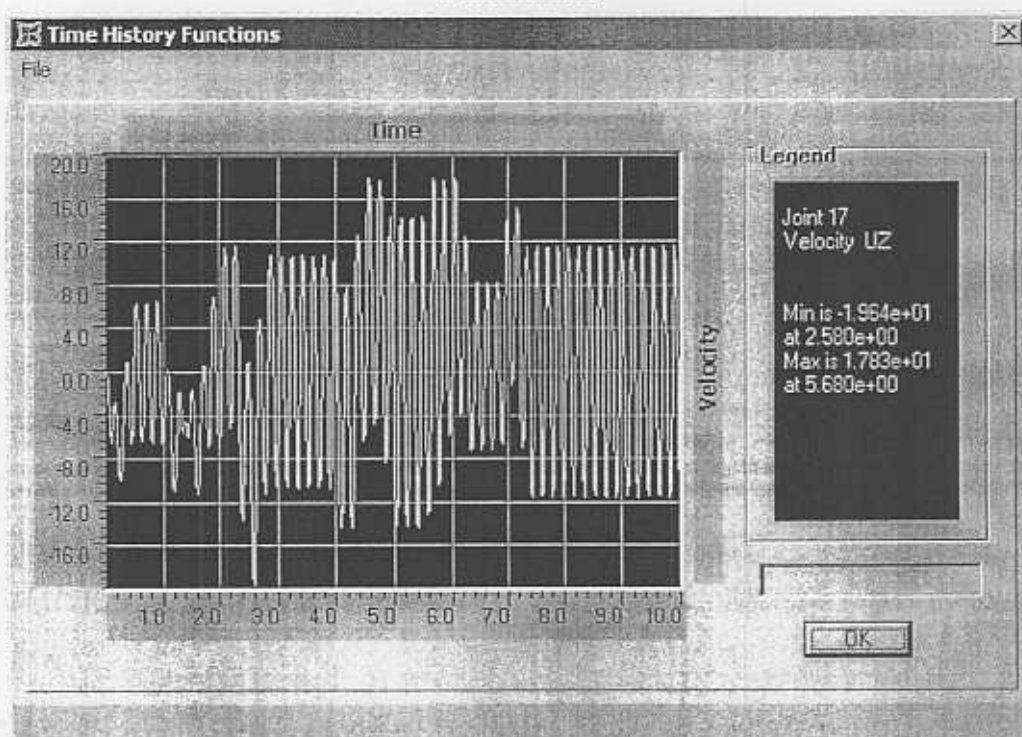
สะพานรถไฟ 80 ม. ที่ความเร็ว 60 กม./ชม. เมื่อรับน้ำหนัก 12 ตัน

Time History Function ของสะพาน 80 ม. ที่ความเร็ว 60 กม./ชม. เมื่อรับน้ำหนัก 12 ตัน
และทำการใส่ Damping ที่ 0%, 1%, 2% และ 5% (ในที่นี้จะแสดงเพียงค่า Damping 0 %)

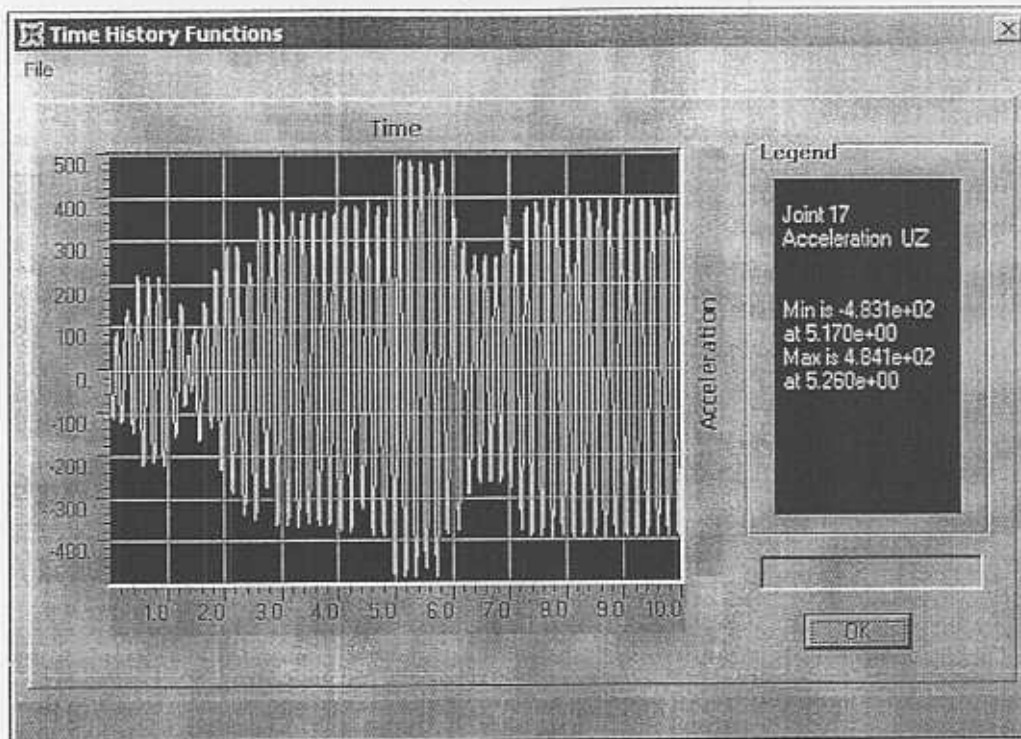
Damping 0 %



การแอ่นตัว(m)



ความเร็วในแนวดิ่ง (m/s)



ความเร่งในแนวดิ่ง (m/s^2)

รูปที่ 6.17 Time History Function ของการแอ่นตัว ความเร็วและความเร่งของสะพาน 80 ม. ในแนวดิ่ง ที่ความเร็ว 60 กม./ชม. เมื่อรับน้ำหนัก 12 ตัน และค่าความหน่วงเท่ากับ 0 %

ตารางที่ 6.5 สรุปการแอ่นตัว ความเร็ว และความเร่ง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน เมื่อความเร็วและน้ำหนักบรรทุกของขบวนรถเปลี่ยนไปของสะพาน 80 เมตร

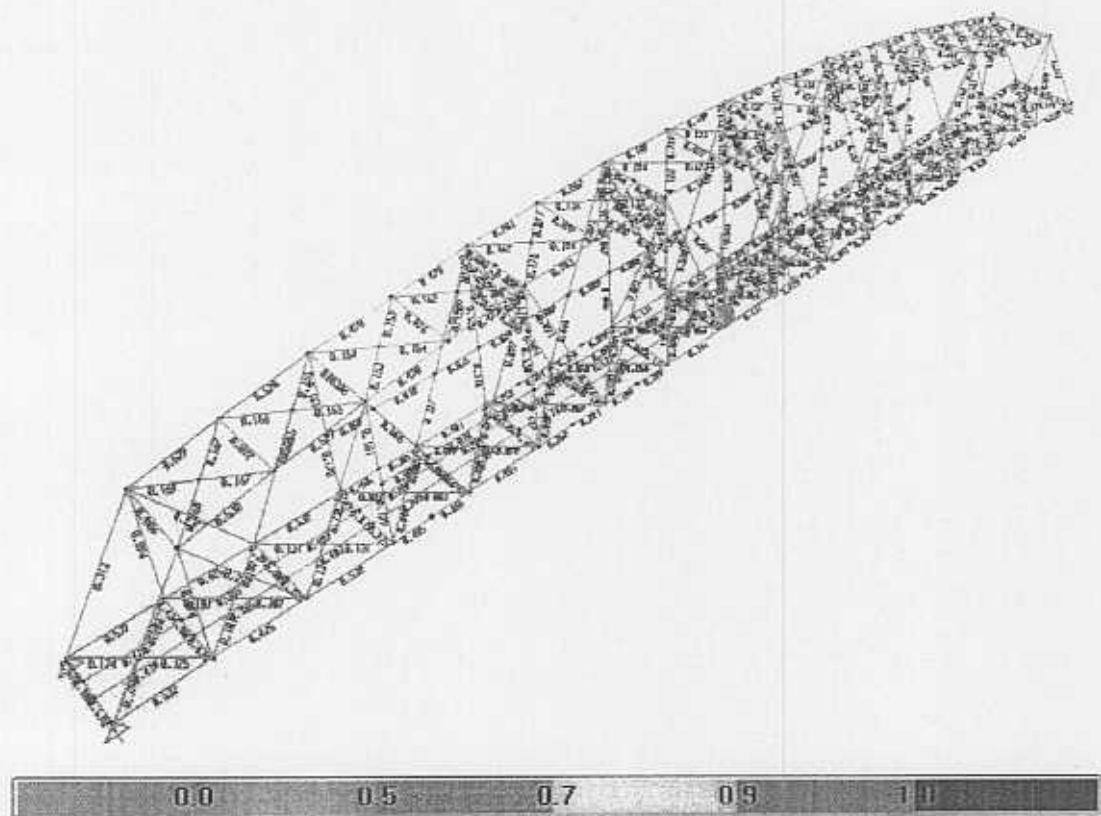
Length (m)	Velocity (km/hr)	Load (Tons)	Damping (%)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s^2)	Displacement (cm.)	ค่าการ แอ่นตัว (%)
80	60	12	0	0.1964	4.841	8.912	
			1	0.1931	3.983	8.817	-1.08
			2	0.1856	3.506	8.783	-1.47
			5	0.1643	2.823	8.737	-2.00
		16	0	0.2619	6.454	11.880	
			1	0.2574	5.311	11.760	-1.02
			2	0.2474	4.674	11.710	-1.45
			5	0.2191	3.764	11.650	-1.97
		20	0	0.3274	8.068	14.850	
			1	0.3218	6.638	14.700	-1.02
			2	0.3093	5.843	14.640	-1.43
			5	0.2738	4.705	14.560	-1.99

ตารางที่ 6.5 สรุปการแอ่นตัว ความเร็ว และความเร่ง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน เมื่อความเร็วและน้ำหนักบรรทุกของขบวนรถเปลี่ยนไปของสะพาน 80 เมตร (ต่อ)

Length (m)	Velocity (km/hr)	Load (Tons)	Damping (%)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)	Displacement (cm.)	ค่าการ แอ่นตัว (%)
80	80	12	0	0.1927	4.73	8.637	
			1	0.1735	4.14	8.644	0.08
			2	0.1583	3.67	8.650	0.15
			5	0.1312	2.79	8.656	0.22
		16	0	0.2572	6.31	11.520	
			1	0.2314	5.51	11.530	0.09
			2	0.2111	4.89	11.530	0.09
			5	0.1750	3.72	11.540	0.17
		20	0	0.3215	7.88	14.410	
			1	0.2892	6.89	14.410	0.00
			2	0.2638	6.12	14.420	0.07
			5	0.2187	4.65	14.430	0.14
80	100	12	0	0.1877	3.73	9.739	
			1	0.1889	3.72	9.700	-0.40
			2	0.1893	3.70	9.680	-0.61
			5	0.1862	3.48	9.665	-0.77
		16	0	0.2502	4.98	12.980	
			1	0.2519	4.96	12.930	-0.39
			2	0.2524	4.92	12.910	-0.54
			5	0.2483	4.64	12.890	-0.70
		20	0	0.3128	6.22	16.230	
			1	0.3148	6.21	16.170	-0.37
			2	0.3155	6.15	16.130	-0.62
			5	0.3104	5.80	16.110	-0.74

ค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้เท่ากับ 22.22 cm

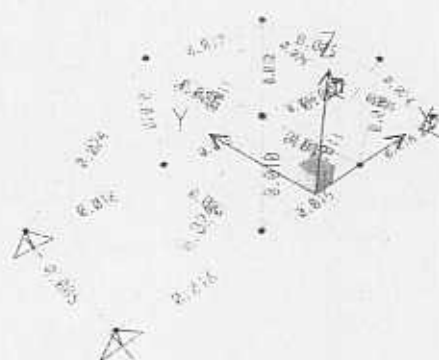
จากตาราง 6.5 จะเห็นได้ว่าค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นไม่เกินค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้จึงไม่จำเป็นต้องมีการเสริมแผ่นเหล็กประกอบส่วนรูปที่ 6.18 แสดงการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างและผลที่ได้ คือ สะพาน 80 เมตรนั้นไม่เกิดความเสียหายกับการรับแรงของโครงสร้างแต่อย่างใด เมื่อมีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็น 20 ตัน



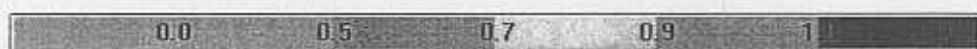
รูปที่ 6.18 แสดงค่าการรับแรงของชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน 80 เมตร

6.4 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึง การนำเสนอผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของสะพานรถไฟที่ความยาวต่างๆกันและมีการเสริมกำลังให้กับสะพานรถไฟเมื่อมีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็นน้ำหนักเพลาที่ 20 ตัน โดยการเสริมกำลังนั้นได้ทำการเสริมแผ่นเหล็กประกบที่ด้านล่างของสะพานเป็นจำนวนชั้นดังนี้ สะพาน 30 เมตรเพิ่มแผ่นเหล็กจำนวน 1 ชั้น ส่วนสะพาน 50 เมตรทำการเสริมแผ่นเหล็กจำนวน 3 ชั้นที่ระยะต่าง ๆ ดังที่แสดงในตารางแสดงผลที่ 6.1 ถึง 6.4 รวมทั้งมีการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวเมื่อมีการเสริมแผ่นเหล็กประกบที่ด้านล่างของสะพานกับก่อนมีการเสริมแผ่นเหล็กประกบ



รูป ค

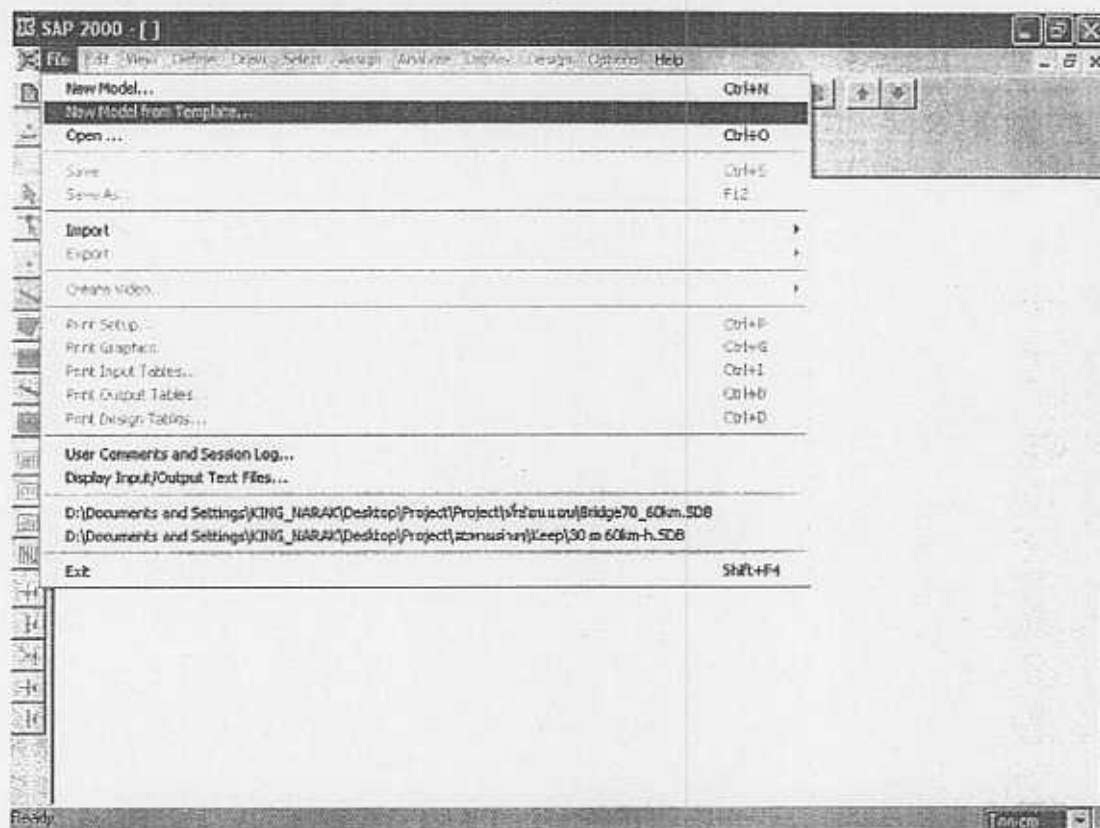


รูป ง

รูปที่ 5.1 (ต่อ) (รูป ค) แสดงตัวอย่างการ Check of Structure Element เทียบกับ Rating (รูป ง) ถ้าเกิน1 ขึ้นไปแสดงว่าเกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง

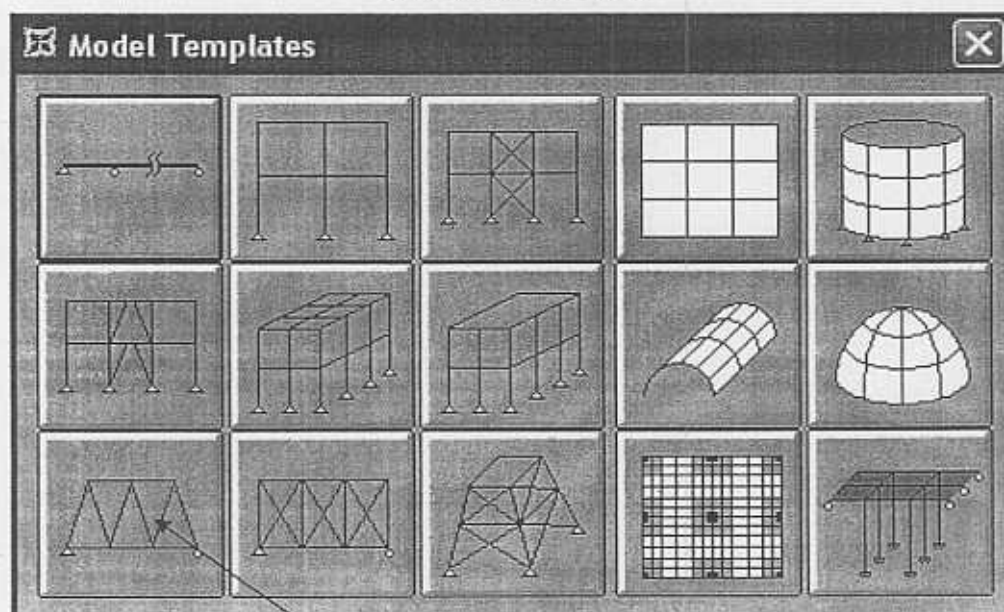
5.2 การใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear

เลือกโปรแกรม SAP2000 Nonlinear เกิดหน้าจอของโปรแกรม ไปที่ เมนู File เลือก New Model form Template จะเกิด dialog box แล้วเลือกตามลูกศรสีแดง

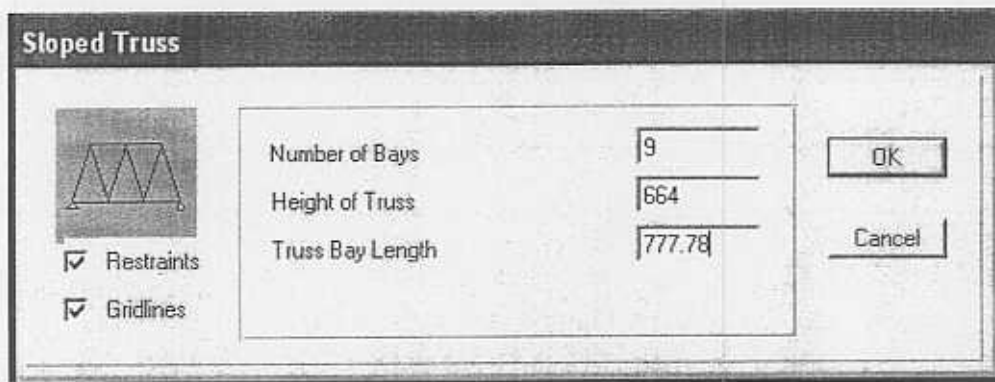


ทำการเลือกหน่วยที่ต้องการใช้ในการคำนวณวิเคราะห์โครงสร้าง

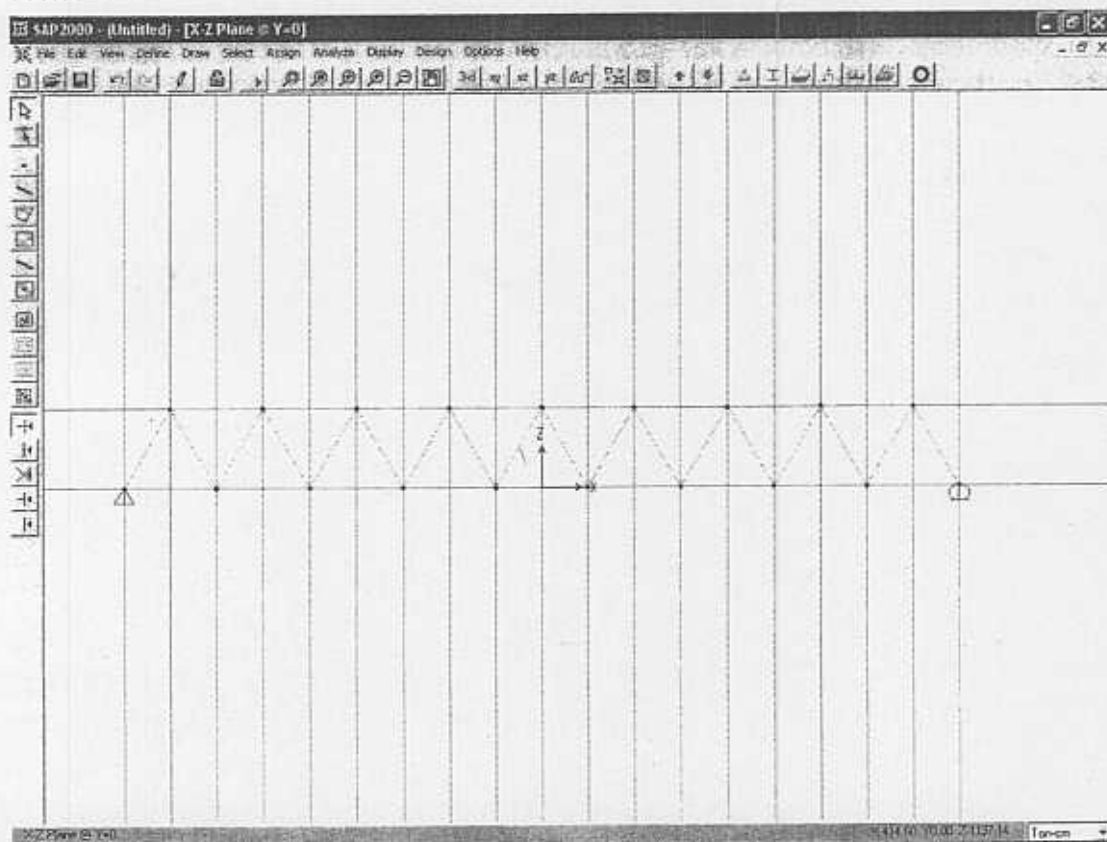
(เลือกหน่วย Ton - cm)



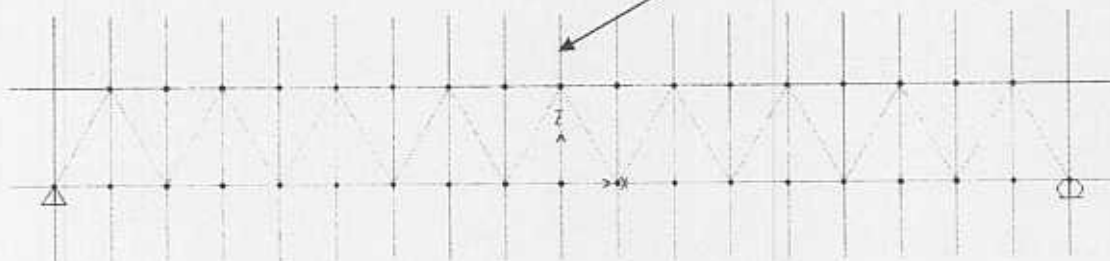
จะเกิด Dialog box เสร็จแล้วเลือกโมเดล



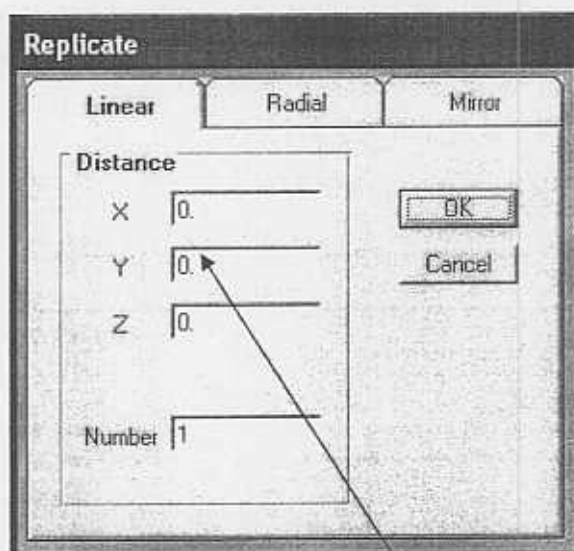
เดิมจำนวนช่วงในช่องแรก 9 ช่วง ช่องที่ 2 คือความสูง 664 cm. ช่องที่ 3 คือ ความยาวช่วง 777.78 cm.



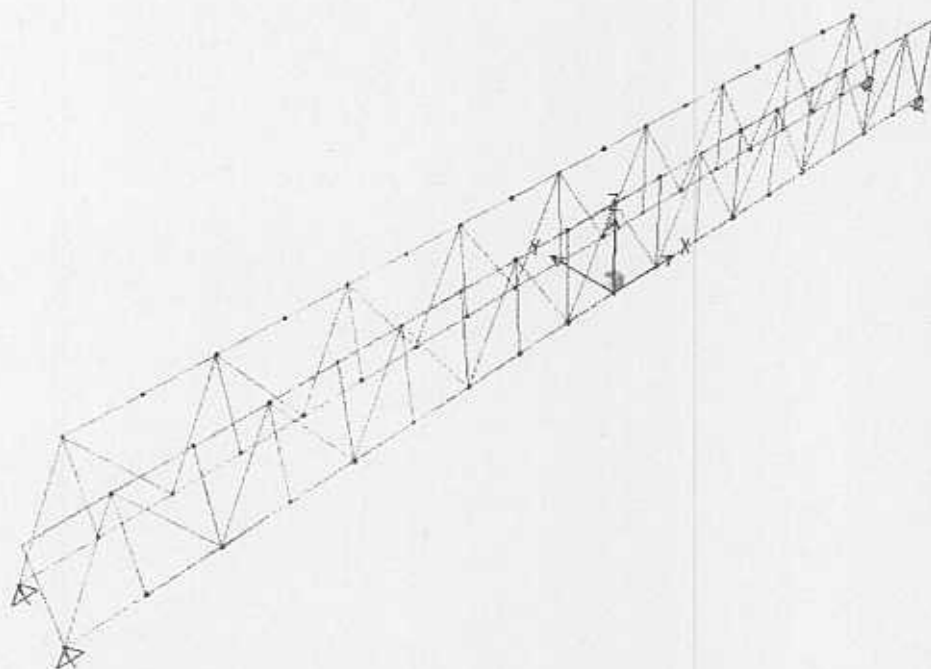
เสร็จแล้วทำการตัดชิ้นส่วนที่เกินออกไปแล้วจะได้ดังรูปข้างล่างนี้



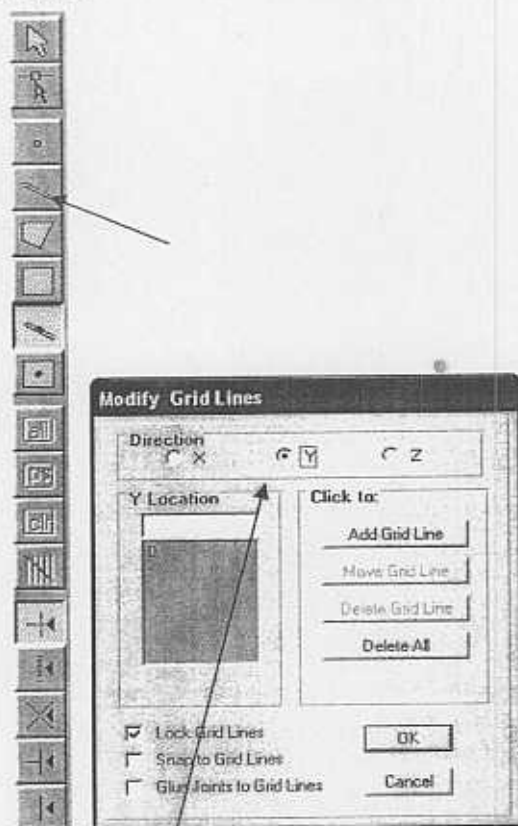
แล้วก็ทำการเลือกทั้งหมด Ctrl+A เพื่อที่จะขยับออกไปให้เป็น 2 ด้านโดยกด Ctrl+R จะเกิด Dialog box หรือกด Ctrl+A แล้วไปที่คำสั่ง Edit แล้วที่คำสั่ง Replicate เสร็จแล้วจะมีหน้าต่างปรากฏออกมาดังรูป



เติมระยะที่ต้องการที่ Y (ให้ Y = 470 cm.) เสร็จแล้วจะเป็นดังรูปด้านล่าง



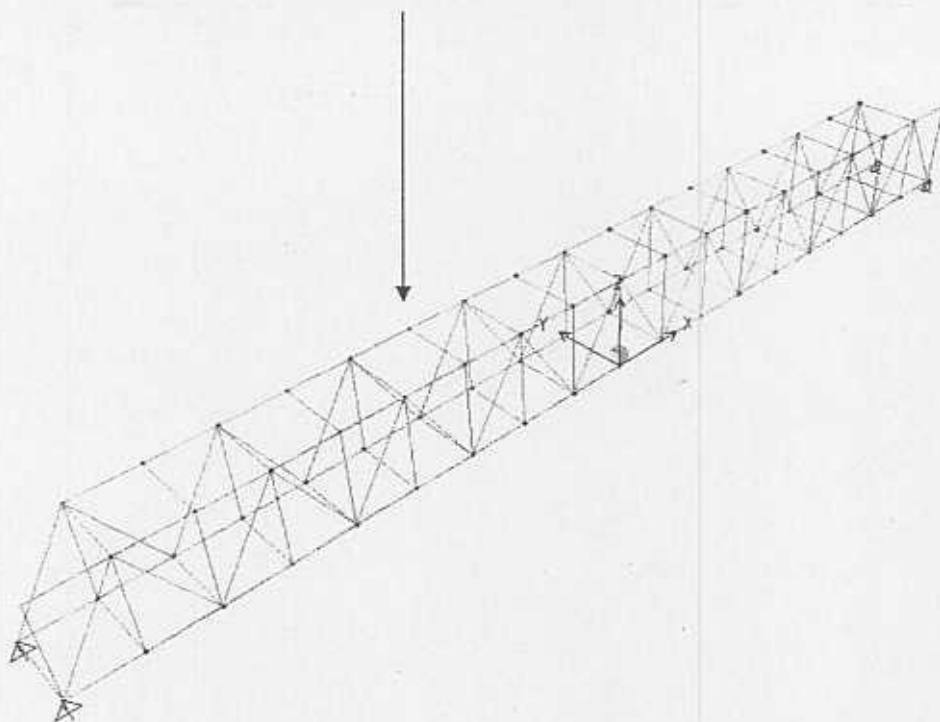
จากนั้นทำการเพิ่ม Element โดยใช้เครื่องมือตามลูกศรที่กำหนดโดยการกำหนด Grid Line ขึ้นที่ระยะต่าง ๆ โดยจะเริ่มจากไปที่เมนู Draw เลือก Edit Grid จะเกิด Dialog box แล้วใช้เครื่องมือในการเพิ่ม Element ให้กับโครงสร้าง



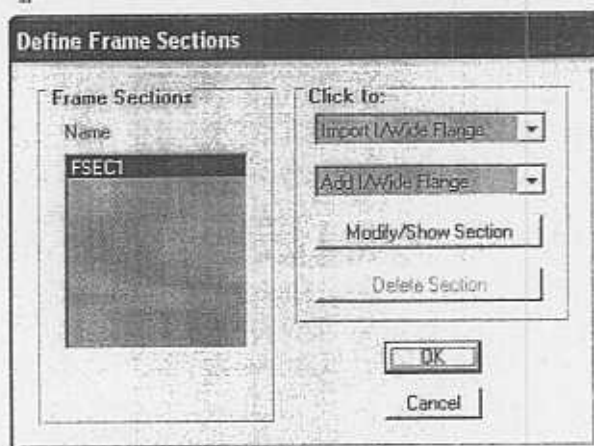
เพิ่ม Grid line ตามแนวแกนต่างๆที่ต้องการ



เมื่อเสร็จแล้วก็จะได้ดังรูปด้านล่างนี้



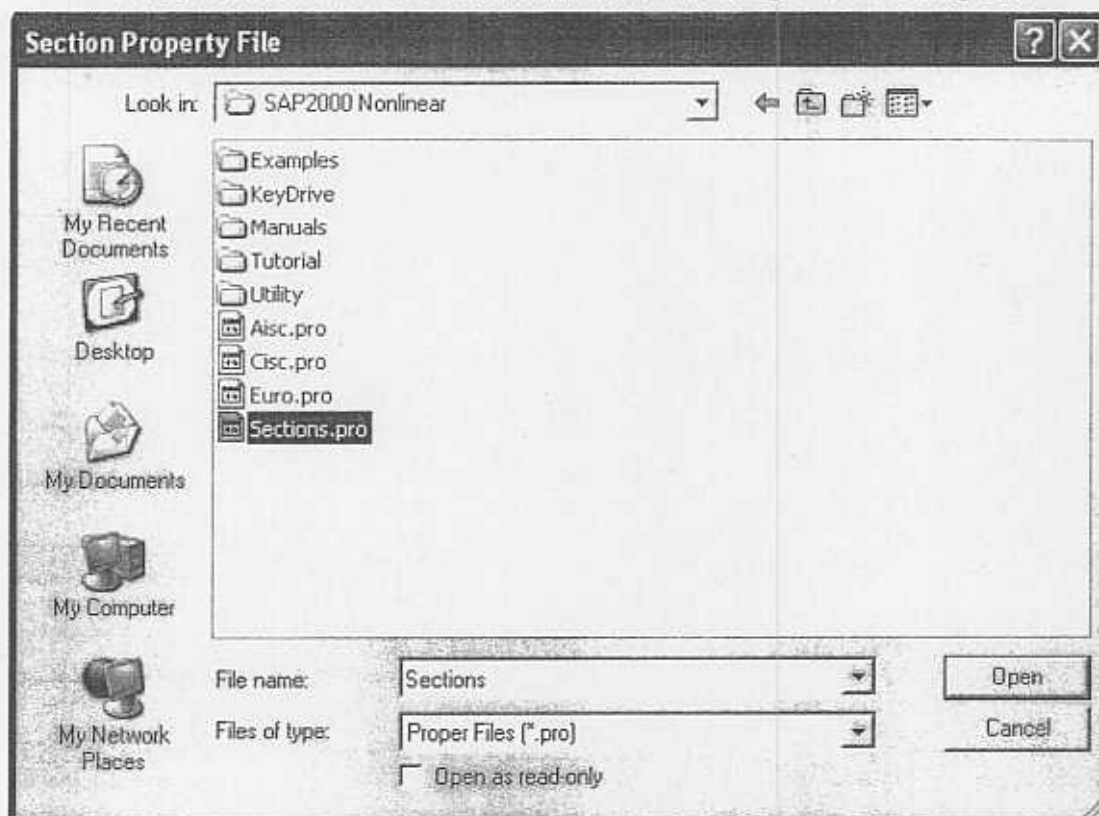
จากนั้นทำการกำหนด Element โดยไปที่เมนู Define เลือก Frame Section โดยจะเกิด Dialog box ขึ้น โดยจะมีที่เป็นมาตรฐานและที่เราสามารถกำหนดขึ้นเองดังนี้



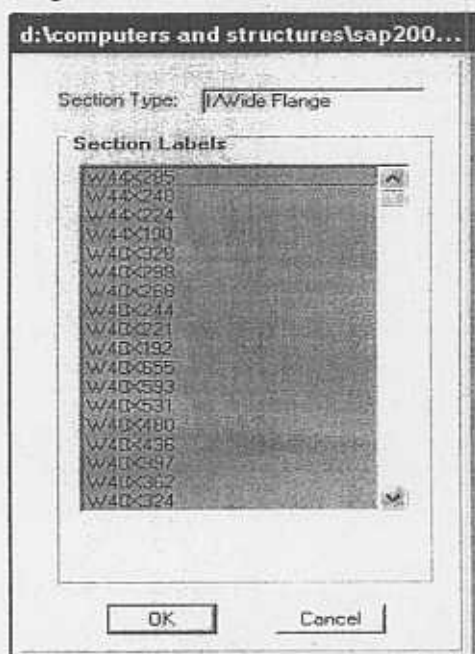
ช่อง Import จะเป็นหน้าตัดที่มีอยู่แล้วตามมาตรฐาน (1)*

ช่อง Add จะเป็นหน้าตัดที่เราสร้างขึ้นเอง (2)**

* ตัวอย่าง (1) เช่น ถ้าเราต้องการใช้หน้าตัดที่เป็น Wide Flange ก็จะเกิด Dialog Box



เลือก Sections.Pro จะเกิด dialog box ดังนี้ แล้วทำการเลือกหน้าตัดได้เลย



เมื่อเลือกหน้าตัดเสร็จจะเกิด Dialog box และเมื่อคลิกที่ Section Properties จะเกิด Dialog box ดังนี้

I/Wide Flange Section

Section Name: W40x244

Extract Data from Section Property File

Open File: d:\computers and structures\sap2000 Import

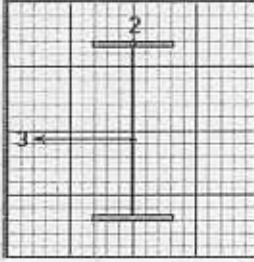
Properties

Section Properties Modification Factors

Material: STEEL

Dimensions

Outside height (h)	99.2124
Top flange width (b _f)	44.9834
Top flange thickness (t _f)	3.2004
Web thickness (t _w)	1.8034
Bottom flange width (b _f)	44.9834
Bottom flange thickness (t _f)	3.2004



OK Cancel

Property Data

Section Name: W40x244

Properties

Cross-section (axial) area	462.5797	Section modulus about 3 axis	16110.17
Torsional constant	1265.3435	Section modulus about 2 axis	2165.2022
Moment of Inertia about 3 axis	799164.3	Plastic modulus about 3 axis	18025.77
Moment of Inertia about 2 axis	48699.03	Plastic modulus about 2 axis	3326.574
Shear area in 2 direction	178.9222	Radius of Gyration about 3 axis	41.5647
Shear area in 3 direction	239.9415	Radius of Gyration about 2 axis	10.2606

OK

** ตัวอย่าง (2) เช่น ถ้าต้องการหน้าตัดที่เป็น Wide Flange มีขนาดสูง 61 cm ความกว้างและความหนาของ Flange 20 และ 2 cm ตามลำดับ Web หนา 1.5 cm ก็ทำการเลือก Add Wide Flange จะเกิด dialog Box ให้กำหนดชื่อ ใส่รายละเอียดตามที่โปรแกรมกำหนดมา เลือกวัสดุด้วยว่าเป็น concrete, steel หรือ อื่น ๆ เมื่อคลิกที่ Section Properties จะเกิด Dialog Box ตามมา ดังนี้

I/Wide Flange Section

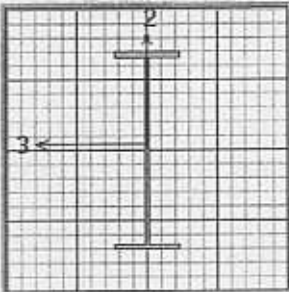
Section Name: FSEC2

Properties: Section Properties | Modification Factors

Material: STEEL

Dimensions:

Outside height (t3)	61
Top flange width (t2)	20
Top flange thickness (tf)	2
Web thickness (tw)	1.5
Bottom flange width (t2b)	20
Bottom flange thickness (tfb)	2



OK Cancel

Property Data

Section Name: BEAM

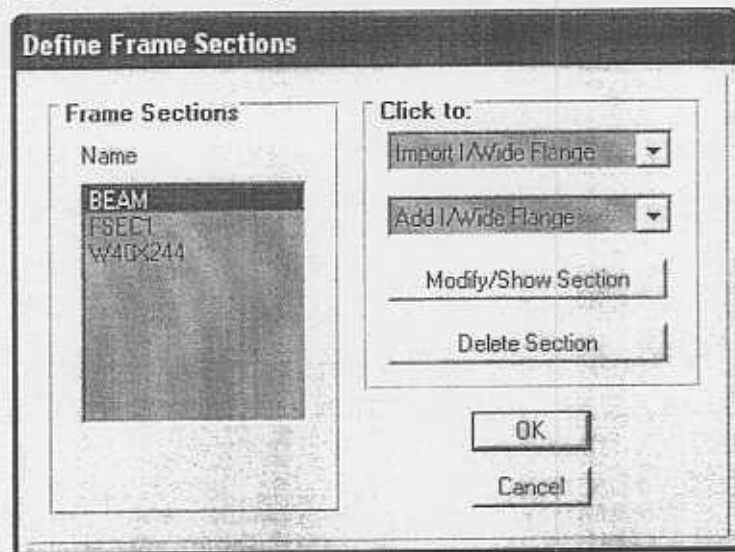
Properties:

Cross-section (axial) area	165.5	Section modulus about 3 axis	3042.485
Torsional constant	163.0085	Section modulus about 2 axis	268.2698
Moment of Inertia about 3 axis	92795.79	Plastic modulus about 3 axis	3578.375
Moment of Inertia about 2 axis	2682.6979	Plastic modulus about 2 axis	432.0625
Shear area in 2 direction	91.5	Radius of Gyration about 3 axis	23.6791
Shear area in 3 direction	66.6667	Radius of Gyration about 2 axis	4.0261

OK

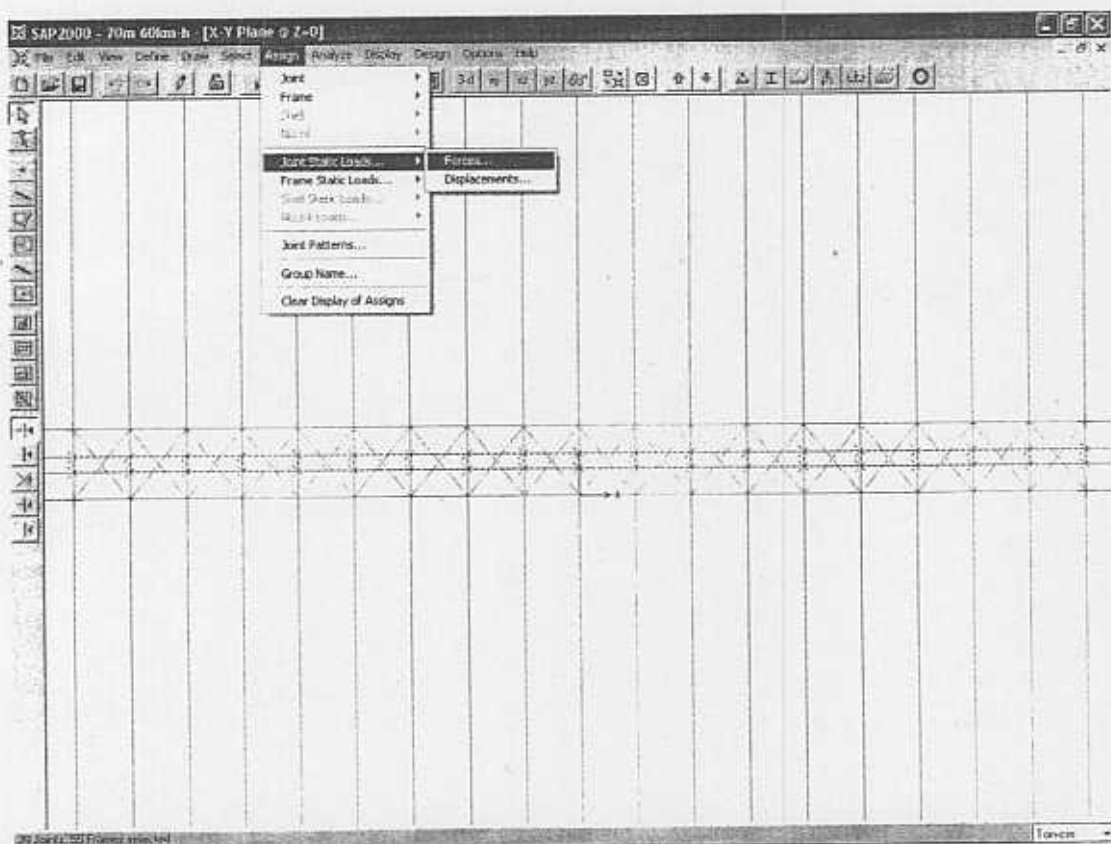
ทำไปจนครบจำนวนของหน้าตัด

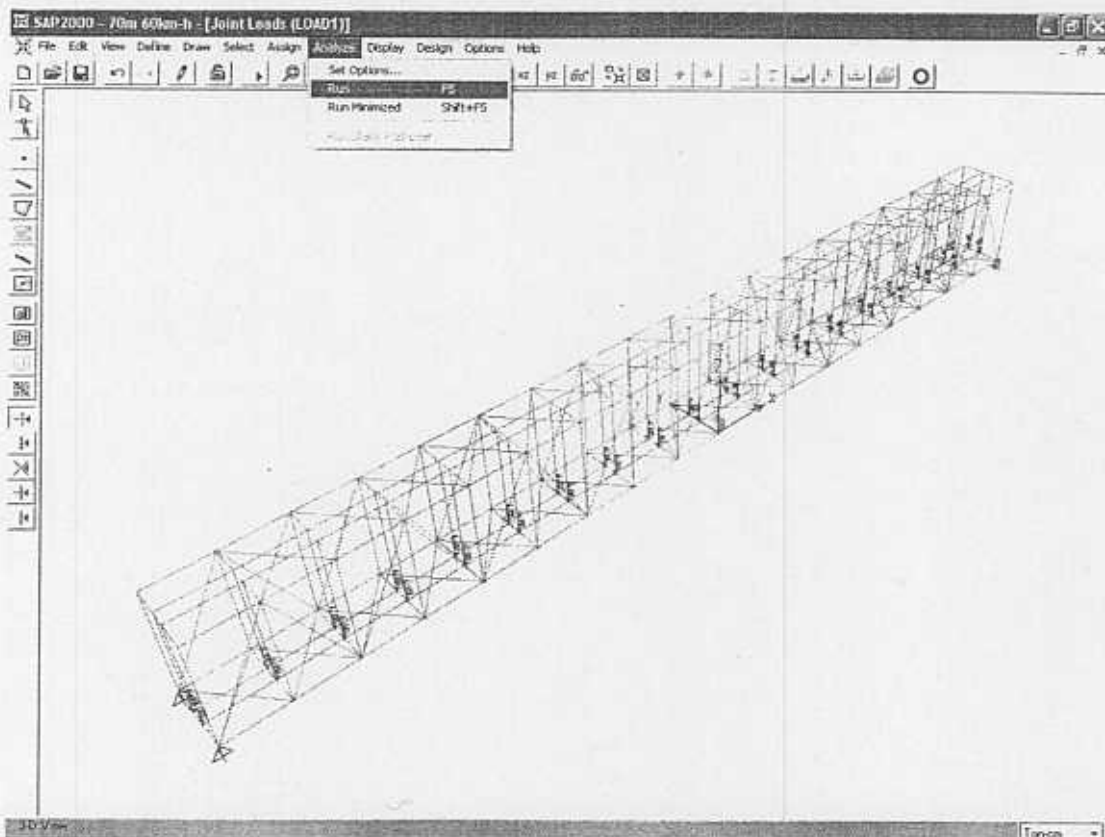
ทำการเลือก Element เพื่อที่จะใส่หน้าตัดให้ Element นั้น แล้วไปที่เมนู Assign เลือก Frame เลือก Sections จะเกิด Dialog box



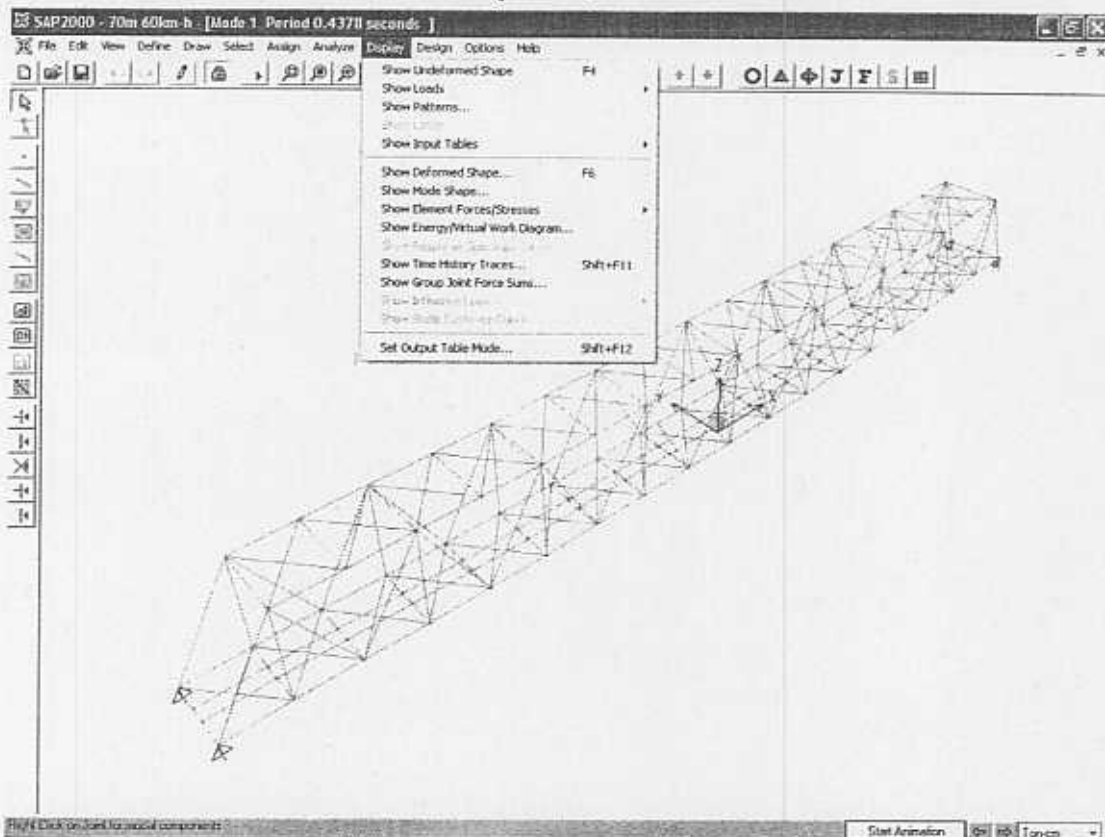
แล้วทำการเลือกจากนั้นคลิก OK

เมื่อทำการใส่ Section Property ของทุกชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานแล้วทำการใส่แรงที่กระทำกับโครงสร้างสะพานโดยเลือกที่ช่วง Joint Stinger ค้างรูปข้างล่าง (ทำการใส่ Load 6 ton ในแต่ละจุด)



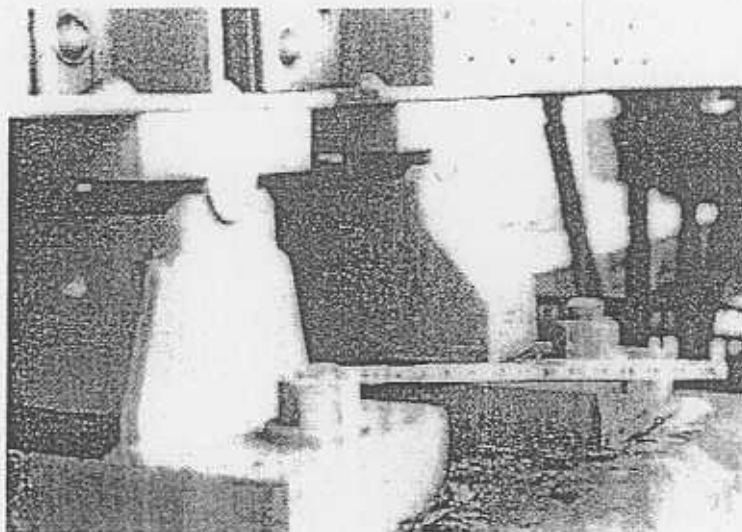


เสร็จแล้วไปที่คำสั่ง Display เพื่อดูค่าต่างๆหลังจากที่วิเคราะห์เสร็จแล้ว



5.3 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึง การใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear รูปแบบของโครงสร้างต่างๆ ที่มีในโปรแกรม ตัวอย่างการใช้งาน การใส่คุณสมบัติของชิ้นส่วนและการวิเคราะห์ผลที่ต้องการ ในบทต่อไปจะกล่าวถึง การตรวจสอบภาคสนามและการสร้างแบบจำลองของสะพานรถไฟ หลักการจำลองการเคลื่อนที่แบบต่างๆ



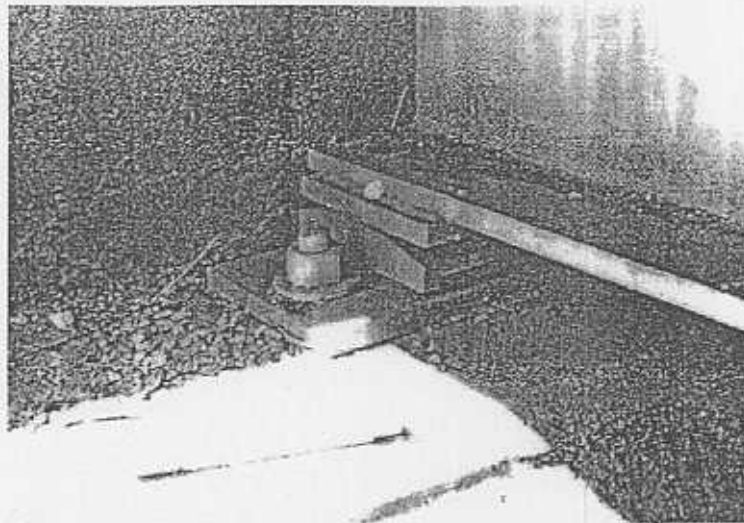
รูปที่ 4.2 Bearing แบบยึดหมุนและแบบเคลื่อนตัวได้

4.2 ชิ้นส่วนของ Bearing

Bearing จะประกอบด้วยชิ้นส่วนพื้นฐาน (รูปที่ 4.3) ดังนี้

1. Sole Plate เป็นแผ่นเหล็กซึ่งสัมผัสกับส่วนล่างของปีกคานหรือ Chord ล่างของ Truss
2. Bearing Surface ถูกปิดด้วย Sole Plate และ Masonry Plate ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายแรงจาก Sole Plate ไปยัง Masonry Plate
3. Masonry Plate เป็นแผ่นเหล็กซึ่งอยู่ติดกับส่วนของฐานรองรับ,คอม่อริมน้ำ,คอม่อกลางน้ำ ทำหน้าที่รับแรงตามแนวดิ่งจาก Bearing ที่ถ่ายน้ำหนักมาจาก Superstructure ไปยัง Substructure
4. สมอยึด (Anchorage) จะยึด Bearing กับ Substructure ซึ่งจะยึดชิ้นส่วนของ Bearing ไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวตามขวาง มาตรฐาน AASHTO กำหนดให้สลักยึดจะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1 นิ้วและฝังตัวลงใน Masonry หรือชิ้นส่วนของฐานรองรับ (คอม่อ) ไม่น้อยกว่า 10 นิ้ว (25 ซม.)

Bearing ทุกชนิดไม่จำเป็นต้องมีชิ้นส่วนครบทั้ง 4 ส่วน แต่อย่างน้อยจะต้องมี Bearing Surface เป็นส่วนประกอบ



รูปที่ 4.3 ชิ้นส่วนและส่วนประกอบต่างๆ ของ Bearing

4.3 ชนิดของ Bearing แบบเคลื่อนตัวได้

Bearing ชนิดต่างๆ จะมีการพัฒนาให้เหมาะกับการเคลื่อนตัวของ Superstructure ซึ่ง Bearing เหล่านี้แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

Bearing แบบโลหะ (Metal Bearing)

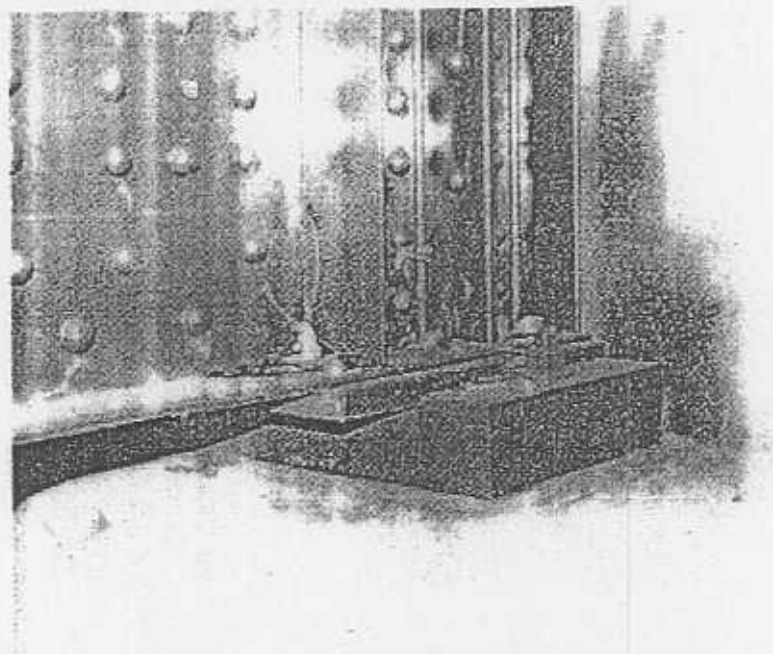
1. Bearing แบบแผ่นโลหะเลื่อน (Sliding plate bearings)
2. Bearing แบบลูกกลิ้ง (Roller bearing)
3. Bearing แบบโยก (Rocker bearing)
4. Bearing แบบหมุดและลิงค์ (Pined and Bearing)
5. Pot Bearing
6. Bearing แบบยึดรั้ง (Restraining Bearings)

Bearing แบบยืดหด (Elastomeric bearings)

1. Plain Neoprene Pads
2. Laminated Neoprene Pads
3. Isolation Bearings

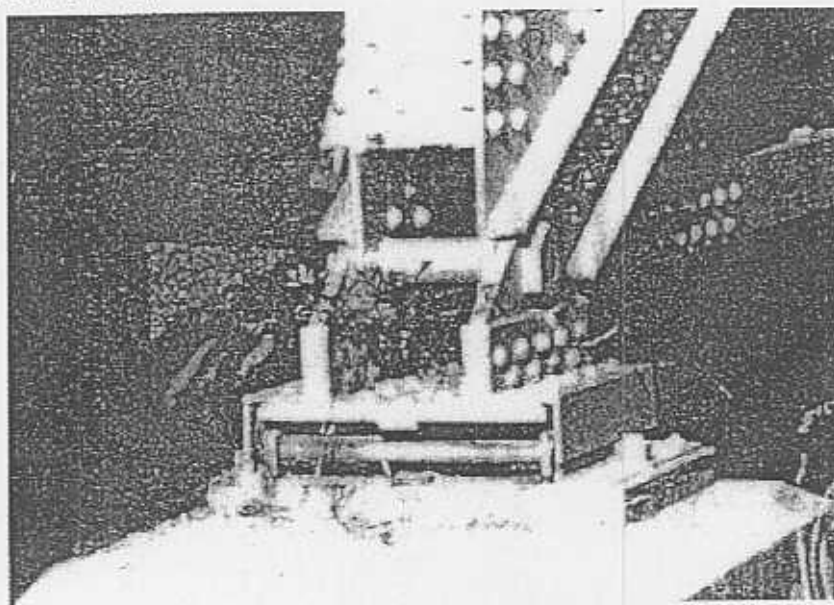
Bearing แบบโลหะ (Metal Bearing)

1. Bearing แบบแผ่นโลหะเลื่อน (Sliding plate bearings) ชนิดต่าง ๆ ถูกใช้ในสะพานซึ่งมีความยาวช่วงไม่น้อยกว่า 40 ฟุต (12 เมตร) ดังแสดงในรูป 4.4

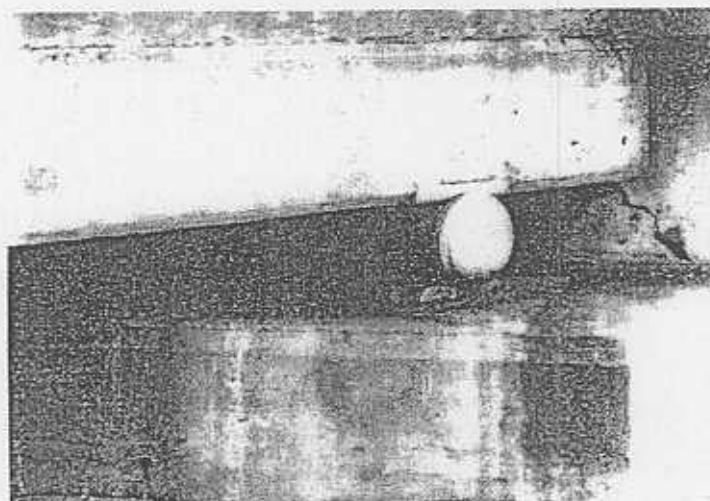


รูปที่ 4.4 Bearing แบบแผ่นโลหะเลื่อน

2. Bearing แบบลูกกลิ้ง (Roller Bearing) Bearing แบบลูกกลิ้งประกอบด้วย ลูกกลิ้ง ระหว่าง Sole Plate และ Masonry Plate ซึ่งจะรองรับการขยายตัวและหดตัวของ Superstructure มี 2 ชนิดหลัก คือ ลูกกลิ้งกลุ่ม (Roller Nests) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ แบบลูกกลิ้งเดี่ยว ดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 6 ถึง 15 นิ้ว (15 ถึง 37 ซม.)

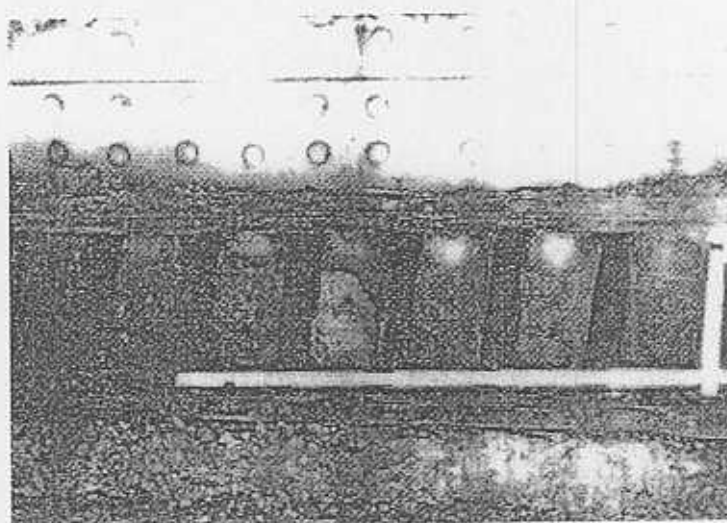


รูปที่ 4.5 Bearing แบบลูกกลิ้งกลุ่ม (Roller Nest Bearing)



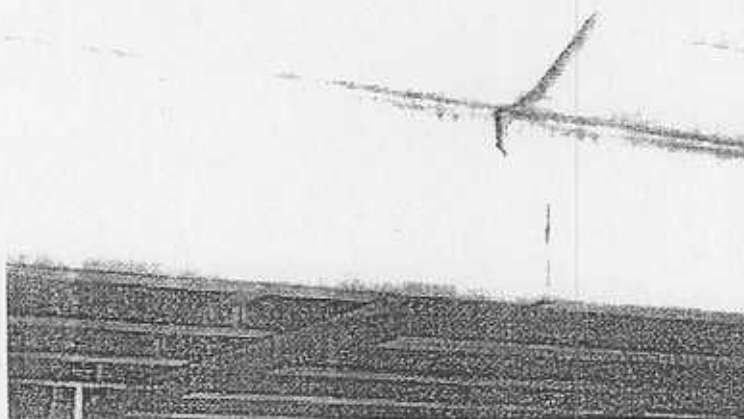
รูปที่ 4.6 Bearing แบบลูกกลิ้งเดี่ยว (Single Roller Bearing)

3. Bearing แบบโยก (Rocker bearing) หลักการทำงานเหมือนแบบลูกกลิ้งเดี่ยว โดยทั่วไปจะใช้กับโครงสร้างที่มีการเคลื่อนตัวมาก มีทั้งแบบเดี่ยวและแบบกลุ่ม ดังแสดงในรูป 4.7



รูปที่ 4.7 Bearing แบบ Rocker กลุ่ม (Rocker Nest Bearing)

4. Bearing แบบหมุดและดิ่ง (Pin and Bearing) เป็น Bearing ถูกใช้ในโครงสร้างคานยื่นต่อเนื่องที่รองรับจุดปลายของช่วงแขวน (suspended span) ดังแสดงในรูป 4.8



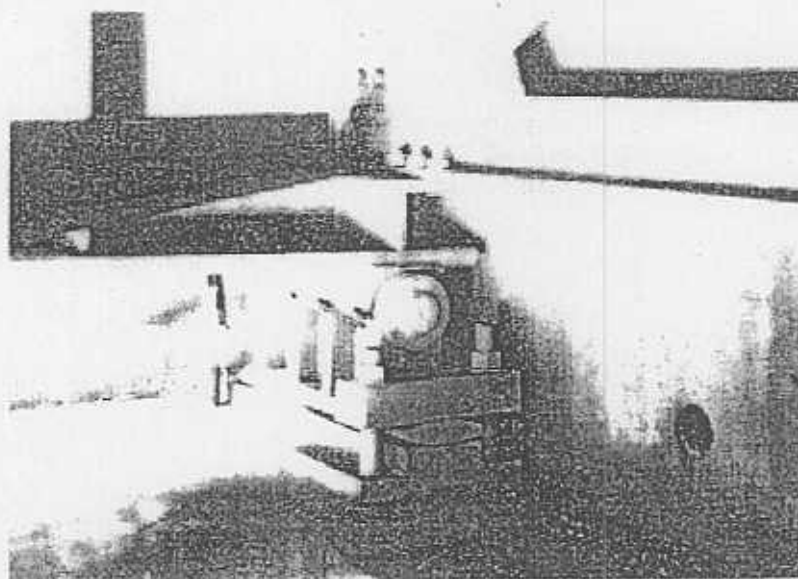
รูปที่ 4.8 Bearing คานแบบหมุดและดิ่ง

5. Pot Bearings ถูกออกแบบมาให้สามารถรับภาระหมุนได้หลายทิศทาง ดังแสดงในรูป 4.9



รูปที่ 4.9 Pot Bearing

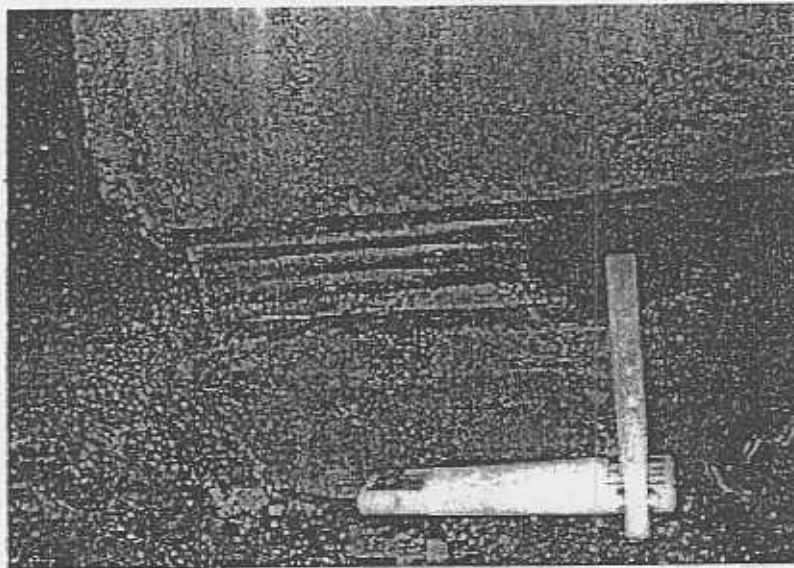
6. Bearing แบบยึดรั้ง (Restraining Bearings) มีการใช้งานเพื่อทำให้สะพานด้อยลงในกรณีที่มันยกสูงขึ้น โดยปกติการยกขึ้นจะทำบน Cantilever Anchor Span อุปกรณ์นี้จะใช้เพื่อขัดขวางการยกขึ้น (รูปที่ 4.10)



รูปที่ 4.10 Restraining Bearing

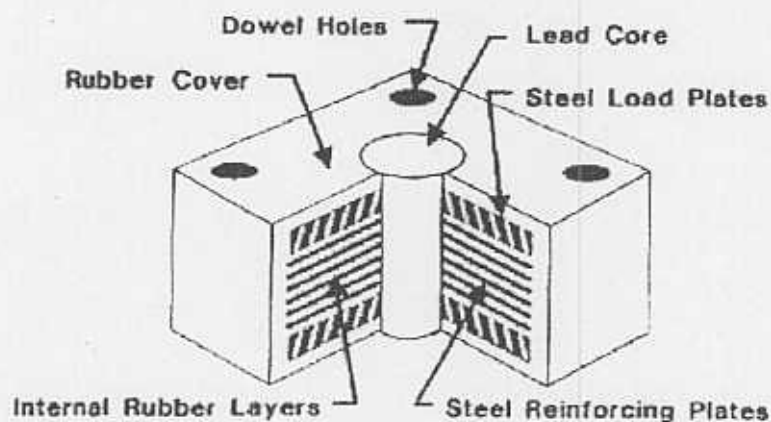
Bearing แบบยืดหด (Elastomeric Bearings) มี 3 ชนิดหลัก คือ

1. **Plain Neoprene Pads** ประกอบด้วยแผ่น Neoprene (ยางเทียมชนิดทนน้ำมัน) บริสุทธิ์รูปสี่เหลี่ยม ส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้กับคานคอนกรีตอัดแรงที่มีความยาวช่วงสั้น
2. **Laminated Neoprene Pads** โดยทั่วไปจะเป็นชั้นของ Neoprene Pads ซึ่งจะมีแผ่นเหล็กหรือ fiberglass แบ่งออกเป็นชั้นๆ (รูปที่ 4.11) เราจะไม่สามารถมองเห็นแผ่นเหล็กได้ถ้าไม่เกิดความเสียหาย Bearing ชนิดนี้จะใช้กับโครงสร้างที่ยาวซึ่งจะมีการยืดและหดตัวมาก



รูปที่ 4.11 Laminated Neoprene Bearing

3. **Isolation Bearings** ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อป้องกันโครงสร้างจากความเสียหายเนื่องจากแผ่นดินไหว มีลักษณะเหมือนกับ Laminated Bearing ซึ่งจะเป็นชั้นของ Neoprene และแผ่นเหล็กภายในจะบรรจุตะกั่วซึ่งจะช่วยให้การรับน้ำหนักแผ่นดินไหว การปกคลุมด้วย Neoprene จะป้องกันแผ่นเหล็กแต่ชั้นบนของตะกั่วจะถูกเปิดบางส่วน ดังแสดงในรูป 4.12



รูปที่ 4.12 Lead Isolation Bearing

4.4 การตรวจสอบ Bearing

การตรวจสอบ Bearing ขั้นแรกผู้ตรวจสอบต้องพิจารณาว่าแผ่นรองเป็นแบบยึดหมุนหรือแบบเคลื่อนตัวได้ ถ้า Bearing ถูกออกแบบให้รองรับการเคลื่อนตัวจาก Superstructure ได้แสดงว่าเป็น Bearing แบบเคลื่อนตัว ถ้าไม่ได้แสดงว่าเป็น Bearing แบบยึดหมุน ถ้าเป็นไปได้ผู้ตรวจสอบควรจะอ้างอิงกับแบบก่อสร้าง ซึ่งจะช่วยให้ผู้ตรวจสอบสามารถประเมินสภาพของ Bearing แบบเคลื่อนตัวได้ง่ายขึ้น

Bearing จะต้องเหมาะสมกับฐานรองรับและควรให้มีระยะห่างมากพอระหว่างขอบของ Masonry Plate กับขอบของฐานรองรับ (คอม่อริมน้ำ หรือ คอม่อกลางน้ำ) การสูญเสียพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนฐานรองรับมักจะอยู่ใกล้กับ Bearing

Bearing มีอยู่หลายชนิด ซึ่งสามารถทำการตรวจสอบได้โดยการแบ่งการตรวจสอบออกเป็น 2 ประเภท ตามวัสดุที่ใช้ทำ Bearing ได้แก่

1. Bearing แบบโลหะ (Metal Bearing)
2. Bearing แบบยืดหด (Elastomeric Bearings)

การตรวจสอบ Bearing โลหะ (Inspection of Metal Bearings)

รายการตรวจสอบ Bearing เหล็กโดยทั่วไป เช่น การเกิดการกัดกร่อนโดยทั่วไปจะเหมือนโครงสร้างเหล็ก “Frozen Bearing” จะเกิดในที่ซึ่งแผ่นเหล็กเสื่อมสภาพ และเกิดการสะสมของฝุ่นละอองจนหล่อหุ้ม Bearing จนทำให้แผ่นเหล็กไม่สามารถเคลื่อนตัวได้อย่างอิสระสิ่งที่แสดงว่าเกิด “Frozen Bearing” ได้แก่ ชิ้นส่วนแอ่นหรือการแตกร้าวบริเวณรองรับ Bearing

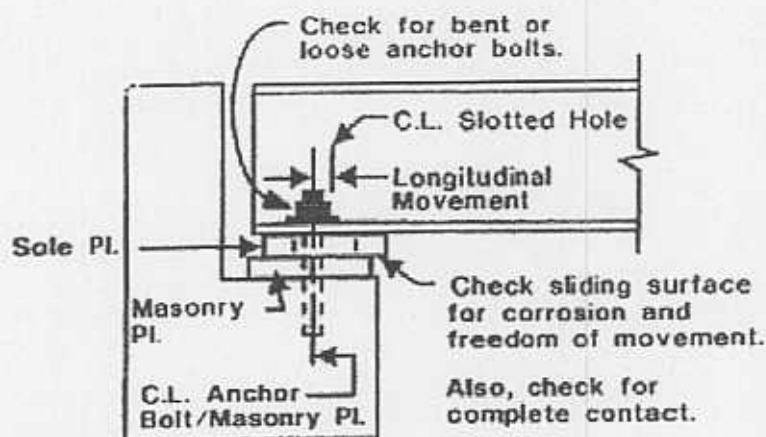
Bearing ควรจะมีการวางแนวที่เหมาะสมและผิวหน้าของ Bearing ควรสะอาดและสัมผัสเต็มพื้นที่กับส่วนอื่นๆ ถ้าสัมผัสไม่เต็มจะทำให้เกิดความเสียหายได้กับ Bearing , Superstructure, Substructure ความเสียหายนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ Superstructure เคลื่อนตัวตามแนวราบเพราะ Sole Plate จะวางอยู่บน Masonry Plate เท่านั้น น้ำหนักทั้งหมดของ Superstructure จะกระทำกับพื้นที่เล็กๆบน Substructure ผลจากการกระทำนี้จะทำให้เกิดหน่วยแรงสูงขึ้นเป็นเหตุให้เกิดการแตกหักที่บริเวณที่รองรับสะพาน (Bridge Seat) การกระจายแรงที่ไม่ดีจะทำให้เกิดการงอที่ส่วนเอวของคาน

แผ่นรอง (Masonry Plate และ Sole Plate) ไม่ควรหลอม ความหลอมของ Bearing สังเกตได้จากเสียงรบกวนบริเวณ Bearing หรือโดยการใช้สายคาบดูการเคลื่อนตัวของ Bearing เมื่อสะพานรับน้ำหนักจร

พิจารณาการแตกหักหรือแตกร้าวของรอยเชื่อมและการสูญเสียของตัวยึด (Fasteners) bearing และ สลักรับแรงเฉือนด้านข้าง (Lateral Shear Keys)

Bearing แบบโลหะเลื่อน (Sliding Plate Bearings)

แผ่นเหล็ก Sole Plate และ Masonry Plate ของ Bearing จะเกิดการเคลื่อนตัว ฉะนั้นการตรวจสอบสามารถวัดหามิติต่างๆ ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.13



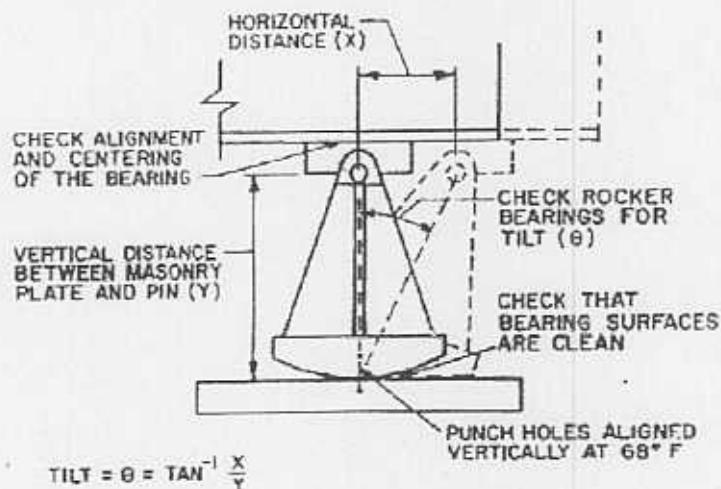
รูปที่ 4.13 รายการการตรวจสอบ Bearing แบบแผ่นเหล็กเลื่อน (Sliding Plate Bearing)

Bearing แบบลูกกลิ้ง (Roller Bearings)

การตรวจสอบจะคล้ายกับ Bearing แบบแผ่นโลหะเลื่อน ซึ่งชิ้นส่วนลูกกลิ้งควรจะอยู่ตรงกลางของ Masonry Plate ที่ออกแบบเป็น Erection Temperature (เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อมีการยืดหรือหดเนื่องจากอุณหภูมิหรือ Secondary Load)

Bearing แบบโยก (Rocker Bearings)

Bearing แบบโยก บางครั้งมีการทำสัญลักษณ์บนตัวโยก (Rocker) และ Masonry Plate ถ้าไม่มีการขีดหรือหัดตัวสัญลักษณ์เหล่านี้จะตั้งฉากกันพอดี ขนาดของการเคลื่อนตัวสามารถหาได้จากการวัดระยะห่างบน Masonry Plate ระหว่างสัญลักษณ์ทั้งสอง รายการตรวจสอบดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 รายการตรวจสอบ Bearing แบบ Rocker

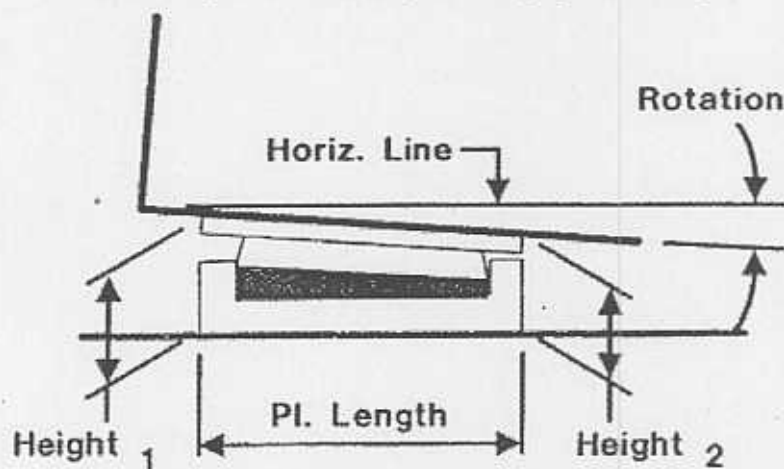
Bearing แบบหมุดและลิงค์ (Pin and Link Bearings)

ให้พิจารณาขนาดของการกักกร่อน และความสามารถของจุดต่อที่จะเคลื่อนอย่างอิสระเป็นจุดที่สำคัญ โดยเฉพาะช่วงแขวนของสะพาน (Suspended Span Bridge) ขนาดของการกักกร่อนบนหมุดและส่วนภายในของลิงค์ไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยตาเปล่า

Pot Bearings

การเคลื่อนตัวตามยาวถูกวัดได้ในลักษณะเดียวกันกับ Bearing แบบโลหะเลื่อน ถ้า Pot Bearing ขอมให้มีการเคลื่อนตัวในสองทิศทางผู้ตรวจสอบควรจะดูการเคลื่อนตัวตามแนวขวางด้วย และวัดการหมุนถ้าเห็นว่ามันหมุนมากกว่าปกติ ปกติแผ่นเหล็กด้านบนและด้านล่างของ Pot Bearing จะออกแบบให้ขนานกันถ้าไม่เกิดการหมุน เราสามารถวัดการหมุนได้ดังสมการ (ดูรูปที่ 4.15 ประกอบ)

$$\text{Rotation (Degree)} = \tan^{-1} [(Height_1 - Height_2) / \text{Plate Length}]$$



รูปที่ 4.15 มุมของการหมุนของ Pot Bearing

เนื่องจาก Pot Bearing ขอมให้มีการเคลื่อนตัวได้ในหลายทิศทางผู้ตรวจสอบจึงควรตรวจสอบการหมุนจากทั้งสองด้านของ Bearing

Bearing แบบยึดรั้ง (Restraining Bearings)

การตรวจสอบ Bearing แบบยึดรั้งจะคล้ายคลึงกับ Pin and Link Bearing ในสถานะของ ชิ้นส่วนรับแรงดึง เช่น hanger Plates, Eyebars และ Anchor Rods/bolt รวมทั้ง Pin ซึ่งเป็นชิ้นส่วนสำคัญ ควรตรวจสอบสภาพเสื่อมและความไม่ตรงแนวหรือข้อบกพร่องอื่นๆ

การตรวจสอบ Bearing แบบยืดหด (Inspection of Elastomeric Bearings)

การตรวจสอบ Bearing แบบยืดหยุ่นจะเป็นอะไรที่ง่ายกว่าการตรวจสอบ Bearing แบบเหล็กที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้เนื่องจากมีชิ้นส่วนที่ต้องตรวจสอบน้อยกว่า อย่างไรก็ตามความเสียหายของ Bearing แบบยืดหดจะยากต่อการตรวจพบชิ้นส่วนที่เหมือนกันระหว่าง Metal Bearing และ Elastomeric Bearings เช่น Sole Plate, Masonry Plate และสลักยึด ได้อธิบายไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ของบทนี้แล้ว ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงชิ้นส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้องกับ Elastomeric Bearings เท่านั้น

Neoprene Bearing

Bearing Neoprene ควรถูกตรวจสอบการปูดบวมที่เกินปกติ ซึ่งจะเป็นการบ่งชี้ว่า Bearing นี้รับหน่วยแรงแบกทานสูงเกินไป

Bearing ควรถูกตรวจสอบการแตกออกเป็นชิ้นๆหรือไหลซึม การผลิตที่ไม่เหมาะสมบางครั้งเป็นสาเหตุของความเสียหายใน Neoprene และ Interior Steel Shims ซึ่งถูกยึดเข้าไว้ด้วยกัน ควรทำการตรวจสอบความหนาของแผ่นซึ่งมีผลต่อการหมุนของ Bearing

แผ่นรองควรจะถูกตรวจสอบการยุบขึ้นที่ Masonry Plate การยุบขึ้นนี้แสดงถึงความ Stress ที่แผ่นรองได้รับ ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่ปกติและโดยปกติจะแสดงถึงปัญหาของการออกแบบหรือปัญหาการผลิต Bearing ถ้าปล่อยให้เป็นอย่างนี้ต่อไปในที่สุดแผ่นรองจะเสียหายเนื่องจากแรงเฉือน แผ่นรองยุบขึ้นมานี้จะ ไม่เป็นปัญหากับ Laminated Bearings

การหมุนบน Bearing Neoprene ถูกวัดได้ในลักษณะเดียวกับ Pot Bearing (รูปที่ 4.15) ถ้าไม่เกิดการหมุน ด้านบนและด้านล่างของ Pad จะขนานกัน ผู้ตรวจสอบควรจะวัดความยาวของแผ่นรองและความสูงของแผ่นรองที่ด้านหน้าและด้านหลังของ Bearing สมการที่เสนอในเรื่อง Pot Bearing นั้น สามารถใช้คำนวณกับ Neoprene Bearing ได้

Isolation Bearings

จะคล้ายกับแผ่นรอง Neoprene Bearing โดย Bearing ชนิดนี้ประกอบด้วยยางและแผ่นเหล็กบางๆและมีแกนตะกั่ว (Lead Core) ถูกอัดแน่นในรูตรงกลางเพื่อเพิ่มความแข็ง

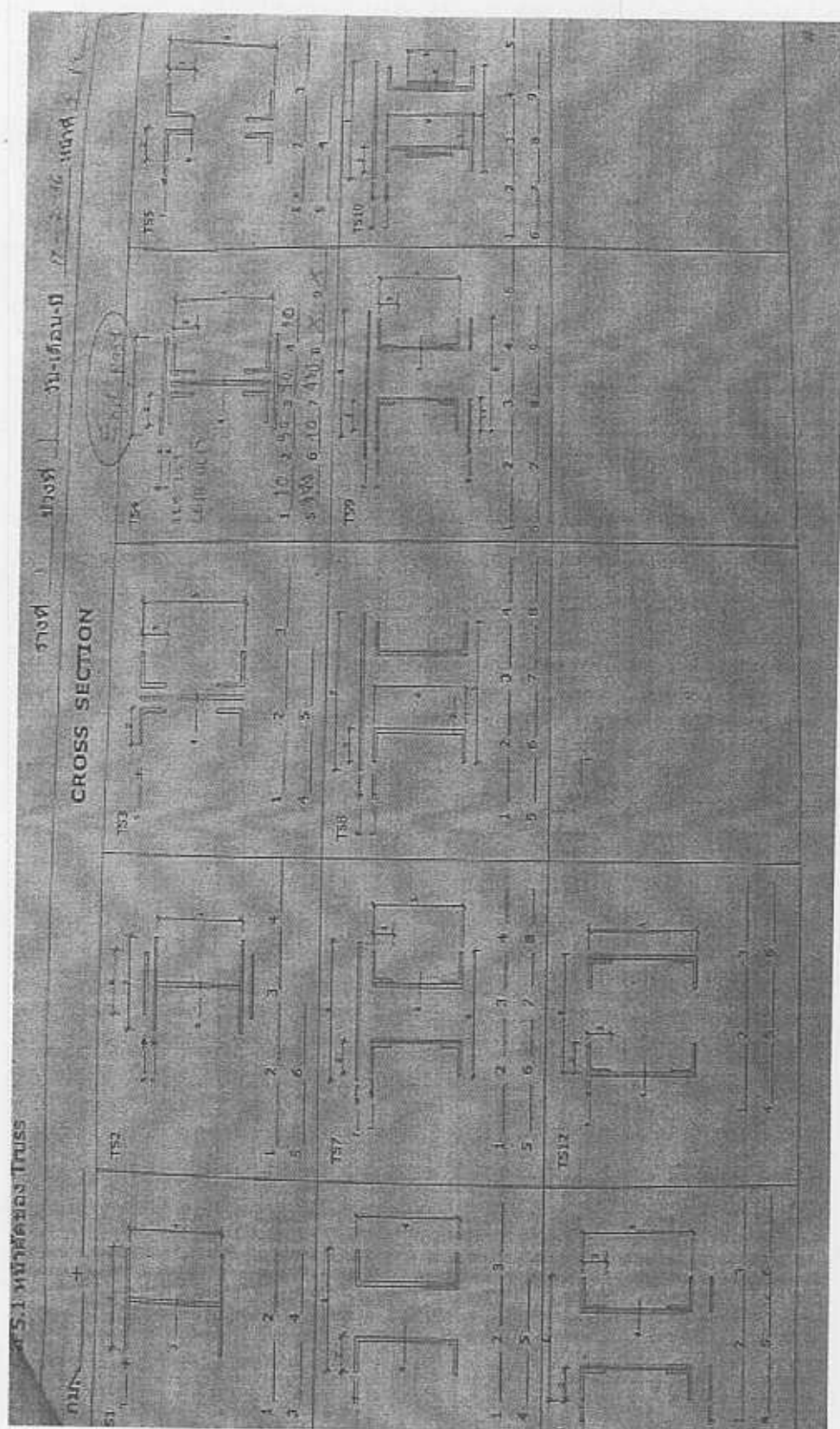
การตรวจสอบรายการของ Isolation Bearings มีใจความสำคัญคล้ายกับการตรวจสอบ plain หรือ Laminated Neoprene Bearings ชิ้นส่วนที่แตกต่างกันก็คือแกนตะกั่ว (Lead Core) และเหล็กเคียว ซึ่งทั้งสองอย่างนี้จะอยู่ภายในไม่สามารถทำการตรวจสอบได้

ตารางที่ 4.1 รายการตรวจสอบ Bearing

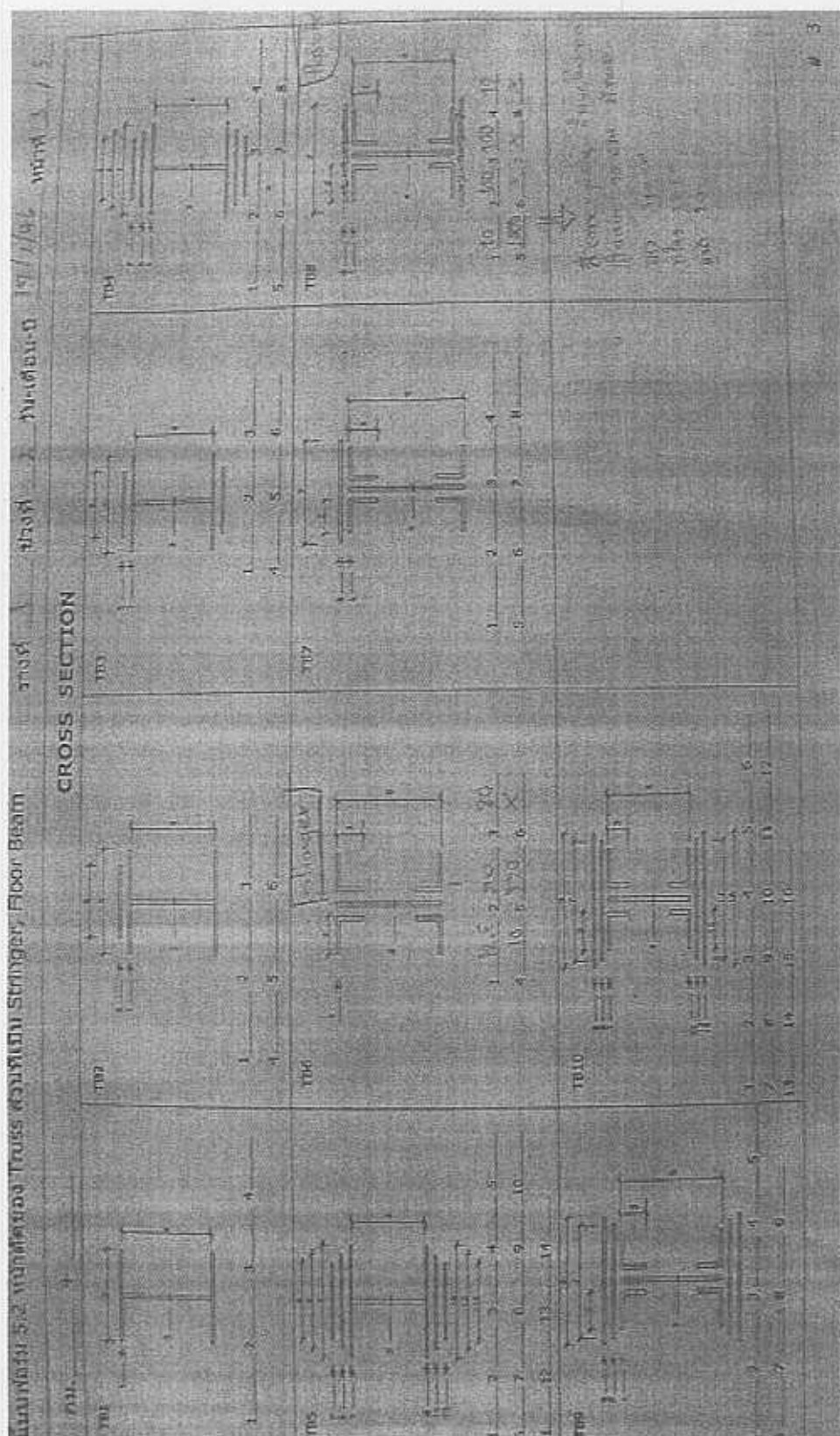
ชนิดของ Bearing	รายการตรวจสอบ
Bearing แบบยึด-หัดตัว	<ol style="list-style-type: none"> 1. ความเสียหายในส่วนที่สำคัญของ Bearing การแตกร้าว การบุบยุบ การแตกออกเป็นชั้น และการไหลซึม 2. ความเสียหายของฐานรอง การแตกร้าวและการหลุดร่วนของปูนฐานรอง 3. ความเสียหายของสลักยึด การกัดกร่อน 4. การรวมตัวของสิ่งสกปรกและฝุ่นละออง
Bearing แบบโลหะเหล็ก	<ol style="list-style-type: none"> 1. ความเสียหายในส่วนที่สำคัญของ Bearing การสึกกร่อน และการแตกร้าว 2. ความเสียหายต่อฐานรอง <ul style="list-style-type: none"> - การแตกร้าวและหลุดร่วนของปูนฐานรอง - ความเสียหายต่อวัสดุป้องกันแผ่นเหล็ก 3. ความเสียหายของสลักยึด การกัดกร่อนและการหลุดหาย 4. การรวมตัวของสิ่งสกปรกและฝุ่นละออง

4.5 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึง ชนิดและหน้าที่ของ Bearing ชิ้นส่วนของ Bearing ชนิดต่างๆ หลักการทำงานของ Bearing และการตรวจสอบ Bearing ได้แก่ Bearing แบบยึดหัดตัว Bearing แบบโลหะ เป็นต้น ในบทต่อไปจะกล่าวถึง การใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear ซึ่งเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องแก่ การใช้โปรแกรมเพื่อนำไปสร้างแบบจำลองของสะพานรถไฟ และวิเคราะห์หาผลต่างๆ ที่ต้องการ



รูปที่ 3.13 แบบฟอร์มที่ 5.1 หน้าตัดชิ้นส่วนต่างๆของสะพาน



3.4 การวัดมิติของชิ้นส่วนต่างๆของสะพาน

ในกรณี ที่ไม่มีแบบสะพานหรือรายการแบบที่มีอยู่ขาดความสมบูรณ์ไม่สามารถหาได้จากแบบที่มีอยู่ จึงต้องมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจวัดมิติของชิ้นส่วนต่างๆของสะพานตามในสภาพปัจจุบันเพื่อใช้ทบทวนความถูกต้องของแบบสะพาน รวมทั้งยังสามารถนำข้อมูลต่างๆเหล่านั้นไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างของสะพานนั้นๆ การตรวจวัดมิติของชิ้นส่วนต่างๆสะพานสามารถทำได้ดังนี้

- วัดขนาดช่วงประสิทธิผล (Effective Span) ของสะพาน ถ้าเป็นสะพานที่มี Stiffener หรือ Shoes ก็สามารวัดได้โดยง่าย คือ ถี้อหารระยะระหว่าง Rivet ของ Stiffener (กรณี Angle เดี่ยว) และระยะระหว่างศูนย์กลางของ Shoes ตามลำดับ แต่ถ้าเป็นสะพานที่ไม่มีสิ่งดังกล่าวแล้วให้ถี้อหารระยะระหว่าง Center ถึง Center ของ Sole Plate
- วัดความยาวตลอด (Overall Length) ของสะพาน โดยวัดความยาวตลอด Main Girder หรือ Main Truss
- วัดจากจุดกึ่งกลางถึงจุดกึ่งกลางของ Main Girder
- วัดจากจุดกึ่งกลางถึงจุดกึ่งกลางของ Floor Beam
- วัดจากจุดกึ่งกลางถึงจุดกึ่งกลางของ Stinger
- วัดความสูงของ Girder กรณีของ Built up Section ก็ี้อหารระยะจากหลังถึงหลังของ Upper และ Lower Flange Angle
- วัดขนาดของหน้าตัด Main Members ได้แก่หน้าตัดของ Main Girder, Floor Beam และ Stinger เป็นต้น โดยกรอกข้อมูลลงในแบบฟอร์มของขนาดหน้าตัด # 1 ถึง # 5 (ตามชนิดของสะพาน)

การวัดขนาดความยาวของแต่ละชิ้นส่วนที่กล่าวไว้ข้างต้น ให้ผู้สำรวจทำการบันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์ม 2.1 ถึง 2.6 และแบบฟอร์ม 3.1 ถึง 3.2 (ตามชนิดของสะพาน)

ข้อมูลมิติของหน้าตัดของ Truss Member ใช้แบบฟอร์ม 5.1 และข้อมูลมิติของหน้าตัดของ Stringer, Floor Beam หรือ Main Girder ใช้แบบฟอร์ม 5.2

3.5 การสรุปผลการตรวจสอบในแต่ละวัน

หลังจากทำการตรวจสอบเสร็จสิ้นภารกิจในแต่ละวัน จะต้องบันทึกข้อมูลต่างๆจากแบบฟอร์มและรวมถึงรูปภาพต่างๆที่ได้ทำการสำรวจไปแล้วลงในคอมพิวเตอร์

3.6 อุปกรณ์ในการตรวจสอบสะพาน

ในการที่จะให้การตรวจสอบมีความถูกต้องและครอบคลุมรายละเอียดได้ครบถ้วน นั้นจะต้องใช้เครื่องมืออย่างเหมาะสมและได้มาตรฐาน ดังรายการต่อไปนี้

อุปกรณ์สำหรับทำความสะอาด

- แปรงลวด- ใช้ขัดชิ้นส่วนที่เป็นโลหะเพื่อกำจัดเกล็ดสนิมและสิ่งที่หลุดลอก
- แปรงปัดฝุ่น-ใช้สำหรับปัดฝุ่นบริเวณรอยต่อ
- เครื่องมือลอก (Scraper) – ใช้ลอกสนิมหรือส่วนที่ปูดออกมาจากชิ้นส่วนต่างๆ
- ไขควงปากแบน-ใช้ทำความสะอาดและตรวจทั่วไป

อุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบ

- ก้อนด้ามยาว – ใช้เคาะฟังเสียงเนื้อคอนกรีตและยังใช้เคาะเพื่อตรวจว่าตัวยึด (Fasteners) มีการหลอมหรือถูกเงื่อนไขหรือไม่
- ไฟฉาย-ใช้ส่องเมื่อต้องการตรวจสอบในที่มืด
- กระจก-ใช้ตรวจในบริเวณที่ไม่สามารถเข้าไปตรวจสอบได้ เช่น ข้างใต้ท้อง Girder และ Floor Beam

อุปกรณ์สำหรับวัด

- เทปวัดขนาดเล็ก (ยาว 6 ฟุต) – ใช้วัดขนาด รอยชำรุดต่างๆ และ ใช้วัดขนาดชิ้นส่วน และ รอยต่อต่างๆ
- เทป 100 ฟุต – ใช้วัดขนาดของช่วงสะพาน และระยะต่างๆที่ยาวกว่า 6 ฟุต
- ก้ามวัด (Calipers) – ใช้วัดมิติของหน้าตัดต่างๆ
- เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermometer) – ใช้วัดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมขณะวัดและวัดอุณหภูมิของโครงสร้างส่วนบน
- เครื่องพิกัด (Global Positioning System) – ใช้วัดพิกัดที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของตัวสะพาน

อุปกรณ์สำหรับจัดทำเอกสารและเก็บข้อมูล

- แบบฟอร์มการตรวจสอบ กระดานรอง ดินสอขนาด 2B และยางลบ
- สมุดสนาม – ใช้บันทึกข้อมูลเพิ่มเติม จากโครงสร้างที่มีความซับซ้อนกว่าปกติ

3.7 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึง หลักการตรวจสอบสะพาน การกำหนดทิศทางและลำดับโครงสร้าง สะพานในการตรวจสอบ การกำหนดหมายเลขลำดับชิ้นส่วนของสะพาน หลักการประเมินความเสียหาย ชื่อชิ้นส่วนและตัวย่อที่ใช้ การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างสะพานหลักและ สะพานคอนกรีตโดย Overall Condition Rating การบันทึกความเสียหายและหลักการกรอกแบบฟอร์ม การวัดมิติของชิ้นส่วนต่างๆของสะพาน และอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบสะพาน ในบทต่อไปจะกล่าวถึง ชนิดและการตรวจสอบ Bearing ชนิดต่างๆ

- ในกรณีที่ Deck Plate Girder (ถานประกอบขนาดใหญ่) ให้ตรวจที่รอยต่อต่างๆระหว่าง Web และ Flange (อาจประกอบด้วย Angle 4 ตัว) ว่ามีรอยแตกหรือไม่ โดยเฉพาะที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงสะพาน
- ตรวจรอยแตกบริเวณรอยเชื่อมระหว่าง Stiffener และ Main Girder

Stinger (ตรวจอย่างละเอียด)

- ตรวจความเสียหายในตำแหน่งต่างๆเหมือนกับ Main Girder
- ตรวจที่จุดต่อกับ Floor Beam ว่ามีความเสียหายหรือไม่ โดยเฉพาะความหลวมของ Rivet และรอยแตก

Floor Beam (ตรวจอย่างละเอียด)

- ตรวจความเสียหายต่างๆที่ Web บริเวณใกล้จุดต่อกับ Main Girder ว่ามีการสูญเสียหน้าตัดเนื่องจากการผุกร่อน หรือมีการคองอ (Bulking) หรือไม่

Lateral Bracing

- ตรวจการผุกร่อน ความหลวม/การสูญเสียของ Rivet และรอยแตกในบริเวณรอยต่อระหว่าง Bracing และ Main Girder
- ตรวจการเสียรูปต่างๆ

3.2.2 สะพาน Truss

จะต้องทำการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆของสะพาน Truss ในทุกตำแหน่งว่ามีความเสียหายเกิดขึ้นหรือไม่ โดยเฉพาะในบริเวณที่รับน้ำหนักหลัก (Critical Stress Area) ของชิ้นส่วนต่างๆ (Main Truss, Stinger และ Floor Beam) ซึ่งได้แก่

- End Post
- Upper Cord และ Lower Cord (ที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงสะพาน)
- Diagonal Cord (บริเวณใกล้ฐานรองสะพาน)
- Vertical Member (บริเวณใกล้ฐานรองสะพาน)
- Flange บนและล่างที่กึ่งกลางของ Stinger และ Floor Beam ที่ทำการตรวจ
- รอยต่อ (Connection) ระหว่างชิ้นส่วน

*** จะต้องตรวจสอบชิ้นส่วนเหล่านี้้อย่างละเอียด 100% โดยที่ผู้ตรวจสอบจะต้องอยู่ห่างจากชิ้นส่วนภายในระยะ 0.5 เมตร โดยเรียงลำดับชิ้นส่วนต่างๆที่ต้องทำการตรวจสอบดังต่อไปนี้

Main Truss (ตรวจอย่างละเอียด)

- ตรวจสอบความเสียหายต่างๆในชิ้นส่วนของ Truss
- ตรวจสอบบริเวณ Gusset Plate ว่ามีรอยแตก การผุกร่อน หรือความหลวมของ Rivet
- ตรวจสอบการวางตัว (Alignment) ของชิ้นส่วนของ Truss ว่าเป็นแนวเส้นตรงหรือไม่
- ตรวจสอบการแอ่นตัว (Deflection) ที่ตำแหน่งช่วงกึ่งกลางสะพาน
- Stinger, Floor Beam และ Top และ Bottom Bracings ให้ตรวจเหมือนในกรณี Through Plate Girder

3.2.3 สะพาน Deck Girder และ Deck Plate Girder

ตรวจเหมือนกับสะพาน Through Plate Girder ยกเว้นไม่มี Stinger และ Floor Beam

3.2.4 สะพาน Steel Slab

ตรวจ Main Girder เหมือนกับในกรณีของสะพาน Through Plate Girder เพียงแต่ตรวจความเสียหายของกระเบื้องเหล็กแทน Floor Beam, Stinger และ Bracing

3.2.5 สะพาน Reinforced Concrete

จะต้องทำการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ของสะพานในทุกตำแหน่งว่ามีความเสียหายเกิดขึ้นหรือไม่ โดยเฉพาะในบริเวณที่รับน้ำหนักหลัก (Critical Stress Area) ได้แก่ พื้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงสะพาน ตรวจได้ทั้งพื้น สำหรับ Flexural Cracking ที่บริเวณใกล้ฐานรองสะพาน ตรวจพื้น สำหรับ Shear Cracking ที่ค่อมบริเวณเหนือฐานรองสะพาน ตรวจพื้น สำหรับ Bearing Cracking ตรวจตำแหน่งอื่นๆบนพื้น สำหรับ Spalling, Reinforcing Steel Corrosion และ Efflorescence ตรวจการแอ่นตัว (Deflection) ที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงสะพาน

3.2.6 สะพาน Prestressed Concrete

ตรวจเหมือนกับสะพาน Reinforced Concrete แต่ต้องทำการตรวจหารอยแตกอย่างละเอียดเนื่องจากว่ากำลังของ Prestressed Concrete จะขึ้นอยู่กับแรงดึงในเส้นลวด (Prestressing Steel) ซึ่งถ้าเกิดรอยแตกจะทำให้แรงดึงใน Prestressing Steel ลดลง

ให้สังเกตหารอยร้าวของสนิม และขี้เกลือที่ผิวของคอนกรีตด้วย เพราะจะเป็นเครื่องหมายบ่งบอกถึงความเสียหายใน Prestressing Steel

3.2.7 สะพาน Composite

ตรวจเหมือนกับสะพาน Reinforced Concrete ในส่วนของพื้น (Slab) และตรวจเหมือนกับสะพาน Through Plate Girder ในส่วนของ Main Girder

ข้อควรปฏิบัติเพิ่มเติมในการตรวจสอบสะพาน

- ตรวจสอบบริเวณที่สีลอกออกเป็นแผ่น (Paint Flaking) ซึ่งจะบ่งบอกถึงการรับน้ำหนักเกินพิกัดที่ได้ออกแบบไว้ (Overstressed)
- เนื่องจากในบริเวณที่มีขยะจะมีโอกาสที่จะเกิดการผุกร่อนมากที่สุด ดังนั้นจึงต้องทำความสะอาดในบริเวณนั้นก่อนที่จะทำการตรวจสอบ
- พยายามฟังเสียงและสังเกต การสั่น (Vibration) ของสะพานเมื่อมีรถไฟผ่าน

การกำหนดทิศทางและลำดับของโครงสร้างสะพานในการตรวจสอบ

การจัดระบบในการเรียกตำแหน่งชิ้นส่วนต่างๆ ในโครงสร้างของสะพานและลำดับในการตรวจสอบ กล่าวคือต้องกำหนดจุดเริ่มต้นของการตรวจสอบที่ริมฝั่งใดฝั่งหนึ่งของสะพาน โดยที่ผู้ตรวจสอบจะเริ่มการตรวจสอบจากจุดเริ่มต้นแล้วทำการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ของสะพานตามลำดับโดยเริ่มจาก

- i. Main Girder หรือ Main Truss ทั้งทางซ้ายและขวา
- ii. Top Bracing ในกรณีของสะพาน Through Truss
- iii. Stinger ทั้งสองคว่ำที่ใช้รองรับ

iv. Floor Beam และ Bottom Bracing ที่เหลือทั้งหมด
โดยที่จุดสิ้นสุดของการตรวจสอบจะอยู่ที่ฝั่งตรงกันข้ามกับจุดเริ่มต้นของสะพาน

การกำหนดหมายเลขลำดับชิ้นส่วนของสะพาน

ในการกำหนดหมายเลขของช่วงสะพาน จะเรียงจากจุดเริ่มต้นของสะพาน โดยจะกำหนดช่วงสะพานที่จุดเริ่มต้นเป็นช่วงที่ 1 และเรียงต่อไปตามลำดับ จากนั้นในหนึ่งช่วงของสะพานให้กำหนดจุดต่อระหว่าง Main Girder, Floor Beam และ Stinger โดยที่จุดต่อต่างๆที่อยู่ทางด้านซ้ายของเส้นกึ่งกลางของสะพาน (Center Line) จะถูกกำหนดให้มีหมายเลข เช่น L0, L1, L2, ... และจุดต่อต่างๆที่อยู่ทางด้านขวาของเส้นกึ่งกลางของสะพานจะถูกกำหนดให้มีหมายเลข เช่น R0, R1, R2,...

สำหรับในกรณีของสะพาน Through Truss นั้นจะมีการกำหนดหมายเลขของจุดต่อของโครง Truss คล้ายๆกับจุดต่อต่างๆของพื้นสะพาน โดยจะเริ่มจากจุดต่อของคอร์ดล่างด้านซ้าย (Left Lower Chord) และ คอร์ดบนด้านซ้าย (Left Upper Chord) เป็นหมายเลข LL0, LL1, LL2,... และ UL0, UL1, UL2,... คอร์ดล่างด้านขวา (Right Lower Chord) และ คอร์ดบนด้านขวา (Right Upper Chord) เป็นหมายเลข LR0, LR1, LR2... และ UR0, UR1, UR2,...

การกำหนดหมายเลขโครงสร้างส่วนล่าง โดยจะเรียงลำดับค่อม่อริมจากฝั่งกรุงเทพฯเป็นตัวที่ 1 และค่อม่อกลางนำตัวต่อมาเป็นตัวที่ 2, 3,... ตามลำดับ

หลักการประเมินความเสียหาย (Damage Evaluation Principle)

ในระหว่างการตรวจสอบ ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องอธิบายถึงรายละเอียดและประเมินระดับของรอยชำรุดเสียหายด้วยตัวเลข หรือ Condition Rating (CR) ตลอดจนบันทึกข้อมูลเหล่านี้ลงในแบบฟอร์มโดยมีรายละเอียด ดังนี้

- ให้ออกชนิด และตำแหน่งของชิ้นส่วนที่เกิดรอยชำรุดเสียหาย โดยใช้ระบบตัวย่อดังแสดงใน ตารางที่ 3.1
- ในกรณีของโครงสร้างหลัก การประเมินจะแบ่งออกเป็น 2 ระดับ กล่าว คือ
 - ก) ประเมินระดับของรอยชำรุดเสียหายเฉพาะ ตำแหน่งบนชิ้นส่วนโครงสร้าง ดังแสดงในตารางที่ 3.2
 - ข) เมื่อเสร็จการตรวจสอบทั้งสะพาน ให้รวบรวมข้อมูลใน ข้อ ก) ของชิ้นส่วนต่างๆ แล้วประเมินสภาพโดยรวม (Overall Evaluation) ของโครงสร้างโดยใช้ตารางที่ 3.3
- ถ่ายภาพของชิ้นส่วนที่ชำรุดเสียหายอย่างน้อย 2 ภาพ คือ รอยชำรุด ซึ่งจะทำให้การถ่ายในมุมกว้าง 1 ภาพ (บ่งบอกให้ทราบถึงว่ากำลังถ่ายชิ้นส่วนอะไรอยู่) และเน้นเฉพาะที่ชำรุดเสียหายอีก 1 ภาพ หนึ่งจะต้องใช้ชอล์กสีขาวทำเครื่องหมายบอกถึงตำแหน่งและชนิดชิ้นส่วนนั้นๆ ก่อนทำการถ่ายภาพเสมอ

ตารางที่ 3.1 ตารางชื่อชิ้นส่วนและตัวย่อที่ใช้

ในการเรียกชื่อชิ้นส่วน จะใช้ระบบตัวอย่างในตารางที่ 3.1 ดังต่อไปนี้

ชิ้นส่วน	ตัวย่อ
Main Girder	MG
Stinger1, Stinger2,...	S1,S2,...
Floor Beam1, Floor Beam2,...	FB1, FB2,...
Lower Cord	LC
Diagonal Cord	DC
Vertical Cord	VC
Bearing	B

สำหรับตำแหน่งให้ยึดถือตามแบบฟอร์มการตรวจสอบสะพาน 2.1 ถึง 2.6

ตารางที่ 3.2 การประเมินสภาพเฉพาะตำแหน่งความเสียหายบนชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก

CR	สภาพของเฉพาะตำแหน่งบนชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก
9	สภาพดีเยี่ยม เหมือนใหม่
8	สภาพดีมาก เกิดความเสียหายเพียงเล็กน้อยที่ไม่จำเป็นต้องบันทึก
7	สภาพดี มีสนิมที่ผิวแผ่นหน้าตัดไม่ทะลุ, หมดอายุมีสภาพแน่นแต่มีรอยสนิม, มีรอยแตกแต่ชิ้นส่วนไม่ขาดจากกัน, มีการเสีรูปของหน้าตัดเล็กน้อย เช่น การบิ่น
6	สภาพค่อนข้างดี มีรอยแตกกว้าง < 1.60 มม. และยาว < 5% * ของหน้าตัดทั้งหมด, มีรอยผุกร่อนเล็กน้อยและมีการสูญเสียหน้าตัด < 5%** จำนวนหมดอายุหุลวมหรือหุลด 5 – 10 % มีการเสีรูปเฉพาะ Web
5	สภาพปานกลาง มีความกว้างรอยแตกอยู่ระหว่าง 1.60 ถึง 3.20 มม. และยาว < 5 – 10% ของหน้าตัดทั้งหมด, มีรอยผุกร่อนและมีการสูญเสียหน้าตัด 5- 10% จำนวนหมดอายุหุลวมหรือหุลด 5-10 % มีการเสีรูปเฉพาะ Flange
4	สภาพที่แย่ มีความกว้างรอยแตกอยู่ระหว่าง 3.20 ถึง 4.72 มม. และยาว < 5-10% ของหน้าตัดทั้งหมด , มีรอยผุกร่อนมีมากและมีการสูญเสียหน้าตัด 10 -25% , จำนวนหมดอายุหุลวมหรือหุลด 10 -25%, มีการเสีรูป ที่ Flange และ Web
3	สภาพเสียหายอย่างรุนแรง มีความกว้าง รอยแตก > 4.70 มม. และยาว 25 -45% ของหน้าตัดทั้งหมด, มีรอยผุกร่อนที่มากและมีการสูญเสียหน้าตัด 25-45%, จำนวนหมดอายุหุลวมหรือหุลด 25 – 45%, มีการเสีรูปที่ Flange และ Web พร้อมกับการคดงอของชิ้นส่วน < 5 องศา
2	สภาพวิกฤต ความกว้างรอยแตก > 4.70 มม. และยาว > 45% ของหน้าตัดทั้งหมด, มีรอยผุกร่อนและมีการสูญเสียหน้าตัด > 45% , จำนวนหมดอายุหุลวมหรือหุลด > 45%, มีการเสีรูปที่ Flange และ Web พร้อมกับการคดงอของชิ้นส่วน 5-20 องศา
1	สภาพใกล้จะวิบัติ ชิ้นส่วนเกือบขาดออกจากกัน, รอยผุกร่อนทำให้ชิ้นส่วนทะลุสูญเสียหน้าตัดเกือบทั้งหมด, หมดอายุหายไปหลายตัว, การเสีรูปของหน้าตัดทั้งหมดและคดงอมากกว่า 20 องศา
0	สภาพวิบัติ
N/A	ไม่สามารถเข้าไปตรวจสอบได้

* หมายถึง ความยาวของรอยแตก เมื่อเทียบกับความลึกของหน้าตัดทั้งหมดที่ออกแบบ

** หมายถึง การสูญเสียพื้นที่หน้าตัด เมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดที่ออกแบบ

***หมายถึง จำนวนหมดอายุหุลวมหรือหุลด เมื่อเทียบกับจำนวนหมดอายุที่ออกแบบ

ตารางที่ 3.3 การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างสะพานหลักโดย Overall Condition Rating

CR	สภาพของโครงสร้างสะพานหลักโดยรวม
9	สภาพดีเยี่ยม เหมือนใหม่
8	สภาพดีมาก เกิดความเสียหายกับ โครงสร้างเพียงเล็กน้อยที่ไม่จำเป็นต้องบันทึก
7	สภาพดี เกิดความเสียหายที่สามารถสังเกตได้แต่น้อย เช่น สันนิที่ผิว และ ไม่มีรอยแตก
6	สภาพที่น่าพอใจ มีความเสียหายเช่น สะเก็ดสนิม การผุกร่อนในบริเวณที่ไม่ได้รับน้ำหนักหลัก(Non – Critical Stress Area) ไม่กระทบต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างโดยรวม
5	สภาพปานกลาง มีความเสียหายน้อยกว่า 10% ในบริเวณที่รับน้ำหนักหลัก(Critical Stress Area) บน Main Girder หรือ Truss แต่ Bracing (หรือ Secondary Member) อาจจะมีการชำรุดมาก ไม่มีผลกระทบต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างโดยรวมและยังใช้งานได้ปกติ
4	สภาพที่แย่ มีความเสียหายประมาณ 10-25% ในบริเวณที่รับน้ำหนักหลัก หากปล่อยทิ้งไว้ จะเกิดความเสียหายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งกระทบต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างโดยรวม ต้องทำการซ่อมแซมเฉพาะที่หรือถ้าขั้นนี้จะใช้งานได้อย่างปกติ
3	สภาพเสียหายอย่างรุนแรง มีความเสียหายประมาณ 25% ในบริเวณที่รับน้ำหนักหลักควร ต้องมีการค้ำยัน และทำการเฝ้าติดตามพฤติกรรมอย่างใกล้ชิดจนกระทั่งได้รับการปรับปรุง
2	สภาพวิกฤต ความเสียหายมากกว่า 45% ในบริเวณที่รับน้ำหนักหลักหลายแห่ง การใช้งาน ไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ควรทำการปรับปรุงโดยด่วน
1	สภาพใกล้จะวิบัติ มีความเสียหายมากกว่า 45% ในบริเวณที่รับน้ำหนักหลักหลายแห่ง มีการ วิบัติเฉพาะแห่ง จะต้องหยุดการเดินรถและทำการปรับปรุงโดยด่วน
0	สภาพวิบัติ ไม่สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ ต้องทำการเปลี่ยนสะพานใหม่
N/A	ไม่สามารถเข้าไปตรวจสอบได้

บริเวณที่รับน้ำหนักหลัก (Critical Stress Area) ของสะพานแต่ละชนิดได้ถูกกล่าวไว้ในหัวข้อ หลักการตรวจสอบสะพาน

ตารางที่ 3.4 การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างสะพานคอนกรีต

การตรวจสอบคอนกรีตจะใช้หลักการเดียวกันกับในกรณีของเหล็ก โดยให้บันทึกข้อมูลของรอยแตกทุกรอยและการหลุดล่อน ที่สามารถมองเห็นได้ ชนิด ขนาด ความยาว และตำแหน่งที่ตั้งของรอยแตกนั้นๆ รวมทั้งการเกิดสนิมของเหล็กเสริม และการเกิดเชื้อเกลือ ค่า OCR ของโครงสร้างคอนกรีตจะแสดงได้ดังต่อไปนี้

OCR	สภาพของโครงสร้างคอนกรีตโดยรวม
9	สภาพดีเยี่ยม เหมือนใหม่
8	สภาพดีมาก เกิดความเสียหายกับ โครงสร้างเพียงเล็กน้อยที่ไม่จำเป็นต้องบันทึก
7	สภาพดี เกิดความเสียหายที่สามารถสังเกตได้แต่น้อย เช่น รอยแตก ขนาดเส้นผม (Hairline Crack) และไม่มี Spalling
6	สภาพที่น่าพอใจ มีความกว้างของรอยแตกน้อยกว่า 0.5 มม. และมีความเสียหายน้อยกว่า 20% บนแผ่นพื้น มีรอยแตกทุกๆระยะประมาณ 1.5 เมตร และเกิด Spalling ประมาณ 2% ไม่กระทบต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างโดยรวม
5	สภาพปานกลาง ความกว้างของรอยแตกอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 มม. และมีความเสียหาย 20 – 40% บนพื้นเกิด Spalling ประมาณ 2-5% ไม่มีผลกระทบต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างโดยรวมและยังใช้งานได้อย่างปกติ
4	สภาพที่แย่ ความกว้างของรอยแตกอยู่ระหว่าง 1.0 ถึง 2.5 มม. และมีความเสียหายประมาณ 40-60% เกิด Spalling มากกว่า 5% หากปล่อยทิ้งไว้จะเกิดความเสียหายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งกระทบต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างโดยรวม ต้องทำการซ่อมแซมเฉพาะที่หรือค้ำยัน จึงจะใช้งานได้อย่างปกติ
3	สภาพเสียหายอย่างรุนแรง ความกว้างของรอยแตกกว้างอยู่ระหว่าง 2.5 ถึง 5 มม. มีความเสียหายมากกว่า 60% ในบริเวณที่รับน้ำหนักหลัก ควรต้องมีการค้ำยัน และทำการเฝ้าติดตามพฤติกรรมอย่างใกล้ชิดจนกระทั่งได้รับการปรับปรุง
2	สภาพวิกฤต ความกว้างของรอยแตกกว้างมากกว่า 5 มม. และการใช้งานไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ควรทำการปรับปรุงโดยด่วน
1	สภาพใกล้จะวิบัติ ความกว้างของรอยแตกกว้างมากกว่า 5 มม. มีความเสียหาย มีการวิบัติเฉพาะแห่ง จะต้องหยุดการเดินรถและทำการปรับปรุงโดยด่วน
0	สภาพวิบัติ ไม่สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ ต้องทำการเปลี่ยนสะพานใหม่
N/A	ไม่สามารถเข้าไปตรวจสอบได้

3.3 การบันทึกความเสียหายและหลักการกรอกแบบฟอร์ม

แบบฟอร์มที่ใช้ในการบันทึกความเสียหายประกอบไปด้วย 5 แบบฟอร์มหลัก ดังนี้

แบบฟอร์มที่ 1

เป็นข้อมูลทั่วไปของสะพาน ประกอบไปด้วย ข้อมูลพื้นฐานทั่วไป ข้อมูลรูปร่างสะพาน ข้อมูลทิมสำรวจ ข้อมูลลำน้ำ ข้อมูลทางเทคนิค ข้อมูลการบำรุงรักษาและปรับปรุง และข้อคิดเห็น และรายละเอียดของภาพถ่ายของสะพาน

แบบฟอร์มที่ 2

เป็นข้อมูลการตรวจสอบความเสียหายของ Steel Superstructure ซึ่งจะประกอบไปด้วย แบบฟอร์มแม่ 1 แบบฟอร์ม คือ แบบฟอร์ม 2: ข้อมูลการตรวจสอบ Steel Superstructure และแบบฟอร์มลูกประกอบไปด้วย 6 แบบฟอร์ม คือ แบบฟอร์มที่ 2.1 ถึงแบบฟอร์มที่ 2.6 แบบฟอร์มทั้ง 2 ชนิดใช้สำหรับตรวจสอบสะพานเหล็กภายใน 1 ช่วง (Span) เช่น TT, TP, FH, DP, DT และ SS

การกรอกข้อมูลลงในแบบฟอร์มแม่ จะกระทำดังนี้

- กรอกชื่อชิ้นส่วนของสะพาน
- การกรอกตำแหน่งในช่วงสะพานที่เกิดความเสียหายโดยดูจาก ตัวเลขบอกตำแหน่งในแบบฟอร์มลูก พร้อมทั้งวาดภาพตำแหน่งความเสียหายนี้ลงในแบบฟอร์มลูก
- ให้หาค่า CR ของแต่ละตำแหน่งของความเสียหาย
- ภายหลังจากนั้นจะเป็นการประเมิน สภาพโดยรวมของชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน ใน 1 ช่วงโดยการให้ค่า OCR ซึ่งจะวงกลมเลขในแบบฟอร์มลูก
- กรอกตำแหน่งบนหน้าตัดว่าเป็น Web หรือ Flange ที่เกิดความเสียหาย ลงในช่องข้อสังเกต

แบบฟอร์มที่ 3

เป็นข้อมูลการตรวจสอบความเสียหายของ Concrete Superstructure ซึ่งจะประกอบด้วย แบบฟอร์มแม่ 1 คือ แบบฟอร์ม 3 : ข้อมูลการตรวจสอบ Concrete Superstructure และแบบฟอร์มลูกประกอบไปด้วย 2 แบบฟอร์ม คือ แบบฟอร์มที่ 3.1 และแบบฟอร์มที่ 3.2 แบบฟอร์มทั้ง 2 ชนิดใช้ตรวจสอบสะพานคอนกรีตภายใน 1 ช่วง (Span) เช่น PC และ RS

การกรอกข้อมูลลงในแบบฟอร์มแม่ จะเป็นการกรอกข้อมูลของชิ้นส่วนและตำแหน่งที่เกิดความเสียหายของแต่ละตำแหน่ง หลังจากนั้นจะเป็นการประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างโดยการให้ค่า OCR ส่วนการกรอกข้อมูลลงในแบบฟอร์มลูกจะเป็นการวาดภาพตำแหน่งที่เกิดความเสียหายและบันทึกข้อมูลที่สังเกตพบเห็นเป็นพิเศษข้อมูลการตรวจสอบ Concrete Superstructure

ประกอบไปด้วยรายการที่สำคัญ เช่นเดียวกับแบบฟอร์ม 2 แต่จะไม่มีค่า Rating ในแต่ละตำแหน่งเหมือนแบบฟอร์ม 2

แบบฟอร์มที่ 3.1 และ 3.2 เป็นแบบฟอร์มที่ใช้สำหรับวาดภาพรูปความเสียหายที่สำคัญของโครงสร้างในแต่ละตำแหน่ง

แบบฟอร์ม 4

เป็นข้อมูลการตรวจสอบความเสียหายของ Substructure จะมีเพียง 1 แบบฟอร์ม ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลความชำรุดเสียหายของตอม่อทั้งหมดของสะพานแต่ละแห่ง ในที่นี้หมายถึงตอม่อริมน้ำ (Abutment) หรือ ตอม่อกลางน้ำ (Pier)

แบบฟอร์ม 5

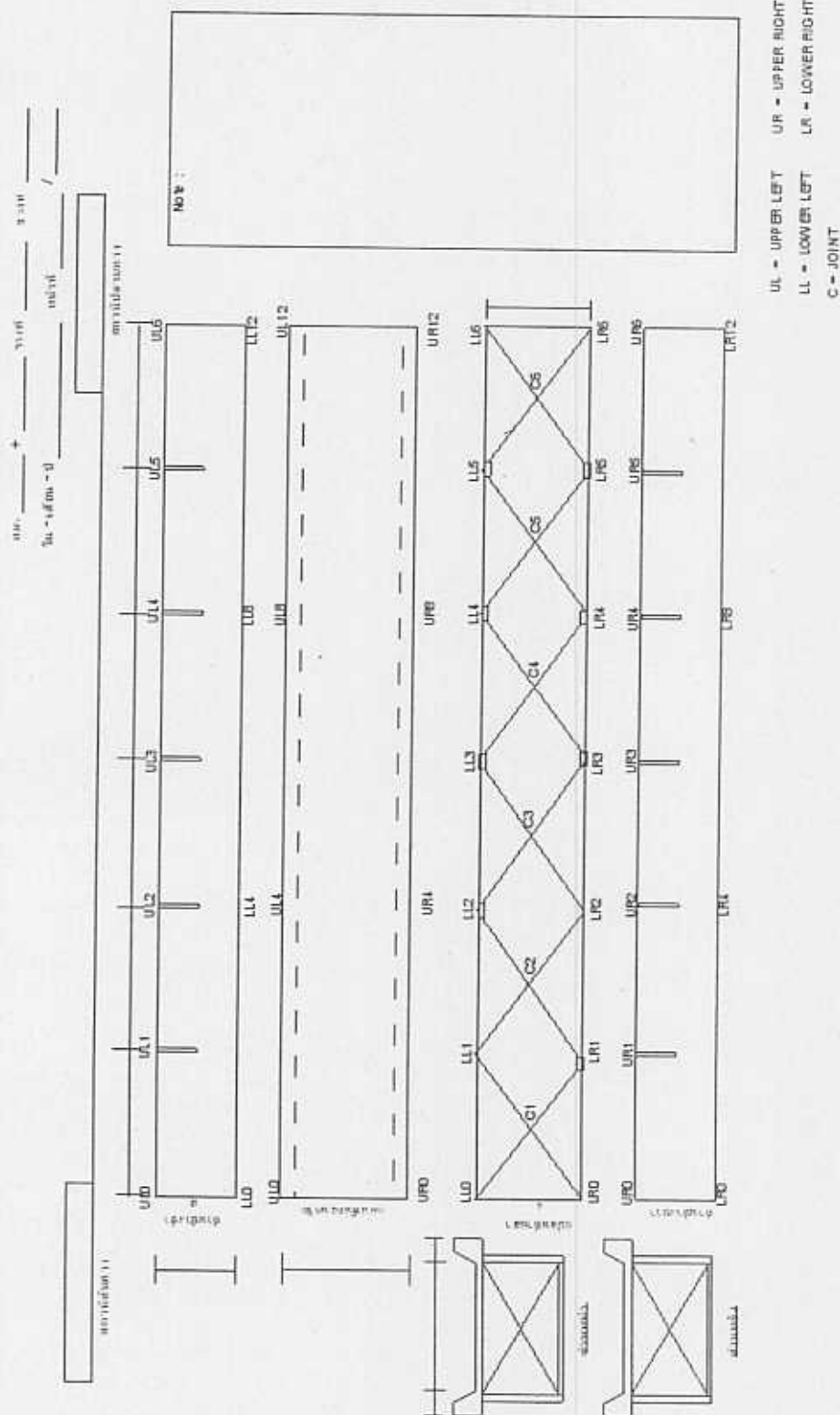
เป็นข้อมูลมิติของหน้าตัดของ Truss Member (5.1) และข้อมูลมิติขอบหน้าตัดของ Stinger, Floor Beam หรือ Main Girder (5.2)

ดังนั้นถ้าสะพานที่ทำการตรวจสอบสะพานหลักที่มีจำนวน 3 ช่วงสะพาน แบบฟอร์มจะประกอบด้วยแบบฟอร์ม 1 จำนวน 1 ชุด แบบฟอร์ม 2 จำนวน 3 ชุด แบบฟอร์ม 4 จำนวน 1 ชุด ส่วนแบบฟอร์มการตรวจสอบสะพานชนิด CB และ VD จะไม่ได้กล่าวถึงเนื่องจากว่าสะพานชนิดดังกล่าวมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับสะพานทั้งหมดตลอดจนมีโครงสร้างที่ซับซ้อน ซึ่งจะต้องมีการออกแบบการตรวจสอบเป็นพิเศษต่อไป

แบบฟอร์ม 1: ข้อมูลทั่วไปของสะพาน										สายทาง.....กท.บป.....	พื้นที่.....ช่องจำนวนทั้งหมด..... หน้า
ข้อมูลพื้นฐานทั่วไป										ข้อมูลเสริม	
1 ชื่อสะพาน		9 จังหวัด		1 วัน-เดือน-ปี	ข้อมูลเสริม					1 นำหนักจร	
2 หมายเลขสะพาน		# พิกัด (GPS) Lat:		2 เวลาเริ่ม-เสร็จ						2 จำนวนราง	
3 รหัสกม.	+			3 หมายเลขทีม						3 ความเร็วรถไฟ	
4 ถ้ามีอะไร	ข้อ			ความสูง						6 ผลัดเมื่อ	
5 ระหว่างสถานี	ถึง			# คู่มือประเภท						5 เลขที่แบบ	
6 น.ค.ท.										6 ประเภทผู้เดิน	
7 แนวทางรางทาง										7 ขอบคูน้ำ	
8 เขตบำรุงทาง											
ข้อมูลทั่วไปทั้งหมด										ข้อมูลเสริม	
จากสถานี										1 ระยะบำรุงรักษา	
										2 วิธีการปรับปรุง	
										3 ปรับปรุงเมื่อ	
1 จำนวนตัว										ข้อมูลเสริม	
2 เลขที่ช่วง											
3 ชนิดแต่ละช่วง											
4 แต่ละช่วงยาว											
5 ชนิดของทางมี											
6 ชนิดของ Shoe											
7 ดาฟถ่ายคันข้างแสงสะพานทั้งหมดและกะม่อ	จำนวนดาฟจาก F111 ข้อถึง F112 ข้อ										
8 ดาฟถ่ายจากคอสะพานแสงสะพานทั้งหมด	จำนวนดาฟจาก F111 ข้อถึง F112 ข้อ										
9 ดาฟถ่ายแสงสะพานแตรถ่ายรอบสะพาน	จำนวนดาฟจาก F111 ข้อถึง F112 ข้อ										
# ดาฟถ่ายอื่นๆ	จำนวนดาฟจาก F111 ข้อถึง F112 ข้อ									รวมจำนวนดาฟทั้งหมด ... ดาฟ	

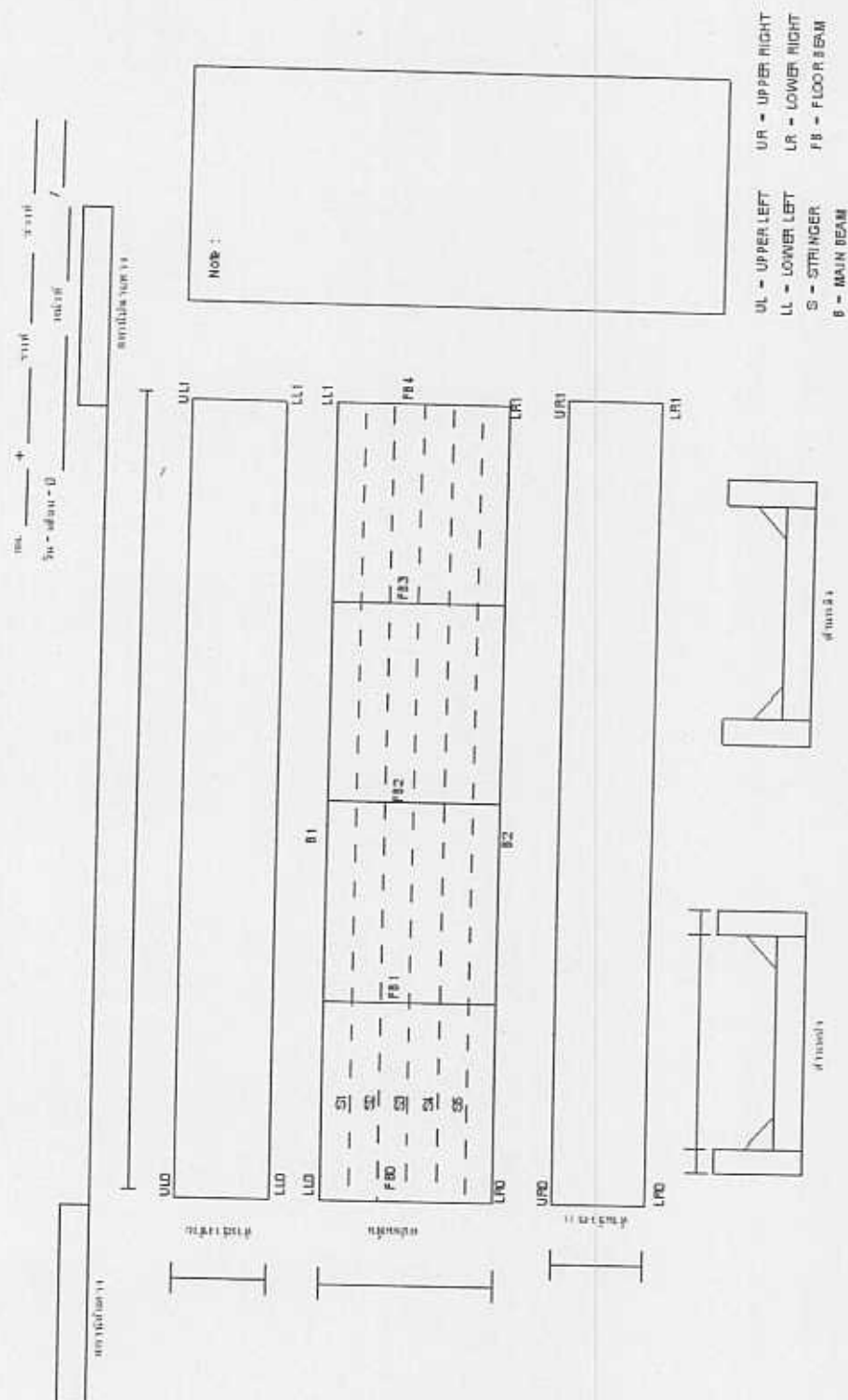
รูปที่ 3.1 แบบฟอร์มที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของสะพาน

แบบฟอร์ม 2.5 รูปจำลองของสะพานชนิด Composite



รูปที่ 3.7 แบบฟอร์มที่ 2.5 รูปจำลองสะพาน Composite

แบบฟอร์ม 2.6 รูปจำลองของสะพานชนิด Steel Slab

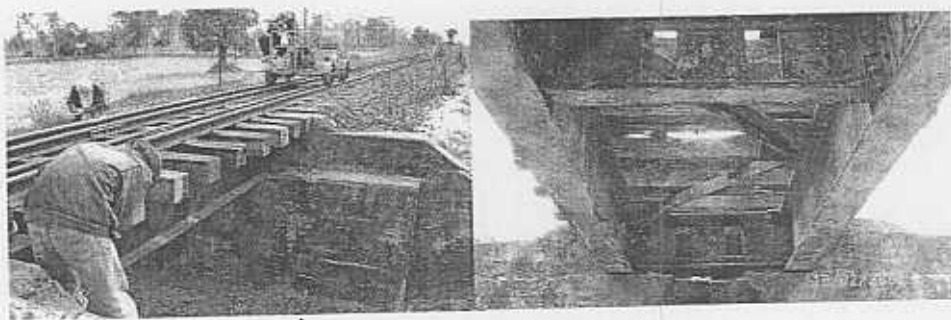


รูปที่ 3.8 แบบฟอร์มที่ 2.6 รูปจำลองสะพาน Steel Slab

2.2 ชนิดของสะพานรถไฟ

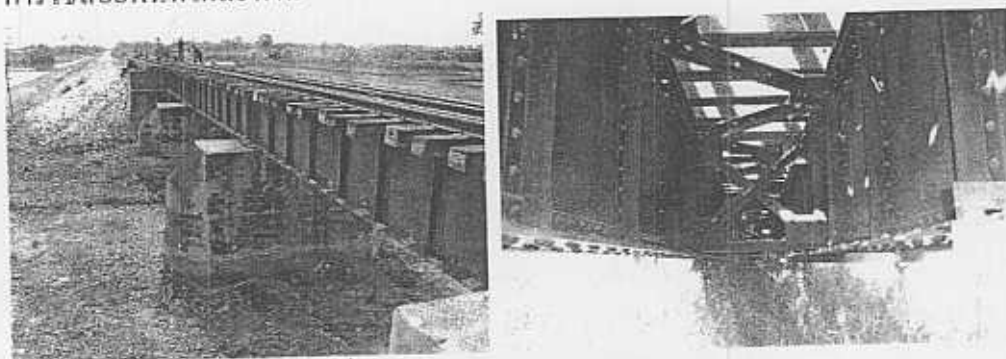
จากรูปที่ 2.1 พบว่า ในประเทศไทยมีสะพานรถไฟอยู่ 13 แบบ หรือ 13 ชนิด อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์ วางแผนปรับปรุง ความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานในรถไฟสายเหนือ สายตะวันออกเฉียงเหนือ และสายตะวันออก ให้รับน้ำหนักคดเพลามาตรฐาน B.20 นั้น จะไม่พิจารณาสะพานไม้และ สะพานบวราง โดยมีรายละเอียดของสะพานแต่ละชนิดดังนี้

- สะพาน Deck Girder (DG) เป็นสะพานช่วงสั้นขนาดตั้งแต่ 2.50 – 6.00 เมตร ใช้ Girder ซึ่งเป็นเหล็กรูปพรรณรีดร้อน (Hot-Rolled steel) หน้าตัดรูปตัว I รองรับน้ำหนักโดยตรงจากรถไฟแล้วถ่ายลงสู่จานรองสะพาน (Bearing) และตอม่อ (Pier หรือ Abutment) ส่วนมากใช้ข้ามลำห้วยเล็ก ๆ



รูปที่ 2.2 สะพาน Deck Girder (DG)

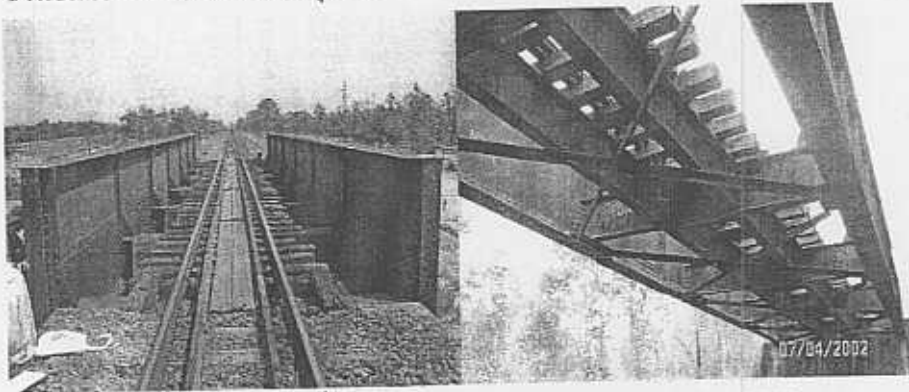
- สะพาน Deck Plate Girder (DP) มีขนาดช่วงตั้งแต่ 6-20 เมตร สะพานชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายกับสะพาน DG แต่ใช้ Plate Girder หรือคานประกอบรองรับน้ำหนักโดยตรงจากรถไฟ เหมาะสำหรับข้ามลำห้วยเล็ก ๆ เพราะสามารถหย่อน Plate Girder ให้ต่ำลงไปได้โดยไม่กีดขวางการใช้สอยพื้นที่ใต้สะพาน



รูปที่ 2.3 สะพาน Deck Plate Girder (DP)

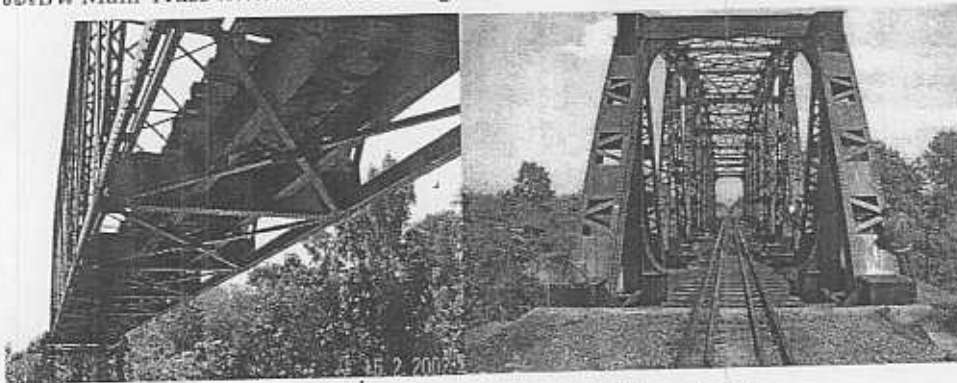
- สะพาน Through Plate Girder (TP) เหมาะกับสถานที่ที่มีท้องคลองดินไม่สามารถสร้างเป็นสะพานแบบ Deck Plate Girder ได้ โครงสร้างสะพานจะมีความยุ่งยากกว่าสะพานแบบ DP

กล่าวคือตัว Main Girder จะถูกยกขึ้นมาในระดับเดียวกับรางรถไฟและพื้นสะพานจะประกอบไปด้วย Stingers รองรับน้ำหนักโดยตรงจากรถไฟแล้วจาก Stingers น้ำหนักจะถูกถ่ายลงไปสู่ Floor Beams แล้วลงไปสู่ Main Plate Girder และจาก Main Plate Girder จะส่งสู่จานรองสะพาน และต่อม่อันที่ สุด สะพานแบบ Through Plate Girder ขนาดช่วงจะยาวประมาณ 10-25 เมตร ซึ่งนิยมใช้มากในทางรถไฟทุกสาย



รูปที่ 2.4 สะพาน Through Plate Girder (TP)

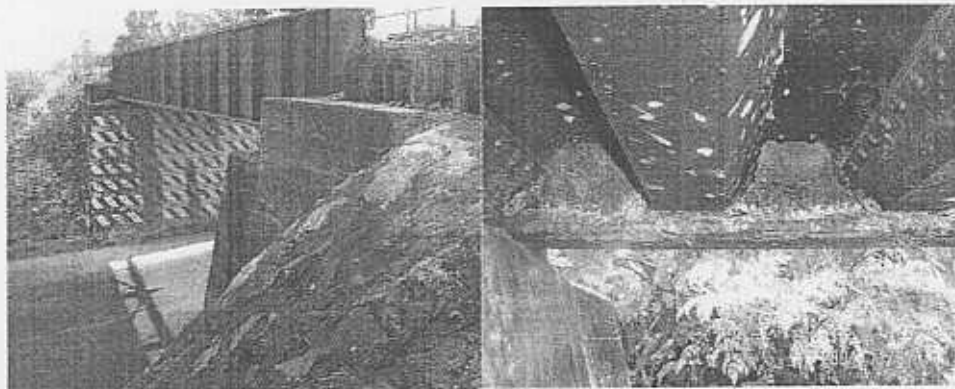
- สะพาน Through Truss (TT) จะมีขนาดช่วงตั้งแต่ 25-90 เมตร ซึ่งจะใช้ข้ามลำน้ำที่มีขนาดใหญ่ สะพานชนิดนี้จะมีลักษณะพื้นสะพานแบบเดียวกับสะพานชนิด Through Plate Girder แต่จะเป็น Main Truss แทนที่จะเป็น Main girder ในการถ่ายน้ำหนักลงสู่จานรองสะพาน



รูปที่ 2.5 สะพาน Through Truss (TT)

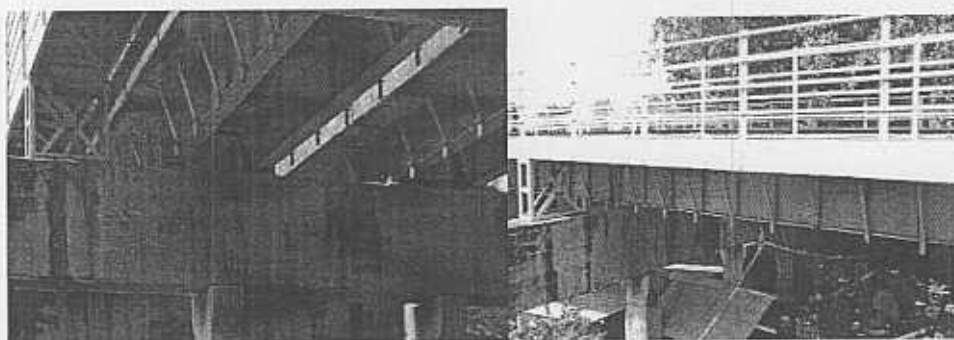
- สะพาน Deck Truss (DT) สะพานชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายกับสะพาน TT แต่ตัว Main Truss จะอยู่ระดับต่ำกว่าสันรางและพื้นราง และพื้นสะพาน เหมาะสำหรับการใช้สร้างข้ามลำห้วยหรือหุบเขาที่มีขนาดกว้างและลึก

- สะพาน Steel Slab (SS) เป็นสะพานแบบที่เหมาะสมสำหรับสร้างข้ามถนนรถยนต์ที่อยู่ในบริเวณเมืองเพราะสามารถลดเสียงรบกวนลงได้บ้างเนื่องจากมีหินโรยทางบนสะพาน นอกจากนี้ยังป้องกันมิให้สิ่งของตกลงจากสะพานลงไปโดนยานพาหนะที่สัญจรไปมาอยู่ได้ สะพานอีกด้วย



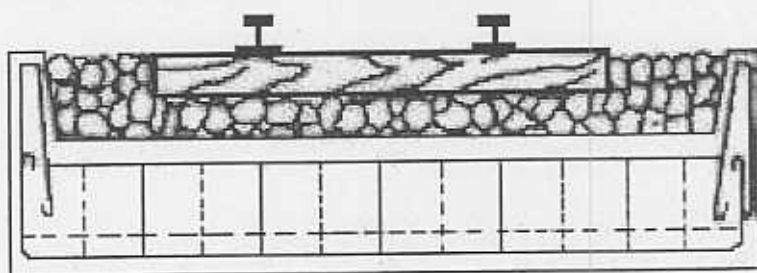
รูปที่ 2.6 สะพาน Steel Slab (SS)

- สะพาน Composite (CB) คือสะพานที่ Main Girder ประกอบด้วย Plate Girder ทำหน้าที่เป็น Web และปีกล่าง (Bottom Flange) ส่วนปีกบน (Top Flange) เป็นพื้นคอนกรีต (Concrete Slab) โดยทั้งสองส่วนนี้ถูกยึดติดกันด้วยสลักที่เรียกว่า “Shear Connector”



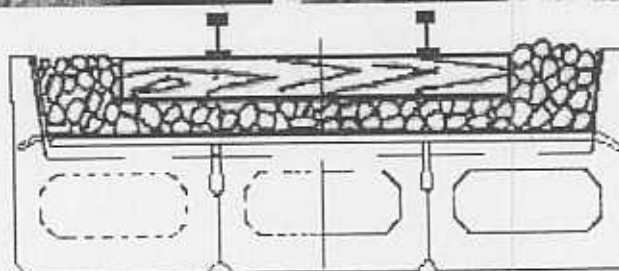
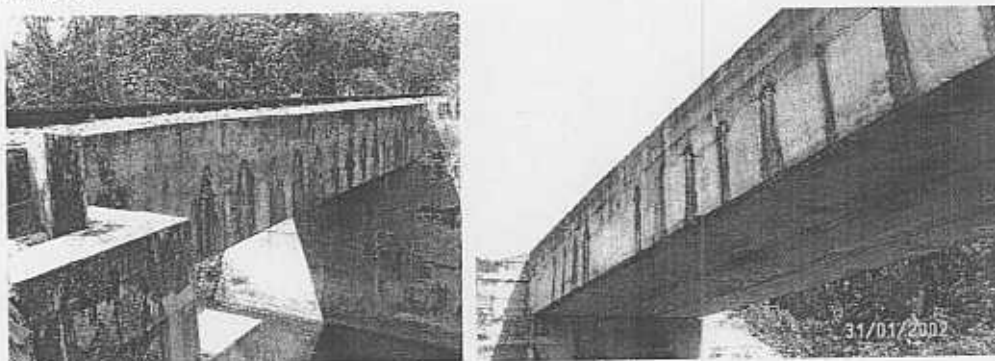
รูปที่ 2.7 สะพาน Composite (CB)

- สะพาน Reinforced Concrete Slab (RS) เป็นสะพานแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีขอบกันหินรองรับทั้ง 4 ด้าน วางพาดหัวท้ายลงบนตอม่อคอนกรีต รองรับทางรถไฟมีขนาดช่วงตั้งแต่ 3-6 เมตร



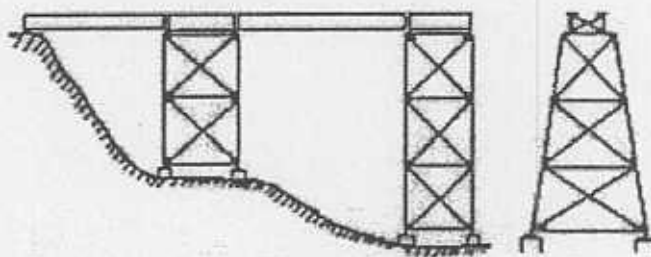
รูปที่ 2.8 สะพาน Reinforced Concrete Slab (RS)

- สะพาน Prestressed Concrete Slab (PC) มีลักษณะคล้ายกับสะพาน RS แต่พื้นของสะพานเป็นคอนกรีตอัดแรงแทน ปัจจุบันมีขนาดช่วงตั้งแต่ 8-15 เมตร มีมากในทางรถไฟสายตะวันออก



รูปที่ 2.9 สะพาน Prestressed Concrete Slab (PC)

- สะพาน Viaduct (VD) เป็นสะพานที่เหมาะสมกับภูมิประเทศที่เป็นเหวหรือหุบเขาที่กว้างและลึกตั้งอยู่ในทางสายเหนือจากลำปางถึงเชียงใหม่



รูปที่ 2.10 สะพาน Viaduct (VD)

2.3 ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของสะพานและหน้าที่

ชิ้นส่วนต่าง ๆ ในสะพานรถไฟโดยทั่วไปจะสามารถจำแนกได้ดังนี้

- ชิ้นส่วนโครงสร้างส่วนบน (Superstructure) จะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่อยู่เหนือค่อม่อขึ้นไป อาทิเช่น Floor Beam, Main Girder, Stringers, Truss Member, Bearing และ Bracing เป็นต้น โดยที่ชิ้นส่วนเหล่านี้จะทำหน้าที่รับน้ำหนักโดยตรงจากรถไฟและถ่ายเทน้ำหนักลงสู่โครงสร้างส่วนล่างต่อไป
- ชิ้นส่วนโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) จะอยู่ใต้ Bracing ทำหน้าที่ถ่ายเทน้ำหนักจาก Superstructure ลงสู่ฐานรากซึ่งประกอบไปด้วย Pier หรือ Abutment เป็นต้น จากรูปที่ 2.11-2.18 พบว่าโดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งชิ้นส่วนต่าง ๆ ออกได้เป็น 43 ชิ้นส่วนด้วยกันดังนี้ (ดูรูปประกอบ)

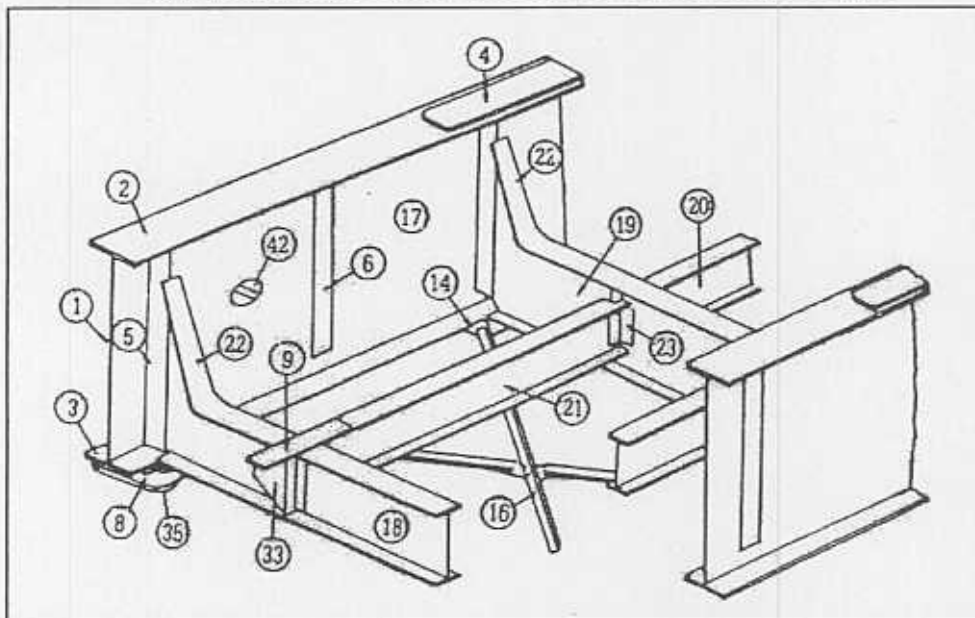
1. แผ่นเหล็กเวบ (Web Plate) คือส่วนประกอบที่เป็นเวบของคานาประธาน มีหน้าที่ต้านแรงเฉือน (Shearing Force)
2. ปีกบน (Upper Flange) คือส่วนประกอบที่เป็นปีกบนของคานาประธานมีหน้าที่ต้านทานแรงดัดอัด (Compressive Bending Moment)
3. ปีกล่าง (Lower Flange) คือส่วนประกอบที่เป็นปีกล่างของคานาประธาน มีหน้าที่ต้านแรงดัดดึง (Tensile Bending Moment)
4. แผ่นเหล็กทับหลังปีก (Cover Plate) กรณีที่ต้องการให้ปีกของคานาประธานแข็งแรงยิ่งขึ้นเพื่อให้ต้านทานแรงดัดได้สูงขึ้นอีก ก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มแผ่นเหล็กทับลงบนแผ่นเหล็กปีก (Flange Plate) แผ่นเหล็กที่วางทับลงไปนี้เรียกว่า "Cover Plate" มีมากที่สุดไม่เกิน 3 แผ่น

5. เหล็กฉากกันแผ่นเหล็กคดงอตัวริม (End Stiffener) คือเหล็กฉากประกับที่ปลายสุดของแผ่นเหล็กเอวของคานาประธาน มีหน้าที่ป้องกันมิให้แผ่นเหล็กเอวคดงอ (Web Shear Buckling)
6. เหล็กฉากกันแผ่นเหล็กเอวคดงอตัวใน (Intermediate Stiffener) คือเหล็กฉากประกับส่วนในของแผ่นเหล็กเอวป้องกันมิให้แผ่นเหล็กเอวคดงอ
7. เหล็กแผ่นประกับรอยต่อ (Splice Plate) เมื่อต้องการต่อ Member ท่อนเดียวให้ยาวขึ้นโดยทั่วไปจะต่อโดยการประกับแผ่นเหล็กลงบนรอยต่อแล้วยึด Member ให้เป็นท่อนเดียวกันโดย Rivet หรือสลักเกลียวแรงสูงแผ่นเหล็กที่ประกับรอยต่อนี้เรียกว่า “เหล็กแผ่นประกับรอยต่อ (Splice Plate)” Splice Plate จะใช้ด้านเดียวหรือสองด้านก็ได้
8. แผ่นเหล็กรองดินสะพาน (Sole Plate) เพื่อให้การถ่ายน้ำหนักจากคานาประธานลงสู่จานรองได้สะพานได้กระจายเท่า ๆ กัน จึงใส่แผ่นเหล็กหนา ๆ ที่ระหว่างที่ได้คานาประธานกับจานรองสะพาน แผ่นเหล็กอันนี้เรียกว่า “แผ่นเหล็กรองดินสะพาน (Sole Plate)”
9. แผ่นเหล็กรับโมเมนต์ดัด (Moment Plate) เป็นแผ่นเหล็กที่รอยต่อ มีหน้าที่รับแรงดัด (Bending Moment)
10. แขนงแนงขวางริม (End Strut) เป็นส่วนประกอบหนึ่งของแขนงแนงตั้งริม กรณีที่ไม่มีแขนงแนงตั้งริม แขนงแนงขวางริมก็เป็นชิ้นส่วนอิสระอันหนึ่งมีหน้าที่ยึดตรึงคานาประธานเข้าด้วยกัน
11. แขนงแนงขวางใน (Intermediate Strut) เป็นส่วนประกอบตัวหนึ่งของแขนงแนงตัวใน กรณีไม่มีแขนงแนงตัวใน แขนงแนงขวางในก็เป็นชิ้นส่วนอันหนึ่งที่อิสระ มีหน้าที่ยึดตรึงคานาประธานเข้าด้วยกัน
12. แขนงแนงตั้งริม (End Sway Bracing) เป็น Member อยู่ในส่วนปลายสุดของสะพานหรือช่วงกลางระหว่างคานาประธานทั้ง 2 ป้องกันมิสะพานให้เกิดการพลิกคว่ำ
13. แขนงแนงตั้งใน (Intermediate Sway Bracing) เป็นชิ้นส่วนที่อยู่ในส่วนกึ่งกลางหรือกลาง ๆ สะพานระหว่างคานาประธานทั้งสอง มีหน้าที่กระจายน้ำหนักรถไฟที่มากกระทำต่อคานาสะพานไปสู่คานาประธานซ้ายและขวา นอกจากนี้ยังช่วยให้เกิดความเป็นเสถียรภาพ (Stability) ของคานาประธานอีกด้วย
14. เหล็กแผ่นรวมจุดตัด (Gusset Plate) คือเหล็กแผ่นที่ใช้เป็นแผงรวมจุดตัดของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของ Truss หรือแขนงแนกราบ
15. แขนงแนกราบบน (Upper Lateral Bracing)

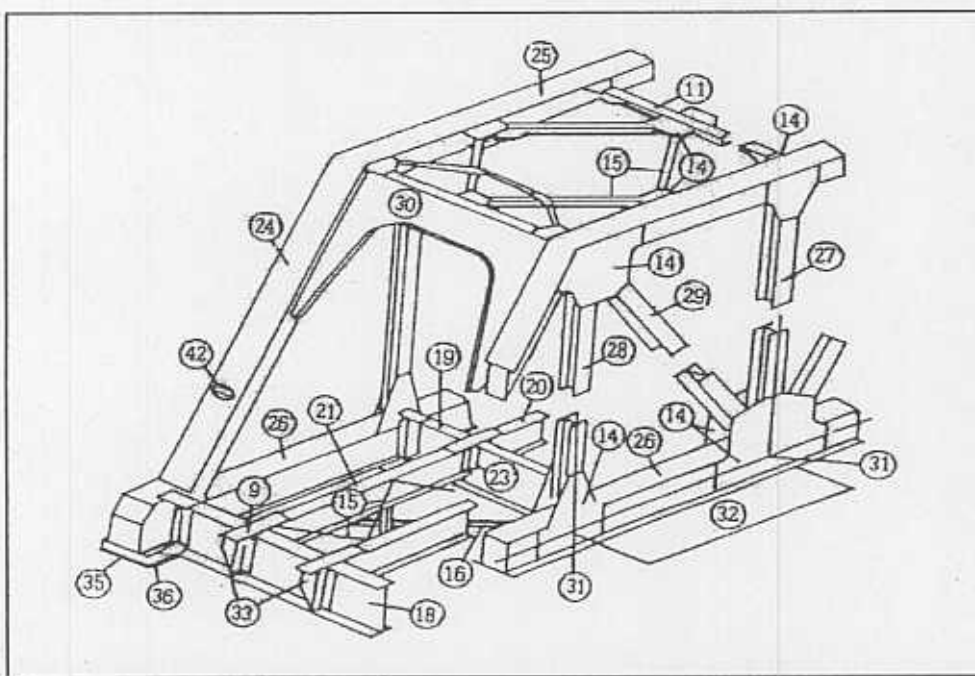
16. แขนงแนกราบล่าง (Lower Lateral Bracing) เป็น โครงถักวางนอนในแนวยาวทางขวาง มีหน้าที่ต้านทานแรงทางข้าง เช่น แรงลมและ แรง Lateral Force เป็นคั่น ชุดที่ติดตั้งที่ ปีกบนหรือ คอร์ดบน เรียกว่า “แขนงแนกราบน” และชุดที่ติดตั้งปีกล่างหรือคอร์ดล่าง เรียกว่า “แขนงแนกราบล่าง”
17. คานประธาน (Main Girder) คือคานที่ประกอบขึ้นเป็นรูปตัว I มีปีกบน ,ปีกล่าง และ เหล็กแผ่นแฉกเป็นองค์ประกอบใช้วางพากระหว่างตอม่อริมฝั่ง (Abutments)หรือค่อม่อ กลางน้ำ (Piers) คานประธานเป็น Member หลักของสะพานในการต้านทานน้ำหนัก จากขบวนรถไฟ
18. คานขวางริม (End Floor Beam) เป็น Member ที่ประกอบกันขึ้นเป็นระบบพื้น (Floor System) ของสะพาน โครงถักหรือสะพานเหล็กแผ่นขึ้น คานขวางที่มีหน้าที่รับน้ำหนัก รถไฟโดยถ่ายมาจากคานตั้งและคานขวางถ่ายไปสู่คานประธาน คานขวางที่หัวและ ท้ายสะพานเรียกว่า “คานขวางริม”
19. คานขวางใน (Intermediate Floor Beam) คือคานขวางตัวที่อยู่ถัดจากหัวและท้ายเข้าไป ข้างในเรียกว่า “คานขวางใน”
20. คานคั้งใน (Intermediate stringers) เป็น Member หนึ่งที่ประกอบขึ้นเป็นระบบพื้นของ สะพาน
21. คานคั้งริม (End stringers) เป็นชิ้นส่วนหนึ่งที่ประกอบขึ้นเป็นระบบพื้นของสะพาน โครงถักหรือสะพานเหล็กแผ่นขึ้นเป็นคานรองรับหมอนและรองรับน้ำหนักโดยตรง จากรถไฟ และตัวมันเองถูกรองรับไว้ด้วยคานขวางคานคั้งกล่าวเรียกว่า “คานคั้ง (stringer)” และคานคั้งที่อยู่ใน Panel แรกและ Panel สุดท้าย ของสะพานเรียกว่า “คาน คั้งริม (End stringers)”
22. แขนงแนวมุม (Knee Brace) มีหน้าที่ป้องกันคานประธานของเหล็กแผ่นขึ้น ไม่ให้พลิก หาย (Overtum) แขนงแนวมุมอาจสร้างได้โดยการคัดปีกบนของคานขวางให้สูงขึ้นไป หรือ อาจจะติดตั้งโครงรูปสามเหลี่ยมบนปีกบนของคานขวางทำให้ความสูงของคาน ขวางสูงขึ้นเพื่อไปยึดคั้งคานประธานไว้
23. เหล็กฉากยึดคั้ง (Connection Angle) เหล็กฉากที่ใช้เป็นข้อต่อรูปตัว T เรียกว่า “เหล็ก ฉากยึดคั้ง (Connection Angle)” จากรูปเหล็กฉากยึดคั้งมีหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากคาน คั้งไปสู่คานขวาง
24. เสาริม (End Post) เป็นชิ้นส่วนคั้งอยู่หัวและท้ายของ Main Truss ของสะพาน Truss ทำ หน้าที่ถ่ายน้ำหนักแบบ Compression ลงสู่ Shoe
25. คอร์ดบน (Upper Chord) คือ member แนวยอนตัวบนของ Main truss ในกรณีของ Simple Truss คอร์ดบนมีหน้าที่ต้านทานแรงอัด (Compression)

26. คอร์ดล่าง (Lower Chord) คือ member แนวนอนตัวล่างของ Main Truss ในกรณีของ Simple Truss คอร์ดบนมีหน้าที่ต้านทานแรงดึง (Tension)
27. เมมเบอร์แนวตั้ง (Vertical Member) เป็นชิ้นส่วนที่ตั้งอยู่ในแนวตั้งของ Main Truss
28. เมมเบอร์หัว (Hip Vertical or Hanger) เป็น Member แนวตั้งต่อจาก End Post ไม่ได้ทำหน้าที่รับแรงคงที่ทำหน้าที่ถ่ายเพียงถ่ายน้ำหนักจากคานขวางไปสู่จุดคั่นบนของ Truss เท่านั้น
29. เมมเบอร์ตั้งเอียง (Diagonal Member) เป็นชิ้นส่วนที่ประกอบขึ้นเป็น Main Truss มีหน้าที่ต้านทานแรงเฉือน (Shearing Force) ที่กระทำต่อ Main Truss และขึ้นอยู่กับการตำแหน่งของแรงที่มากระทำ เมมเบอร์ตั้งเอียงนี้บางตัวจะรับเฉพาะแรงดึงอย่างเดียว หรือรับเฉพาะแรงอัดอย่างเดียว และรับทั้งสองแรงก็มี (รับทั้งแรงดึงและแรงอัด)
30. ชุ่มประตู (Portal) เป็นชิ้นส่วนที่มีหน้าที่ถ่ายน้ำหนักที่เกิดจากแรงลมกระทำที่คอร์ดบน ลงสู่ Shoe โดยหลักการชุ่มประตูต้องติดตั้งที่เสาเข็ม นอกจากหน้าที่ดังกล่าวแล้ว ชุ่มประตูยังมีความจำเป็นสำหรับเสถียรภาพของ Truss ในทาง Lateral อีกด้วย
31. จุดตัดรวมเส้นแนวแกน (Panel Point) จุดที่เส้นตามแนวแกนของชิ้นส่วน Truss มารวมกันเรียกว่า “จุดตัดรวมเส้นแนวแกน (Panel Point)” จะถูกยึดติดไว้กับ Gusset โดยหมุดเหล็กหรือสลักเกลียวแรงสูง
32. ไม่สามารถระบุได้
33. ท้าวแขน (Bracket) สะพานเหล็กโครงขึ้นและสะพานเหล็กแขวนขึ้น จะติดตั้ง Bracket ระหว่างคานขวางริมและผนังกันหิน ของคอม่อริมฝั่ง หรือระหว่างคานขวางริมของสะพานช่วงหนึ่งกับคานขวางริมของสะพานช่วงถัดไป
34. สมอยึด (Shear Connector) กรณีของสะพานเหล็กแผ่นพื้นคอนกรีต สมอยึดเป็นชิ้นส่วนที่มีหน้าที่ต้านทานแรงเฉือนระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตกับแม่แครงเหล็ก
35. รองเท้า (Shoes) หรือ Bearing รองเท้ามีหน้าที่ถ่ายน้ำหนักของสะพานจากคานประธานหรือ Main Truss ลงสู่คอม่อริมฝั่งหรือคอม่อกลางน้ำ แบ่งออกเป็น Fixed Shoe และ Movable or Expansion Shoes
36. ลูกกลิ้ง (Rollers) คือเหล็กลูกกลิ้งใส่ได้ Movable Shoes เคลื่อนที่ได้สะดวกขึ้น
37. แผ่นพื้น (Slab) มีหน้าที่รองรับรางรถไฟและทำหน้าที่เป็น Compressive Flange ของ Main Girder ด้วย
38. ผิวแผ่นพื้น (Pavement) เพื่อป้องกันรักษาวัสดุกันซึม จึงเทผิวแผ่นพื้นที่ทับไว้ข้างบน
39. วัสดุกันซึม (Water Proof Membrane) มีไว้เพื่อป้องกันมิให้น้ำฝนไหลซึมลงสู่แผ่นพื้น
40. แฉกกันหิน (Ballast Stopper) ป้องกันมิให้หินหล่นจากสะพาน

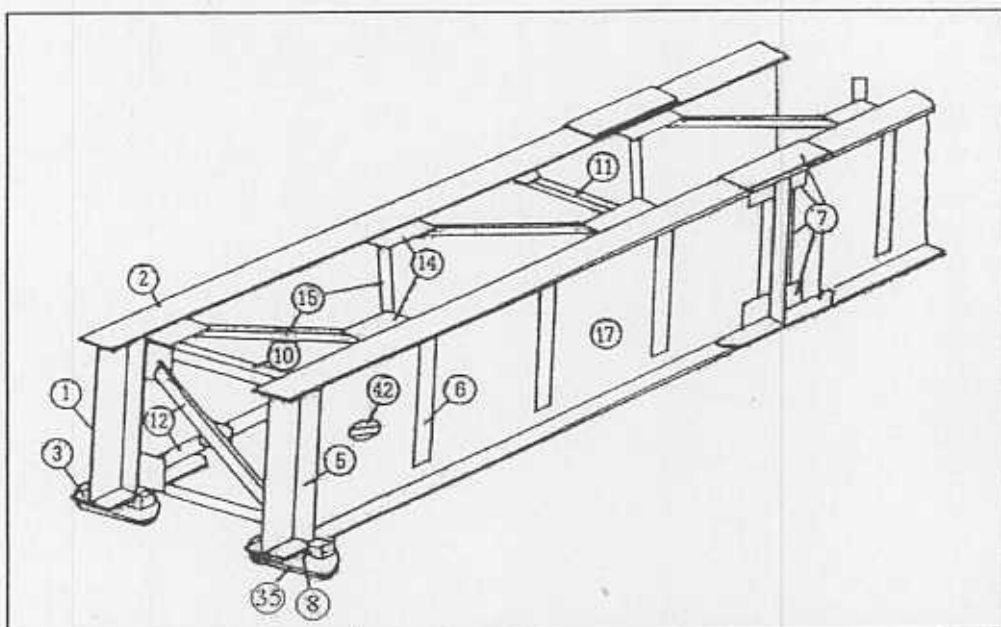
41. บัว (Coping) เป็นขอบคอนกรีตไว้สำหรับตีเส้นของทางและป้องกันรถไฟตกสะพานด้วย
42. ป้ายชื่อ (Name Plate) เป็นแผ่นป้ายบอกเลขที่แบบของสะพาน , น้ำหนักที่ใช้ออกแบบ
43. สมอยึดแผ่นพื้น (Slab Anchor) เป็นสมอยึดแผ่นพื้นติดกับส่วนบนของ Steel Girder ปกติใช้เหล็กเสริมเชื่อมติด Girder แล้วพับงอขึ้นก่อนเทคอนกรีตทับ



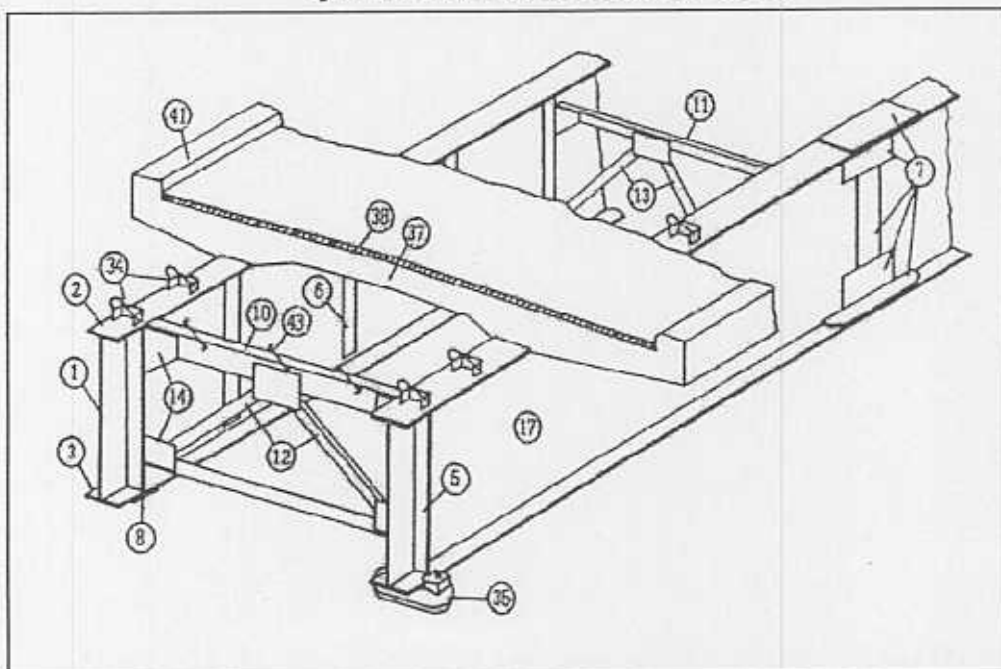
รูปที่ 2.11 สะพานชนิด Through Plate



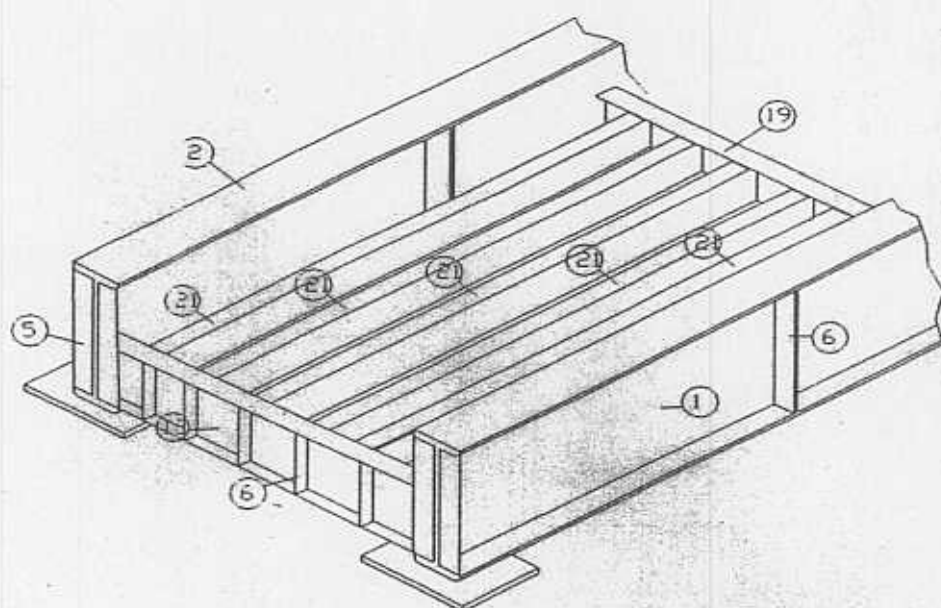
รูปที่ 2.12 สะพานชนิด Through Truss



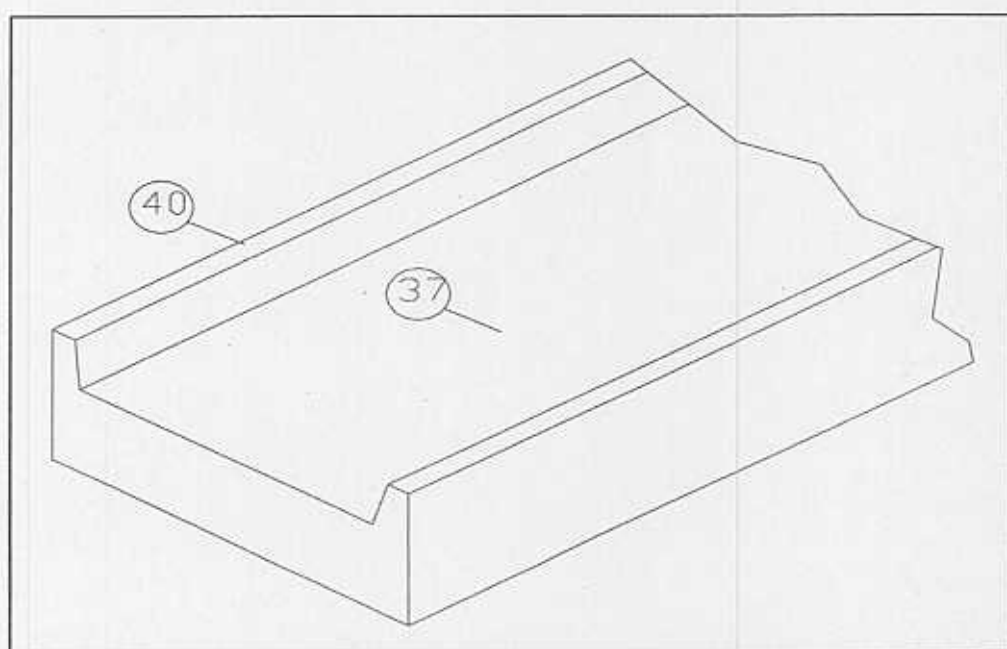
รูปที่ 2.13 สะพานชนิด Deck Plate Girder



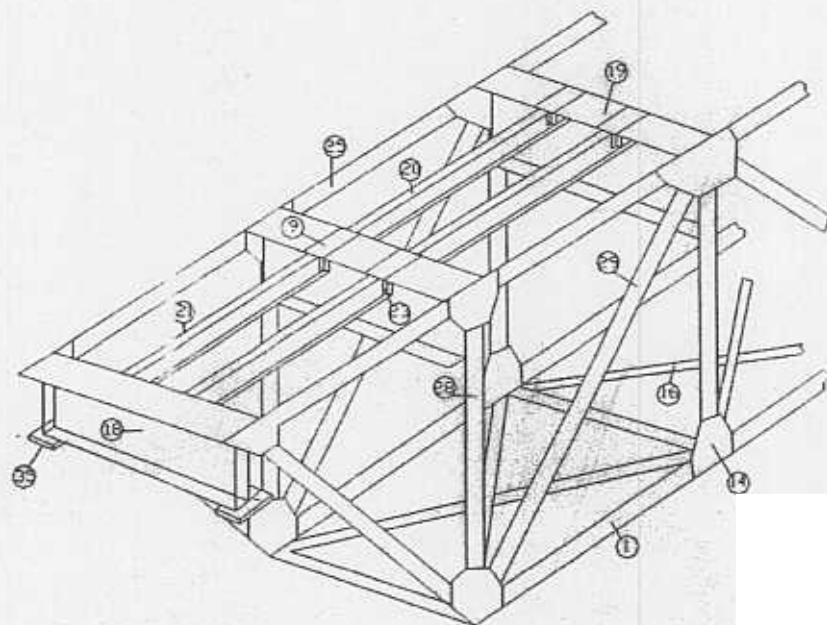
รูปที่ 2.14 สะพานชนิด Composite



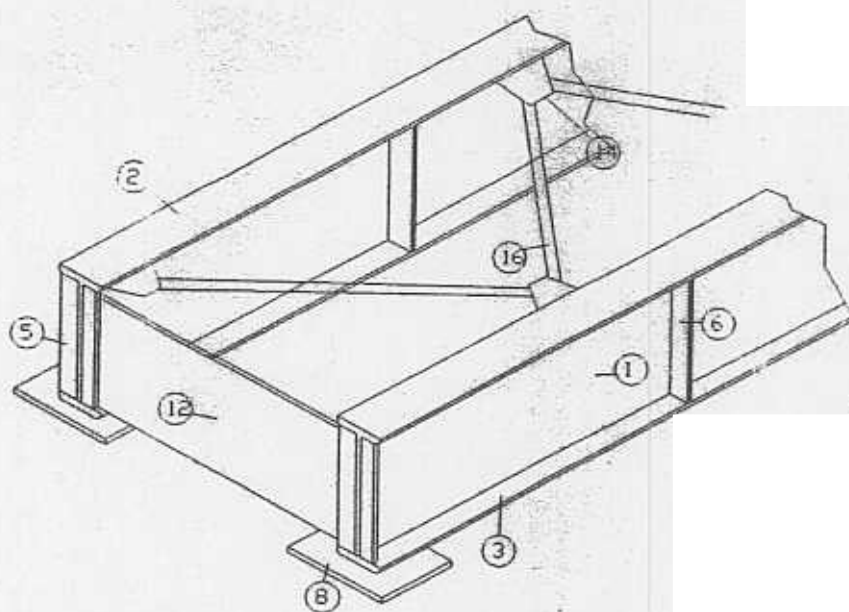
รูปที่ 2.15 สะพานชนิด Steel Slab



รูปที่ 2.16 สะพานชนิด Reinforced Concrete Slab



รูปที่ 2.17 สะพานชนิด Deck Truss Girder



รูปที่ 2.18 สะพานชนิด Deck Girder

2.4 ชนิดและความชำรุดเสียหายของสะพาน

สำหรับความเสียหายของโครงสร้างสะพานรถไฟโดยทั่วไปจะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ใหญ่ ๆ ตามชนิดของวัสดุที่ใช้ก่อสร้างคือ เหล็ก และคอนกรีต ดังนี้คือ

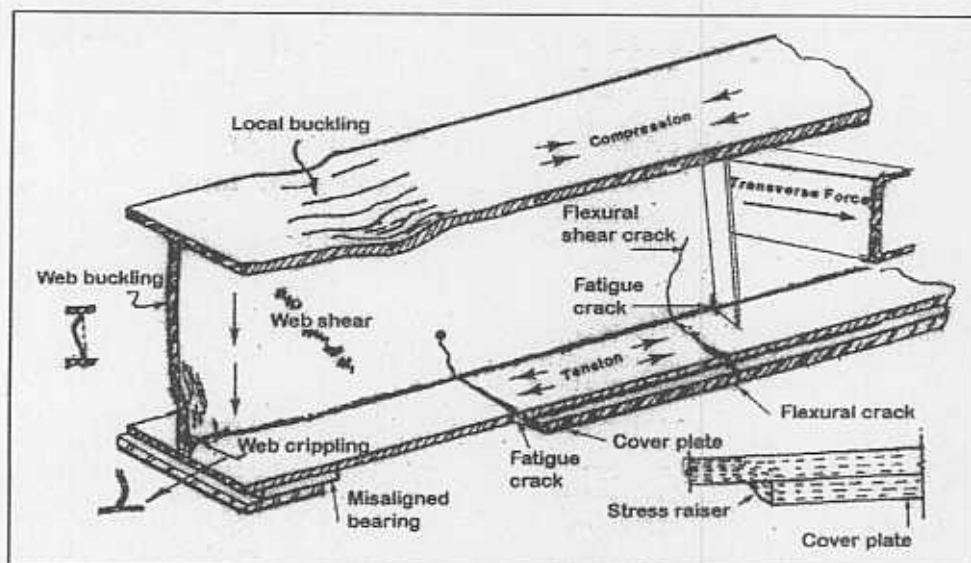
2.4.1 การชำรุดเสียหายของเหล็ก (Steel Damage and Deteriorations)

สะพานเหล็กที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีมากทั้งชนิด รูปแบบ ความเก่า และความใหม่ เพราะฉะนั้นสภาพผิปกดขี่ย่อมมีมาก โดยทั่วไปสภาพผิปกดขี่จำแนกออกได้ดังนี้

- การผุกร่อน (Corrosion) เป็นการชำรุดเสียหายที่เห็นอยู่ทั่วไป และเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดตัวหนึ่งที่ทำให้สะพานเหล็กอยู่ในสภาพที่ไม่ปลอดภัย โดยที่เหล็กมักทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและน้ำ กลายเป็นสนิม และถ้าปล่อยทิ้งไว้ก็จะลุกลามไปจนทำให้เนื้อเหล็กทะลุและขาดหายไปได้ ทำให้กำลังในการรับน้ำหนักของโครงสร้างเหล็กลดลง สำหรับตัวเชื่อม เช่น หัวหมุดย้ำ (Rivet) หรือสลักเกลียว (Bolt) ถ้ามีการผุกร่อนเกิดขึ้นจะทำให้กำลังในการรับน้ำหนักของตัวเชื่อมลดน้อยลง ตลอดจนทำให้ตัวเชื่อมนั้นๆ หลวมจนหลุดหายไปจากรอยต่อ อนึ่งโดยทั่วไปแล้วหน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักจะอัดเป็นกลุ่มก้อนเรียกว่า Stress Concentration ในบริเวณที่มีการผุกร่อน ซึ่งเป็นบริเวณที่วิกฤตต่อความล้า (Fatigue)
- รอยแตก (Cracking) เมื่อรอยแตกเกิดขึ้นในชิ้นส่วนที่สำคัญของโครงสร้างแน่นอนที่สุดย่อมทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักลดลงนอกจากนี้รอยแตกอาจจะขยายลุกลามไปทั่วทั้งหน้าตัดอย่างรวดเร็ว หากปล่อยให้รอยแตกลุกลามออกไปจนทำให้ชิ้นส่วนขาดออกจากกันเมื่อใด ย่อมทำให้เสถียรภาพ (Stability) ของโครงสร้างเสียไปเมื่อئั้น และอาจทำให้เกิดการวิบัติ (Failure) ขึ้นได้ สาเหตุที่ทำให้เกิดรอยแตกในโครงสร้างเหล็ก เช่น ความล้า (Fatigue) เป็นความเสียหายในโครงสร้างของเหล็ก เมื่อได้รับแรงกระทำแบบสูง-ต่ำ ซ้ำกลับไปกลับมา (Cyclic Load) โดยจะเริ่มจากรอยแตกเล็ก ๆ (Microscopic Crack) หากปล่อยทิ้งไว้รอยแตกจะขยายเพิ่มขึ้น (Crack Propagation) เป็นรอยแตกขนาดใหญ่ (Macroscopic Crack) ทำให้พื้นที่หน้าตัดของเหล็กขาดออกจากกันจนกระทั่งไม่เพียงพอต่อการต้านทานน้ำหนักบรรทุกซึ่งอาจทำให้เกิดผลการวิบัติโดยทันที (Sudden Collapse) สาเหตุต่อไปทำให้เกิดรอยแตก เช่น รอยแตกที่เกิดขึ้นจากโมเมนต์ดัด (Flexural Crack) ในบริเวณกลางช่วง Span ของคาน รอยแตกที่เกิดจากแรงเฉือน (Shear Crack) ในบริเวณใกล้ฐานราก (Support) หรือรอยแตกเนื่องมาจากแรงดึง (Tensile Crack) ใน Bracing เป็นต้น
- ความหลวม (Looseness) คือ สภาพที่เกิดขึ้นมากกับ หัวหมุดย้ำ (Rivet) และหัวสลักเกลียว (Bolt) ในขณะที่เกิดการสั่นสะเทือนจะทำให้หัวหมุดย้ำหรือสลักเกลียวที่ยึดตรึงชิ้นส่วน

ต่าง ๆ เกิดอาการหลวมขึ้นได้ง่าย ๆ คือ จะมีคราบสนิมสีน้ำหมากทั่วหัวหมุดย้ำ หรือสลักเกลียวที่หลวมขึ้น

- การเสียรูปร่าง (Deformation) คือ สภาพผิดปกติแบบการเสียรูปร่างของชิ้นส่วนสะพาน ส่วนมากมักเกิดขึ้นเนื่องจากความเค้น (Stress) จากน้ำหนักภายนอกมากระทำเช่น ถูกรถยนต์ชน หรือน้ำหนักบรรทุกเกิน (Overload)
- การโก่งคดทางด้านข้าง (Buckling) เป็นการคดงอเกิดขึ้นในบริเวณส่วนที่ได้รับแรงกด (Compressive Zone) ในเสาและคาน เมื่อขบวนรถไฟวิ่งผ่านสะพานนานๆ ไป จะเพิ่มปริมาณการคดงอให้มากขึ้นและทำให้ความเสถียรภาพของสะพานสูญหายไป ดังนั้น ควรทำการซ่อมแซม
- สึก (Wear) สะพานเมื่อผ่านการใช้งานไปแล้วหลายปี พบว่ารอยสึกเกิดขึ้นที่ Rollers หรือ Sliding Shoes ของสะพาน Truss หรือที่ Pin ของสะพาน Pin Truss
- Shoes หรือ Bracing เคลื่อนที่เมื่อ Abutment หรือ Pier เกิดอาการทรุด, เอียง หรือเดินตำแหน่งของ Shoes นี้ อาจทำให้เกิดการคดงอของชิ้นส่วนของสะพานได้ด้วย



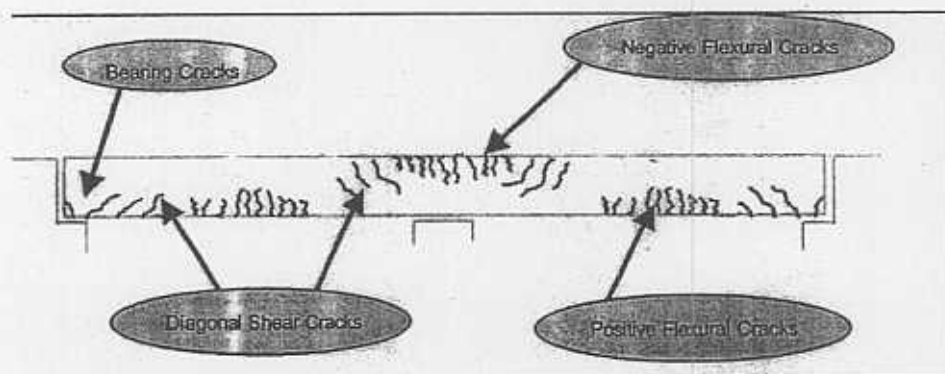
รูปที่ 2.19 รูปการเสียหายของโครงสร้างสะพานเหล็ก

2.4.2 การชำรุดเสียหายของคอนกรีต (Concrete Damages and Deteriorations) มีหลายรูปแบบ ดังนี้

- รอยแตก (Cracking) มี 2 ประเภทคือ รอยแตกเชิงโครงสร้าง (Structural Crack) และรอยแตกที่ไม่ใช่รอยแตกเชิงโครงสร้าง (Non Structural Crack) รอยแตกเชิงโครงสร้างมีสาเหตุมาจาก Stress ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างโดยตรง ซึ่งถือว่ามีความผลกระทบอย่างมากกับตัวโครงสร้าง แต่รอยแตกที่ไม่ใช่รอยแตกเชิงโครงสร้างอาจจะเกิดการขีด

ตัวของคอนกรีต (Shrinkage Crack) เนื่องจากอุณหภูมิ ซึ่งจะมีผลกระทบไม่มากนัก รอยแตกเหล่านี้จะเป็นช่องทางให้น้ำหรือสารเจือปนอื่น ๆ เข้าไปได้ซึ่งจะนำไปสู่ปัญหา ร้ายแรงอื่น ๆ เช่น การเป็นสนิมของเหล็กได้

- การหลุดแยกออกเป็นแผ่น ๆ (Delamination) เป็นการหลุดแยกของคอนกรีตที่ผิวบนสุด หรือส่วนที่อยู่บนสุดของชั้นเหล็กเสริมสาเหตุหลักของการหลุดชนิดนี้ คือ การขยายตัวของเหล็กเสริมที่เป็นสนิม ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการแทรกซึมของสารจำพวก Chloride หรือเกลือพื้นที่ที่เกิดการหลุดออกของคอนกรีตนี้จะเป็นโพรงใต้คอนกรีต โดยสังเกตได้จากการ ฟังเสียงเมื่อใช้ก้อนเคาะ
- การหลุดล่อน (Spalling) เป็นการยุบตัวของคอนกรีตเป็นรูปคล้ายวงกลมหรือวงรี มีสาเหตุ มาจากการแยกตัวหรือถูกเคลื่อนย้ายของส่วนใดส่วนหนึ่งของคอนกรีตที่ผิวหน้า ทำให้ เห็นรอยแตก ที่ค่อนข้างที่จะขนานกับผิวคอนกรีตและการหลุดล่อนนี้อาจมีสาเหตุมาจาก การที่เหล็กเสริมเป็นสนิม ส่วนใหญ่แล้วเมื่อมีการหลุดล่อนก็จะสามารถเห็นเหล็กเสริมได้
- การเกิดสนิมในเหล็กเสริม (Reinforcing Steel Corrosion) ในกรณีที่เกิดรอยแตกหรือการ หลุดล่อนเกิดขึ้นในคอนกรีตจะทำให้เหล็กเสริมสัมผัสกับอากาศและเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้เกิดสนิมขึ้นได้ ซึ่งจะทำการกัดของโครงสร้างลดลง สามารถตรวจได้จากคราบ สนิมที่ผิวคอนกรีต
- การเกิดเชื้อเกลือ (Efflorescence) คือ การเกิดคราบสีขาวบนคอนกรีต มีสาเหตุมาจากการตก ผลึกของสารละลายประเภทเกลือ (Calcium Chloride) ซึ่งออกมาสู่ผิวคอนกรีตได้โดยผ่าน การดูดซับและการไหลเวียนของความชื้นในคอนกรีต



รูปที่ 2.20 การเสียหายของโครงสร้างสะพานคอนกรีต

2.5 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึง ชนิดของสะพานรถไฟแต่ละชนิด ลักษณะการใช้งานโดยทั่วไป และอธิบายถึงชิ้นส่วนต่างๆของสะพานและหน้าที่ ได้แก่ ชิ้นส่วนโครงสร้างส่วนบน (Superstructure) ทำหน้าที่รับน้ำหนักโดยตรงจากรถไฟและถ่ายเทน้ำหนักลงสู่โครงสร้างส่วนล่าง แผ่นเหล็กเอว (Web Plate) ทำหน้าที่ต้านแรงเฉือน เป็นต้น ชนิดและความชำรุดเสียหายของสะพาน ได้แก่ การเสีรูปร่าง การโก่งเดาะด้านข้าง การเกิดสนิมในเหล็กเสริม เป็นต้น หลังจากที่ได้ทราบถึงหน้าที่ของชิ้นส่วนต่างๆของสะพานและชนิดความชำรุดเสียหายแล้ว ในบทต่อไปจะกล่าวถึงหลักการตรวจสอบและประเมินความเสียหายของสะพานรถไฟแต่ละชนิด โดยจะจำแนกการประเมินสภาพโดยรวมของสะพานออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ตามวัสดุที่ใช้ก่อสร้างสะพาน ได้แก่ การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างสะพานเหล็ก การประเมินสภาพโดยรวมของสะพานคอนกรีต เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อทำการตรวจสอบสภาพจริงของสะพานโดยการออกภาคสนาม
2. ศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของสะพานรถไฟขณะมีการรับน้ำหนักเมื่อมีขบวนรถไฟวิ่งผ่าน
3. เพื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างสะพานและหาแนวทางปรับปรุงสภาพการรับน้ำหนักภายใต้แรงที่เกิดจากขบวนรถไฟวิ่งผ่าน

1.3 วิธีการดำเนินการ

1. ตรวจสอบสภาพของรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ (ตั้งแต่สถานีรถไฟอุบลราชธานี ถึง สถานีรถไฟห้วยแถลง จ.นครราชสีมา) โดยใช้วิธี Visual Inspection
2. ใช้ไฟไนท์อีลิเมนต์โปรแกรม SAP2000 Nonlinear ในการวิเคราะห์โครงสร้างสะพาน

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลของสะพาน
2. ออกตรวจสอบสะพานภาคสนาม
3. ศึกษาการใช้โปรแกรม SAP2000Nonlinear
4. ศึกษาการหาคุณสมบัติของหน้าตัดของชิ้นส่วนสะพาน
5. สร้างแบบจำลองสะพานรถไฟโดยใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear
6. ศึกษาพฤติกรรมของสะพานเมื่อมีการรับแรงแบบเคลื่อนที่ของรถไฟภายใต้เงื่อนไขต่างๆ เช่น ความเร็ว ชนิดของรถไฟ น้ำหนักเพลา และชนิดของสะพาน เป็นต้น
7. ประเมินผลและสรุปการทำงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เรียนรู้ถึงหลักการตรวจสอบและประเมินสภาพสะพานด้วยตาเปล่า (Visual Inspection)
2. สามารถใช้ไฟไนท์อีลิเมนต์โปรแกรม SAP2000 Nonlinear ในการวิเคราะห์โครงสร้างได้
3. สามารถรู้ถึงวิธีการเสริมกำลังของสะพานเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักเพิ่มได้

1.6 คำโครงเนื้อหาของงานวิจัย

งานวิจัยเรื่องเทคนิคการประเมินสภาพและพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของสะพานรถไฟได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 ส่วน ประกอบด้วย บทที่ 1 บทนำ ซึ่งจะกล่าวถึงวัตถุประสงค์ วิธีการดำเนินงาน ขั้นตอนการศึกษา บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสะพานรถไฟ บทที่ 3 หลักการตรวจสอบสะพานและประเมินความเสียหาย บทที่ 4 ชนิดและการตรวจสอบ Bearing บทที่ 5 การใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear บทที่ 6 การตรวจภาคสนามและการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ บทที่ 7 สรุปผลและวิจารณ์ ตามลำดับ