

รูปที่ 9-18 พฤติกรรมการกระจายแรงตามขวางของสะพาน

9.6.5. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบพลวัต

การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Test) เป็นการทดสอบโดยใช้รถบรรทุกวิ่งผ่านช่วงสะพาน ทดสอบหลายรูปแบบโดยมีรายละเอียดดังนี้

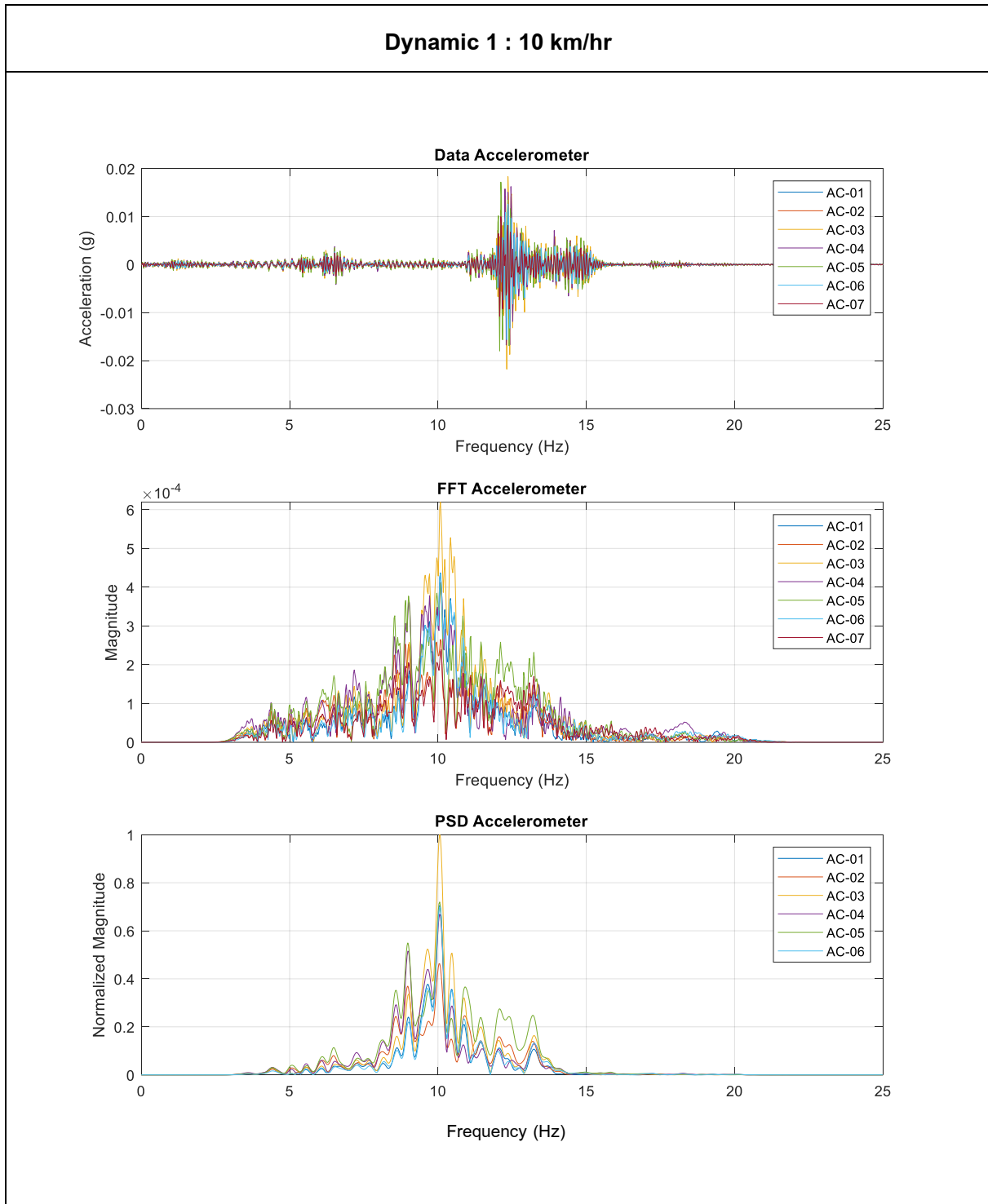
- Dynamic 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 10 กม./ชม. ที่กลางสะพาน
- Dynamic 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ที่กลางสะพาน
- Dynamic 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 30 กม./ชม. ที่กลางสะพาน

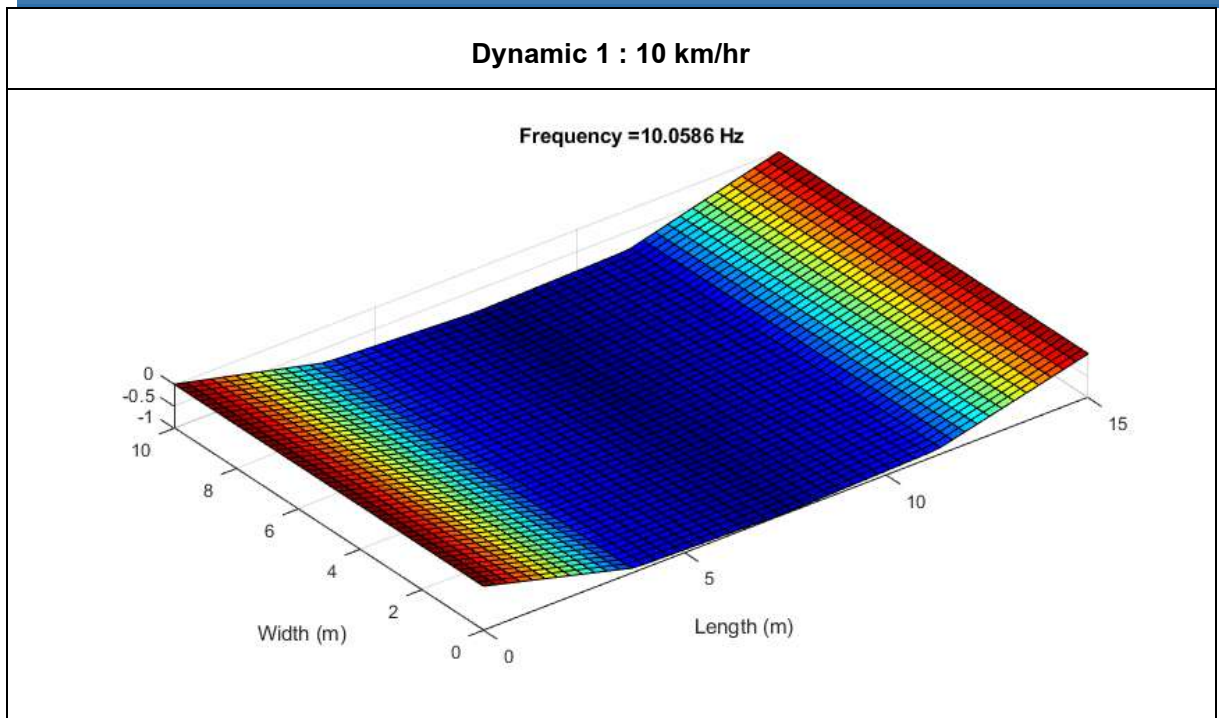


รูปที่ 9-19 ภาพการทดสอบแบบพลวัต

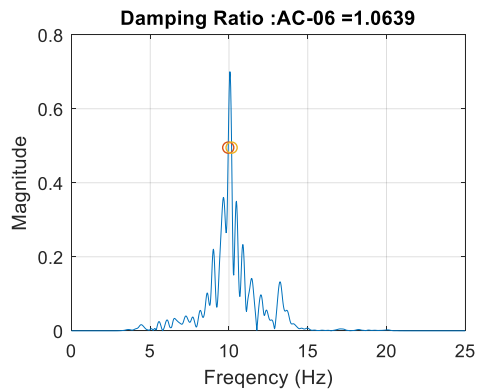
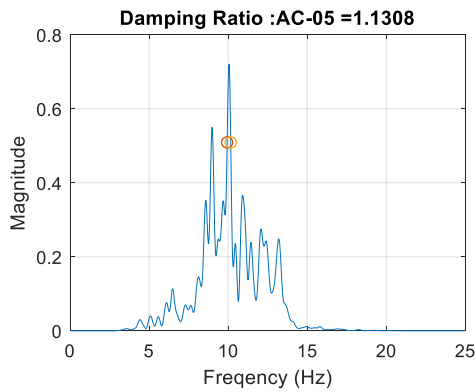
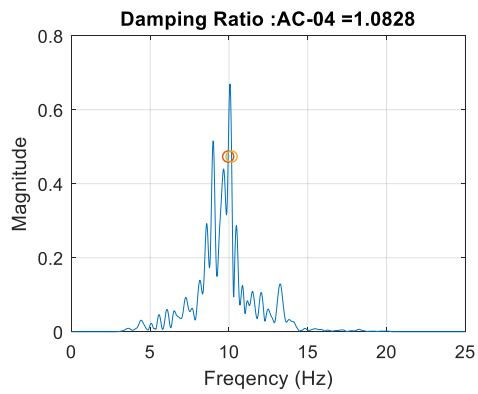
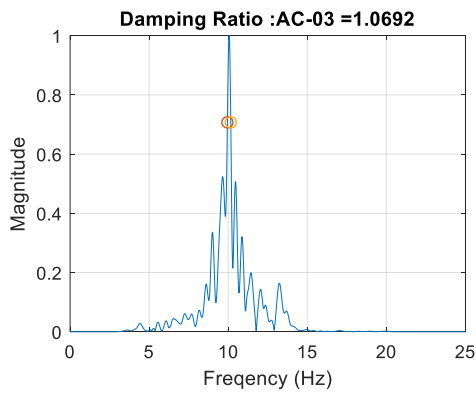
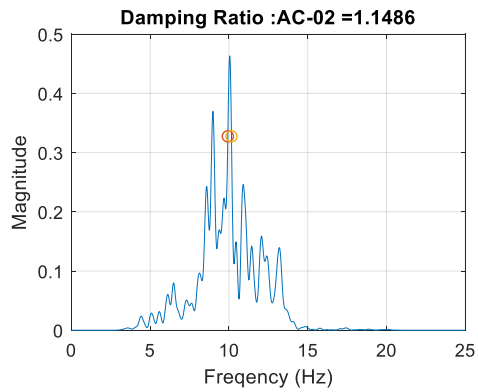
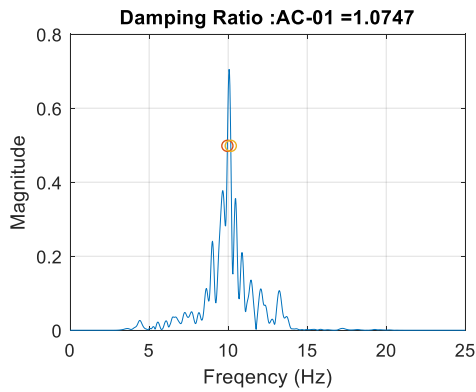


สำหรับการวิเคราะห์ผลการตรวจวัดพฤติกรรมแบบพลวัตเพื่อหาคุณสมบัติทางพลศาสตร์ ประกอบด้วย ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) และค่าตัวคูณเพิ่มแรงกระแทก (Impact Factor) สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

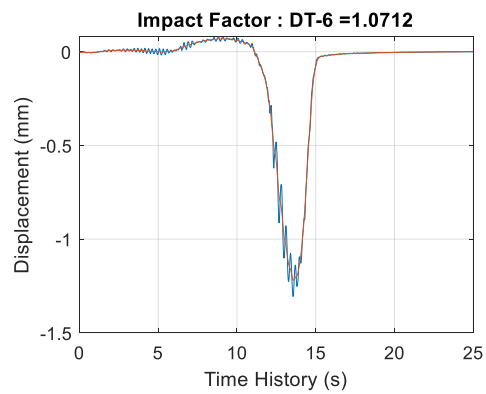
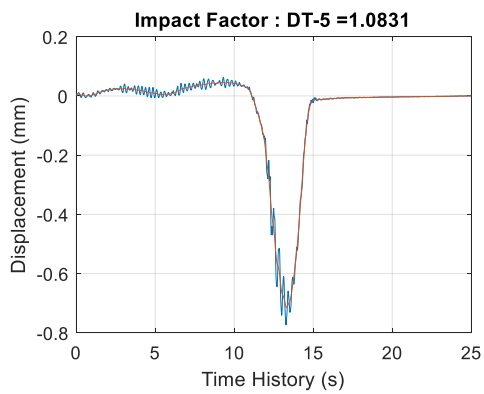
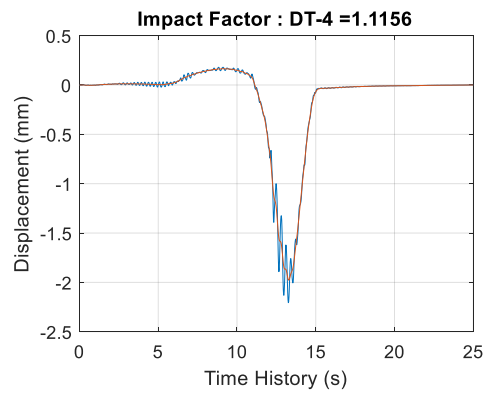
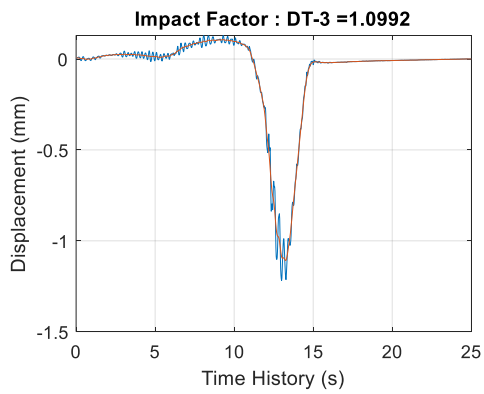
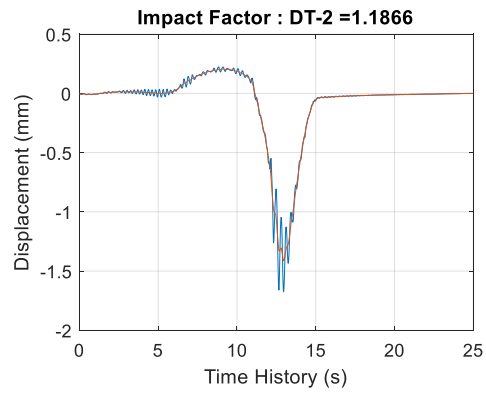
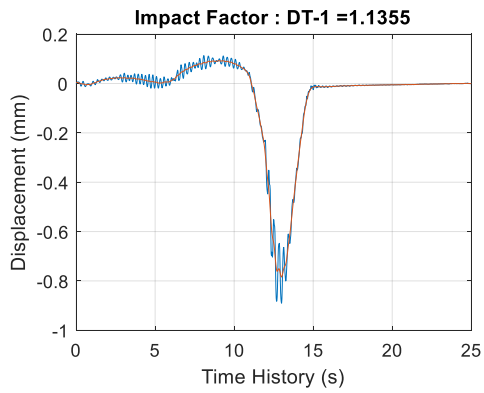




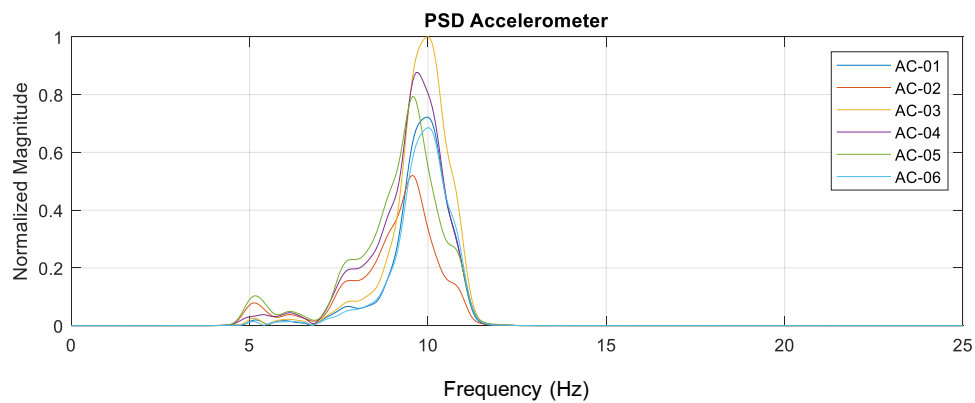
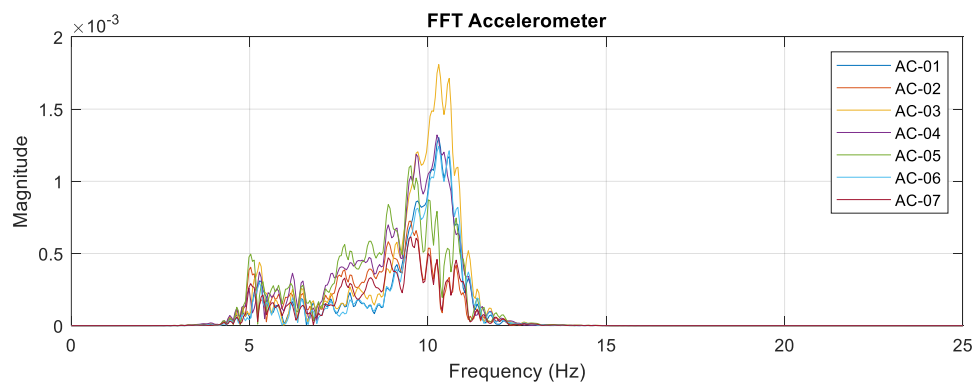
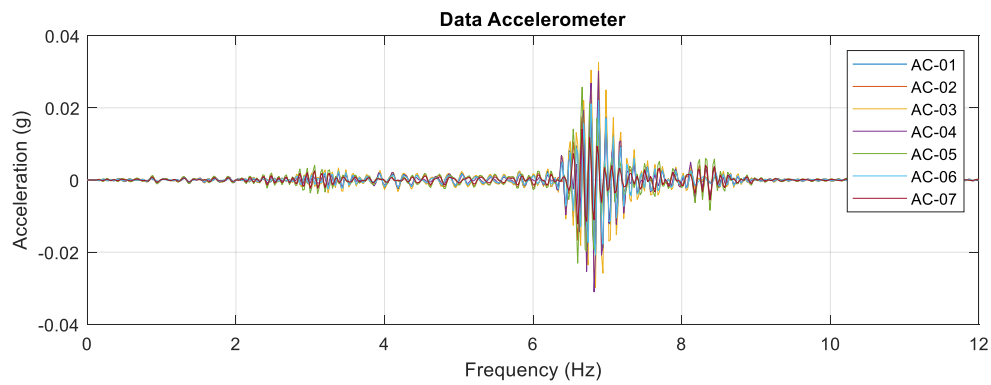
Dynamic 1 : 10 km/hr



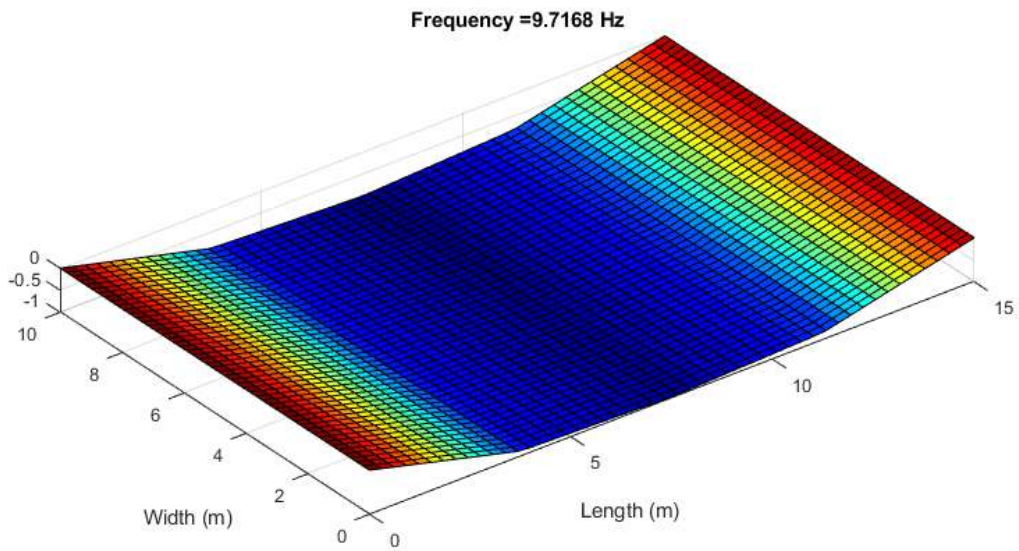
Dynamic 1 : 10 km/hr



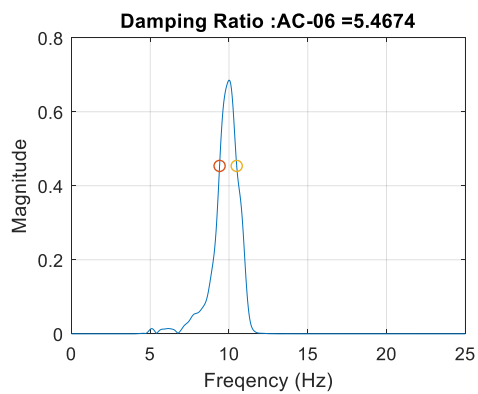
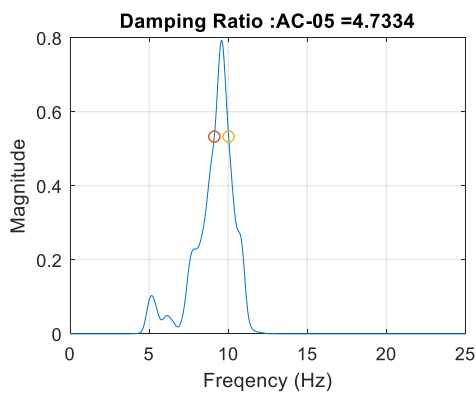
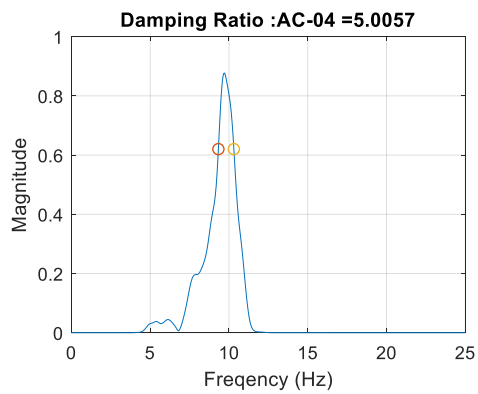
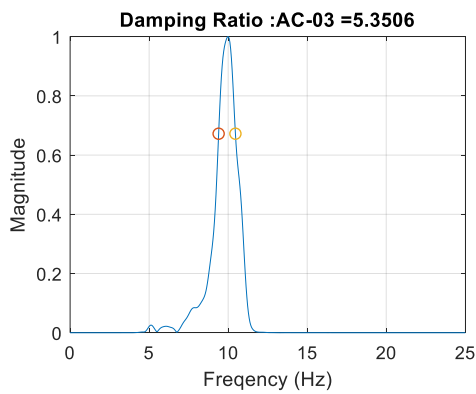
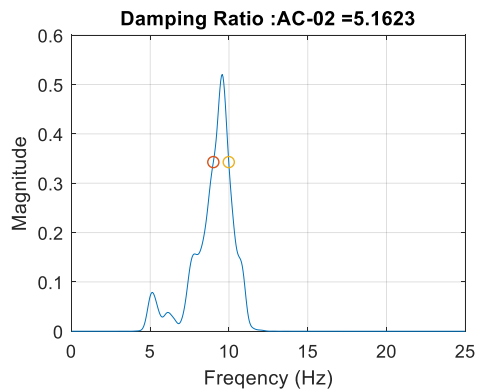
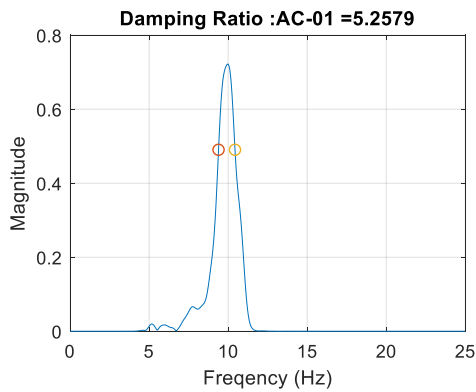
Dynamic 2 : 20 km/hr



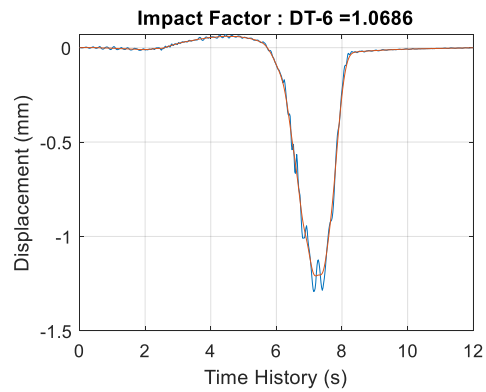
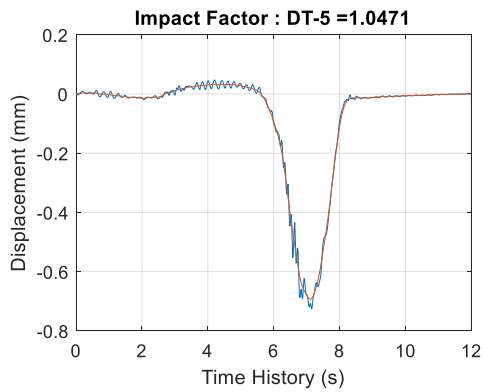
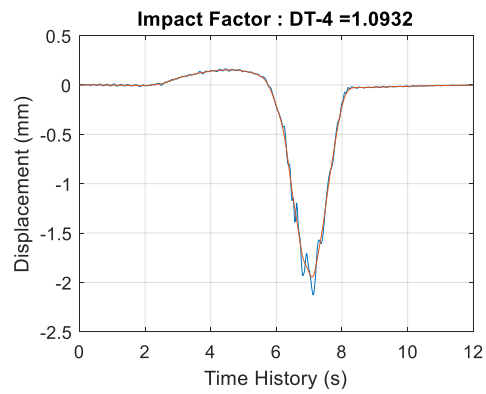
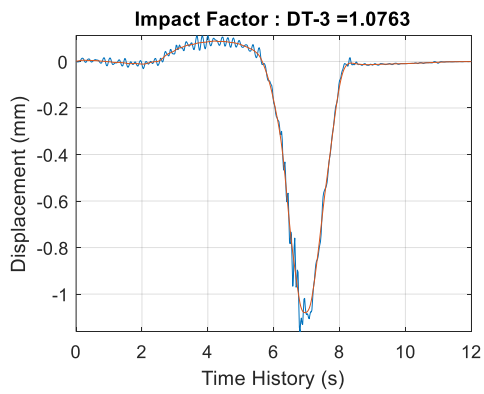
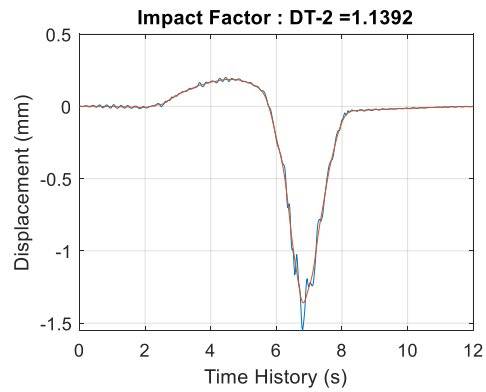
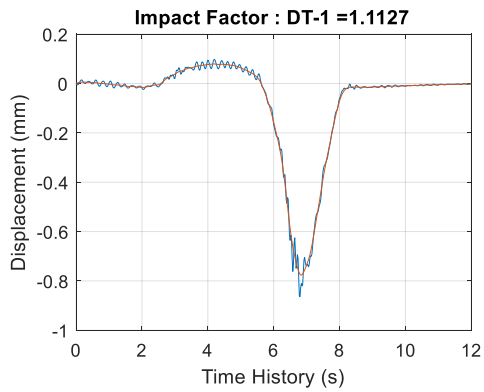
Dynamic 2 : 20 km/hr



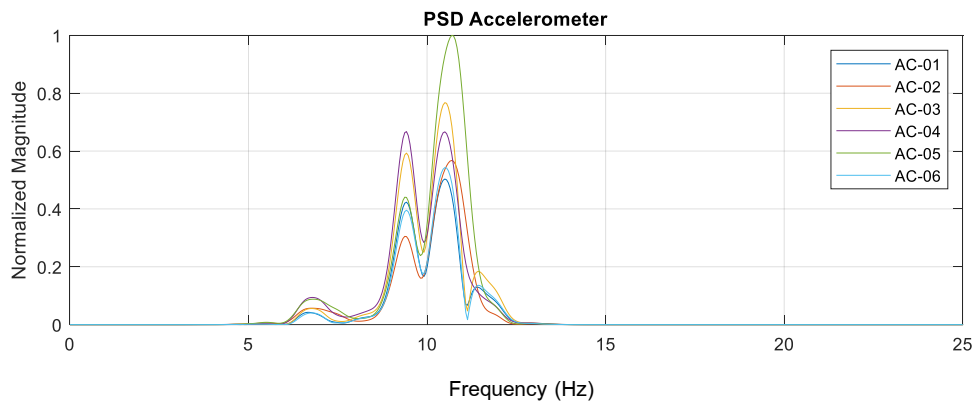
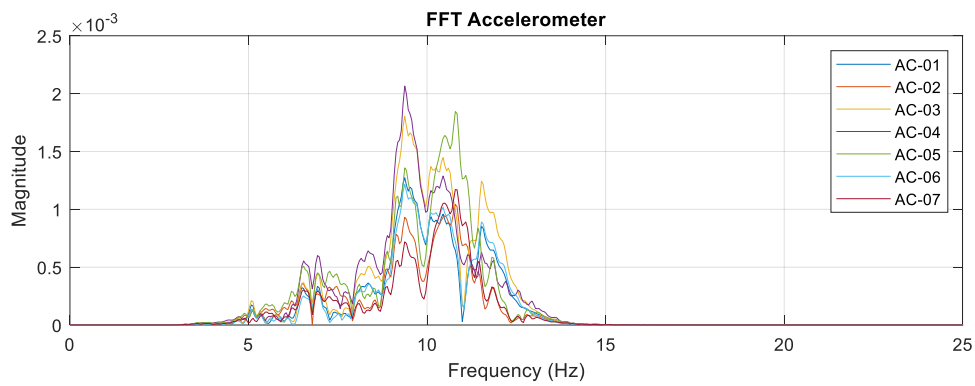
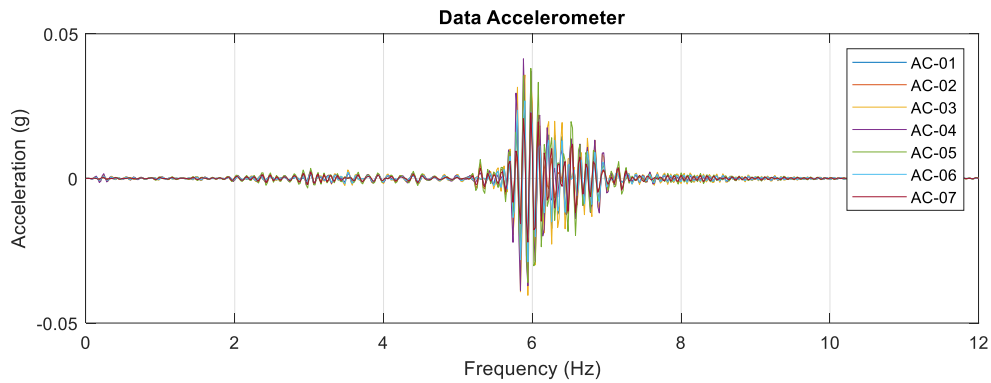
Dynamic 2 : 20 km/hr



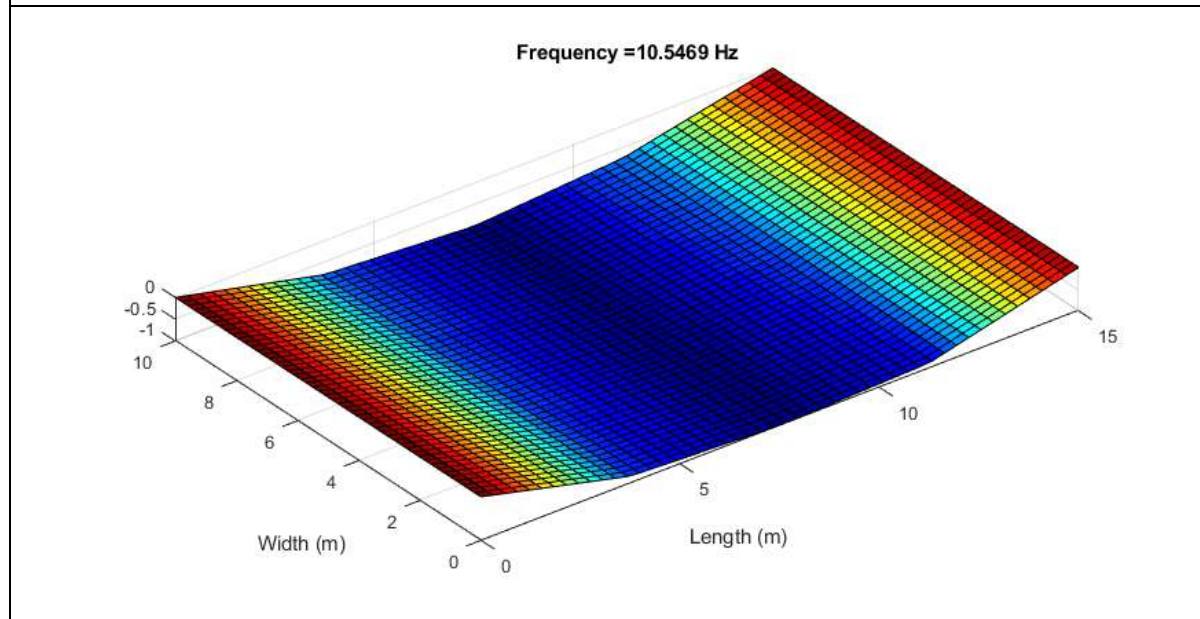
Dynamic 2 : 20 km/hr



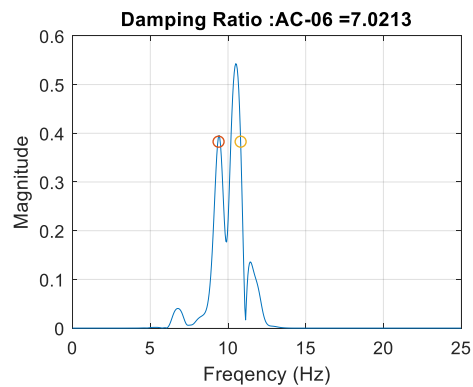
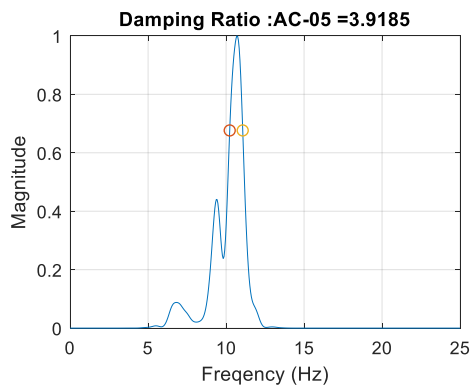
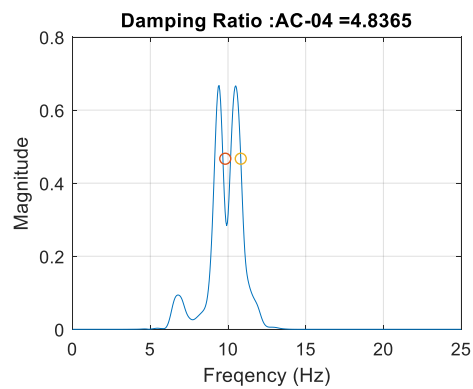
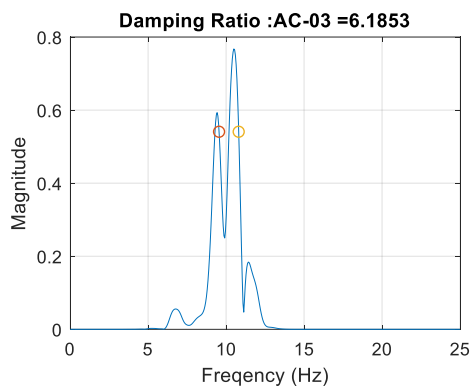
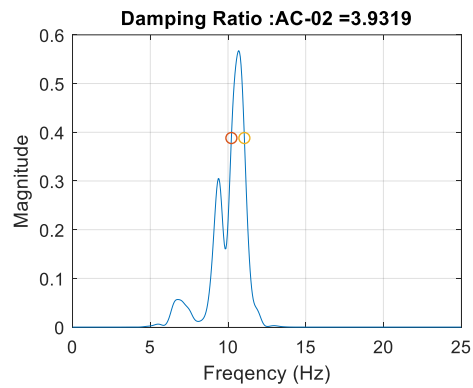
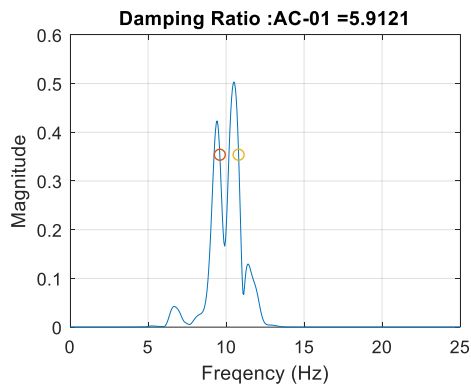
Dynamic 3 : 30 km/hr



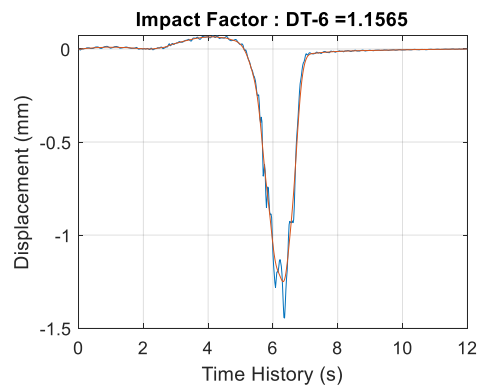
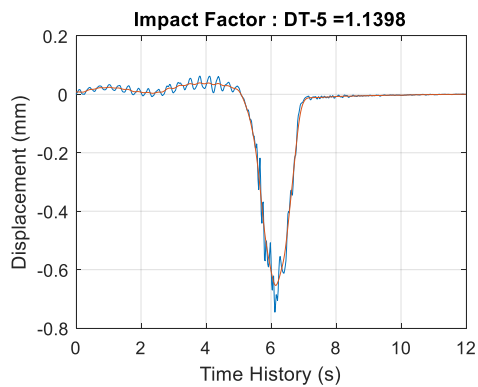
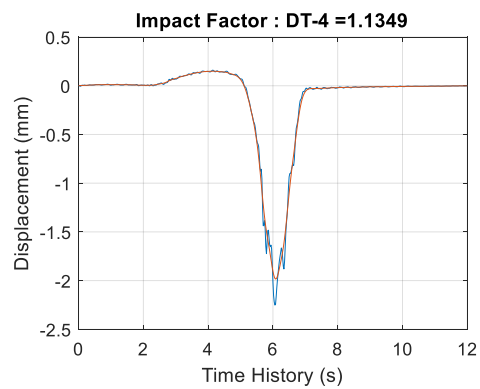
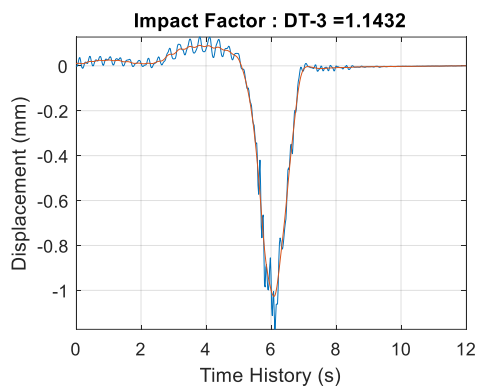
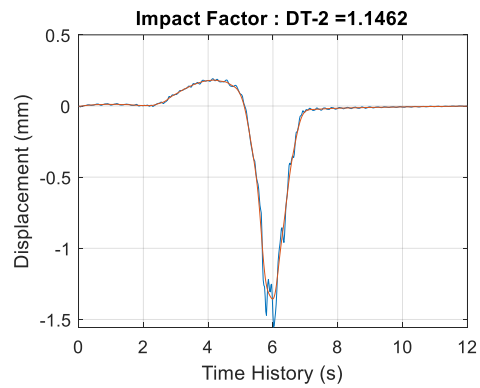
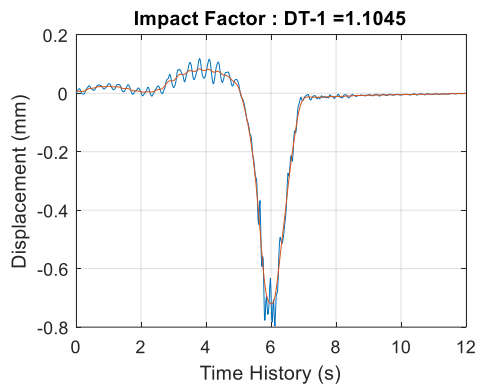
Dynamic 3 : 30 km/hr



Dynamic 3 : 30 km/hr



Dynamic 3 : 30 km/hr



ตารางที่ 9-17 ผลการวิเคราะห์ Natural Frequency, Mode Shape และ Damping Ratio

Test	Freq.	Mode Shape	Damping Ratio						
			AC 01	AC 02	AC 03	AC 04	AC 05	AC 06	AVG
Dynamic 1	10.059	1st Bending	1.075	1.149	1.069	1.083	1.131	1.064	1.095
Dynamic 2	9.717	1st Bending	5.258	5.162	5.351	5.006	4.733	5.467	5.163
Dynamic 3	10.547	1st Bending	5.912	3.932	6.185	4.836	3.918	7.021	5.301

ตารางที่ 9-18 ผลการวิเคราะห์ Impact Factor

Sensor	Impact Factor						
	DT 01	DT 02	DT 03	DT 04	DT 05	DT 06	Average
Dynamic 1	1.136	1.187	1.099	1.116	1.083	1.071	1.115
Dynamic 2	1.113	1.139	1.076	1.093	1.047	1.069	1.090
Dynamic 3	1.105	1.146	1.143	1.135	1.14	1.157	1.138

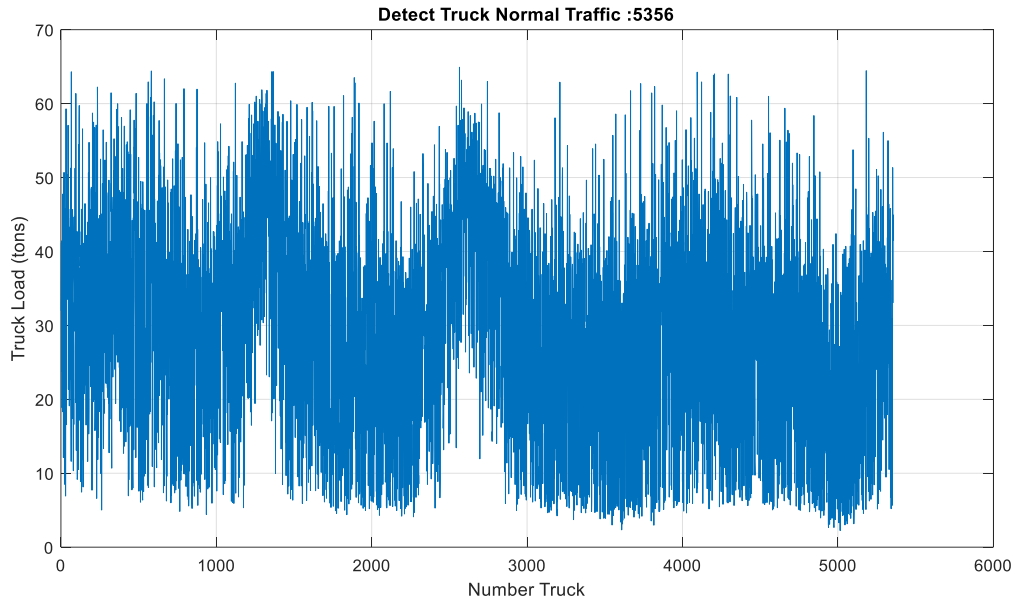
9.6.6. การทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน

ที่ปรึกษาได้ทำการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge บริเวณใต้ท้องคานแต่ละคาน (โดยเฉลี่ยค่า Strain Gauge ทั้ง 5 ตัวที่ติดตั้งในแต่ละคาน) กับน้ำหนักบรรทุกจากการทดสอบแบบ Static Load Test ซึ่งมีค่าแสดงได้ดังตารางที่ 9-19

ตารางที่ 9-19 การสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบ

Sensor	Strain Gauge (microstrain)		
	Static 1	Static 2	Static 3
AVG SG at GD01	-3.216	-0.551	-3.107
AVG SG at GD02	45.655	10.705	53.868
AVG SG at GD03	3.457	12.269	14.491
AVG SG at GD04	0.727	13.935	14.616
SUM	46.623	36.359	79.868
Truck Load (tons)	25.000	25.000	50.000

จากนั้นใช้ผลการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge ในการประมาณการน้ำหนักบรรทุก
จากผลการตรวจวัดค่าผลรวมของ Strain Gauge ภายใต้การจราจรปกติเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งได้ผลแสดง
ดังรูปที่ 9-20



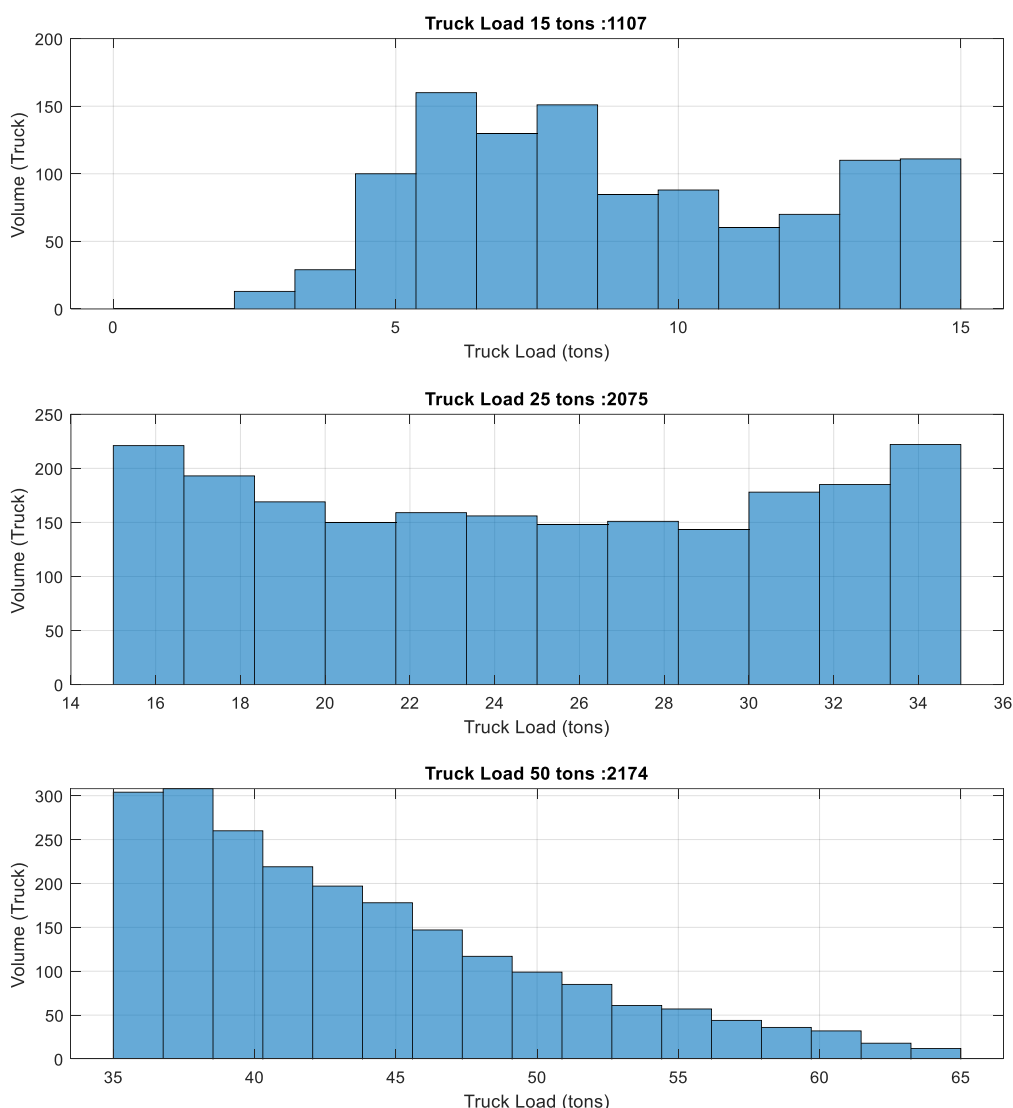
รูปที่ 9-20 ผลการสอบเทียบค่า Strain Gauge เพื่อประเมินน้ำหนักบรรทุก

ที่ปรึกษาได้แบ่งกลุ่มน้ำหนักบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพาน จำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 15 ตัน (น้ำหนักบรรทุกน้อยกว่า 15 ตัน)
- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 25 ตัน (น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 15 ตัน ถึง 35 ตัน)
- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 50 ตัน (น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 35 ตัน ถึง 65 ตัน)

เมื่อนำผลการสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกของแต่ละกลุ่มน้ำหนักมาหาค่าทางสถิติของข้อมูล
สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 9-21

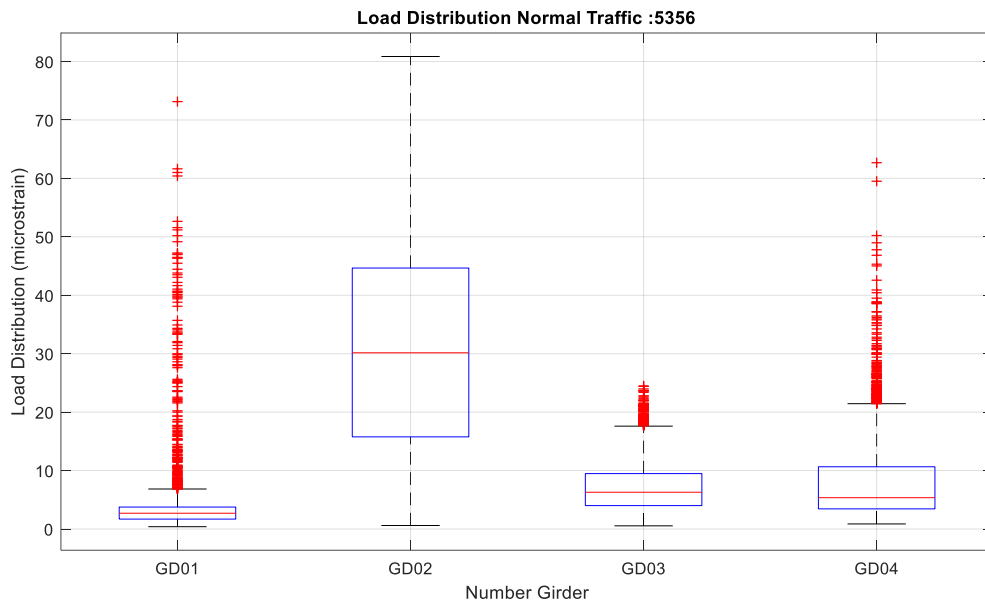
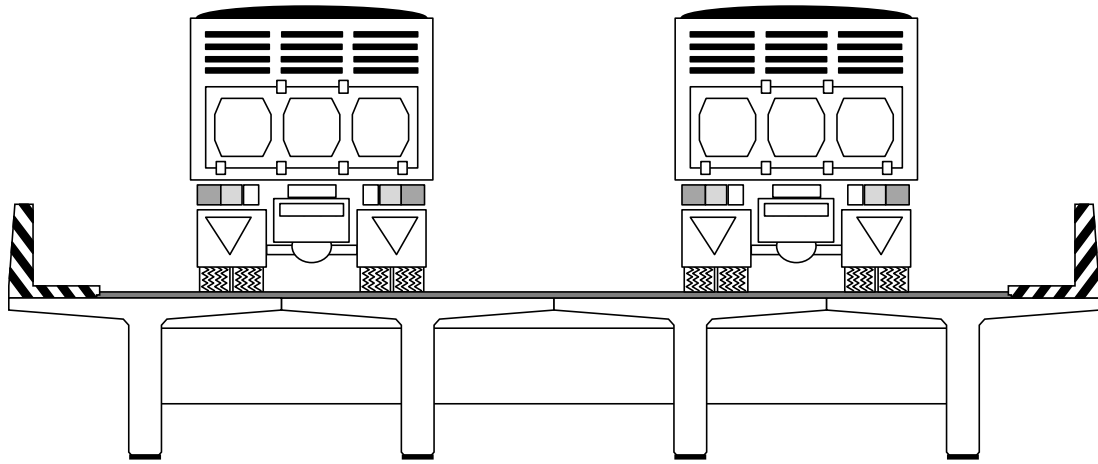




Group Truck	Truck 15 (tons)	Truck 25 (tons)	Truck 50 (tons)
Volume (trucks)	1,107	2,075	2,174
%Volume	20.67%	38.74%	40.59%
Mean (tons)	9.031	24.971	43.627
Std (tons)	3.286	6.143	6.770

รูปที่ 9-21 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักบรรทุกทุกภายใต้สภาวะใช้งาน

และเมื่อนำค่า strain ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละคานมาพล็อต (box plot) จะได้ผลการกระจายแรงลงสะพานตามแนวขวางดังแสดงในรูปที่ 9-22



รูปที่ 9-22 การกระจายน้ำหนักในโครงสร้างคาน



บทที่ 10 สะพานคลองน้ำรอบ

10.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานคลองน้ำรอบ (Tested Span: 20 m)

สะพานคลองน้ำรอบตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 16 นครศรีธรรมราช แขวงทางหลวง นครศรีธรรมราชที่ 1 จังหวัด นครศรีธรรมราช หมายเลขทางหลวง 4238 กม.กลางสะพาน 13+887 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2522 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 1951 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง ST(1x10) + TG(1x15) + TG(1x20) + TG(1x15) + ST(1x10) ความกว้างผิวทาง 7 เมตร

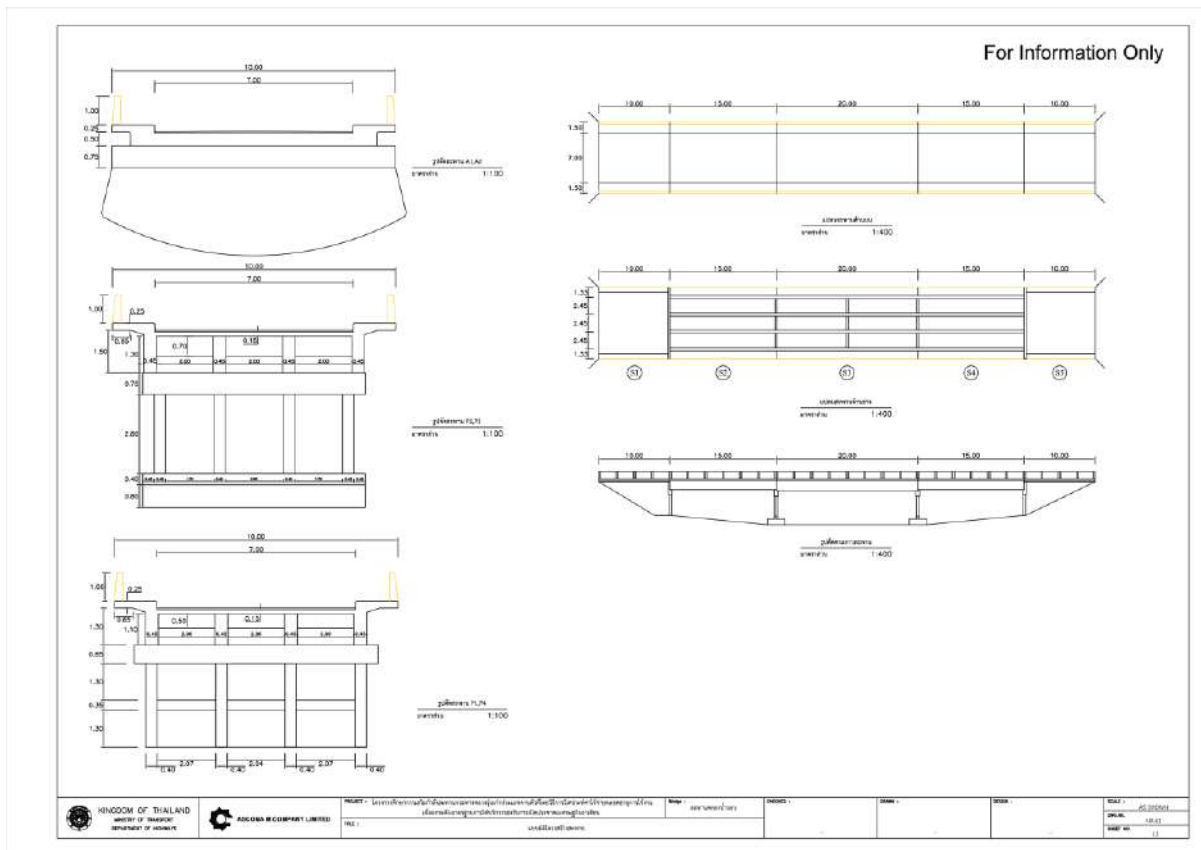


รูปที่ 10-1 รูปสำรวจทั่วไปของสะพานคลองน้ำรอบ

10.2 ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน

10.2.1. การสำรวจมิติสะพาน

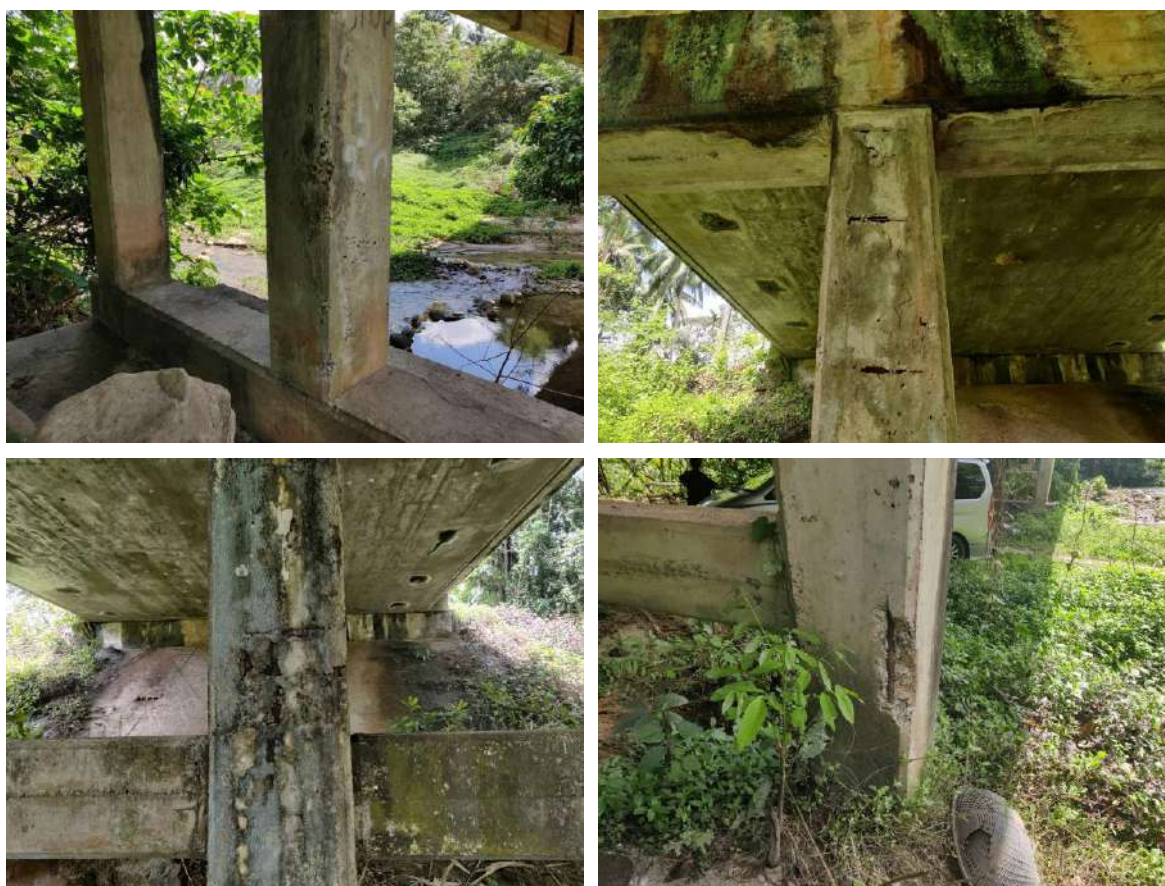
การสำรวจมิติของสะพานกระทำโดยถ่ายภาพสะพานในบริเวณต่าง ๆ ทั้งด้านบนและด้านล่าง และใช้เครื่องมือวัดระยะประเภทต่าง ๆ เช่น ตลับเมตร เทปวัด และเลเซอร์วัดระยะทาง ในการตรวจวัดขนาดชิ้นส่วนและมิติต่าง ๆ ของสะพาน ในกรณีที่ชิ้นส่วนโครงสร้างมีขนาดใหญ่มากหรืออยู่สูงมาก จะใช้นั่งร้านเพื่อช่วยในการเข้าถึงชิ้นส่วนนั้น ๆ ตัวอย่างบางส่วนរបแบบสำรวจมิติของสะพานในบริเวณต่าง ๆ ได้แสดงดังรูปที่ 10-2



รูปที่ 10-2 ตัวอย่างบางส่วนរបแบบสำรวจมิติของสะพานโดยรวม
 (แบบทั้งหมดขนาด A3 แสดงในแบบสำรวจสะพาน)

10.2.2. การสำรวจความเสียหายสะพาน

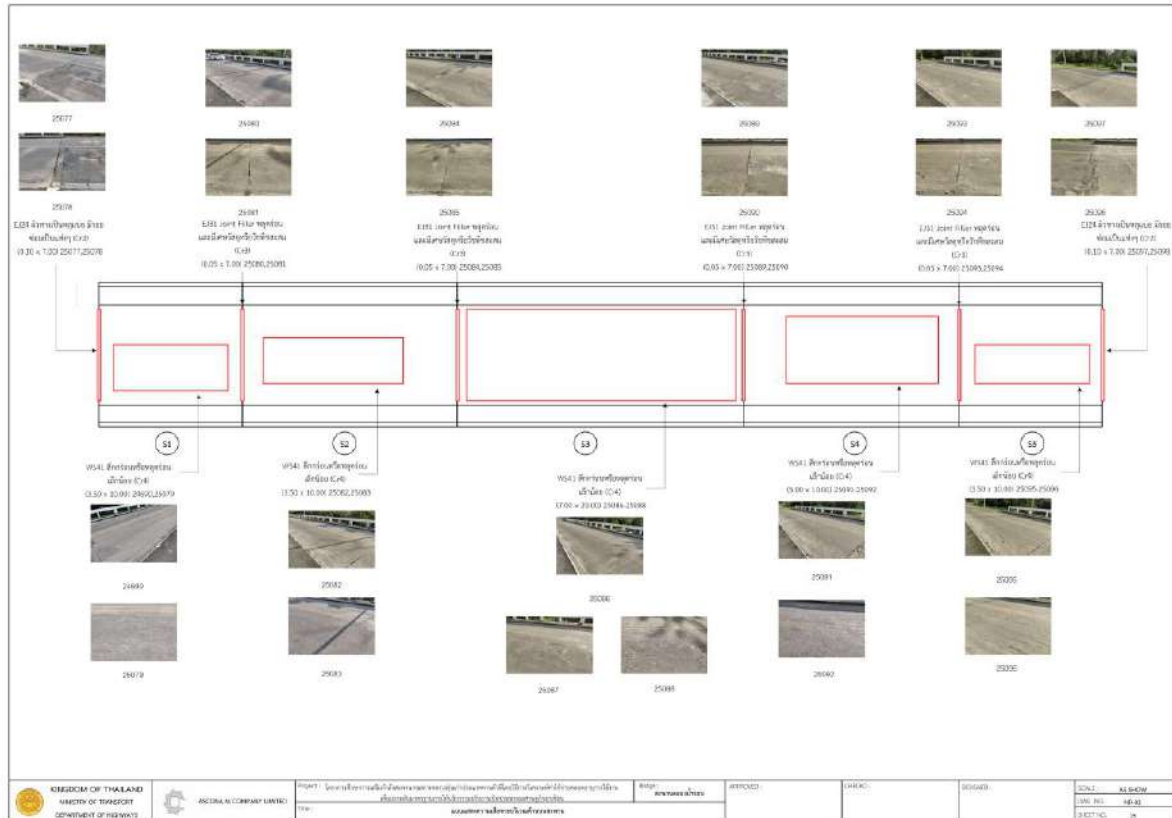
โครงการนี้ใช้วิธีการตรวจสอบความเสียหายด้วยสายตา (Visual Inspection) ในการรวบรวมข้อมูลความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพาน เพื่อใช้ประกอบการออกแบบงานซ่อมบูรณะและเสริมกำลังสะพาน รูปที่ 10-3 แสดงตัวอย่างความเสียหายของสะพาน และตารางที่ 10-1 แสดงรายการความเสียหายของสะพานข้ามคลองปากแพรก จากนั้นได้นำข้อมูลที่สำรวจได้ไปจัดทำเป็นแบบแสดงความเสียหายดังตัวอย่างบางส่วนที่แสดงในรูปที่ 10-4 โดยรายละเอียดทั้งหมดได้แสดงในแบบสำรวจสะพานที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้



รูปที่ 10-3 ตัวอย่างภาพความเสียหายของสะพาน

ตารางที่ 10-1 รายการความเสียหาย สะพานคลองน้ำรอบ

ลำดับ	บริเวณ	ชั้นส่วน	รายละเอียดความเสียหาย	ระดับความรุนแรง	ขนาด
1	S1	EJ1	EJ24 ผิวทางเป็นหลุมบ่อ มีรอยซ่อมเป็นแห่งๆ	CR 2	0.10 x 7.00
2	S2	EJ1	EJ31 Joint Filler หลุดร่อนและมีเศษวัสดุหรือวัชพืชสะสม	CR 3	0.05 x 7.00
3	S3	EJ1	EJ31 Joint Filler หลุดร่อนและมีเศษวัสดุหรือวัชพืชสะสม	CR 3	0.05 x 7.00
4	S4	EJ1	EJ31 Joint Filler หลุดร่อนและมีเศษวัสดุหรือวัชพืชสะสม	CR 3	0.05 x 7.00
5	S5	EJ1	EJ31 Joint Filler หลุดร่อนและมีเศษวัสดุหรือวัชพืชสะสม	CR 3	0.05 x 7.00
6	S5	EJ2	EJ24 ผิวทางเป็นหลุมบ่อ มีรอยซ่อมเป็นแห่งๆ	CR 2	0.10 x 7.00
7	S1	WS1	WS41 สีกกร่อนหรือหลุดร่อนเล็กน้อย	CR 4	3.50 x 10.00
8	S2	WS1	WS41 สีกกร่อนหรือหลุดร่อนเล็กน้อย	CR 4	3.50 x 10.00
9	S3	WS1	WS41 สีกกร่อนหรือหลุดร่อนเล็กน้อย	CR 4	7.00 x 20.00
10	S4	WS1	WS41 สีกกร่อนหรือหลุดร่อนเล็กน้อย	CR 4	5.00 x 10.00
11	S5	WS1	WS41 สีกกร่อนหรือหลุดร่อนเล็กน้อย	CR 4	3.50 x 10.00
12	S1	DK1	DK21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย	CR 2	0.50 x 1.00
13	S1	DK1	DK21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย	CR 2	0.50 x 1.00
14	S3	DK1	DK21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย	CR 2	0.50 x 1.50
15	S3	DK1	DK21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย	CR 2	0.30 x 0.30
16	S3	TG2	GD31 หลุดร่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม	CR 3	0.30 x 2.50
17	S3	TG3	GD31 หลุดร่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม	CR 3	0.30 x 2.50
18	P1	CL2	PR21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย	CR 2	0.30 x 0.50
19	P1	CL3	PR21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย	CR 2	0.30 x 0.50



รูปที่ 10-4 ตัวอย่างบางส่วนของแบบแสดงความเสียหาย

10.2.3. การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลข

การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลขจะใช้วิธีตามแนวทางของระบบบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) กรมทางหลวง ซึ่งจะเลือกชิ้นส่วนที่มีค่าผลคูณความสำคัญของชิ้นส่วน (Weighting, w) กับระดับความเสียหาย (Damage Rating, DR) ที่สูงที่สุด 5 ลำดับแรก จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของชิ้นส่วนที่วิกฤติที่สุดเหล่านั้นเป็นค่า Weighted Critical Damage Rating (WCDR) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความเสี่ยงที่โครงสร้างจะวิบัติ ผลการประเมินพบว่าสะพานมีค่า WCDR = 2.56 (จากคะแนนเต็ม 5) หรือแปลงให้อยู่ในรูป Weighted Critical Condition Rating (WCCR) = 5 - 2.56 = 2.44 ซึ่งอยู่ระหว่าง ระดับชำรุด (CR=2) และระดับพอใช้ (CR=3) กล่าวโดยรวมสะพานมีการเสื่อมสภาพ ชำรุดทรุดโทรม ควรได้รับการซ่อมบำรุงและเสริมกำลังตามกำหนดการ

ตารางที่ 10-2 การประเมินระดับความเสียหายหรือสภาพการใช้งานโดยรวม

บริเวณ- ชิ้นส่วน	ประเภท ชิ้นส่วน	สภาพการใช้งาน (Condition Rating, CR)	ระดับความเสียหาย (Damage Rating) (DR = 5 - CR)	ระดับความสำคัญของชิ้นส่วน (w)	w*DR
P1-CL2	CL	2	3	1	3
P1-CL3	CL	2	3	1	3
S1-DK1	DK	2	3	0.8	2.4
S3-DK1	DK	2	3	0.8	2.4
S3-TG2	GD	3	2	1	2
Weighted Critical Damage Rating (WCDR)					2.56
Weighted Critical Condition Rating (CCDR = 5 - WCDR)					2.44

10.3 ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน

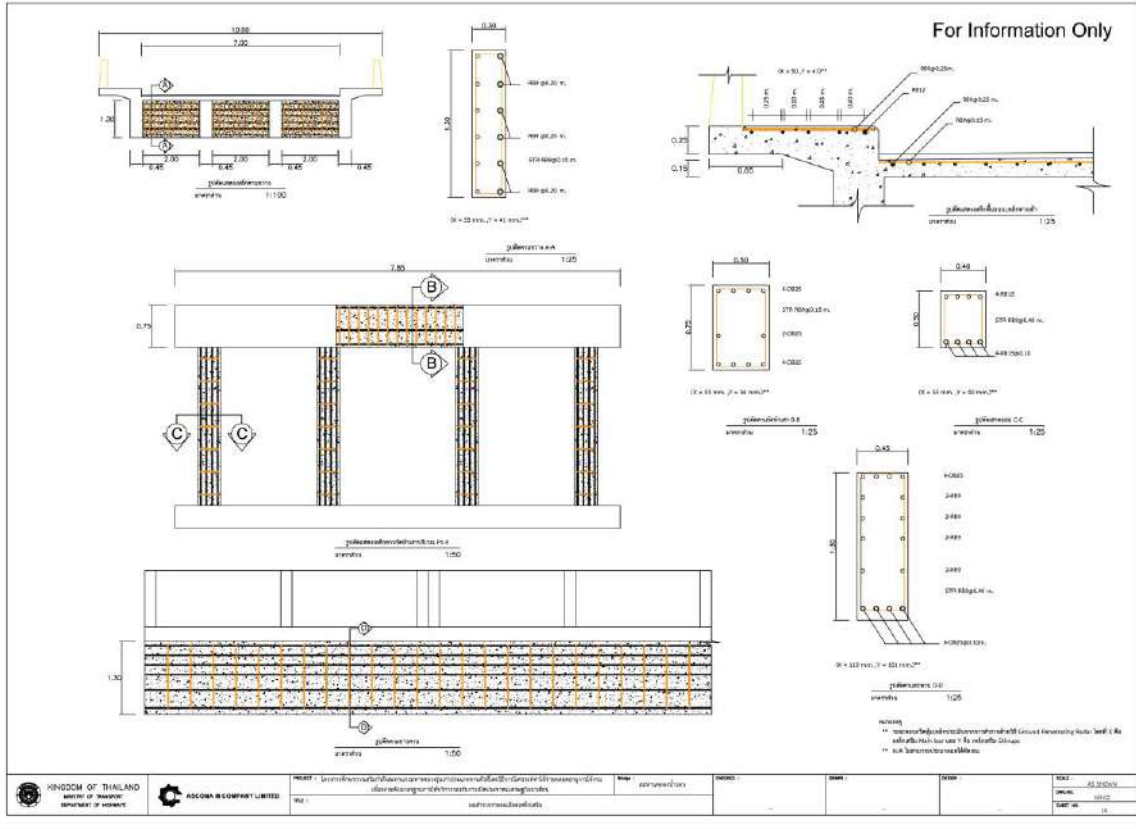
ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมที่ชิ้นส่วนโครงสร้างสำคัญต่าง ๆ มีรวมทั้งสิ้น 123.2 ตร.ม. ดังแสดงในตารางที่ 10-3 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมได้แสดงไว้ในรูปที่ 10-5 โดยผลการสำรวจทั้งหมดได้แสดงไว้ในแบบสำรวจสะพานที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างในรูปตัด (Typical section) และรูปด้านต่าง ๆ

ตารางที่ 10-3 พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมในชิ้นส่วนโครงสร้างหลักของสะพาน

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม (ตร.ม.)
เสาตอม่อ (Pier)	10.8
คานรัดเสาตอม่อ (Cap Beam)	10.0
คานหลัก (Girder)	61.0
ไดอะแฟรม (Diaphragm)	5.6
พื้นสะพาน (Deck) บริเวณถนน	16.0
พื้นสะพาน (Deck) บริเวณทางเท้า	9.6
รวมทั้งสิ้น	123.2



รูปที่ 10-5 รูปการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพานด้วยเครื่อง GPR



รูปที่ 10-6 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม

10.4 การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

10.4.1. การดำเนินการเก็บวัสดุทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลังรับแรงดึง



รูปที่ 10-7 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังคอนกรีต



รูปที่ 10-8 รูปการซ่อมคืนสภาพจากการเก็บวัสดุทดสอบกำลังคอนกรีต



10.4.1. การดำเนินการเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม



รูปที่ 10-9 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม



รูปที่ 10-10 รูปการซ่อมคืนสภาพจากการเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม

10.4.1. การดำเนินการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน



รูปที่ 10-11 รูปการทำงานทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน

10.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

10.5.1. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต สะพานละ 20 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย พื้นสะพาน (Deck, DK) ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไตอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) ค้ำยันเสาต่อม่อ (Bracing, BC) และเสาดอม่อ (Pier Column, CL) ตารางที่ 10-4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 10-4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (สะพานคลองน้ำรอบ, NR)

ลำดับ	ชิ้นส่วน	รหัสทดสอบ	Compressive Strength (ksc)
1	CL	NR-CL1-1	154
2	CL	NR-CL2-1	366
3	CL	NR-CL3-1	243
4	CL	NR-CL4-1	389
5	CB	NR-CB1	331
6	CB	NR-CB4	133
7	DP	NR-DP1	208
8	DP	NR-DP3	131
9	SW	NR-SW1-S3-1	236
10	SW	NR-SW1-S3-3	328
11	SW	NR-SW1-S3-5	146
12	SW	NR-SW1-S3-7	323
13	SW	NR-SW2-S3-1	276
14	SW	NR-SW2-S3-3	292
15	SW	NR-SW2-S3-5	198
16	SW	NR-SW2-S3-7	155
17	TG	NR-TG1-1	408
18	TG	NR-TG1-3	370
19	TG	NR-TG2-1	335
20	TG	NR-TG2-3	218

10.5.2. ผลทดสอบกำลังรับแรงดึงของคานกรีต

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคานกรีต สะพานละ 20 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย พื้นสะพาน (Deck, DK) ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไตอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) ค้ำยันเสาทอม่อ (Bracing, BC) และเสาทอม่อ (Pier Column, CL) ตารางที่ 10-5 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึง

ตารางที่ 10-5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคานกรีต (สะพานคลองน้ำรอบ, NR)

ลำดับ	ชิ้นส่วน	รหัสทดสอบ	Tensile Strength (ksc)
1	CL	NR- CL1-2	24
2	CL	NR- CL2-2	19
3	CL	NR- CL3-2	18
4	CL	NR- CL4-2	18
5	CB	NR-CB2	18
6	CB	NR-CB3	16
7	DP	NR-DP2	21
8	DP	NR-DP4	26
9	SW	NR-SW1-S3-2	22
10	SW	NR-SW1-S3-4	27
11	SW	NR-SW1-S3-6	20
12	SW	NR-SW1-S3-8	23
13	SW	NR-SW2-S3-2	22
14	SW	NR-SW2-S3-4	16
15	SW	NR-SW2-S3-6	26
16	SW	NR-SW2-S3-8	23
17	TG	NR-TG1-2	20
18	TG	NR-TG1-4	19
19	TG	NR-TG2-2	15
20	TG	NR-TG2-4	19

10.5.3. ผลการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน

โครงการนี้ได้ทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน สะพานละ 20 ตำแหน่ง ๆ ละ 5 ระดับความลึก (รวมทั้งสิ้น 100 ตัวอย่าง) โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย พื้นสะพาน (Deck, DK) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) คานหลัก (Girder, GD) ไดอะแฟรม (Diaphragm, DP) และเสาตอม่อ (Pier Colum, CL) ตารางที่ 10-6 แสดงผลการทดสอบหาค่าความลึกการเกิดคาร์บอนเนชัน (Carbonation Depth)

ตารางที่ 10-6 ผลการทดสอบหาค่าความลึกปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน (สะพานคลองน้ำรอบ, NR)

ลำดับ	ชิ้นส่วน	ความลึกการพบคาร์บอนเนชัน (cm)	ระดับความลึกที่ทดสอบปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน				
			1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
1	DP1	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
2	DP2	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
3	GD1	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
4	GD2	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
5	GD3	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
6	GD4	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
7	DK1	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
8	DK2	3	เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
9	DK3	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
10	DK4	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
11	DK5	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
12	DK6	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
13	DK7	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
14	DK8	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
15	P1	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
16	P2	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
17	P3	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
18	P4	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
19	P5	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
20	P6	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด

10.5.4. ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

สะพานได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมของสะพานจำนวน 20 โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไตอะแฟรม (Diaphragm, DP) และเสาดอมือ (Pier Colum, CL) แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

ตารางที่ 10-7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม (สะพานคลองน้ำรอบ, NR)

ลำดับ	รหัสทดสอบ	ชิ้นส่วน	Tested Diamiter (mm)	Yield Stress (ksc)	Ultimate Stress (ksc)
1	NR-CB-1 (DB)	CB	25	1643	5455
2	NR-CB-2 (RB)	CB	9	6372	6610
3	NR-DP1 (RB)	DP	9	4444	6495
4	NR-DP2 (RB)	DP	9	6097	6493
5	NR-DP3 (RB)	DP	9	6461	6731
6	NR-DP4 (RB)	DP	9	3544	5736
7	NR-CL1 (RB)	CL	9	3331	4447
8	NR-CL2 (RB)	CL	9	3571	5015
9	NR-CL3 (RB)	CL	9	3570	5111
10	NR-CL4 (DB)	CL	25	5041	7330
11	NR-SW1-S3-1 (RB)	SW	12	4126	5422
12	NR-SW1-S3-2(RB)	SW	9	7111	7390
13	NR-SW1-S3-3 (RB)	SW	9	3599	4550
14	NR-SW1-S3-4 (RB)	SW	9	6683	6914
15	NR-SW2-S3-1 (RB)	SW	12	3710	5058
16	NR-SW2-S3-2 (RB)	SW	9	4296	5058
17	NR-SW2-S3-3 (RB)	SW	9	6461	7056
18	NR-SW2-S3-4 (RB)	SW	9	4174	5368
19	NR-TG1-1 (RB)	GD	12	4457	5990
20	NR-TG2-1 (RB)	GD	12	4867	6159

10.5.5. สรุปผลทดสอบวัสดุสะพาน

ตารางที่ 10-8 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่าชิ้นส่วนทางเท้า (SW) คานตามยาว (GD) ไตอะแฟรม (DP) คานรัดหัวเสา (CB) และเสาตอม่อ (CL) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 244.3, 332.8, 169.5, 231.8 และ 287.9 ksc ตามลำดับ

ตารางที่ 10-8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

Member	N	Avg (ksc)	SD (ksc)
Side Walk (SW)	8	244.3	72.2
Girder (GD)	4	332.8	82.1
Diaphragm (DP)	2	169.5	55.0
Cap beam (CB)	2	231.8	139.5
Pier Colum (CL)	4	287.9	110.1

ตารางที่ 10-9 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่าชิ้นส่วนทางเท้า (SW) คานตามยาว (GD) ไตอะแฟรม (DP) คานรัดหัวเสา (CB) และเสาตอม่อ (CL) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.2, 18.2, 23.6, 17.0 และ 19.5 ksc ตามลำดับ

ตารางที่ 10-9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

Member	N	Avg (ksc)	SD (ksc)
Side Walk (SW)	8	22.2	3.5
Girder (GD)	4	18.2	1.9
Diaphragm (DP)	2	23.6	3.7
Cap beam (CB)	2	17.0	0.9
Pier Colum (CL)	4	19.5	3.3

ตารางที่ 10-10 แสดงผลการทดสอบค่าความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันแยกตามประเภท
 ชั้นส่วน ซึ่งพบว่าชั้นส่วน พื้นสะพาน (Deck) คานตามยาว (GD) ไตอะแฟรม (DP) และเสาตอม่อ (CL)
 มีความลึกการเกิดคาร์บอนเนชันเฉลี่ยเท่ากับ 1.38, 0.50, 1.00 และ 0.67 cm ตามลำดับ ถ้าคาร์บอนเนชัน
 เกิดลึกถึงชั้นเหล็กเสริม เหล็กเสริมสามารถเกิดสนิมได้ ซึ่งชั้นส่วนแต่ละประเภทอาจมีระยะคอนกรีตหุ้ม
 เหล็กเสริมไม่เท่ากัน และเมื่อพิจารณาความแปรปรวนของค่าที่ตรวจวัดได้ ชั้นส่วนพื้นสะพาน (Deck)
 คานตามยาว (GD) ไตอะแฟรม (DP) และเสาตอม่อ (CL) มีโอกาสที่ความลึกคาร์บอนเนชันจะเกิดลึกถึง
 ชั้นเหล็กเสริมเท่ากับ 10.68, 1.84, 0, และ 0.48 % ตามลำดับ

ตารางที่ 10-10 ผลทดสอบความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน

Member	N	Avg (cm)	SD (cm)	Covering (cm)		Prob (depth > field covering) (%)
				Field (GPR)		
Deck (DK)	8	1.38	1.19	3		10.68%
Girder (GD)	4	0.50	1.00	4.1		1.84%
Diaphragm (DP)	2	1.00	0.00	4.1		-
Pier Colum (CL)	6	0.67	0.82	4		0.48%

ตารางที่ 10-11 แสดงผลการทดสอบเหล็กข้ออ้อย (DB) ของสะพาน เมื่อนำข้อมูลจำนวน 2
 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 3342 ksc ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 เท่ากับ 2403 ksc และ ตารางที่ 10-12 แสดงผลการทดสอบเหล็กกลม (RB) ของสะพาน เมื่อนำข้อมูล
 จำนวน 18 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 4826 ksc ค่าเบี่ยงเบน
 มาตรฐานเท่ากับ 1312 ksc ข้อมูลการทดสอบวัสดุจะถูกนำไปใช้ในการออกแบบเสริมกำลังเสริมสะพาน
 ในลำดับถัดไป

ตารางที่ 10-11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อย (DB)

Member	Yield Tensile Strength (ksc)			Ultimate Tensile Strength (ksc)		
	N	Avg	SD	N	Avg	SD
Capbeam (CB)	1	1643	-	1	5455	-
Pier column (CL)	1	5041	-	1	7330	-
ALL RB	2	3342	2403	2	6393	1326

ตารางที่ 10-12 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กกลม (RB)

Member	Yield Tensile Strength (ksc)			Ultimate Tensile Strength (ksc)		
	N	Avg	SD	N	Avg	SD
Capbeam (CB)	1	6372	-	1	6610	-
Diaphragm (DP)	4	5137	1378	4	6364	433
Girder (GD)	2	4662	290	2	6074	119
Sidewalk (SW)	8	5020	1463	8	5852	1090
Pier column (CL)	3	3491	138	3	4858	359
ALL DB	18	4826	1312	18	5867	902

10.6 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานคลองน้ำรอบ

ที่ปรึกษาได้ทำการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานคลองน้ำรอบ ที่ช่วงความยาว 20 เมตร โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต (Static Test) การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบพลวัต (Dynamic Test) และการทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน (Normal Traffic Test) โดยรายละเอียดการดำเนินงานมีดังนี้

10.6.1. อุปกรณ์การตรวจวัด

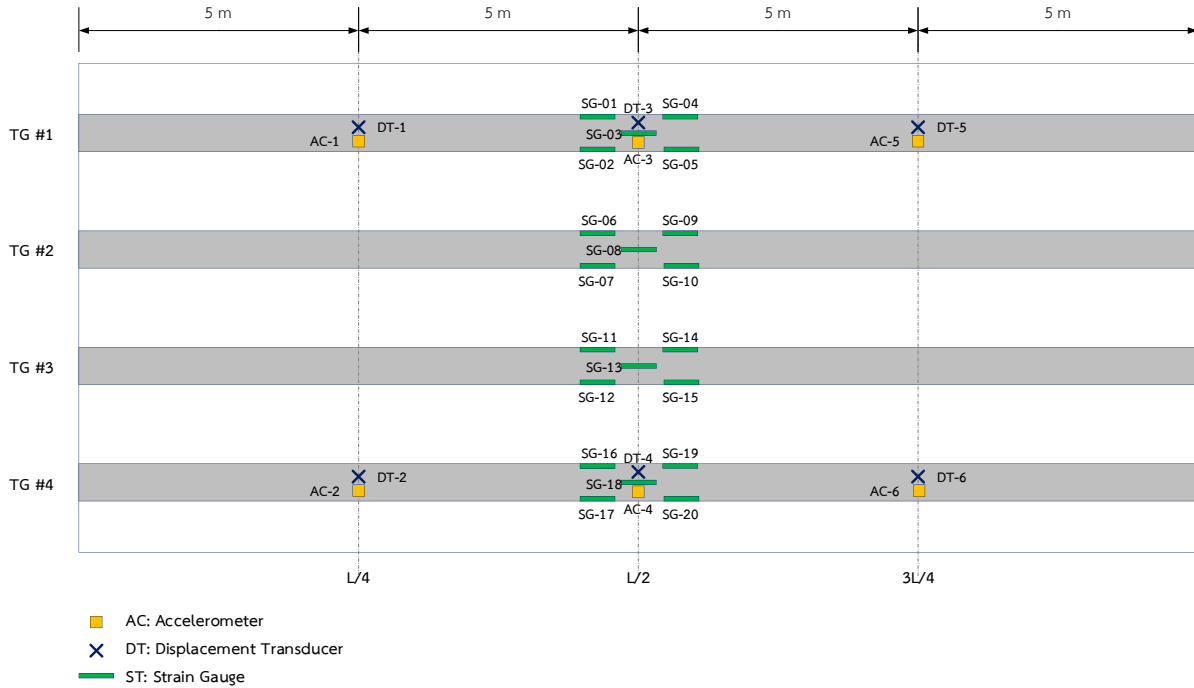
ที่ปรึกษาได้ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดพฤติกรรมของโครงสร้างสะพาน ประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด อุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนที่ และอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว รวมถึงอุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยมีจำนวนดังต่อไปนี้

ตารางที่ 10-13 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

ลำดับ	อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด	จำนวน
1	อุปกรณ์วัดความเครียด (Strain Gauge)	20
2	อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ (Displacement Transducer)	6
3	อุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว (Accelerometer)	6
4	อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Data Acquisition)	1
5	อุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop)	1

10.6.2. ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

ที่ปรึกษาได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสะพาน ซึ่งแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 10-12 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด



10.6.3. น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

ที่ปรึกษาได้ทดสอบพฤติกรรมการรับน้ำหนักของสะพานภายใต้สภาวะควบคุม โดยใช้รถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 2 คัน โดยมีรายละเอียดระยะเพลารถและน้ำหนักบรรทุกดังนี้

ตารางที่ 10-14 น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

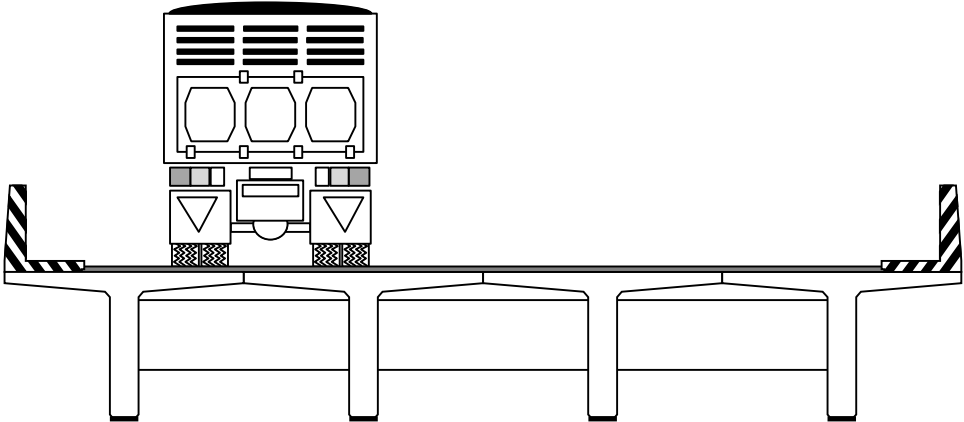
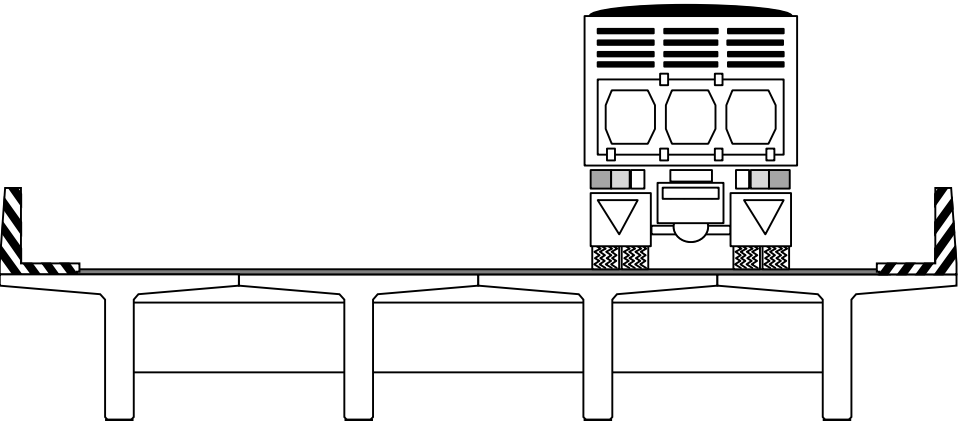
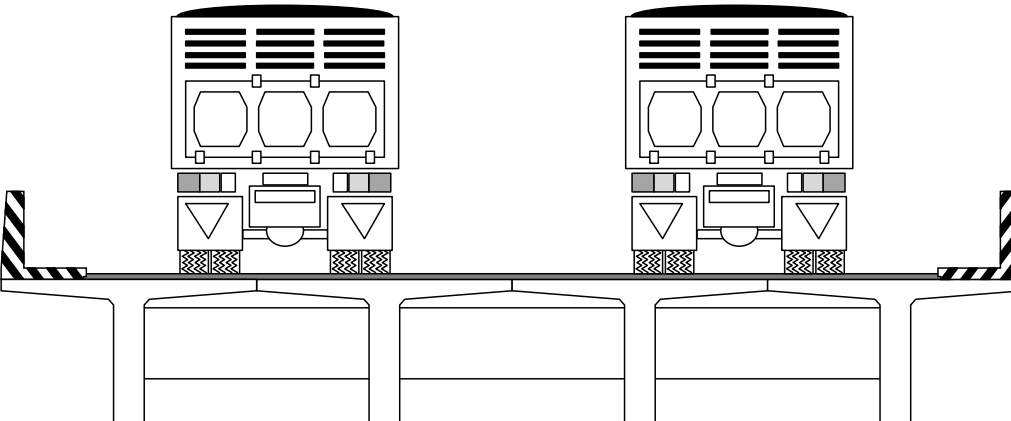
คันที่	1	2
ประเภท	รถบรรทุก (81-2837)	รถบรรทุก (70-3213)
น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	24.980	24.455
ระยะเพลาคี่ 1 ถึง 2 (a, เมตร)	4.15	4.25
ระยะเพลาคี่ 2 ถึง 3 (b, เมตร)	1.30	1.30
ความกว้างฐานล้อ (c, เมตร)	1.98	1.98

10.6.4. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต

การทดสอบแบบสถิต (Static Test) เป็นการนำรถบรรทุกทดสอบจอดตามตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนด 3 รูปแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

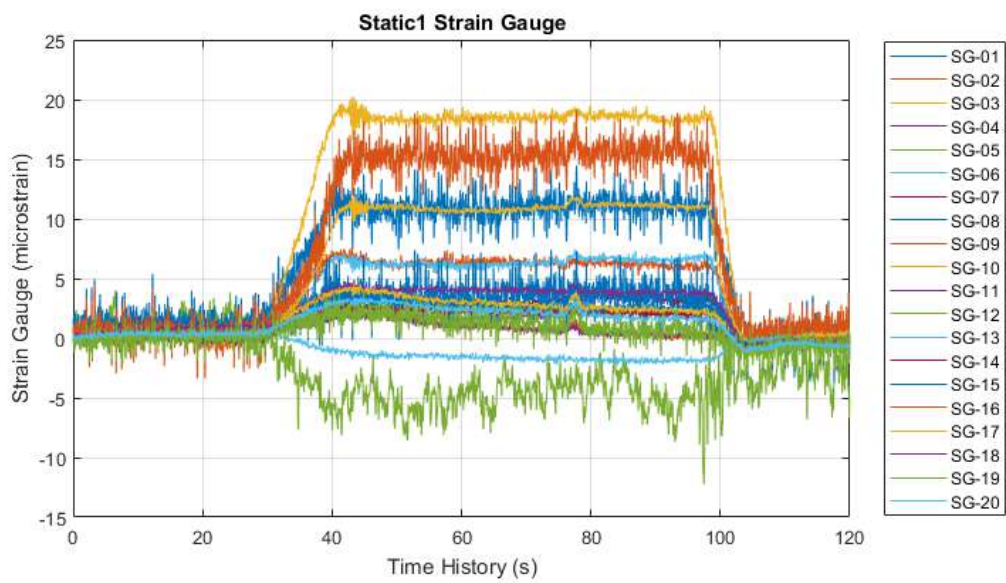
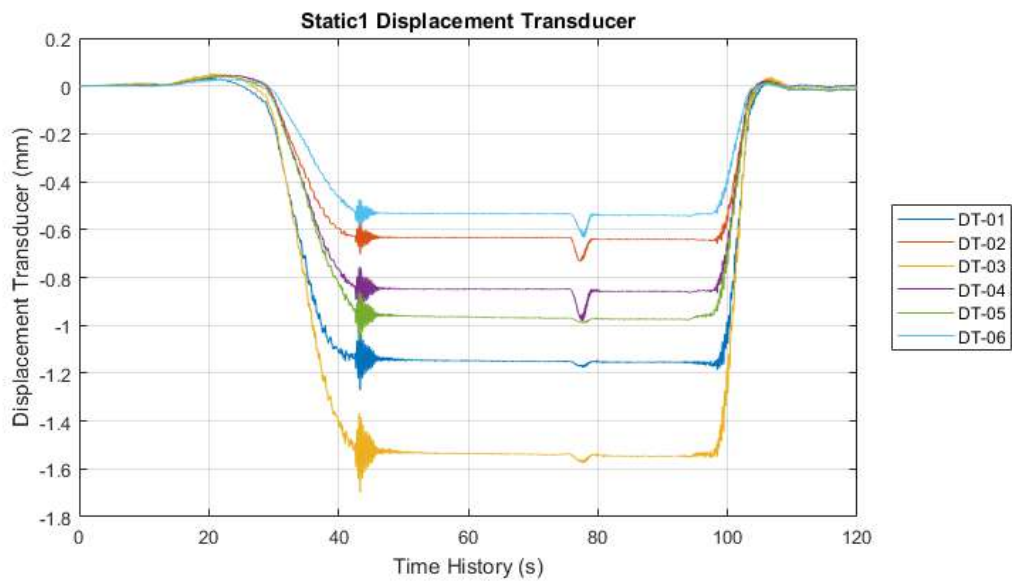
- Static 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง $L/2$ ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางซ้าย
- Static 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง $L/2$ ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางขวา
- Static 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน จอดเรียงกันที่ตำแหน่ง $L/2$ ของความยาวช่วง ทั้งสองช่องจราจร

ตารางที่ 10-15 รูปแบบการทดสอบแบบสถิต ด้วยรถบรรทุกน้ำหนัก

Case	Pattern
Static 1	
Static 2	
Static 3	

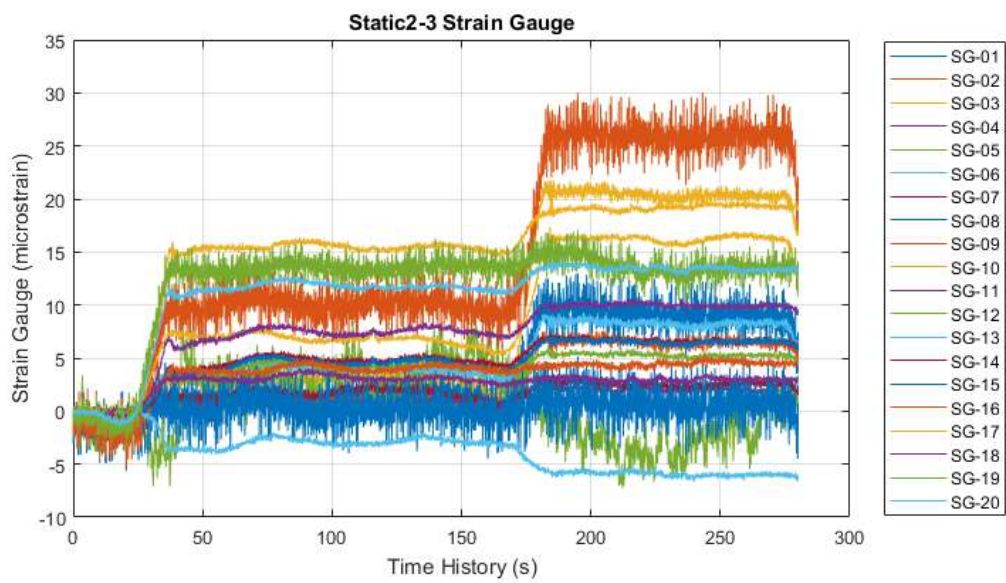
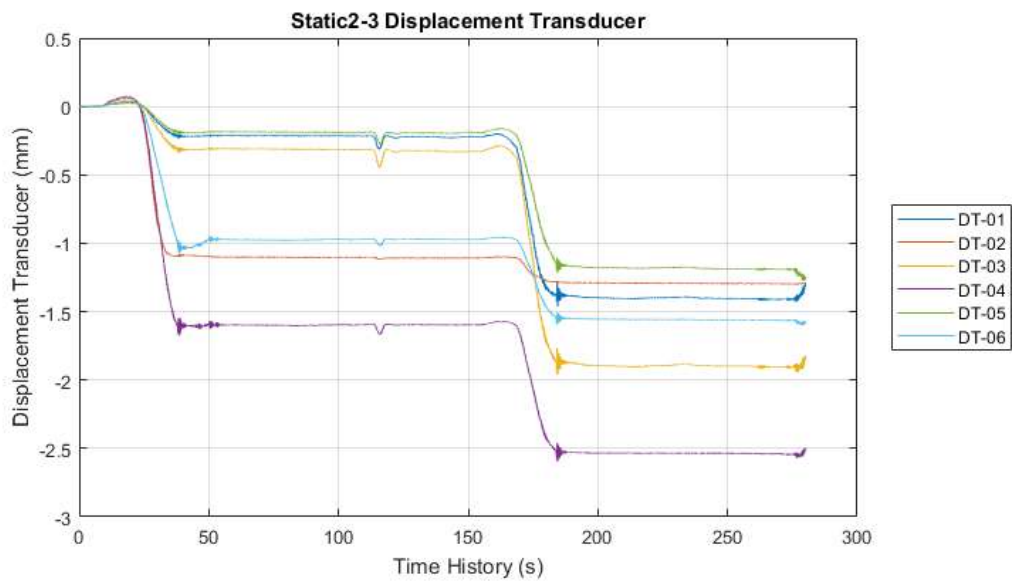


รูปที่ 10-13 ภาพการทดสอบแบบสถิต



รูปที่ 10-14 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 1

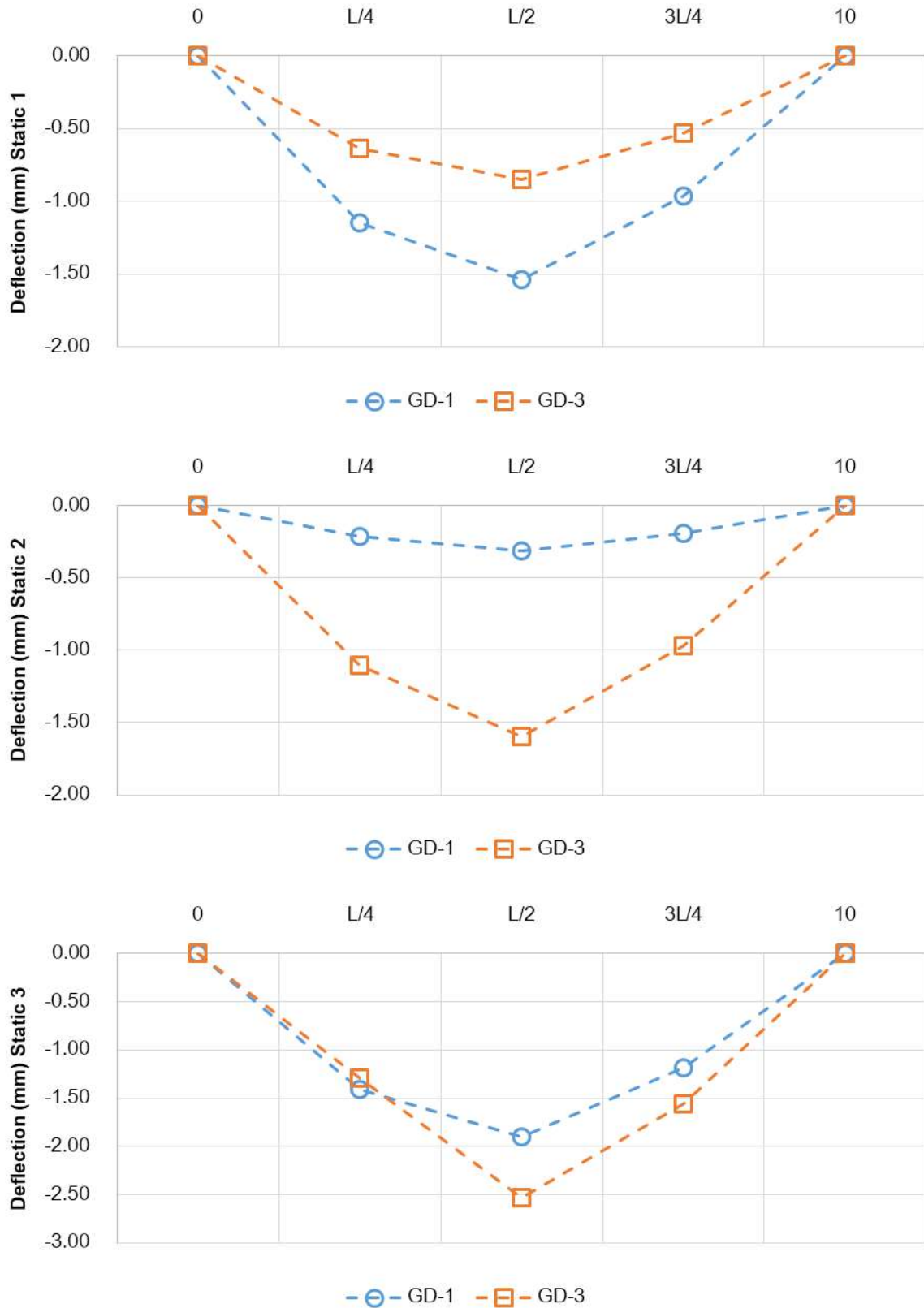




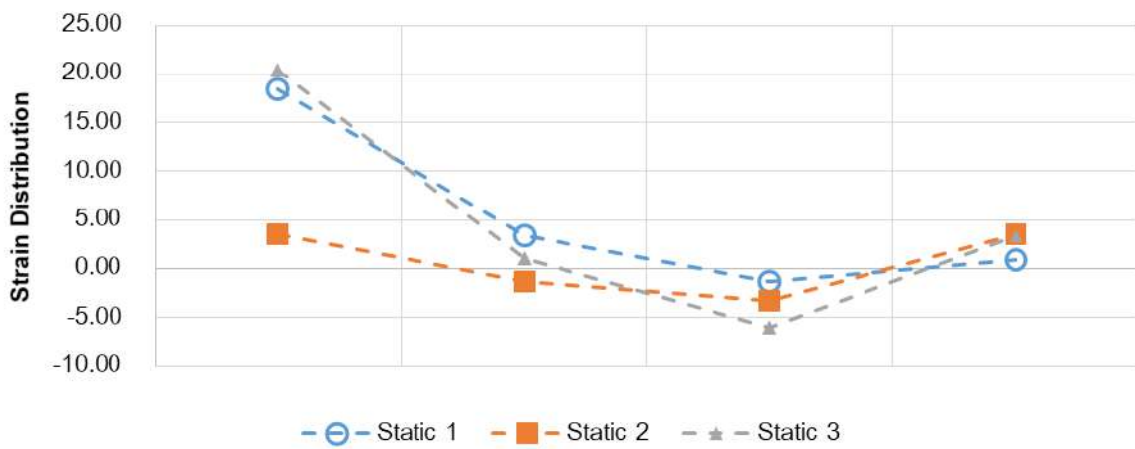
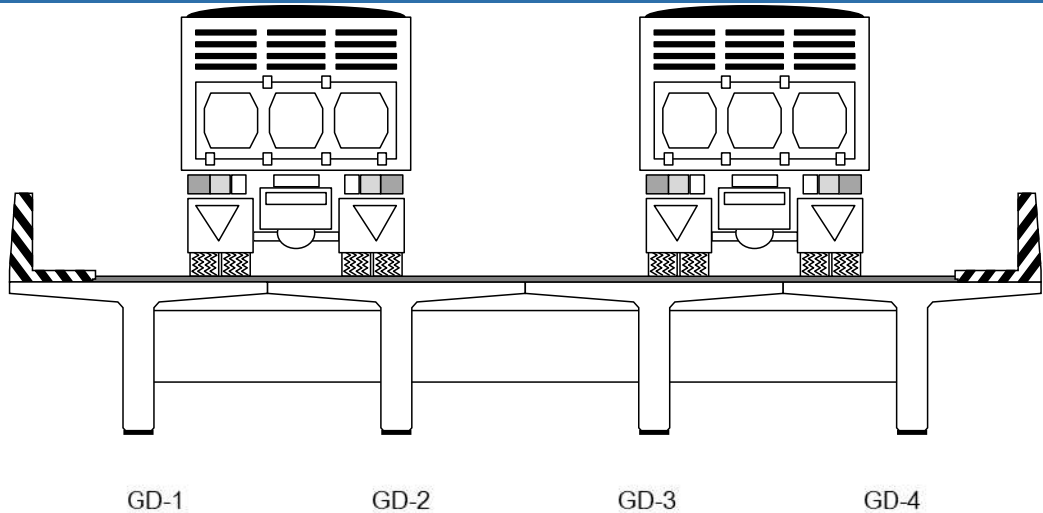
รูปที่ 10-15 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 2 และ Static 3

ตารางที่ 10-16 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานแบบสถิต

Sensor	Position L/2		
	Static 1	Static 2	Static 3
DT 01	-1.148	-0.216	-1.404
DT 02	-0.633	-1.104	-1.294
DT 03	-1.536	-0.316	-1.898
DT 04	-0.849	-1.595	-2.535
DT 05	-0.964	-0.189	-1.187
DT 06	-0.532	-0.971	-1.560
SG 01	10.504	0.375	9.554
SG 02	6.338	1.192	6.471
SG 03	18.475	3.467	20.388
SG 04	1.706	0.825	1.933
SG 05	-4.440	3.675	-1.250
SG 06	6.060	3.858	8.240
SG 07	3.298	1.898	2.396
SG 08	3.396	-1.340	1.083
SG 09	15.115	8.556	26.481
SG 10	10.600	6.619	16.352
SG 11	4.115	7.290	10.108
SG 12	2.663	3.804	5.494
SG 13	-1.279	-3.210	-5.973
SG 14	2.167	4.702	6.808
SG 15	3.065	4.423	6.635
SG 16	0.958	4.242	4.802
SG 17	2.979	15.583	19.481
SG 18	0.917	3.546	3.385
SG 19	1.198	12.754	13.817
SG 20	2.369	12.023	13.663



รูปที่ 10-16 พฤติกรรมการแอ่นตัวของคานตัวที่ 1 และตัวที่ 3



รูปที่ 10-17 พฤติกรรมการกระจายแรงตามขวางของสะพาน

10.6.5. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบพลวัต

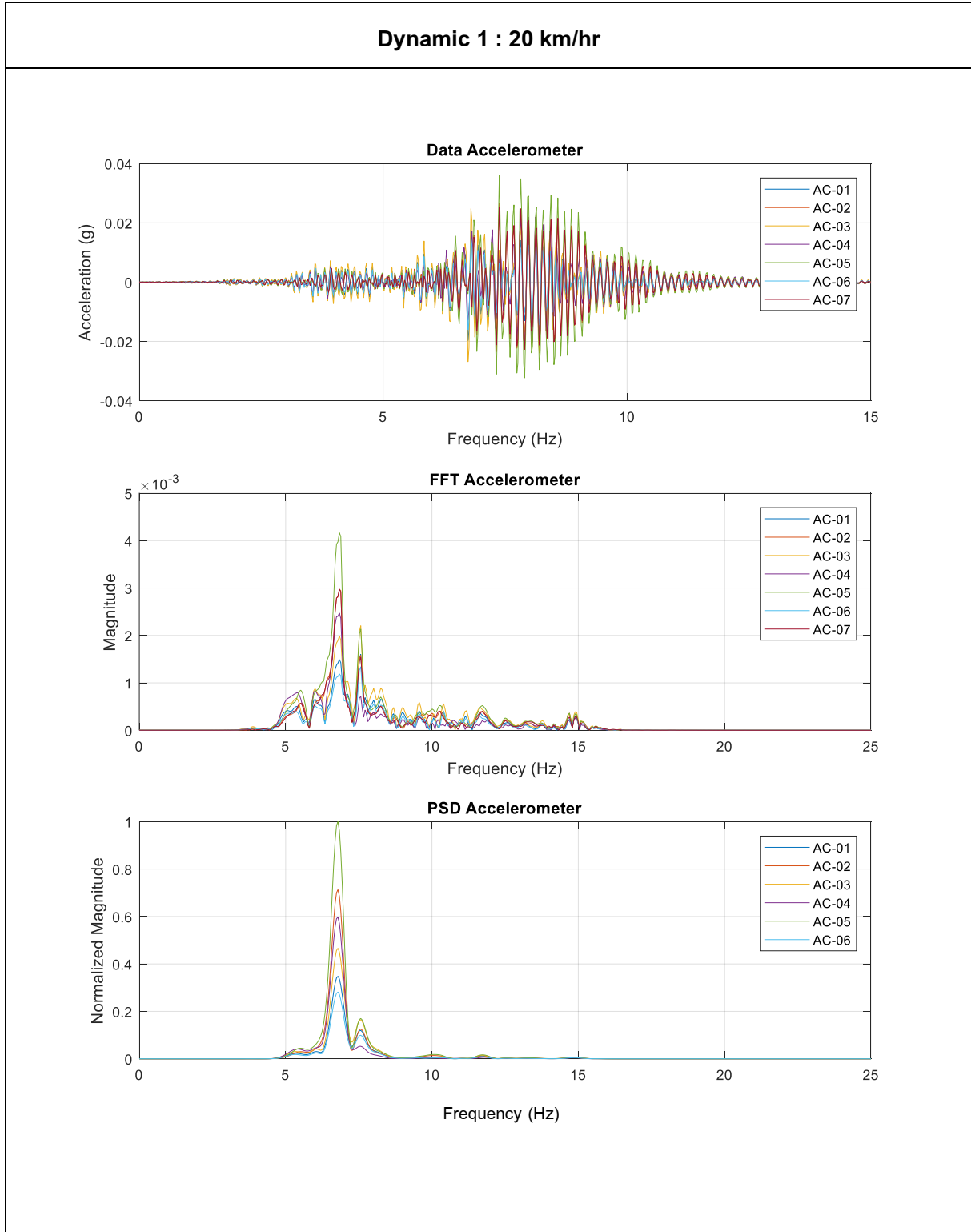
การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Test) เป็นการทดสอบโดยใช้รถบรรทุกวิ่งผ่านช่วงสะพาน ทดสอบหลายรูปแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- Dynamic 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกทุกจำนวน 2 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 20 กม./ชม.
- Dynamic 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกทุกจำนวน 2 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 30 กม./ชม.
- Dynamic 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกทุกจำนวน 2 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 50 กม./ชม.



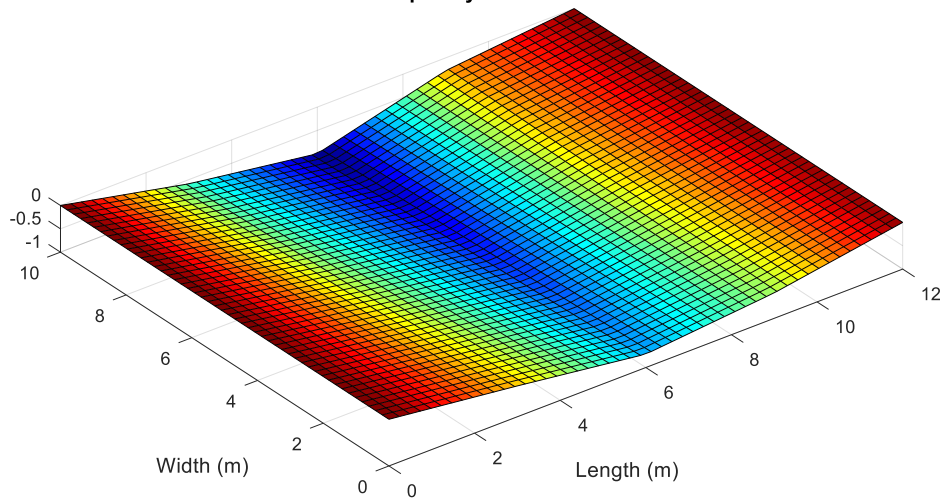
รูปที่ 10-18 ภาพการทดสอบแบบพลวัต

สำหรับการวิเคราะห์ผลการตรวจวัดพฤติกรรมแบบพลวัตเพื่อหาคุณสมบัติทางพลศาสตร์ ประกอบด้วย ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) และค่าตัวคูณเพิ่มแรงกระแทก (Impact Factor) สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

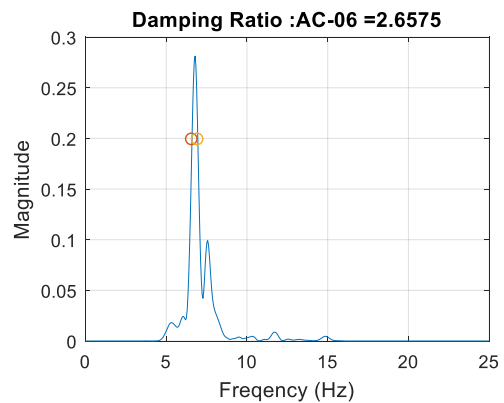
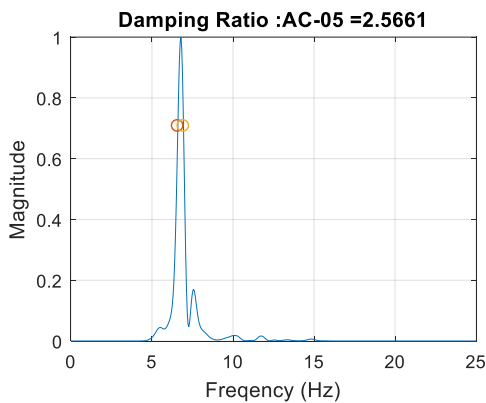
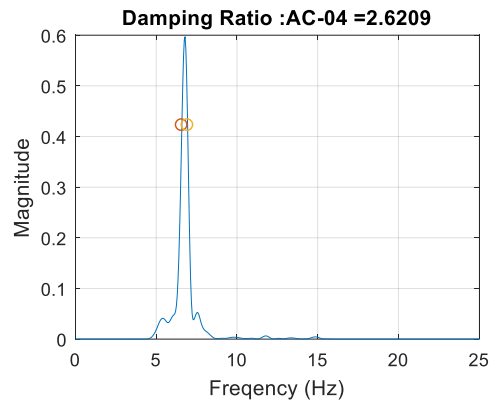
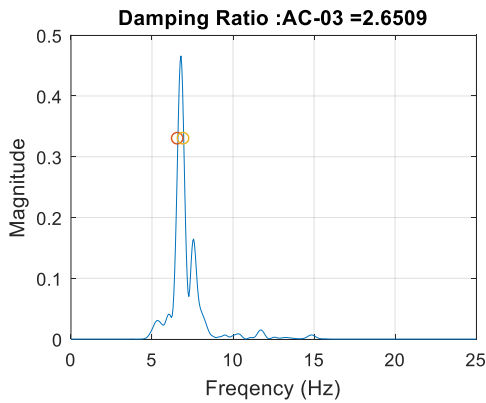
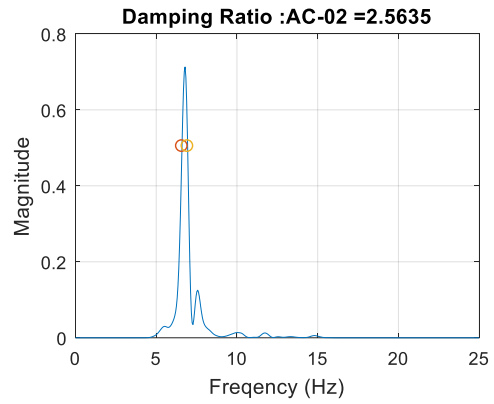
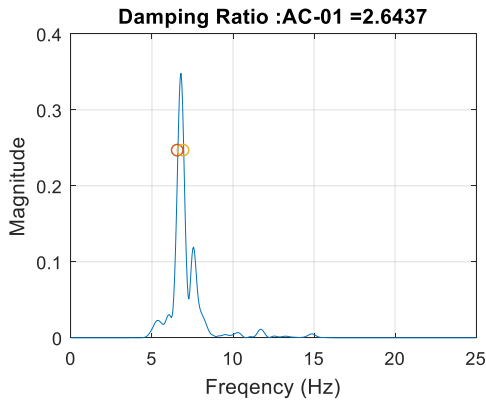


Dynamic 1 : 20 km/hr

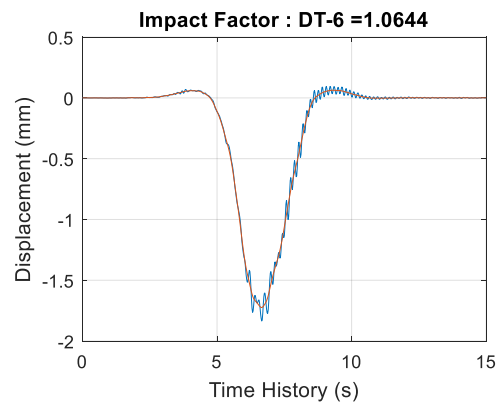
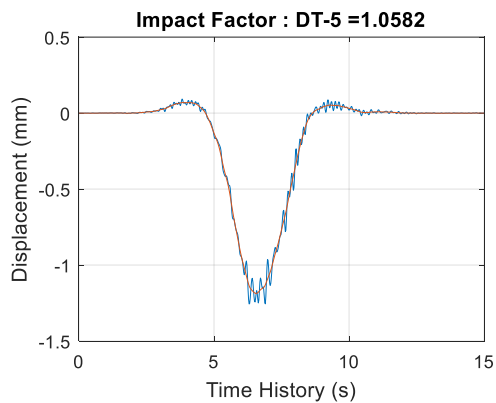
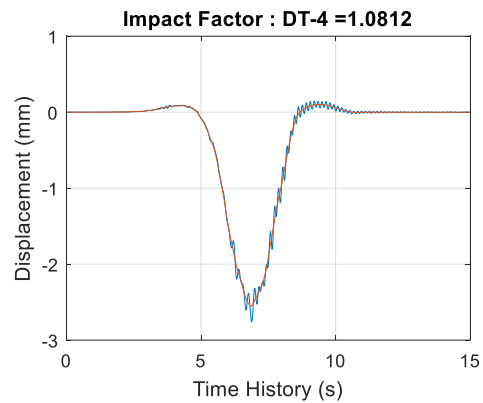
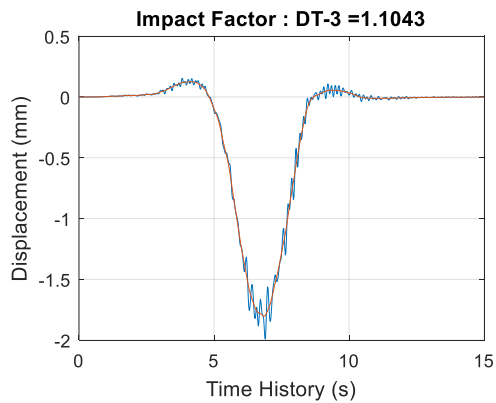
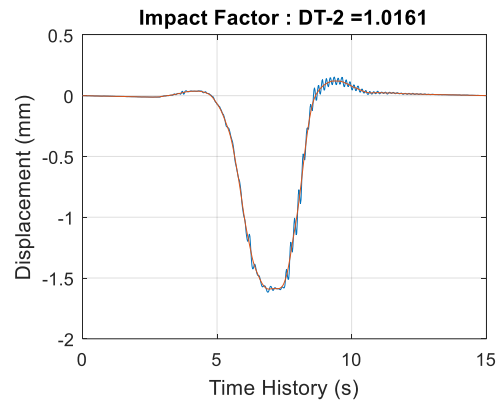
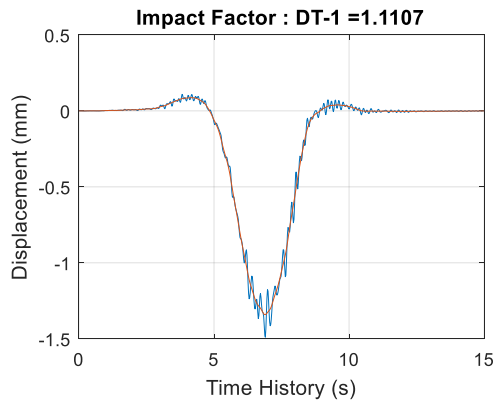
Frequency =6.7871 Hz



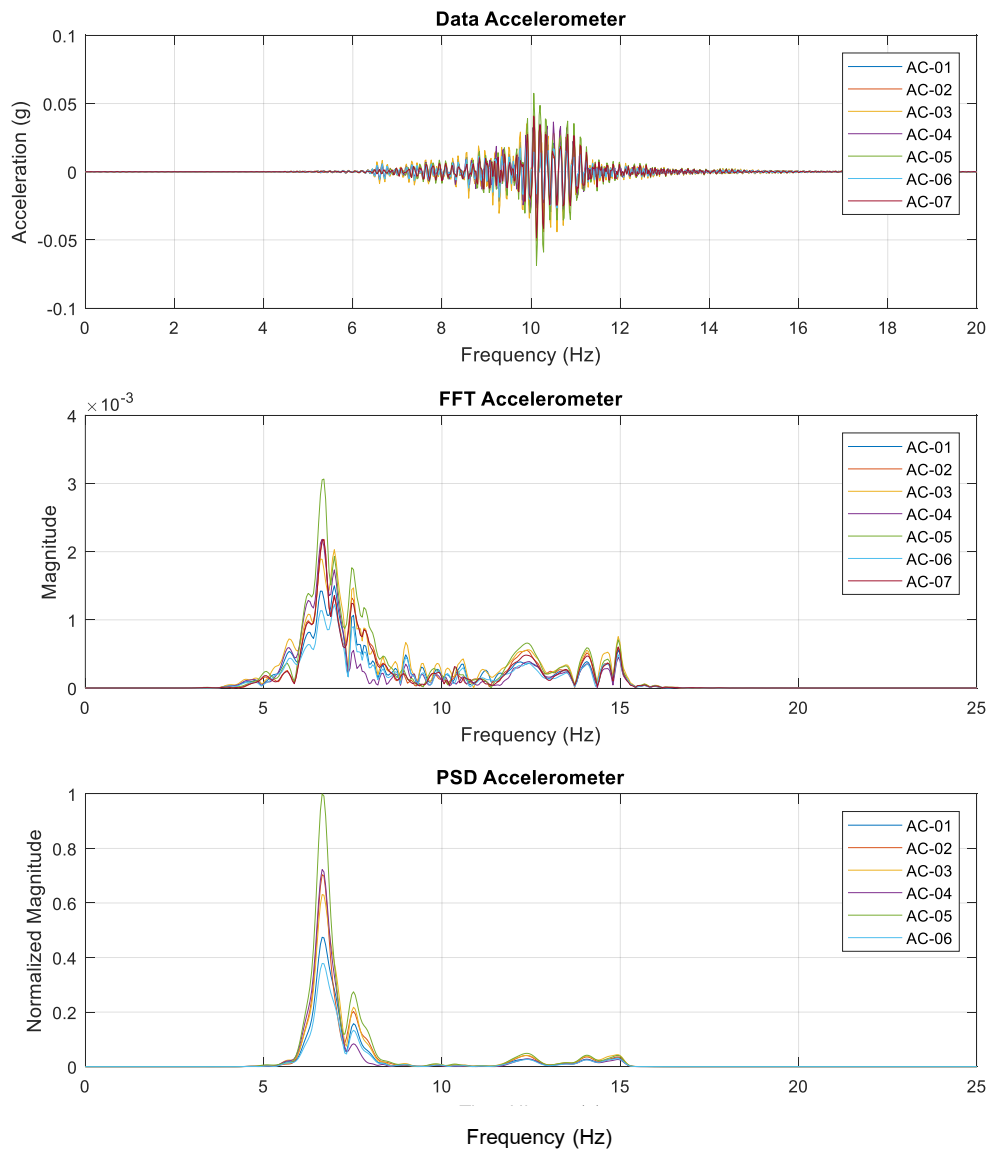
Dynamic 1 : 20 km/hr



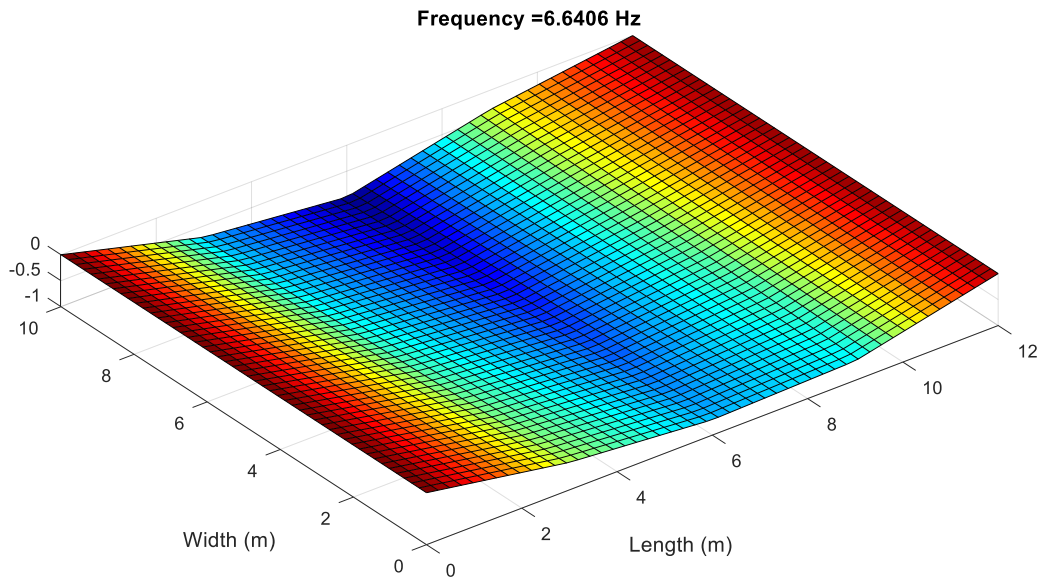
Dynamic 1 : 20 km/hr



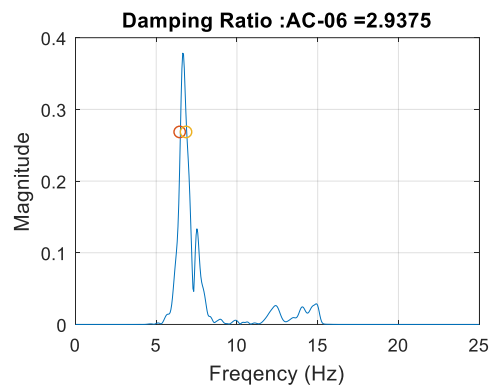
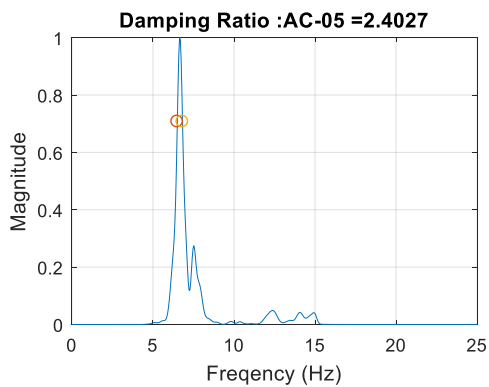
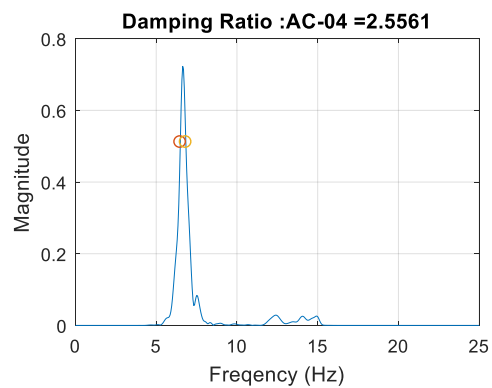
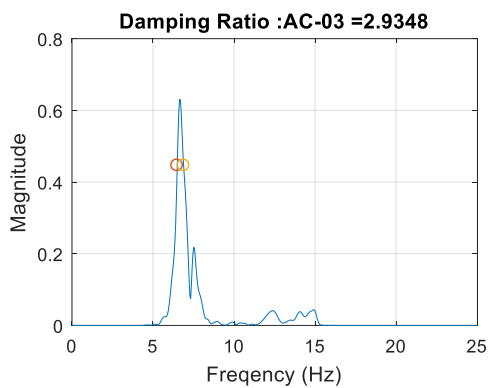
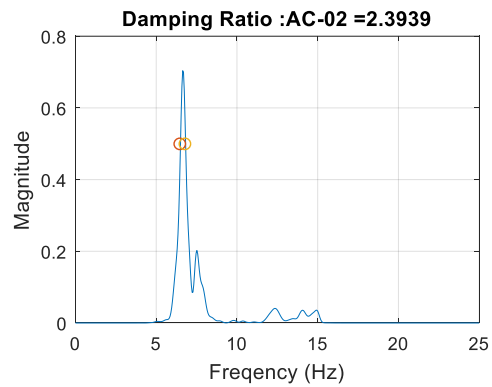
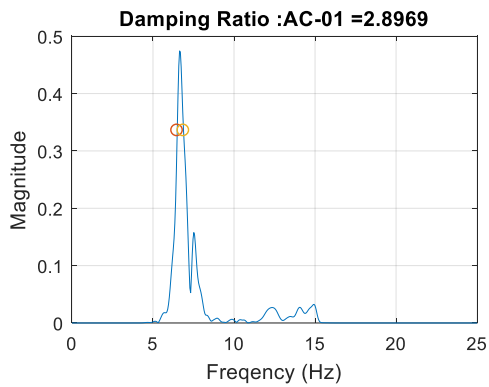
Dynamic 2 : 30 km/hr



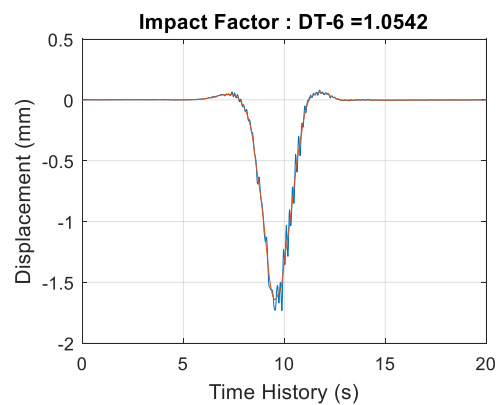
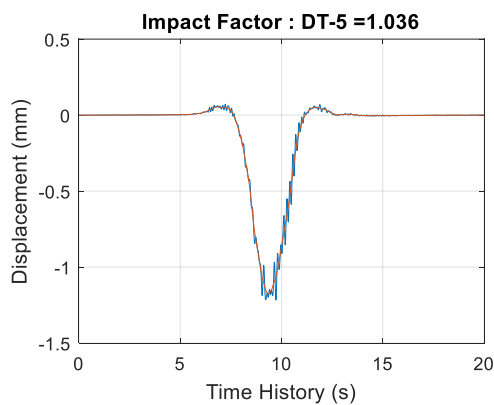
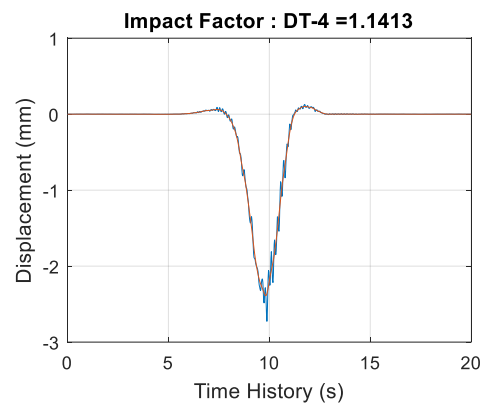
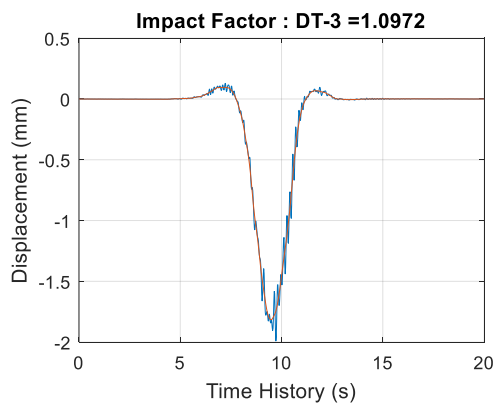
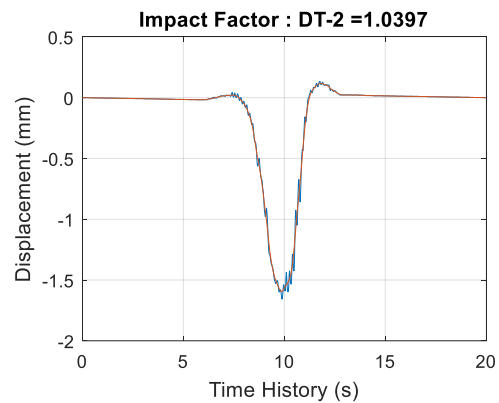
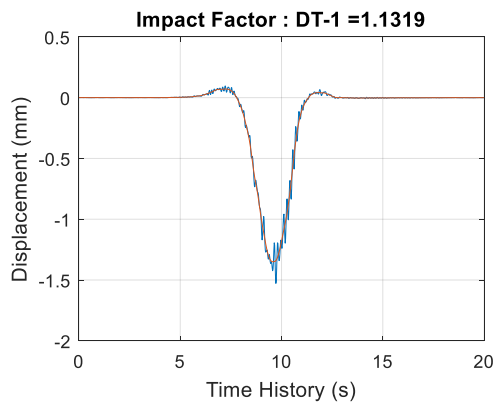
Dynamic 2 : 30 km/hr



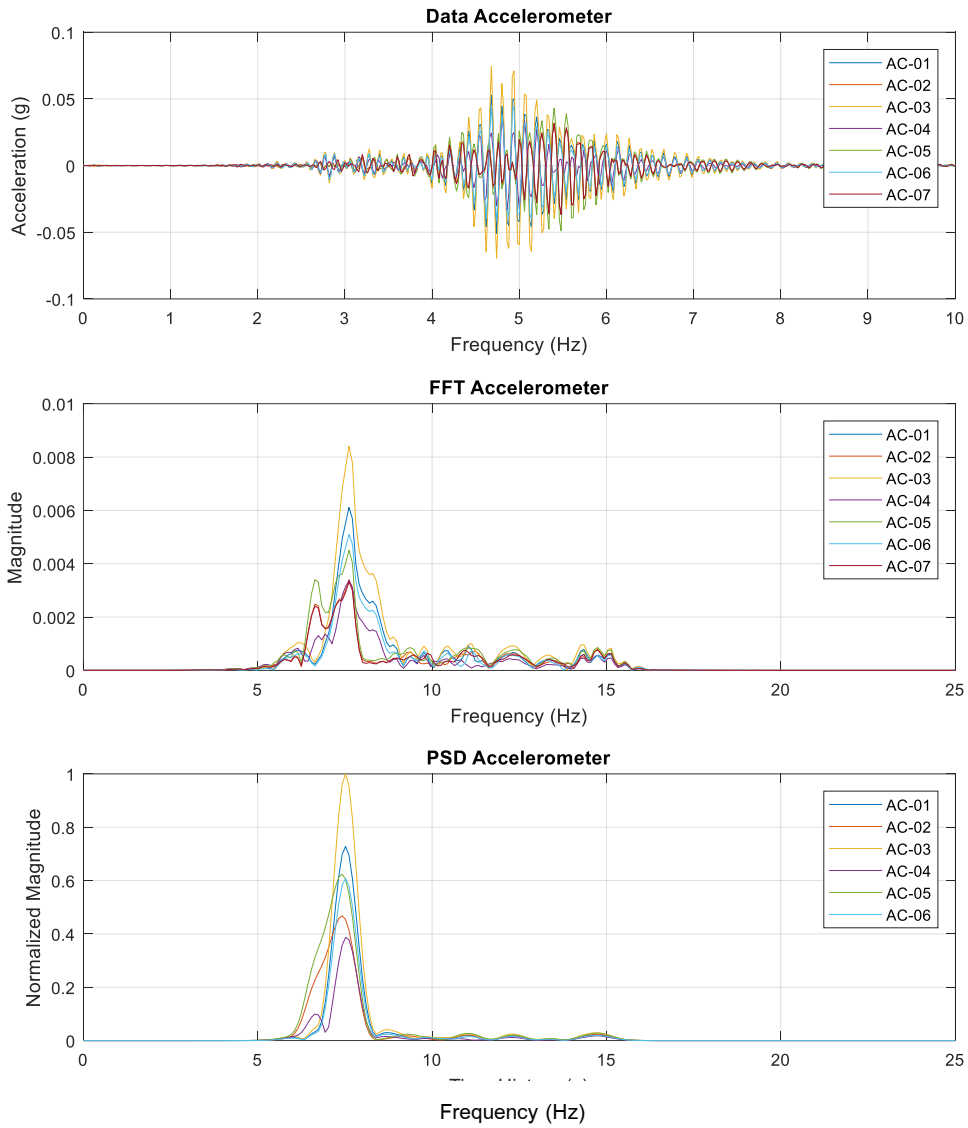
Dynamic 2 : 30 km/hr



Dynamic 2 : 30 km/hr

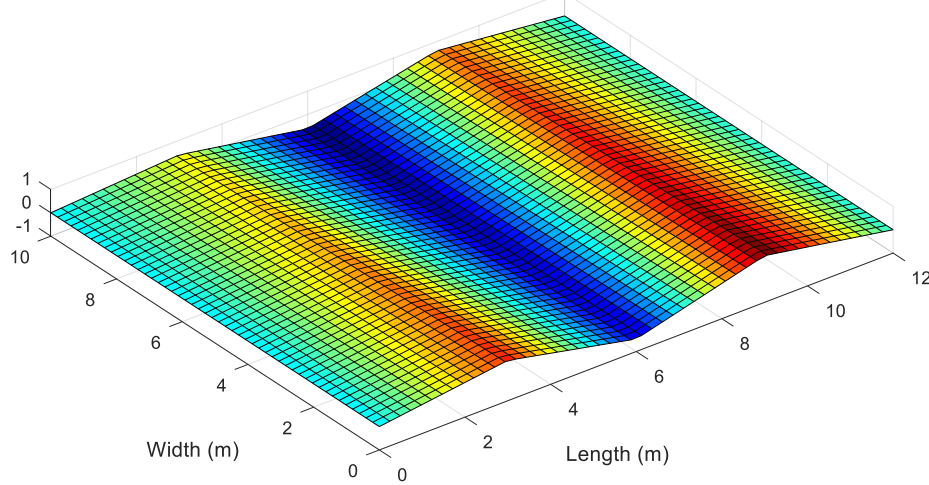


Dynamic 3 : 50 km/hr

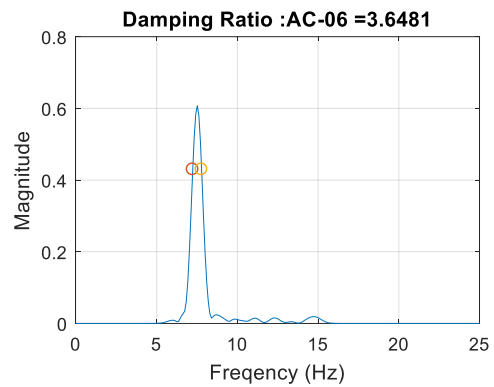
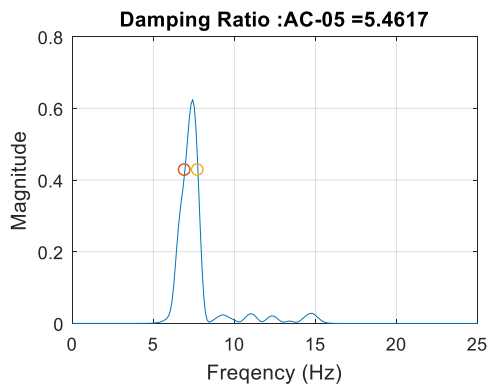
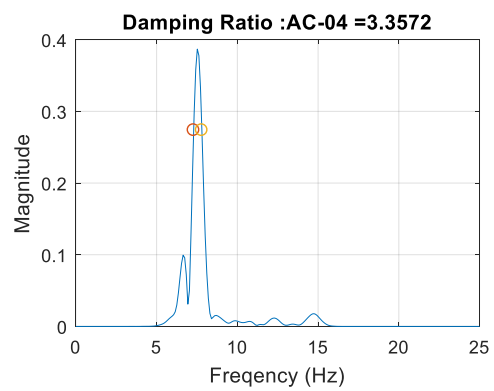
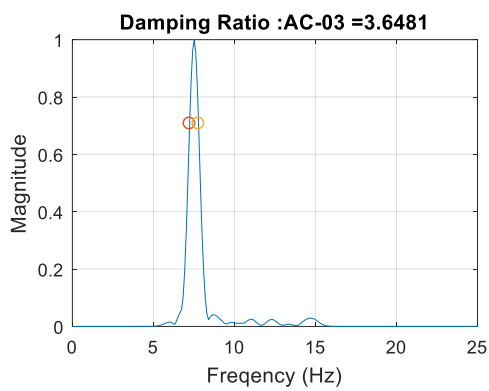
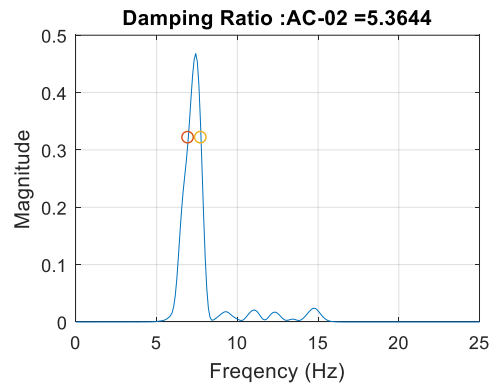
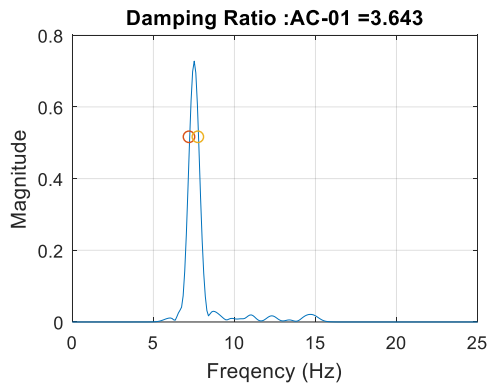


Dynamic 3 : 50 km/hr

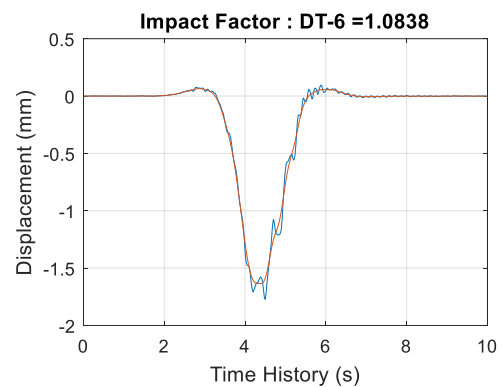
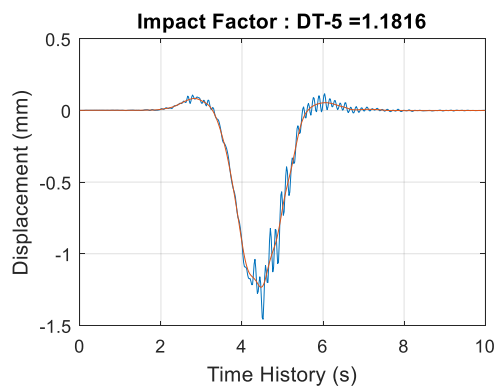
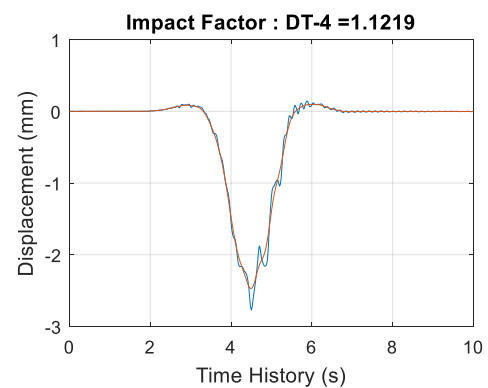
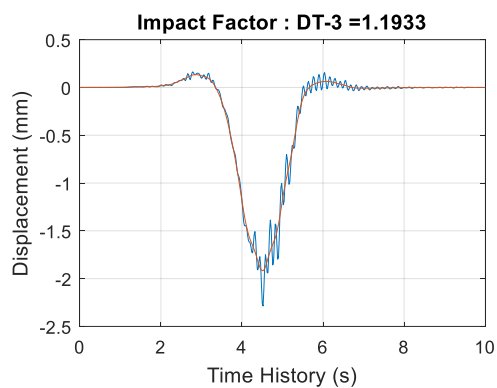
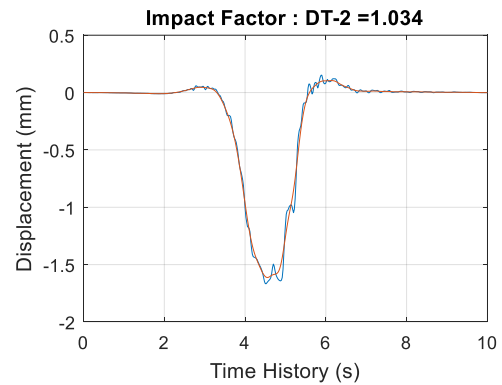
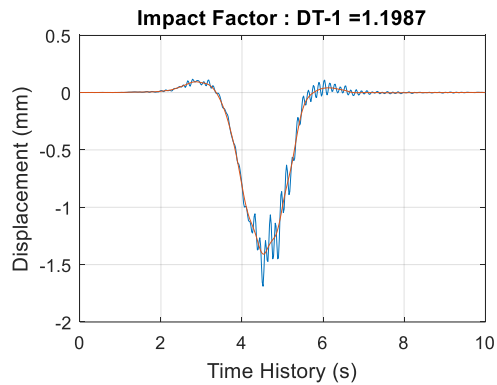
Frequency = 7.5195 Hz



Dynamic 3 : 50 km/hr



Dynamic 3 : 50 km/hr



ตารางที่ 10-17 ผลการวิเคราะห์ Natural Frequency, Mode Shape และ Damping Ratio

Test	Freq.	Mode Shape	Damping Ratio						
			AC 01	AC 02	AC 03	AC 04	AC 05	AC 06	AVG
Dynamic 1	6.787	1st Bending	2.644	2.564	2.651	2.621	2.566	2.658	2.617
Dynamic 2	6.641	1st Bending	2.897	2.394	2.935	2.556	2.403	2.938	2.687
Dynamic 3	7.52	1st Bending	3.643	5.364	3.648	3.357	5.462	3.648	4.187

ตารางที่ 10-18 ผลการวิเคราะห์ Impact Factor

Sensor	Impact Factor						
	DT 01	DT 02	DT 03	DT 04	DT 05	DT 06	Average
Dynamic 1	1.111	1.016	1.104	1.081	1.058	1.064	1.072
Dynamic 2	1.132	1.04	1.097	1.141	1.036	1.054	1.083
Dynamic 3	1.199	1.034	1.193	1.122	1.182	1.084	1.136

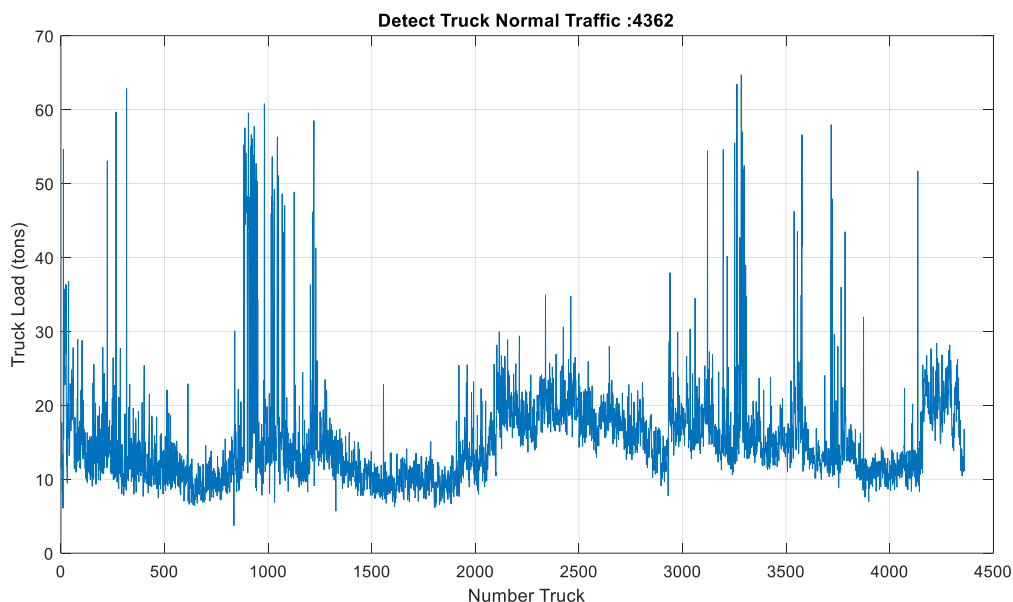
10.6.6. การทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน

ที่ปรึกษาได้ทำการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge บริเวณใต้ท้องคานแต่ละคาน (โดยเฉลี่ยค่า Strain Gauge ทั้ง 5 ตัวที่ติดตั้งในแต่ละคาน) กับน้ำหนักบรรทุกจากการทดสอบแบบ Static Load Test ซึ่งมีค่าแสดงได้ดังตารางที่ 10-19

ตารางที่ 10-19 การสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบ

Sensor	Strain Gauge (microstrain)		
	Static 1	Static 2	Static 3
AVG SG at GD01	6.517	1.907	7.419
AVG SG at GD02	7.694	3.918	10.910
AVG SG at GD03	2.146	3.402	4.614
AVG SG at GD04	1.684	9.630	11.030
SUM	18.041	18.856	33.974
Truck Load (tons)	25	25	50

จากนั้นใช้ผลการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge ในการประมาณการน้ำหนักบรรทุก
จากผลการตรวจวัดค่าผลรวมของ Strain Gauge ภายใต้การจราจรปกติเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งได้ผลแสดง
ดังรูปที่ 10-19

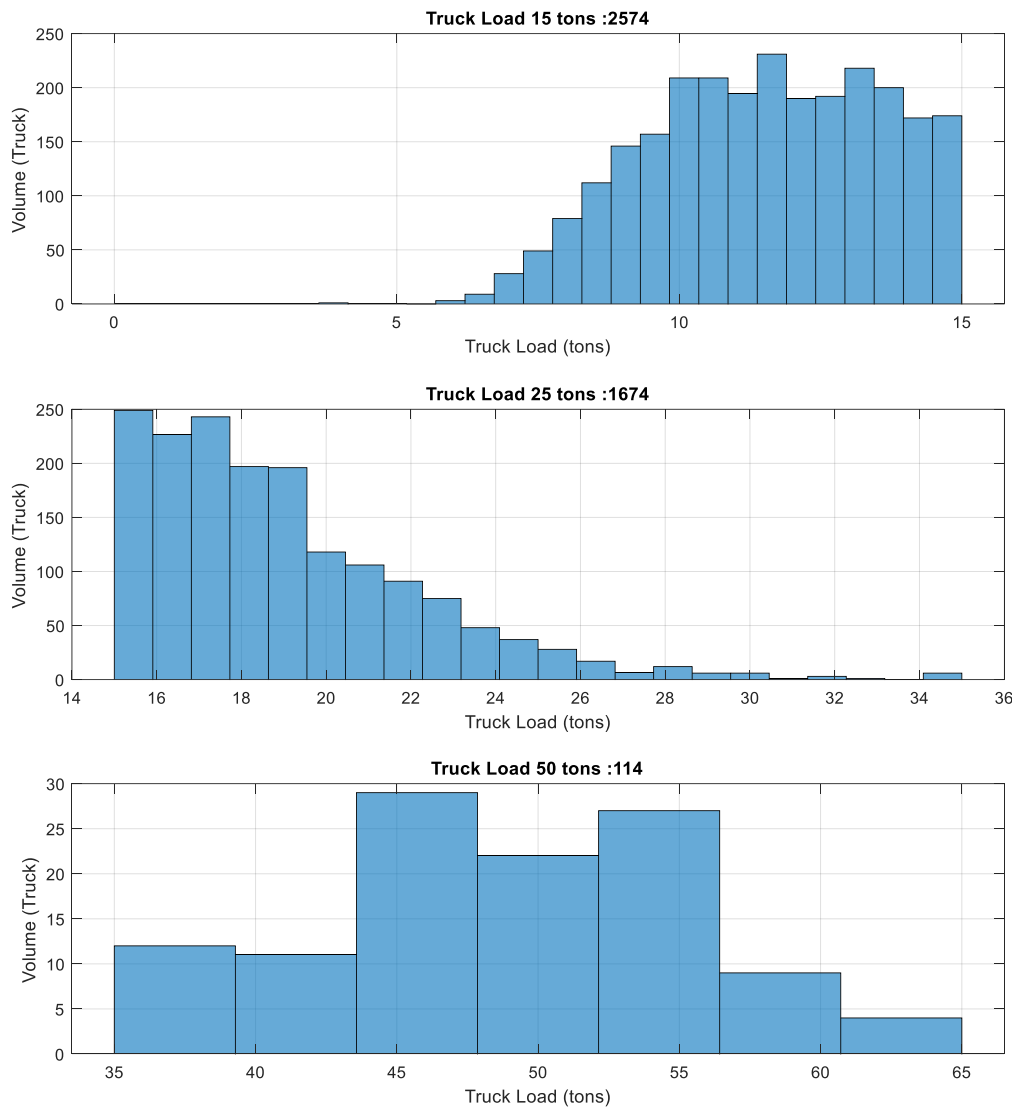


รูปที่ 10-19 ผลการสอบเทียบค่า Strain Gauge เพื่อประเมินน้ำหนักบรรทุก

ที่ปรึกษาได้แบ่งกลุ่มน้ำหนักบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพาน จำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 15 ตัน (น้ำหนักบรรทุกน้อยกว่า 15 ตัน)
- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 25 ตัน (น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 15 ตัน ถึง 35 ตัน) และ
- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 50 ตัน (น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 35 ตัน ถึง 65 ตัน)

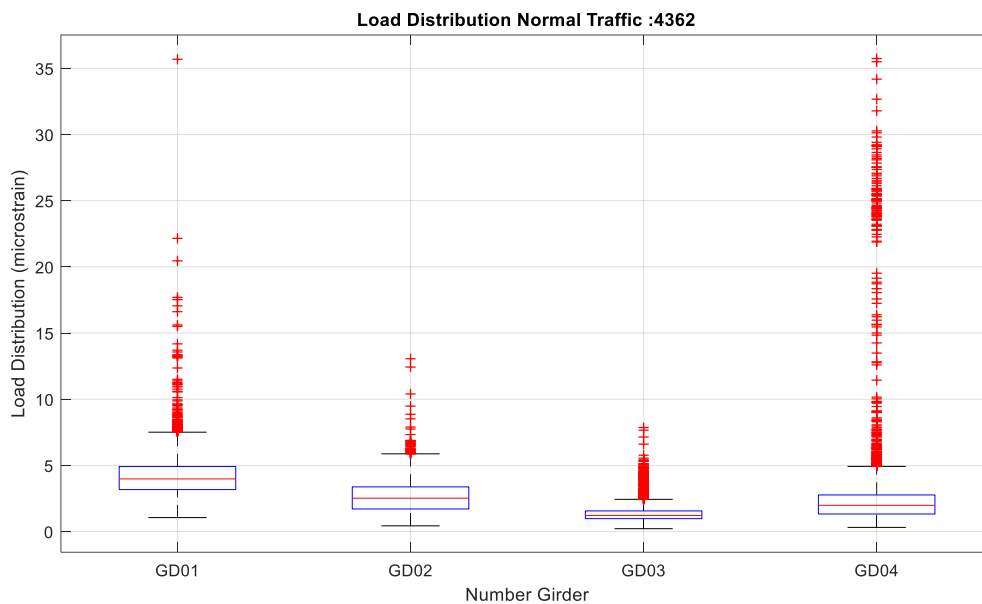
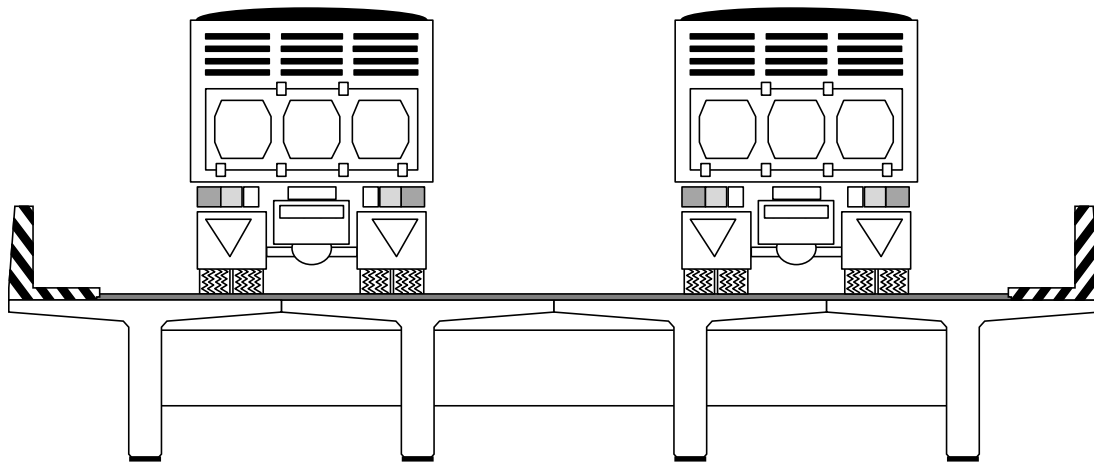
เมื่อนำผลการสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกของแต่ละกลุ่มน้ำหนักมาหาค่าทางสถิติของข้อมูล
สามารถสรุปได้ดังรูปต่อไปนี้



Group Truck	Truck 15 (tons)	Truck 25 (tons)	Truck 50 (tons)
Volume (trucks)	2,571	1,674	114
%Volume	58.98%	38.4%	2.62%
Mean (tons)	11.505	18.998	48.857
Std (tons)	2.046	3.215	6.470

รูปที่ 10-20 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักบรรทุกทุกภายใต้สภาวะใช้งาน

และเมื่อนำค่า strain ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละคานมาพล็อต (box plot) จะได้ผลการกระจายแรงลงสะพานตามแนวขวางดังแสดงในรูปที่ 10-21



รูปที่ 10-21 การกระจายน้ำหนักในโครงสร้างคาน

บทที่ 11 สะพานคลองยัน

11.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานคลองยัน (Tested Span: 20 m)

สะพานตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 16 นครศรีธรรมราชแขวงทางหลวงสุราษฎร์ธานีที่ 1 (พุนพิน) จังหวัด สุราษฎร์ธานี หมายเลขทางหลวง 4247 กม.กลางสะพาน 22+154 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2542 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 159 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง ST(1x10) + 4TG(6x20) + ST(1x10) ความกว้างผิวทาง 7 เมตร

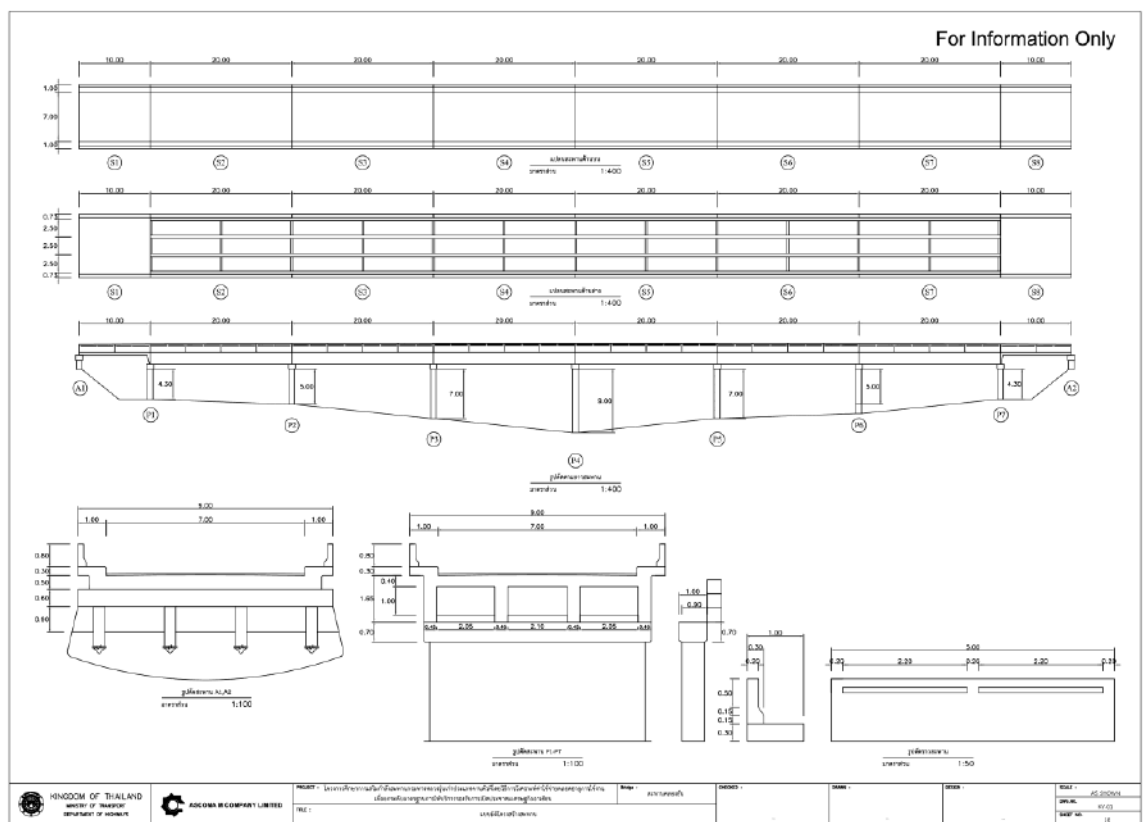


รูปที่ 11-1 รูปทั่วไปของสะพานคลองยัน

11.2 ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน

11.2.1. การสำรวจมิติสะพาน

การสำรวจมิติของสะพานกระทำโดยถ่ายภาพสะพานในบริเวณต่าง ๆ ทั้งด้านบนและด้านล่าง และใช้เครื่องมือวัดระยะประเภทต่าง ๆ เช่น ตลับเมตร เทปวัด และเลเซอร์วัดระยะทาง ในการตรวจวัดขนาดชิ้นส่วนและมิติต่าง ๆ ของสะพาน ในกรณีที่ชิ้นส่วนโครงสร้างมีขนาดใหญ่มากหรืออยู่สูงมาก จะใช้นั่งร้านเพื่อช่วยในการเข้าถึงชิ้นส่วนนั้น ๆ ตัวอย่างบางส่วนរបแบบสำรวจมิติของสะพานในบริเวณต่าง ๆ ได้แสดงดังรูปที่ 11-2



รูปที่ 11-2 ตัวอย่างบางส่วนរបแบบสำรวจมิติของสะพานโดยรวม
 (แบบทั้งหมดขนาด A3 แสดงในแบบสำรวจสะพาน)

11.2.2. การสำรวจความเสียหายสะพาน

โครงการนี้ใช้วิธีการตรวจสอบความเสียหายด้วยสายตา (Visual Inspection) ในการรวบรวมข้อมูลความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพาน เพื่อใช้ประกอบการออกแบบงานซ่อมบูรณะและเสริมกำลังสะพาน รูปที่ 11-3 แสดงตัวอย่างความเสียหายของสะพาน และตารางที่ 11-1 แสดงรายการความเสียหายของสะพาน จากนั้นได้นำข้อมูลที่สำรวจได้ไปจัดทำเป็นแบบแสดงความเสียหายดังตัวอย่างบางส่วนที่แสดงในรูปที่ 11-4 โดยรายละเอียดทั้งหมดได้แสดงในแบบสำรวจสะพาน ที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้



รูปที่ 11-3 ตัวอย่างภาพความเสียหายของสะพาน

ตารางที่ 11-1 รายการความเสียหาย สะพานคลองยัน

ลำดับ	บริเวณ	ชั้นส่วน	รายละเอียดความเสียหาย	ระดับความรุนแรง	ขนาด
1	S1	EJ1	EJ24 ผิวทางเป็นหลุมบ่อ มีรอยซ่อมเป็นแห่งๆ	CR 2	0.10 x 7.00
2	S2	EJ1	EJ31 Joint Filler หลุดร่อนและมีเศษวัสดุหรือวัชพืชสะสม	CR 3	0.05 x 7.00
3	S3	EJ1	EJ31 Joint Filler หลุดร่อนและมีเศษวัสดุหรือวัชพืชสะสม	CR 3	0.05 x 7.00
4	S4	EJ1	EJ31 Joint Filler หลุดร่อนและมีเศษวัสดุหรือวัชพืชสะสม	CR 3	0.05 x 7.00
5	S5	EJ1	EJ31 Joint Filler หลุดร่อนและมีเศษวัสดุหรือวัชพืชสะสม	CR 3	0.05 x 7.00
6	S6	EJ1	EJ31 Joint Filler หลุดร่อนและมีเศษวัสดุหรือวัชพืชสะสม	CR 3	0.05 x 7.00
7	S7	EJ1	EJ31 Joint Filler หลุดร่อนและมีเศษวัสดุหรือวัชพืชสะสม	CR 3	0.05 x 7.00
8	S8	EJ1	EJ31 Joint Filler หลุดร่อนและมีเศษวัสดุหรือวัชพืชสะสม	CR 3	0.05 x 7.00
9	S8	EJ2	EJ24 ผิวทางเป็นหลุมบ่อ มีรอยซ่อมเป็นแห่งๆ	CR 2	0.10 x 7.00
10	S4	WS1	WS24 พบรอยแตกขนาดใหญ่ตามแนวขวางสะพาน	CR 2	0.05 x 7.00
11	P2	PW1	PW31 สีกกร่อน หลุดล่อนเป็นบริเวณกว้าง แต่ไม่เห็นเหล็กเสริม	CR 3	1.00 x 3.00
12	P2	PW1	PW31 สีกกร่อน หลุดล่อนเป็นบริเวณกว้าง แต่ไม่เห็นเหล็กเสริม	CR 3	1.00 x 3.00



รูปที่ 11-4 ตัวอย่างบางส่วนของแบบแสดงความเสียหาย

11.2.3. การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลข

การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลขจะใช้วิธีตามแนวทางของระบบบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) กรมทางหลวง ซึ่งจะเลือกชิ้นส่วนที่มีค่าผลคูณความสำคัญของชิ้นส่วน (Weighting, w) กับระดับความเสียหาย (Damage Rating, DR) ที่สูงที่สุด 5 ลำดับแรก จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของชิ้นส่วนที่วิกฤติที่สุดเหล่านั้นเป็นค่า Weighted Critical Damage Rating (WCDR) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความเสี่ยงที่โครงสร้างจะวิบัติ ผลการประเมินพบว่าสะพานมีค่า WCDR = 1.4 (จากคะแนนเต็ม 5) หรือแปลงให้อยู่ในรูป Weighted Critical Condition Rating (WCCR) = 5 – 1.4 = 3.6 ซึ่งอยู่ระหว่าง ระดับพอใช้ (CR=3) และระดับดี (CR=4) กล่าวโดยรวมสะพานมีการเสื่อมสภาพควรได้รับการซ่อมบำรุงตามกำหนดการ

ตารางที่ 11-2 การประเมินระดับความเสียหายหรือสภาพการใช้งานโดยรวม

บริเวณ- ชิ้นส่วน	ประเภท ชิ้นส่วน	สภาพการใช้งาน (Condition Rating, CR)	ระดับความเสียหาย (Damage Rating) (DR = 5 - CR)	ระดับความสำคัญของชิ้นส่วน (w)	w*DR
P2-PW1	PW	3	2	1	2
S4-WS1	WS	2	3	0.6	1.8
S1-EJ1	EJ	2	3	0.4	1.2
S8-EJ2	EJ	2	3	0.4	1.2
S2-EJ1	EJ	3	2	0.4	0.8
Weighted Critical Damage Rating (WCDR)					1.4
Weighted Critical Condition Rating (CCDR = 5 - WCDR)					3.6

11.3 ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน

ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมที่ชิ้นส่วนโครงสร้างสำคัญต่าง ๆ มีรวมทั้งสิ้น 126.3 ตร.ม. ดังแสดงในตารางที่ 11-3 ตัวอย่างบางส่วนរបแบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมได้แสดงไว้ในรูปที่ 11-5 โดยผลการสำรวจทั้งหมดได้แสดงไว้ในแบบสำรวจสะพานที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างในรูปตัด (Typical section) และรูปด้านต่าง ๆ

ตารางที่ 11-3 พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมในชิ้นส่วนโครงสร้างหลักของสะพาน

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม (ตร.ม.)
กำแพงตอม่อ (Pier)	19.6
คานรัดเสาตอม่อ (Cap Beam)	7.7
คานหลัก (Girder)	59
ไดอะแฟรม (Diaphragm)	5.6
พื้นสะพาน (Deck) บริเวณถนน	20
พื้นสะพาน (Deck) บริเวณทางเท้า	14
รวมทั้งสิ้น	126.3



รูปที่ 11-5 รูปการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพานด้วยเครื่อง GPR

11.4 การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

11.4.1. การดำเนินการเก็บวัสดุทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลังรับแรงดึง



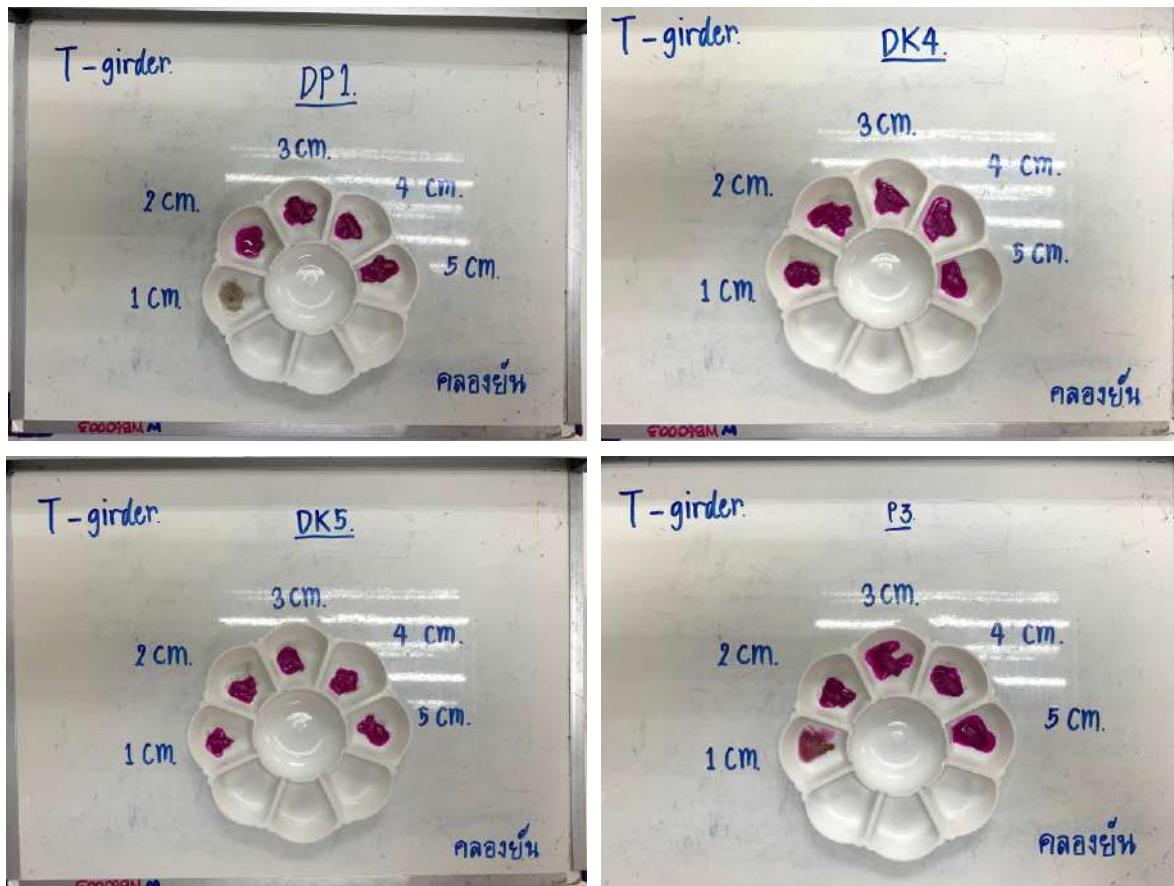
รูปที่ 11-7 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังคอนกรีต

11.4.1. การดำเนินการเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม



รูปที่ 11-8 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม

11.4.1. การดำเนินการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน



รูปที่ 11-9 รูปการทำงานทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน

11.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

11.5.1. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต สะพานละ 20 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย พื้นสะพาน (Deck, DK) ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไตอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) ค้ำยันเสาต่อม่อ (Bracing, BC) และกำแพงต่อม่อ (Pier Wall, PW) ตารางที่ 11-4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 11-4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (สะพานคลองยัน, KY)

ลำดับ	ชิ้นส่วน	รหัสทดสอบ	Compressive Strength (ksc)
1	SW	KY-SW1-S7-1	243
2	SW	KY-SW1-S7-2	183
3	SW	KY-SW2-S7-1	324
4	SW	KY-SW2-S7-3	221
5	SW	KY-SW1-S8-1	324
6	SW	KY-SW1-S8-2	179
7	SW	KY-SW2-S8-1	386
8	SW	KY-SW2-S8-2	289
9	DP	KY-DP-1	147
10	DP	KY-DP-2	153
11	CB	KY-CB-1	314
12	CB	KY-CB-2	212
13	PW	KY-P7-1	445
14	PW	KY-P7-2	432
15	PW	KY-P7-3	373
16	PW	KY-P7-4	377
17	TG	KY-TG1-1	151
18	TG	KY-TG1-2	330
19	TG	KY-TG2-1	397
20	TG	KY-TG2-2	235

11.5.2. ผลทดสอบกำลังรับแรงดึงของคองกรีต

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคองกรีต สะพานละ 20 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไตอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) กำแพงตอม่อ (Pier Wall, PW) ตารางที่ 11-5 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึง

ตารางที่ 11-5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคองกรีต (สะพานคลองยัน, KY)

ลำดับ	ชิ้นส่วน	รหัสทดสอบ	Tensile Strength (ksc)
1	SW	KY-SW1-S7-3	25
2	SW	KY-SW1-S7-4	13
3	SW	KY-SW2-S7-2	21
4	SW	KY-SW2-S7-4	36
5	SW	KY-SW1-S8-3	28
6	SW	KY-SW1-S8-4	24
7	SW	KY-SW2-S8-3	28
8	SW	KY-SW2-S8-4	33
9	DP	KY-DP-3	29
10	DP	KY-DP-4	33
11	CB	KY-CB-3	28
12	CB	KY-CB-4	26
13	PW	KY-P7-5	37
14	PW	KY-P7-6	41
15	PW	KY-P7-7	34
16	PW	KY-P7-8	38
17	TG	KY-TG1-3	30
18	TG	KY-TG1-4	27
19	TG	KY-TG2-3	17
20	TG	KY-TG2-4	26

11.5.3. ผลการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน

โครงการนี้ได้ทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน สะพานละ 20 ตำแหน่ง ๆ ละ 5 ระดับความลึก (รวมทั้งสิ้น 100 ตัวอย่าง) โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย พื้นสะพาน (Deck, DK) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) คานหลัก (Girder, GD) ไดอะแฟรม (Diaphragm, DP) และกำแพงตอม่อ (Pier Wall, PW) ตำแหน่งตารางที่ 11-6 แสดงผลการทดสอบหาค่าความลึกการเกิดคาร์บอนเนชัน (Carbonation Depth)

ตารางที่ 11-6 ผลการทดสอบหาค่าความลึกปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน (สะพานคลองยัน, KY)

ลำดับ	ชิ้นส่วน	ความลึกการพบคาร์บอนเนชัน (cm)	ระดับความลึกที่ทดสอบปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน				
			1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
1	DP1	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
2	DP2	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
3	GD1	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
4	GD2	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
5	GD3	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
6	GD4	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
7	DK1	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
8	DK2	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
9	DK3	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
10	DK4	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
11	DK5	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
12	DK6	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
13	DK7	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
14	DK8	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
15	P1	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
16	P2	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
17	P3	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
18	P4	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
19	P5	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
20	P6	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด

11.5.1. ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมของสะพานจำนวน 20 โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไตอะแฟรม (Diaphragm, DP) และกำแพงตอม่อ (Pier Wall, PW) ตารางที่ 11-7แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

ตารางที่ 11-7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม (สะพานคลองยัน, KY)

ลำดับ	รหัสทดสอบ	ชิ้นส่วน	Tested Diameter (mm)	Yield Stress (ksc)	Ultimate Stress (ksc)
1	KY-CB-1 (RB)	CB	9	5175	6979
2	KY-CB-2 (DB)	CB	12	4271	5701
3	KY-DP-1 (RB)	DP	9	3836	5180
4	KY-DP-2 (RB)	DP	9	4393	5308
5	KY-DP-3 (RB)	DP	9	4070	4731
6	KY-DP-4 (RB)	DP	9	3854	5388
7	KY-P7-1 (DB)	PW	16	4117	5709
8	KY-P7-2 (RB)	PW	9	5895	6671
9	KY-P7-3 (RB)	PW	9	5130	6181
10	KY-P7-4 (DB)	PW	16	4500	6269
11	KY-SW1-S7-1 (DB)	SW	16	4715	5703
12	KY-SW1-S7-2 (DB)	SW	16	4702	6095
13	KY-SW1-S8-1 (DB)	SW	16	4094	4595
14	KY-SW1-S8-2 (DB)	SW	16	4146	4908
15	KY-SW2-S7-1 (DB)	SW	16	4791	6550
16	KY-SW2-S7-2 (DB)	SW	16	4375	6391
17	KY-SW2-S8-1 (DB)	SW	16	4694	5867
18	KY-SW2-S8-1 (DB)	SW	16	4802	5744
19	KY-TG1-1 (RB)	GD	9	4062	5291
20	KY-TG1-2 (RB)	GD	9	4641	6208

11.5.2. สรุปผลทดสอบวัสดุสะพาน

ตารางที่ 11-8 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่าชิ้นส่วนทางเท้า (SW) คานตามยาว (GD) ไตอะแฟรม (DP) คานรัดหัวเสา (CB) และกำแพงตอม่อ (PW) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 268.7, 278.3, 150.0, 263.4 และ 406.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 11-8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

Member	N	Avg (ksc)	SD (ksc)
Side Walk (SW)	8	268.7	74.2
Girder (GD)	4	278.3	107.5
Diaphragm (DP)	2	150.0	3.7
Cap beam (CB)	2	263.4	72.0
Pier Wall (PW)	4	406.9	37.1

ตารางที่ 11-9 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่าชิ้นส่วนทางเท้า (SW) คานตามยาว (GD) ไตอะแฟรม (DP) คานรัดหัวเสา (CB) และกำแพงตอม่อ (PW) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.0, 24.7, 31.1, 27.2 และ 37.7 ksc ตามลำดับ

ตารางที่ 11-9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

Member	N	Avg (ksc)	SD (ksc)
Side Walk (SW)	8	26.0	7.1
Girder (GD)	4	24.7	5.4
Diaphragm (DP)	2	31.1	3.3
Cap beam (CB)	2	27.2	1.7
Pier Wall (PW)	4	37.7	2.9

ตารางที่ 11-10 แสดงผลการทดสอบค่าความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นแยกตามประเภท
 ชั้นส่วน ซึ่งพบว่าชั้นส่วน พื้นสะพาน (Deck) คานตามยาว (GD) ไตอะแฟรม (DP) และกำแพงเสา
 ตอม่อ (PW) มีความลึกการเกิดคาร์บอนเนชั่นเฉลี่ยเท่ากับ 0.38, 2.00, 2.50 และ 1.50 cm ตามลำดับ ถ้า
 คาร์บอนเนชั่นเกิดลึกถึงชั้นเหล็กเสริม เหล็กเสริมสามารถเกิดสนิมได้ ซึ่งชั้นส่วนแต่ละประเภทอาจมีระยะ
 คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมไม่เท่ากัน และเมื่อพิจารณาความแปรปรวนของค่าที่ตรวจวัดได้ ชั้นส่วน พื้น
 สะพาน (Deck) คานตามยาว (GD) ไตอะแฟรม (DP) และกำแพงตอม่อ (PW) มีโอกาสที่ความลึกคาร์
 บอนเนชั่นจะเกิดลึกถึงชั้นเหล็กเสริมเท่ากับ 37.62, 12.80, 37.89 และ 28.73% ตามลำดับ

ตารางที่ 11-10 ผลทดสอบความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น

Member	N	Avg (cm)	SD (cm)	Covering (cm)		Prob (depth > field covering) (%)
				Field (GPR)		
Deck (DK)	8	0.38	8.00	3		37.62%
Girder (GD)	4	2.00	2.00	4.8		12.80%
Diaphragm (DP)	2	2.50	4.00	4.1		37.89%
Pier Wall (PW)	6	1.50	6.00	5.1		28.73%

ตารางที่ 11-11 แสดงผลการทดสอบเหล็กข้ออ้อย (DB) ของสะพาน เมื่อนำข้อมูลจำนวน 11 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 4473 ksc ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 282 ksc และตารางที่ 11-2 แสดงผลการทดสอบเหล็กกลม (RB) ของสะพาน เมื่อนำข้อมูลจำนวน 9 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 4562 ksc ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 710 ksc ข้อมูลการทดสอบวัสดุจะถูกนำไปใช้ในการออกแบบเสริมกำลังเสริมสะพานในลำดับถัดไป

ตารางที่ 11-11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อย (DB)

Member	Yield Tensile Strength (ksc)			Ultimate Tensile Strength (ksc)		
	N	Avg	SD	N	Avg	SD
Capbeam (CB)	1	4271	-	1	5701	-
Sidewalk (SW)	8	4540	291	8	5732	679
Pier Wall (PW)	2	4309	271	2	5989	396
ALL DB	11	4473	282	11	5776	591

ตารางที่ 11-12 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กกลม (RB)

Member	Yield Tensile Strength (ksc)			Ultimate Tensile Strength (ksc)		
	N	Avg	SD	N	Avg	SD
Capbeam (CB)	1	5175	-	1	6979	-
Diaphragm (DP)	4	4038	259	4	5152	293
Girder (GD)	2	4352	409	2	5749	649
Pier Wall (PW)	2	5513	541	2	6426	347
ALL RB	9	4562	710	9	5771	763

11.6 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานคลองยี่น

ที่ปรึกษาได้ทำการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานคลองยี่น ที่ช่วงความยาว 20 เมตร โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต (Static Test) การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบพลวัต (Dynamic Test) และการทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน (Normal Traffic Test) โดยรายละเอียดการดำเนินงานมีดังนี้

11.6.1. อุปกรณ์การตรวจวัด

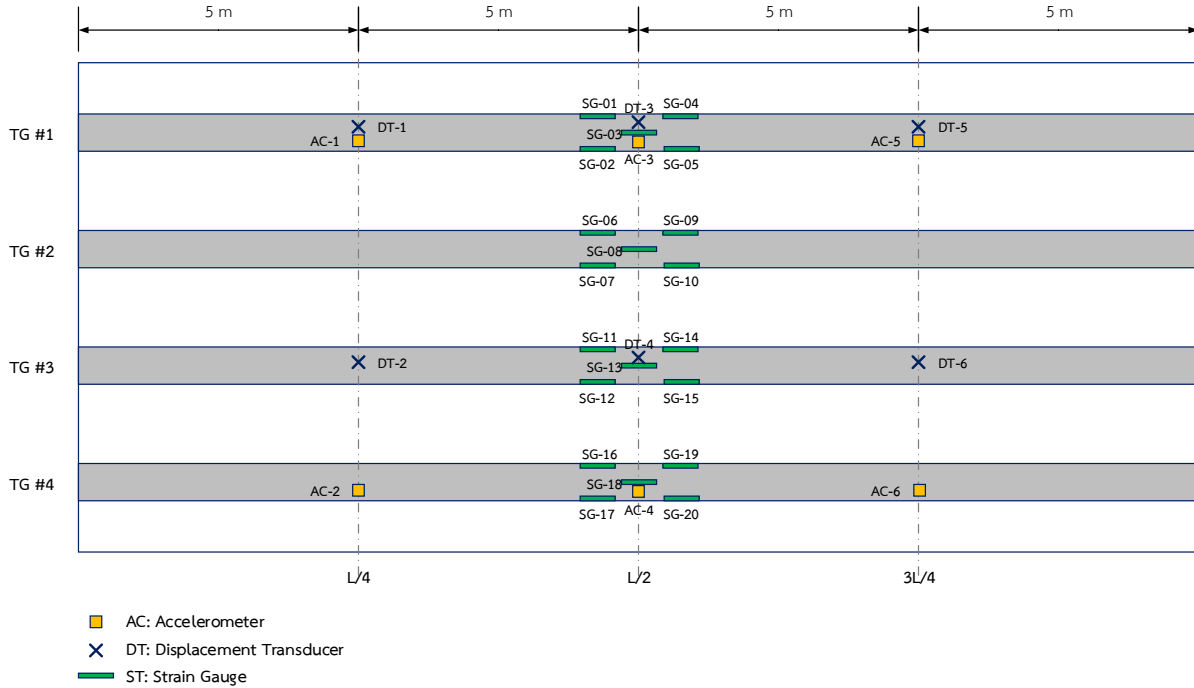
ที่ปรึกษาได้ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดพฤติกรรมของโครงสร้างสะพาน ประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด อุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนที่ และอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว รวมถึงอุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยมีจำนวนดังต่อไปนี้

ตารางที่ 11-13 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

ลำดับ	อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด	จำนวน
1	อุปกรณ์วัดความเครียด (Strain Gauge)	20
2	อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ (Displacement Transducer)	6
3	อุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว (Accelerometer)	6
4	อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Data Acquisition)	1
5	อุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop)	1

11.6.2. ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

ที่ปรึกษาได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสะพาน ซึ่งแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 11-10 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

11.6.3. น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

ที่ปรึกษาได้ทดสอบพฤติกรรมกรรมการรับน้ำหนักของสะพานภายใต้สภาวะควบคุม โดยใช้รถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 2 คัน โดยมีรายละเอียดระยะเพลารถและน้ำหนักบรรทุกดังนี้

ตารางที่ 11-14 น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

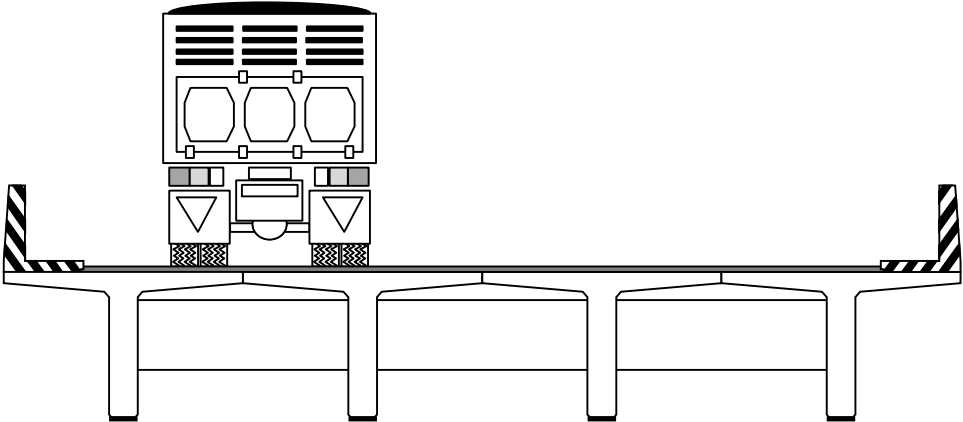
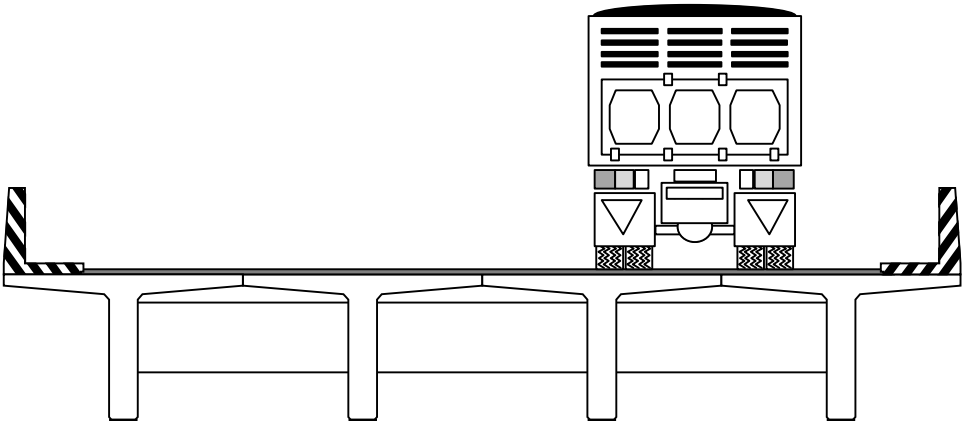
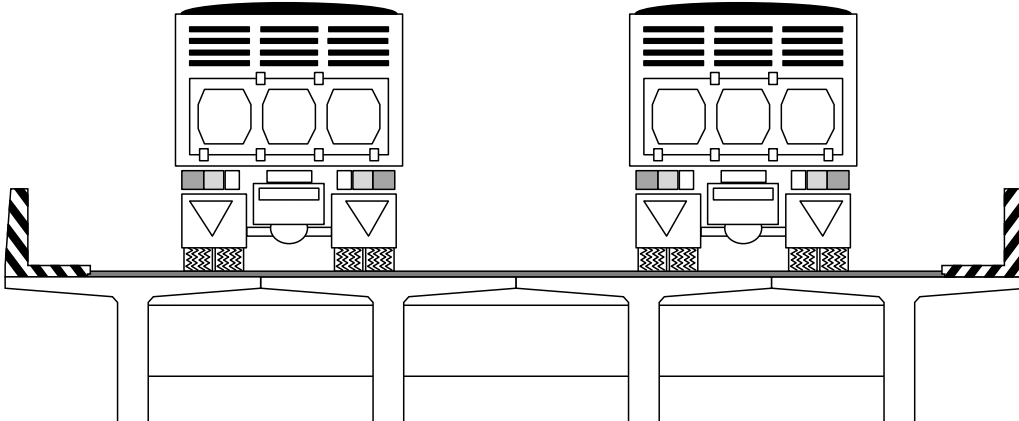
คันที่	1	2
ประเภท	รถบรรทุก (82-7835)	รถบรรทุก (82-7229)
น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	24.670	24.390
ระยะเพลาคที่ 1 ถึง 2 (a, เมตร)	4.00	4.10
ระยะเพลาคที่ 2 ถึง 3 (b, เมตร)	1.35	1.35
ความกว้างฐานล้อ (c, เมตร)	1.90	2.00

11.6.4. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต

การทดสอบแบบสถิต (Static Test) เป็นการนำรถบรรทุกทดสอบจอดตามตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนด 3 รูปแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

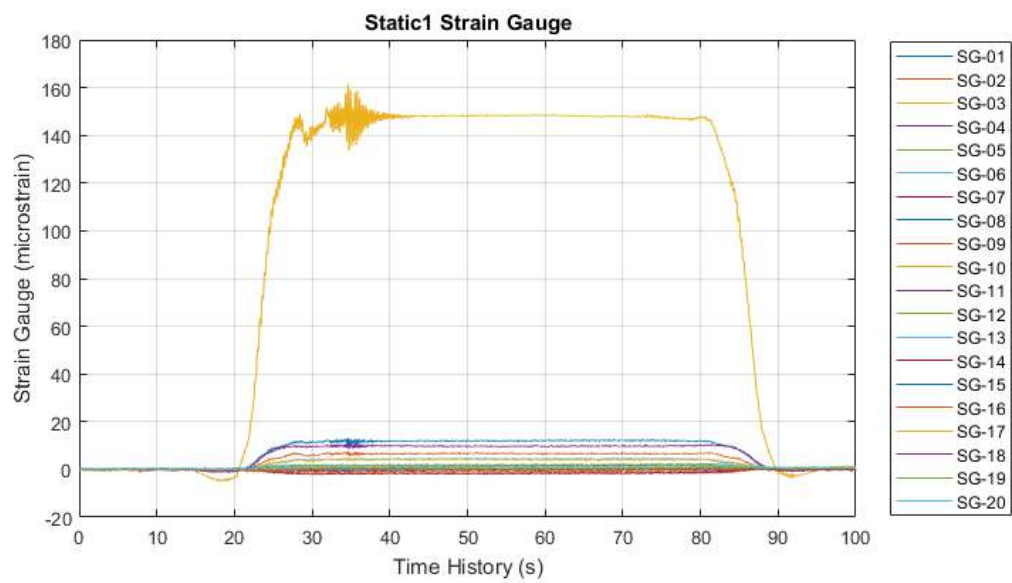
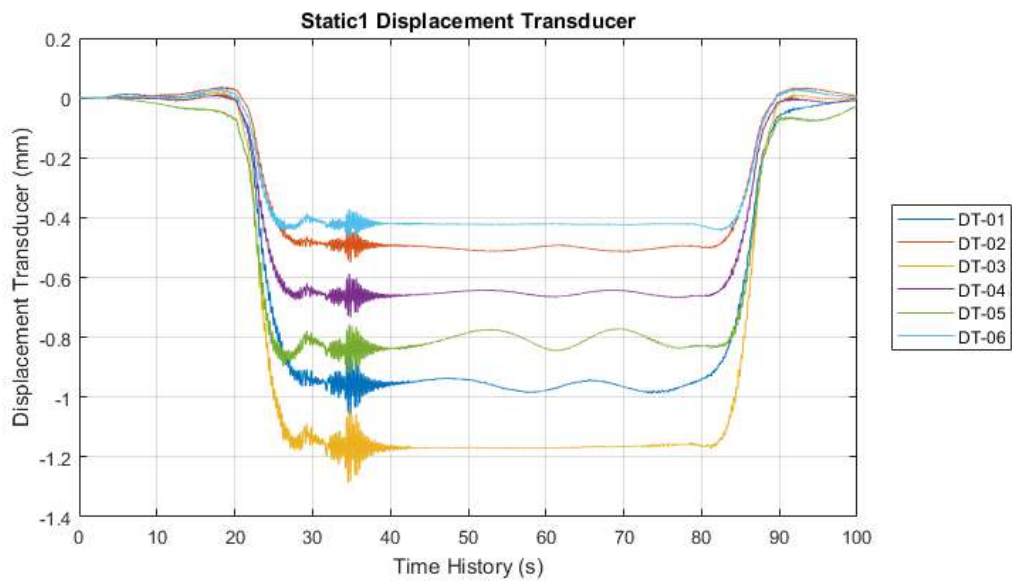
- Static 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง $L/2$ ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางซ้าย
- Static 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง $L/2$ ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางขวา
- Static 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน จอดเรียงกันที่ตำแหน่ง $L/2$ ของความยาวช่วง ทั้งสองช่องจราจร

ตารางที่ 11-15 รูปแบบการทดสอบแบบสถิต ด้วยรถบรรทุกน้ำหนัก

Case	Pattern
Static 1	
Static 2	
Static 3	

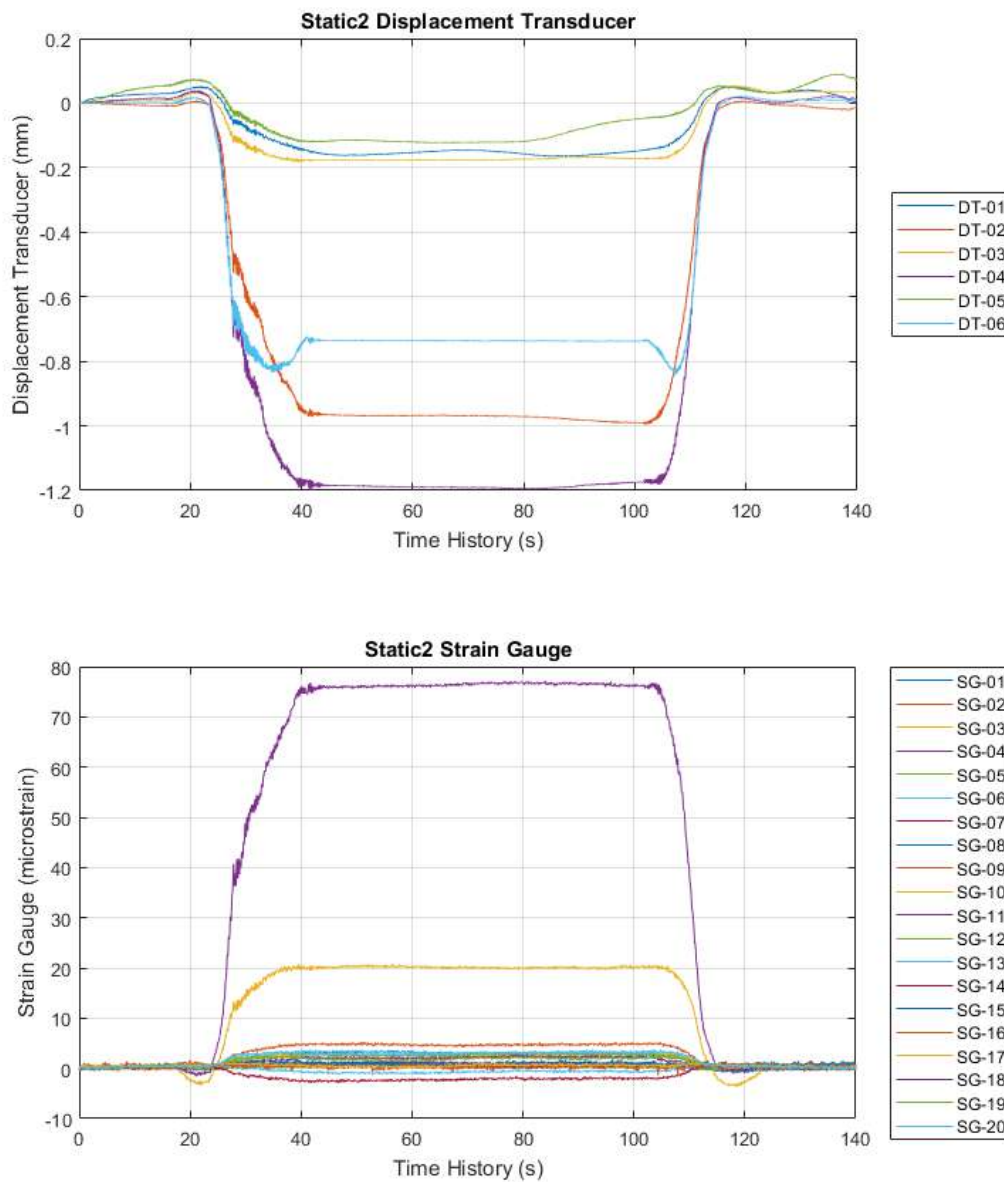


รูปที่ 11-11 ภาพการทดสอบแบบสถิต

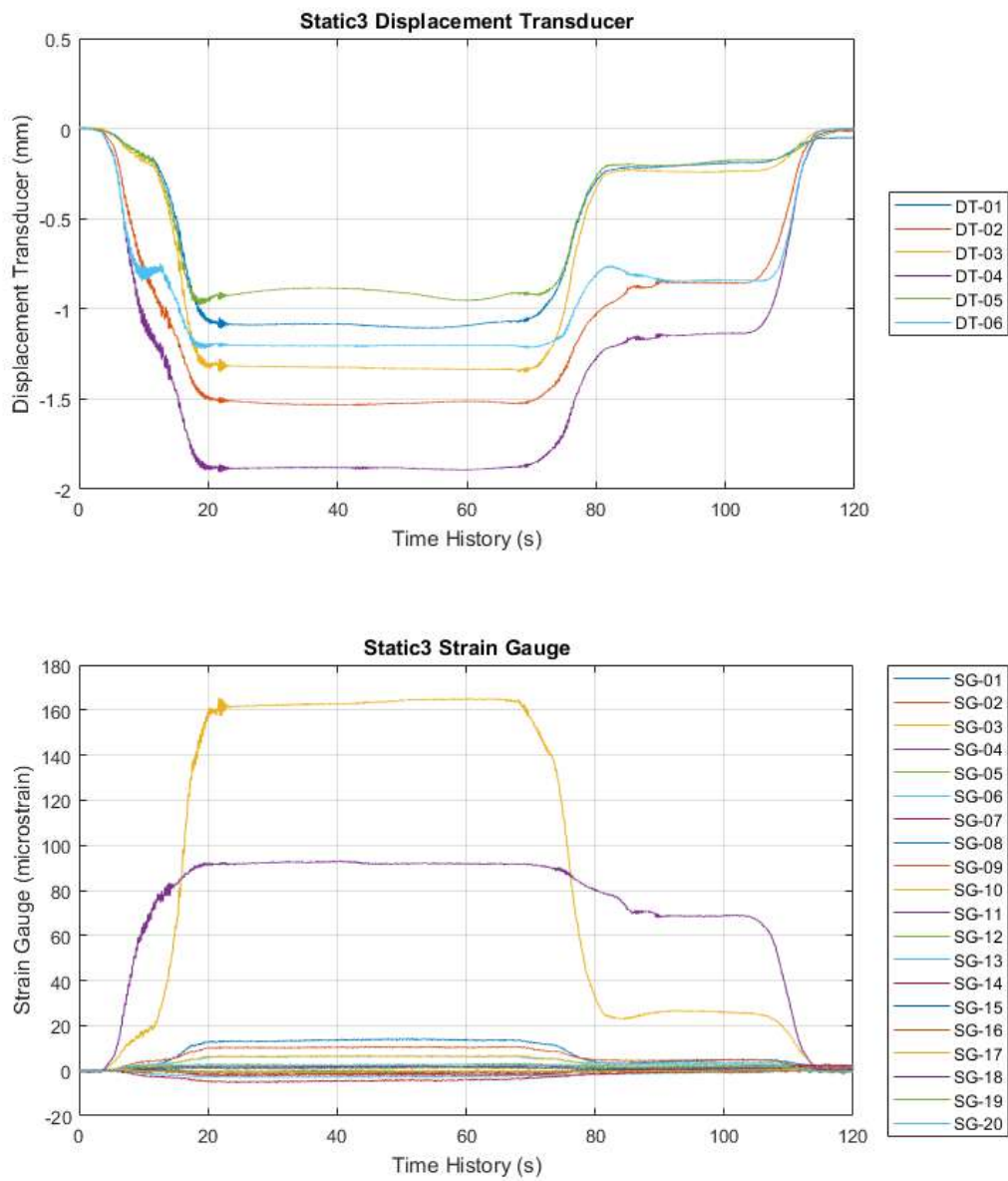


รูปที่ 11-12 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 1





รูปที่ 11-13 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 2

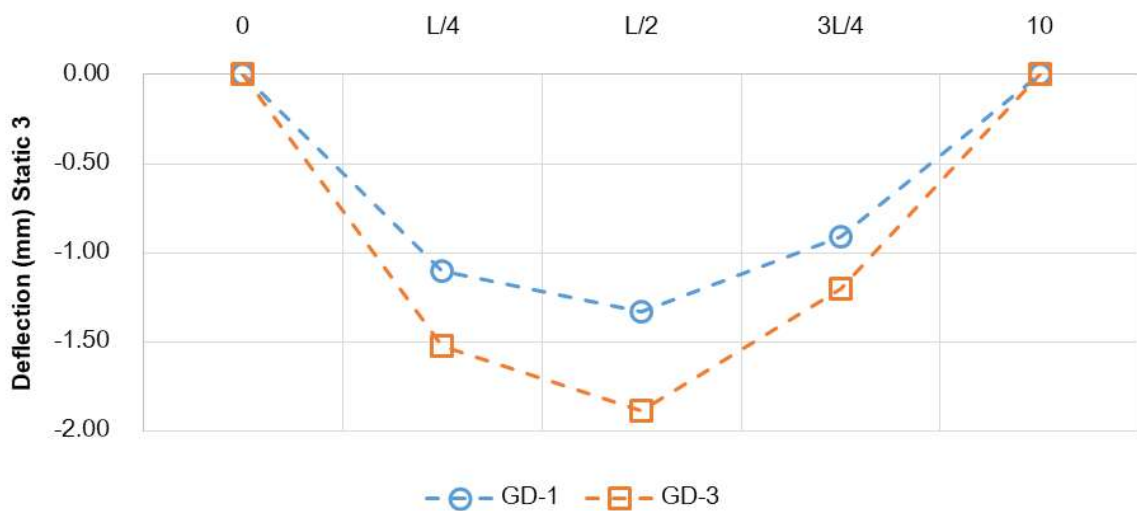
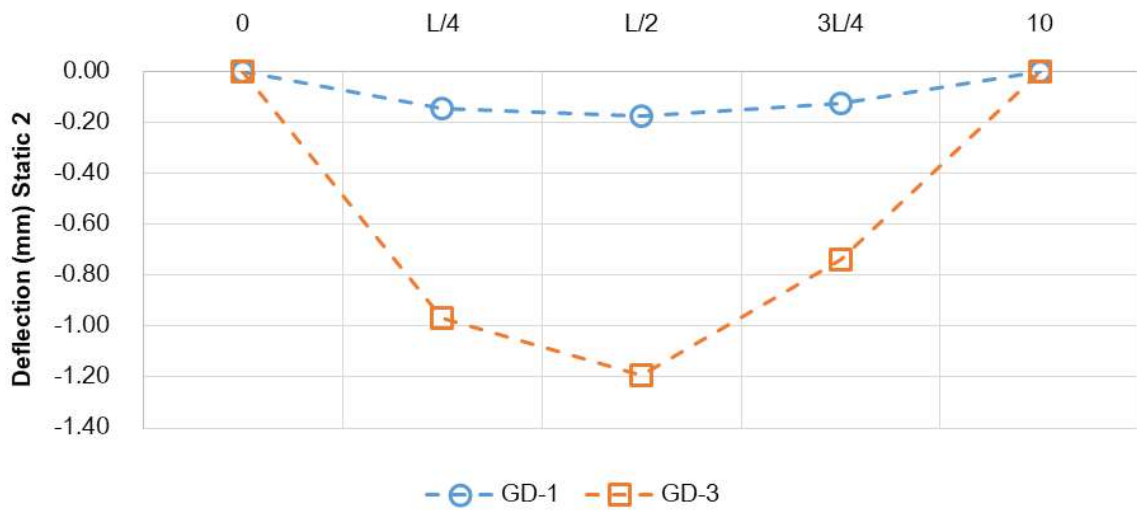
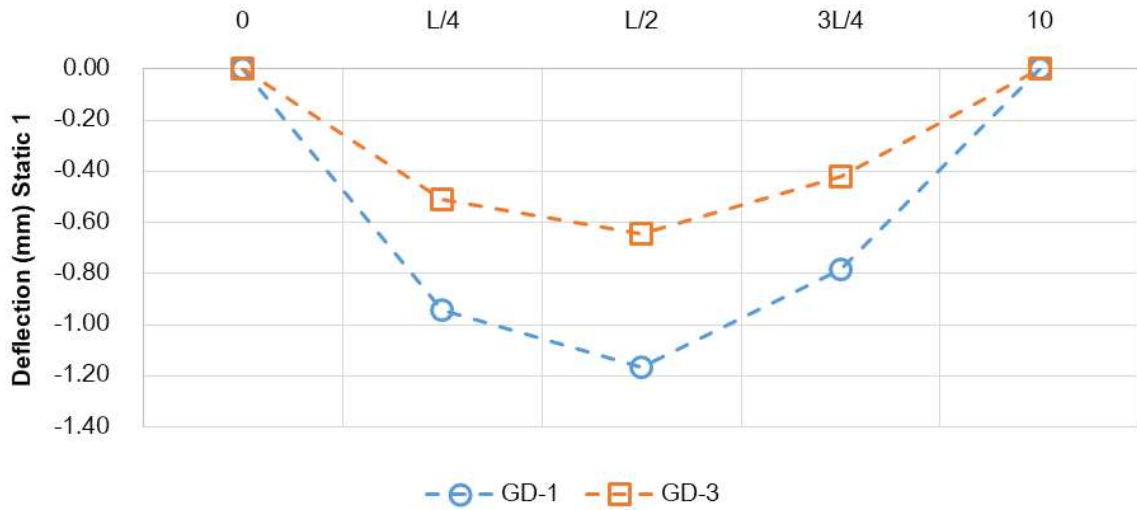


รูปที่ 11-14 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 3



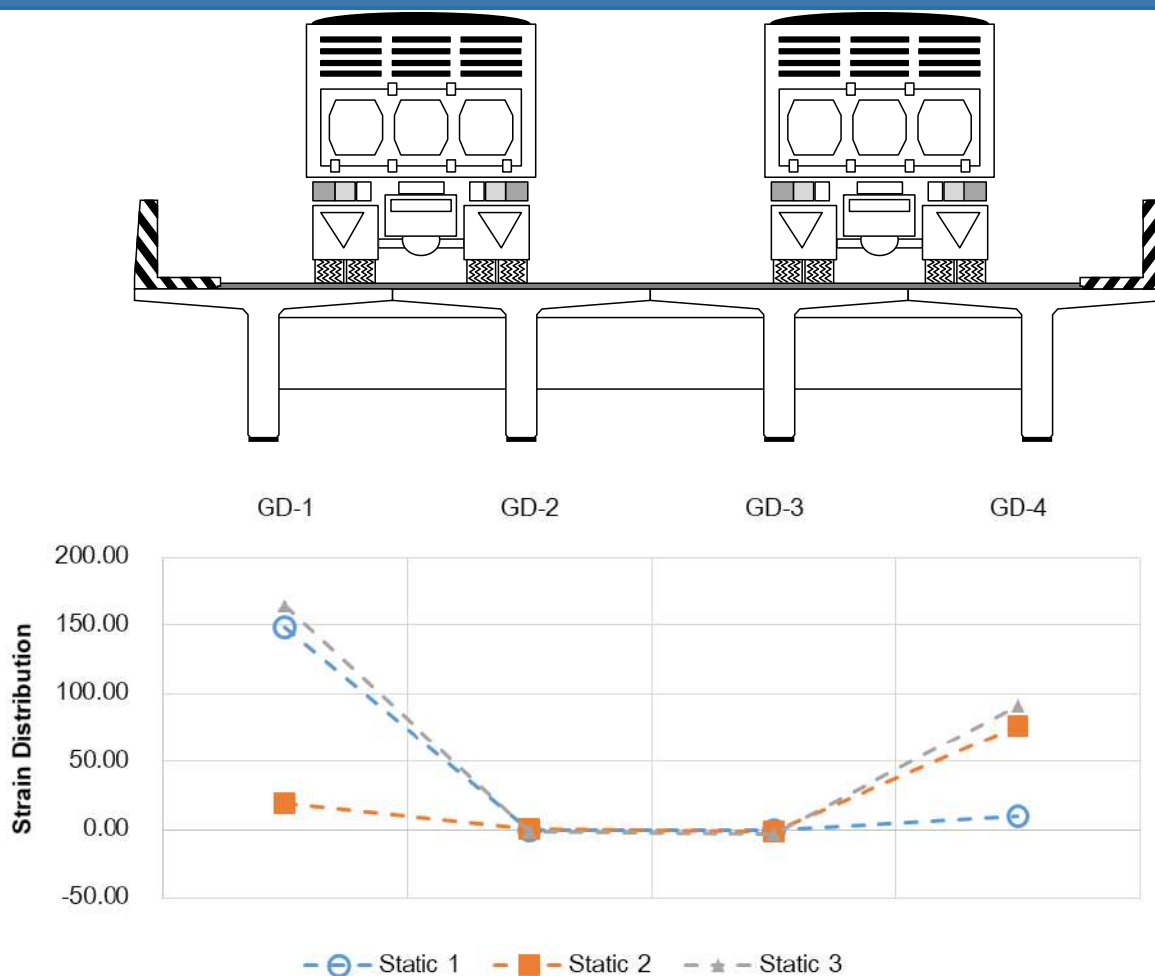
ตารางที่ 11-16 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานแบบสถิต

Sensor	Position L/2		
	Static 1	Static 2	Static 3
DT 01	-0.942	-0.146	-1.102
DT 02	-0.508	-0.969	-1.525
DT 03	-1.168	-0.176	-1.331
DT 04	-0.644	-1.191	-1.883
DT 05	-0.784	-0.122	-0.910
DT 06	-0.422	-0.736	-1.201
SG 01	12.296	2.760	14.125
SG 02	-1.017	0.627	-1.173
SG 03	148.052	19.858	164.394
SG 04	1.710	0.896	1.929
SG 05	0.017	0.085	0.017
SG 06	4.650	3.177	6.398
SG 07	-0.279	0.100	-1.735
SG 08	0.356	0.625	-0.700
SG 09	6.708	4.492	10.467
SG 10	4.110	2.377	6.563
SG 11	1.204	2.408	1.610
SG 12	1.854	2.781	2.650
SG 13	-0.371	-0.606	-2.533
SG 14	-1.615	-2.131	-4.231
SG 15	-0.244	0.835	-0.425
SG 16	-0.900	0.129	-0.625
SG 17	0.981	0.706	-0.335
SG 18	9.771	76.635	91.794
SG 19	0.344	1.865	1.069
SG 20	1.352	3.165	2.360



รูปที่ 11-15 พฤติกรรมการแอ่นตัวของคานตัวที่ 1 และตัวที่ 3





รูปที่ 11-16 พฤติกรรมการกระจายแรงตามขวางของสะพาน

11.6.5. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบพลวัต

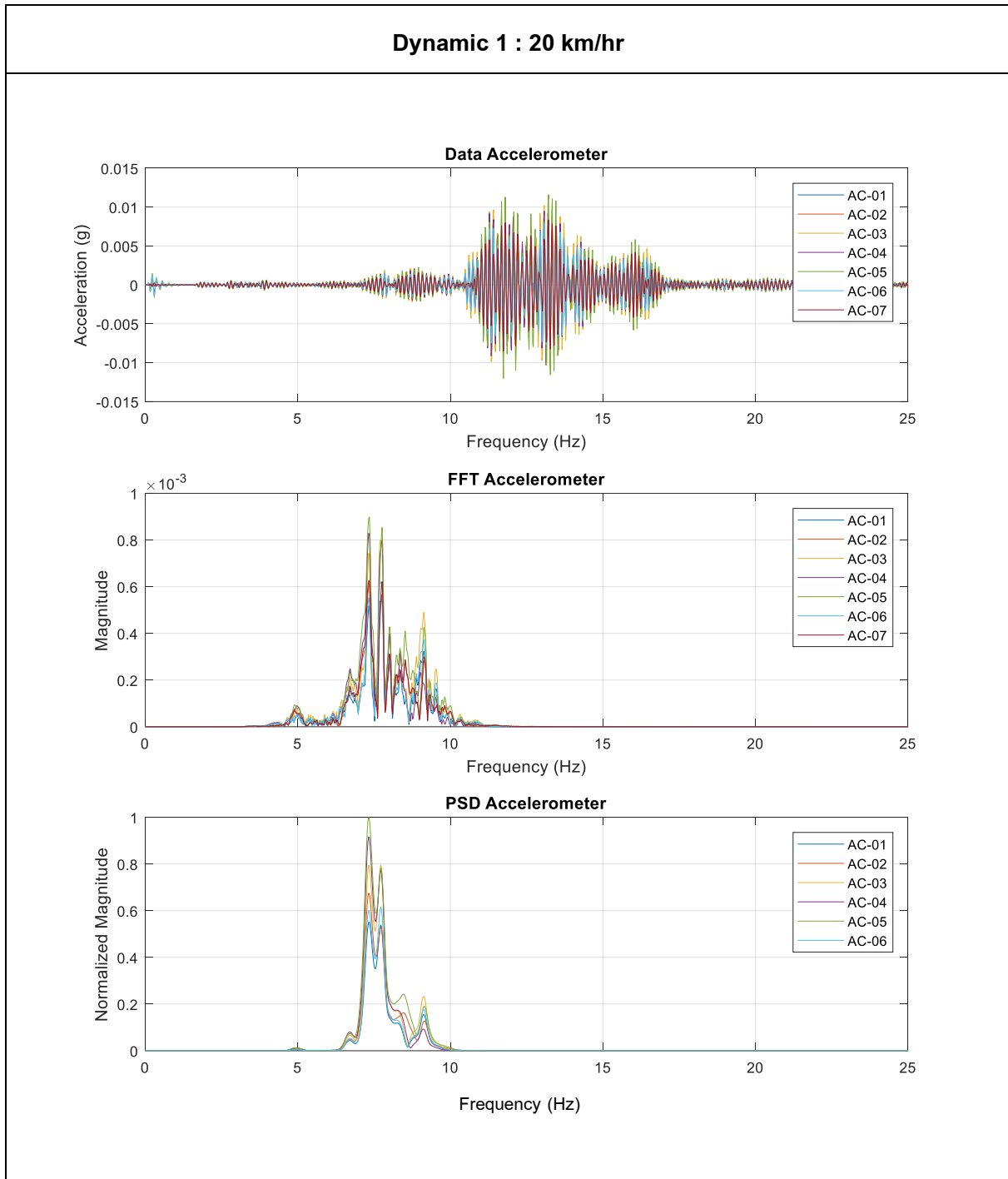
การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Test) เป็นการทดสอบโดยใช้รถบรรทุกวิ่งผ่านช่วงสะพานทดสอบหลายรูปแบบโดยมีรายละเอียดดังนี้

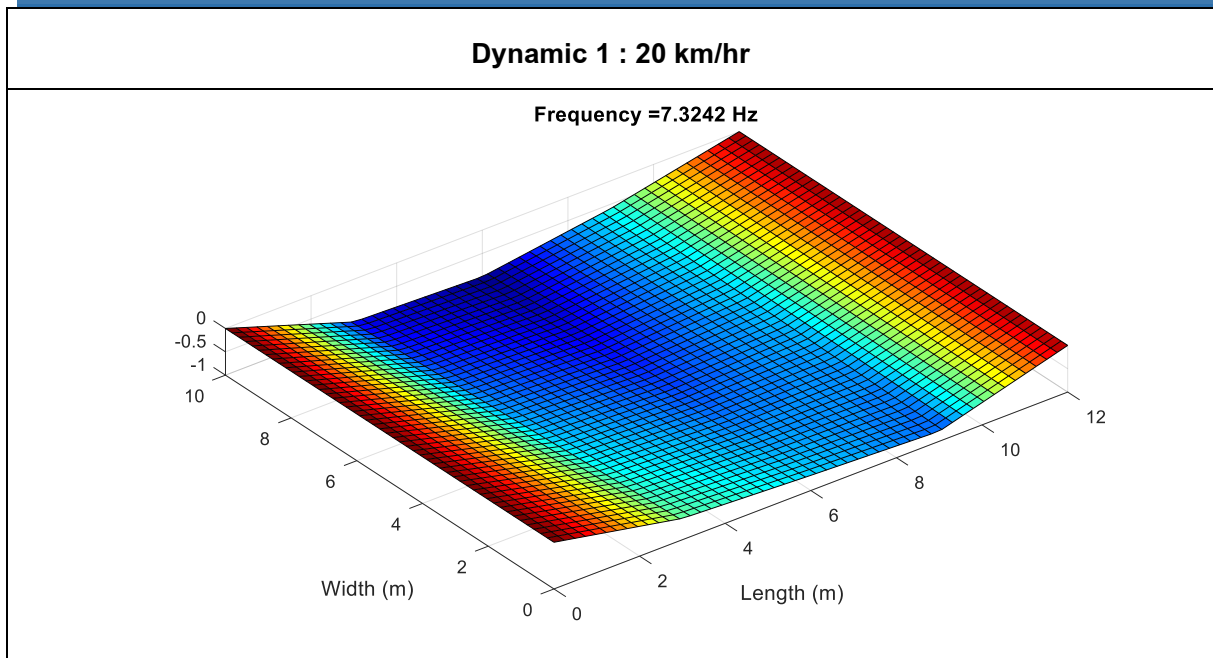
- Dynamic 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 20 กม./ชม.
- Dynamic 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 30 กม./ชม.
- Dynamic 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 50 กม./ชม.



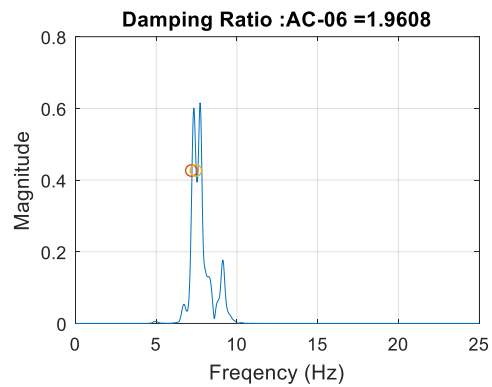
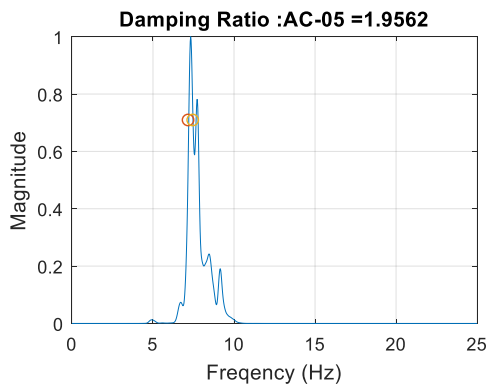
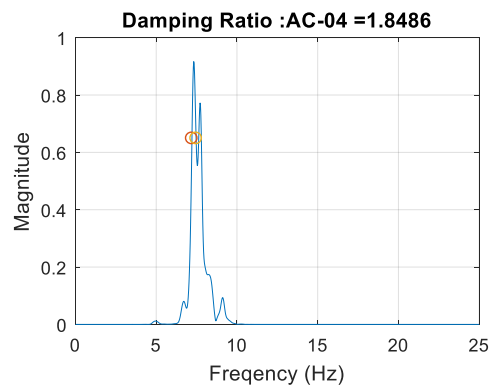
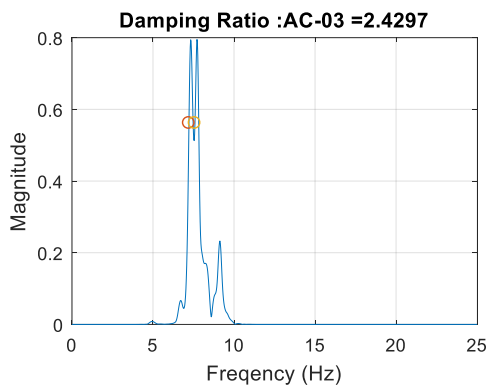
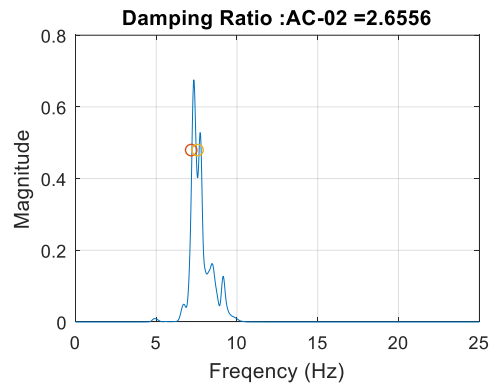
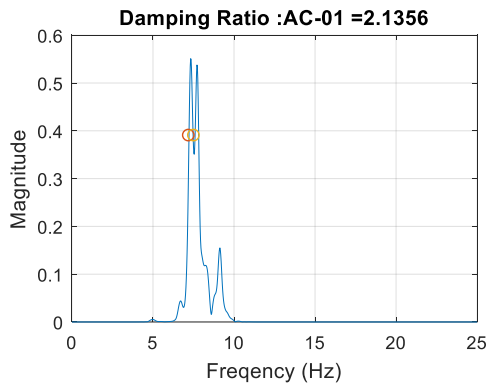
รูปที่ 11-17 ภาพการทดสอบแบบพลวัต

สำหรับการวิเคราะห์ผลการตรวจวัดพฤติกรรมแบบพลวัตเพื่อหาคุณสมบัติทางพลศาสตร์ ประกอบด้วย ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) และค่าตัวคูณเพิ่มแรงกระแทก (Impact Factor) สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

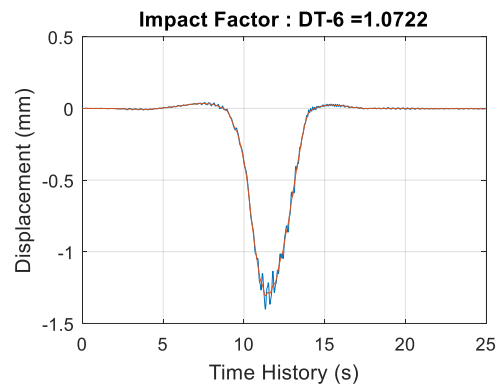
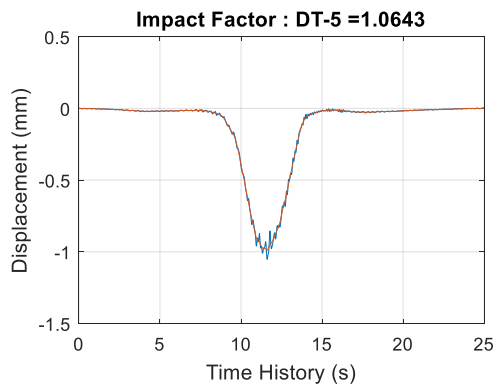
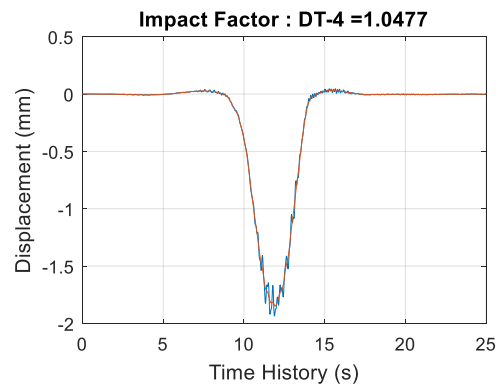
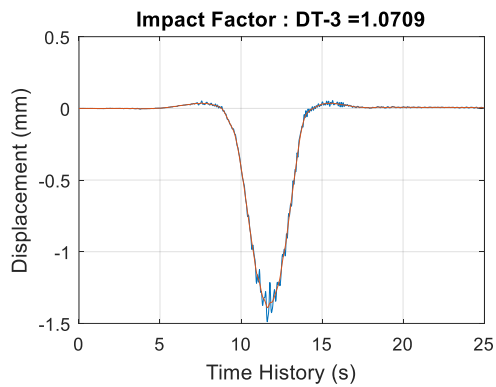
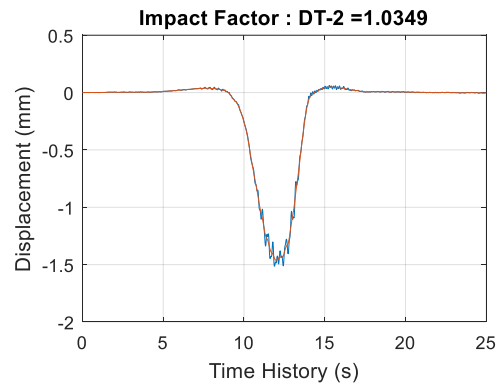
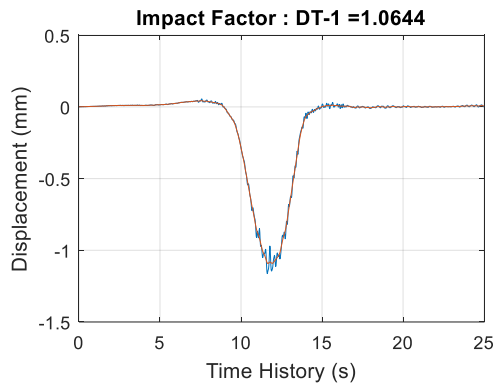




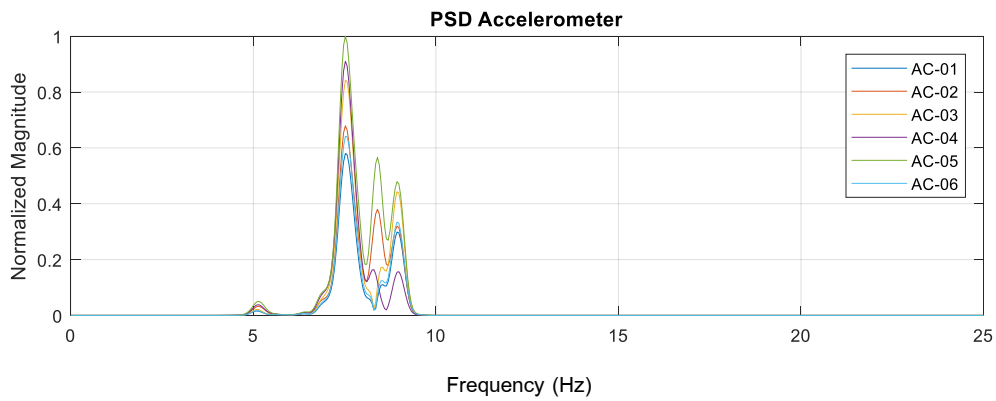
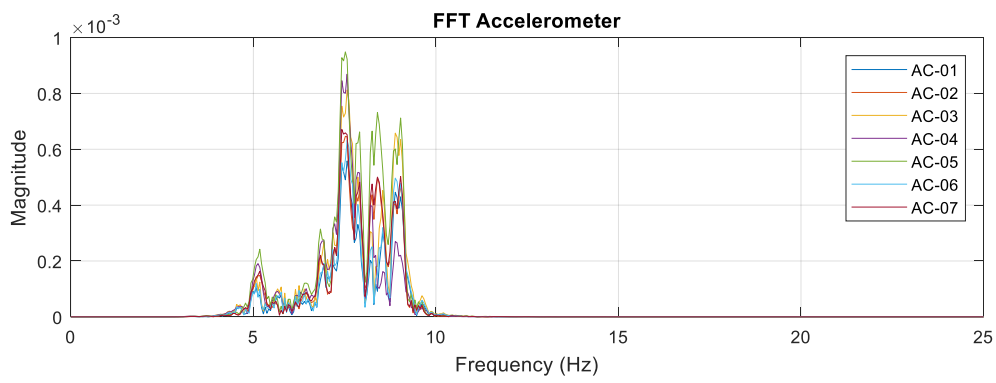
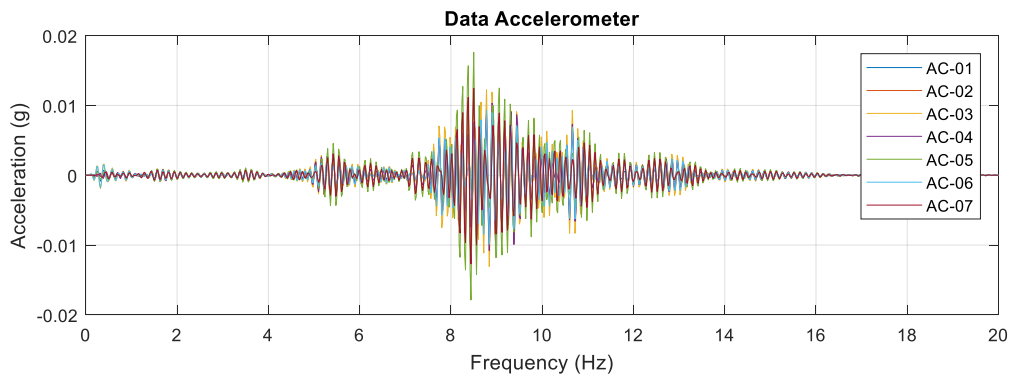
Dynamic 1 : 20 km/hr

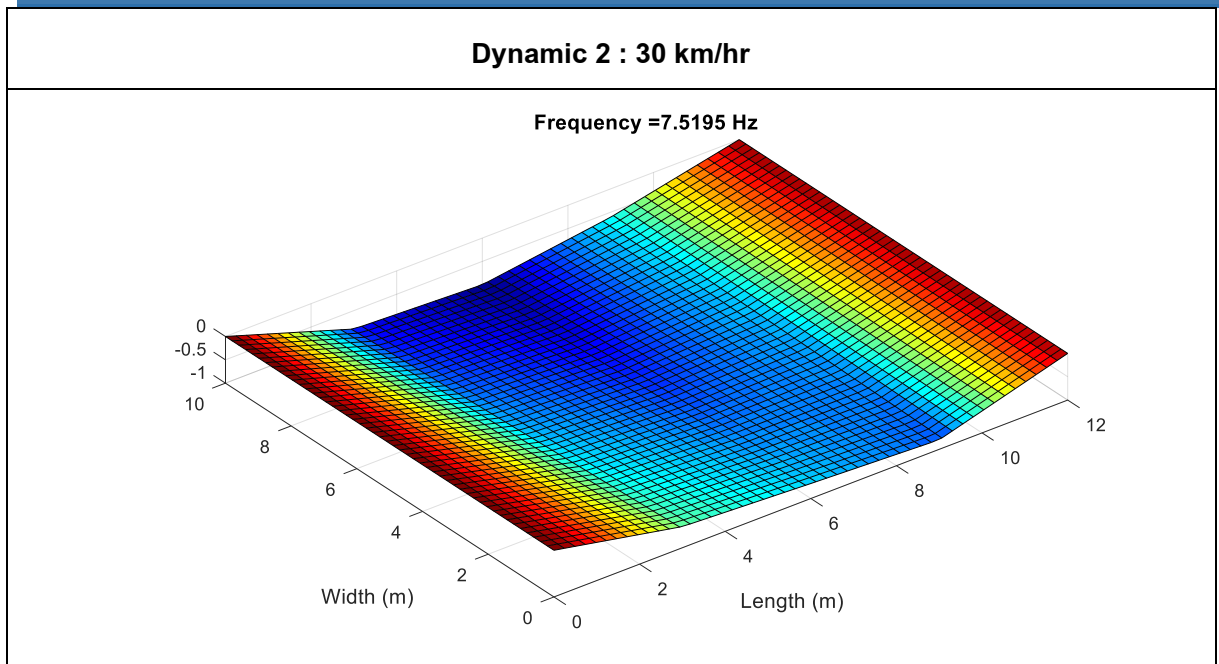


Dynamic 1 : 20 km/hr

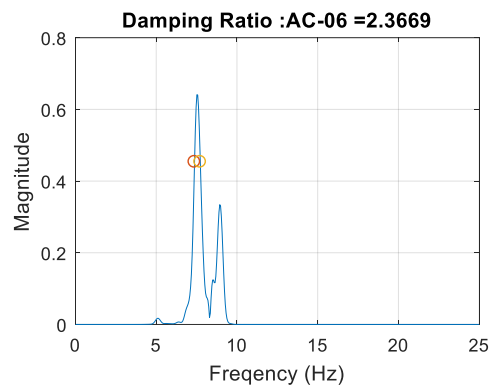
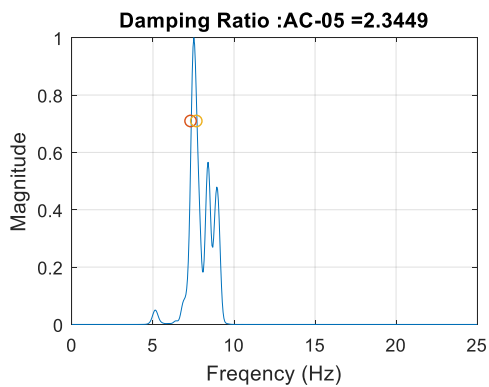
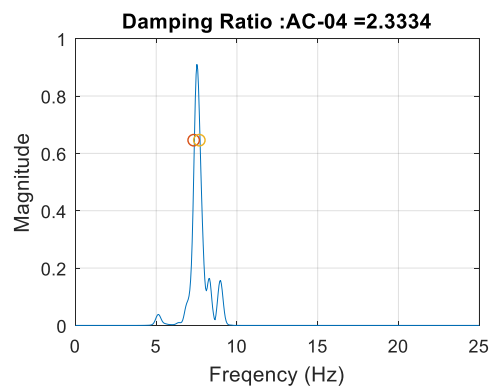
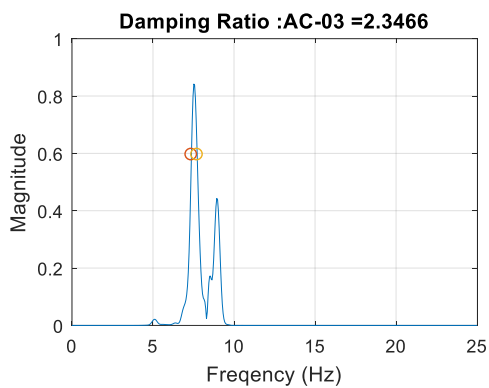
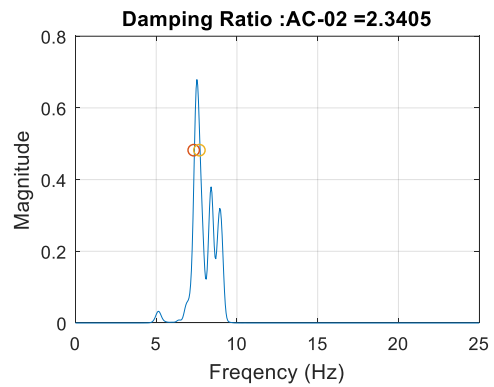
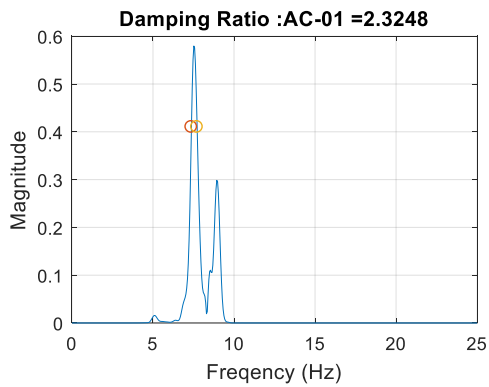


Dynamic 2 : 30 km/hr

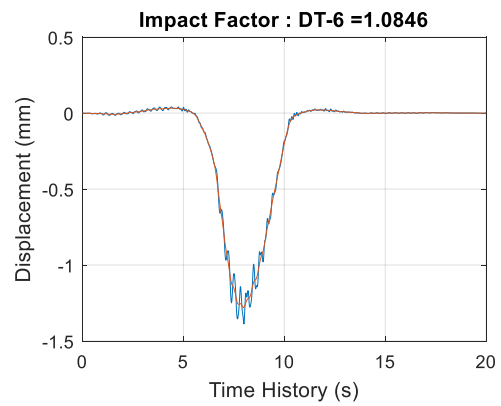
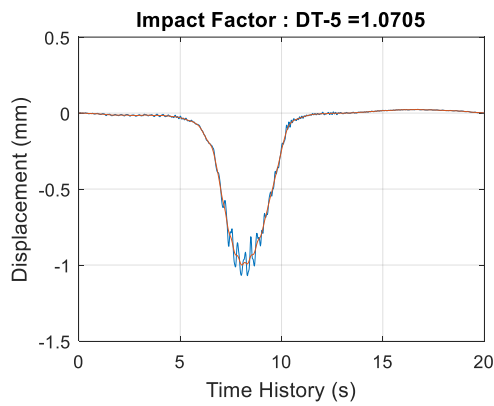
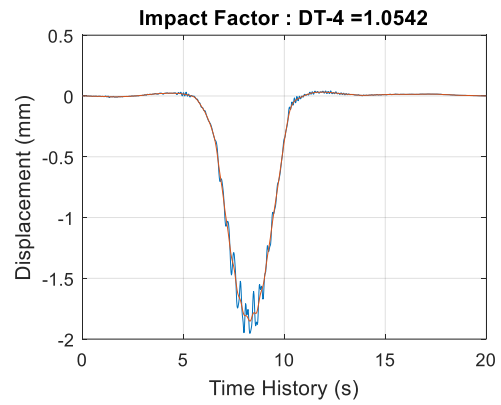
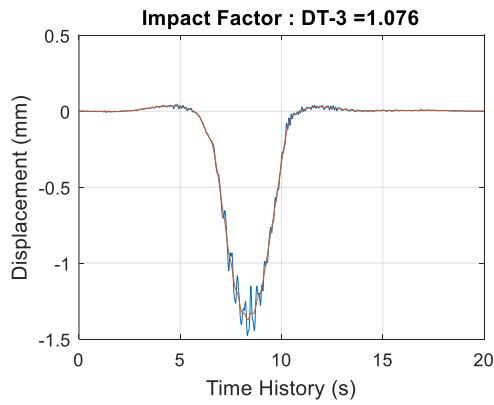
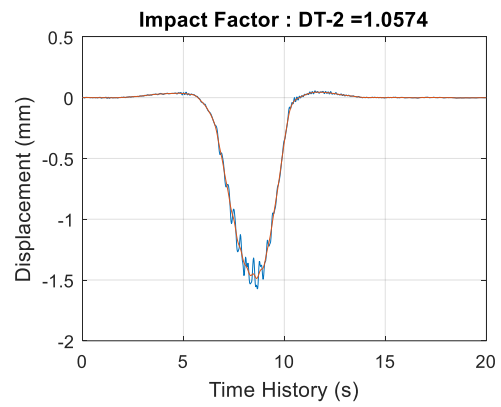
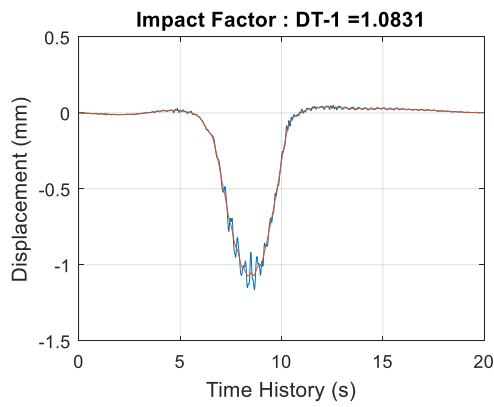




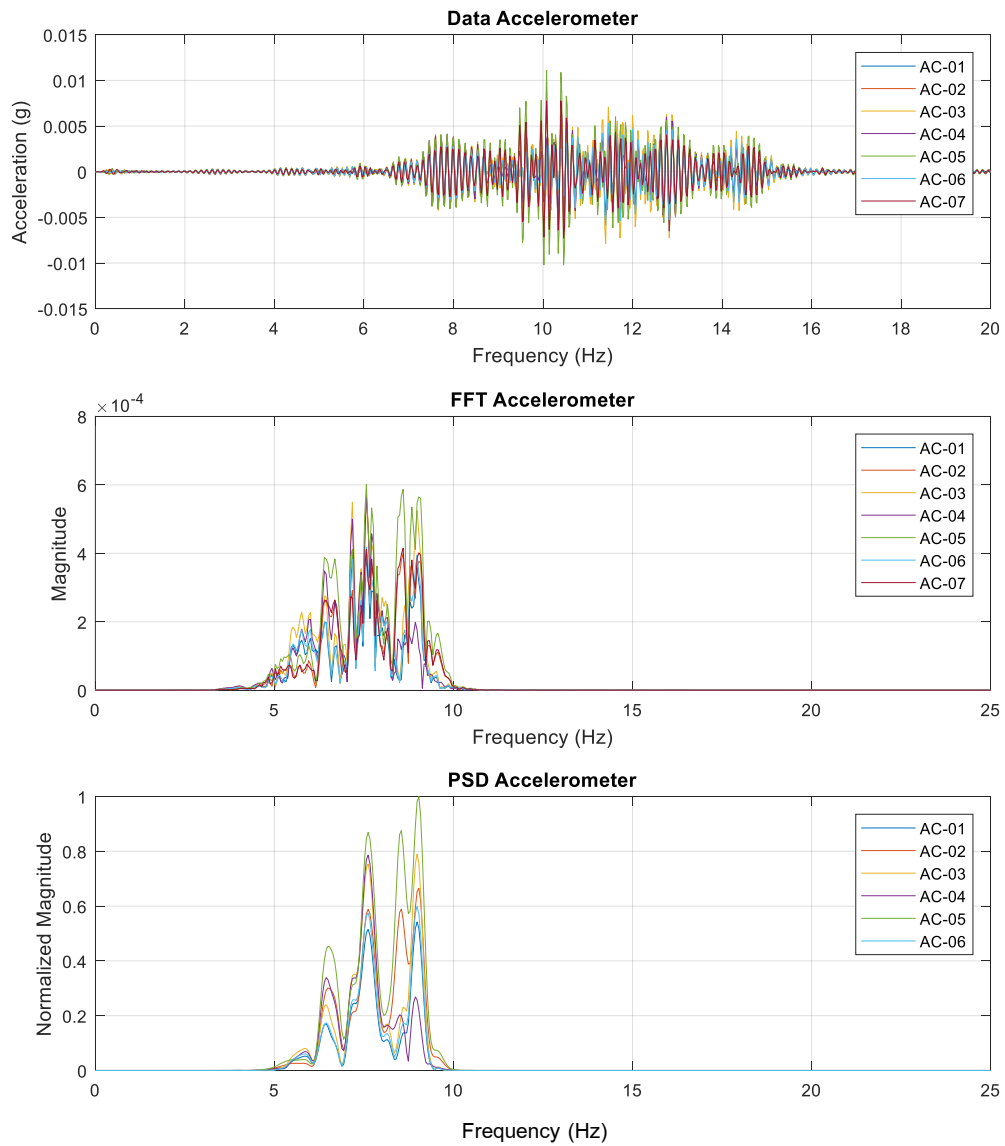
Dynamic 2 : 30 km/hr



Dynamic 2 : 30 km/hr

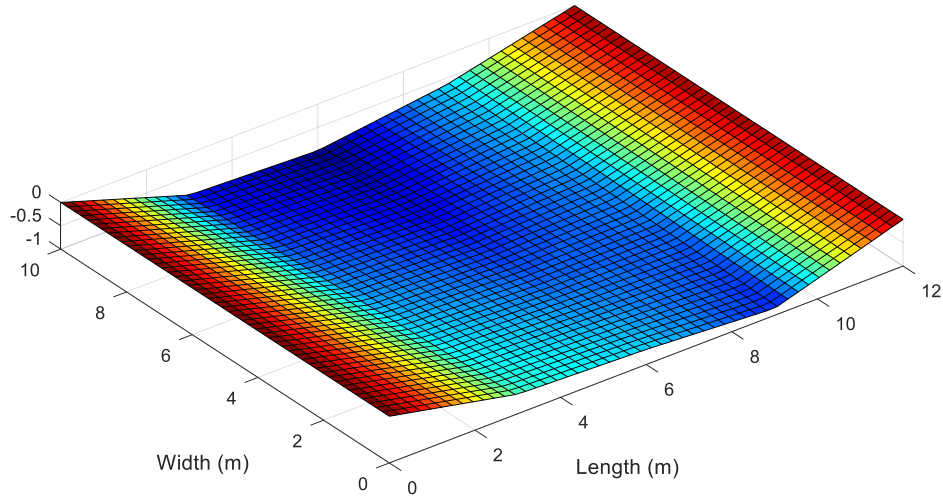


Dynamic 3 : 50 km/hr

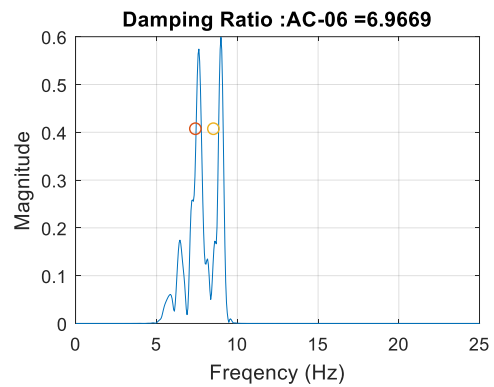
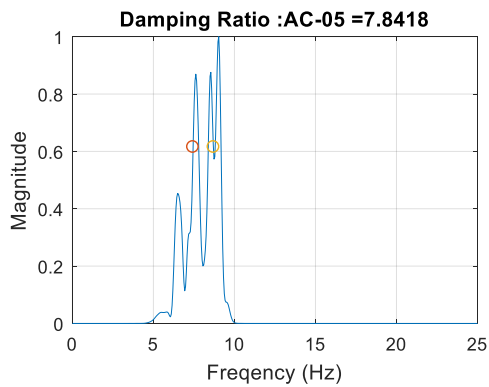
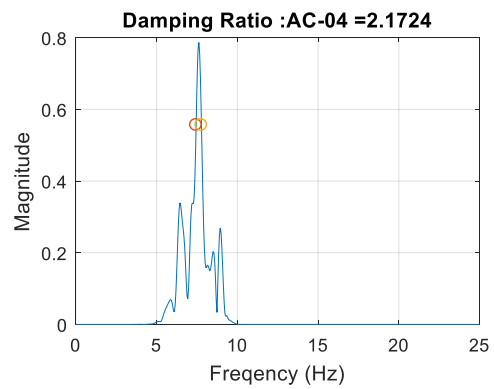
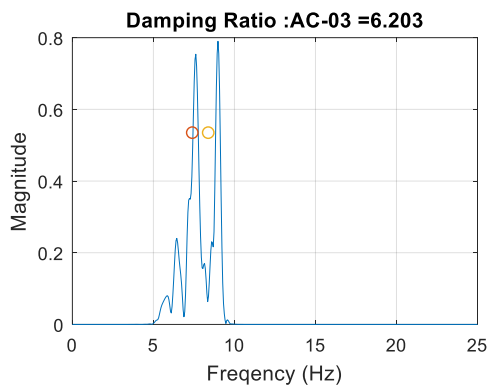
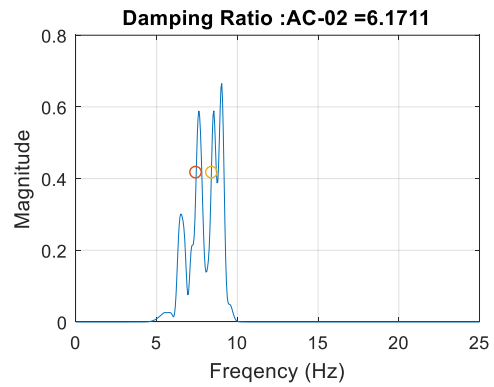
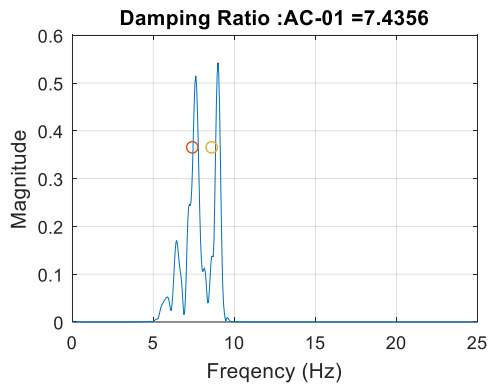


Dynamic 3 : 50 km/hr

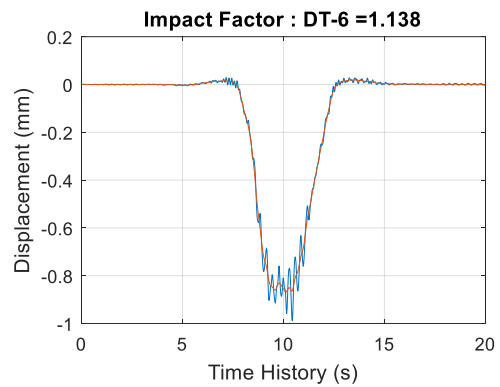
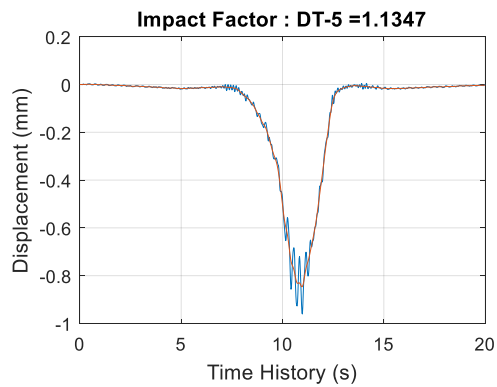
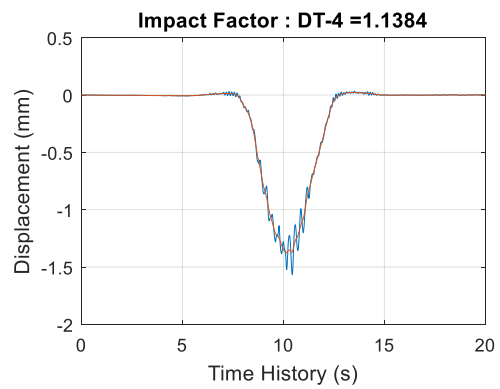
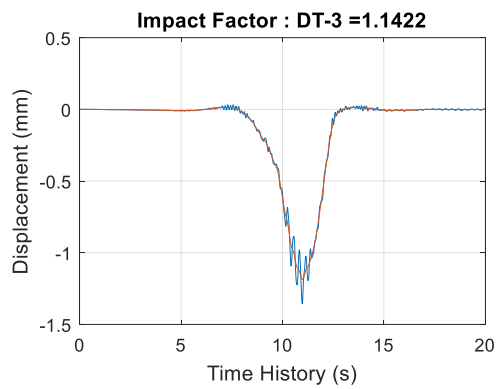
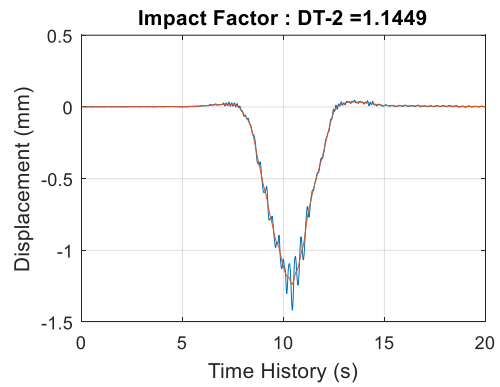
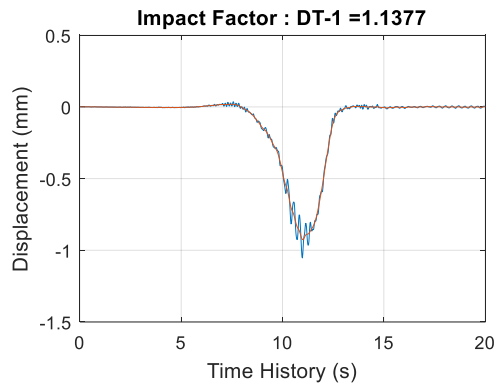
Frequency = 7.6172 Hz



Dynamic 3 : 50 km/hr



Dynamic 3 : 50 km/hr



ตารางที่ 11-17 ผลการวิเคราะห์ Natural Frequency, Mode Shape และ Damping Ratio

Test	Freq.	Mode Shape	Damping Ratio						
			AC 01	AC 02	AC 03	AC 04	AC 05	AC 06	AVG
Dynamic 1	7.324	1st Bending	2.136	2.656	2.43	1.849	1.956	1.961	2.165
Dynamic 2	7.52	1st Bending	2.325	2.341	2.347	2.333	2.345	2.367	2.343
Dynamic 3	7.617	1st Bending	7.436	6.171	6.203	2.172	7.842	6.967	6.132

ตารางที่ 11-18 ผลการวิเคราะห์ Impact Factor

Sensor	Impact Factor						
	DT 01	DT 02	DT 03	DT 04	DT 05	DT 06	Average
Dynamic 1	1.064	1.035	1.071	1.048	1.064	1.072	1.059
Dynamic 2	1.083	1.057	1.076	1.054	1.071	1.085	1.071
Dynamic 3	1.138	1.145	1.142	1.138	1.135	1.138	1.139

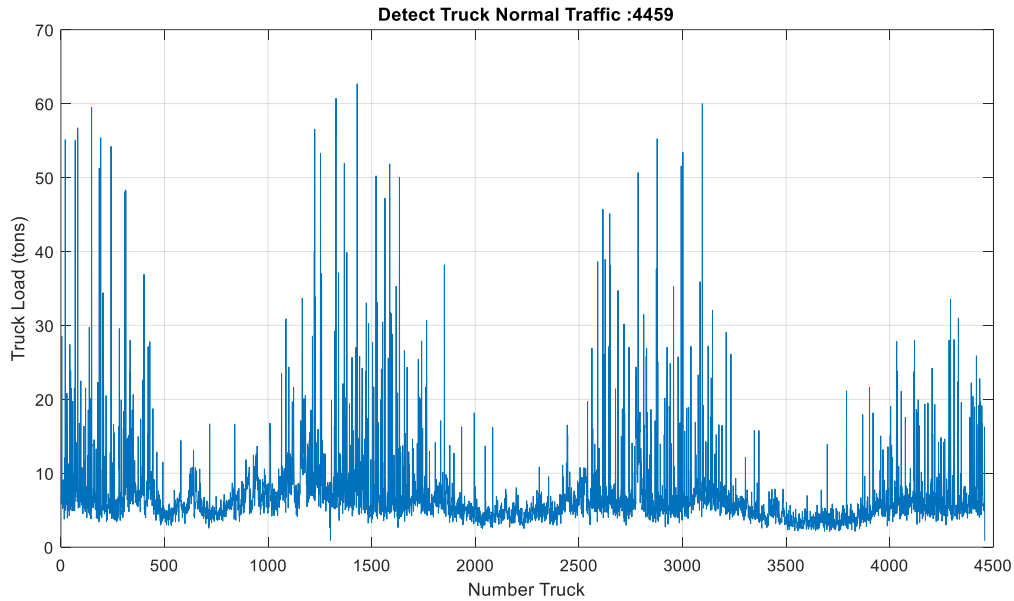
11.6.6. การทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน

ที่ปรึกษาได้ทำการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge บริเวณใต้ท้องคานแต่ละคาน (โดยเฉลี่ยค่า Strain Gauge ทั้ง 5 ตัวที่ติดตั้งในแต่ละคาน) กับน้ำหนักบรรทุกจากการทดสอบแบบ Static Load Test ซึ่งมีค่าแสดงได้ดังตารางที่ 11-19

ตารางที่ 11-19 การสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบ

Sensor	Strain Gauge (microstrain)		
	Static 1	Static 2	Static 3
AVG SG at GD01	32.212	4.845	35.858
AVG SG at GD02	3.109	2.154	4.199
AVG SG at GD03	0.166	0.657	-0.586
AVG SG at GD04	2.310	16.500	18.853
SUM	37.796	24.157	58.324
Truck Load (tons)	25	25	50

จากนั้นใช้ผลการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge ในการประมาณการน้ำหนักบรรทุก
จากผลการตรวจวัดค่าผลรวมของ Strain Gauge ภายใต้การจราจรปกติเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งได้ผลแสดง
ดังรูปที่ 11-18



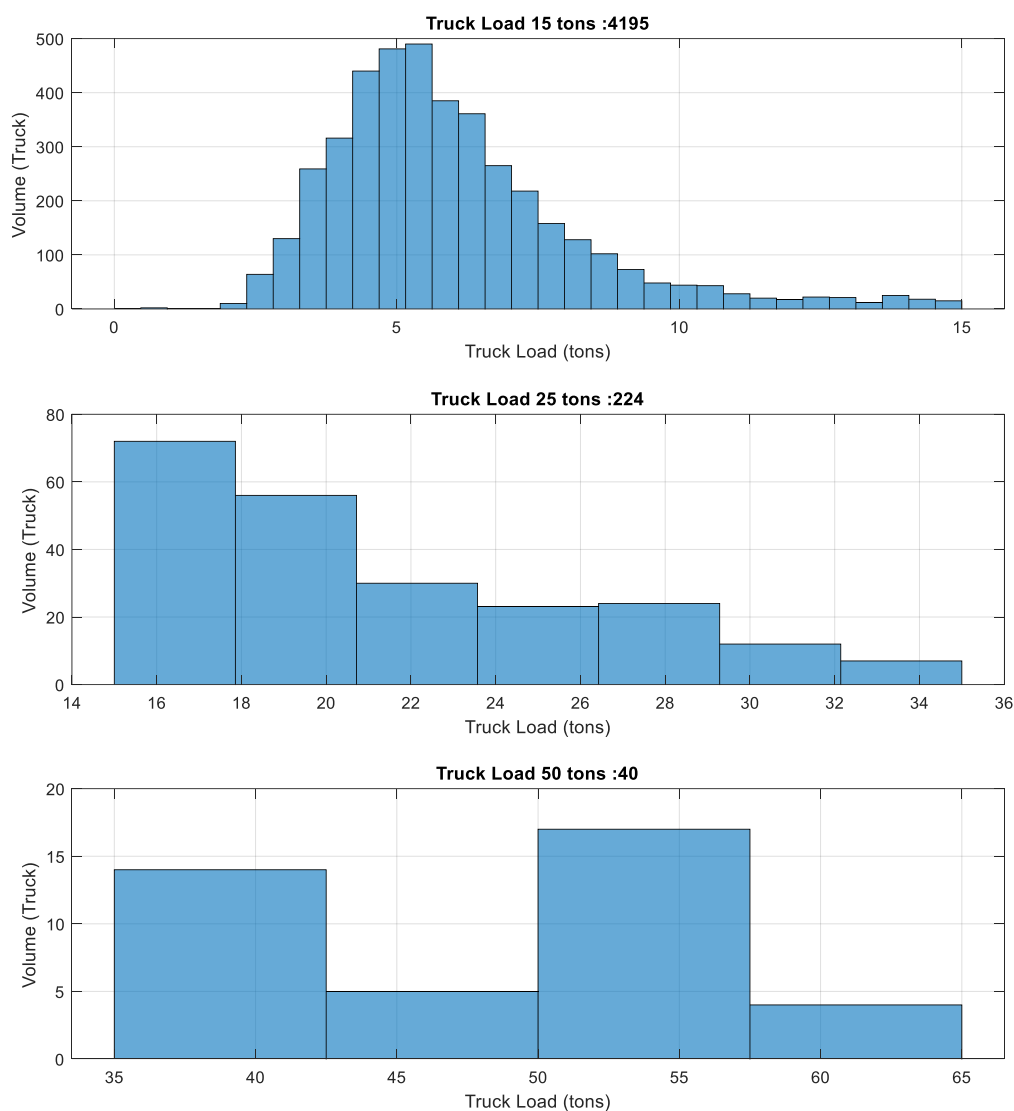
รูปที่ 11-18 ผลการสอบเทียบค่า Strain Gauge เพื่อประเมินน้ำหนักบรรทุก

ที่ปรึกษาได้แบ่งกลุ่มน้ำหนักบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพาน จำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 15 ตัน (น้ำหนักบรรทุกน้อยกว่า 15 ตัน)
- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 25 ตัน (น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 15 ตัน ถึง 35 ตัน) และ
- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 50 ตัน (น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 35 ตัน ถึง 65 ตัน)

เมื่อนำผลการสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกของแต่ละกลุ่มน้ำหนักมาหาค่าทางสถิติของข้อมูล
สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 11-19

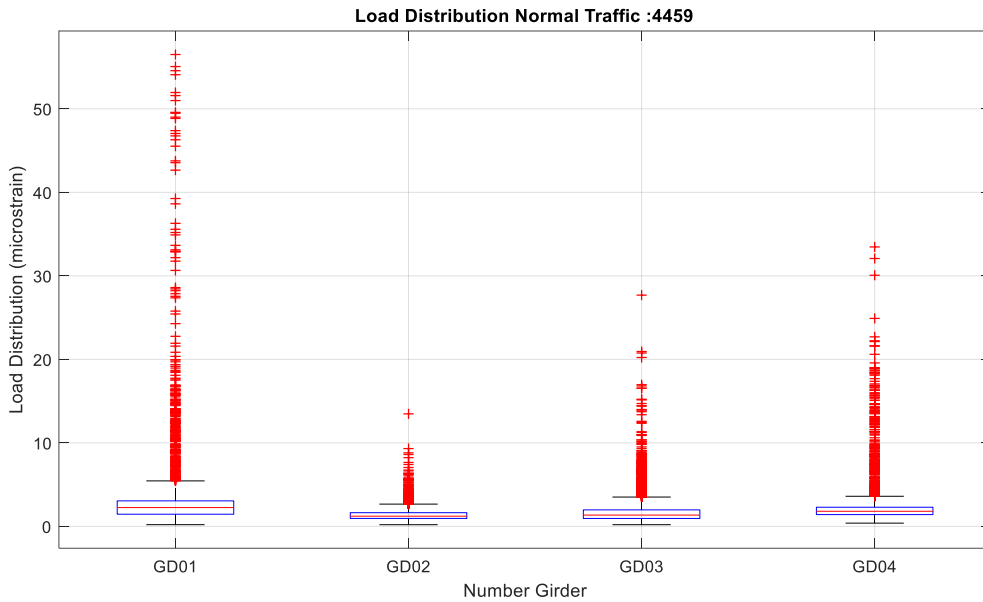
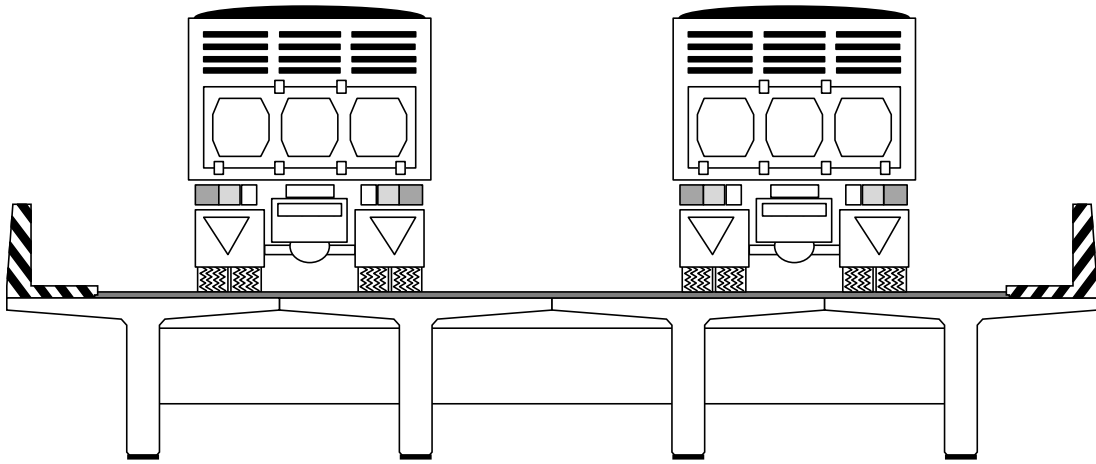




Group Truck	Truck 15 (tons)	Truck 25 (tons)	Truck 50 (tons)
Volume (truck)	4,195	224	40
%Volume	94.08%	5.02%	0.9%
Mean (tons)	5.984	21.238	47.731
Std (tons)	2.208	5.030	8.491

รูปที่ 11-19 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักบรรทุกทุกภายใต้สภาวะใช้งาน

และเมื่อนำค่า strain ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละคานมาพล็อต (box plot) จะได้ผลการกระจายแรงลงสะพานตามแนวขวางดังแสดงในรูปที่ 11-20



รูปที่ 11-20 การกระจายน้ำหนักในโครงสร้างคาน



บทที่ 12 สรุปผลการทดสอบภาคสนาม

12.1 สรุปการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน

การสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน แบ่งการดำเนินการเป็น 2 ส่วน คือ การสำรวจมิติสะพานและการสำรวจความเสียหายสะพาน จากการสำรวจทั้ง 8 สะพาน ได้จัดทำแบบสำรวจสะพาน ซึ่งแสดงมิติต่าง ๆ ของสะพานและความเสียหายที่ตรวจพบ โดยแสดงประเภท ปริมาณ และมีภาพถ่ายประกอบคำอธิบาย แนบมากับรายงานฉบับนี้



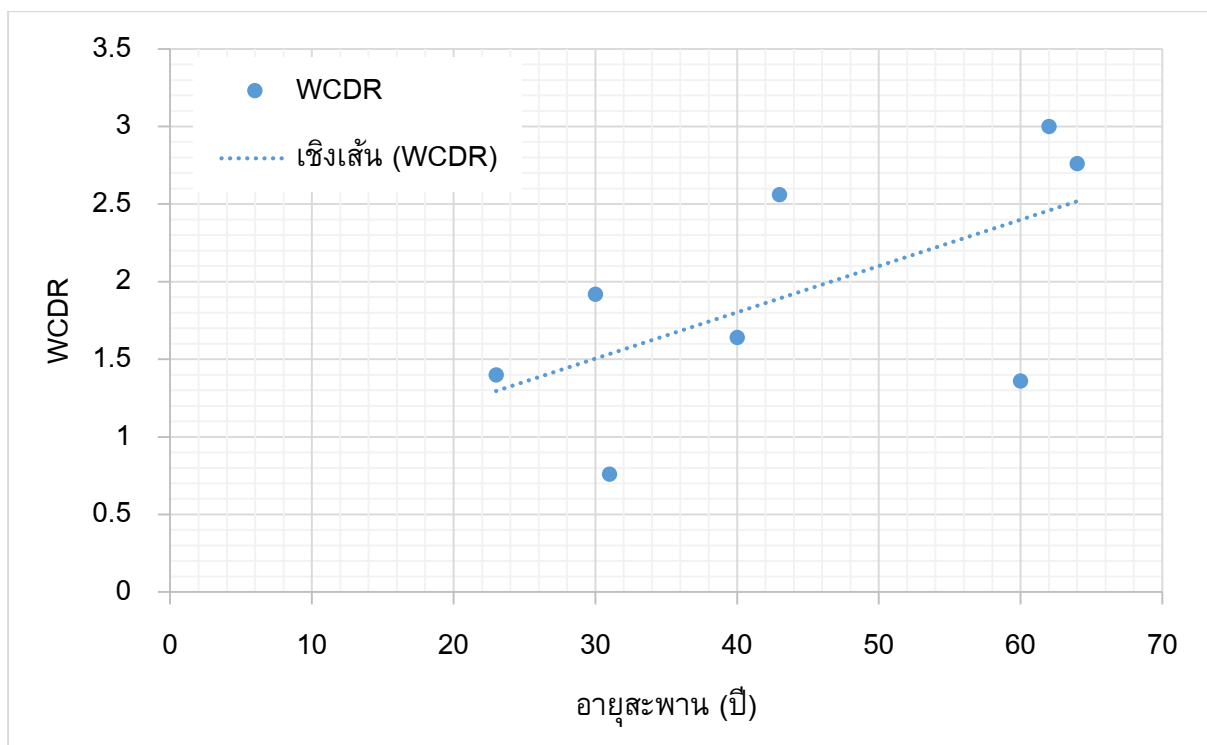
รูปที่ 12-1 แบบสำรวจสะพาน

12.1.1. สรุปการประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลข

ผลการประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลข ตามแนวทางของระบบบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) กรมทางหลวง ทั้ง 8 สะพานแสดงในตารางที่ 12-1 จากข้อมูลสรุปได้ว่าระดับความเสียหายของสะพานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 12-2 โดยที่สะพานข้ามคลองบางม้นมีระดับความเสียหายสูงสุด โดยมีค่า Weighted Critical Damage Rating (WCDR) เท่ากับ 3 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือมีสภาพการใช้งานต่ำที่สุด โดยแปลงเป็นค่า Weighted Critical Condition Rating (WCCR) ได้เท่ากับ 2 (ระดับชำรุด)

ตารางที่ 12-1 การประเมินระดับความเสียหายหรือสภาพการใช้งานโดยรวม ณ ปี 2565

ลำดับ	ชื่อสะพาน	สำนักงานทางหลวง	ปีที่ก่อสร้างเสร็จ	WCDR	WCCR	คำอธิบาย
1	สะพานคลองปากแพรก	16 นครศรีธรรมราช	2501	2.76	2.24	พอใช้ - ชำรุด
2	สะพานแม่น้ำลาว	2 แพร่	2525	1.64	3.36	ดี-พอใช้
3	สะพานห้วยเงิน	8 มหาสารคาม	2534	0.76	4.24	ดีมาก - ดี
4	สะพานห้วยแม่โป่ง	1 เชียงใหม่	2505	1.36	3.64	ดี - พอใช้
5	สะพานข้ามคลองบางม้น	17 กระบี่	2503	3	2	ชำรุด
6	สะพานข้ามแม่น้ำชี	7 ขอนแก่น	2535	1.92	3.08	ดี-พอใช้
7	สะพานคลองน้ำรอบ	16 นครศรีธรรมราช	2522	2.56	2.44	พอใช้ - ชำรุด
8	สะพานคลองยัน	16 นครศรีธรรมราช	2542	1.4	3.6	ดี-พอใช้



รูปที่ 12-2 กราฟระหว่าง WCDR กับอายุสะพาน ทั้ง 8 สะพานในโครงการนี้



12.2 สรุปผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน

ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม รวมพื้นที่สำรวจทั้งหมด 8 สะพานเท่ากับ 1038 ตร.ม. ปริมาณสำรวจในแต่ละสะพานแสดงในตารางที่ 12-2 ผลการสำรวจได้รวบรวมแสดงไว้ในแบบสำรวจสะพานที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้ ซึ่งจะให้ข้อมูลรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างอยู่ในรูปตัด (Typical section) และรูปด้านต่าง ๆ โดยจะแสดงตำแหน่ง และจำนวนเหล็กเสริมแต่ละสะพาน

ตารางที่ 12-2 พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมในชั้นส่วนโครงสร้างหลักของสะพาน

ลำดับ	ชื่อสะพาน	พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม (ตร.ม.)
1	สะพานคลองปากแพรก	132.1
2	สะพานแม่น้ำลาว	123.05
3	สะพานห้วยเงิน	121.79
4	สะพานห้วยแม่โป่ง	157.43
5	สะพานข้ามคลองบางมัน	123.6
6	สะพานข้ามแม่น้ำชี	130.53
7	สะพานคลองน้ำรอบ	123.2
8	สะพานคลองยัน	126.3
รวมทั้งสิ้น		1038

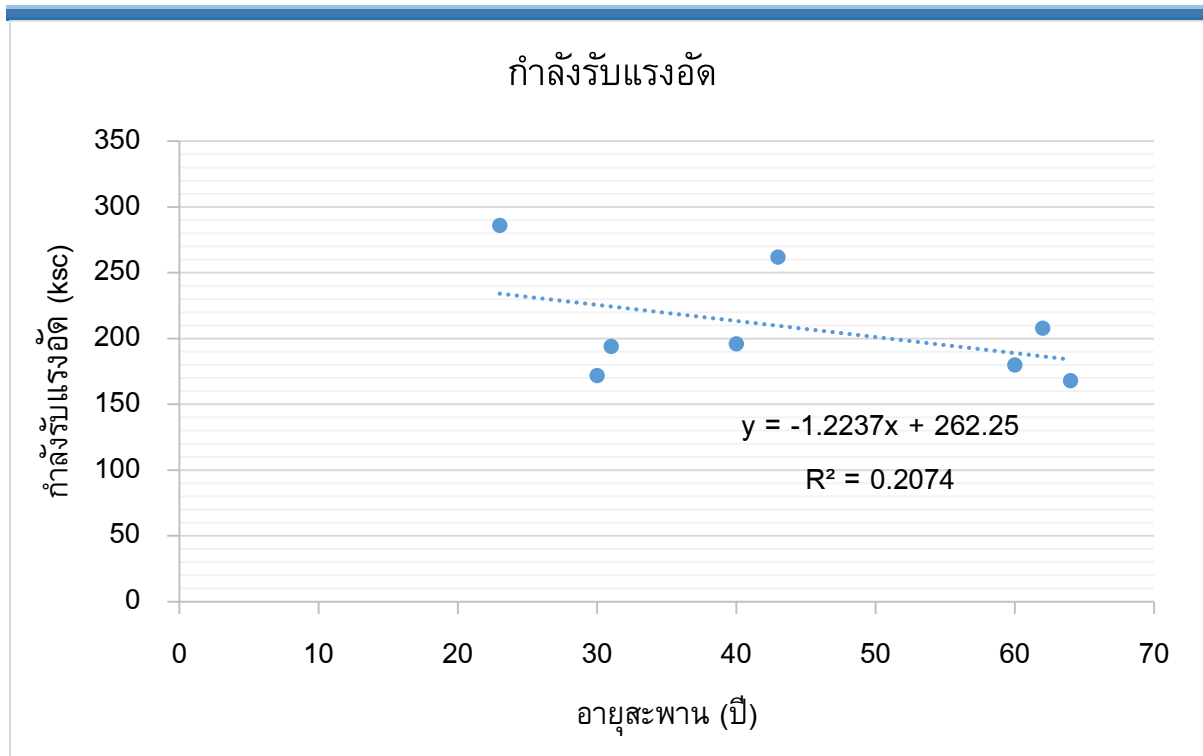
12.3 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

12.3.1. สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและแรงดึงของคอนกรีต

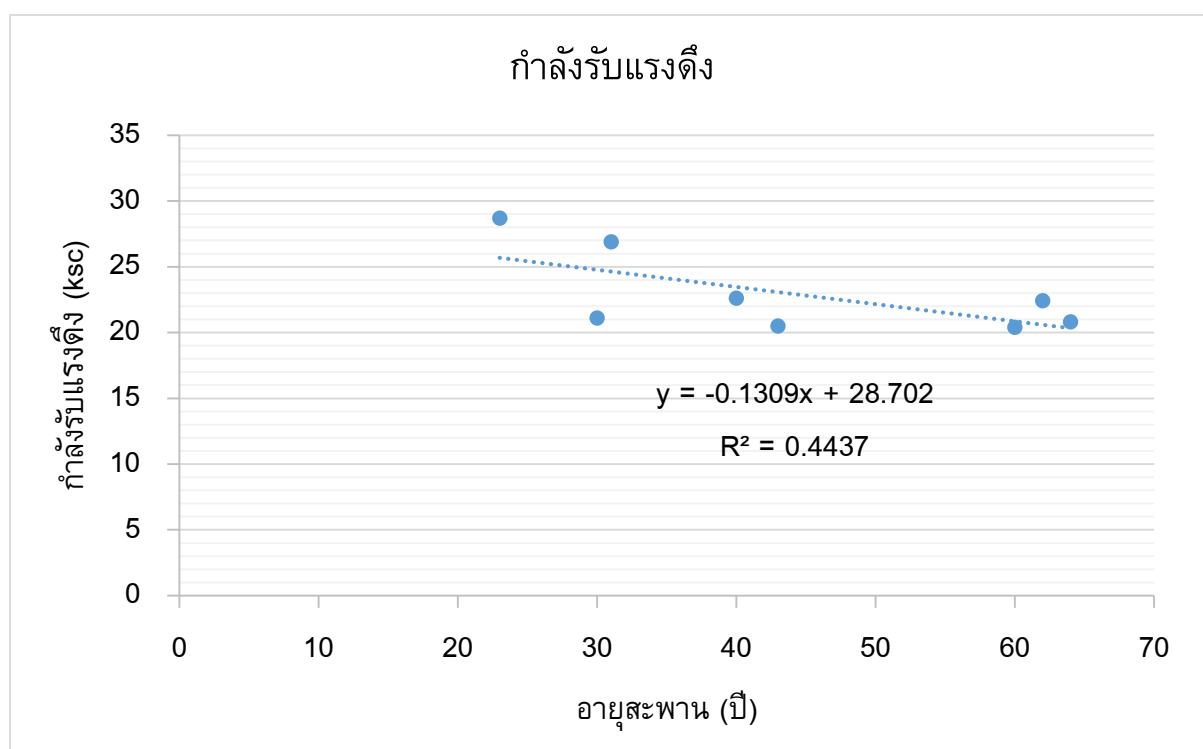
โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดและแรงดึงของคอนกรีต ทั้ง 8 สะพาน สะพานละ 20 ตำแหน่ง รวมทั้งสิ้น 160 ตัวอย่างต่อรูปแบบการทดสอบ โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ตารางที่ 12-3 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและแรงดึงของทั้ง 8 สะพาน กราฟในรูปที่ 12-3 และรูปที่ 12-4 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดและดึงมีแนวโน้มลดลงตามอายุสะพาน ซึ่งเป็นผลจากการเสื่อมสภาพของคอนกรีตและคุณภาพคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างสะพานดีขึ้นตามกาลเวลา

ตารางที่ 12-3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและแรงดึงของคอนกรีต

ลำดับ	ชื่อสะพาน	ปีที่ก่อสร้างเสร็จ	ค่า เฉลี่ย 20 ตัวอย่าง Compressive Strength (ksc)	ค่า เฉลี่ย 20 ตัวอย่าง Tensile Strength (ksc)
1	สะพานคลองปากแพรง	2501	168	20.8
2	สะพานแม่น้ำลาว	2525	196	22.6
3	สะพานห้วยเงิน	2534	194	26.9
4	สะพานห้วยแม่โป่ง	2505	180	20.4
5	สะพานข้ามคลองบางมัน	2503	208	22.4
6	สะพานข้ามแม่น้ำชี	2535	172	21.1
7	สะพานคลองน้ำรอบ	2522	262	20.5
8	สะพานคลองยัน	2542	286	28.7



รูปที่ 12-3 กราฟระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต กับอายุสะพาน ทั้ง 8 สะพานในโครงการนี้



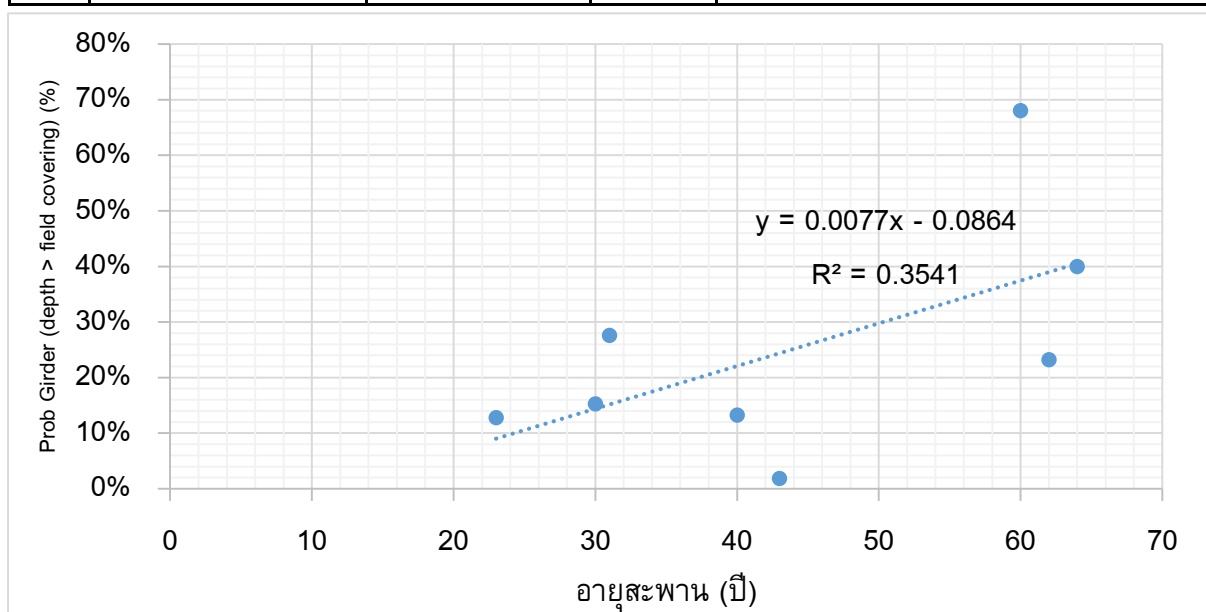
รูปที่ 12-4 กราฟระหว่างกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต กับอายุสะพาน ทั้ง 8 สะพานในโครงการนี้

12.3.2. สรุปผลการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน

โครงการนี้ได้ทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชันทั้ง 8 สะพาน สะพานละ 20 ตำแหน่ง ๆ ละ 5 ระดับความลึก (รวมทั้งสิ้น 800 ตัวอย่าง) โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ตารางที่ 12-4 แสดงผลโอกาสที่ความลึกคาร์บอนเนชันจะเกิดลึกถึงชั้นเหล็กเสริมของชิ้นส่วน คานตามยาว (GD) ของแต่ละสะพาน กราฟในรูปที่ 12-5 แสดงให้เห็นว่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการเกิดคาร์บอนเนชันถึงชั้นเหล็กเสริมชิ้นส่วนคานสะพาน เพิ่มขึ้นตามอายุสะพาน ซึ่งเป็นผลจากการเสื่อมสภาพของคอนกรีตและคุณภาพคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างสะพานดีขึ้นตามกาลเวลา

ตารางที่ 12-4 ผลการทดสอบหาค่าความลึกปฏิบัติการคาร์บอนเนชัน

ลำดับ	ชื่อสะพาน	สำนักงานทางหลวง	ปีที่ก่อสร้างเสร็จ	Prob (depth > field covering) (%) Girder (GD)
1	สะพานคลองปากแพรก	16 นครศรีธรรมราช	2501	39.95%
2	สะพานแม่น้ำลาว	2 แพร่	2525	13.26%
3	สะพานห้วยเงิน	8 มหาสารคาม	2534	27.60%
4	สะพานห้วยแม่โป่ง	1 เชียงใหม่	2505	68.04%
5	สะพานข้ามคลองบางมัน	17 กระบี่	2503	23.24%
6	สะพานข้ามแม่น้ำชี	7 ขอนแก่น	2535	15.26%
7	สะพานคลองน้ำรอบ	16 นครศรีธรรมราช	2522	1.84%
8	สะพานคลองยัน	16 นครศรีธรรมราช	2542	12.80%



รูปที่ 12-5 กราฟระหว่างความน่าจะเป็นที่จะเกิดการเกิดคาร์บอนเนชันถึงชั้นเหล็กเสริมชิ้นส่วนคานสะพาน กับอายุสะพานทั้ง 8 สะพานในโครงการนี้

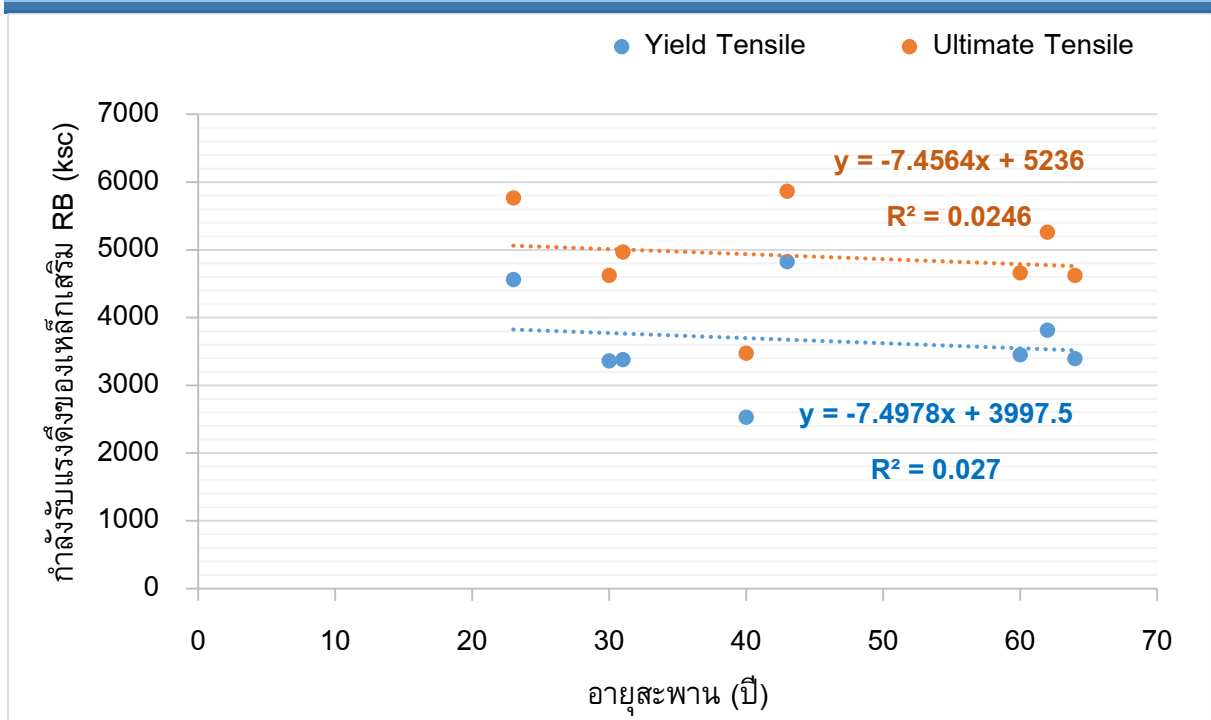


12.3.3. สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

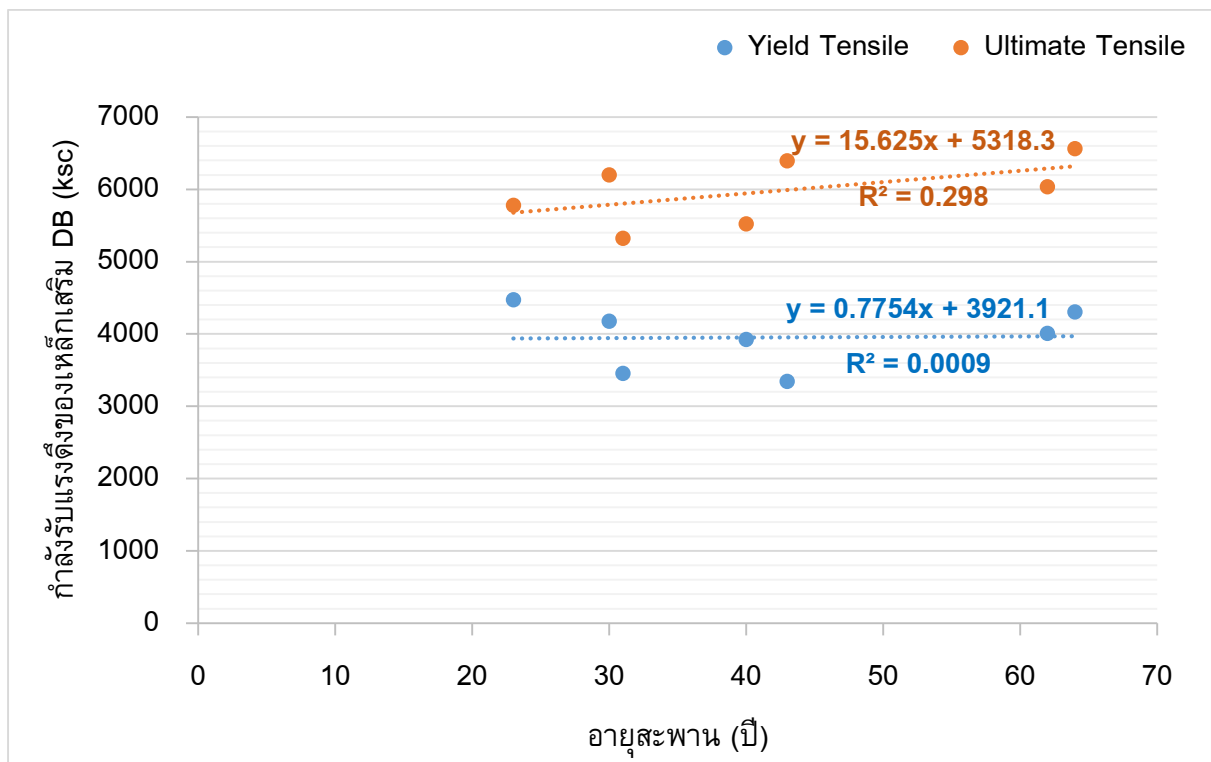
สะพานได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมของสะพานจำนวน 20 ตัวอย่าง 4 สะพาน และ 22 ตัวอย่าง 4 สะพาน รวมทั้งสิ้น 168 ตัวอย่าง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ตารางที่ 12-5 แสดงผลการทดสอบเหล็กเสริมของสะพาน กราฟในรูปที่ 12-6 และรูปที่ 12-7 แสดงการเปรียบเทียบกำลังเหล็กเสริมกับอายุของสะพาน ซึ่งพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยยะสำคัญ

ตารางที่ 12-5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

ลำดับ	ชื่อสะพาน	เหล็กกลม (RB)		เหล็กข้ออ้อย (DB)	
		Yield Tensile Strength AVG (ksc)	Ultimate Tensile Strength AVG (ksc)	Yield Tensile Strength AVG (ksc)	Ultimate Tensile Strength AVG (ksc)
1	สะพานคลองปากแพรก	3397	4623	4302	6560
2	สะพานแม่น้ำลาว	2533	3475	3924	5521
3	สะพานห้วยเงิน	3381	4968	3454	5323
4	สะพานห้วยแม่โป่ง	3453	4663	-	-
5	สะพานข้ามคลองบางมัน	3819	5262	4007	6035
6	สะพานข้ามแม่น้ำชี	3362	4627	4173	6198
7	สะพานคลองน้ำรอบ	4826	5867	3342	6393
8	สะพานคลองย่น	4562	5771	4473	5776



รูปที่ 12-6 กราฟระหว่างกำลังรับแรงดึงของเหล็กกลม กับอายุสะพานทั้ง 8 สะพานในโครงการนี้



รูปที่ 12-7 กราฟระหว่างกำลังรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อย กับอายุสะพานทั้ง 8 สะพานในโครงการนี้



12.4 ผลการตรวจวัดพฤติกรรม

12.4.1. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต

การทดสอบแบบสถิต (Static Test) เป็นการนำรถบรรทุกทดสอบจอดตามตำแหน่งต่าง ๆ โดยทั่วไปรูปแบบที่สามารถทำให้เกิดแอนตัวของคานสูงสุด คือการจอดรถบรรทุก 2 คันบริเวณกึ่งกลางสะพานโดยวัดค่าการแอนตัว ณ ตำแหน่งกึ่งกลางท่อนคาน แสดงตารางที่ 12-6 ค่าการแอนตัวจะบ่งบอกถึงความแข็งแรงของคานหากมีความเสียหายมากคานจะแอนตัวมากตาม อย่างไรก็ตามค่าความแอนจะแปรผันตามความยาวช่วงสะพาน นอกจากนี้ พฤติกรรมโดยทั่วไปของสะพานคานตัวในจะรับน้ำหนักบรรทุกมากกว่าคานตัวนอก ทำให้มีการแอนตัวสูงกว่า

ตารางที่ 12-6 ค่าแอนตัวสูงสุดของทั้ง 8 สะพาน จากการทดสอบแบบสถิต

ลำดับ	ชื่อสะพาน	ความยาว ช่วงสะพานที่ทดสอบ (เมตร)	ค่าแอนตัวสูงสุดบริเวณ กึ่งกลางคานตัวนอก จากรถบรรทุก 25 ตัน 2 คัน (มม.)	ค่าแอนตัวสูงสุดบริเวณ กึ่งกลางคานตัวใน จากรถบรรทุก 25 ตัน 2 คัน (มม.)
1	สะพานคลองปากแพรก	10	-0.111	-0.007
2	สะพานแม่น้ำลาว	12	-0.305	-0.305
3	สะพานห้วยเงิน	12	-1.430	-1.430
4	สะพานห้วยแม่โป่ง	15	-1.432	-1.432
5	สะพานข้ามคลองบางมัน	15	-0.915	-1.775
6	สะพานข้ามแม่น้ำชี	15	-1.269	-1.269
7	สะพานคลองน้ำรอบ	20	-1.898	-2.535
8	สะพานคลองย่น	20	-1.331	-1.883

12.4.2. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบพลวัต

ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) เป็นค่าจำเพาะของสะพานแต่ละตัว (Unique Characteristic) สะพานอาจถูกก่อสร้างด้วยมาตรฐานเดียวกัน แต่ค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานก็อาจแตกต่างกันได้ ค่าความถี่ธรรมชาติอาจถูกนำมาใช้เป็นค่าที่บ่งบอกสติฟเนสในภาพรวม (Global Stiffness) ถ้าโครงสร้างมีสติฟเนสสูง ค่าความถี่ธรรมชาติจะสูงตามไปด้วย สะพานตัวเดียวกันหากสติฟเนสลดลงจากการเสื่อมสภาพ ค่าความถี่ธรรมชาติจะลดลงตามไปด้วย หรือถ้ามีการปรับปรุงให้โครงสร้างแข็งขึ้น (สติฟเนสสูงขึ้น) ค่าความถี่ธรรมชาติก็จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นในแต่ละช่วงอายุสะพาน อาจมีการตรวจสอบค่าความถี่ธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการปรับแก้แบบจำลองสะพานให้มีสติฟเนสในภาพรวมใกล้เคียงกับสะพานจริง ณ ช่วงเวลานั้น เพื่อใช้แบบจำลองที่ปรับแก้แล้วประเมินการกระจายแรงภายในโครงสร้าง นอกจากนี้สติฟเนสของสะพานมีแนวโน้มลดลงเมื่อความยาวช่วงสะพานเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานช่วงที่ยาวกว่ามีแนวโน้มต่ำลง ผลการวิเคราะห์ 8 สะพานแสดงในตารางที่ 12-7

ค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) เป็นคุณสมบัติทางพลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการสลายพลังงานการสั่นไหว ซึ่งเกิดจากปัจจัยหลายอย่าง โดยทั่วไปหากโครงสร้างมีชิ้นส่วนที่สามารถยับยั้งตัวได้มาก หรือมีส่วนประกอบของวัสดุที่ช่วยสลายพลังงาน หรือมีรอยแตกร้าว ค่าอัตราส่วนความหน่วงก็มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามค่าอัตราส่วนความหน่วงโดยทั่วไปเป็นค่าที่ความแปรปรวนค่อนข้างสูง ผลการวิเคราะห์ 8 สะพานแสดงในตารางที่ 12-7

ค่าตัวคูณเพิ่มแรงกระแทก (Impact Factor) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับแรงกระทำไดนามิกที่เพิ่มขึ้นจากระดับแรงกระทำแบบสถิต โดยมาตรฐานการออกแบบของ AASHTO LRFD กำหนดค่าตัวคูณเพิ่มแรงกระแทกไว้ 1.33 ดังนั้นหากผลทดสอบพฤติกรรมสะพานมีค่าต่ำกว่า 1.33 แสดงว่าแรงกระแทกยังอยู่ในสมมุติฐานการออกแบบ ผลการวิเคราะห์ 8 สะพานแสดงในตารางที่ 12-7

ตารางที่ 12-7 ผลการวิเคราะห์การทดสอบแบบพลวัตของทั้ง 8 สะพาน

ลำดับ	ชื่อสะพาน	ความยาว ช่วงสะพาน ที่ทดสอบ (เมตร)	Natural Frequency			Damping Ratio			Impact Factor		
			Dynamic case			Dynamic case			Dynamic case		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	สะพานคลองปากแพรก	10	12.256	13.086	12.988	2.374	2.369	2.446	1.095	1.069	1.156
2	สะพานแม่น้ำลาว	12	11.621	12.183	10.791	1.996	0.885	4.132	1.079	1.110	1.082
3	สะพานห้วยเงิน	12	10.352	10.059	10.547	2.087	2.367	8.851	1.035	1.054	1.036
4	สะพานห้วยแม่โป่ง	15	8.106	7.764	8.008	3.852	6.080	4.094	1.067	1.057	1.060
5	สะพานข้ามคลองบางมัน	15	9.229	9.277	9.473	1.326	2.355	2.967	1.022	1.016	1.020
6	สะพานข้ามแม่น้ำชี	15	10.059	9.717	10.547	1.095	5.163	5.301	1.115	1.090	1.138
7	สะพานคลองน้ำรอบ	20	6.787	6.641	7.520	2.617	2.687	4.187	1.072	1.083	1.136
8	สะพานคลองยั้ง	20	7.324	7.520	7.617	2.165	2.343	6.132	1.059	1.071	1.139

12.4.3. การทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน

ที่ปรึกษาได้ทำการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge บริเวณใต้ท้องคานแต่ละคาน กับ น้ำหนักบรรทุกจากการทดสอบแบบ Static Load Test จากนั้นใช้ผลการสอบเทียบดังกล่าวในการประมาณการน้ำหนักบรรทุกภายใต้การจราจรปกติเป็นเวลา 3 วัน

ที่ปรึกษาได้แบ่งกลุ่มน้ำหนักบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพาน จำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 15 ตัน (น้ำหนักบรรทุกน้อยกว่า 15 ตัน)
- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 25 ตัน (น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 15 ตัน ถึง 35 ตัน)
- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 50 ตัน (น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 35 ตัน ถึง 65 ตัน)

เมื่อนำผลการสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกของแต่ละกลุ่มน้ำหนักมาหาค่าทางสถิติของข้อมูล สามารถสรุปทั้ง 8 สะพานได้ตารางที่ 12-8

ตารางที่ 12-8 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักบรรทุกภายใต้สภาวะใช้งาน

ลำดับ	ชื่อสะพาน	ปริมาณบรรทุกภายใต้สภาวะใช้งานจากการวิเคราะห์ผลตรวจวัด		
		Truck 15 (tons)	Truck 25 (tons)	Truck 50 (tons)
1	สะพานคลองปากแพรก	4,710	96	19
2	สะพานแม่น้ำลาว	3,707	777	174
3	สะพานห้วยเงิน	4,319	20	1
4	สะพานห้วยแม่โป่ง	3,486	857	8
5	สะพานข้ามคลองบางมัน	4,110	223	46
6	สะพานข้ามแม่น้ำชี	1,107	2,075	2,174
7	สะพานคลองน้ำรอบ	2,571	1,674	114
8	สะพานคลองยั้ง	4,195	224	40

บทที่ 13 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้าง สะพาน

การเสริมกำลังโครงสร้าง (Structural Strengthening) เป็นกระบวนการปรับปรุงเพื่อเพิ่มความมั่นคงแข็งแรงหรือความสามารถในการรับน้ำหนักให้กับโครงสร้าง โดยใช้เทคนิคและวิธีการต่าง ๆ ซึ่งการพิจารณาเทคนิควิธีในการเสริมกำลังนั้นจะต้องคำนึงถึงสภาพ พฤติกรรม และคุณสมบัติของโครงสร้างอย่างรอบคอบ ในบางครั้งการปรับปรุงคุณสมบัติอย่างหนึ่ง อาจเป็นการสร้างภาวะอย่างอื่นให้กับโครงสร้าง เช่น น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เพิ่มขึ้นหรือการเปลี่ยนแปลงการกระจายของแรงทำให้ชิ้นส่วนอื่นของโครงสร้างเกิดการวิกฤต เป็นต้น ส่งผลให้โครงสร้างมีความปลอดภัยหรือมีความสามารถในการรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานทั้ง 8 สะพาน ที่ได้ไปตรวจวัดและวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบการเสริมกำลังที่เหมาะสมของแต่ละสะพาน รวมถึงหลักการที่นำมาใช้วิเคราะห์และการเปรียบเทียบต้นทุนของแนวทางการเสริมกำลังสะพานในรูปแบบต่าง ๆ

13.1 ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Analysis, FEA)

การสร้างแบบจำลองโครงสร้างของสะพานสามารถใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Analysis: FEA) ได้ ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย การวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพานที่ปรึกษาเลือกใช้แบบจำลอง Finite Element Analysis (FEA) โดยระเบียบวิธี Finite Element Analysis เป็นวิธีการสร้างแบบจำลองโดยใช้วิธี Numerical Method และเป็นวิธีเชิงการประมาณ (Approximate Method)

การวิเคราะห์โครงสร้างที่มีความซับซ้อนหรือมีขนาดใหญ่ จะต้องจำลองโครงสร้างในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่มีรูปร่างคุณลักษณะต่าง ๆ ใกล้เคียงกับโครงสร้างจริงมากที่สุด วิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบันคือ วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Method & Analysis) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาค่าการตอบสนองและพฤติกรรมของโครงสร้างสะพาน (Bridge Response) ดังนี้

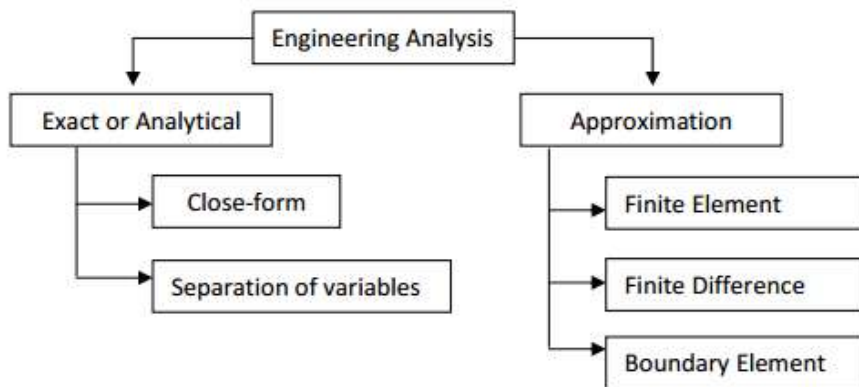
1. การแอ่นตัว (Deflection)
2. การบิด (Torsion)
3. ความเค้น (Stress)

4. การเคลื่อนตัวตามยาวของสะพาน
5. ความเร่งที่เกิดจากการสั่นไหว
6. ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของโครงสร้างสะพาน
7. ลักษณะการสั่นไหวอิสระ

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสะพาน ซึ่งทำการศึกษาในครั้งนี้ เป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบสากล อันได้แก่ มาตรฐานของ American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO, 2007) มาตรฐานการออกแบบของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) และมาตรฐานสากลอื่น ๆ อันเป็นที่ยอมรับ โดยกำหนดให้ Design Criteria เป็นไปตามมาตรฐานตามที่กล่าวถึงในข้างต้น

ในการศึกษานี้จะจำลองโครงสร้างสะพานแบบ 3 มิติ ซึ่งเป็นรูปแบบที่ได้รับการยอมรับว่ามีพฤติกรรมใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของสะพานมากที่สุด โดยใช้โปรแกรม อาทิเช่น FEA หรือโปรแกรมอื่นที่มีความเหมาะสม มีความน่าเชื่อถือ และนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) หรือที่เรียกย่อ ๆ ว่า FEM คือเทคนิควิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการหาคำตอบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยพร้อม ๆ กับสมการปริพันธ์ โดยนิยมใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อนทางด้านรูปร่าง (Geometry) และปัญหาของ Boundary



รูปที่ 13-1 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element) เป็นการจำลองโครงสร้างที่มีความซับซ้อนด้วยชิ้นส่วนย่อย (Element) ที่มีความซับซ้อนทางเรขาคณิตน้อยกว่า ประกอบเข้าด้วยกันภายใต้เงื่อนไขความสมดุลทาง Dynamics และความต่อเนื่องของโครงสร้าง โดยแต่ละ Element จะประกอบไปด้วยโหนด (Nodes) ซึ่งเป็นตัวแปรหลักในการกำหนดพฤติกรรมของ Element นั้น ๆ กล่าวคือการเคลื่อนที่ของจุดต่าง ๆ ใน Element รวมถึงหน่วยแรงที่เกิดขึ้นสามารถประมาณได้จากค่า



การเคลื่อนที่ของ Nodes ดังนั้นการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธี Finite Element จึงเป็นการคำนวณหาค่าการเคลื่อนที่ของ Nodes ของแต่ละ Elements

สมการความสมดุลทาง Dynamics ของ Nodes ต่าง ๆ เป็นสมการพีชคณิตซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{P(t)\}$$

สมการ 13-1

โดยที่ $K =$ Stiffness Matrix

$C =$ Damping Matrix

$M =$ Mass Matrix

$P(t) =$ เวกเตอร์ของแรงกระทำภายนอกที่ขึ้นกับเวลา (Vector of Applied Loads)

$U =$ เวกเตอร์ของการขจัดของ Node (Nodal Displacement) ตามเวลา (t)

$\dot{U} =$ เวกเตอร์ของการความเร็ว (Velocity) ตามเวลา (t)

$\ddot{U} =$ เวกเตอร์ของการความเร่ง (Acceleration) ตามเวลา (t)

ซึ่งการแก้สมการหาค่า U สามารถทำได้โดยสะดวกด้วยวิธีการทางเมทริกซ์

ในกรณีที่แรงกระทำ $P(t)$ ทำให้โครงสร้างเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ($\ddot{U}=0$ และ $\dot{U}=0$) สมการ $[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{P(t)\}$ สมการ 13-1 สามารถเขียนได้เป็น

$$[K]\{U\} = \{P(t)\}$$

สมการ 13-2

ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบ Statics

หลังจากที่ได้ค่าการเคลื่อนที่ (U) ของ Nodes แล้ว การเคลื่อนที่ของจุดต่าง ๆ ภายใน Element สามารถคำนวณได้จาก Shape Function ของ Element นั้น ๆ ความเครียด (Strain) สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการเคลื่อนที่ (Strain-Displacement Relationship) และสุดท้ายคำนวณหาความเค้น (Stress) ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดซึ่งแตกต่างกันไปตามประเภทของวัสดุในแต่ละ Element

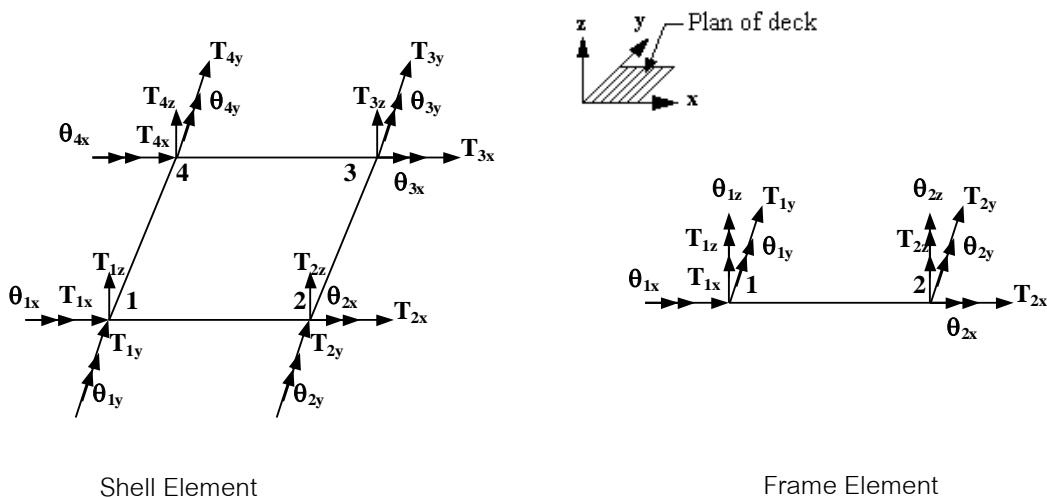
การวิเคราะห์ Finite Element ในโครงการนี้ใช้โปรแกรม FEA ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ Finite Element ได้ทั้งทางด้าน Statics และ Dynamics มี Element ให้เลือกใช้ได้หลายประเภท และได้รับความ

นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์โครงสร้างสะพานขนาดใหญ่โดยสามารถพิจารณาขั้นตอนการก่อสร้างในการสร้างแบบจำลองได้อีกด้วย

แบบจำลองโครงสร้างเบื้องต้นของสะพาน ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยโปรแกรม FEA จะประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ตามลำดับดังต่อไปนี้

13.1.1. การกำหนดชนิดของ Element ให้เหมาะสมกับสะพานที่ทำการวิเคราะห์

การเลือกใช้ชนิดของชิ้นส่วนนั้นอาจจะเลือกใช้ Element ในสองมิติ หรือสามมิติ และเลือกใช้ชนิดของชิ้นส่วนให้เหมาะสมกับลักษณะของโครงสร้างจริงที่จะทำการวิเคราะห์ โดยที่ชนิดของชิ้นส่วนจะต้องมีพฤติกรรมที่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด ตัวอย่างเช่น ใช้ Frame Element สำหรับ Girder ของสะพาน ใช้ Shell Element สำหรับพื้นสะพาน (Deck) และใช้ Frame Element สำหรับ Rigid Link / Bracing Beam ในการวิเคราะห์จะต้องคำนึงถึงการกระทำของน้ำหนักและการถ่ายเทของแรงตามความละเอียดของ Element ที่ผู้วิเคราะห์เลือก โดยต้องพิจารณาเป็นแต่ละกรณีไป ซึ่งกลุ่มบริษัทที่ปรึกษา คาดว่าชนิดของ Element ที่จะทำการเลือกใช้ คือ Frame Element และ Shell Element และได้กำหนดให้ x เป็นแกนในแนวตามขวางของสะพาน y เป็นแกนในแนวตามยาวของสะพานและ z เป็นแกนตามความสูงของสะพาน (ความสูงของเสาสะพาน)



รูปที่ 13-2 ตัวอย่างชนิดของ Element



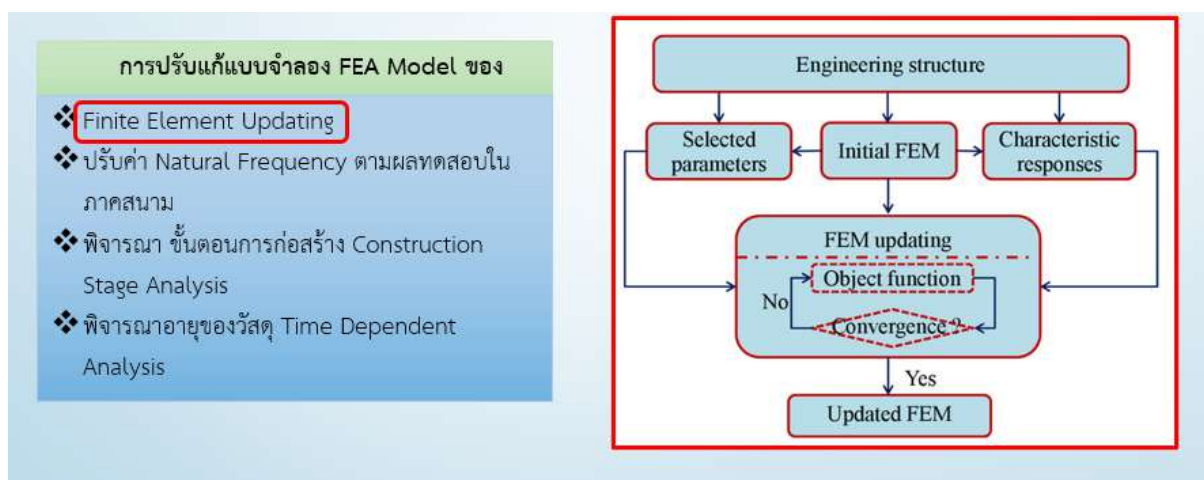
13.1.2. การแบ่งโครงสร้างสะพานเป็น Element ย่อย ๆ (Discretization)

การแบ่งส่วนประกอบของแบบจำลองโครงสร้างสะพานจริงออกให้เป็นชิ้นส่วนย่อย หลายๆ ชิ้นส่วน โดยแต่ละชิ้นส่วนจะต้องต่อเนื่องกับชิ้นส่วนข้างเคียงตรงโหนด (Node) หรือตามขอบของชิ้นส่วน (Element Edge) ซึ่งเรียกว่าจุดต่อเนื่อง และจะต้องคำนึงถึงรูปร่างลักษณะของโครงสร้างเดิมให้มากที่สุด กล่าวคือแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์จะต้องเหมือนหรือสอดคล้องกับโครงสร้างเดิมมากที่สุด ตัวอย่างเช่น ในการจำลองส่วนที่รองรับน้ำหนักบรรทุกโดยตรง เช่นแผ่นพื้นต้องจำลองโดยพิจารณาอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของชิ้นส่วนที่เหมาะสม และจำลองขนาดชิ้นส่วน (Meshing) ที่เล็กเพียงพอที่จะทำให้ผลการวิเคราะห์นั้นถูกต้องแม่นยำ แต่ถ้าแบบจำลองมีจำนวนชิ้นส่วนมากเกินไปก็จะมีค่าใช้จ่ายในการคำนวณสูง และอาจไม่สามารถทำงานได้ถ้าคอมพิวเตอร์มีข้อจำกัดในเรื่องหน่วยความจำ และการนำเสนอข้อมูล

13.1.3. การปรับแก้แบบจำลองของสะพาน

หลังจากการสร้างแบบจำลองของสะพานโดยวิธี FEA แล้ว เพื่อให้แบบจำลองมีความใกล้เคียงกับ สภาพของสะพานจริงในภาคสนาม ที่ปรึกษาได้ดำเนินการ ปรับแก้แบบจำลองของสะพาน ในส่วนของ Boundary Condition รวมทั้งค่าเชิงวิศวกรรมอื่น ๆ ที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ และนำผลการวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของสะพาน ในภาคสนาม เช่น ค่า Natural Frequency ของสะพาน ค่าการแอ่นตัวของสะพาน เป็นต้น

โดยขั้นตอนการปรับค่าแบบจำลอง มีชื่อเรียกว่า Finite Element Updating แสดงในตัวอย่างดังนี้



รูปที่ 13-3 ขั้นตอนการปรับค่าแบบจำลอง Finite Element Updating

หลังจากการปรับแก้แบบจำลองจนมีความใกล้เคียงกับผลทดสอบในภาคสนามแล้ว แบบจำลองที่ได้ปรับค่าแล้ว (Calibrated Model) จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมสะพาน เช่น แรงภายในต่าง ๆ และค่าความเค้นต่าง ๆ เพื่อใช้ในการออกแบบเสริมกำลังต่อไป

13.2 การตรวจสอบความสามารถการรับน้ำหนักของสะพาน

ในหัวข้อนี้ ที่ปรึกษาได้นำผลการวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน ที่ได้จากการปรับค่าแบบจำลอง มาตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน โดยการตรวจสอบจะอ้างอิงแนวทางของ AASHTO LRFD (2007) แสดงดังนี้

โครงสร้างสะพานในโครงการต้องสามารถรับแรงต่าง ๆ ที่มากระทำตามข้อกำหนดที่ระบุใน AASHTO LRFD Bridge Specifications โดยมีแรงกระทำต่าง ๆ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ประกอบด้วย น้ำหนักทั้งหมดของโครงสร้าง รวมถึงน้ำหนักผิวจราจร ทางเท้า ท่อ หรือท่อร้อยสาย และสาธารณูปโภคอื่น ๆ ที่เกาะติดกับโครงสร้างนั้น น้ำหนักต่อหน่วยกำหนดไว้ดังนี้

ตารางที่ 13-1 น้ำหนักบรรทุกคงที่

ชนิดน้ำหนัก	น้ำหนักต่อหน่วย (ตัน/ลบ.ม)
คอนกรีตเสริมเหล็ก	2.40
เหล็ก ยกเว้นเหล็กหล่อ	7.85
เหล็กหล่อ	7.20
ดิน ทราย และกรวด บดอัด	2.00
ดิน ทราย และกรวด หลวม	1.60

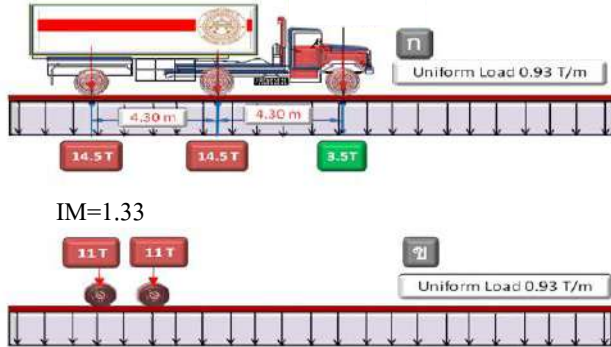
2) น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจรได้แก่ น้ำหนักของยานพาหนะที่สัญจรบนสะพานหรือทางลอด ประกอบไปด้วยรถบรรทุก รถโดยสาร รถยนต์ส่วนบุคคล น้ำหนักสมทบและน้ำหนักอื่น ๆ

- น้ำหนักสำหรับรถบรรทุกต่อช่องจราจรใช้น้ำหนัก HL-93 ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD แสดงในรูปที่ 13-4 ซึ่งเป็นการรวมน้ำหนักบรรทุกขนาด 325 kN และ Lane Load 9.3 kN/m เข้าด้วยกันนอกจากนั้นในกรณีช่วงสะพานสั้น ๆ จะต้องพิจารณาผลเนื่องจากน้ำหนัก Tandem ซึ่งประกอบด้วยเพลาคู่ขนาด 110 kN ระยะห่าง 1.2 เมตร น้ำหนักบรรทุกและน้ำหนัก Tandem มีระยะห่างของล้อในแนวขวางเท่ากับ 1.8 เมตร ส่วน Lane Load นั้นมีความกว้างเท่ากับ 3.0 เมตร

- น้ำหนักจรสำหรับออกแบบทางเดินเท้าบนสะพานหรือสะพานลอยคนเดินข้ามใช้น้ำหนัก 0.5 ตัน/ตร.ม. ตามกฎกระทรวงของประเทศไทย แทนน้ำหนัก 0.415 ตัน/ตร.ม. ซึ่งกำหนดโดยมาตรฐาน AASHTO LRFD
- น้ำหนักสมทบ (Surcharge Load) ที่กระทำต่อฐานรากเนื่องจากรถบรรทุกหรือรถไฟ จะต้องนำมาพิจารณาด้วย โดยแรงกระทำบนฐานรากเท่ากับ 1.0 และ 5.0 ตัน/ตร.ม. สำหรับรถบรรทุกและรถไฟตามลำดับ

1) ระดับน้ำหนักในแต่ละช่องจราจร

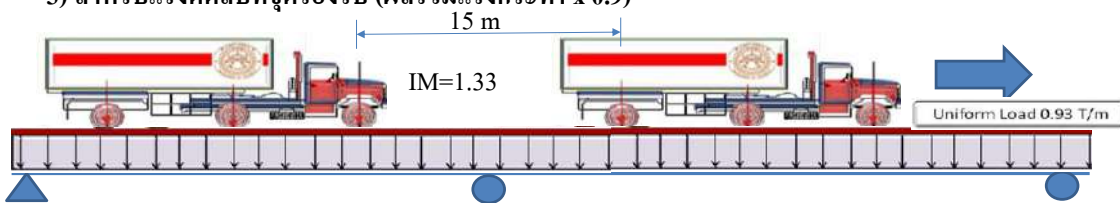


2) ความน่าจะเป็นที่จะมีรถบรรทุกวิ่งในแต่ละช่องจราจร (ตามแนวขวางของสะพาน)

Table 3.6.1.1.2-1 Multiple Presence Factors *m*.

Number of Loaded Lanes	Multiple Presence Factors <i>m</i>
1	1.20
2	1.00
3	0.85
>3	0.65

3) สำหรับแรงดัดลบทันทีที่จุดรองรับ (ผลรวมแรงกระทำ x 0.9)



รูปที่ 13-4 น้ำหนักบรรทุก HL-93 ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

3) การเพิ่มและลดน้ำหนักบรรทุกจร (Multiple Presence of Live Load)

จากการวิ่งของรถยนต์โอกาสที่รถยนต์จะเต็มทุกช่องจราจร และรับน้ำหนักบรรทุกเต็มที่พร้อม ๆ กันนั้นมีน้อยมาก จึงต้องมีค่าตัวลดน้ำหนักบรรทุกจร

ตารางที่ 13-2 การเพิ่มและลดน้ำหนักบรรทุกจร

จำนวนช่องจราจร	การเพิ่มลดค่าน้ำหนักบรรทุกจร (ร้อยละ)
หนึ่งช่องจราจร	120
สองช่องจราจร	100
สามช่องจราจร	85
มากกว่าสามช่องจราจร	65

4) แรงกระแทก (Dynamic Load Allowance)

แรงเค้นอันเกิดจากน้ำหนักบรรทุกจรคิดเฉพาะผลของรถบรรทุก Truck Load และ Fatigue Truck ไม่รวม Lane Load และน้ำหนักจรจากคนเดิน จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการกระแทก การสั่นสะเทือน และการเคลื่อนที่ตามโครงสร้าง สามารถคำนวณได้จาก $1 + IM/100$ สำหรับโครงสร้างเหนือพื้นดิน

ตารางที่ 13-3 แรงกระแทก

Components	Impact Factor (IM)
Deck Joint (All Limit State)	75 %
All Other Component	
Fatigue	15 %
All Other Cases	33 %

โครงสร้างฐานรากที่อยู่ใต้ดินและกำแพงกันดินที่ไม่ได้รับน้ำหนัก โดยตรงจากพื้นสะพาน ไม่ต้องคิดเนื่องจากแรงกระแทก สำหรับส่วนของโครงสร้างใต้ดิน เช่น Box Culvert ตาม AASHTO LRFD นั้น จะต้องคิดแรงกระแทกเช่นเดียวกันโดยมีปัจจัยสำคัญในการใช้คำนวณได้แก่ความลึกส่วนโครงสร้าง ดังกล่าวสามารถคำนวณได้จาก

$$IM = 33 (1.0 - 4.1 \times 10^{-4} D_E) \geq 0\%$$

โดย D_E คือ ความสูงของดินถมที่อยู่เหนือโครงสร้างเป็นมิลลิเมตร

ตัวคูณเพิ่มค่าและการรวมแรงกลุ่มต่าง ๆ (Load Factor & Load Combination)

สำหรับตัวคูณเพิ่มค่าและการรวมแรงกลุ่มต่าง ๆ ที่ปรึกษาจะใช้วิธีคำนวณตามมาตรฐานของ AASHTO LRFD Bridge Design Specifications มีกลุ่มแรงหลักๆ ตามนี้

- **Strength Limit State I – V**

เป็นกลุ่มแรงที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง เนื่องจากแรงกระทำที่มีจากการคำนวณทางสถิติ ที่อาจเกิดขึ้นภายในอายุใช้งานของโครงสร้าง

- **Extreme Event I – II**

เป็นกลุ่มแรงที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง เนื่องจากแรงกระทำสุดขีด (Extreme Load) เช่น แรงเนื่องจากแผ่นดินไหว หรือแรงกระแทกเนื่องมาจากการชนของเรือ แรงกระทำเหล่านี้อาจมีคาบการเกิดยาวนานกว่าอายุการใช้งานของโครงสร้างอย่างมาก

- **Service Limit State I – IV**

เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างภายใต้กลุ่มแรงกระทำที่เกิดมาจากการใช้งานปกติประจำวัน การวิเคราะห์โครงสร้างภายใต้กลุ่มแรงชนิดนี้จะเน้นที่ Stress, Deformation และ Crack Width

- **Fatigue Limit State**

เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อตรวจสอบช่วงของความเครียด (Stress Range) เนื่องมาจาก
รถบรรทุกหนึ่งคันวิ่งอยู่บนโครงสร้าง โดยมีจำนวนรอบของการวิ่งตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน

วิธีการออกแบบโครงสร้างสะพาน

1) การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

ใช้วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load Resistance Factor Design, LRFD) โดย
ส่วนประกอบของโครงสร้างออกแบบโดยตรวจสอบการรับกำลังใช้ Strength Limit State และตรวจสอบ
ควบคุมรอยร้าวใช้ Service Limit State ทั้งนี้ โดยให้สอดคล้องกับข้อกำหนดที่ระบุในมาตรฐาน
AASHTO LRFD ซึ่งนอกเหนือจากตัวคูณความต้านทาน (ϕ , Resistance Factor) และตัวคูณน้ำหนัก
บรรทุก (Load Factor) แล้ว จะต้องคำนึงถึงตัวคูณปรับค่าน้ำหนักบรรทุก (Load Modifier) ได้แก่
Ductility Factor, Redundancy Factor, และ Operational Factor โดยโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น
จะต้องพิจารณาเพิ่มเติมในส่วนของ Fatigue Limit State

2) การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง

ใช้วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load Resistance Factor Design, LRFD) ด้วย
เช่นกัน โดยส่วนประกอบของโครงสร้างออกแบบ ตรวจสอบการรับกำลังใช้ Strength Limit State และ
พิจารณาพฤติกรรมหน่วยแรงที่ยอมรับได้ของโครงสร้างในสภาวะการใช้งาน Service Limit State ทุก
ขั้นตอนของน้ำหนักวิกฤตตลอดอายุโครงสร้าง ตั้งแต่เริ่มการอัดแรง โดยให้สอดคล้องกับข้อกำหนดที่
ระบุในมาตรฐาน AASHTO LRFD ซึ่งนอกเหนือจากตัวคูณความต้านทาน (ϕ , Resistance Factor)
จะต้องคำนึงถึง ตัวคูณปรับค่าน้ำหนักบรรทุก (Load Modifier) ได้แก่ Ductility Factor, Redundancy
Factor, และ Operational Factor โดยโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงนั้นจะต้องพิจารณาเพิ่มเติมในส่วนของ
Fatigue Limit State ด้วย

3) ค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุก

ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor) ขึ้นอยู่กับความไม่แน่นอนของน้ำหนักบรรทุกแต่ละชนิด
ความแม่นยำในการกำหนดค่าน้ำหนักบรรทุก เป็นต้น ค่าของตัวคูณน้ำหนักบรรทุกจะมีค่ามากกว่าหรือ
เท่ากับ 1.0 ค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุก γ ตามที่กำหนดในมาตรฐาน AASHTO LRFD เป็นดังแสดงใน
ตารางที่ 13-4 และตารางที่ 13-5

ตารางที่ 13-4 ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกและการรวมแรงมาตรฐาน AASHTO LRFD

Load Combination Limit State	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	Use One of These at a Time			
										EQ	IC	CT	CV
Strength I (unless noted)	γ_p	1.75	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—
Strength II	γ_D	1.35	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—
Strength III	γ_D	—	1.00	1.40	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—
Strength IV	γ_D	—	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	—	—	—	—	—	—
Strength V	γ_D	1.35	1.00	0.40	1.0	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—
Extreme Event I	γ_p	γ_{EQ}	1.00	—	—	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
Extreme Event II	γ_p	0.50	1.00	—	—	1.00	—	—	—	—	1.00	1.00	1.00
Service I	1.00	1.00	1.00	0.30	1.0	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—
Service II	1.00	1.30	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	—	—	—	—	—	—
Service III	1.00	0.80	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—
Service IV	1.00	—	1.00	0.70	—	1.00	1.00/1.20	—	1.0	—	—	—	—
Fatigue I—LL, IM & CE only	—	1.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fatigue I II—LL, IM & CE only	—	0.75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

ตารางที่ 13-5 ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกทุกสำหรับน้ำหนักบรรทุกคงที่มาตรฐาน AASHTO LRFD

Type of Load, Foundation Type, and Method Used to Calculate Downdrag	Load Factor		
	Maximum	Minimum	
DC: Component and Attachments	1.25	0.90	
DC: Strength IV only	1.50	0.90	
DD: Downdrag	Piles, α Tomlinson Method	1.4	0.25
	Piles, λ Method	1.05	0.30
	Drilled shafts, O'Neill and Reese (1999) Method	1.25	0.35
DW: Wearing Surfaces and Utilities	1.50	0.65	
EH: Horizontal Earth Pressure	• Active	1.50	0.90
	• At-Rest	1.35	0.90
	• AEP for anchored walls	1.35	N/A
EL: Locked-in Erection Stresses	1.00	1.00	
EV: Vertical Earth Pressure	• Overall Stability	1.00	N/A
	• Retaining Walls and Abutments	1.35	1.00
	• Rigid Buried Structure	1.30	0.90
	• Rigid Frames	1.35	0.90
	• Flexible Buried Structures other than Metal Box Culverts	1.95	0.90
	• Flexible Metal Box Culverts	1.50	0.90
ES: Earth Surcharge	1.50	0.75	

4) ตัวคูณความต้านทาน (ϕ , Resistance Factor)

ค่าตัวคูณความต้านทาน ตามที่กำหนดในมาตรฐาน AASHTO LRFD เป็นดังนี้

หน้าตัดรับแรงดึง (Tension-Controlled Section) ของคานกรีตเสริมเหล็ก	=	0.90
หน้าตัดรับแรงดึง (Tension-Controlled Section) ของคานกรีตอัดแรง	=	1.00
หน้าตัดรับแรงอัด (Compression-Controlled Section)	=	0.75
แรงเฉือนและแรงบิด (Shear and Torsion)	=	0.90
แรงกดบนคานกรีต (Bearing)	=	0.70
แรงอัดใน strut-and-tie models	=	0.70
แรงอัดในพื้นที่สมอยึด (anchorage zones)	=	0.80
แรงดึงในเหล็กในพื้นที่สมอยึด	=	1.00
แรงต้านทานขณะตอกเสาเข็ม	=	1.00

จากการเปรียบเทียบค่าแรงภายในที่คูณเพิ่มค่าตาม AASHTO LRFD โดยใช้ Strength Limit State I และเปรียบเทียบกับกำลังของหน้าตัดรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด รวมทั้งพิจารณาการเสื่อมสภาพของสะพานตาม Condition Rating ที่ตรวจสอบได้จากภาคสนาม

13.3 การประเมินราคาต้นทุนการเสริมกำลังของสะพาน

ในการดำเนินการคิดราคาต้นทุนการเสริมกำลังของสะพาน ที่ปรึกษาได้พิจารณางานต้นทุนประกอบด้วยกิจกรรมต่าง ๆ ดังนี้

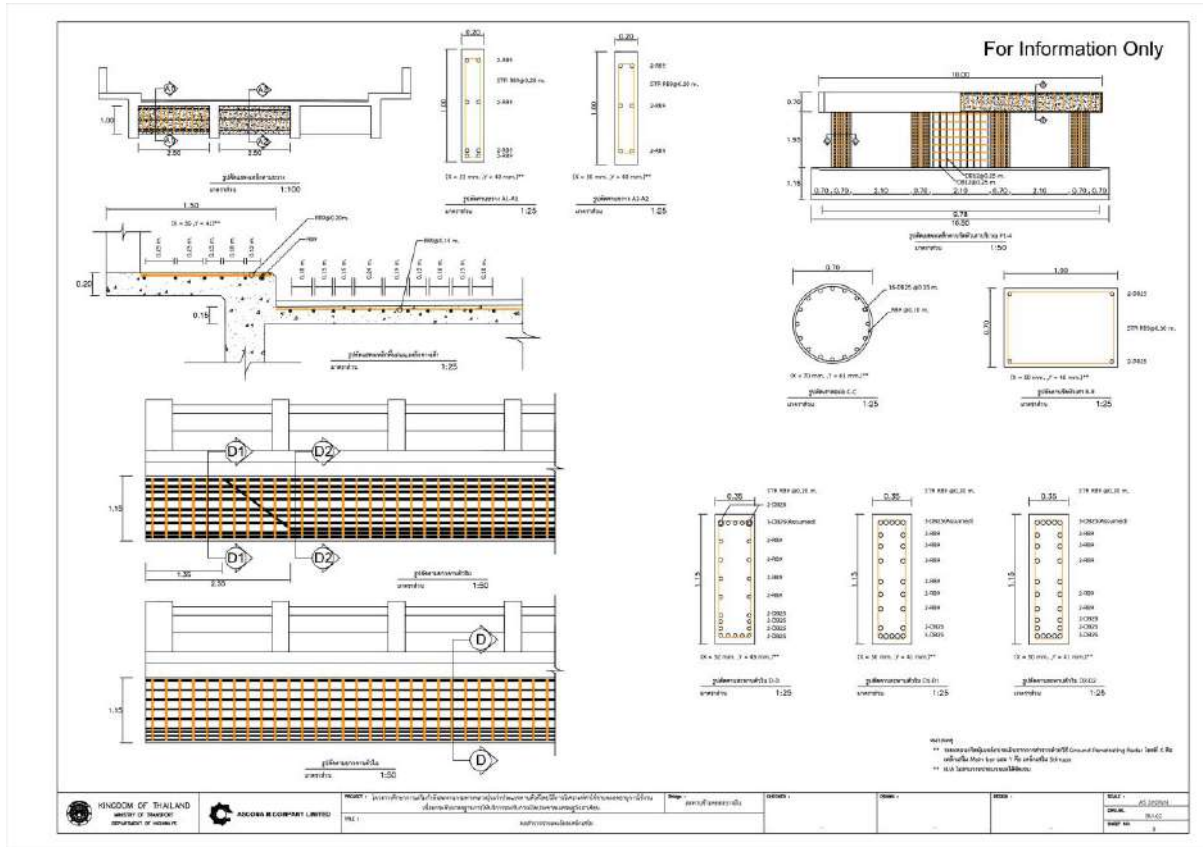
- 1) หมวดที่ 1 ค่าเตรียมพื้นที่ ในการดำเนินการบูรณะ เช่น งานนั่งร้าน และ งาน Clearing พื้นที่ใต้สะพาน
- 2) หมวดที่ 2 ค่าดำเนินการเสริมความหนาพื้นสะพาน
- 3) หมวดที่ 3 ค่าดำเนินการเสริมท้องของสะพาน
- 4) หมวดที่ 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน
- 5) หมวดที่ 5 ค่าลวดอัดแรง
- 6) หมวดที่ 6 ค่า CFRP
- 7) หมวดที่ 7 ค่าซ่อมประสานรอยร้าวด้วย Epoxy Injection

โดยในการพิจารณาราคาต้นทุนจะอ้างอิงจาก คู่มือการคิดประมาณราคาก่อสร้าง สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง

โดยการดำเนินการคิดราคาต้นทุนในโครงการนี้ ใช้เพื่อประมาณการต้นทุนของกิจกรรมเสริมกำลังหลักๆ ที่เป็นหัวข้อของโครงการวิจัยเท่านั้น โดยยังไม่ได้พิจารณางานบูรณะอื่น ๆ เช่น การเปลี่ยน Expansion Joint การเปลี่ยน Bearing การ Overlay ผิวสะพาน งานอำนวยความสะดวกปลอดภัยระหว่างการก่อสร้าง รวมถึงงานอุปกรณ์สะพานและงานทางอื่น ๆ

13.4 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานคลองบางมัน

สะพานข้ามคลองบางมันตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 17 กระบี่ แขวงทางหลวงระนอง จังหวัดระนองหมายเลขทางหลวง 4 กม.กลางสะพาน 670+520 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2503 มีปริมาณรถบรรทุกหนัก 436 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง TG(3x15) ความกว้างผิวทาง 8 เมตร



รูปที่ 13-5 แบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม

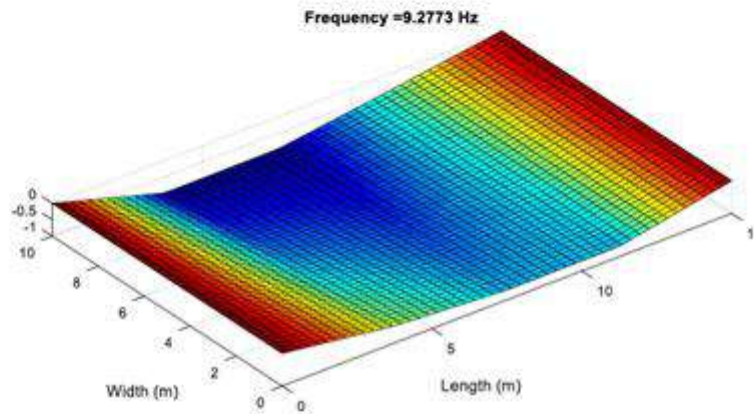
13.4.1. การตรวจสอบความสามารถการรับน้ำหนักของสะพาน

ตัวอย่างของแบบจำลองที่ปรับค่าและเปรียบเทียบกับ Natural Frequency ของสะพานที่ได้รับการทดสอบในภาคสนามแสดงดังนี้

ตารางที่ 4.5-5 ผลการวิเคราะห์ Natural Frequency, Mode Shape และ Damping Ratio

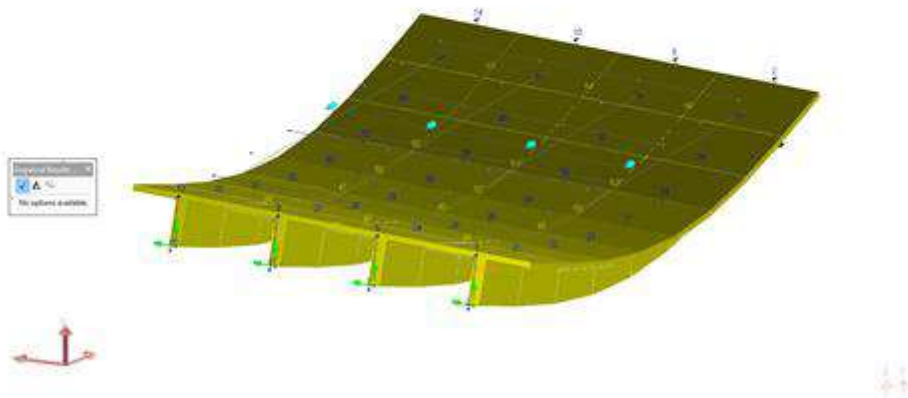
Test	Freq.	Mode Shape	Damping Ratio					
			AC 01	AC 02	AC 03	AC 04	AC 05	AC 06
Dynamic 1	9.229	1st Bending	1.303	1.256	1.44	1.23	1.257	1.471
Dynamic 2	9.277	1st Bending	2.903	2.449	1.894	2.585	2.448	1.853
Dynamic 3	9.473	1st Bending	1.799	4.694	1.89	3.325	4.195	1.898

Dynamic 2 : 30 km/hr



Fn(FEA) 9.2 Hz Test/FEA= 1.014 OK

Scale: 1:200
 Model: Bridge - 0711172 - 13.001
 Scale Factor: 1



รูปที่ 13-6 แบบจำลองที่ได้ปรับค่ากับการทดสอบภาคสนามโดย Finite Element Updating

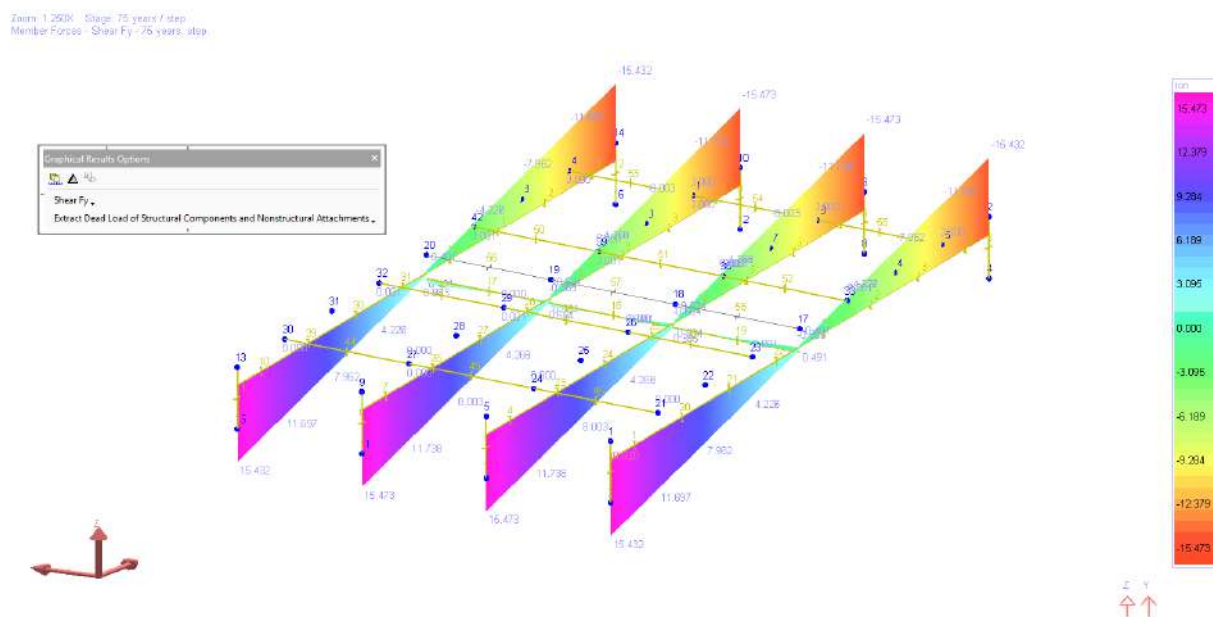


13.4.1.1. การวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน

ในหัวข้อนี้ แบบจำลองที่ได้ทำการปรับค่าแล้วจากวิธี Finite Element Updating จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาแรงภายในต่าง ๆ เพื่อใช้ประกอบการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานภายใต้น้ำหนักบรรทุกจร (HL-93) และใช้ในการประกอบการออกแบบเสริมกำลังต่อไป

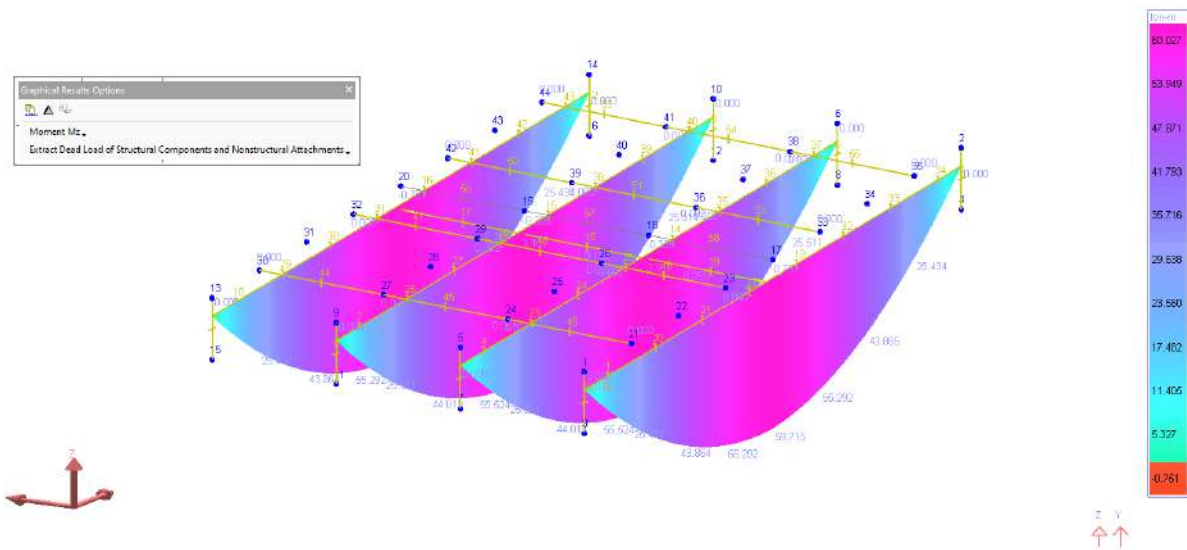
ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน ที่ปรึกษาจะวิเคราะห์โดยใช้วิธี Construction Stage Analysis เพื่อให้สามารถพิจารณาผลของขั้นตอนการก่อสร้าง และคุณสมบัติวัสดุของสะพานเทียบกับเวลาได้

ตัวอย่างของผลการวิเคราะห์สะพาน แสดงดังนี้



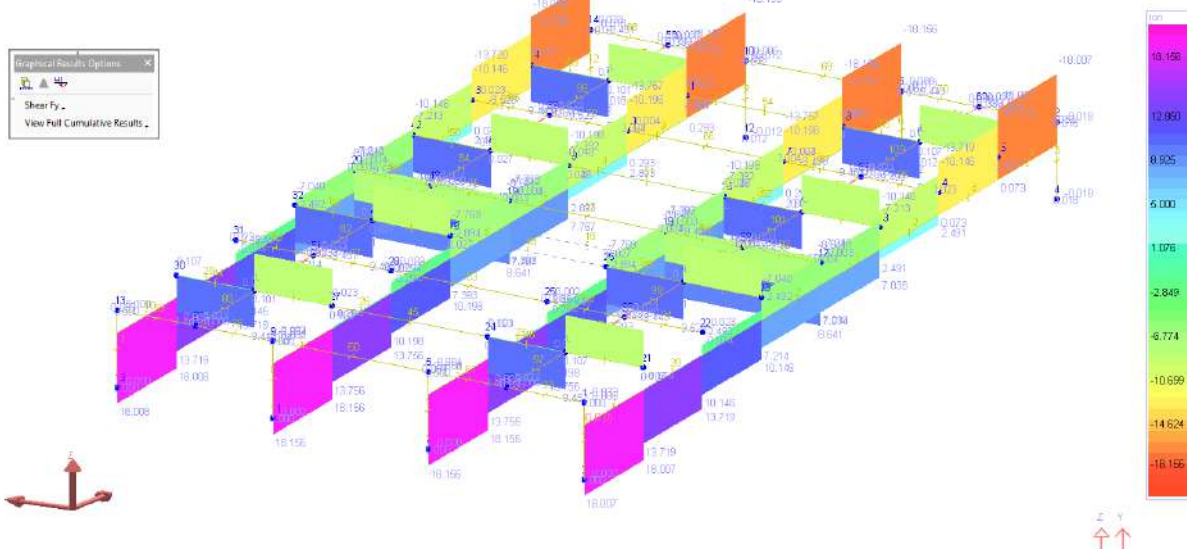
รูปที่ 13-7 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก DL

Zoom: 1.250X - Stage: 75 years / step
 Member Forces - Moment Mz - 75 years / step



รูปที่ 13-8 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดของสะพาน เนื่องจาก DL

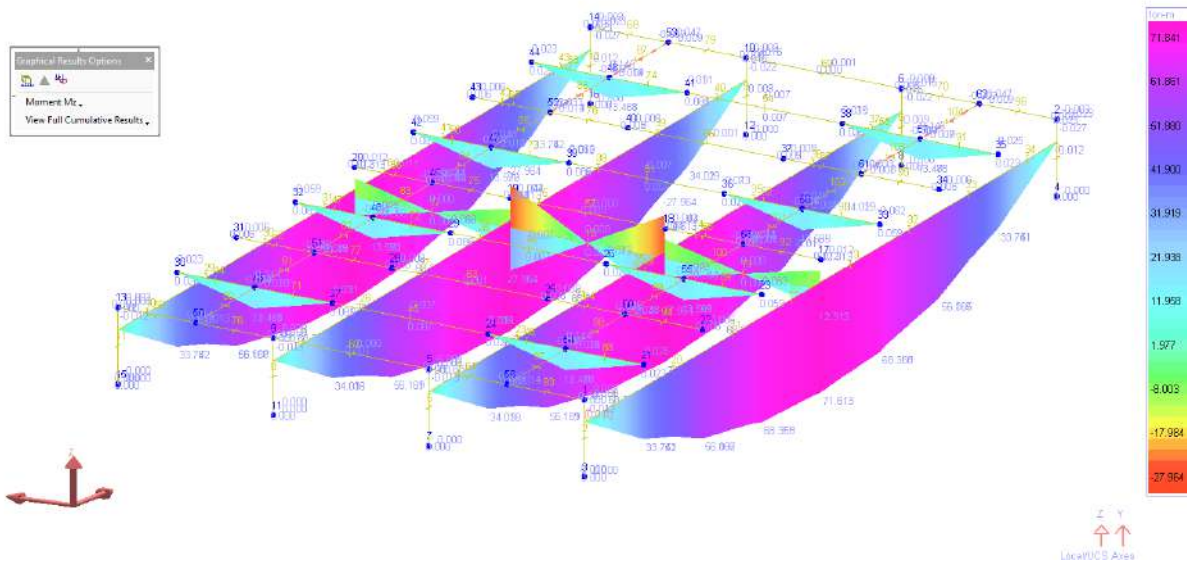
Zoom: 1.500X
 Member Forces - Shear Fy - HL93 (14M) MUL



รูปที่ 13-9 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)



Zoom: 1.5836
Member Forces - Moment Mz - HL93 (1+IM) M.U.



รูปที่ 13-10 - ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังของสะพานตามสภาพเดิมในปัจจุบันไม่สามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจาก HL-93 ได้ ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD และควรดำเนินการเสริมกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 13-11 ถึงรูปที่ 13-14

Case 1: Existing Condition of Bridge

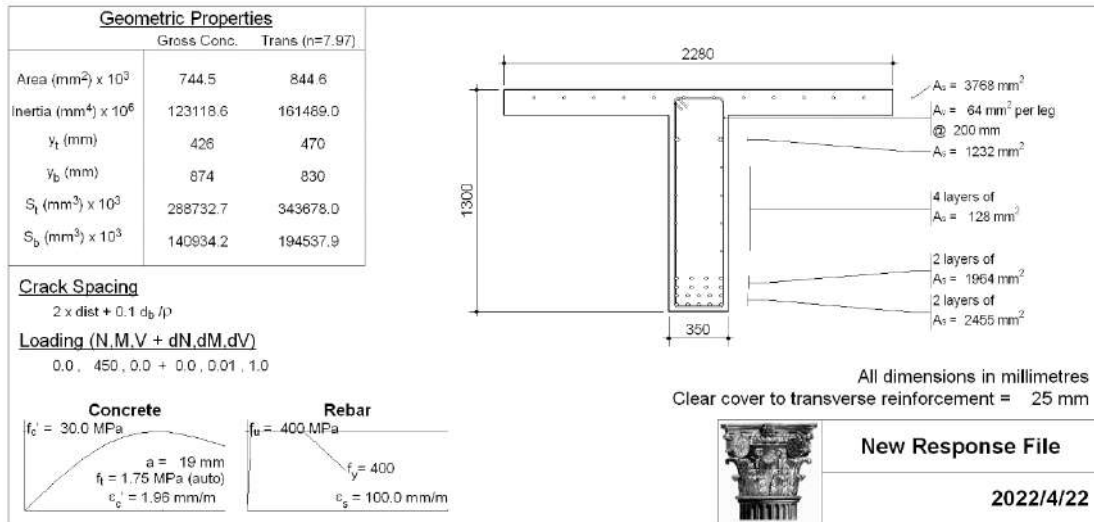
	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		16				60
SDL		8				29
LL+IM		18.5				72
FS		0				0
STR1	0	64.375	0	0	0	244.5

- 0.85*Shear Capacity = 74.8 T (New Condition)
- 0.9*Moment Capacity = 390.6 T-m (New Condition)
- 0.85*Shear Capacity = 59.84 T (Current Condition) Required Strengthening
- 0.9*Moment Capacity = 312.48 T-m (Current Condition) Required Strengthening

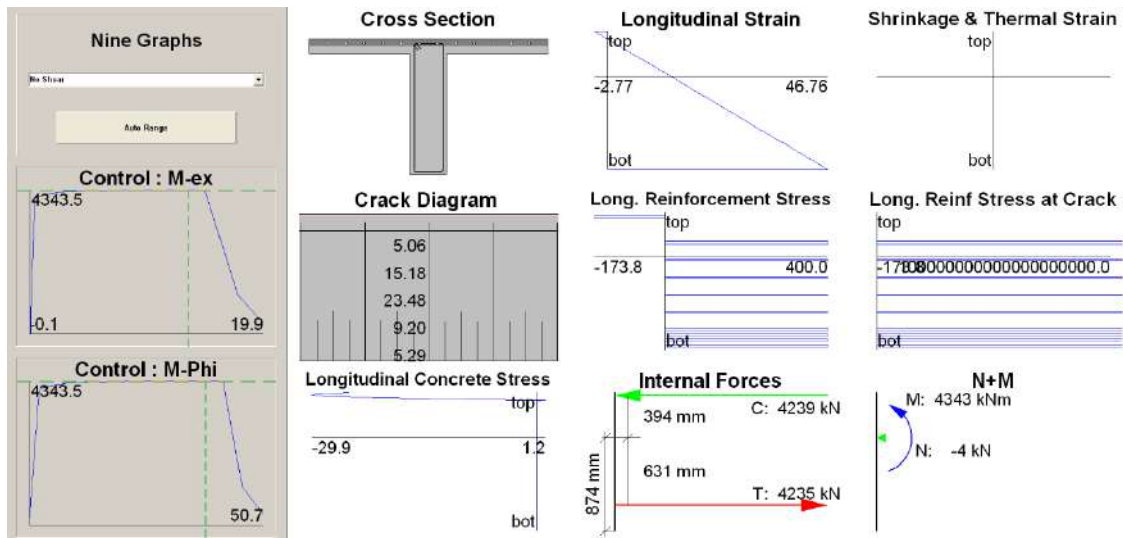
ตารางที่ 4-2 การประเมินระดับความเสียหายหรือสภาพการใช้งานโดยรวม

บริเวณ- ชิ้นส่วน	ประเภท ชิ้นส่วน	สภาพการใช้งาน (Condition Rating, CR)	ระดับความเสียหาย (Damage Rating) (DR = 5 - CR)	ระดับความสำคัญหรือชิ้นส่วน (W)	w*DR
S1-TG1	Gider	2	3	1	3
S1-TG2	Gider	2	3	1	3
S1-TG3	Gider	2	3	1	3
S1-TG4	Gider	2	3	1	3
S2-TG3	Gider	2	3	1	3
Weighted Critical Damage Rating (WCDR)					3
Weighted Critical Condition Rating (CCDR = 5 - WCDR)					2

รูปที่ 13-11 - การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานเดิม

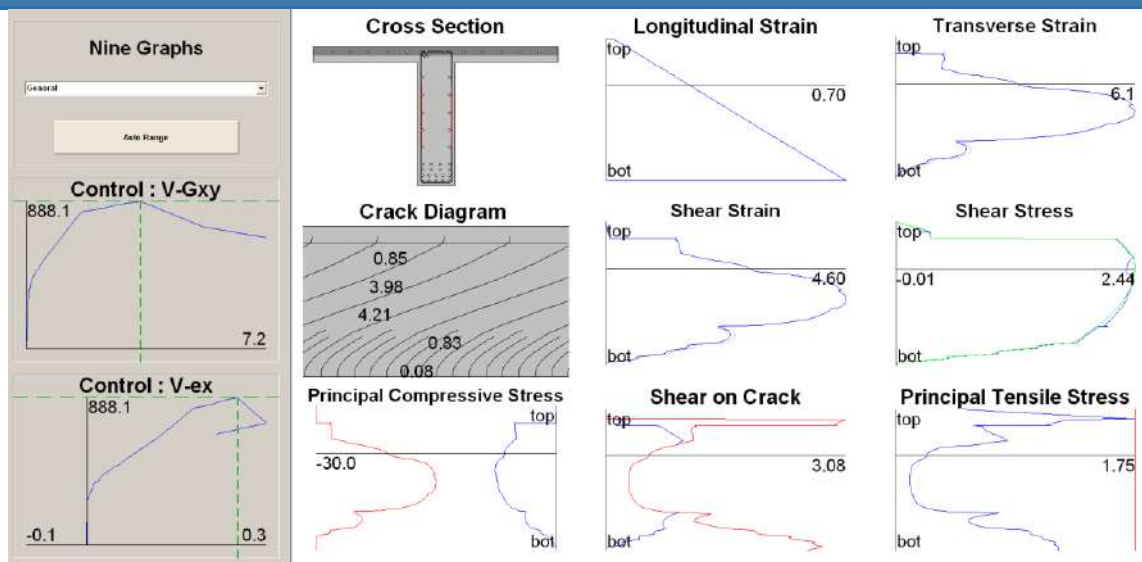


รูปที่ 13-12 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเดิม



รูปที่ 13-13 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ดัดของสะพานเดิม





รูปที่ 13-14 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเดิม

13.4.2. รูปแบบการเสริมกำลัง

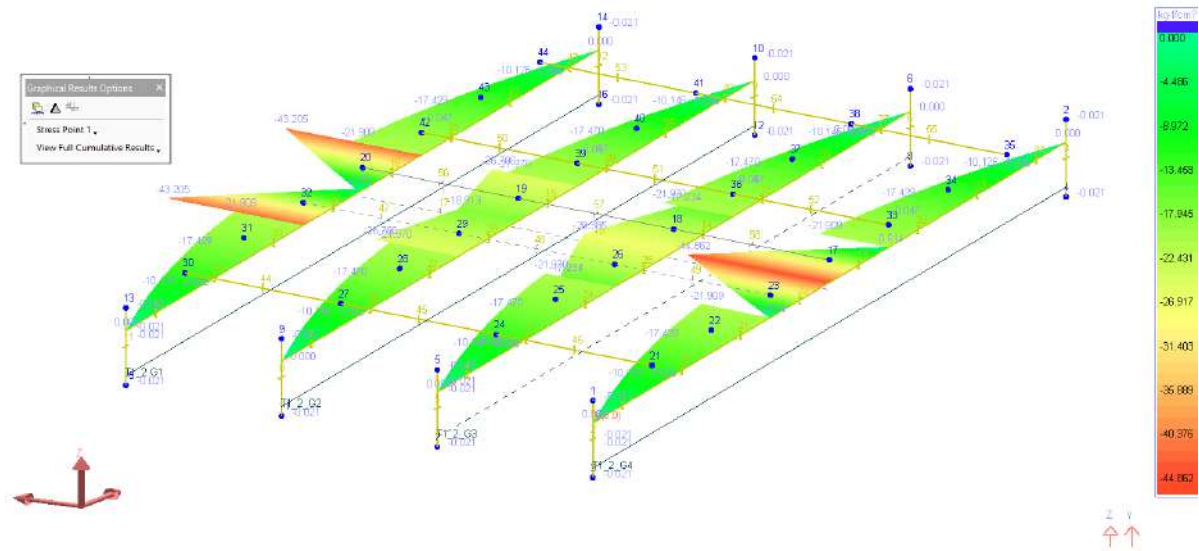
13.4.2.1. การออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีลวดอัดแรง (Prestressing System)

ในหัวข้อนี้ ที่ปรึกษาจะนำแนวทางการเสริมกำลังสะพานโดยวิธีลวดอัดแรง (Prestressing System) มาใช้ในการออกแบบเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักของบรรทุกจร (HL-93) ได้ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

โดยในการออกแบบ ที่ปรึกษาจะพิจารณาในช่วง Service Stage และช่วง Ultimate Stage โดยในช่วง Service Stage จะทำการวิเคราะห์ผลของขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานจนถึงสภาพของสะพานในปัจจุบัน แล้วจึงทำการเสริมส่วนของลวดอัดแรงและพอกคอนกรีตปิด แล้วจึงวิเคราะห์สะพานที่เสริมกำลังแล้วภายใต้ผลของน้ำหนักบรรทุกจร ดังแสดงดังนี้

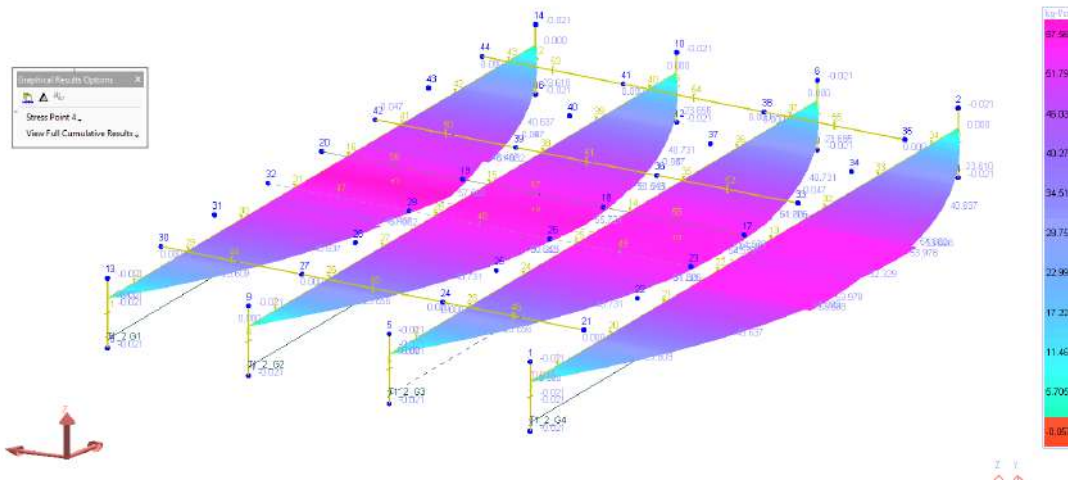
ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานก่อนการเสริมกำลังเนื่องจาก DL+SDL+TIME EFFECT

Zoom: 1.663K Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 1 - 75 years / step



รูปที่ 13-15 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

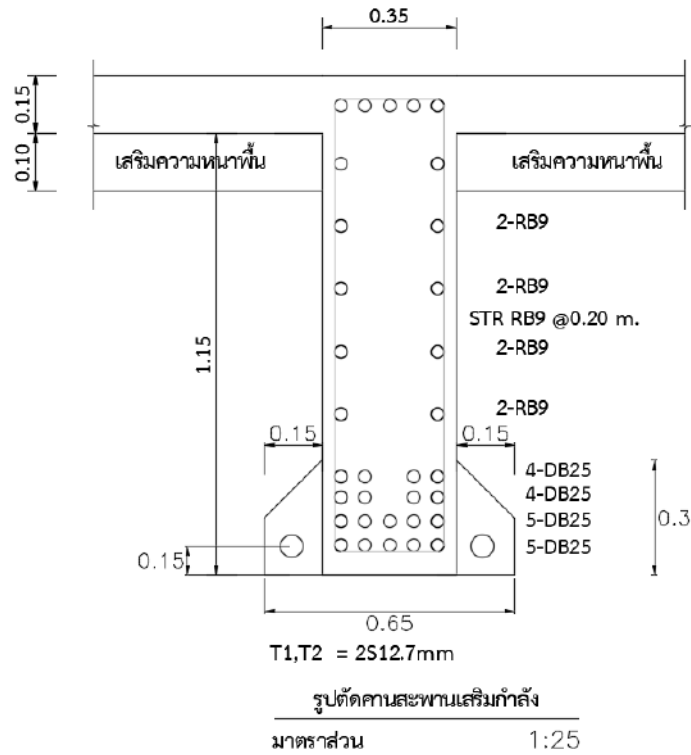
Zoom: 1.963K Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 4 - 75 years / step



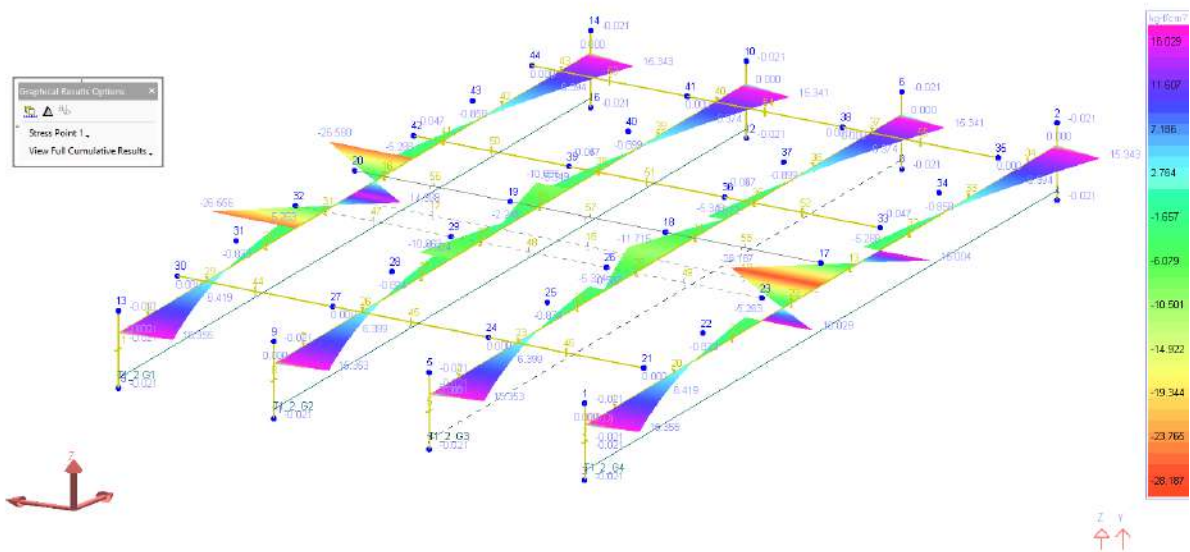
รูปที่ 13-16 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานภายหลังการเสริมกำลังโดยใช้ลวดอัดแรงขนาด T1=2-S12.7mm Grade 1860 Mpa และ T2=7-S12.7mm Grade 1860 Mpa



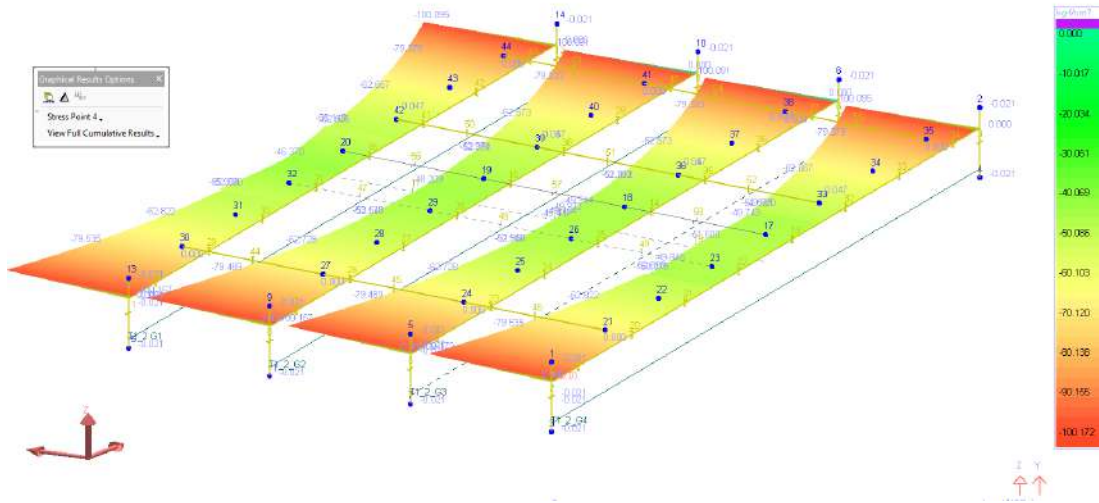


Zaini: 1.5638 - Stage: Strengthening / Step 1
 Member: Girassa - Stress Point 1 - Strengthening - Step 1 - PT Activity



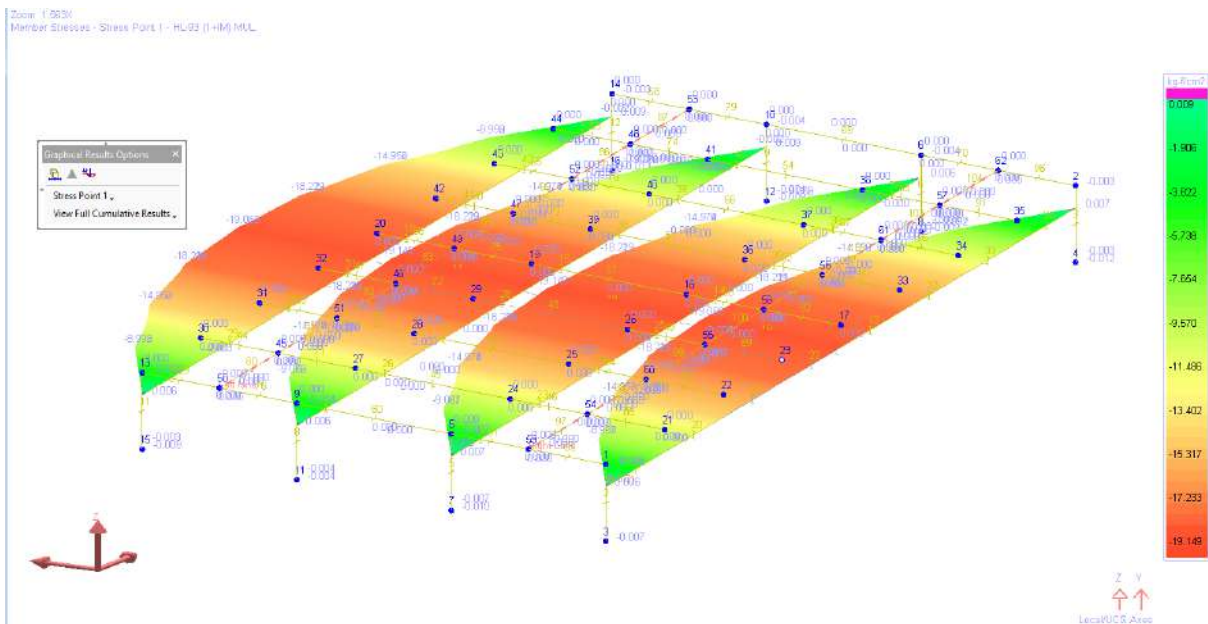
รูปที่ 13-17 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลัง: DL+SDL+TIME+PS

Zoom: 1.6256 - Stage: Strengthening / Step 1
 Member Stresses - Stress Point 4 - Strengthening / Step 1: FT Active



รูปที่ 13-18 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลัง:
 DL+SDL+TIME+PS

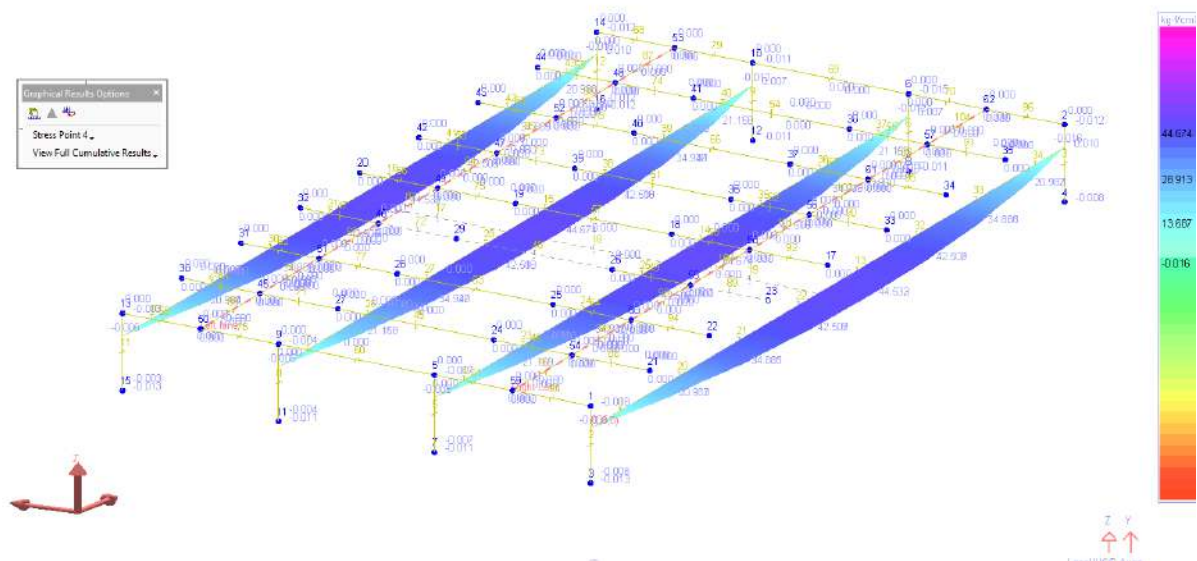
โดยเมื่อดำเนินการนำผลของค่าความเค้นของสะพานภายหลังการเสริมกำลัง มาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นของสะพานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร (HL-93) พบว่า สามารถรองรับความเค้นที่เกิดขึ้นได้ตามมาตรฐาน ดังแสดงดังนี้



รูปที่ 13-19 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลัง เนื่องจาก HL-93
 เท่านั้น



Zoom: 1.563x
 Member Stresses - Stress Point 4 - HL-93 (1+04) Mill



รูปที่ 13-20 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลังเนื่องจาก HL-93
 เท่านั้น

จากนั้น ที่ปรึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของสะพานที่ Strength Limit State เพื่อยืนยัน
 ความสามารถในการรับน้ำหนักภายหลังการเสริมกำลังด้วย Prestressing System แสดงดังนี้

Case 2: Strengthening by PS

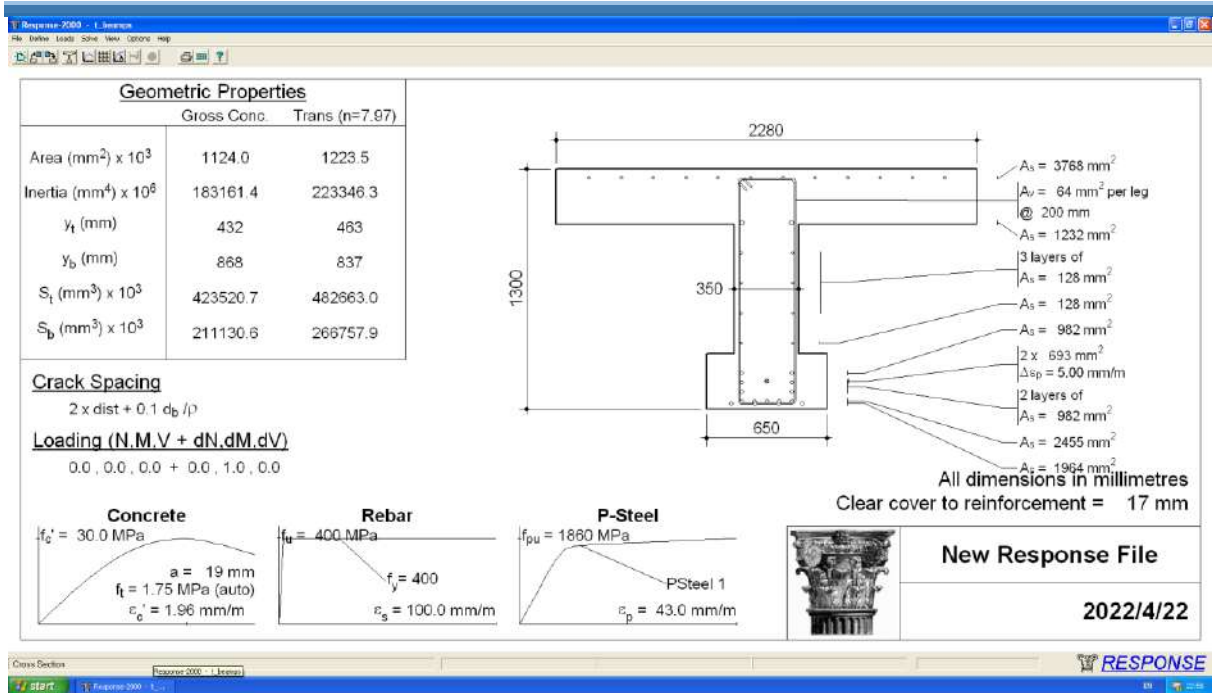
(Adopt PS to increase shear capacity)

	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		21.58				80.925
SDL		8				29
LL+IM		18.5				72
PS		0				0
STR1	0	71.35	0	0	0	270.6563

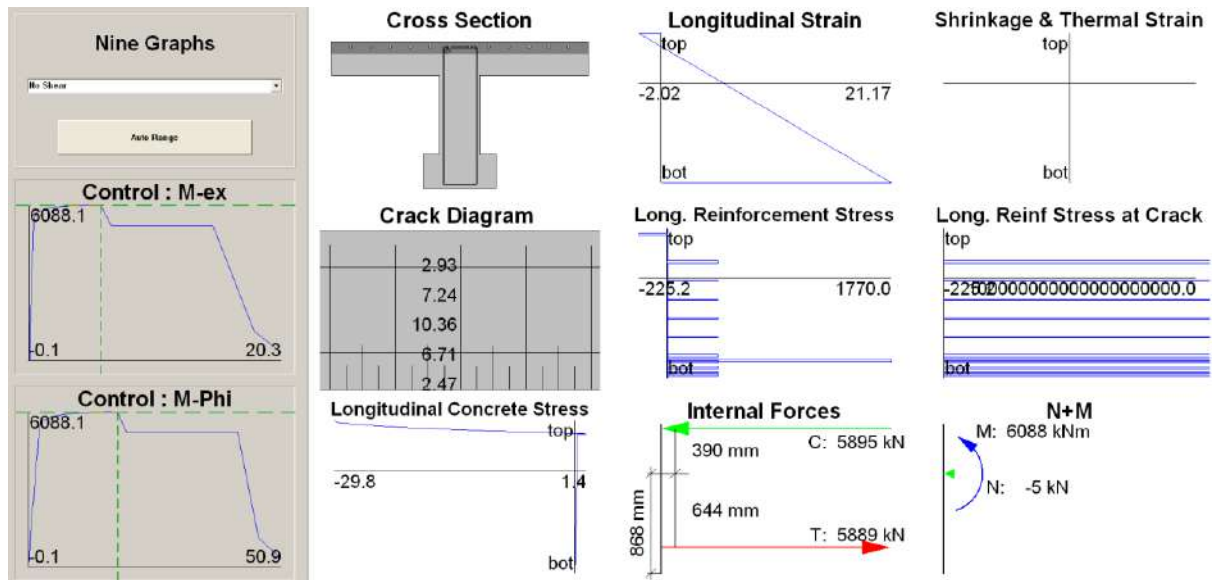
0.85*Shear Capacity = 81.6 T (Strengthening) CK
 0.9*Moment Capacity = 540 T-m (Strengthening) CK

M5 181.925 T-m
 Mtr = 127 T-m
 slightly cracking but less than 0.20mm

รูปที่ 13-21 ผลการเปรียบเทียบความสะพานในการรับน้ำหนักของสะพานเสริมกำลังโดย
 Prestressing System

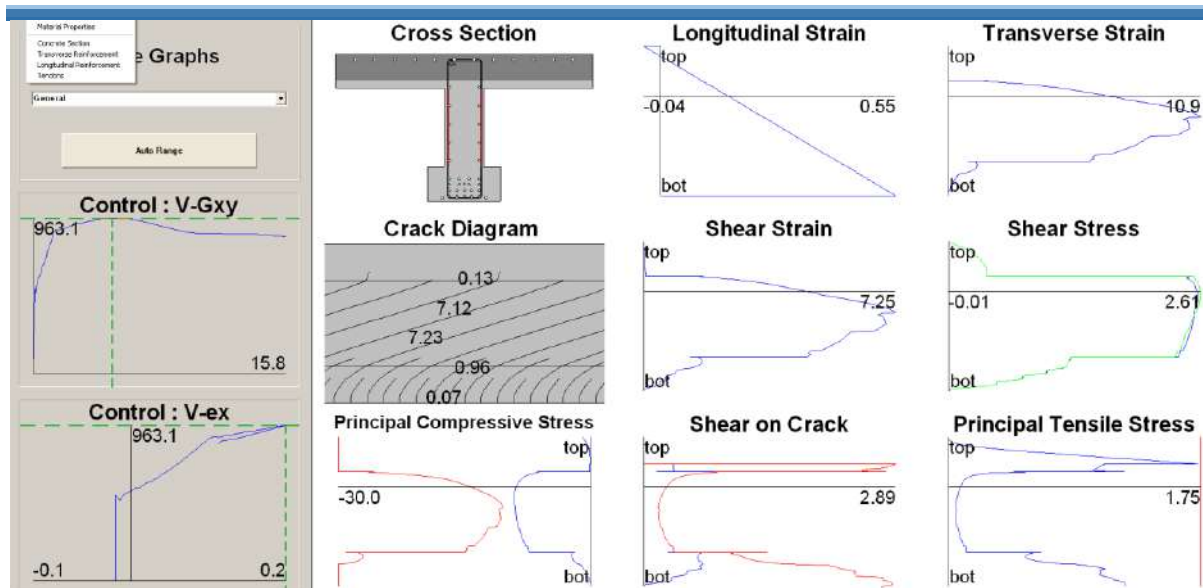


รูปที่ 13-22 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเสริมกำลังด้วย Prestressing System



รูปที่ 13-23 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ดัดของสะพานเสริมกำลังด้วย Prestressing System





รูปที่ 13-24 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเสริมกำลังด้วย Prestressing System

โดยรายละเอียดการออกแบบแสดงในแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่แนบมากับรายงานฉบับนี้

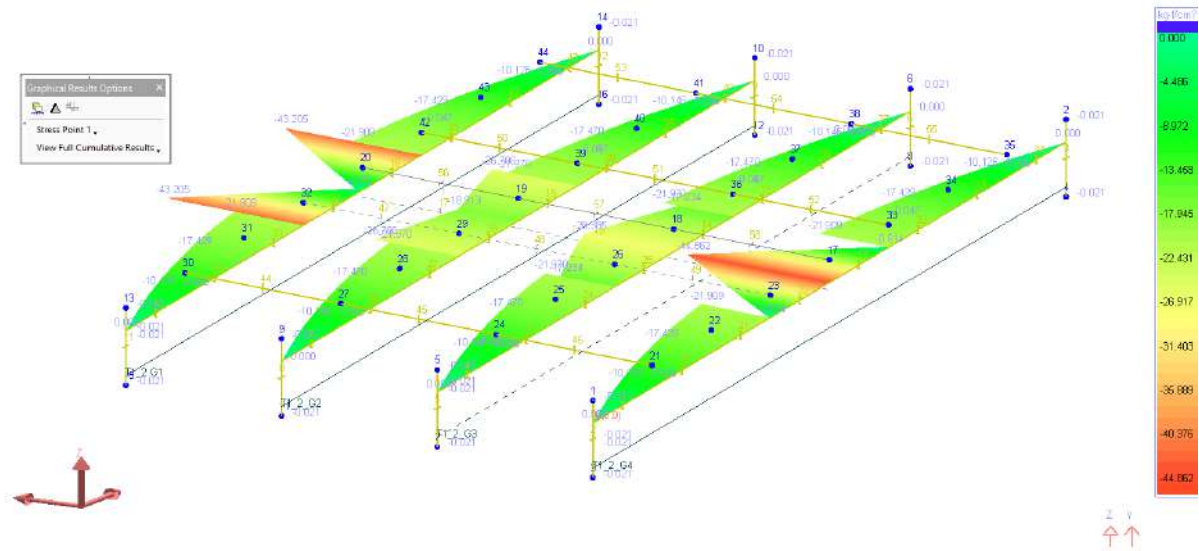
13.4.2.2. การออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีหุ้มคอนกรีต (RC Jacketing)

ในการออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีหุ้มคอนกรีต (Concrete Jacketing) ที่ปรึกษาได้
 ดำเนินการออกแบบเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักของบรรทุกจร (HL-93) ได้ตาม
 มาตรฐาน AASHTO LRFD

โดยในการออกแบบ ที่ปรึกษาจะพิจารณาในช่วง Service Stage และช่วง Ultimate Stage โดย
 ในช่วง Service Stage จะทำการวิเคราะห์ผลของขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานจนถึงสภาพของสะพาน
 ในปัจจุบัน แล้วจึงทำการ เสริมเหล็กและพอกคอนกรีตปิด แล้วจึงวิเคราะห์สะพานที่เสริมกำลังแล้ว
 ภายใต้ผลของน้ำหนักบรรทุกจร ดังแสดงดังนี้

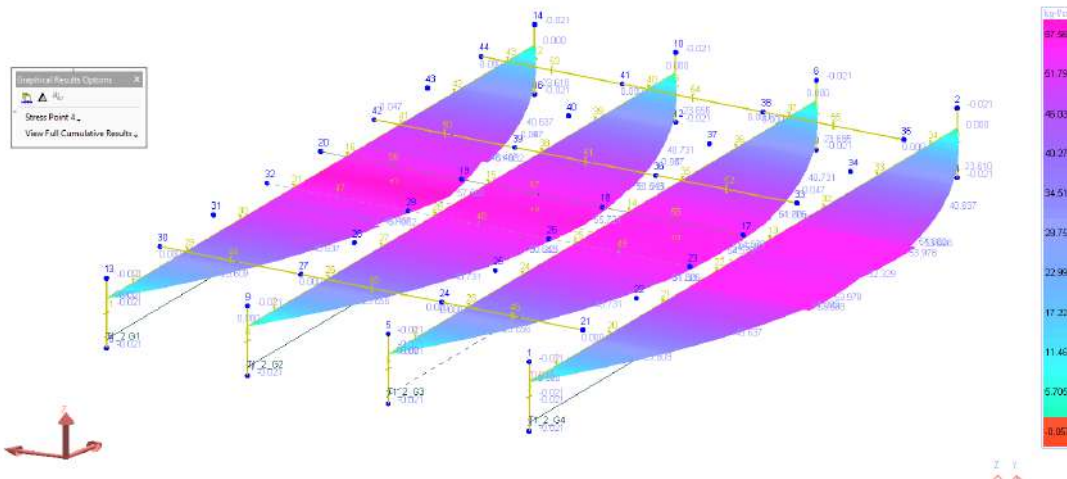
ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานก่อนการเสริมกำลังเนื่องจาก DL+SDL+TIME
 EFFECT

Zoom: 1.663x Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 1 - 75 years - step



รูปที่ 13-25 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

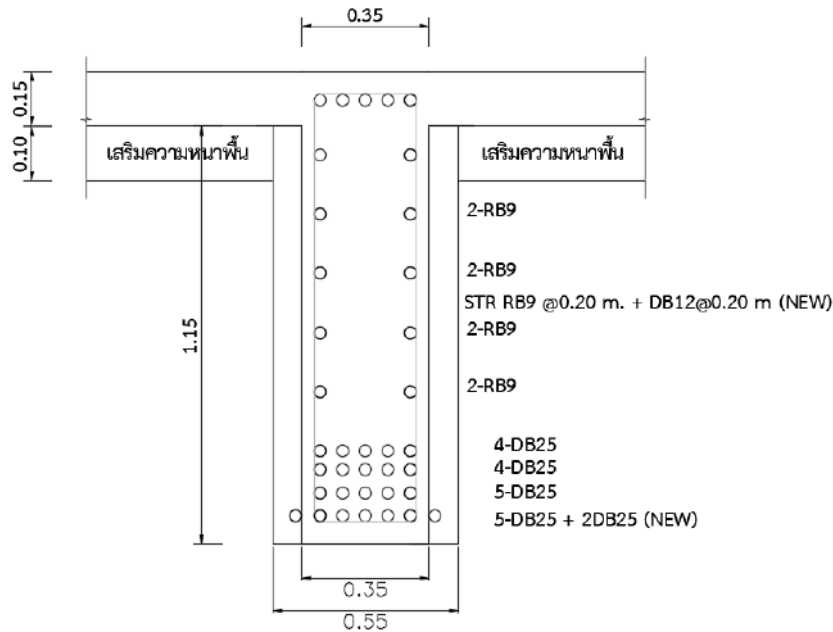
Zoom: 1.963x Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 4 - 75 years - step



รูปที่ 13-26 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานและกำลังที่เหลืออยู่ที่จำเป็นต้องเสริมกำลัง ที่ปรึกษาออกแบบเสริมกำลังโดยเพิ่มเหล็กเสริมขนาด DB25 จำนวน 8 เส้น ที่บริเวณท้องของคานและเหล็กปลอกที่ด้านคานเพิ่ม DB12@0.20 เพื่อช่วยในการรับแรงเฉือน ดังแสดงในรูป





รูปตัดคานสะพานเสริมกำลัง (RC JACKETING)
มาตราส่วน 1:25

จากนั้น ที่ปรึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของสะพานที่ Strength Limit State เพื่อยืนยันความสามารถในการรับน้ำหนัก และยังตรวจสอบ Crack Width ที่ระดับ Service Limit State ภายหลังการเสริมกำลังด้วย RC Jacketing แสดงดังนี้

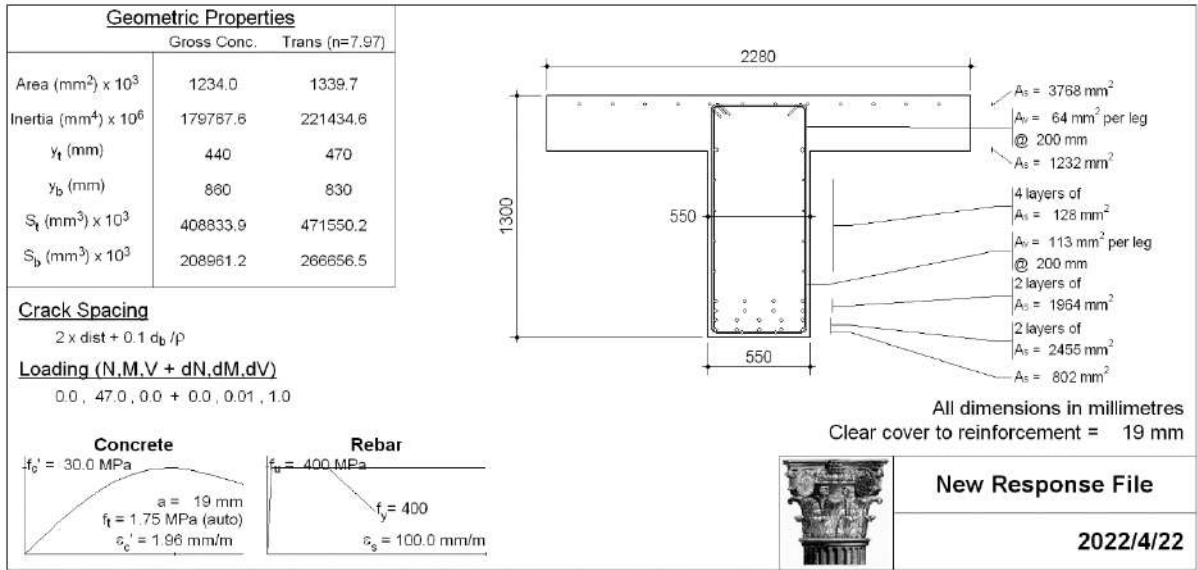
Case 3: Strengthening by RCJacketing

	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		23.02				86.325
SDL		8				29
LL+IM		18.5				72
PS		0				0
STR1	0	73.15	0	0	0	277.4063

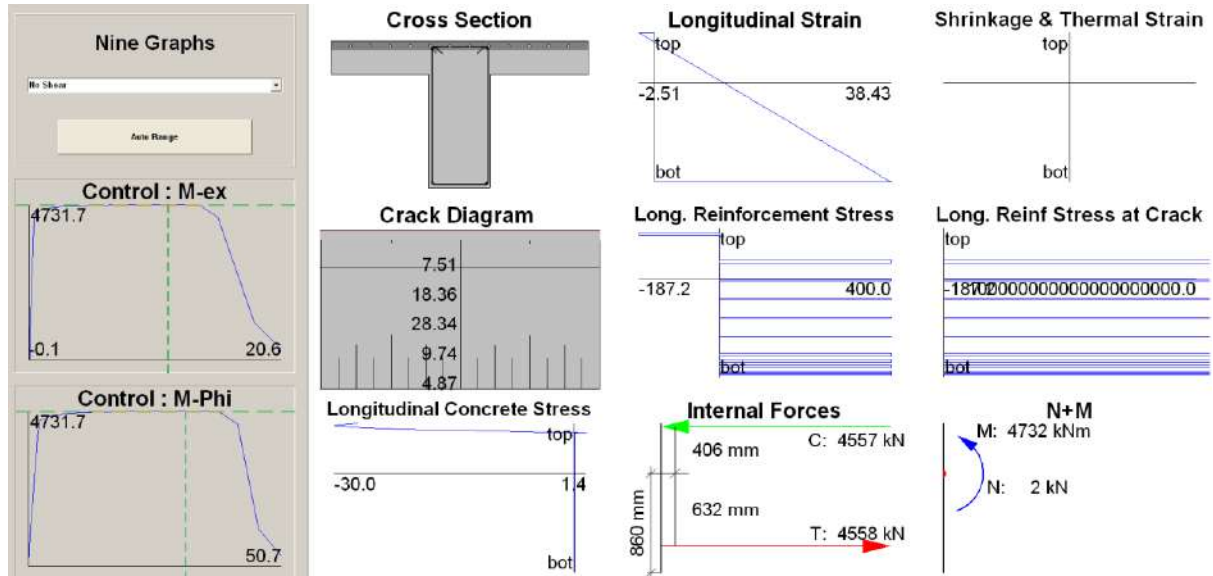
0.85*Shear Capacity = 151.3 T (Strengthening) OK
0.9*Moment Capacity = 425.7 T-m (Strengthening) OK

M5 = 187.325 T-m
Mtr = 87 T-m
Crack width < 0.2 mm

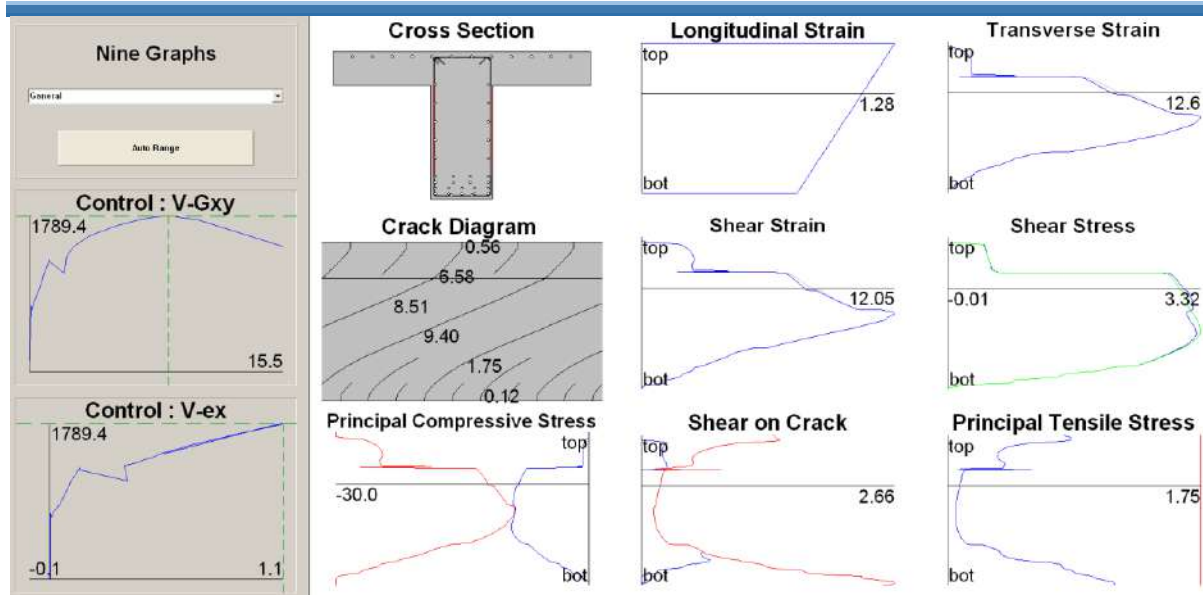
รูปที่ 13-27 ผลการเปรียบเทียบความสะพานในการรับน้ำหนักของสะพานเสริมกำลังโดย RC Jacketing



รูปที่ 13-28 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเสริมกำลังด้วย RC Jacketing



รูปที่ 13-29 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ดัดของสะพานเสริมกำลังด้วย RC Jacketing



รูปที่ 13-30 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเสริมกำลังด้วย RC Jacketing

โดยรายละเอียดการออกแบบแสดงในแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่แนบมากับรายงานฉบับนี้

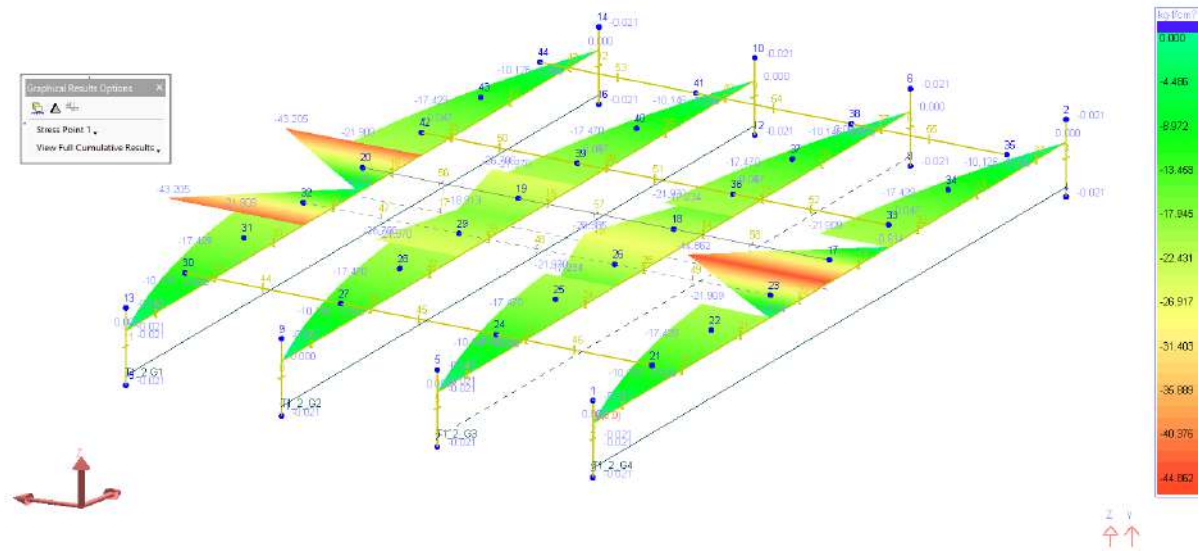
13.4.2.3. การออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber)

ในการออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) ที่ปรึกษาได้ดำเนินการออกแบบเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักของบรรทุกทุกจร (HL-93) ได้ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

โดยในการออกแบบ ที่ปรึกษาจะพิจารณาในช่วง Service Stage และช่วง Ultimate Stage โดยในช่วง Service Stage จะทำการวิเคราะห์ผลของขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานจนถึงสภาพของสะพานในปัจจุบัน แล้วจึงทำการเสริม Carbon Fiber และ Coating ปิด แล้วจึงวิเคราะห์สะพานที่เสริมกำลังแล้วภายใต้ผลของน้ำหนักบรรทุกทุกจร ดังแสดงดังนี้

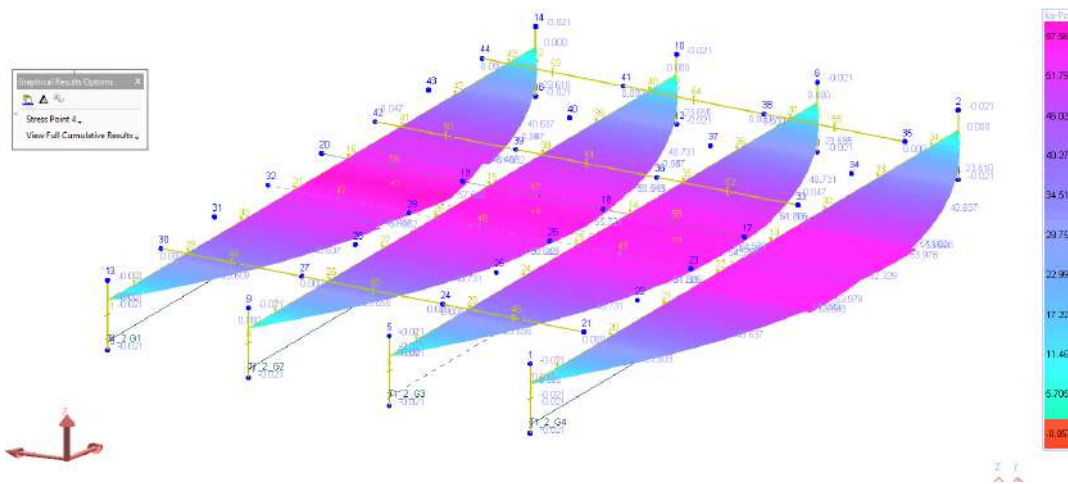
ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานก่อนการเสริมกำลังเนื่องจาก DL+SDL+TIME EFFECT

Zoom: 1.663K Stage: 75 years / step
 Member: Stress - Stress Point 1 - 75 years / step



รูปที่ 13-31 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

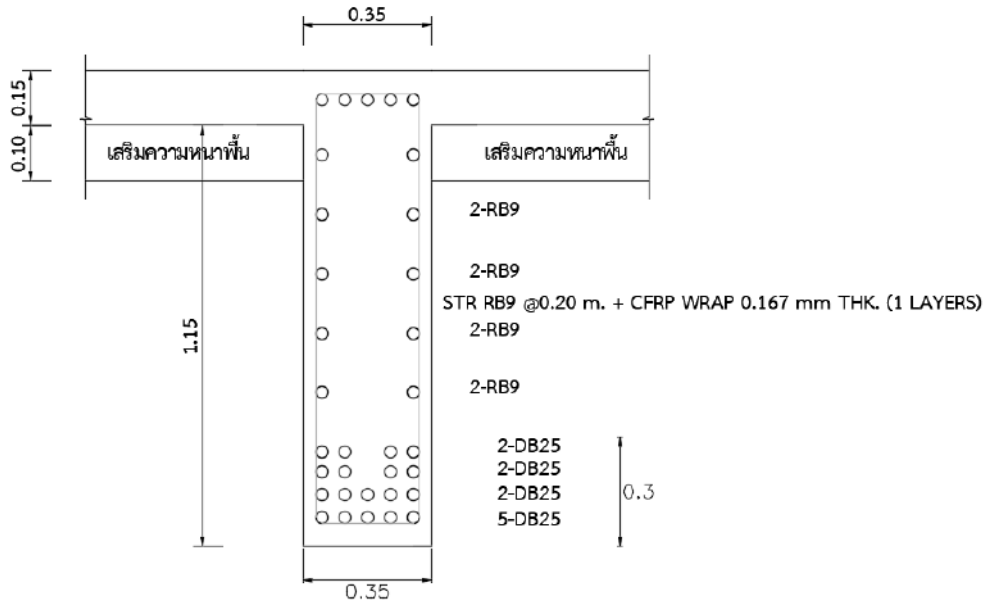
Zoom: 1.963K Stage: 75 years / step
 Member: Stress - Stress Point 4 - 75 years / step



รูปที่ 13-32 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานและกำลังที่เหลืออยู่ที่จำเป็นต้องเสริมกำลัง ที่ปรึกษา ออกแบบเสริมกำลังเฉพาะแรงเฉือน โดยเพิ่มการเสริม CFRP แบบผืน (WRAP) ด้านข้างของคานในช่วง รับแรงเฉือนด้วยวัสดุ CFRP WRAP หนา 0.167 MM หุ้มจำนวน 1 ชั้น ดังแสดงในรูป





รูปตัดคานสะพานเสริมกำลัง (CFRP)
 มาตรฐาน 1:25

จากนั้น ที่ปรึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของสะพาน ที่ Strength Limit State เพื่อยืนยันความสามารถในการรับน้ำหนัก และยังตรวจสอบ Crack Width ที่ระดับ Service Limit State ภายหลังการเสริมกำลังด้วย Carbon Fiber แสดงดังนี้

Case 4: Strengthening by CFRP

	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		21.04				78.9
SDL		8				29
LL+IM		18.5				72
PS		0				0
STR1	0	70.675	0	0	0	268.125

0.85*Shear Capacity = 84.7 T (Strengthening) OK
 0.9*Moment Capacity = 312.48 T-m (Existing) OK

M5 = 179.9 T-m
 Mtr = 59 T-m
 Crack width < 0.2 mm

รูปที่ 13-33 ผลการเปรียบเทียบความสะพานในการรับน้ำหนักของสะพานเสริมกำลังโดย Carbon Fiber

โดยรายละเอียดการออกแบบแสดงในแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่แนบมา
 รายงานฉบับนี้

13.4.3. การเปรียบเทียบราคาต้นทุนการเสริมกำลัง

จากแนวทางการคำนวณกิจกรรมการบูรณะข้างต้น ที่ปรึกษาได้ดำเนินการประมาณราคาต้นทุนงานบูรณะสะพาน ทั้ง 3 วิธี แสดงดังนี้ โดยรายละเอียดการคิดราคาแสดงในบทการประมาณราคาเสริมกำลังโครงสร้างสะพาน

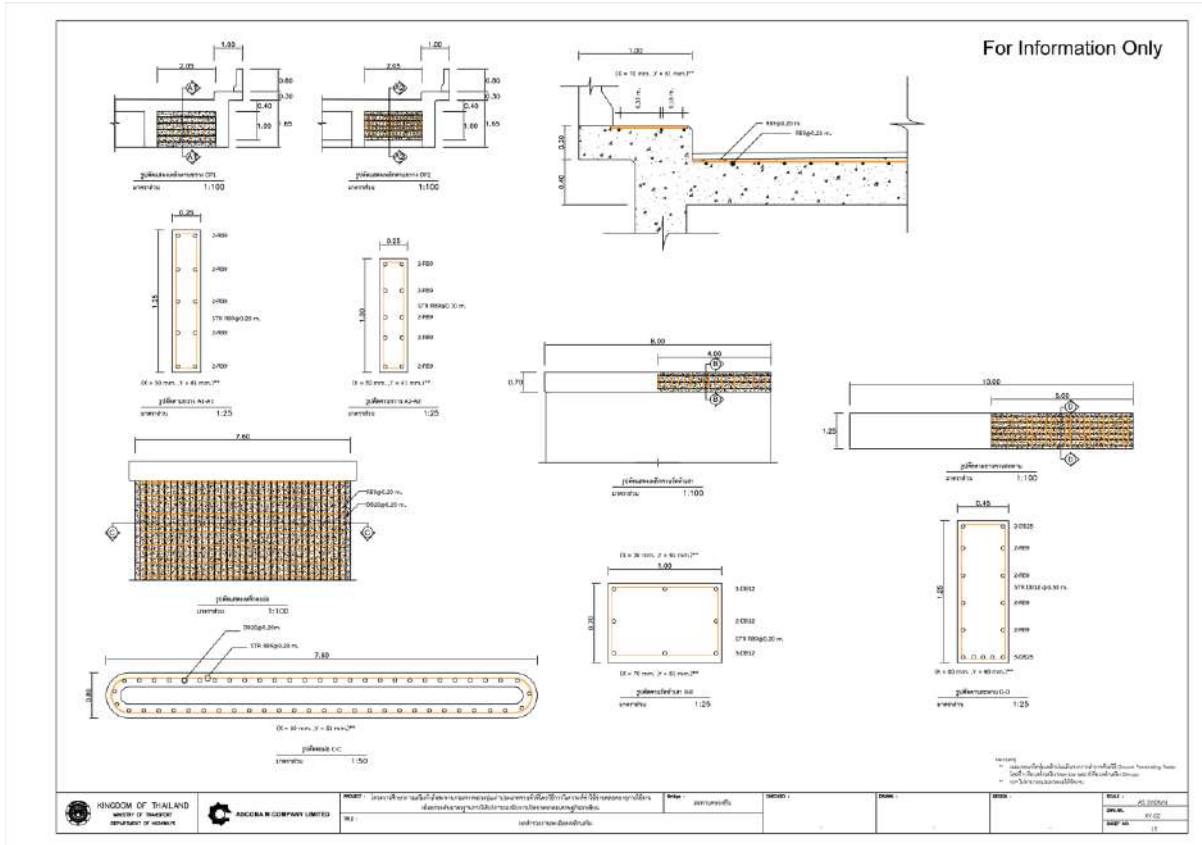
สะพานข้ามคลองบางมัน

1) วิธี RC Jacketing	ราคาต่อสะพาน	2,085,888 บาท (ไม่รวม Factor F)
2) วิธี Internal Prestressing	ราคาต่อสะพาน	1,532,694 บาท (ไม่รวม Factor F)
3) วิธี Carbon Fiber	ราคาต่อสะพาน	2,055,953 บาท (ไม่รวม Factor F)

จากราคาต้นทุนข้างต้น ที่ปรึกษาจะนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานเพื่อหารูปแบบวิธีการเสริมกำลังที่เหมาะสมในบทถัดไป

13.5 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานคลองยันทัน

สะพานคลองยันทันตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 16 นครศรีธรรมราชแขวงทางหลวงสุราษฎร์ธานีที่ 1 (พุนพิน) จังหวัด สุราษฎร์ธานี หมายเลขทางหลวง 4247 กม.กลางสะพาน 22+154 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2542 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 159 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง ST(1x10) + 4TG(6x20) + ST(1x10) ความกว้างผิวทาง 7 เมตร



รูปที่ 13-34 แบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม

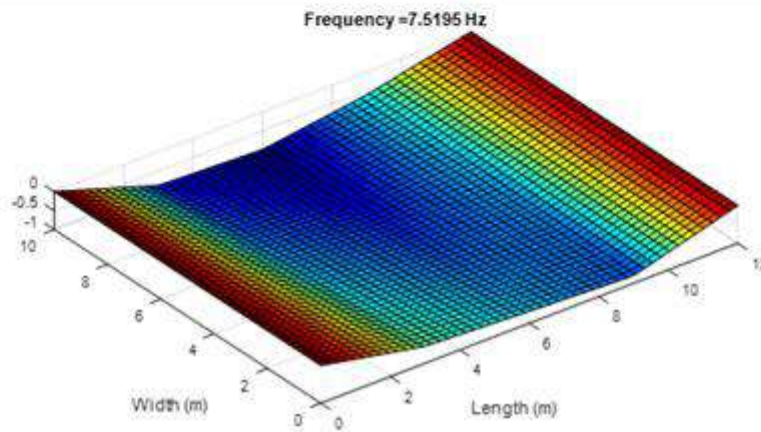
13.5.1. การตรวจสอบความสามารถการรับน้ำหนักของสะพาน

ตัวอย่างของแบบจำลองที่ปรับค่าและเปรียบเทียบกับ Natural Frequency ของสะพานที่ได้รับ การทดสอบในภาคสนามแสดงดังนี้

ตารางที่ 7.6-5 ผลการวิเคราะห์ Natural-Frequency, Mode-Shape และ Damping-Ratio

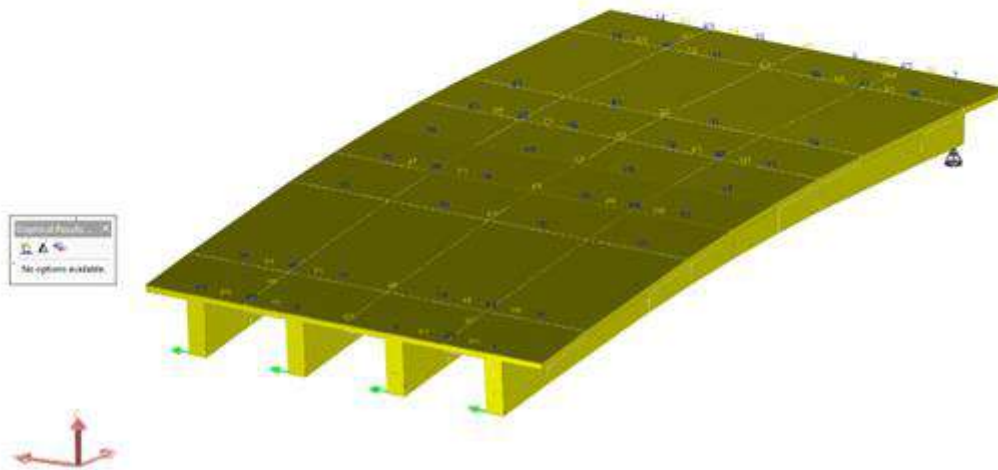
Test	Freq.	Mode Shape	Damping Ratio					
			AC 01	AC 02	AC 03	AC 04	AC 05	AC 06
Dynamic 1	7.324	1st Bending	2.136	2.656	2.43	1.849	1.956	1.961
Dynamic 2	7.52	1st Bending	2.325	2.341	2.347	2.333	2.345	2.367
Dynamic 3	7.617	1st Bending	7.436	6.171	6.203	2.172	7.842	6.967

Dynamic 2 :: 30 km/hr



Fn(FEA) 6.94 Hz Test/FEA= 1.079 OK

Scale: 1:1000
 Model Display: MC/FEM/ALL/1-0.1502
 Scale Factor: 1



รูปที่ 13-35 แบบจำลองที่ได้ปรับค่ากับการทดสอบภาคสนามโดย Finite Element Updating

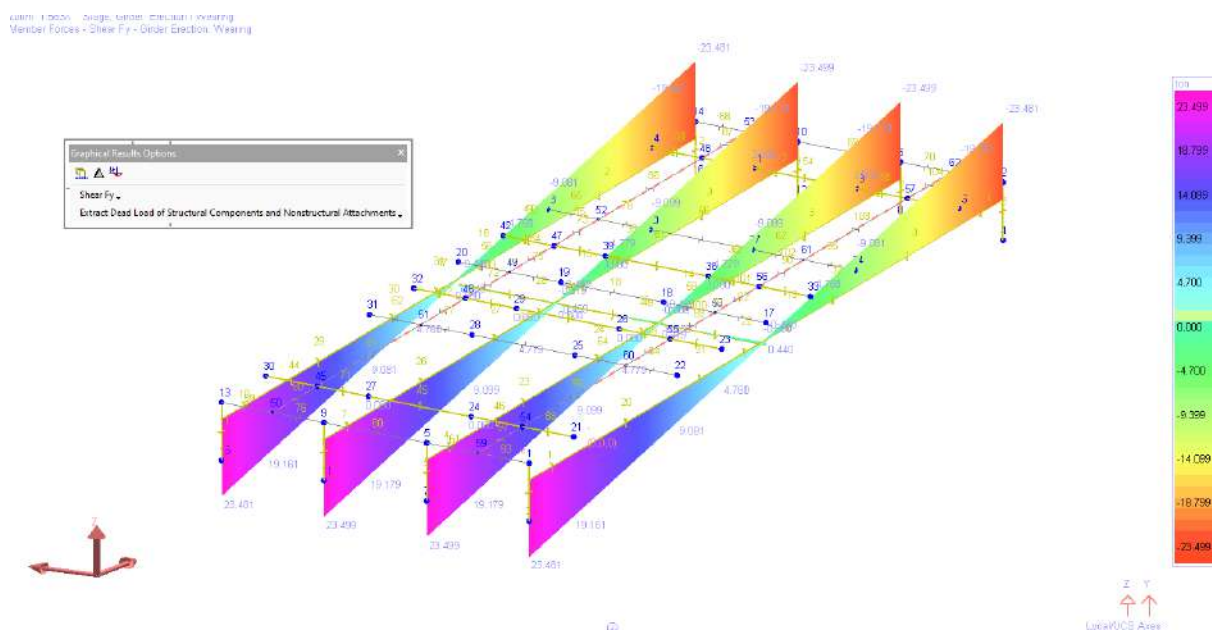


13.5.1.1. การวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน

ในหัวข้อนี้ แบบจำลองที่ได้ทำการปรับค่าแล้วจากวิธี Finite Element Updating จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาแรงภายในต่าง ๆ เพื่อใช้ประกอบการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานภายใต้น้ำหนักบรรทุกจร (HL-93) และใช้ในการประกอบการออกแบบเสริมกำลังต่อไป

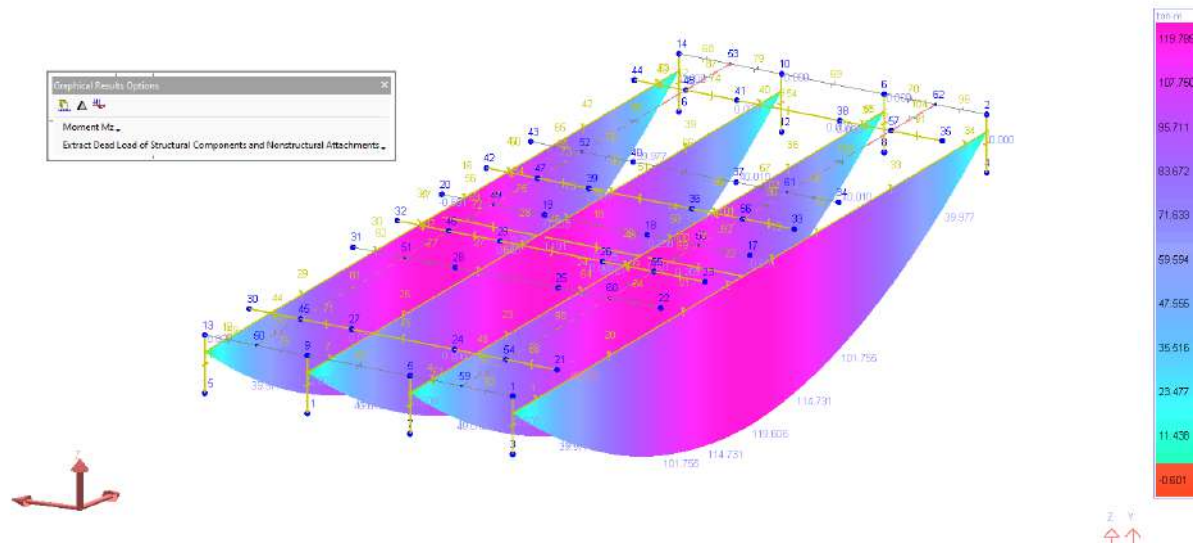
ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน ที่ปรึกษาจะวิเคราะห์โดยใช้วิธี Construction Stage Analysis เพื่อให้สามารถพิจารณาผลของขั้นตอนการก่อสร้าง และคุณสมบัติวัสดุของสะพานเทียบกับเวลา เป็นต้น

ตัวอย่างของผลการวิเคราะห์สะพาน แสดงดังนี้



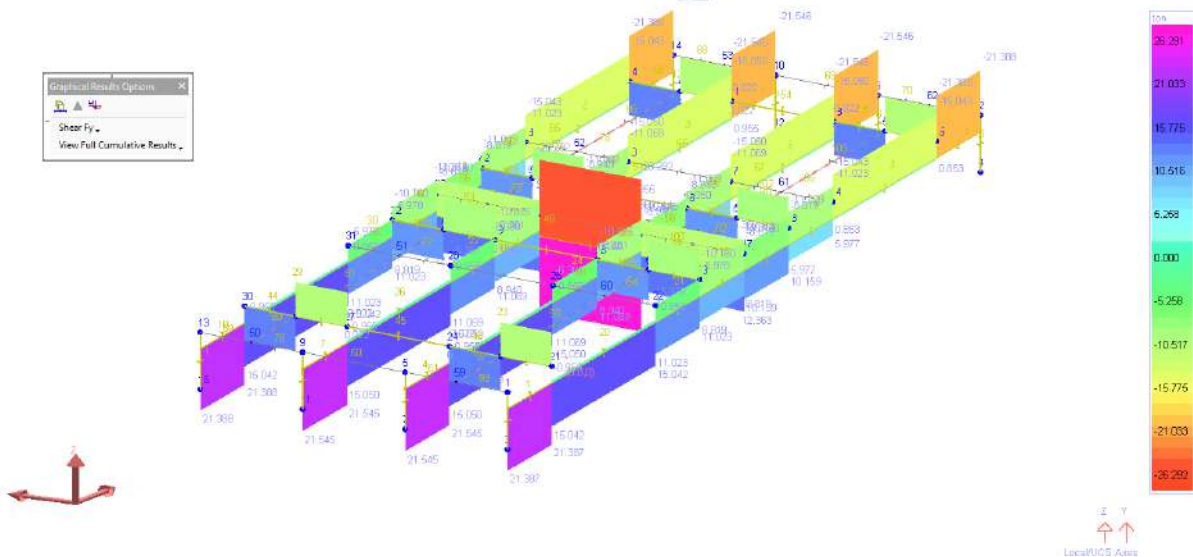
รูปที่ 13-36 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก DL

Zoom: 1.5036 Stage: Girder Erection / Wearing
 Member Forces - Moment Mz - Girders Erection / Wearing



รูปที่ 13-37 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดของสะพาน เนื่องจาก DL

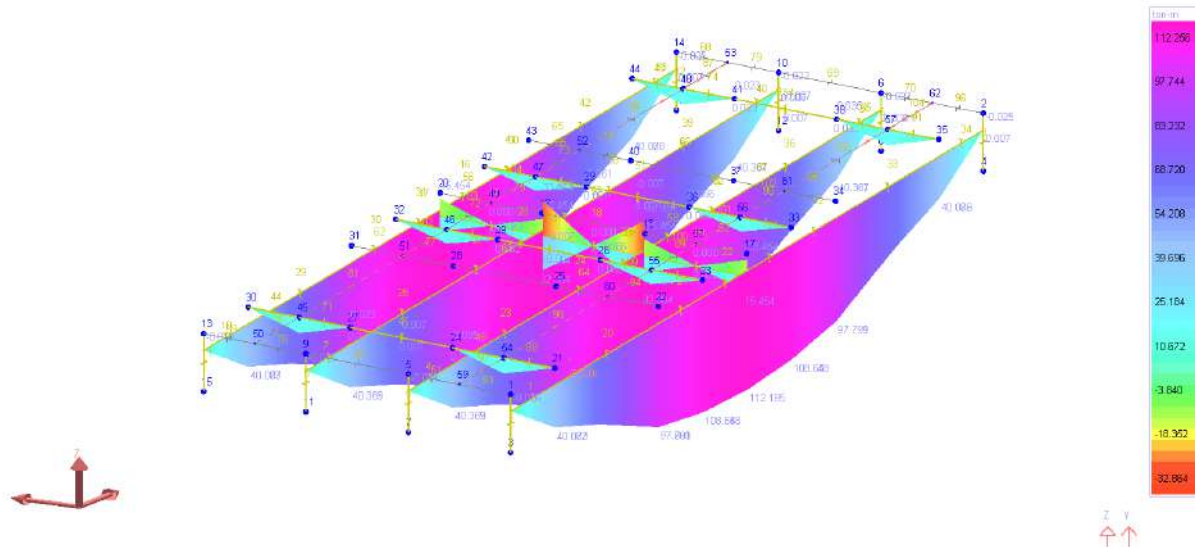
Zoom: 1.5833 Stage: LL 1 Girder / Step 1
 Member Forces - Shear Vy - Left Lane/HL-93 (Design Truck/Lane Load (EE)) Right Lane/HL-93 (Design Truck/Lane Load (EE))



รูปที่ 13-38 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)



Zoom: 1.563x Stage: LL+IM (Step: 1)
 Member Forces - Moment Mz - Left Lane/HL-93 Design Truck/Lane Load (EE), Right Lane/HL-93 Design Truck/Lane Load (EE)



รูปที่ 13-39 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังของสะพานตามสภาพเดิมในปัจจุบันไม่สามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจาก HL-93 ได้ ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD และควรดำเนินการเสริมกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 13-40 ถึงรูปที่ 13-43

Case 1: Existing Condition of Bridge

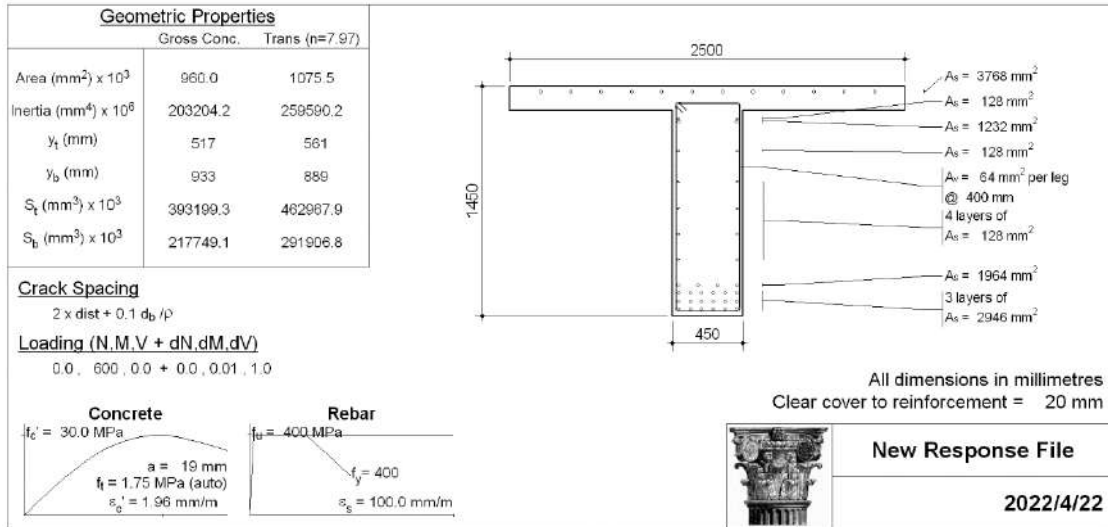
	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		23.5				119.6
SDL		3				15
LL+IM		22				112
PS		0				0
STR1	0	72.375	0	0	0	368

- 0.85*Shear Capacity = 61.115 T (New Condition)
- 0.9*Moment Capacity = 533.7 T-m (New Condition)
- 0.85*Shear Capacity = 48.892 T (Current Condition) Required Strengthening
- 0.9*Moment Capacity = 426.96 T-m (Current Condition)

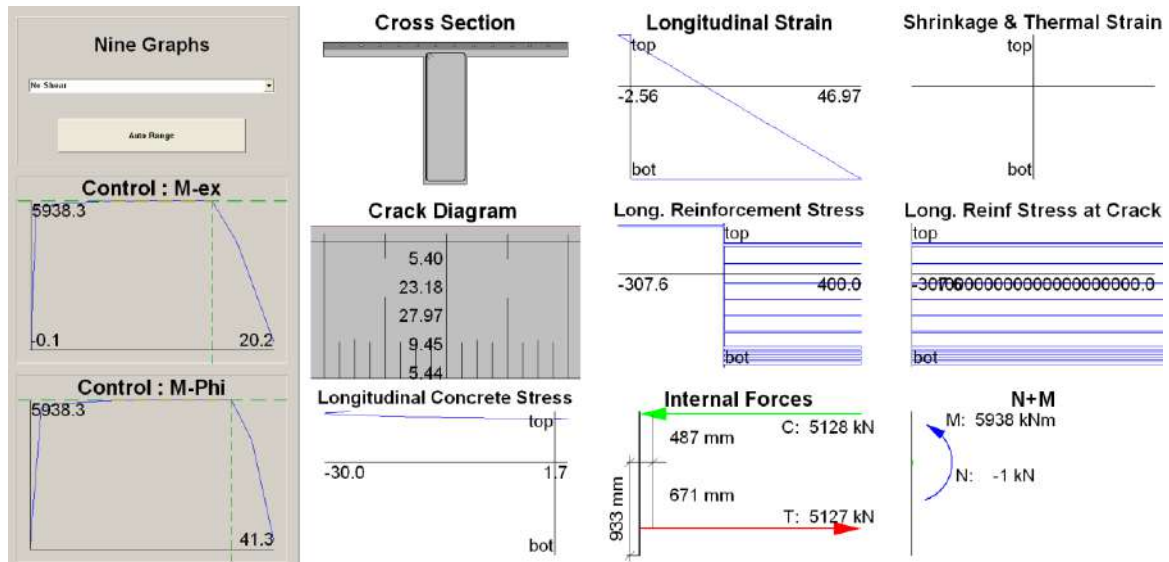
ตารางที่ 4-2 การประเมินระดับความเสียหายหรือสภาพการใช้งานโดยรวม

บริเวณชิ้นส่วน	ประเภทชิ้นส่วน	สภาพการใช้งาน (Condition Rating - CR)	ระดับความเสียหาย (Damage Rating - DR = 5 - CR)	ระดับความสำคัญหรือชิ้นส่วน (w)	WCDR
S1-TG1	Grade	2	3	1	3
S1-TG2	Grade	2	3	1	3
S1-TG3	Grade	2	3	1	3
S1-TG4	Grade	2	3	1	3
R2-TG3	Grade	2	3	1	3
Weighted Critical Damage Rating (WCDR)					3
Weighted Critical Condition Rating (CCDR = 5 - WCDR)					2

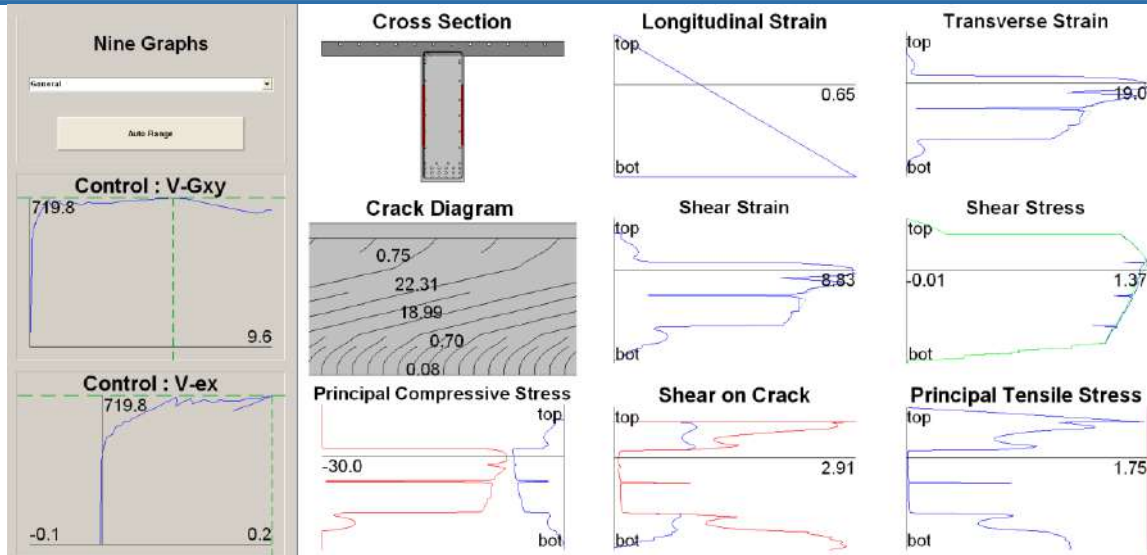
รูปที่ 13-40 การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานเดิม



รูปที่ 13-41 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเดิม



รูปที่ 13-42 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ดัดของสะพานเดิม



รูปที่ 13-43 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเดิม

13.5.2. รูปแบบการเสริมกำลัง

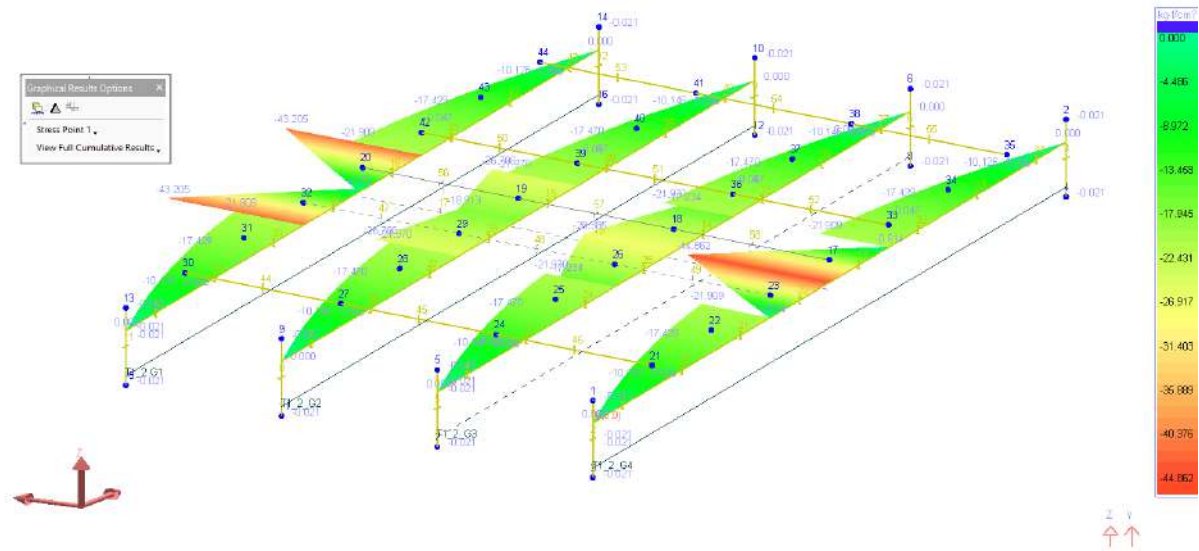
13.5.2.1. การออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีลวดอัดแรง (Prestressing System)

ในหัวข้อนี้ ที่ปรึกษาจะนำแนวทางการเสริมกำลังสะพานโดยวิธีลวดอัดแรง (Prestressing System) มาใช้ในการออกแบบเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักของบรรทุกจร (HL-93) ได้ ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

โดยในการออกแบบ ที่ปรึกษาจะพิจารณาในช่วง Service Stage และช่วง Ultimate Stage โดยในช่วง Service Stage จะทำการวิเคราะห์ผลของขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานจนถึงสภาพของสะพานในปัจจุบัน แล้วจึงทำการเสริมส่วนของลวดอัดแรงและพอกคอนกรีตปิด แล้วจึงวิเคราะห์สะพานที่เสริมกำลังแล้วภายใต้ผลของน้ำหนักบรรทุกจร ดังแสดงดังนี้

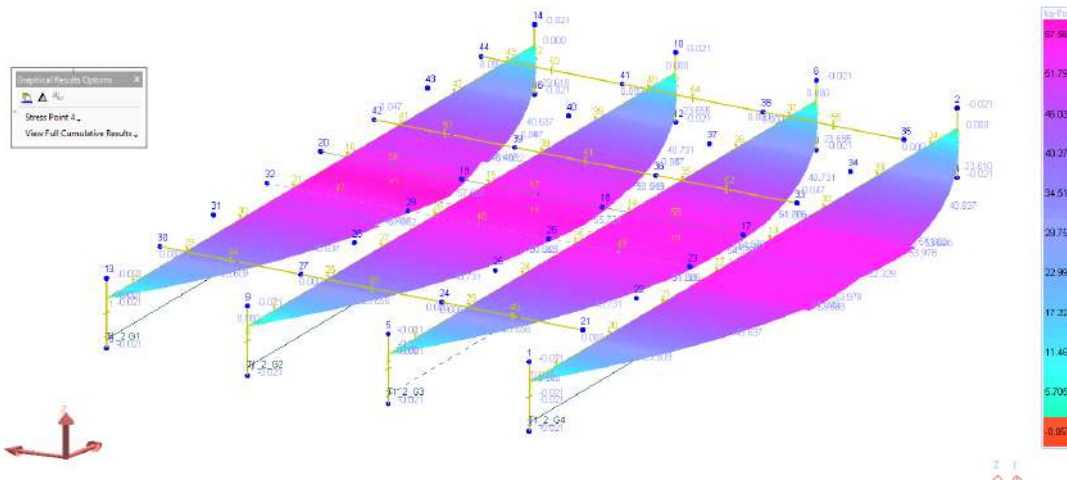
ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพาน ก่อนการเสริมกำลัง เนื่องจาก DL+SDL+TIME EFFECT

Zoom: 1.663K Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 1 - 75 years - step



รูปที่ 13-44 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

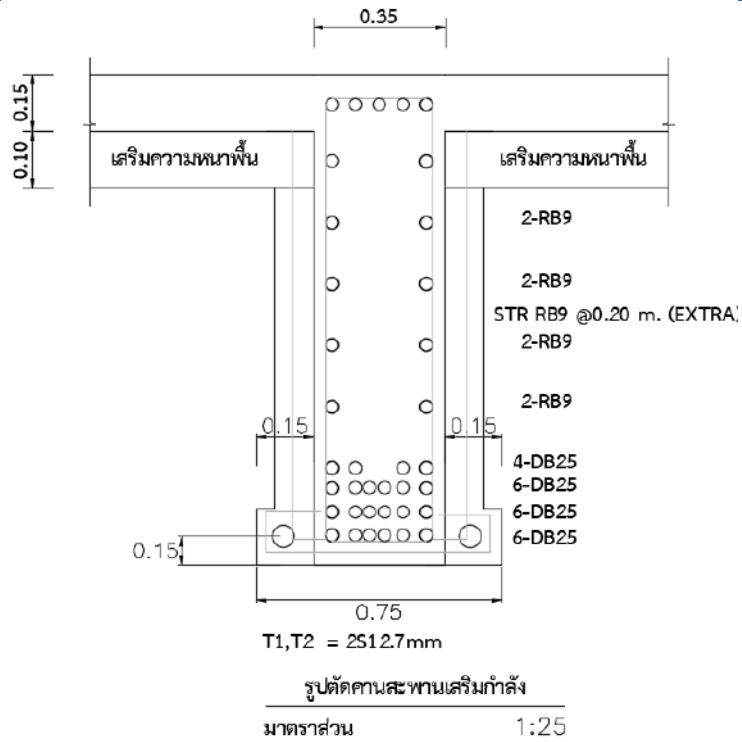
Zoom: 1.963K Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 4 - 75 years - step



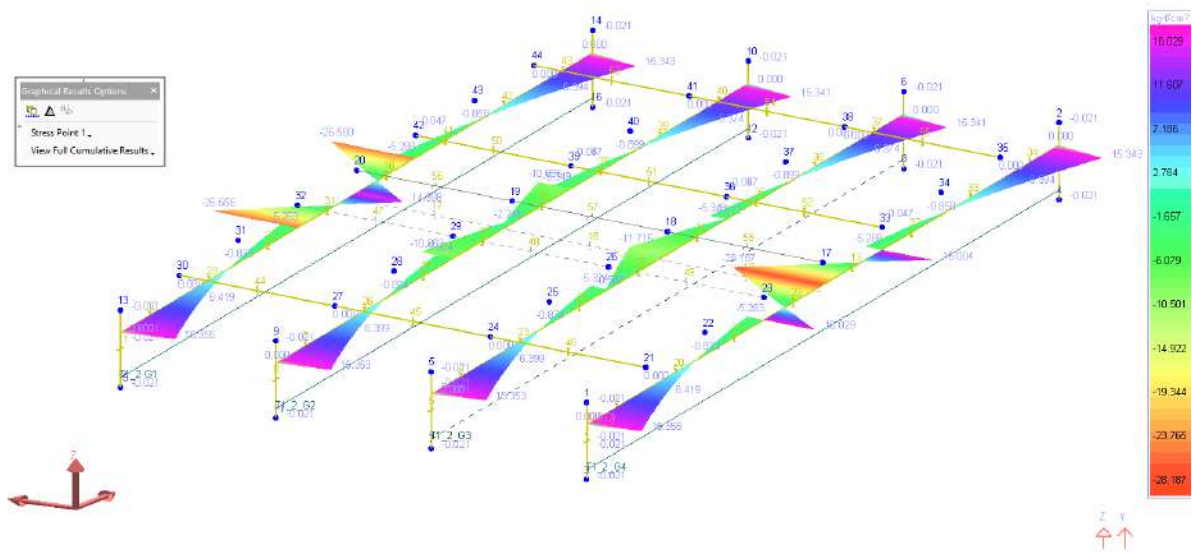
รูปที่ 13-45 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานภายหลังการเสริมกำลังโดยใช้ลวดอัดแรงขนาด T1=2-S12.7mm Grade 1860 Mpa และ T2=7-S12.7mm Grade 1860 Mpa โดยจะต้องเสริมเหล็ก Stirrup RB9@0.20m (Extra)



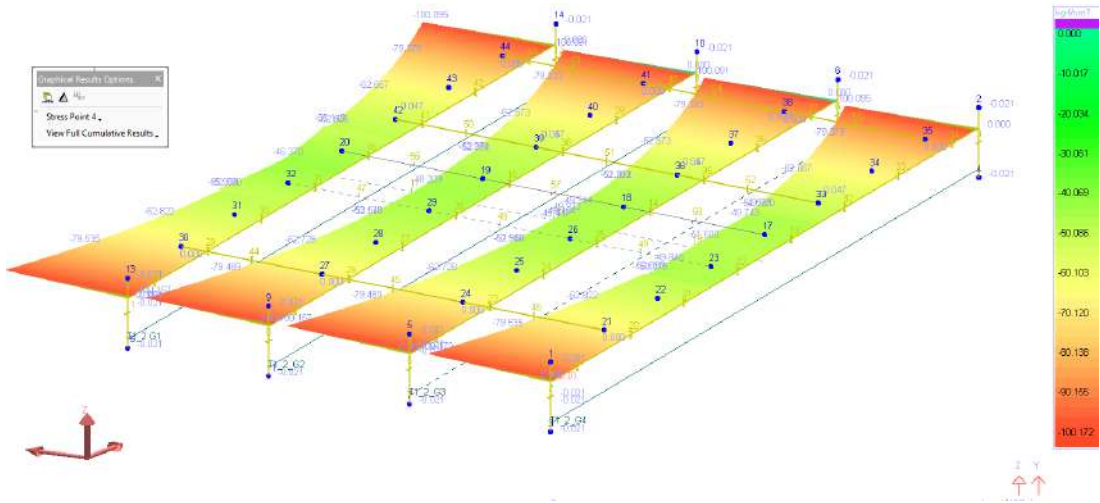


Zaini - 1 5631 - Stage: Strengthening / Step 1
 Member: Girders - Stress: Fort-1 - Strengthening / Step: PT Activity



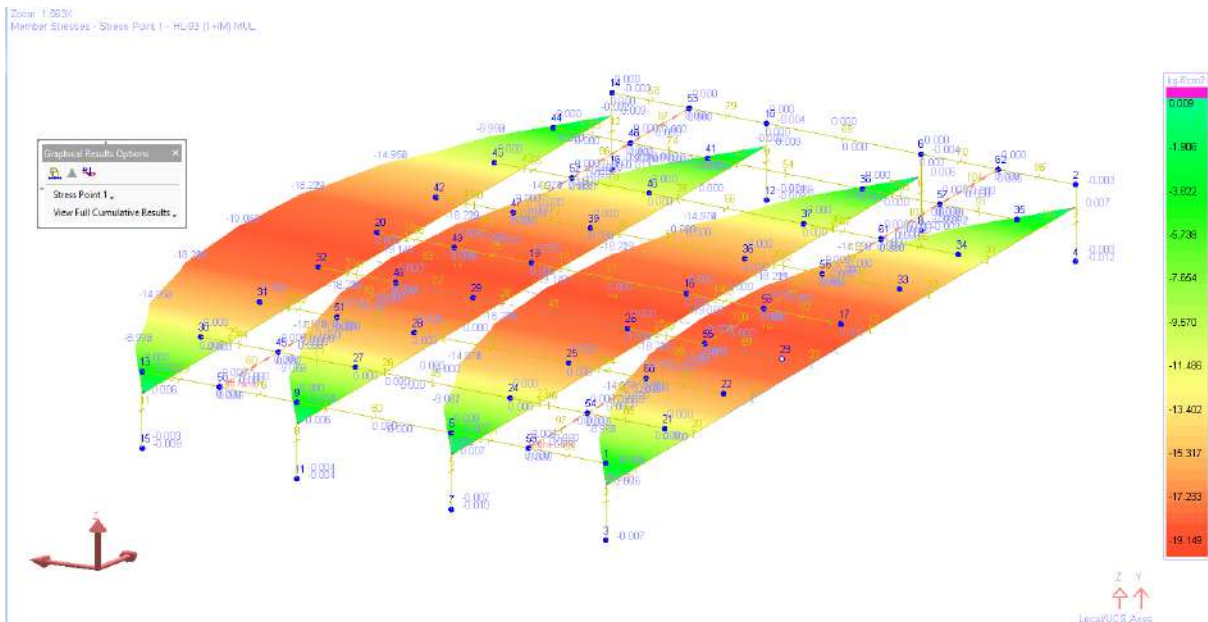
รูปที่ 13-46 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลัง: DL+SDL+TIME+PS

Zoom: 1.4224 Stage: Strengthening / Step 1
 Member Stresses - Stress Point 4 - Strengthening Step 1: PT Activity



รูปที่ 13-47 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลัง:
 DL+SDL+TIME+PS

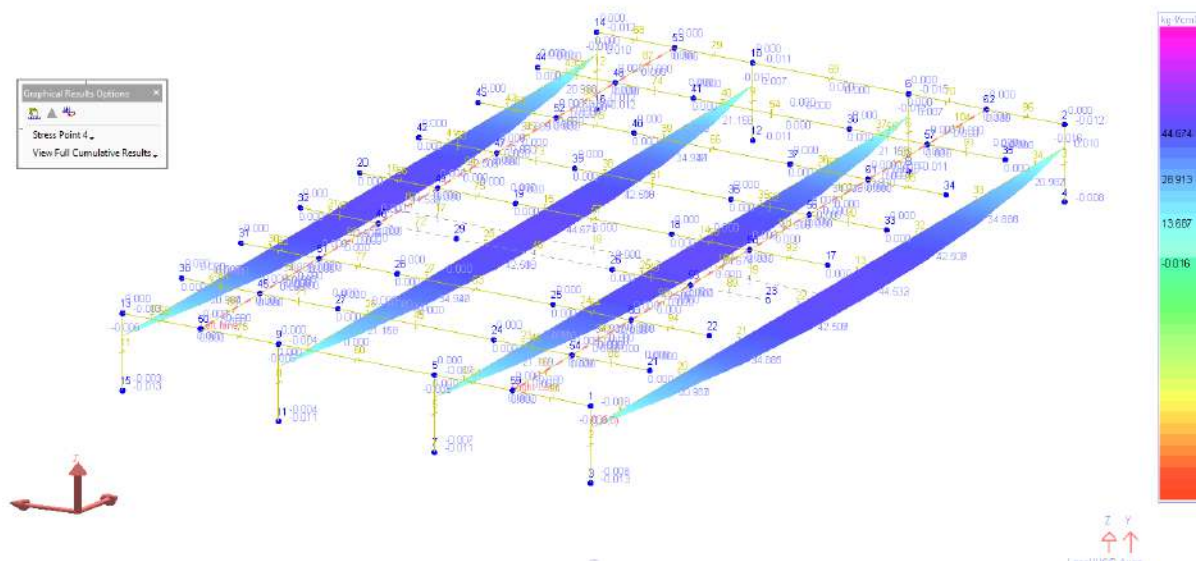
โดยเมื่อดำเนินการนำผลของค่าความเค้นของสะพานภายหลังการเสริมกำลัง มาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นของสะพานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกจร (HL-93) พบว่า สามารถรองรับความเค้นที่เกิดขึ้นได้ตามมาตรฐาน ดังแสดงดังนี้



รูปที่ 13-48 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลัง เนื่องจาก HL-93
 เท่านั้น



Zoom: 1.563x
 Member Stresses - Stress Point 4 - HL-93 (1+04) Mill

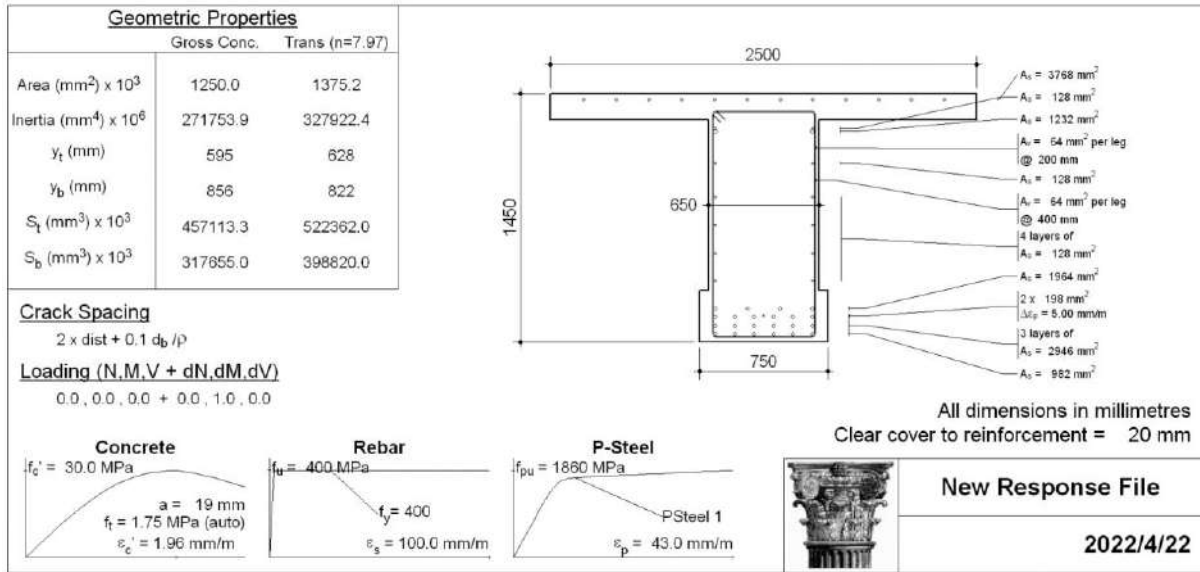


รูปที่ 13-49 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลังเนื่องจาก HL-93
 เท่านั้น

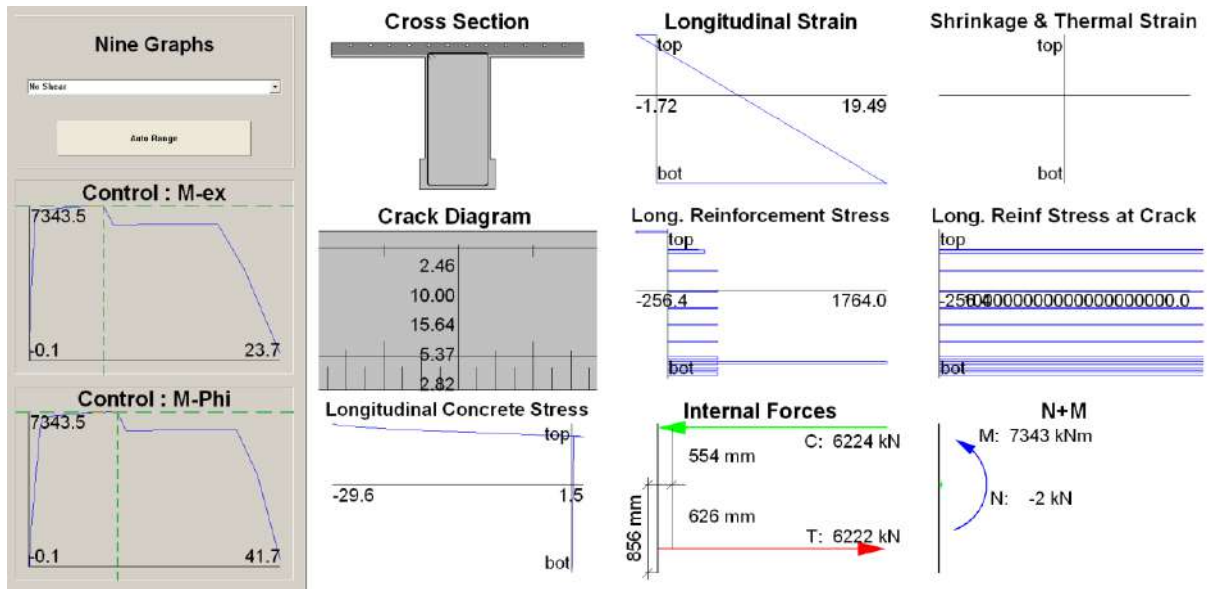
จากนั้น ที่ปรึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของสะพานที่ Strength Limit State เพื่อยืนยัน
 ความสามารถในการรับน้ำหนักภายหลังการเสริมกำลังด้วย Prestressing System แสดงดังนี้

Case 2: Strengthening by PS						
	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		28.54				245.6
SDL		3				15
LL+IM		22				112
PS		0				0
STR1	0	78.675	0	0	0	525.5
0.85*Shear Capacity =			125.8 T	(Strengthening)	OK	
0.9* Moment Capacity =			540 T-m	(Strengthening)	OK	

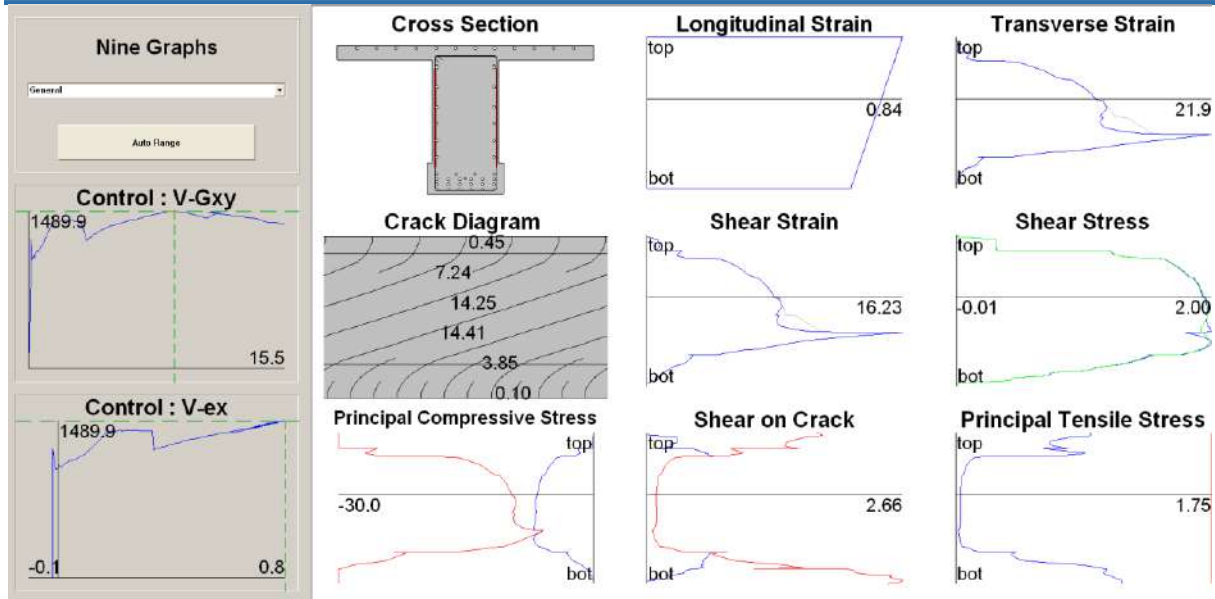
รูปที่ 13-50 ผลการเปรียบเทียบความสะพานในการรับน้ำหนักของสะพานเสริมกำลังโดย
 Prestressing System



รูปที่ 13-51 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเสริมกำลังด้วย Prestressing System



รูปที่ 13-52 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ดัดของสะพานเสริมกำลังด้วย Prestressing System



รูปที่ 13-53 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเสริมกำลังด้วย Prestressing System

โดยรายละเอียดการออกแบบแสดงในแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่แนบมากับรายงานฉบับนี้

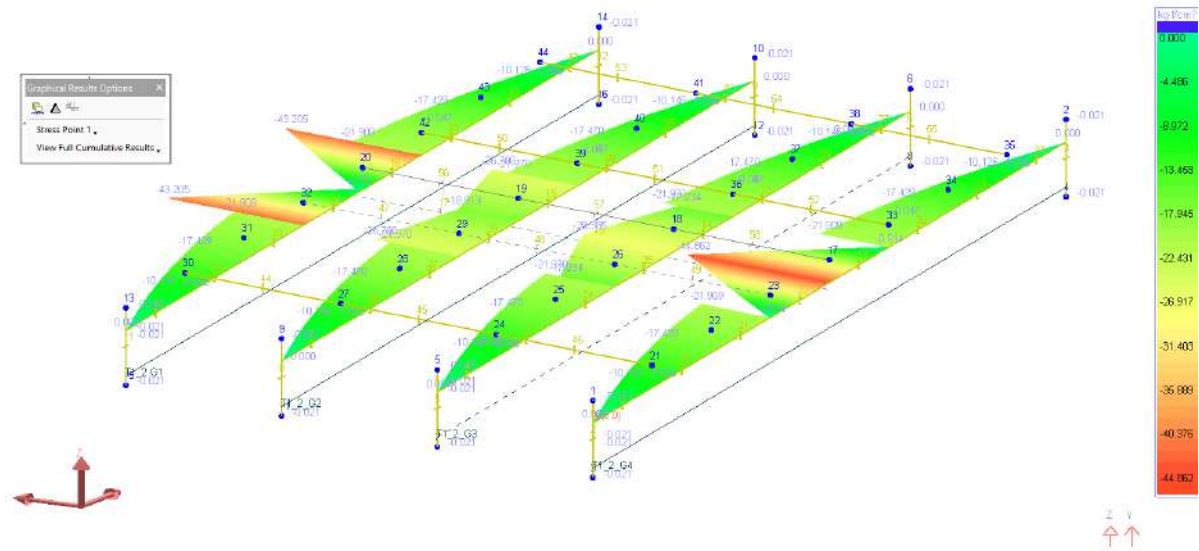
13.5.2.2. การออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีหุ้มคอนกรีต (RC Jacketing)

ในการออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีหุ้มคอนกรีต (Concrete Jacketing) ที่ปรึกษาได้ดำเนินการออกแบบเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักของบรรทุกจร (HL-93) ได้ ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

โดยในการออกแบบ ที่ปรึกษาจะพิจารณาในช่วง Service Stage และช่วง Ultimate Stage โดยในช่วง Service Stage จะทำการวิเคราะห์ผลของขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานจนถึงสภาพของสะพานในปัจจุบัน แล้วจึงทำการเสริมเหล็กและพอกคอนกรีตปิด แล้วจึงวิเคราะห์สะพานที่เสริมกำลังแล้ว ภายใต้ผลของน้ำหนักบรรทุกจร ดังแสดงดังนี้

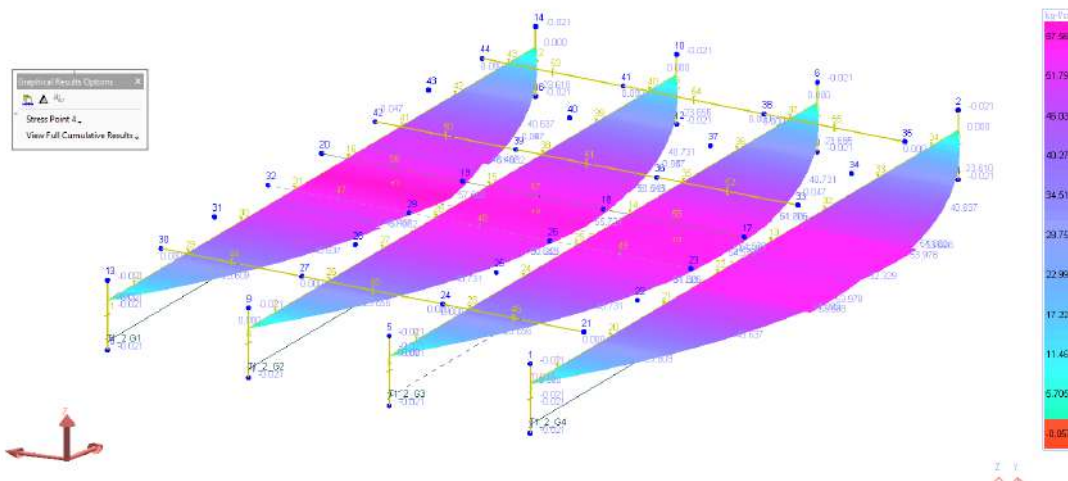
ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานก่อนการเสริมกำลังเนื่องจาก DL+SDL+TIME EFFECT

Zoom: 1.663K Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 1 - 75 years - step



รูปที่ 13-54 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

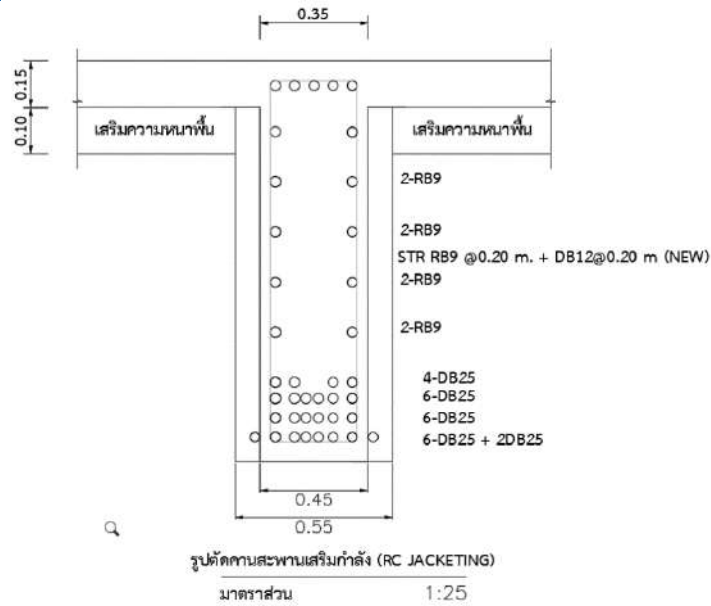
Zoom: 1.963K Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 4 - 75 years - step



รูปที่ 13-55 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพาน และกำลังที่เหลืออยู่ที่จำเป็นต้องเสริมกำลัง ที่ปรึกษาออกแบบเสริมกำลังโดยเพิ่มเหล็กเสริมขนาด DB25 จำนวน 2 เส้น ที่บริเวณท้องของคานและเหล็กปลอกที่ด้านคาน เพิ่ม DB12@0.20 เพื่อช่วยในการรับแรงเฉือน ดังแสดงในรูป





จากนั้น ที่ปรึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของสะพานที่ Strength Limit State เพื่อยืนยันความสามารถในการรับน้ำหนัก และยังตรวจสอบ Crack Width ที่ระดับ Service Limit State ภายหลังการเสริมกำลังด้วย RC Jacketing แสดงดังนี้

Case 3: Strengthening by RC Jacketing

	F _x (T)	F _y (T)	F _z (T)	M _x (T-m)	M _y (T-m)	M _z (T-m)
DL		23.02				86.325
SDL		8				29
LL+IM		18.5				72
PS		0				0
STR1	0	73.15	0	0	0	277.4063

0.85*Shear Capacity = 151.3 T (Strengthening) OK

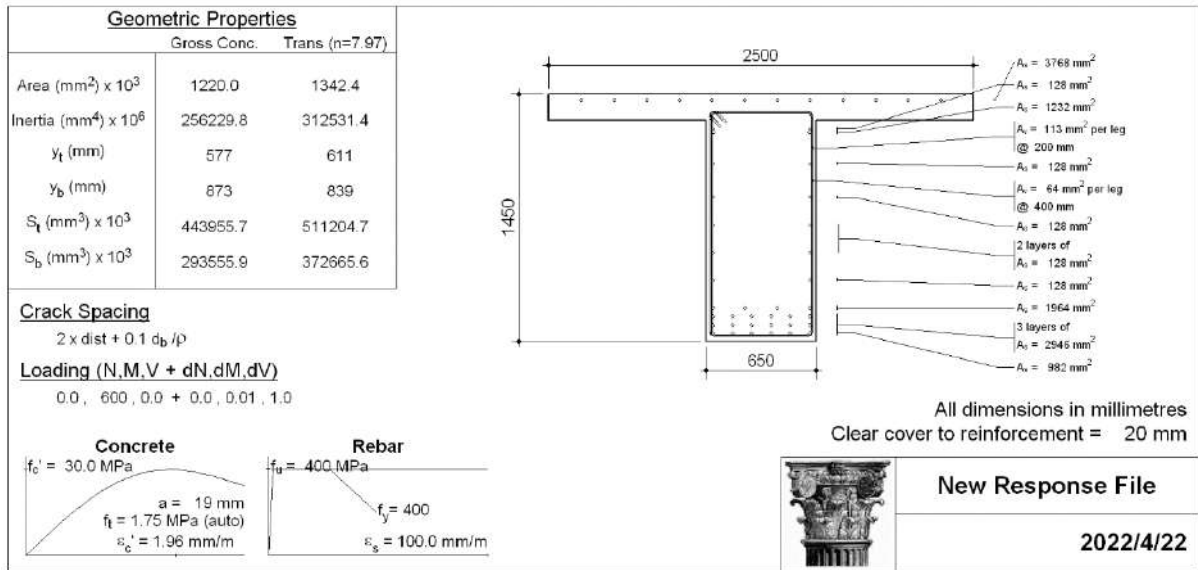
0.9*Moment Capacity = 425.7 T-m (Strengthening) OK

M_S = 187.325 T-m

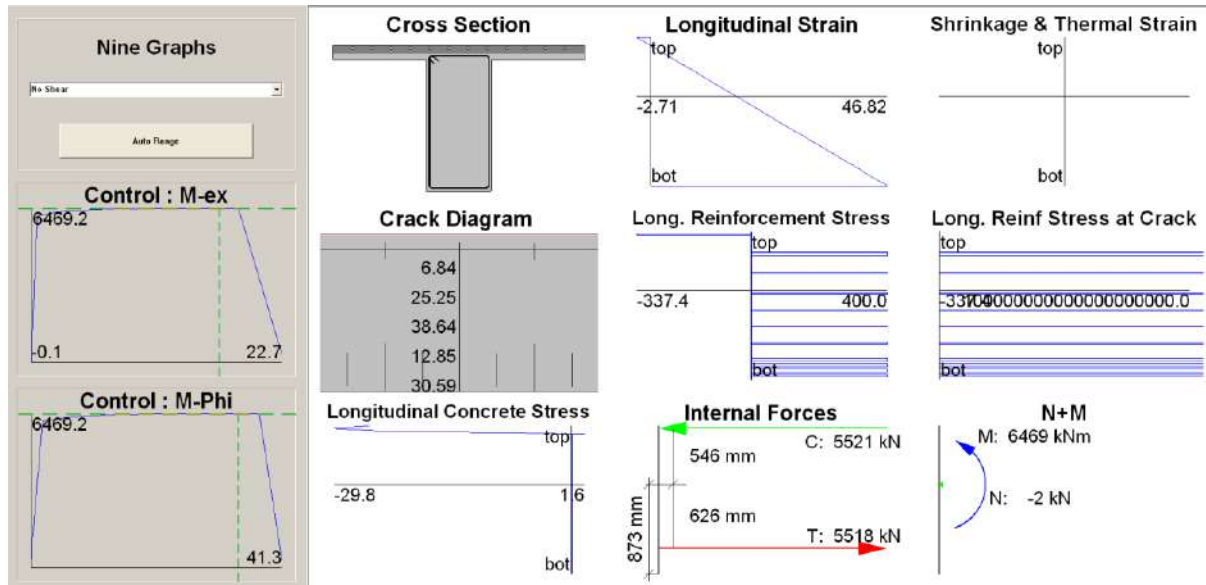
M_{tr} = 87 T-m

Crack width < 0.2 mm

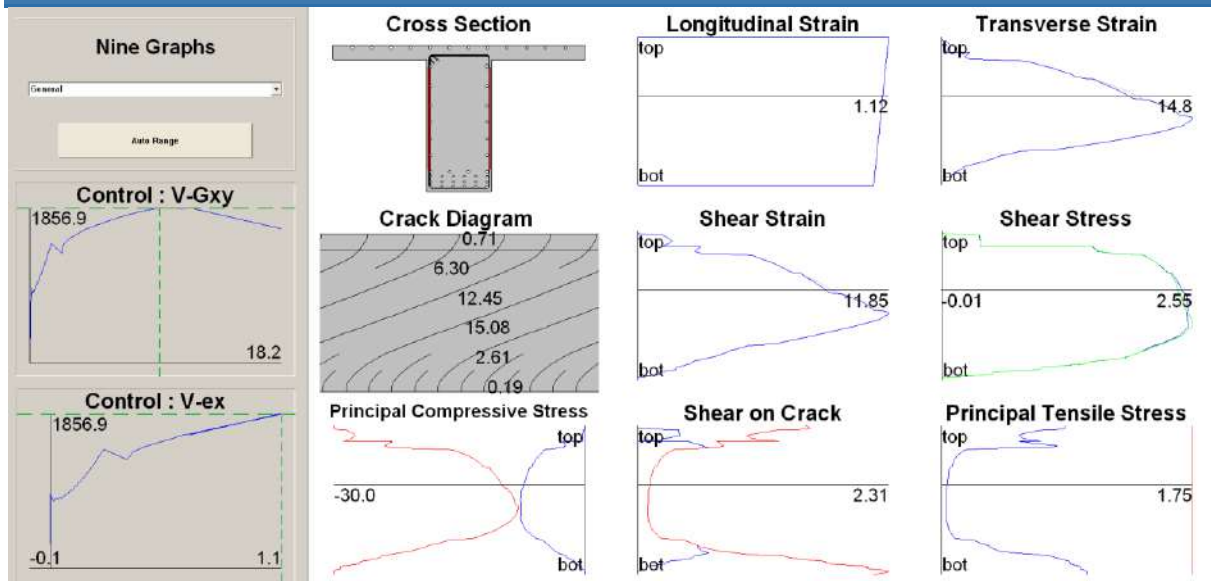
รูปที่ 13-56 ผลการเปรียบเทียบความสะพานในการรับน้ำหนักของสะพานเสริมกำลังโดย RC Jacketing



รูปที่ 13-57 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเสริมกำลังด้วย RC Jacketing



รูปที่ 13-58 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ดัดของสะพานเสริมกำลังด้วย RC Jacketing



รูปที่ 13-59 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเสริมกำลังด้วย RC Jacketing

โดยรายละเอียดการออกแบบ แสดงในแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่แนบมากับรายงานฉบับนี้

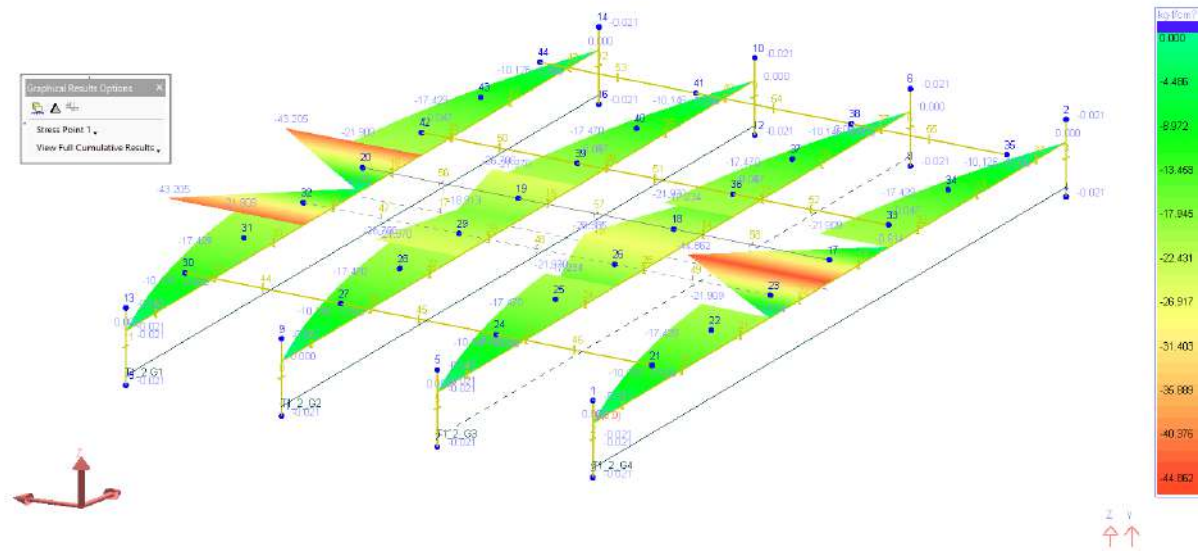
13.5.2.3. การออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber)

ในการออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) ที่ปรึกษาได้ดำเนินการออกแบบเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักของบรรทุกจร (HL-93) ได้ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

โดยในการออกแบบ ที่ปรึกษาจะพิจารณาในช่วง Service Stage และช่วง Ultimate Stage โดยในช่วง Service Stage จะทำการวิเคราะห์ผลของขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานจนถึงสภาพของสะพานในปัจจุบัน แล้วจึงทำการเสริม Carbon Fiber และ Coating ปิด แล้วจึงวิเคราะห์สะพานที่เสริมกำลังแล้วภายใต้ผลของน้ำหนักบรรทุกจร ดังแสดงดังนี้

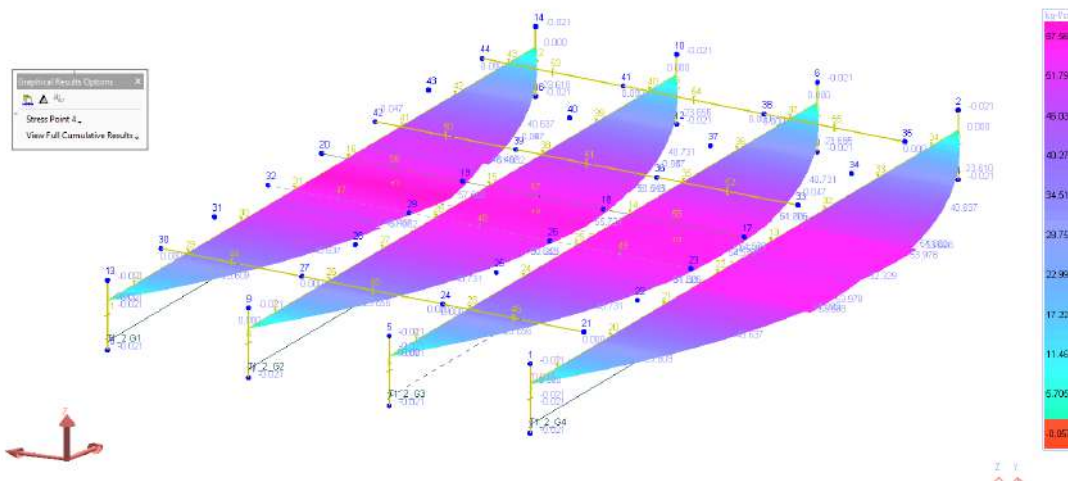
ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพาน ก่อนการเสริมกำลัง เนื่องจาก DL+SDL+TIME EFFECT

Zoom: 1.663K Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 1 - 75 years / step



รูปที่ 13-60 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

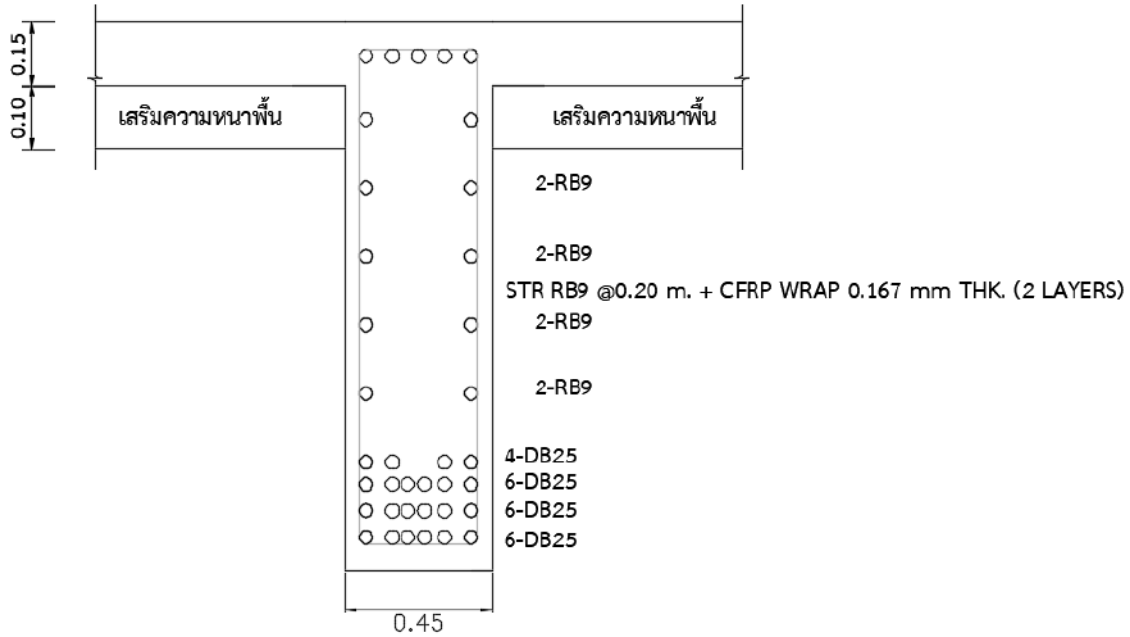
Zoom: 1.963K Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 4 - 75 years / step



รูปที่ 13-61 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานและกำลังที่เหลืออยู่ที่จำเป็นต้องเสริมกำลัง ที่ปรึกษา ออกแบบเสริมกำลังเฉพาะแรงเฉือนโดยเพิ่มการเสริม CFRP แบบผืน (WRAP) ด้านข้างของคานในช่วง รับแรงเฉือนด้วยวัสดุ CFRP WRAP หนา 0.167 MM หุ้มจำนวน 2 ชั้น ดังแสดงในรูป





รูปตัดคานสะพานเสริมกำลัง (CFRP)
 มาตรฐาน 1:25

จากนั้น ที่ปรึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของสะพานที่ Strength Limit State เพื่อยืนยันความสามารถในการรับน้ำหนัก และยังตรวจสอบ Crack Width ที่ระดับ Service Limit State ภายหลังจากการเสริมกำลังด้วย Carbon Fiber แสดงดังนี้

Case 4: Strengthening by CFRP

	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		23.5				119.6
SDL		3				15
LL+IM		22				112
PS		0				0
STR1	0	72.375	0	0	0	368

0.85*Shear Capacity = 75.44 T (Strengthening) OK
 0.9*Moment Capacity = 426.96 T-m (Existing) OK

MS = 246.6 T-m
 M_{cr} = 59 T-m
 Crack width < 0.2 mm

รูปที่ 13-62 ผลการเปรียบเทียบความสะพานในการรับน้ำหนักของสะพานเสริมกำลังโดย Carbon Fiber

โดยรายละเอียดการออกแบบแสดงในแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่แนบมากับรายงานฉบับนี้

13.5.3. การเปรียบเทียบราคาต้นทุนการเสริมกำลัง

จากแนวทางการคำนวณกิจกรรมการบูรณะข้างต้น ที่ปรึกษาได้ดำเนินการประมาณราคาต้นทุนงานบูรณะสะพาน ทั้ง 3 วิธี แสดงดังนี้ โดยรายละเอียดการคิดราคาแสดงในบทการประมาณราคาค่าเสริมกำลังโครงสร้างสะพาน

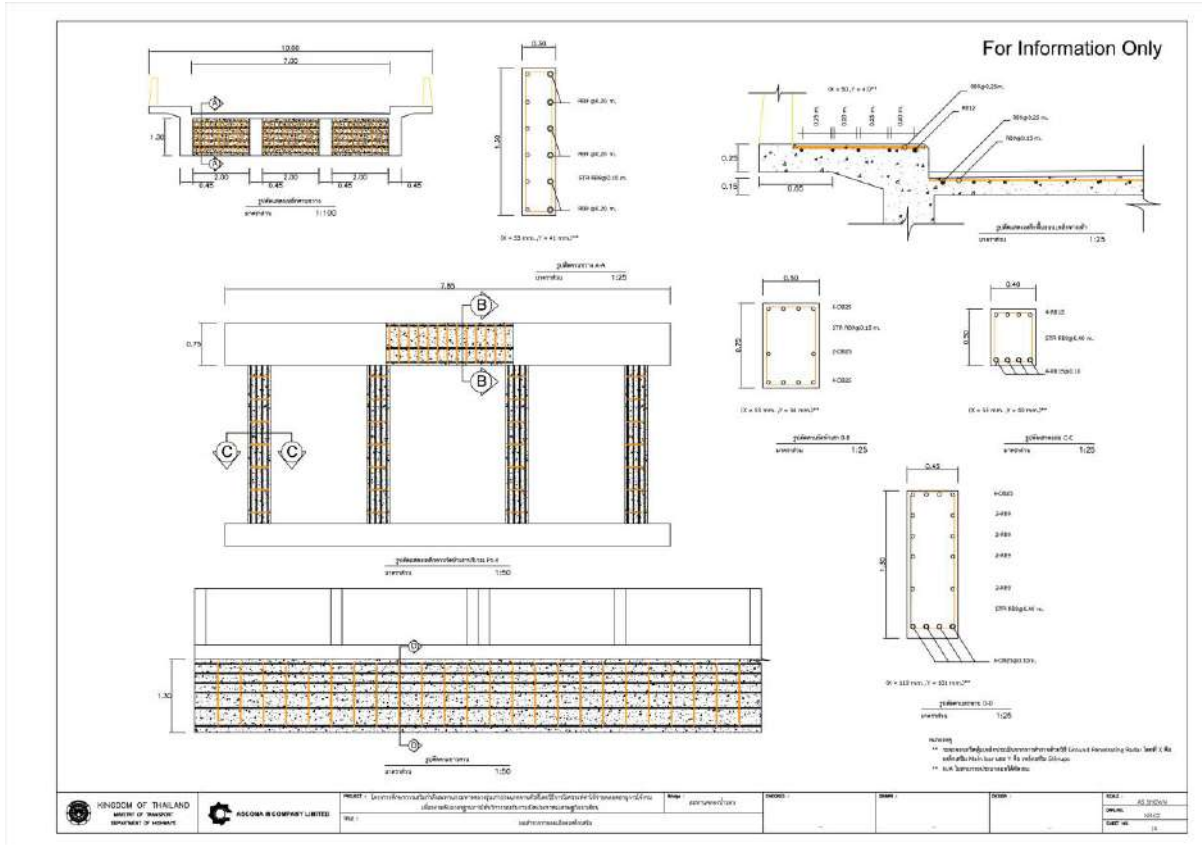
สะพานข้ามคลองยัน (6x20m)

1) วิธี RC Jacketing	ราคาต่อสะพาน	5,978,936 บาท (ไม่รวม Factor F)
2) วิธี Internal Prestressing	ราคาต่อสะพาน	6,300,468 บาท (ไม่รวม Factor F)
3) วิธี Carbon Fiber	ราคาต่อสะพาน	7,927,689 บาท (ไม่รวม Factor F)

จากราคาต้นทุนข้างต้น ที่ปรึกษาจะนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานเพื่อหารูปแบบวิธีการเสริมกำลังที่เหมาะสมในบทถัดไป

13.6 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานคลองน้ำรอบ

สะพานคลองน้ำรอบตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 16 นครศรีธรรมราช แขวงทางหลวง นครศรีธรรมราชที่ 1 จังหวัด นครศรีธรรมราช หมายเลขทางหลวง 4238 กม.กลางสะพาน 13+887 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2522 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 1951 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง ST(1x10) + TG(1x15) + TG(1x20) + TG(1x15) + ST(1x10) ความกว้างผิวทาง 7 เมตร



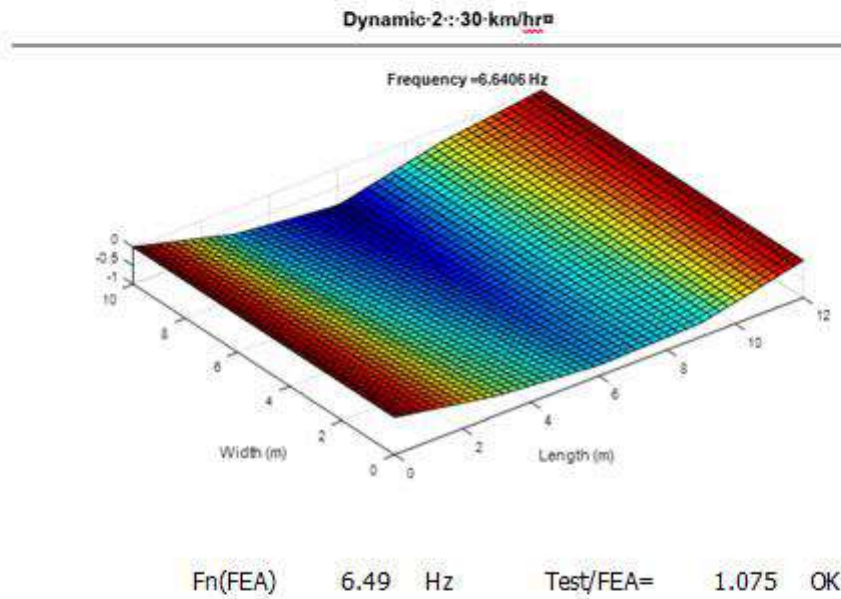
รูปที่ 13-63 แบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม

13.6.1. การตรวจสอบความสามารถการรับน้ำหนักของสะพาน

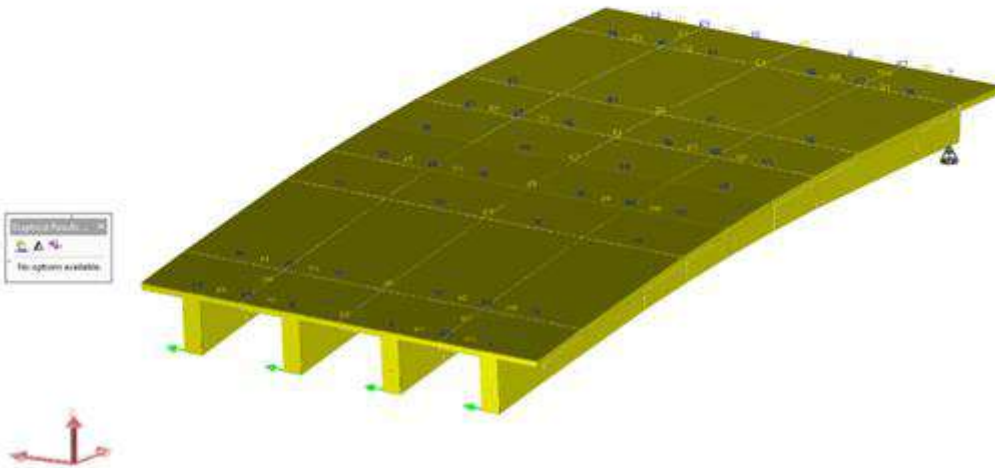
ตัวอย่างของแบบจำลองที่ปรับค่าและเปรียบเทียบกับ Natural Frequency ของสะพานที่ได้รับ การทดสอบในภาคสนามแสดงดังนี้

ตารางที่-6.6-5 ผลการวิเคราะห์-Natural-Frequency, Mode-Shape และ-Damping-Ratio

Test	Freq.	Mode Shape	Damping Ratio					
			AC 01	AC 02	AC 03	AC 04	AC 05	AC 06
Dynamic 1	6.787	1st Bending	2.644	2.564	2.651	2.621	2.566	2.658
Dynamic 2	6.641	1st Bending	2.897	2.394	2.935	2.556	2.403	2.938
Dynamic 3	7.52	1st Bending	3.643	5.364	3.648	3.357	5.462	3.648



Size: 13000
 Mode Shape: MF (X, Y, Z) 2/52
 Scale Factor: 1



รูปที่ 13-64 แบบจำลองที่ได้ปรับค่ากับการทดสอบภาคสนามโดย Finite Element Updating

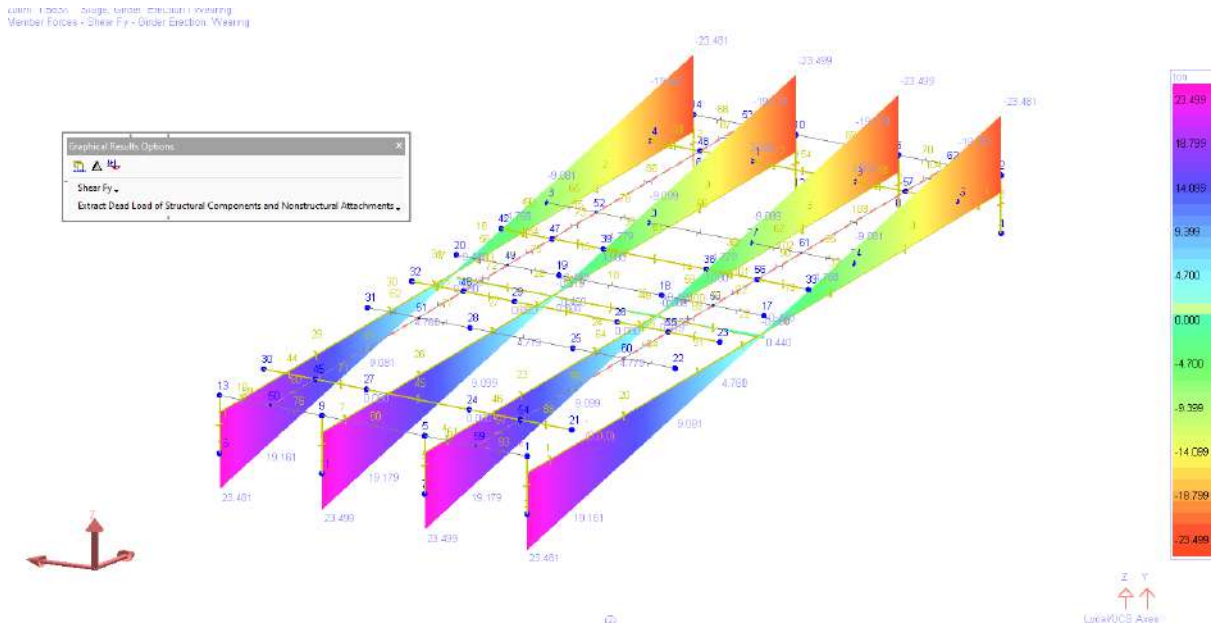


13.6.1.1. การวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน

ในหัวข้อนี้ แบบจำลองที่ได้ทำการปรับค่าแล้วจากวิธี Finite Element Updating จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาแรงภายในต่าง ๆ เพื่อใช้ประกอบการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานภายใต้น้ำหนักบรรทุกจร (HL-93) และใช้ในการประกอบการออกแบบเสริมกำลังต่อไป

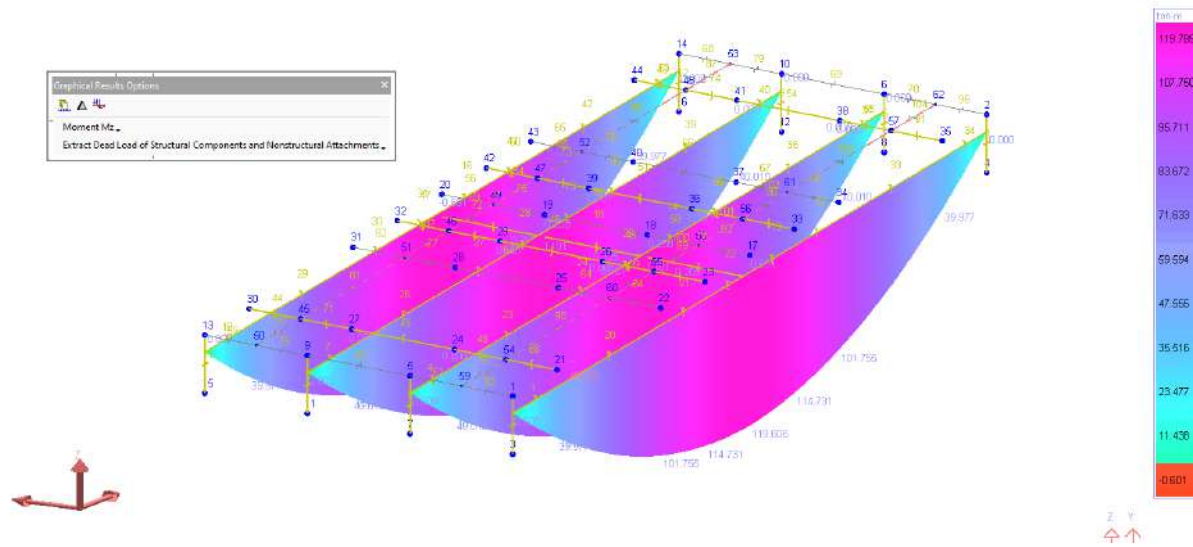
ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน ที่ปรึกษาจะวิเคราะห์โดยใช้วิธี Construction Stage Analysis เพื่อให้สามารถพิจารณาผลของขั้นตอนการก่อสร้าง และคุณสมบัติวัสดุของสะพานเทียบกับเวลา เป็นต้น

ตัวอย่างของผลการวิเคราะห์สะพาน แสดงดังนี้



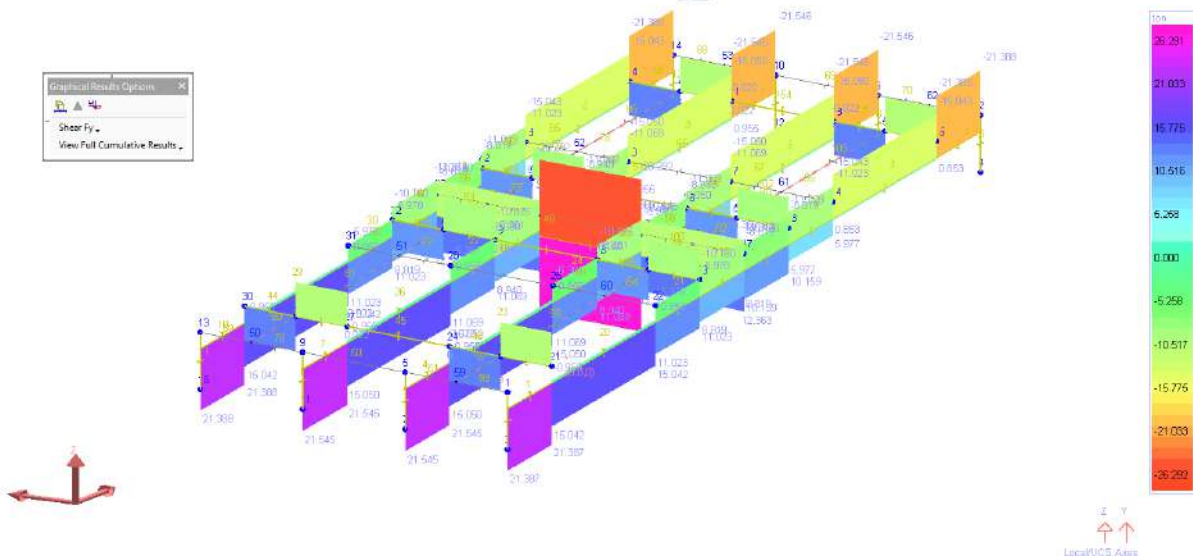
รูปที่ 13-65 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก DL

Zoom: 1.5036 Stage: Girder Erection / Wearing
 Member Forces - Moment Mz - Girder Erection / Wearing



รูปที่ 13-66 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดของสะพาน เนื่องจาก DL

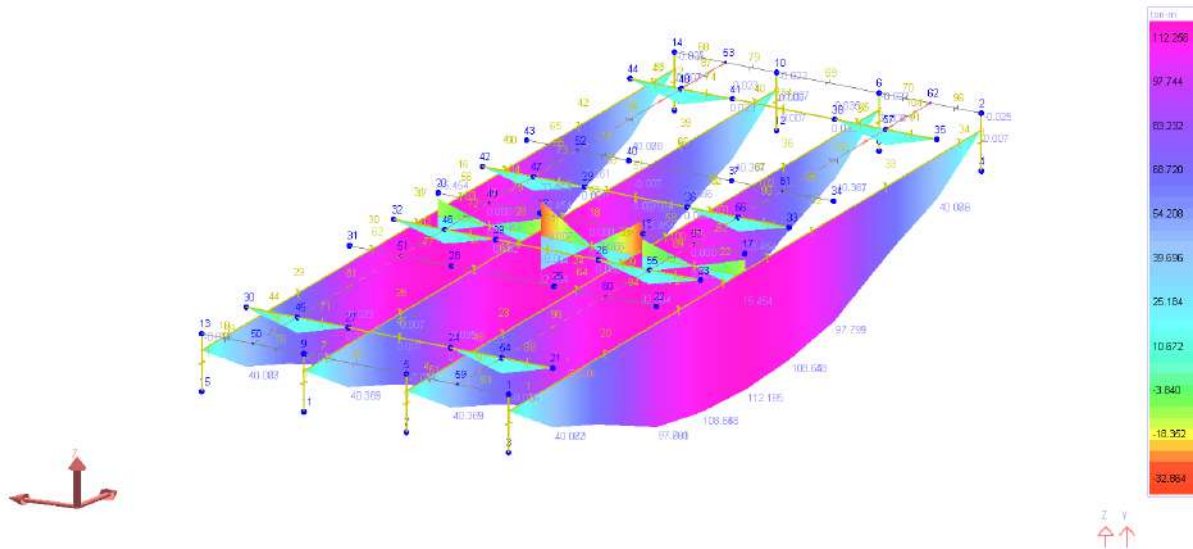
Zoom: 1.5833 Stage: LL 1 Girder / Step 1
 Member Forces - Shear Fy - Left Lane/HL-93 Design Truck/Lane Load (EE) Right Lane/HL-93 Design Truck/Lane Load (EE)



รูปที่ 13-67 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)



Zoom: 1.563x Stage: LL+IM-Order / Step: 1
 Member Forces - Moment Mz - Left Lane/HL-93 Design Truck/Lane Load (EE), Right Lane/HL-93 Design Truck/Lane Load (EE)



รูปที่ 13-68 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังของสะพานตามสภาพเดิมในปัจจุบันไม่สามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจาก HL-93 ได้ ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD และควรดำเนินการเสริมกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 13-69 ถึงรูปที่ 13-72

Case 1: Existing Condition of Bridge

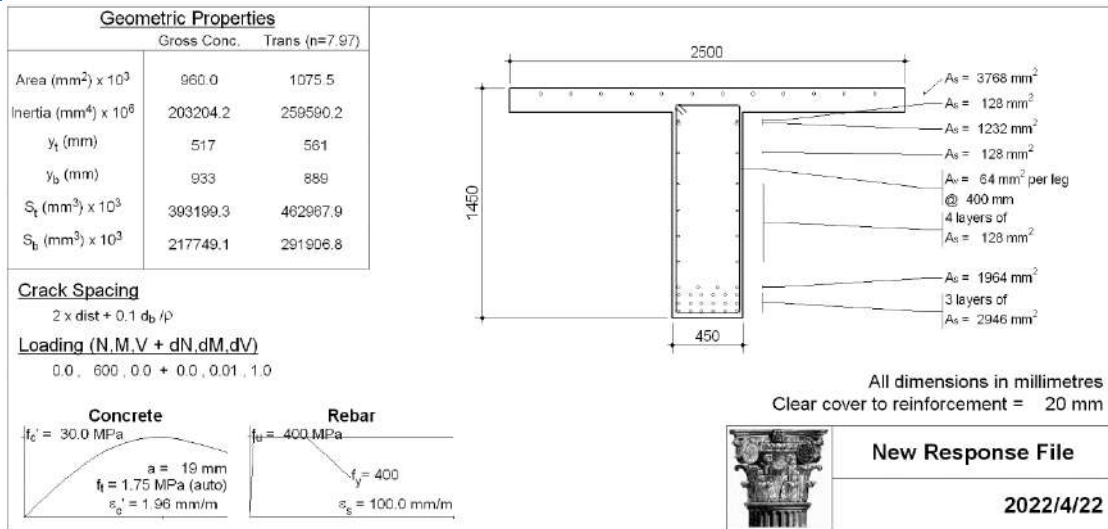
	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		23.5				119.6
SDL		3				15
LL+IM		22				112
PS		0				0
STR1	0	72.375	0	0	0	358

- 0.85*Shear Capacity = 61.115 T (New Condition)
- 0.9* Moment Capacity = 533.7 T-m (New Condition)
- 0.85*Shear Capacity = 48.892 T (Current Condition) Required Strengthening
- 0.9* Moment Capacity = 426.96 T-m (Current Condition)

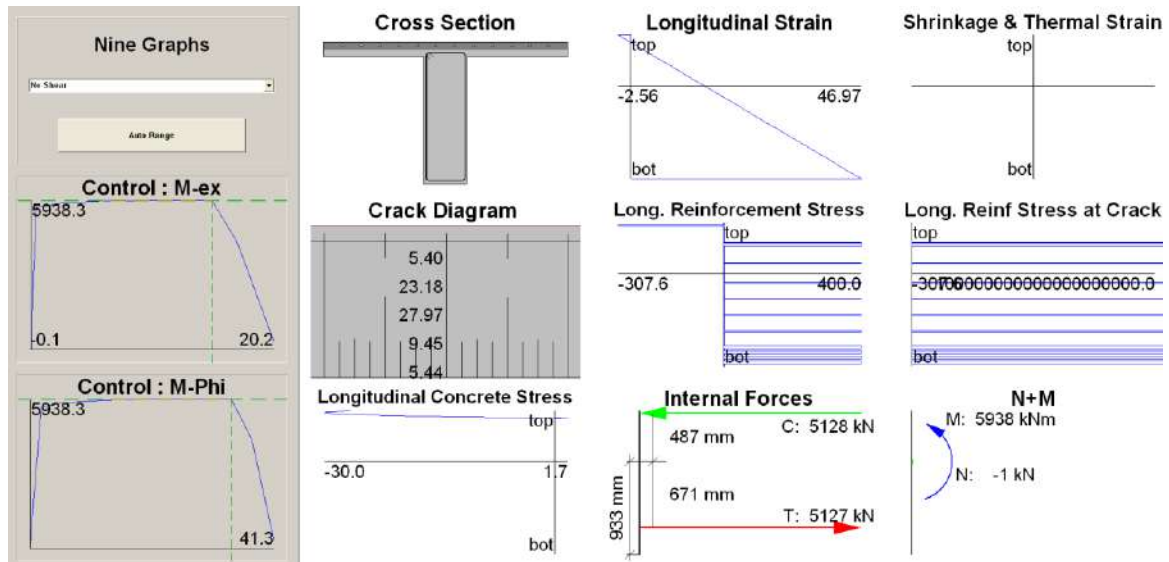
ตารางที่ 4-2 การประเมินระดับความเสียหายหรือสภาพการใช้งานโดยรวม

บริเวณ ชิ้นส่วน	ประเภท ชิ้นส่วน	สภาพการใช้งาน (Condition Rating CR)	ระดับความเสียหาย (Damage Rating DR = 5 - CR)	ระดับความสำคัญหรือชิ้นส่วน (W)	WDR
S1-T01	Gider	2	3	1	3
S1-T02	Gider	2	3	1	3
S1-T03	Gider	2	3	1	3
S1-T04	Gider	2	3	1	3
S2-T03	Gider	2	3	1	3
Weighted Critical Damage Rating (WCDR)					3
Weighted Critical Condition Rating (CCDR = 5 - WCDR)					2

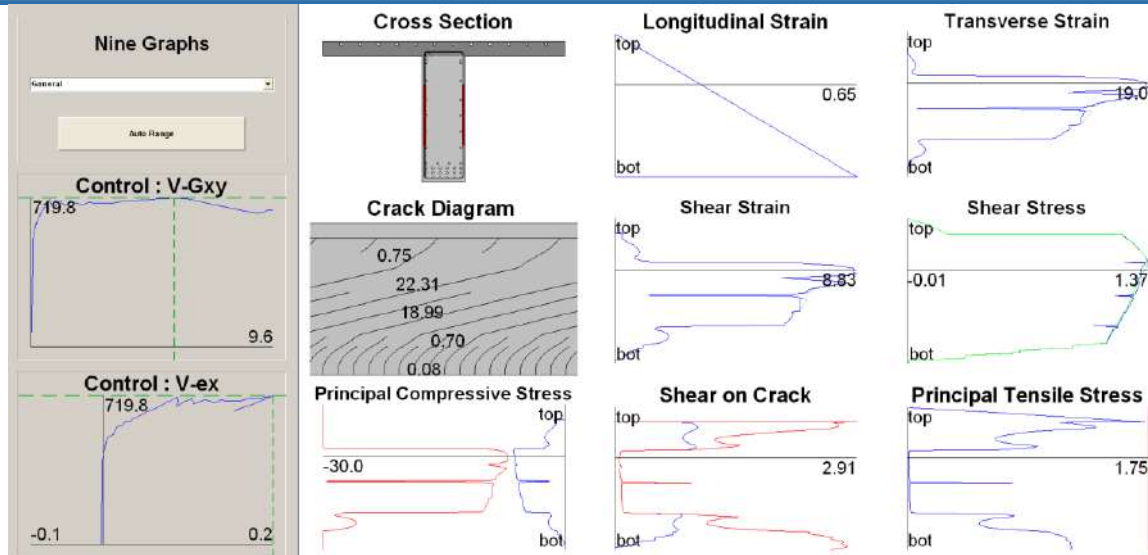
รูปที่ 13-69 การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานเดิม



รูปที่ 13-70 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเดิม



รูปที่ 13-71 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ตัดของสะพานเดิม



รูปที่ 13-72 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเดิม

13.6.2. รูปแบบการเสริมกำลัง

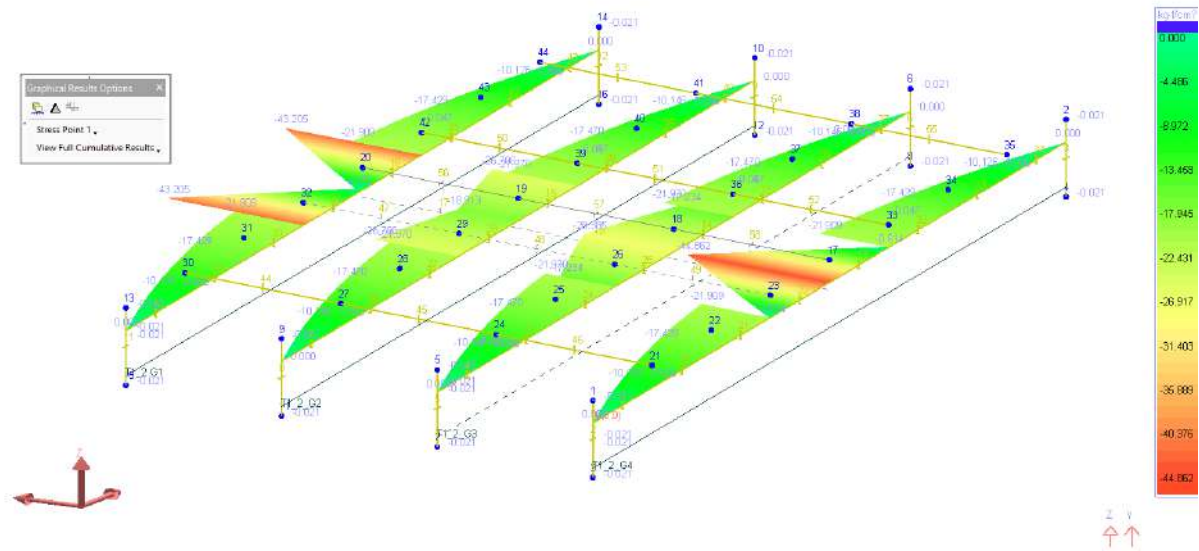
13.6.2.1. การออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีลวดอัดแรง (Prestressing System)

ในหัวข้อนี้ ที่ปรึกษาจะนำแนวทางการเสริมกำลังสะพานโดยวิธีลวดอัดแรง (Prestressing System) มาใช้ในการออกแบบเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักของบรรทุกจร (HL-93) ได้ ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

โดยในการออกแบบ ที่ปรึกษาจะพิจารณาในช่วง Service Stage และช่วง Ultimate Stage โดยในช่วง Service Stage จะทำการวิเคราะห์ผลของขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานจนถึงสภาพของสะพานในปัจจุบัน แล้วจึงทำการเสริมส่วนของลวดอัดแรงและพอกคอนกรีตปิด แล้วจึงวิเคราะห์สะพานที่เสริมกำลังแล้วภายใต้ผลของน้ำหนักบรรทุกจร ดังแสดงดังนี้

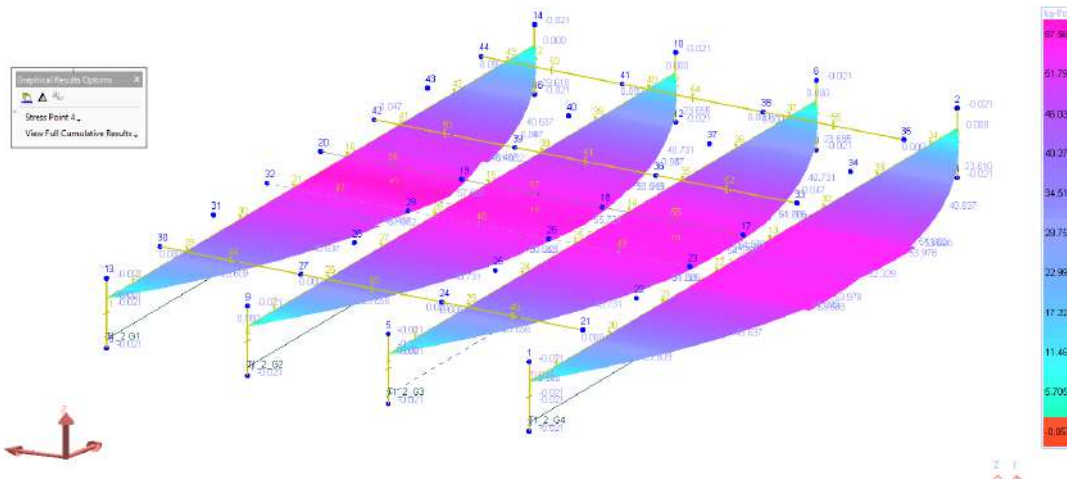
ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพาน ก่อนการเสริมกำลัง เนื่องจาก DL+SDL+TIME EFFECT

Zoom: 1.663K Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 1 - 75 years - step



รูปที่ 13-73 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

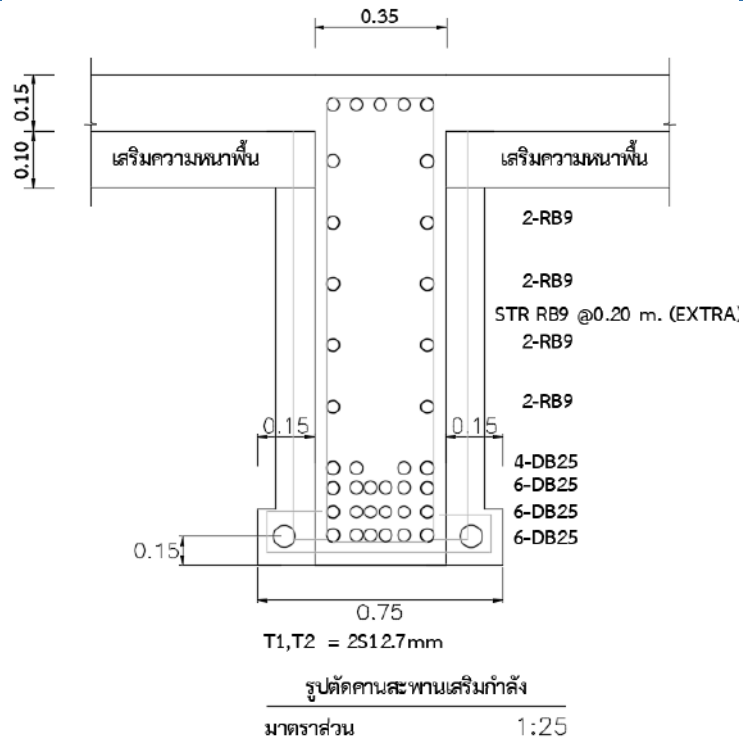
Zoom: 1.963K Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 4 - 75 years - step



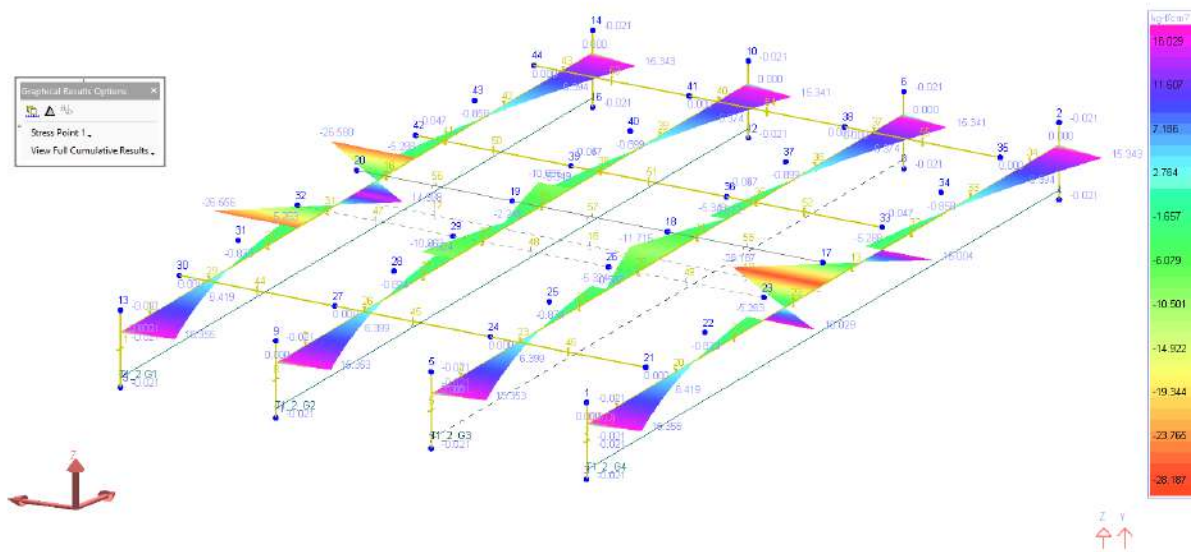
รูปที่ 13-74 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานภายหลังการเสริมกำลังโดยใช้ลวดอัดแรงขนาด T1=2-S12.7mm Grade 1860 Mpa และ T2=7-S12.7mm Grade 1860 Mpa โดยจะต้องเสริมเหล็ก Stirrup RB9@0.20m (Extra)



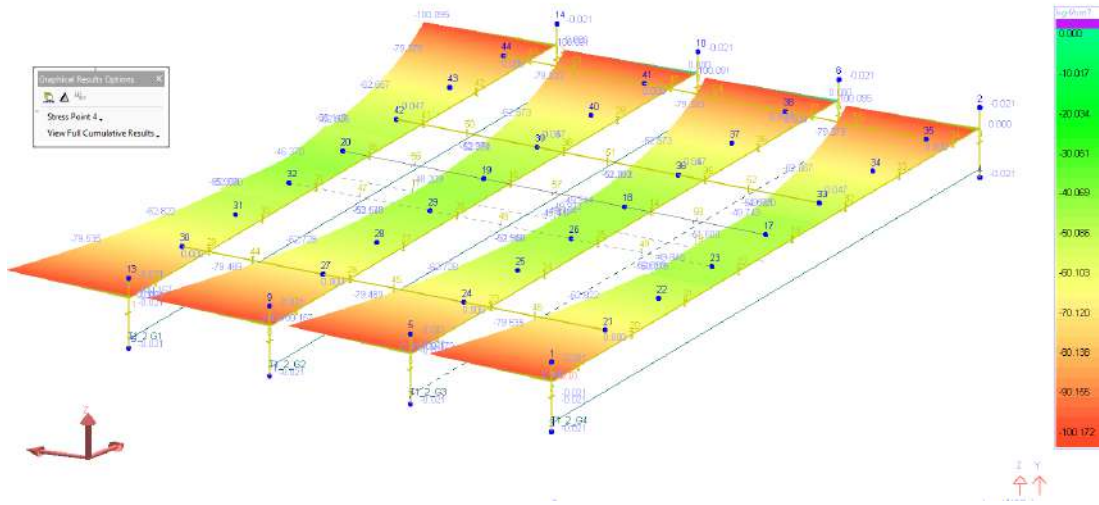


Zaini - 1 5631 - Stage: Strengthening / Step 1
 Member: G13653 - Stress: Fort 1 - Strengthening / Step 1: FT Activity



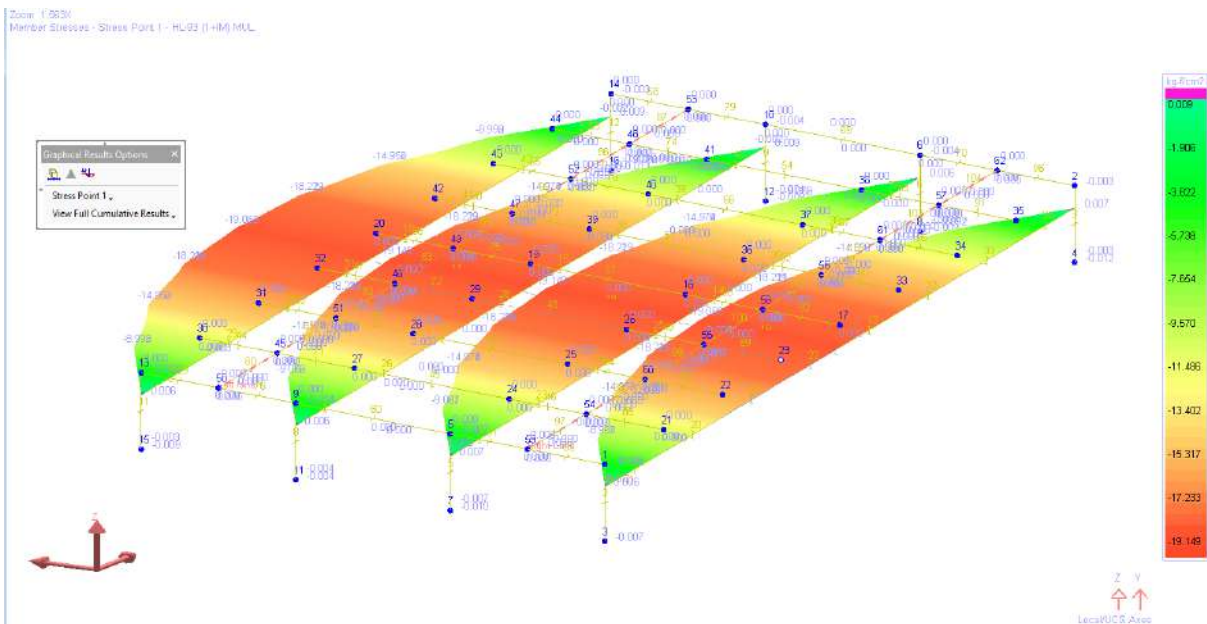
รูปที่ 13-75 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลัง: DL+SDL+TIME+PS

Zoom: 1.6256 - Stage: Strengthening / Step 1
 Member Stresses - Stress Point 4 - Strengthening / Step 1: FT Active



รูปที่ 13-76 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลัง:
 DL+SDL+TIME+PS

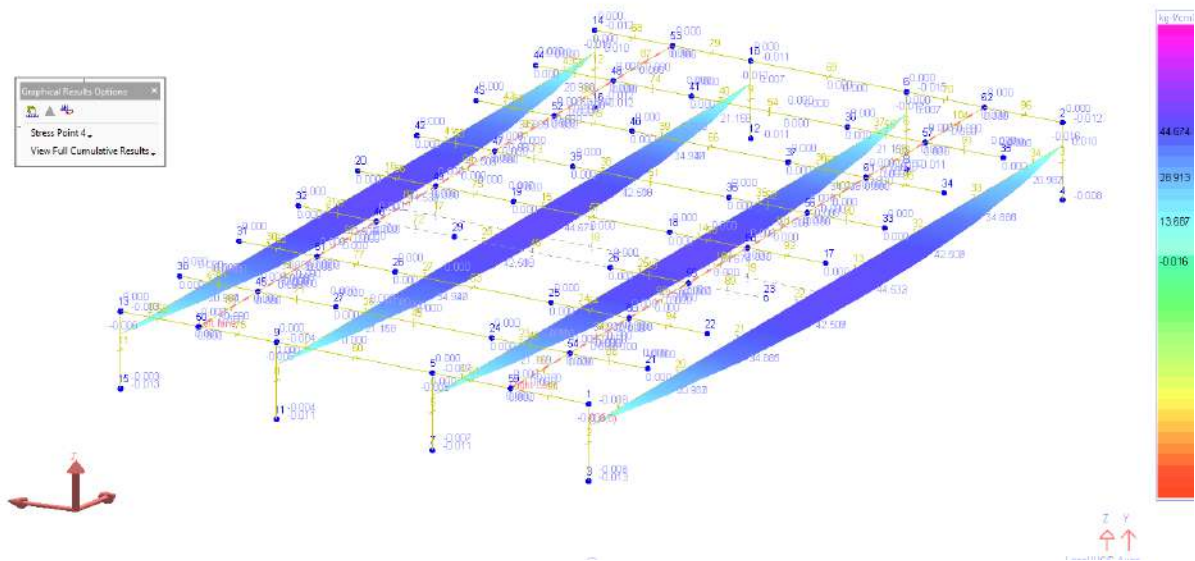
โดยเมื่อดำเนินการนำผลของค่าความเค้นของสะพานภายหลังการเสริมกำลัง มาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นของสะพานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกจร (HL-93) พบว่า สามารถรองรับความเค้นที่เกิดขึ้นได้ตามมาตรฐาน ดังแสดงดังนี้



รูปที่ 13-77 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลัง เนื่องจาก HL-93
 เท่านั้น



Zoom: 1.563x
 Member Stresses - Stress Point 4 - HL-93 (1+04) Mill



รูปที่ 13-78 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลังเนื่องจาก HL-93 เท่านั้น

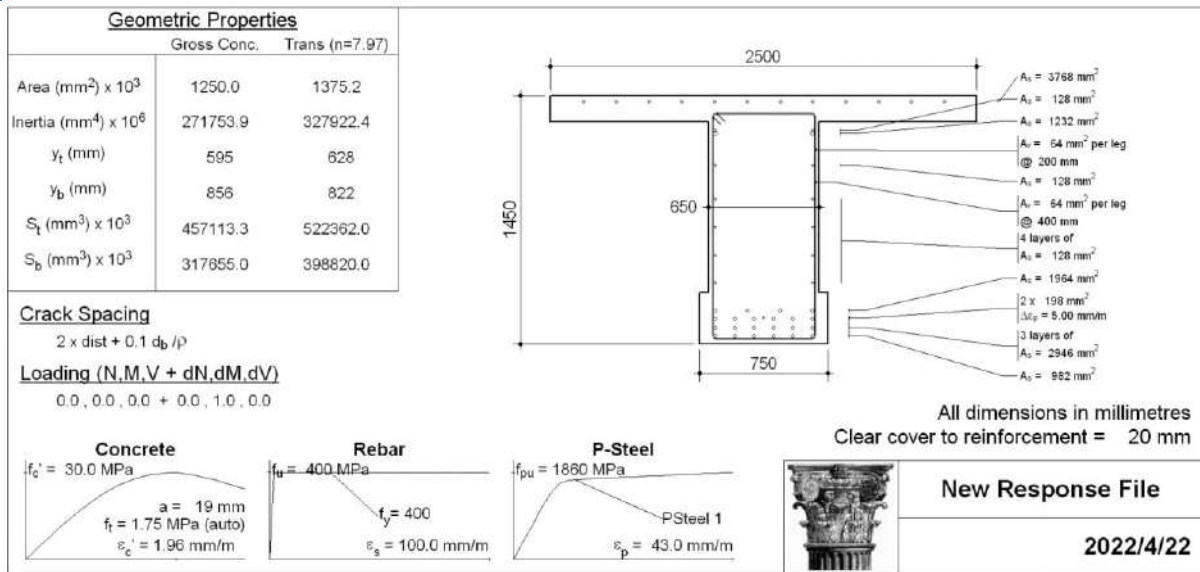
จากนั้น ที่ปรึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของสะพาน ที่ Strength Limit State เพื่อยืนยันความสามารถในการรับน้ำหนัก ภายหลังจากเสริมกำลังด้วย Prestressing System แสดงดังนี้

Case 2: Strengthening by PS

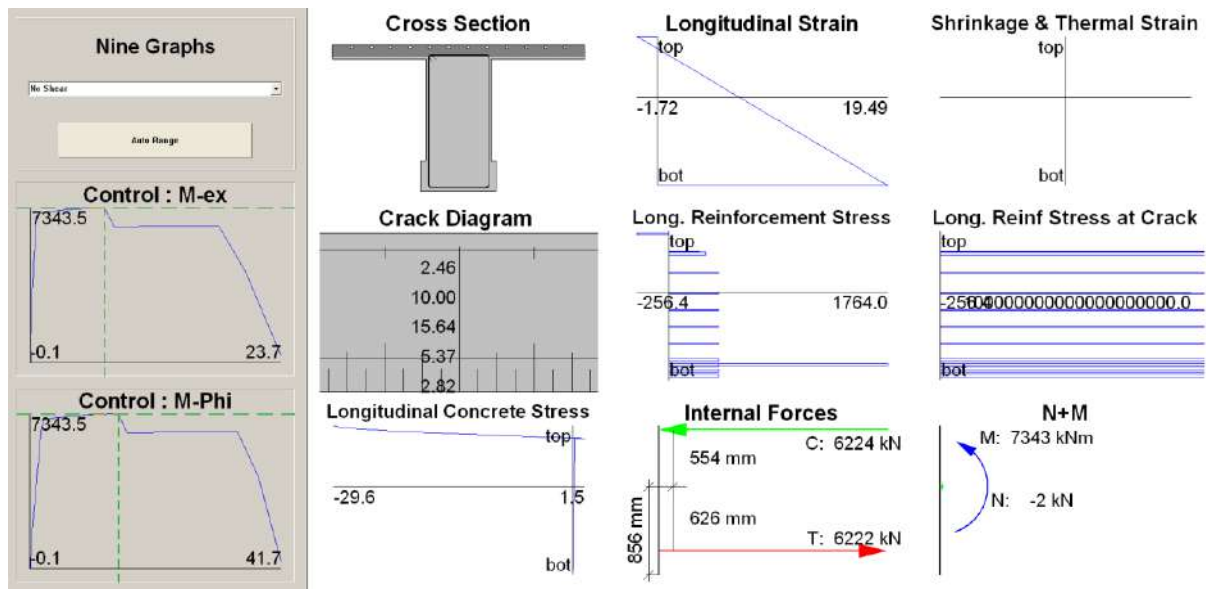
	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		28.54				245.6
SDL		3				15
LL+IM		22				112
PS		0				0
STR1	0	78.675	0	0	0	525.5

0.85*Shear Capacity = 125.8 T (Strengthening) OK
 0.9*Moment Capacity = 540 T-m (Strengthening) OK

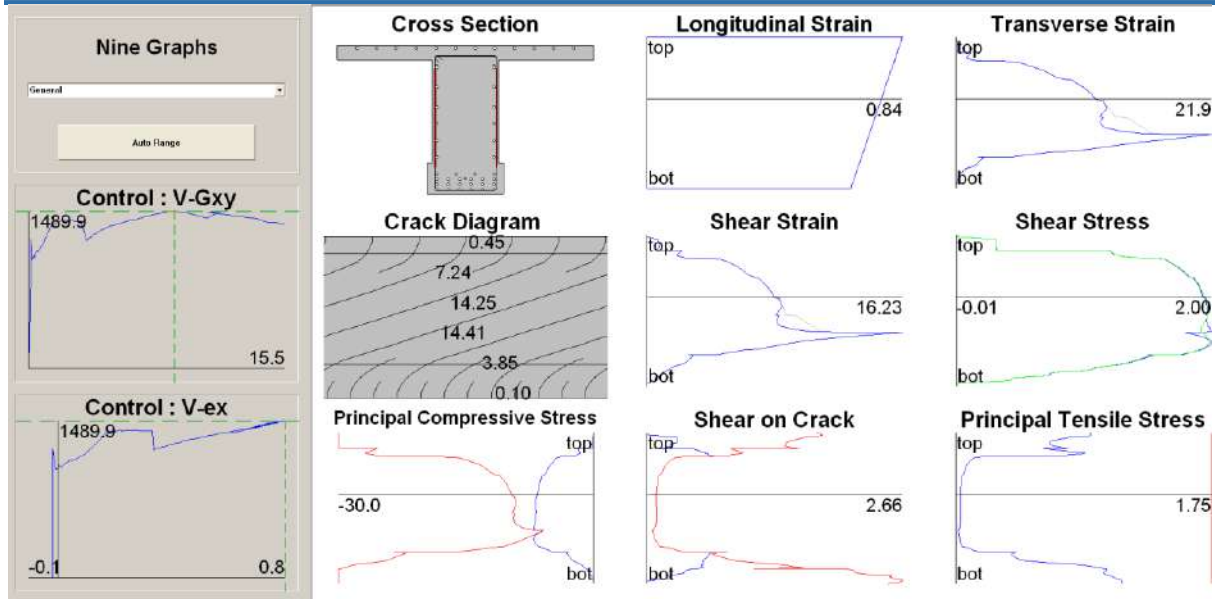
รูปที่ 13-79 ผลการเปรียบเทียบความสะพานในการรับน้ำหนักของสะพานเสริมกำลังโดย Prestressing System



รูปที่ 13-80 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเสริมกำลังด้วย Prestressing System



รูปที่ 13-81 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ตัดของสะพานเสริมกำลังด้วย Prestressing System



รูปที่ 13-82 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเสริมกำลังด้วย Prestressing System

โดยรายละเอียดการออกแบบแสดงในแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่แนบมากับรายงานฉบับนี้

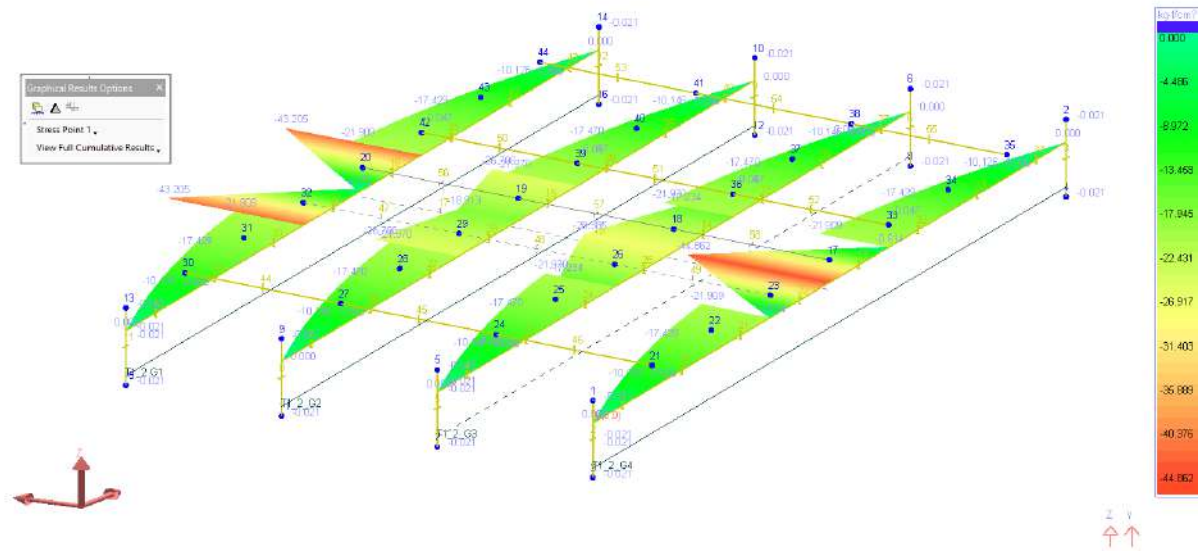
13.6.2.2. การออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีหุ้มคอนกรีต (RC Jacketing)

ในการออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีหุ้มคอนกรีต (Concrete Jacketing) ที่ปรึกษาได้ดำเนินการออกแบบเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักของบรรทุกจร (HL-93) ได้ ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

โดยในการออกแบบ ที่ปรึกษาจะพิจารณาในช่วง Service Stage และช่วง Ultimate Stage โดยในช่วง Service Stage จะทำการวิเคราะห์ผลของขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานจนถึงสภาพของสะพานในปัจจุบัน แล้วจึงทำการเสริมเหล็กและพอกคอนกรีตปิด แล้วจึงวิเคราะห์สะพานที่เสริมกำลังแล้ว ภายใต้ผลของน้ำหนักบรรทุกจร ดังแสดงดังนี้

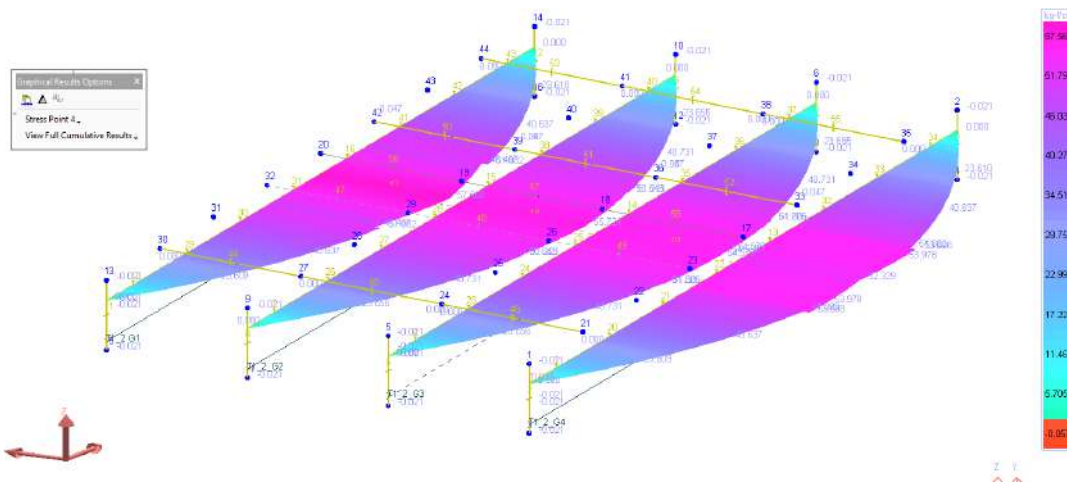
ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานก่อนการเสริมกำลังเนื่องจาก DL+SDL+TIME EFFECT

Zoom: 1.663K Stage: 75 years / step
 Member: Slab100 - Stress Point 1 - 75 years - step



รูปที่ 13-83 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

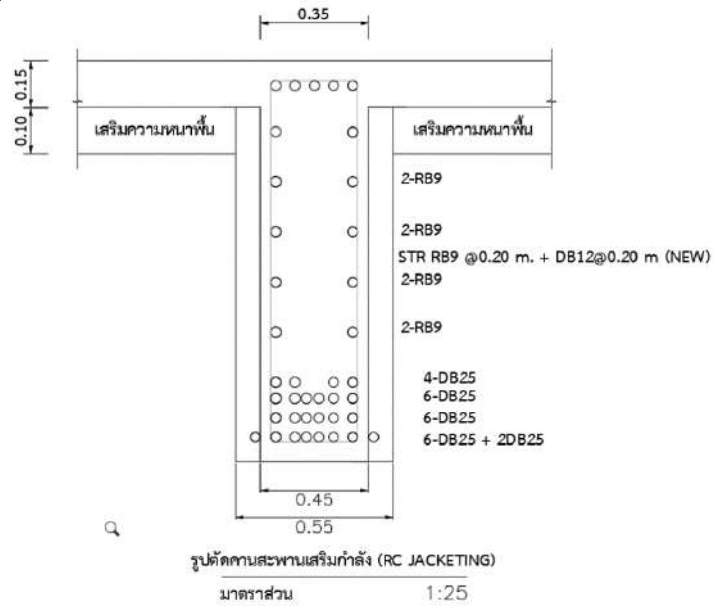
Zoom: 1.963K Stage: 75 years / step
 Member: Slab100 - Stress Point 4 - 75 years - step



รูปที่ 13-84 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพาน และกำลังที่เหลืออยู่ที่จำเป็นต้องเสริมกำลัง ที่ปรึกษาออกแบบเสริมกำลังโดยเพิ่มเหล็กเสริมขนาด DB25 จำนวน 2 เส้น ที่บริเวณท้องของคานและเหล็กปลอกที่ด้านคาน เพิ่ม DB12@0.20 เพื่อช่วยในการรับแรงเฉือน ดังแสดงในรูป





จากนั้น ที่ปรึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของสะพานที่ Strength Limit State เพื่อยืนยันความสามารถในการรับน้ำหนัก และยังตรวจสอบ Crack Width ที่ระดับ Service Limit State ภายหลังการเสริมกำลังด้วย RC Jacketing แสดงดังนี้

Case 3: Strengthening by RCJacketing

	F _x (T)	F _y (T)	F _z (T)	M _x (T-m)	M _y (T-m)	M _z (T-m)
DL		23.02				86.325
SDL		8				29
LL+IM		18.5				72
PS		0				0
STR1	0	73.15	0	0	0	277.4063

0.85*Shear Capacity = 151.3 T (Strengthening) CK

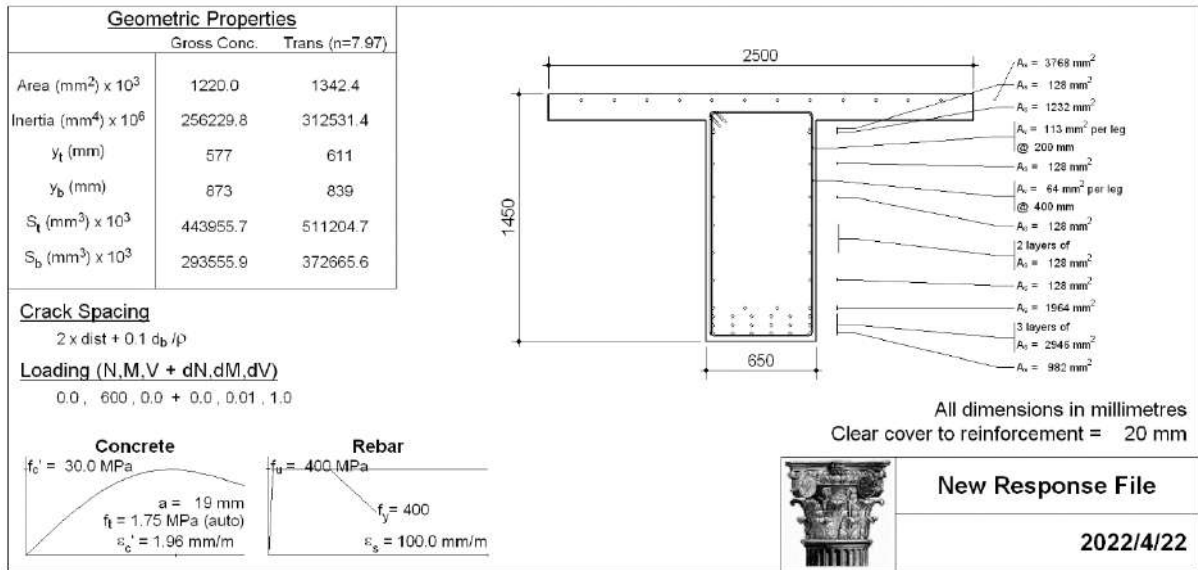
0.9*Moment Capacity = 425.7 T-m (Strengthening) CK

M_S = 187.325 T-m

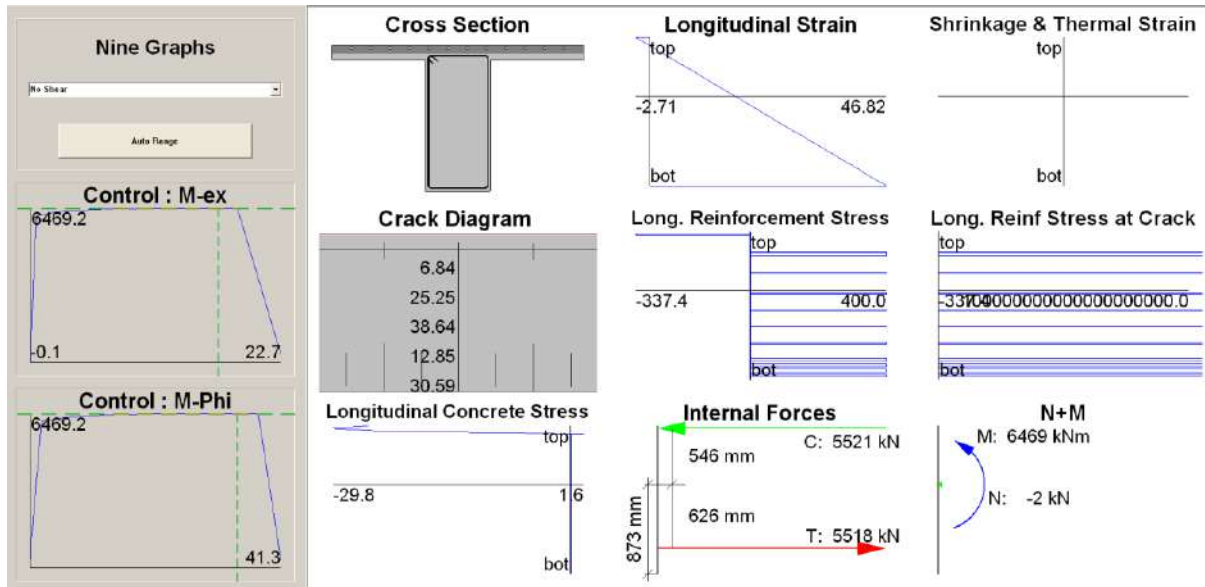
M_{cr} = 87 T-m

Crack width < 0.2 mm

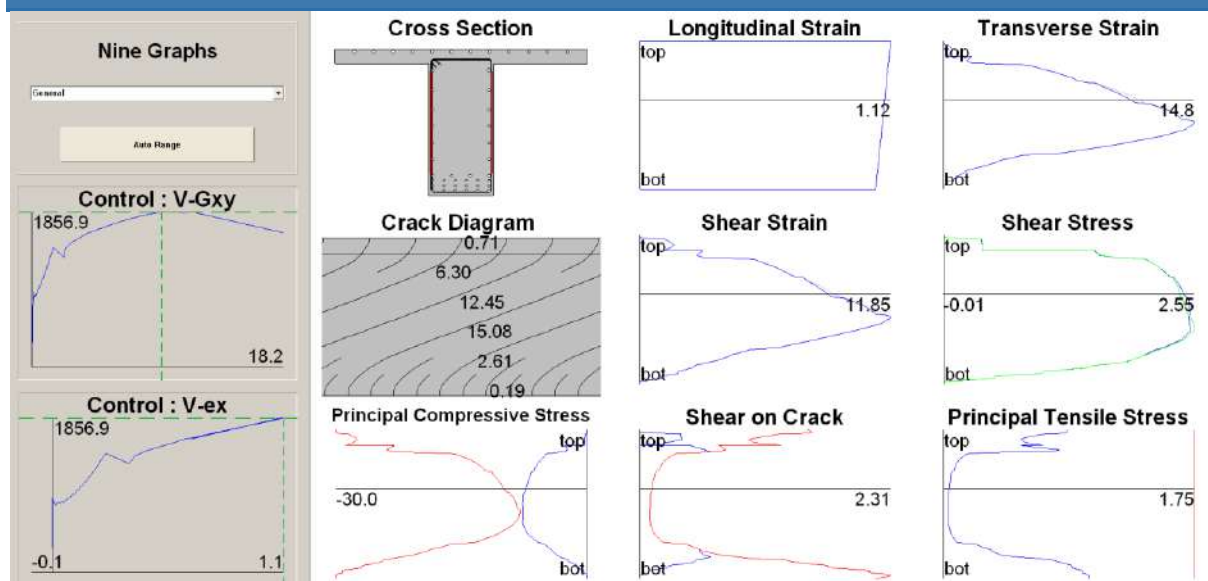
รูปที่ 13-85 ผลการเปรียบเทียบความสะพานในการรับน้ำหนักของสะพานเสริมกำลังโดย RC Jacketing



รูปที่ 13-86 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเสริมกำลังด้วย RC Jacketing



รูปที่ 13-87 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ดัดของสะพานเสริมกำลังด้วย RC Jacketing



รูปที่ 13-88 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเสริมกำลังด้วย RC Jacketing

โดยรายละเอียดการออกแบบ แสดงในแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่แนบมากับรายงานฉบับนี้

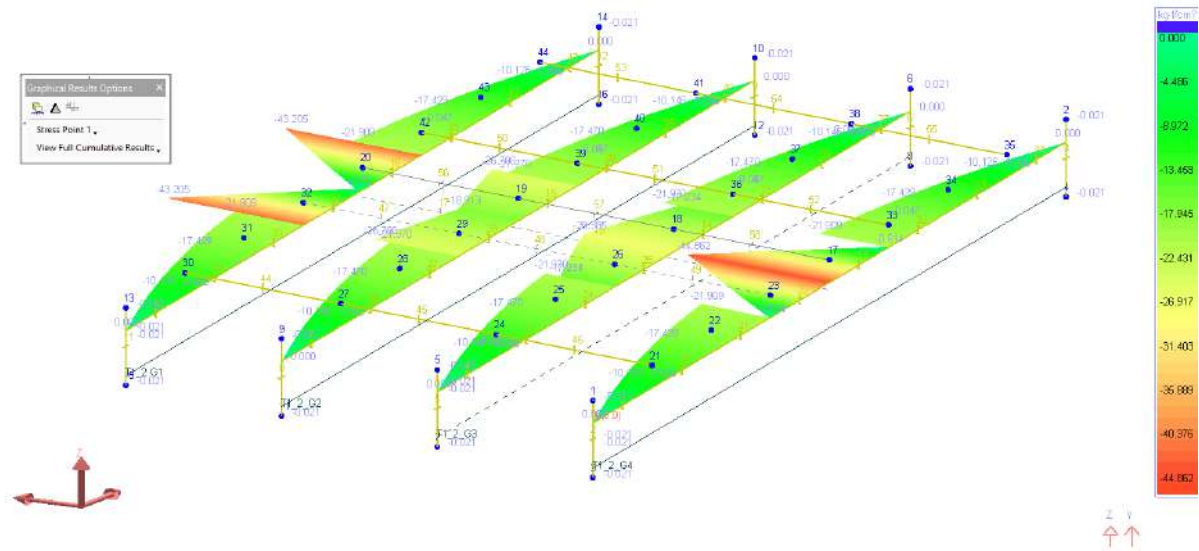
13.6.2.3. การออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber)

ในการออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) ที่ปรึกษาได้ดำเนินการออกแบบเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักของบรรทุกจร (HL-93) ได้ ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

โดยในการออกแบบ ที่ปรึกษาจะพิจารณาในช่วง Service Stage และช่วง Ultimate Stage โดยในช่วง Service Stage จะทำการวิเคราะห์ผลของขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานจนถึงสภาพของสะพานในปัจจุบัน แล้วจึงทำการเสริม Carbon Fiber และ Coating ปิด แล้วจึงวิเคราะห์สะพานที่เสริมกำลังแล้วภายใต้ผลของน้ำหนักบรรทุกจร ดังแสดงดังนี้

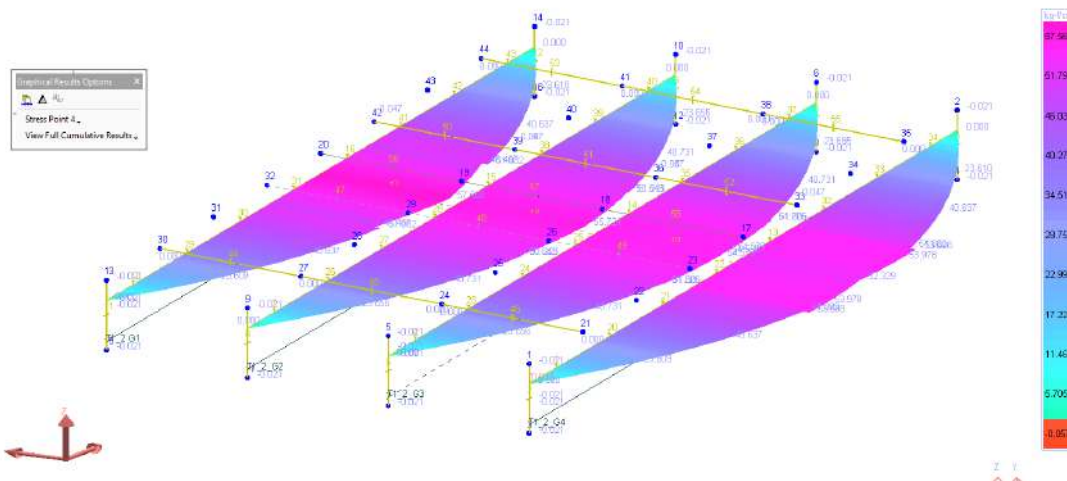
ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานก่อนการเสริมกำลังเนื่องจาก DL+SDL+TIME EFFECT

Zoom: 1.663K Stage: 75 years / step
 Member: Stress - Stress Point 1 - 75 years - step



รูปที่ 13-89 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

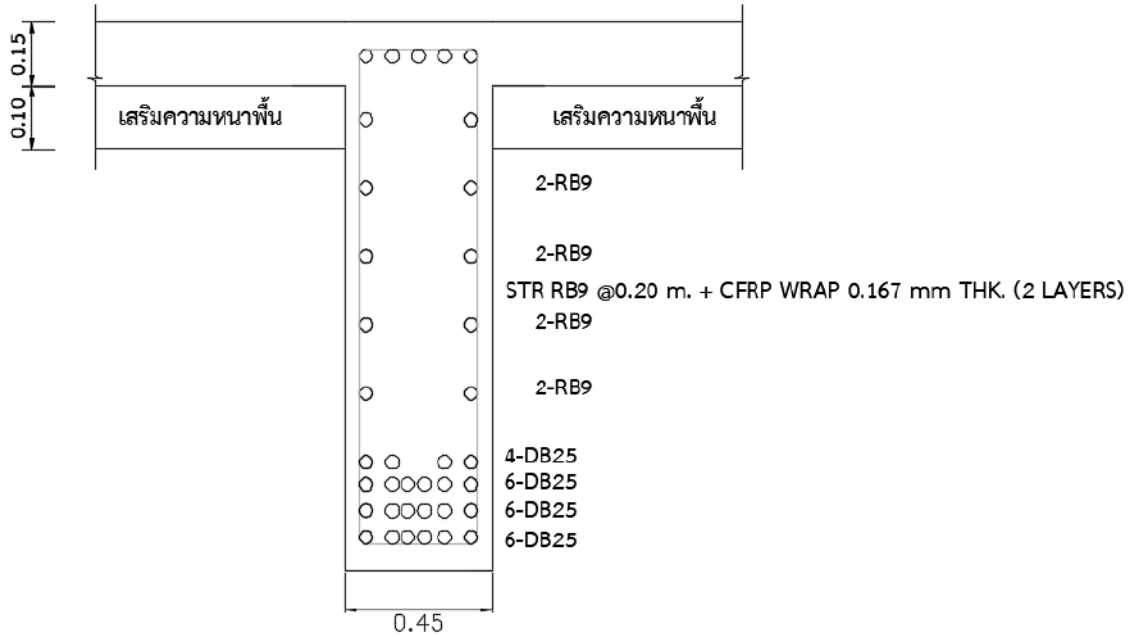
Zoom: 1.963K Stage: 75 years / step
 Member: Stress - Stress Point 4 - 75 years - step



รูปที่ 13-90 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพาน และกำลังที่เหลืออยู่ที่จำเป็นต้องเสริมกำลัง ที่ปรึกษา ออกแบบเสริมกำลังเฉพาะแรงเฉือนโดยเพิ่มการเสริม CFRP แบบผืน (WRAP) ด้านข้างของคานในช่วง รับแรงเฉือนด้วยวัสดุ CFRP WRAP หนา 0.167 MM หุ้มจำนวน 2 ชั้น ดังแสดงในรูป





รูปตัดคานสะพานเสริมกำลัง (CFRP)
 มาตรฐาน 1:25

จากนั้น ที่ปรึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของสะพานที่ Strength Limit State เพื่อยืนยันความสามารถในการรับน้ำหนัก และยังตรวจสอบ Crack Width ที่ระดับ Service Limit State ภายหลังจากการเสริมกำลังด้วย Carbon Fiber แสดงดังนี้

Case 4: Strengthening by CFRP

	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		23.5				119.6
SDL		3				15
LL+IM		22				112
PS		0				0
STR1	0	72.375	0	0	0	268

0.85*Shear Capacity = 75.44 T (Strengthening) OK
 0.9*Moment Capacity = 426.96 T-m (Existing) OK

MS = 246.6 T-m
 M_{cr} = 59 T-m
 Crack width < 0.2 mm

รูปที่ 13-91 ผลการเปรียบเทียบความสะพานในการรับน้ำหนักของสะพานเสริมกำลังโดย Carbon Fiber

โดยรายละเอียดการออกแบบแสดงในแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่แนบมากับรายงานฉบับนี้

13.6.3. การเปรียบเทียบราคาต้นทุนการเสริมกำลัง

จากแนวทางการจําแนกกิจกรรมการบูรณะข้างต้น ที่ปรึกษาได้ ดําเนินการประมาณราคาต้นทุนงานบูรณะสะพาน ทั้ง 3 วิธี แสดงดังนี้ โดยรายละเอียดการคิดราคาแสดงในบทการประมาณราคาค่าเสริมกำลังโครงสร้างสะพาน

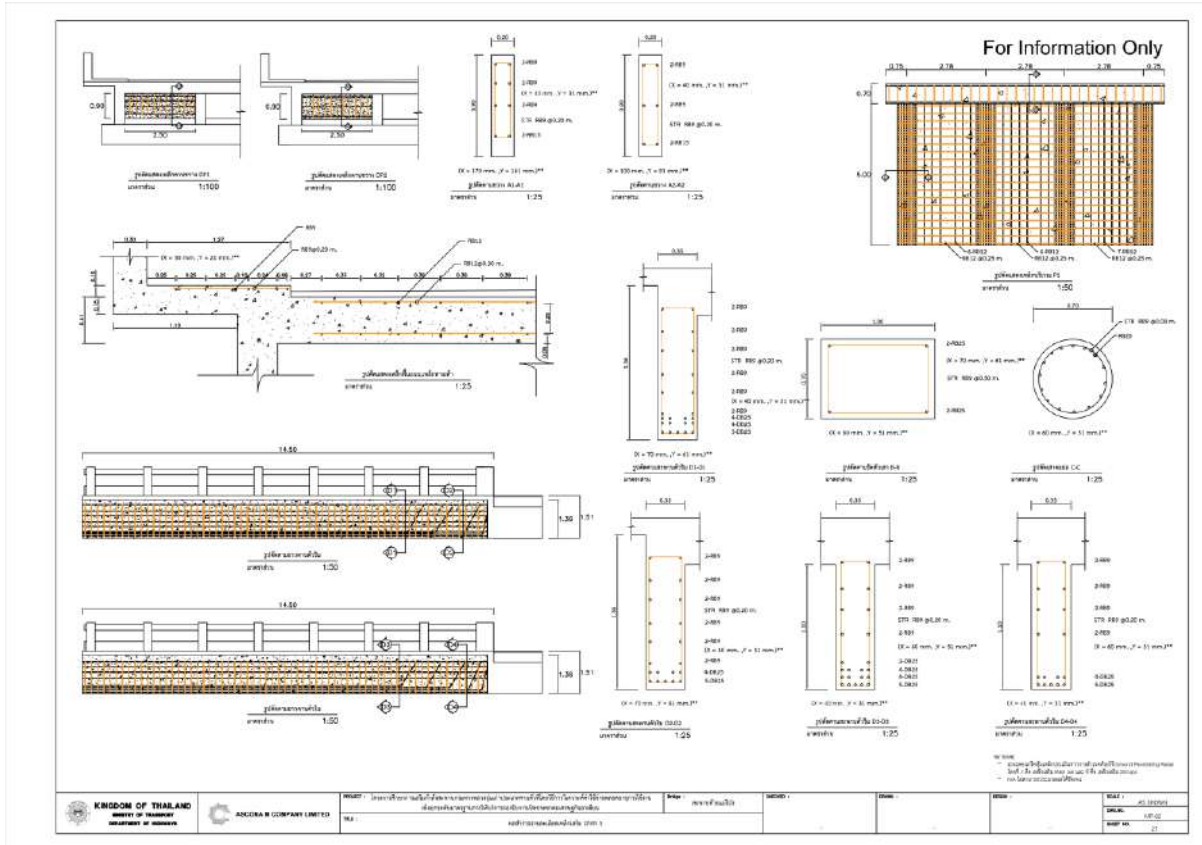
สะพานข้ามคลองน้ำรอบ (15m+20m+15m)

1) วิธี RC Jacketing	ราคาต่อสะพาน	2,387,082 บาท (ไม่รวม Factor F)
2) วิธี Internal Prestressing	ราคาต่อสะพาน	2,071,874 บาท (ไม่รวม Factor F)
3) วิธี Carbon Fiber	ราคาต่อสะพาน	2,691,917 บาท (ไม่รวม Factor F)

จากราคาต้นทุนข้างต้น ที่ปรึกษาจะนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานเพื่อหารูปแบบวิธีการเสริมกำลังที่เหมาะสมในบทถัดไป

13.7 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานห้วยแม่โป่ง

สะพานห้วยแม่โป่งตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 1 เชียงใหม่ แขวงทางหลวงลำปางที่ 2 จังหวัดลำปาง หมายเลขทางหลวง 1 กม.กลางสะพาน 781+243 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2505 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 1,804 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง TG(1x15) + TG(1x17) + TG(1x22) + TG(1x17) + TG (1x15) ความกว้างผิวทาง 8 เมตร



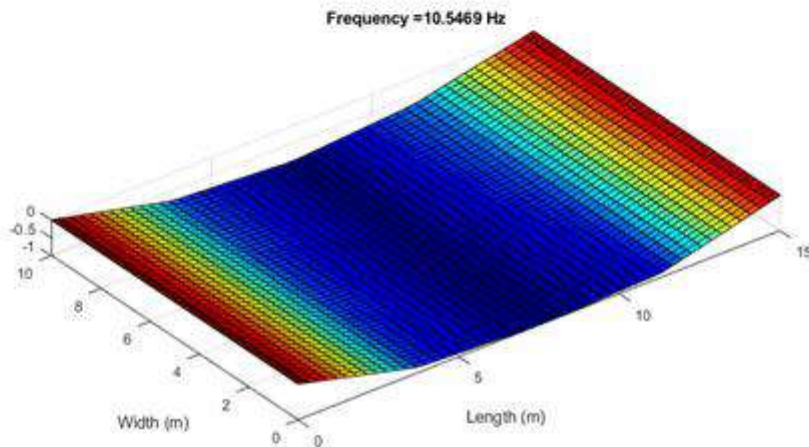
รูปที่ 13-92 แบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม

13.7.1. การตรวจสอบความสามารถการรับน้ำหนักของสะพาน

ตัวอย่างของแบบจำลองที่ปรับค่าและเปรียบเทียบกับ Natural Frequency ของสะพานที่ได้รับ การทดสอบในภาคสนามแสดงดังนี้

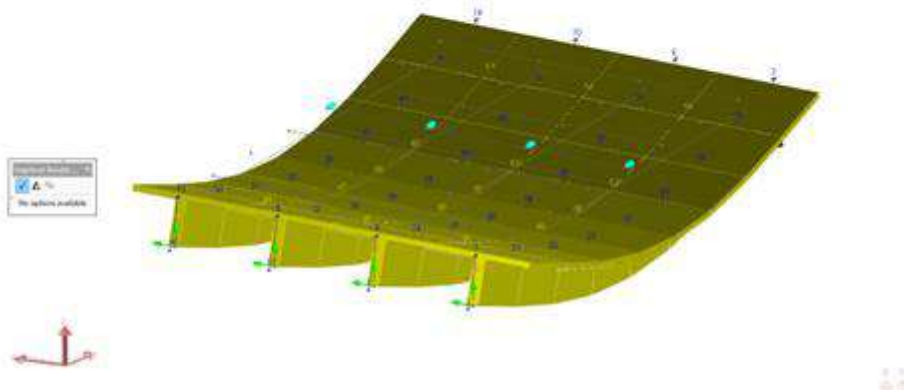
ตารางที่ 5.1-5 ผลการวิเคราะห์ Natural-Frequency, Mode-Shape และ Damping-Ratio

Test	Freq.	Mode Shape	Damping Ratio					
			AC 01	AC 02	AC 03	AC 04	AC 05	
Dynamic 1	8.106	1st Bending	2.763	5.466	2.815	5.372	2.841	3.85
Dynamic 2	7.764	1st Bending	5.914	6.051	6.036	4.311	6.141	8.02
Dynamic 3	8.008	1st Bending	4.801	3.471	4.639	3.603	4.604	3.54



Fn(FEA) 8.25 Hz Test/FEA= 0.965 OK

Done: 1/2/2011
 File: Project_101111221013081
 Scale Factor: 1



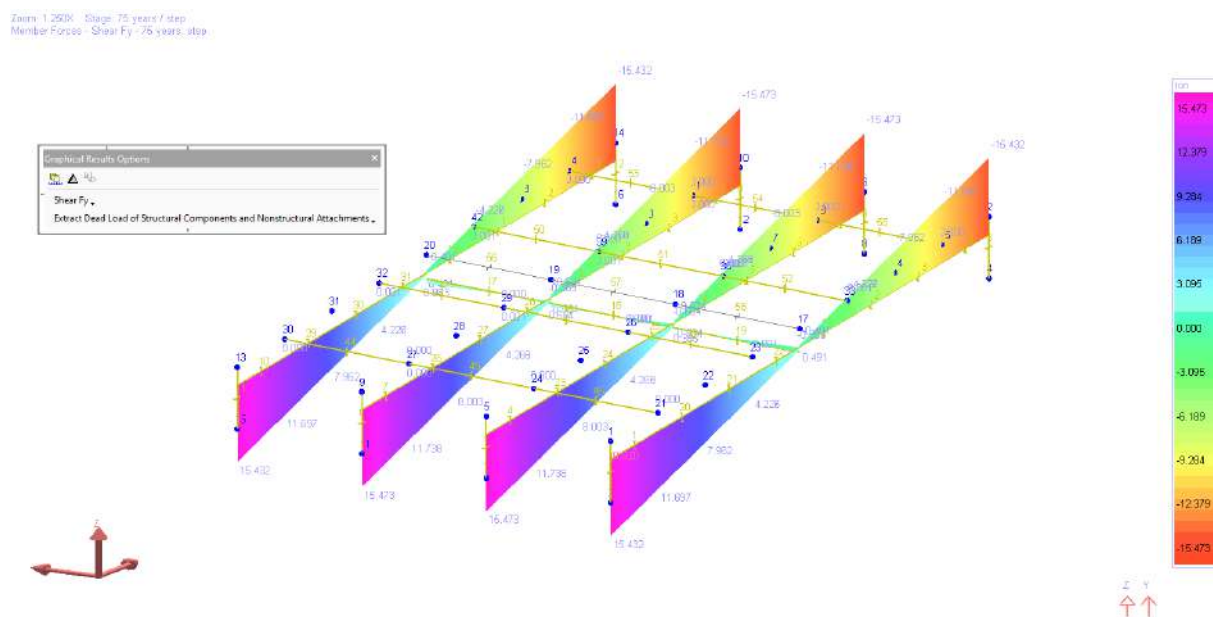
รูปที่ 13-93 แบบจำลองที่ได้ปรับค่ากับการทดสอบภาคสนามโดย Finite Element Updating

13.7.1.1. การวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน

ในหัวข้อนี้ แบบจำลองที่ได้ทำการปรับค่าแล้วจากวิธี Finite Element Updating จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาแรงภายในต่าง ๆ เพื่อใช้ประกอบการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานภายใต้น้ำหนักบรรทุกจร (HL-93) และใช้ในการประกอบการออกแบบเสริมกำลังต่อไป

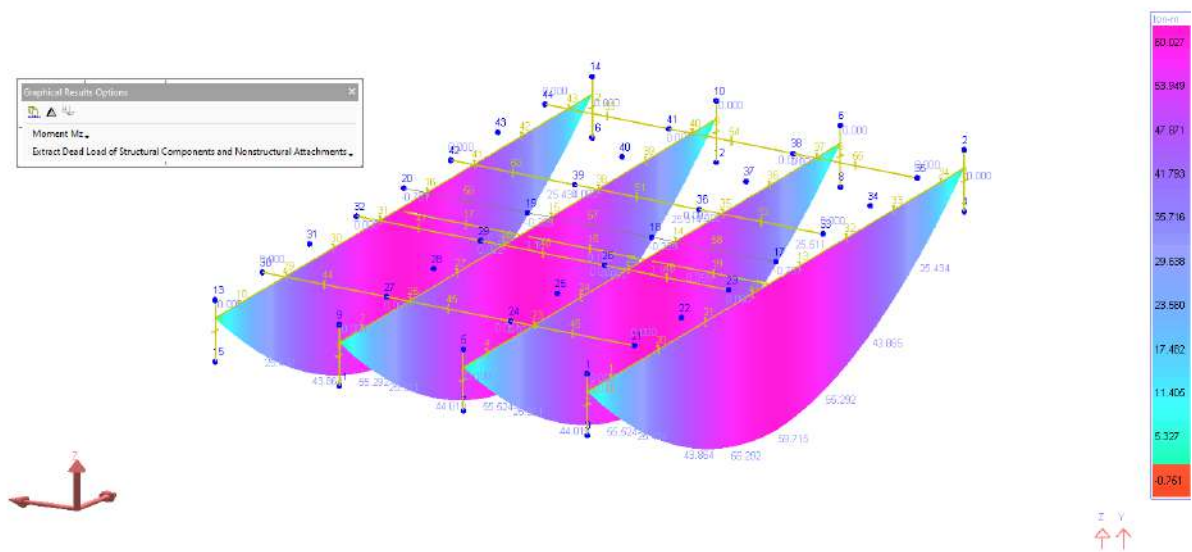
ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน ที่ปรึกษาจะวิเคราะห์โดยใช้วิธี Construction Stage Analysis เพื่อให้สามารถพิจารณาผลของขั้นตอนการก่อสร้าง คุณสมบัติวัสดุของสะพานเทียบกับเวลาเป็นต้น

ตัวอย่างของผลการวิเคราะห์สะพาน แสดงดังนี้



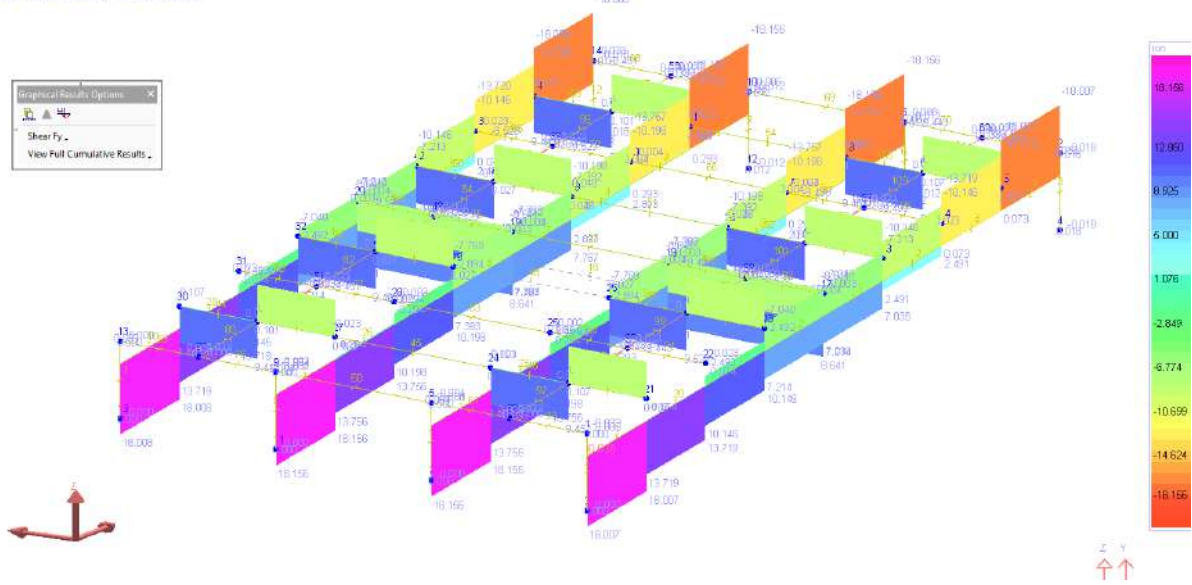
รูปที่ 13-94 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก DL

Zoom: 1.250X - Stage: 75 years / step
 Member Forces - Moment Mz - 75 years - step



รูปที่ 13-95 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดของสะพาน เนื่องจาก DL

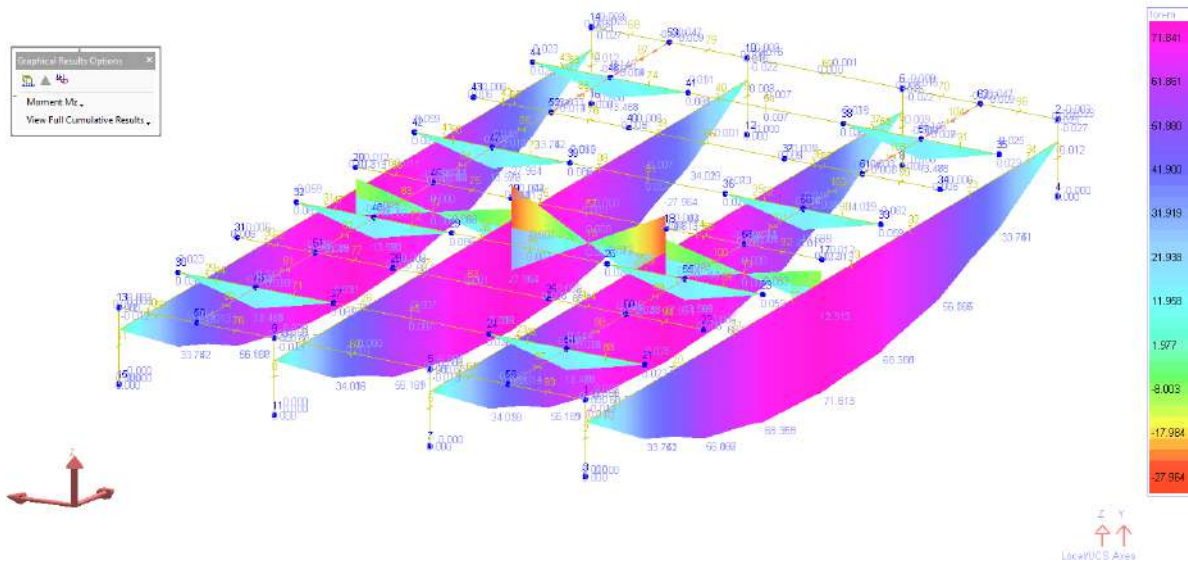
Zoom: 1.000X
 Member Forces - Shear Fy - HL93 (14M) MUL



รูปที่ 13-96 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)



Zoom: 1.5836
Member Forces - Moment Mz - HL-93 (1+IM) MJL



รูปที่ 13-97 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังของสะพานตามสภาพเดิมในปัจจุบันไม่สามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจาก HL-93 ได้ ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD และควรดำเนินการเสริมกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 13-98 ถึงรูปที่ 13-101

Case 1: Existing Condition of Bridge

	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		15				60
SDL		8				29
LL+IM		18.5				72
IS		0				0
STR1	0	64.375	0	0	0	244.5

0.85*Shear Capacity = 74.8 T (New Condition)

0.9*Moment Capacity = 390.6 T-m (New Condition)

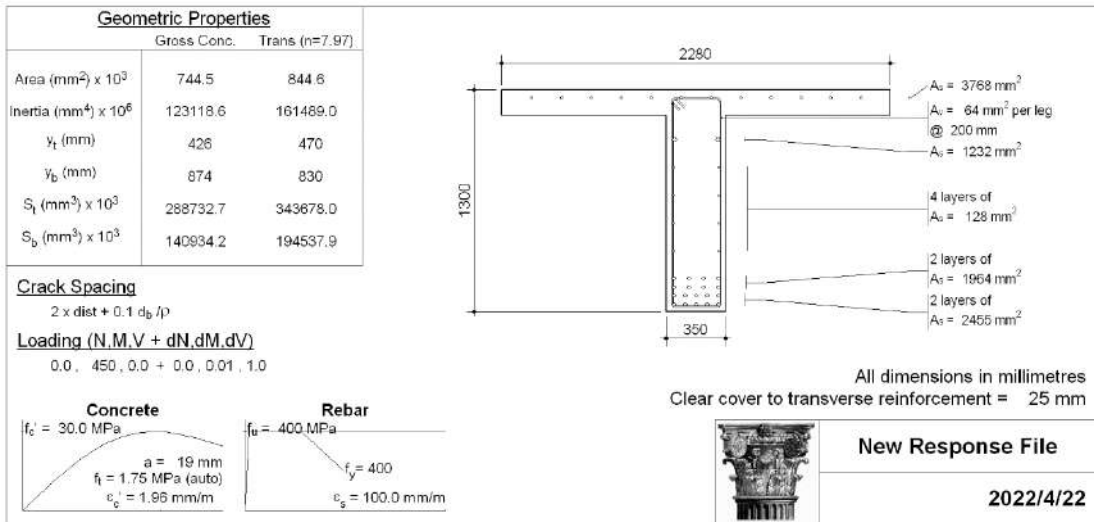
0.85*Shear Capacity = 59.84 T (Current Condition) Required Strengthening

0.9*Moment Capacity = 312.48 T-m (Current Condition) Required Strengthening

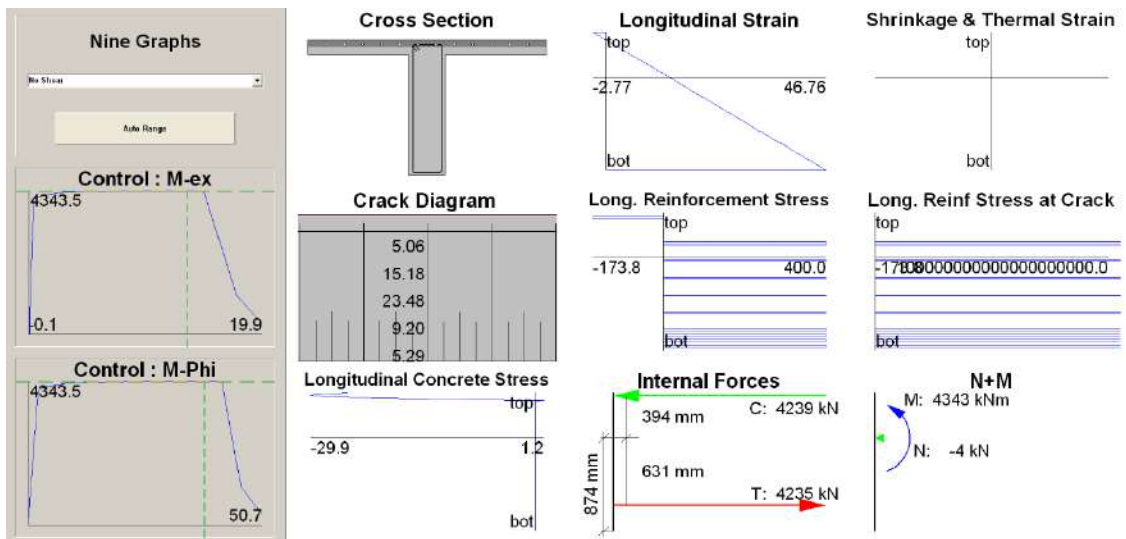
ตารางที่ 4-2 การประเมินระดับความเสียหายหรือสภาพการใช้งานโดยรวม

บริเวณชิ้นส่วน	ประเภทชิ้นส่วน	สภาพการใช้งาน (Condition Rating, CR)	ระดับความเสียหาย (Damage Rating, DR = 5 - CR)	ระดับความสำคัญหรือพื้นที่ (I)	w*DR
S1-TG1	Girder	2	3	1	3
S1-TG2	Girder	2	3	1	3
S1-TG3	Girder	2	3	1	3
S1-TG4	Girder	2	3	1	3
S2-TG3	Girder	2	3	1	3
Weighted Critical Damage Rating (WCDR)					3
Weighted Critical Condition Rating (CCOR = 5 - WCDR)					2

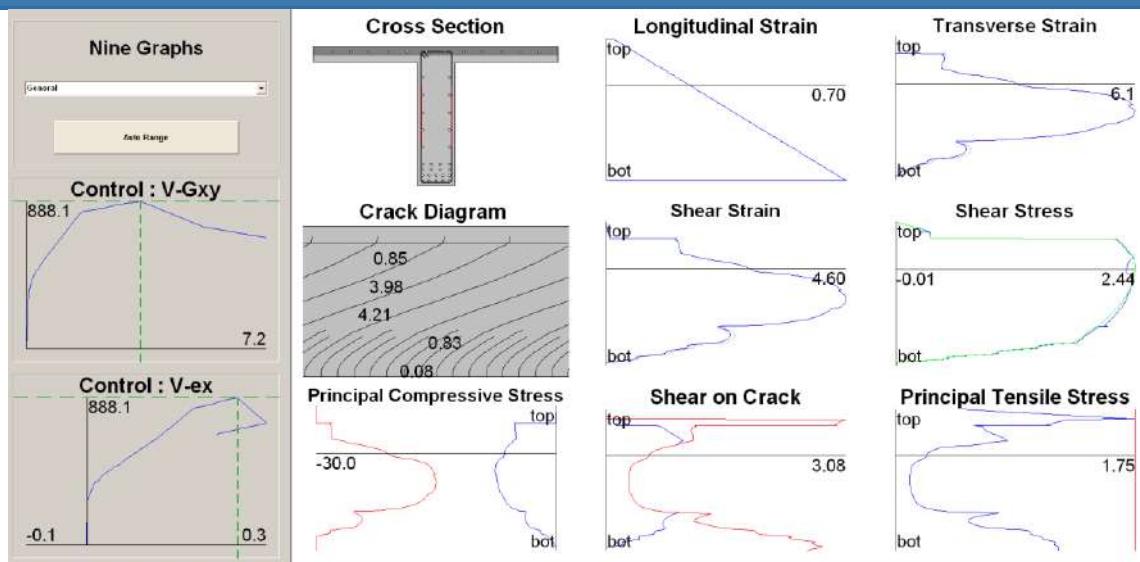
รูปที่ 13-98 การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานเดิม



รูปที่ 13-99 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเดิม



รูปที่ 13-100 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ดัดของสะพานเดิม



รูปที่ 13-101 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเดิม

13.7.2. รูปแบบการเสริมกำลัง

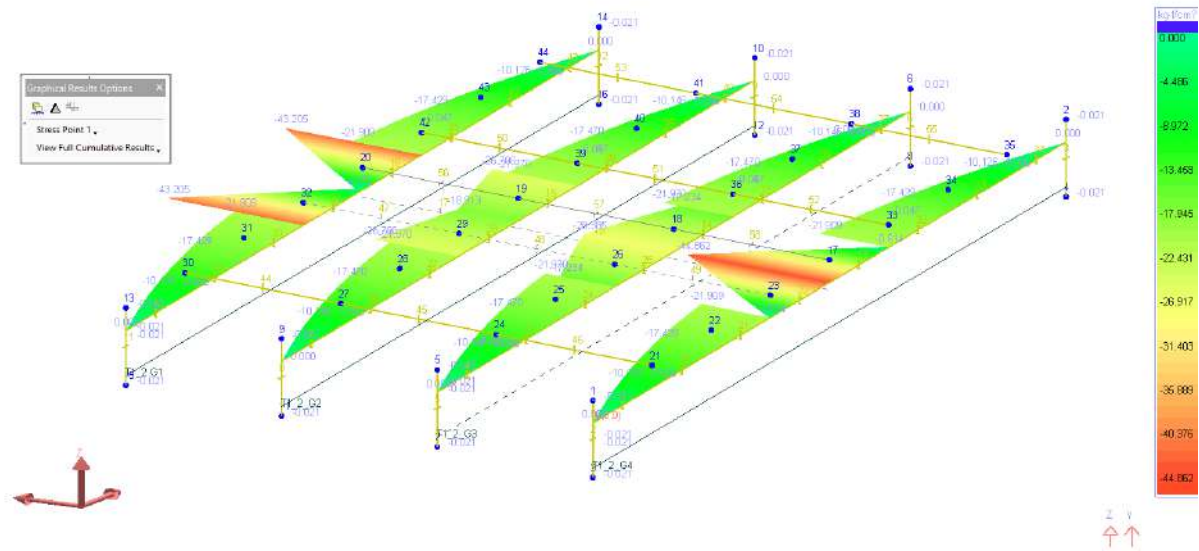
13.7.2.1. การออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีลวดอัดแรง (Prestressing System)

ในหัวข้อนี้ ที่ปรึกษาจะนำแนวทางการเสริมกำลังสะพานโดยวิธีลวดอัดแรง (Prestressing System) มาใช้ในการออกแบบเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักของบรรทุกจร (HL-93) ได้ ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

โดยในการออกแบบ ที่ปรึกษาจะพิจารณาในช่วง Service Stage และช่วง Ultimate Stage โดยในช่วง Service Stage จะทำการวิเคราะห์ผลของขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานจนถึงสภาพของสะพานในปัจจุบัน แล้วจึงทำการเสริมส่วนของลวดอัดแรงและพอกคอนกรีตปิด แล้วจึงวิเคราะห์สะพานที่เสริมกำลังแล้วภายใต้ผลของน้ำหนักบรรทุกจร ดังแสดงดังนี้

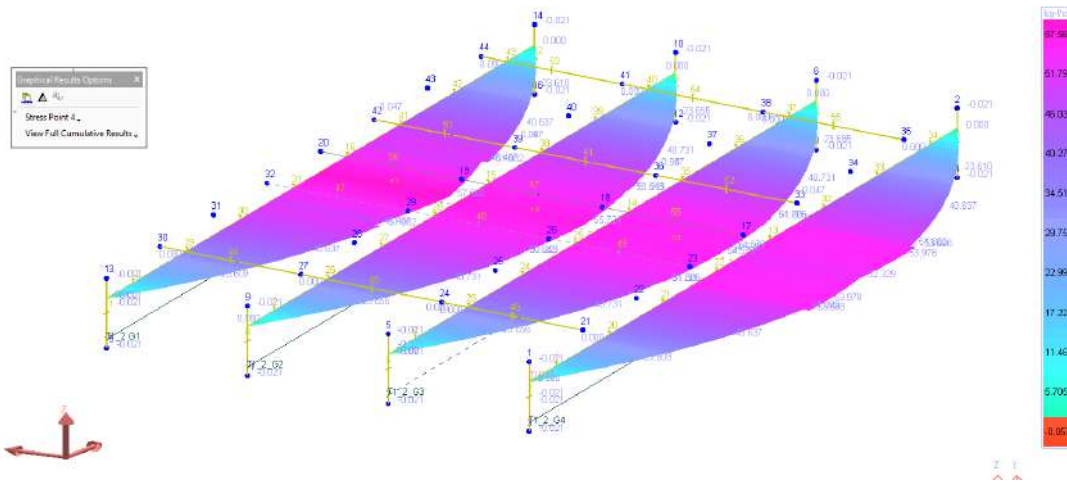
ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพาน ก่อนการเสริมกำลัง เนื่องจาก DL+SDL+TIME EFFECT

Zoom: 1.663K Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 1 - 75 years - step



รูปที่ 13-102 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

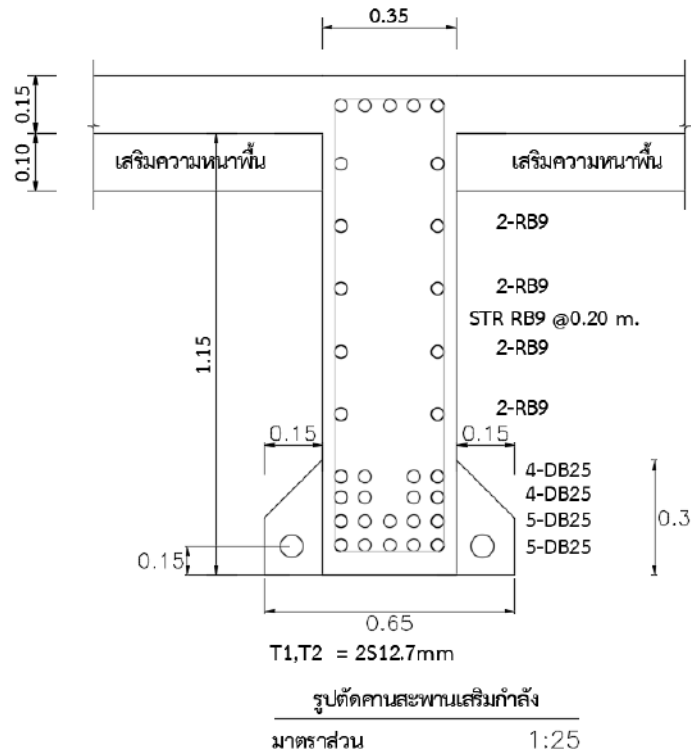
Zoom: 1.963K Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 4 - 75 years - step



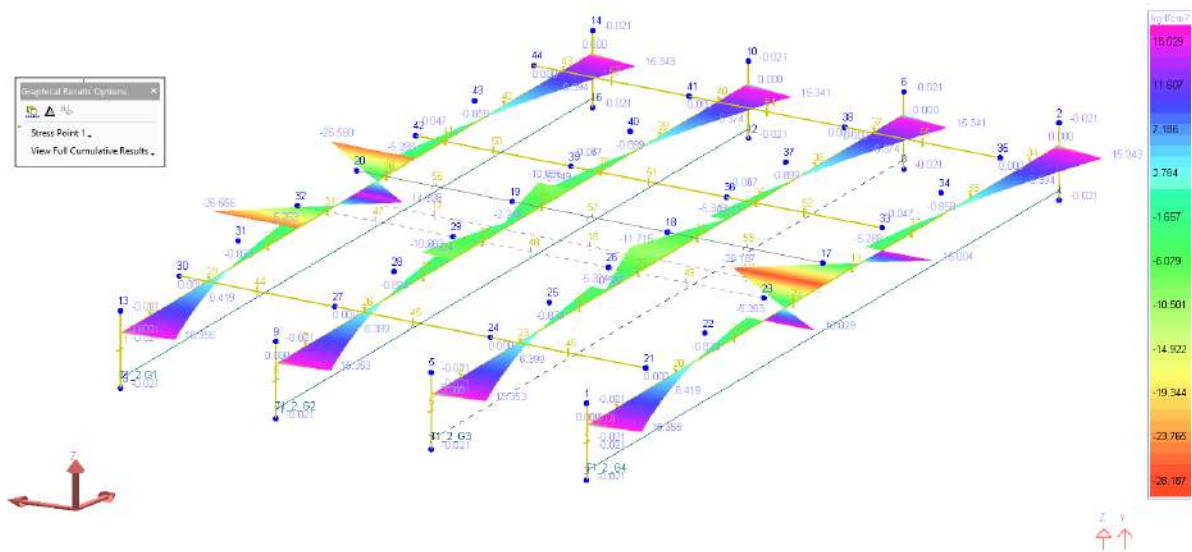
รูปที่ 13-103 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพาน ภายหลังจากการเสริมกำลังโดยใช้ลวดอัดแรงขนาด
 T1=2-S12.7mm Grade 1860 Mpa และ T2=7-S12.7mm Grade 1860 Mpa





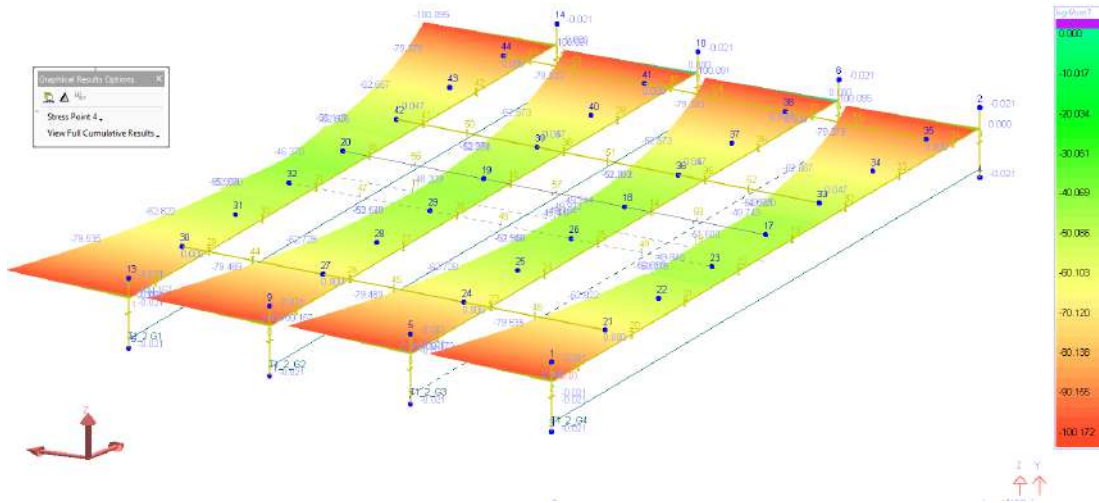
Zaini: 1.5638 - Stage: Strengthening / Step 1
 Member: Girassa - Stage: Point 1 - Strengthening - Step 1 - PT Activity



รูปที่ 13-104 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลัง:

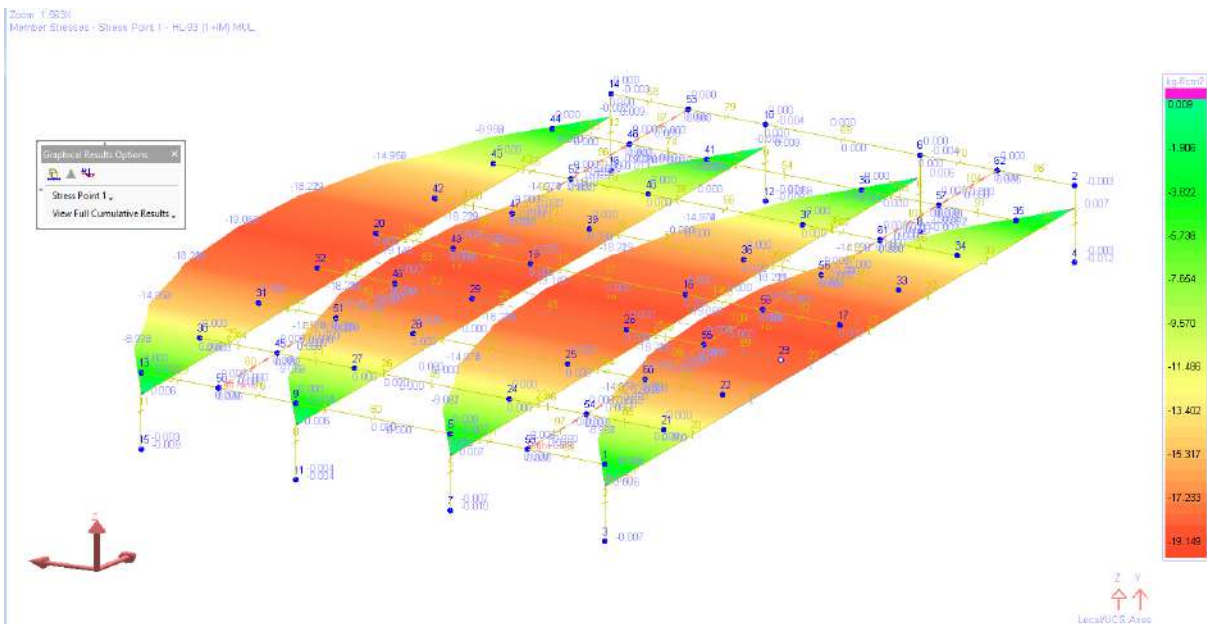
DL+SDL+TIME+PS

Zoom: 1.6256 - Stage: Strengthening / Step 1
 Member Stresses - Stress Point 4 - Strengthening / Step 1: FT Active



รูปที่ 13-105 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลัง:
 DL+SDL+TIME+PS

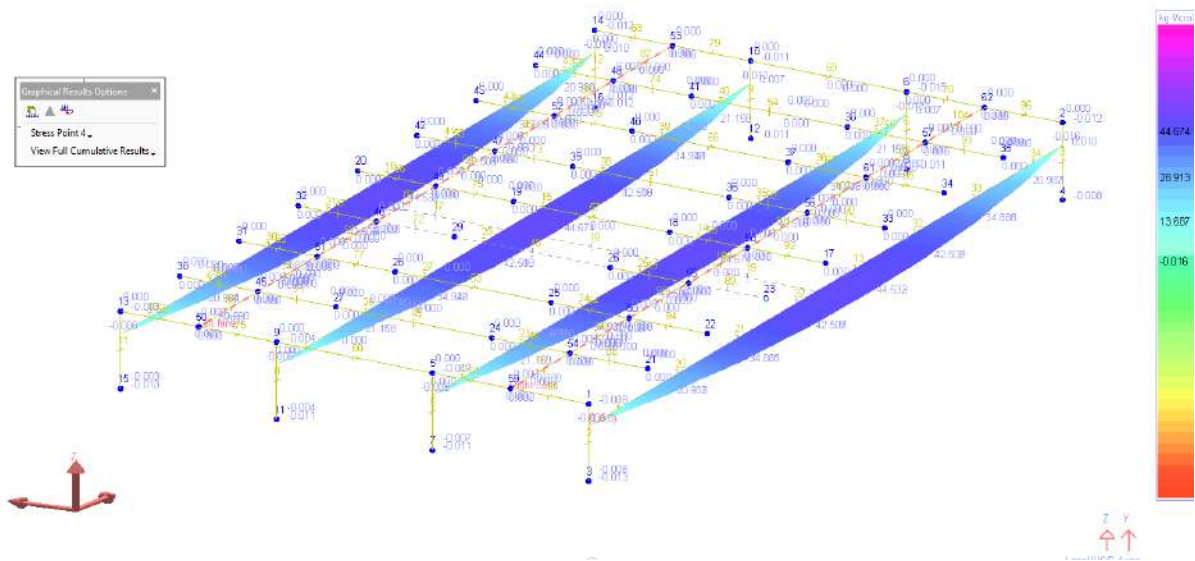
โดยเมื่อดำเนินการนำผลของค่าความเค้นของสะพานภายหลังการเสริมกำลัง มาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นของสะพานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร (HL-93) พบว่า สามารถรองรับความเค้นที่เกิดขึ้นได้ตามมาตรฐาน ดังแสดงดังนี้



รูปที่ 13-106 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลัง เนื่องจาก HL-93
 เท่านั้น



Zoom: 1.563x
 Member Stresses - Stress Point 4 - HL-93 (1+04) Mill



รูปที่ 13-107 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลังเนื่องจาก HL-93 เท่านั้น

จากนั้น ที่ปรึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของสะพานที่ Strength Limit State เพื่อยืนยันความสามารถในการรับน้ำหนักภายหลังการเสริมกำลังด้วย Prestressing System แสดงดังนี้

Case 2: Strengthening by PS

(Adopt PS to increase shear capacity)

	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		21.58				80.925
SDL		8				29
LL+IM		18.5				72
PS		0				0
STR1	0	71.35	0	0	0	270.6563

M5 181.925 T-m

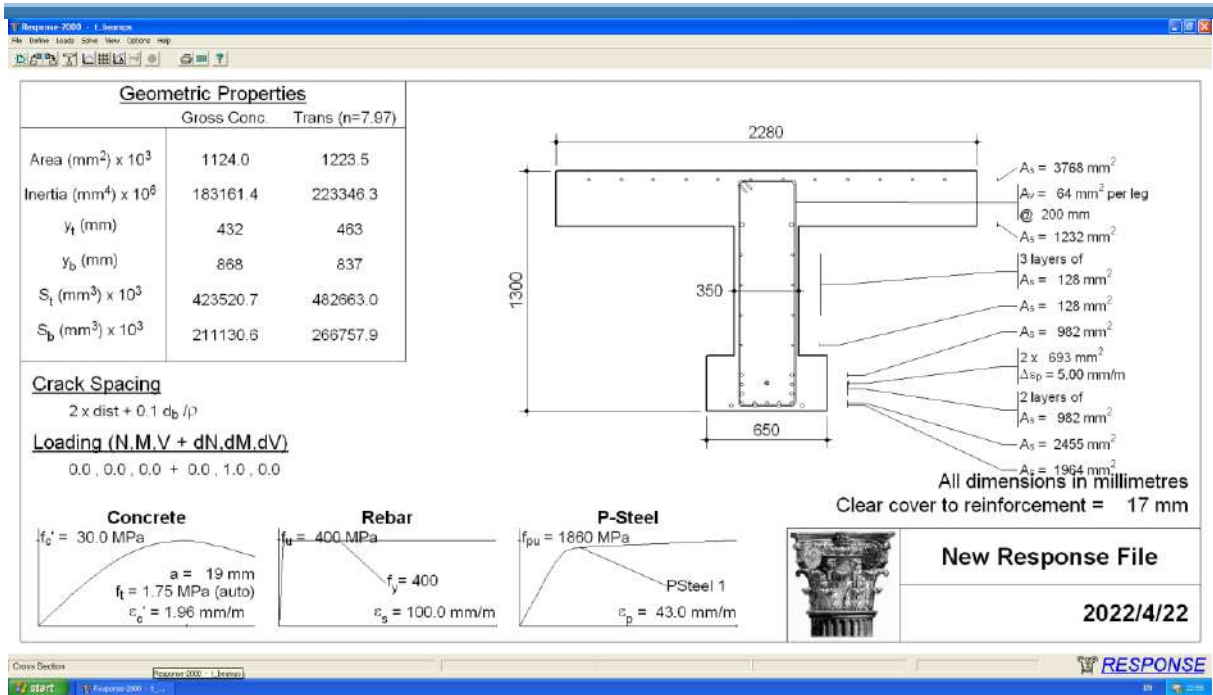
0.85*Shear Capacity = 81.6 T (Strengthening) OK

Mtr = 127 T-m

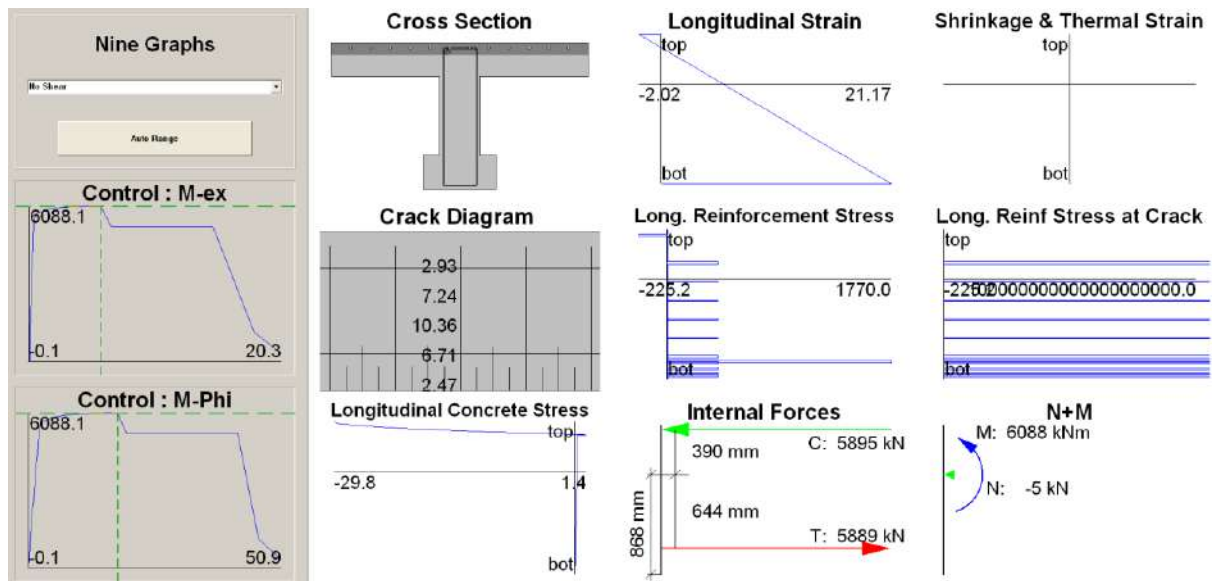
0.9*Moment Capacity = 540 T-m (Strengthening) OK

slightly cracking but less than 0.20mm

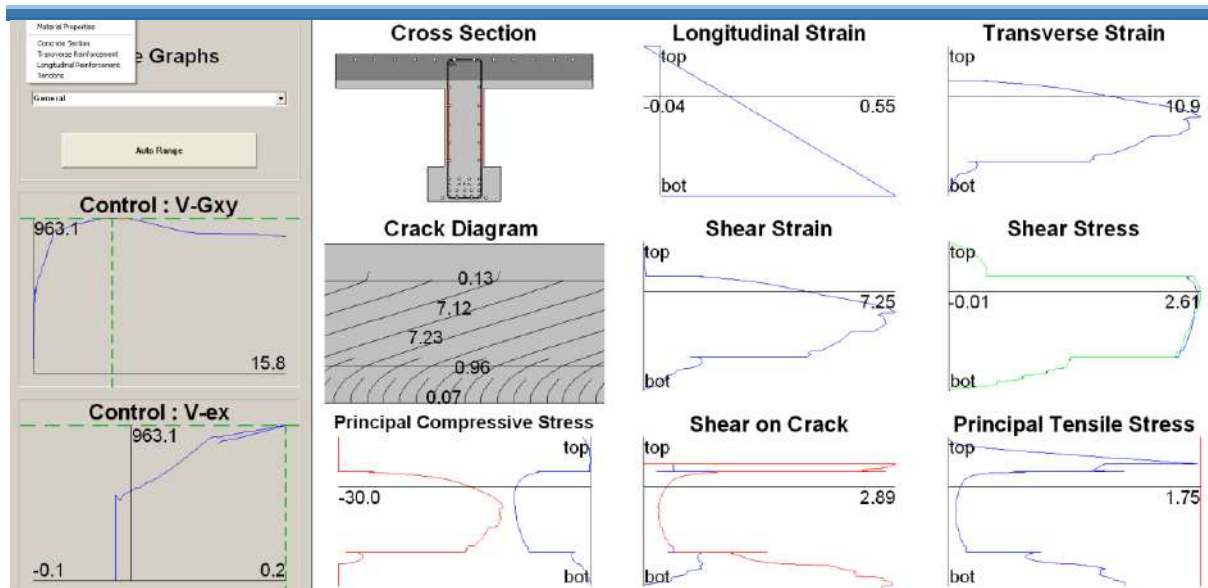
รูปที่ 13-108 ผลการเปรียบเทียบความสะพานในการรับน้ำหนักของสะพานเสริมกำลังโดย Prestressing System



รูปที่ 13-109 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเสริมกำลังด้วย Prestressing System



รูปที่ 13-110 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ตัดของสะพานเสริมกำลังด้วย Prestressing System



รูปที่ 13-111 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเสริมกำลังด้วย Prestressing System

โดยรายละเอียดการออกแบบ แสดงในแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่แนบมากับรายงานฉบับนี้

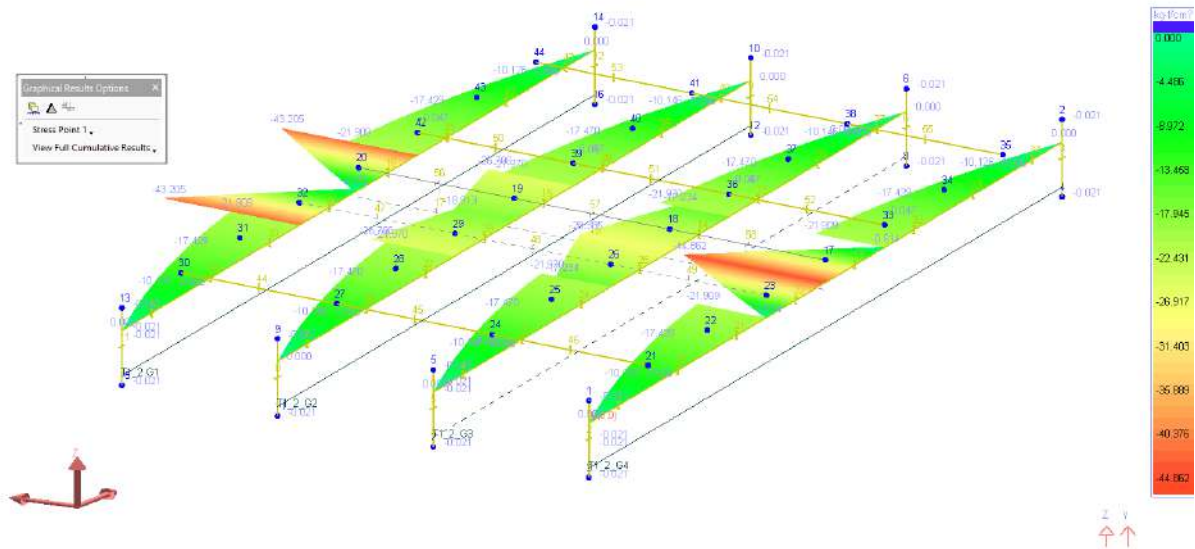
13.7.2.2. การออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีหุ้มคอนกรีต (RC Jacketing)

ในการออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีหุ้มคอนกรีต (Concrete Jacketing) ที่ปรึกษาได้ดำเนินการออกแบบเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักของบรรทุกจร (HL-93) ได้ ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

โดยในการออกแบบ ที่ปรึกษาจะพิจารณาในช่วง Service Stage และช่วง Ultimate Stage โดยในช่วง Service Stage จะทำการวิเคราะห์ผลของขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานจนถึงสภาพของสะพานในปัจจุบัน แล้วจึงทำการเสริมเหล็กและพอกคอนกรีตปิด แล้วจึงวิเคราะห์สะพานที่เสริมกำลังแล้ว ภายใต้ผลของน้ำหนักบรรทุกจร ดังแสดงดังนี้

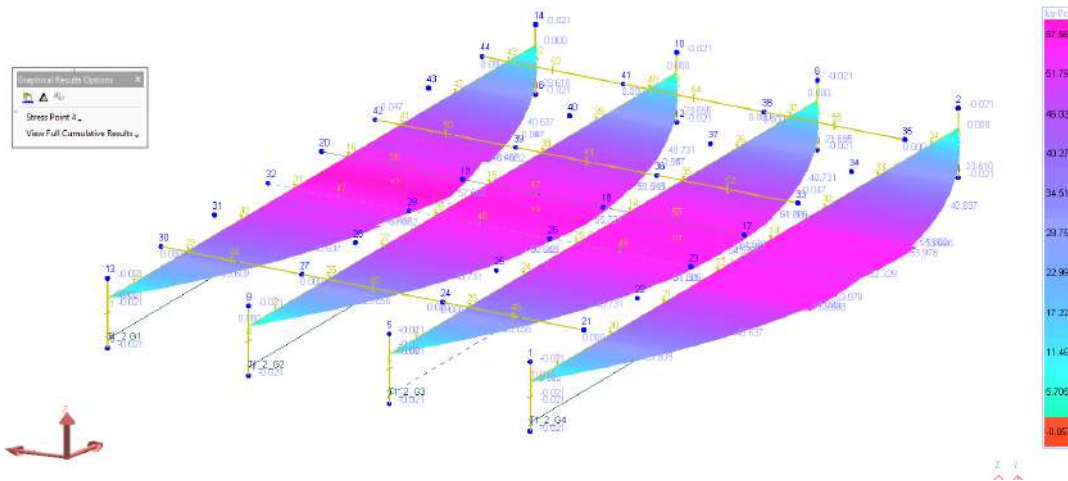
ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานก่อนการเสริมกำลังเนื่องจาก DL+SDL+TIME EFFECT

Zoom: 1.663K Stage: 75 years / step
 Member: Slab100 - Stress Point 1 - 75 years / step



รูปที่ 13-112 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

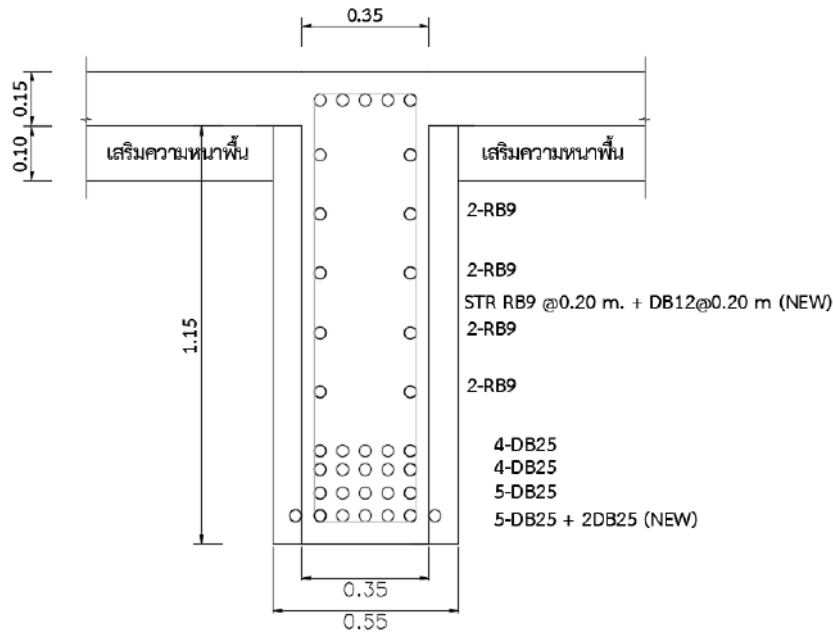
Zoom: 1.963K Stage: 75 years / step
 Member: Slab100 - Stress Point 4 - 75 years / step



รูปที่ 13-113 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพาน และกำลังที่เหลืออยู่ที่จำเป็นต้องเสริมกำลัง ที่ปรึกษาออกแบบเสริมกำลังโดยเพิ่มเหล็กเสริมขนาด DB25 จำนวน 8 เส้น ที่บริเวณท้องของคานและเหล็กปลอกที่ด้านคาน เพิ่ม DB12@0.20 เพื่อช่วยในการรับแรงเฉือน ดังแสดงในรูป





รูปตัดคานสะพานเสริมกำลัง (RC JACKETING)

มาตราส่วน 1:25

จากนั้น ที่ปรึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของสะพานที่ Strength Limit State เพื่อยืนยันความสามารถในการรับน้ำหนัก และยังตรวจสอบ Crack Width ที่ระดับ Service Limit State ภายหลังการเสริมกำลังด้วย RC Jacketing แสดงดังนี้

Case 3: Strengthening by RCJacketing

	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		23.02				86.325
SDL		8				29
LL+IM		18.5				72
PS		0				0
STR1	0	73.15	0	0	0	277.4063

M5 = 187.325 T-m

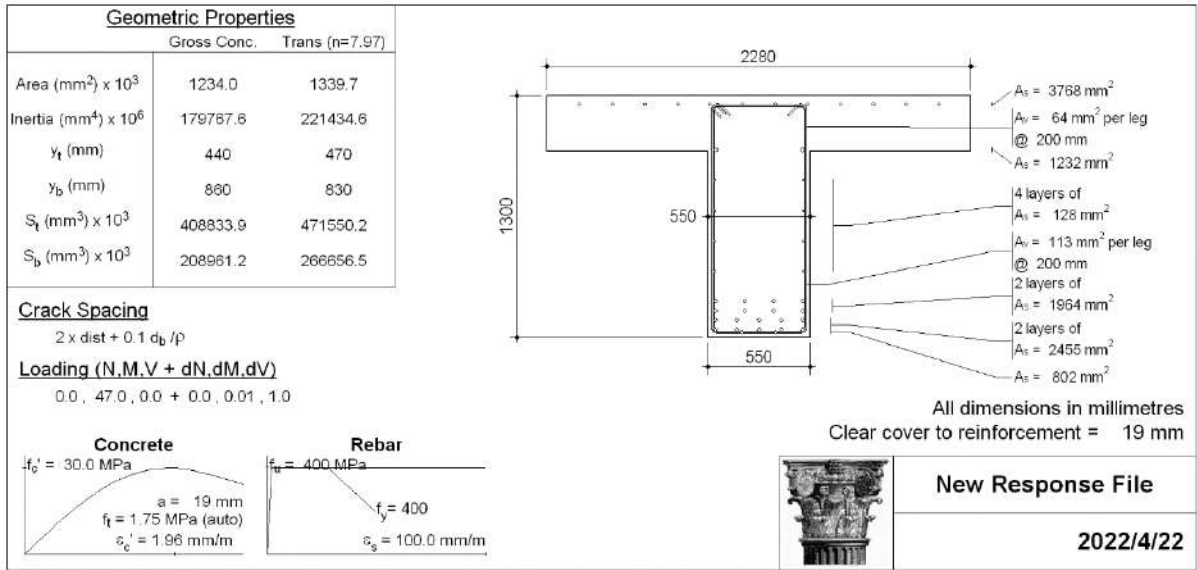
0.85*Shear Capacity = 151.3 T (Strengthening) OK

Mtr = 87 T-m

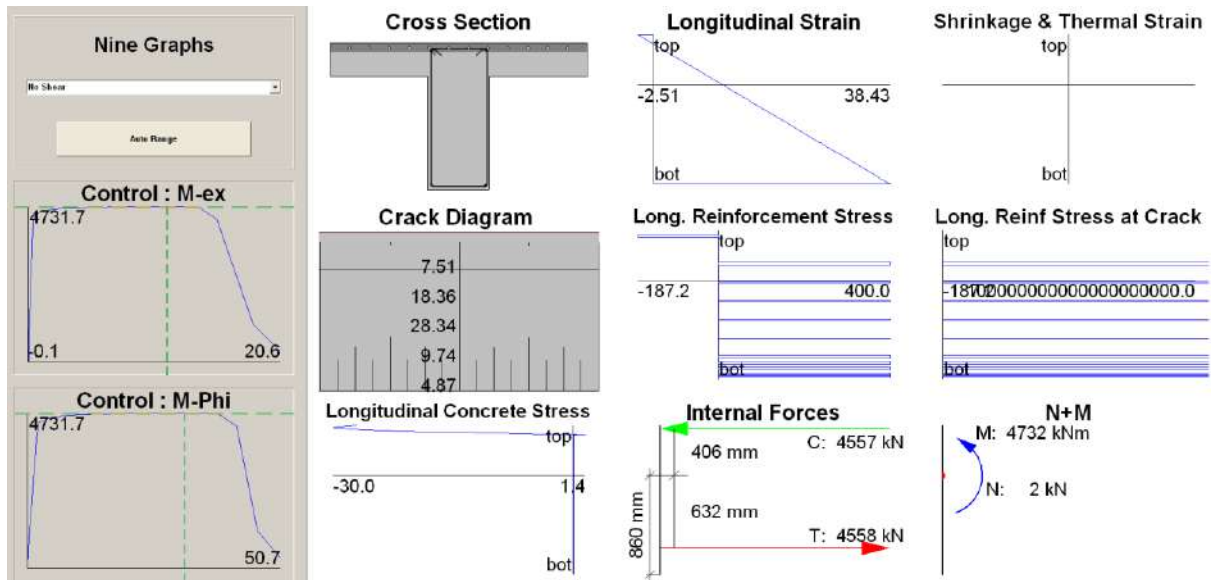
0.9*Moment Capacity = 425.7 T-m (Strengthening) OK

Crack width < 0.2 mm

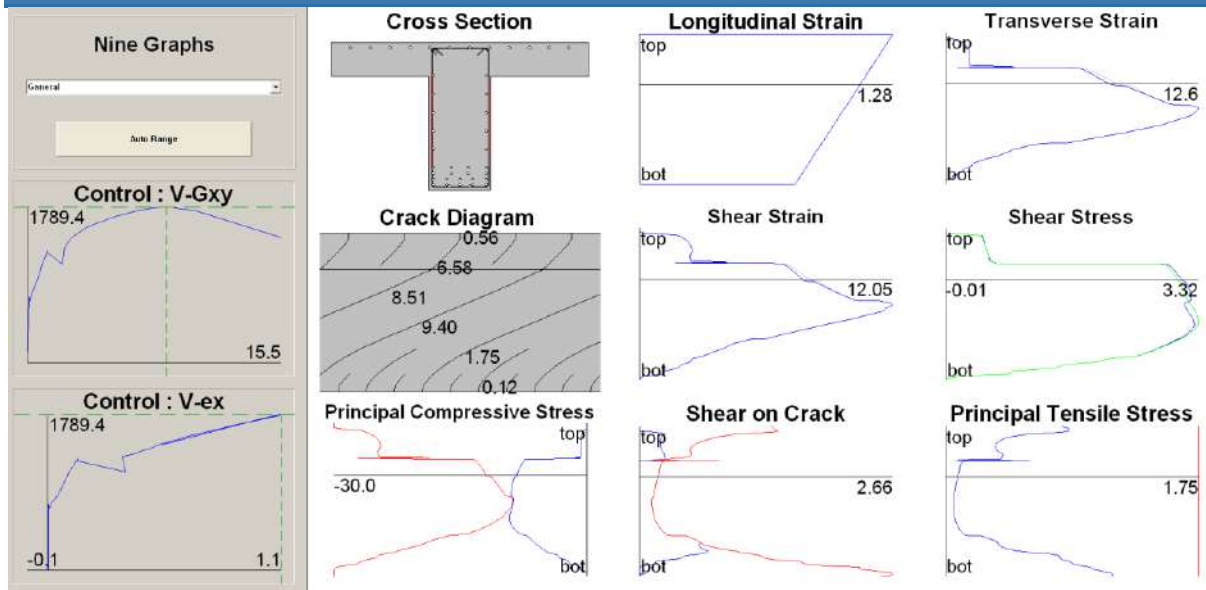
รูปที่ 13-114 ผลการเปรียบเทียบความสะพานในการรับน้ำหนักของสะพานเสริมกำลังโดย RC Jacketing



รูปที่ 13-115 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเสริมกำลังด้วย RC Jacketing



รูปที่ 13-116 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ตัดของสะพานเสริมกำลังด้วย RC Jacketing



รูปที่ 13-117 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเสริมกำลังด้วย RC Jacketing

โดยรายละเอียดการออกแบบแสดงในแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่แนบมากับรายงานฉบับนี้

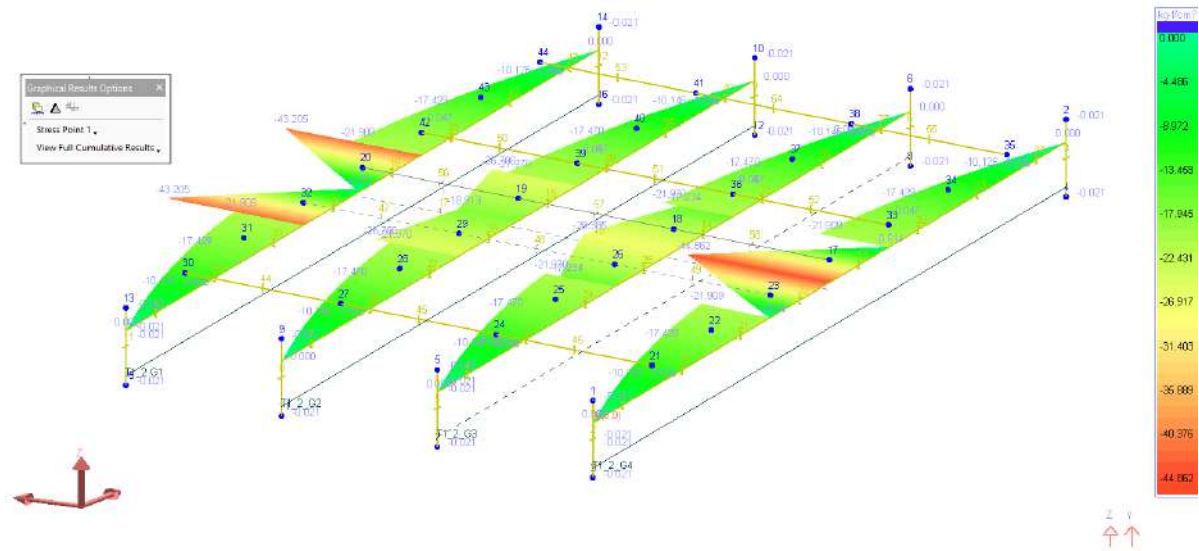
13.7.2.3. การออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber)

ในการออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) ที่ปรึกษาได้ดำเนินการออกแบบเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักของบรรทุกจร (HL-93) ได้ ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

โดยในการออกแบบ ที่ปรึกษาจะพิจารณาในช่วง Service Stage และช่วง Ultimate Stage โดยในช่วง Service Stage จะทำการวิเคราะห์ผลของขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานจนถึงสภาพของสะพานในปัจจุบัน แล้วจึงทำการเสริม Carbon Fiber และ Coating ปิด แล้วจึงวิเคราะห์สะพานที่เสริมกำลังแล้วภายใต้ผลของน้ำหนักบรรทุกจร ดังแสดงดังนี้

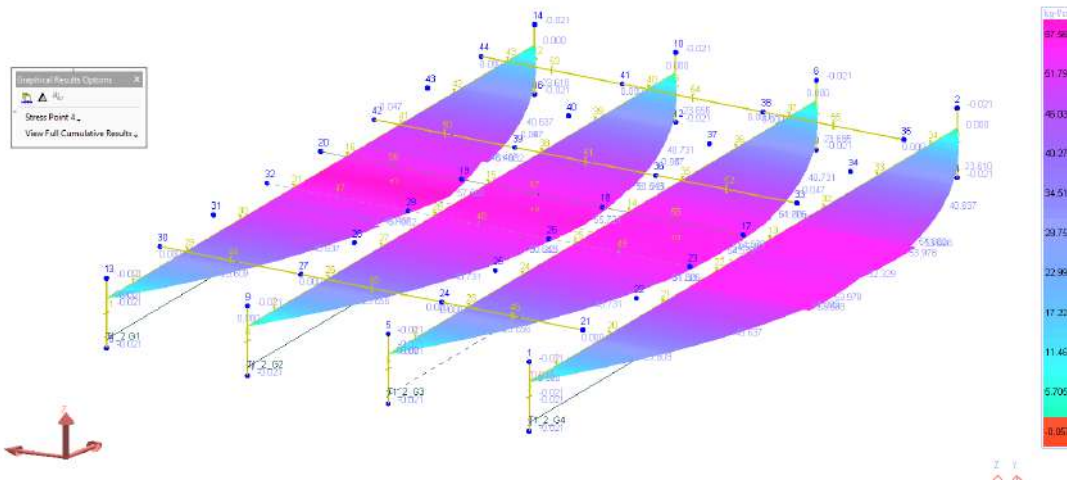
ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานก่อนการเสริมกำลังเนื่องจาก DL+SDL+TIME EFFECT

Zoom: 1.663K Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 1 - 75 years - step



รูปที่ 13-118 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

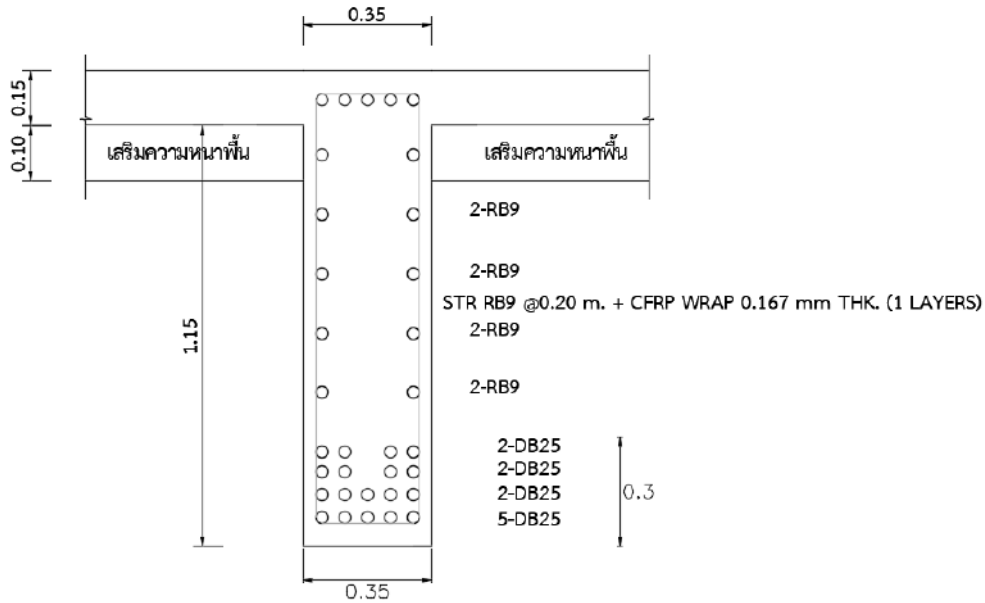
Zoom: 1.963K Stage: 75 years / step
 Member: Stresses - Stress Point 4 - 75 years - step



รูปที่ 13-119 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพาน และกำลังที่เหลืออยู่ที่จำเป็นต้องเสริมกำลัง ที่ปรึกษา ออกแบบเสริมกำลังเฉพาะแรงเฉือนโดยเพิ่มการเสริม CFRP แบบผืน (WRAP) ด้านข้างของคานในช่วง รับแรงเฉือนด้วยวัสดุ CFRP WRAP หนา 0.167 MM หุ้มจำนวน 1 ชั้น ดังแสดงในรูป





รูปตัดคานสะพานเสริมกำลัง (CFRP)
 มาตรฐาน 1:25

จากนั้น ที่ปรึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของสะพานที่ Strength Limit State เพื่อยืนยันความสามารถในการรับน้ำหนัก และยังตรวจสอบ Crack Width ที่ระดับ Service Limit State ภายหลังการเสริมกำลังด้วย Carbon Fiber แสดงดังนี้

Case 4: Strengthening by CFRP

	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		21.04				78.9
SDL		8				29
LL+IM		18.5				72
PS		0				0
STR1	0	70.675	0	0	0	268.125

0.85*Shear Capacity = 84.7 T (Strengthening) OK

0.9*Moment Capacity = 312.48 T-m (Existing) OK

M5 179.9 T-m

Mcr = 59 T-m

Crack width < 0.2 mm

รูปที่ 13-120 ผลการเปรียบเทียบความสะพานในการรับน้ำหนักของสะพานเสริมกำลังโดย Carbon Fiber

โดยรายละเอียดการออกแบบแสดงในแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่แนบมา
 รายงานฉบับนี้

13.7.3. การเปรียบเทียบราคาต้นทุนการเสริมกำลัง

จากแนวทางการจําแนกกิจกรรมการบูรณะข้างต้น ที่ปรึกษาได้ ดําเนินการประมาณราคาต้นทุนงานบูรณะสะพาน ทั้ง 3 วิธี แสดงดังนี้ โดยรายละเอียดการคิดราคา แสดงในบท การประมาณราคาค่าเสริมกำลังโครงสร้างสะพาน

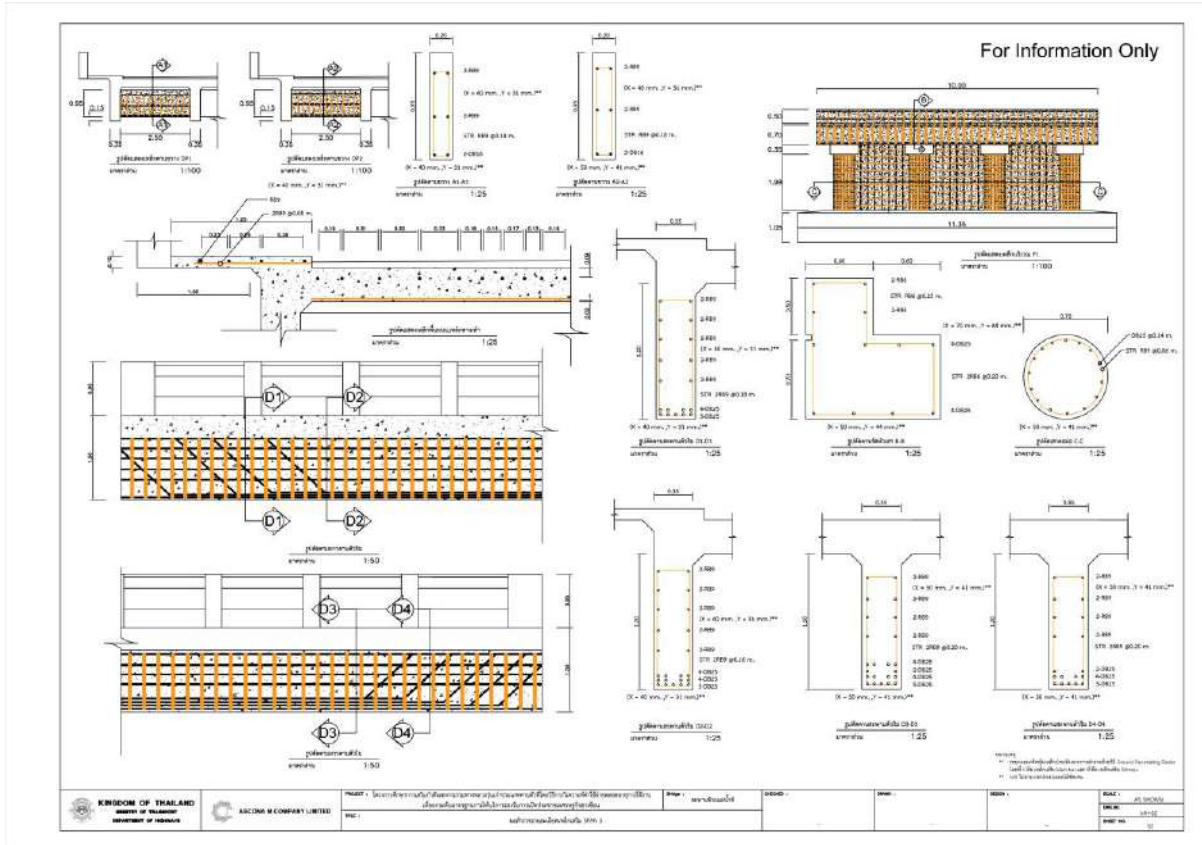
สะพานข้ามห้วยแม่โป่ง(5x15m)

1) วิธี RC Jacketing	ราคาต่อสะพาน	3,476,480 บาท (ไม่รวม Factor F)
2) วิธี Internal Prestressing	ราคาต่อสะพาน	2,554,490 บาท (ไม่รวม Factor F)
3) วิธี Carbon Fiber	ราคาต่อสะพาน	3,426,589 บาท (ไม่รวม Factor F)

จากราคาต้นทุนข้างต้น ที่ปรึกษาจะนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน เพื่อหารูปแบบวิธีการเสริมกำลังที่เหมาะสมในบทถัดไป

13.8 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานข้ามแม่ห้าซี

สะพานข้ามแม่ห้าซี ตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 7 ขอนแก่น แขวงทางหลวงขอนแก่นที่ 1 จังหวัดขอนแก่น หมายเลขทางหลวง 2 กม.กลางสะพาน 327+891 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2535 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 5,776 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง TG(1x15)+IG(3x30)+TG(1x15) ความกว้างผิวทาง 8 เมตร



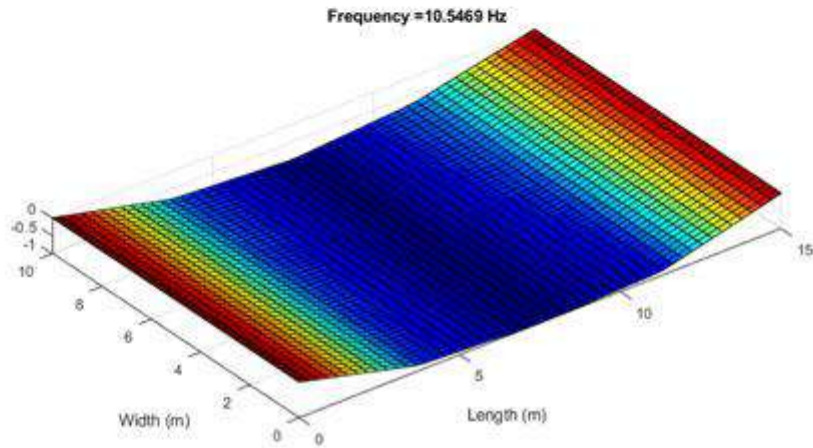
รูปที่ 13-121 แบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม

13.8.1. การตรวจสอบความสามารถการรับน้ำหนักของสะพาน

ตัวอย่างของแบบจำลองที่ปรับค่าและเปรียบเทียบกับ Natural Frequency ของสะพานที่ได้รับการทดสอบในภาคสนามแสดงดังนี้

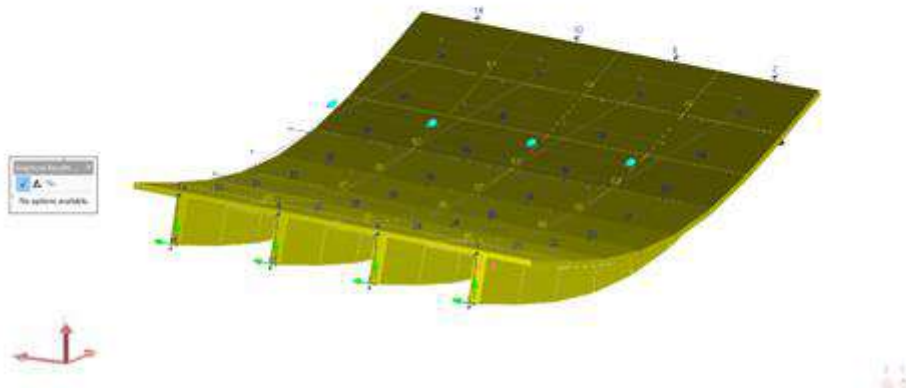
ตารางที่ 5.6-5 ผลการวิเคราะห์ Natural-Frequency, Mode-Shape และ Damping-Ratio

Test	Freq.	Mode Shape	Damping Ratio					
			AC 01	AC 02	AC 03	AC 04	AC 05	AC 06
Dynamic 1	10.059	1st Bending	1.075	1.149	1.069	1.083	1.131	1.064
Dynamic 2	9.717	1st Bending	5.258	5.162	5.351	5.006	4.733	5.467
Dynamic 3	10.547	1st Bending	5.912	3.932	6.185	4.836	3.918	7.021



Fn(FEA) 9.2 Hz Test/FEA= 1.099 OK

รูปที่ 13-122



รูปที่ 13-122 แบบจำลองที่ได้ปรับค่ากับการทดสอบภาคสนามโดย Finite Element Updating

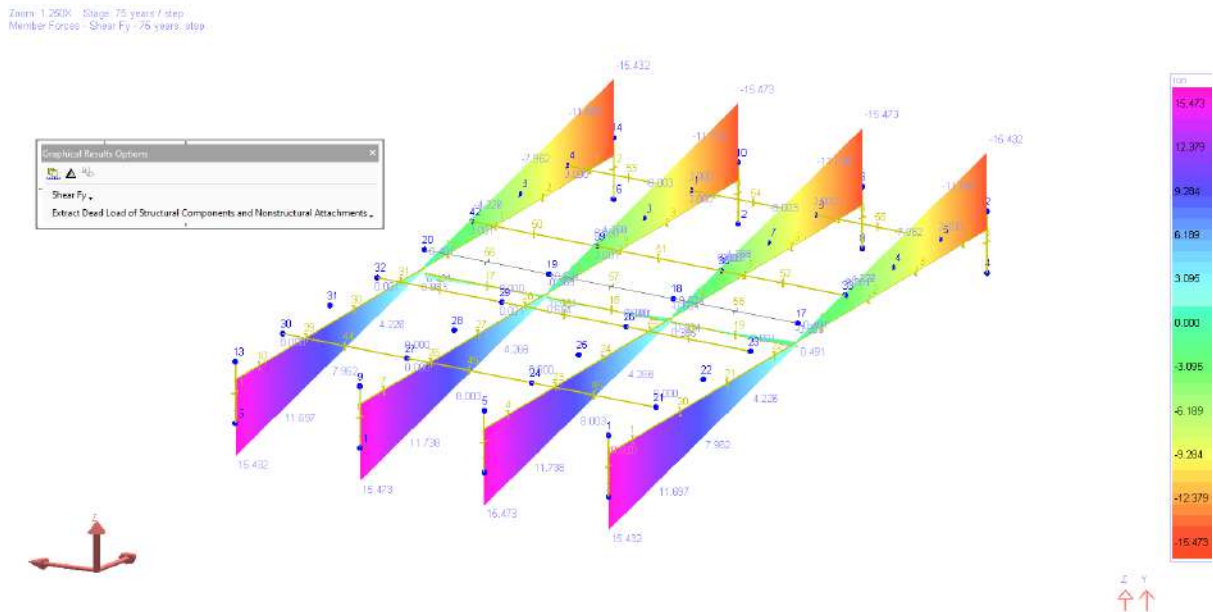


13.8.1.1. การวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน

ในหัวข้อนี้ แบบจำลองที่ได้ทำการปรับค่าแล้วจากวิธี Finite Element Updating จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาแรงภายในต่าง ๆ เพื่อใช้ประกอบการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานภายใต้น้ำหนักบรรทุกจร (HL-93) และใช้ในการประกอบการออกแบบเสริมกำลังต่อไป

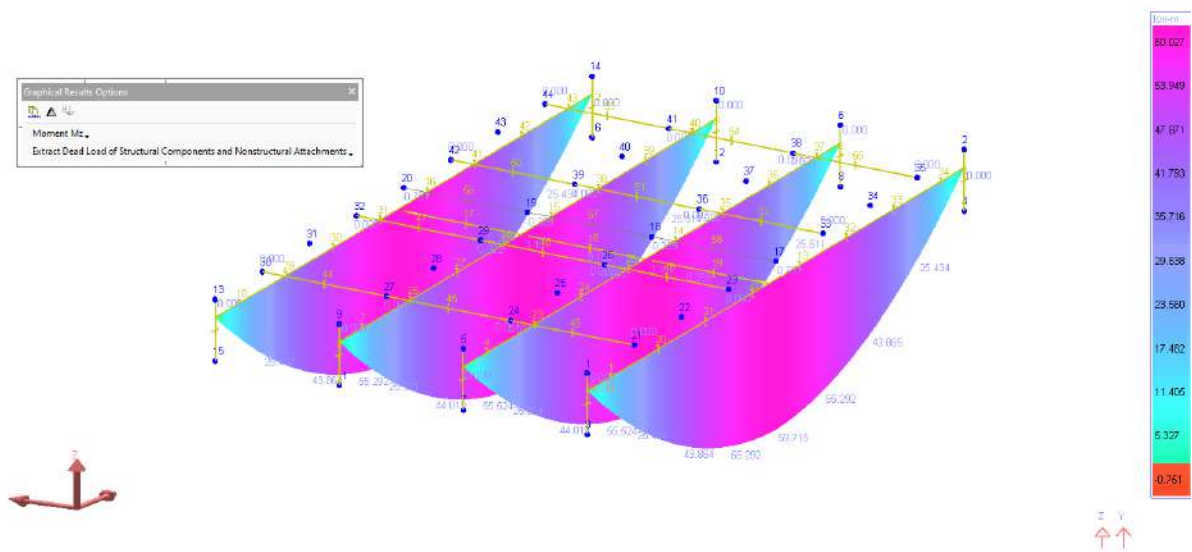
ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน ที่ปรึกษาจะวิเคราะห์โดยใช้วิธี Construction Stage Analysis เพื่อให้สามารถพิจารณาผลของขั้นตอนการก่อสร้าง และคุณสมบัติวัสดุของสะพานเทียบกับเวลาได้

ตัวอย่างของผลการวิเคราะห์สะพาน แสดงดังนี้



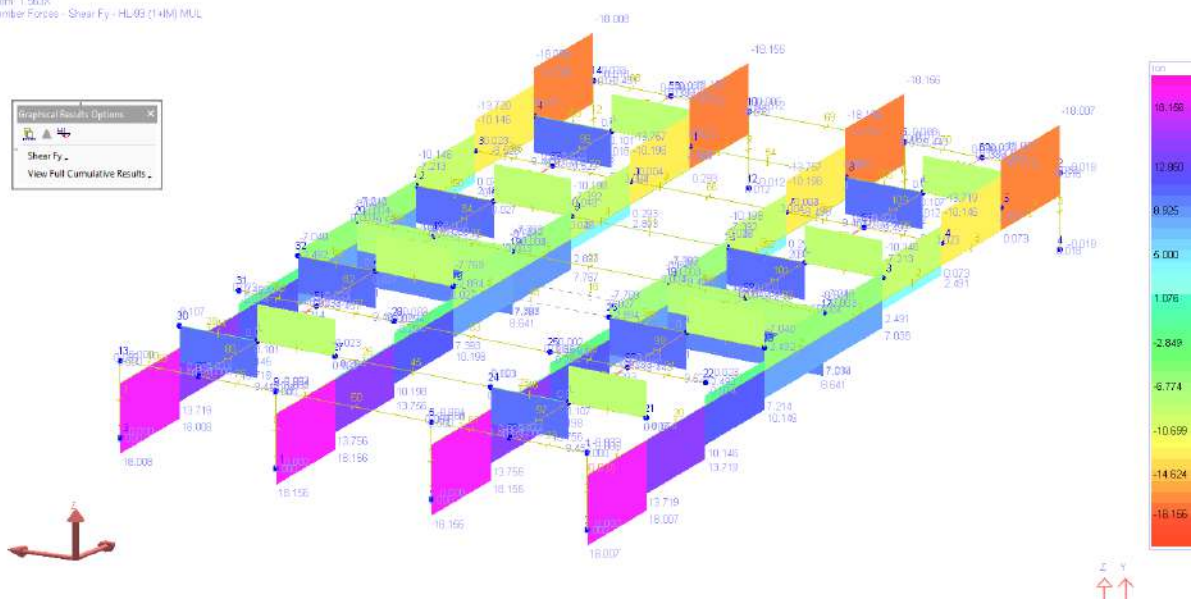
รูปที่ 13-123 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก DL

Zoom: 1.250X - Stage: 75 years / step
 Member Forces - Moment Mz - 75 years - step



รูปที่ 13-124 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดของสะพาน เนื่องจาก DL

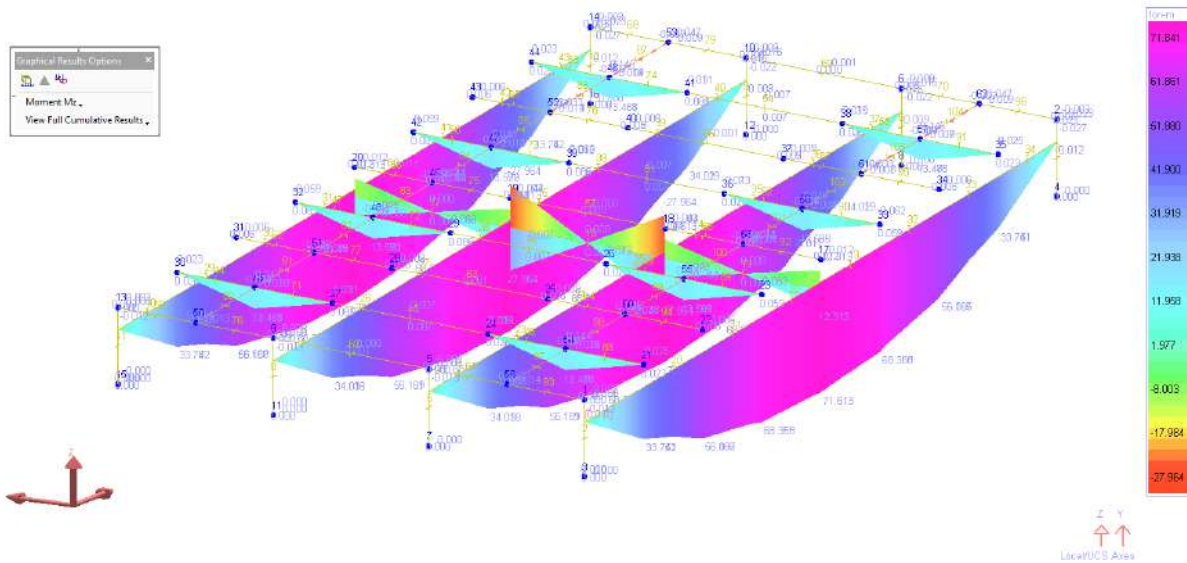
Zoom: 1.500X
 Member Forces - Shear Fy - HL-93 (14M) MUL



รูปที่ 13-125 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)



Zoom: 1.5836
Member Forces - Moment Mz - HL-93 (1+IM) MJL



รูปที่ 13-126 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังของสะพานตามสภาพเดิมในปัจจุบันไม่สามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจาก HL-93 ได้ ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD และควรดำเนินการเสริมกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 13-127 ถึงรูปที่ 13-130

Case 1: Existing Condition of Bridge

	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		15				60
SDL		8				29
LL+IM		18.5				72
PS		0				0
STR1	0	64.375	0	0	0	244.5

0.85*Shear Capacity = 74.8 T (New Condition)

0.9* Moment Capacity = 390.6 T-m (New Condition)

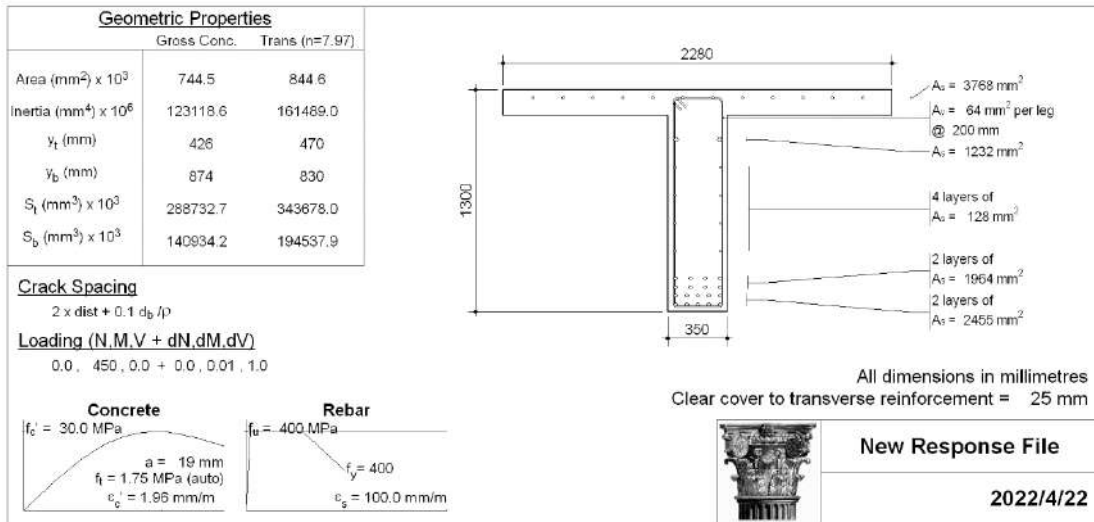
0.85* Shear Capacity = 59.84 T (Current Condition) Required Strengthening

0.9* Moment Capacity = 312.48 T-m (Current Condition) Required Strengthening

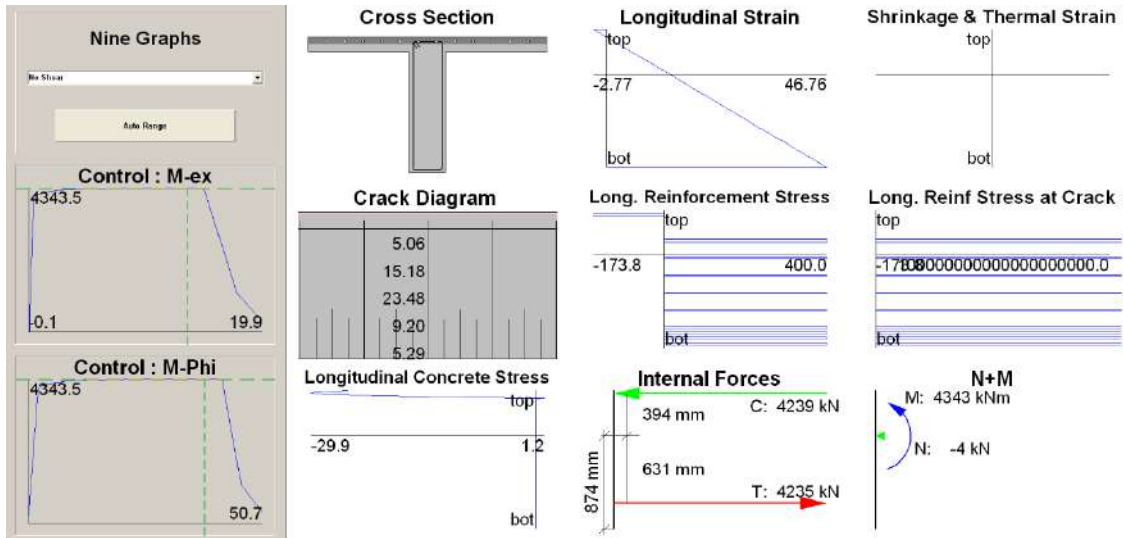
ตารางที่ 4-2 การประเมินระดับความเสียหายหรือสภาพการใช้งานโดยรวม

บริเวณชิ้นส่วน	ประเภทชิ้นส่วน	สภาพการใช้งาน (Condition Rating, CR)	ระดับความเสียหาย (Damage Rating, DR = 5 - CR)	ระดับความสำคัญหรือพื้นที่ผิว (A)	w*DR
S1-TG1	Girder	2	3	1	3
S1-TG2	Girder	2	3	1	3
S1-TG3	Girder	2	3	1	3
S1-TG4	Girder	2	3	1	3
S2-TG3	Girder	2	3	1	3
Weighted Critical Damage Rating (WCDR)					3
Weighted Critical Condition Rating (CCDR = 5 - WCDR)					2

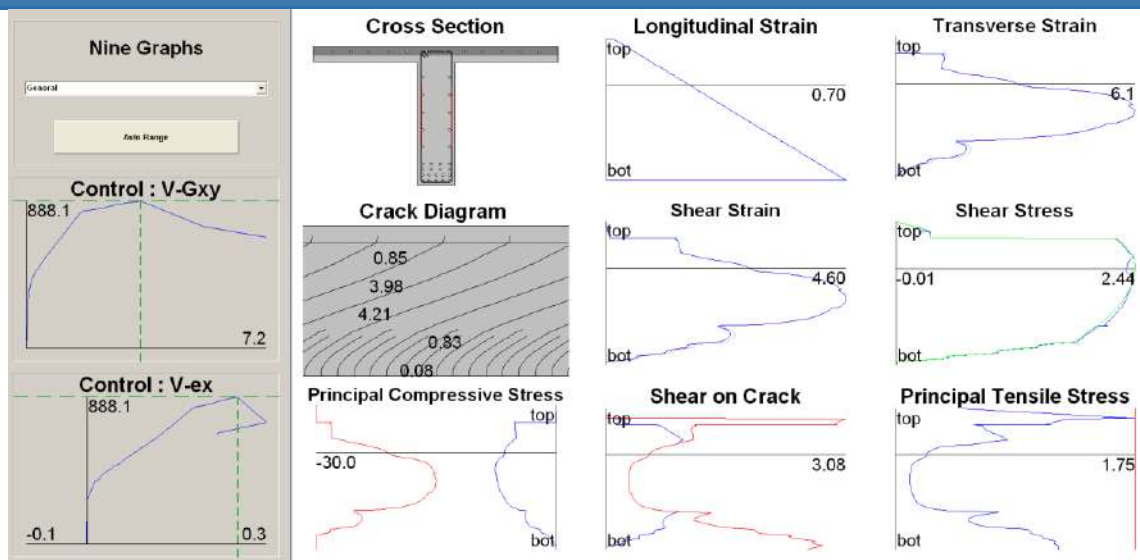
รูปที่ 13-127 การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานเดิม



รูปที่ 13-128 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเดิม



รูปที่ 13-129 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ดัดของสะพานเดิม



รูปที่ 13-130 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเดิม

13.8.2. รูปแบบการเสริมกำลัง

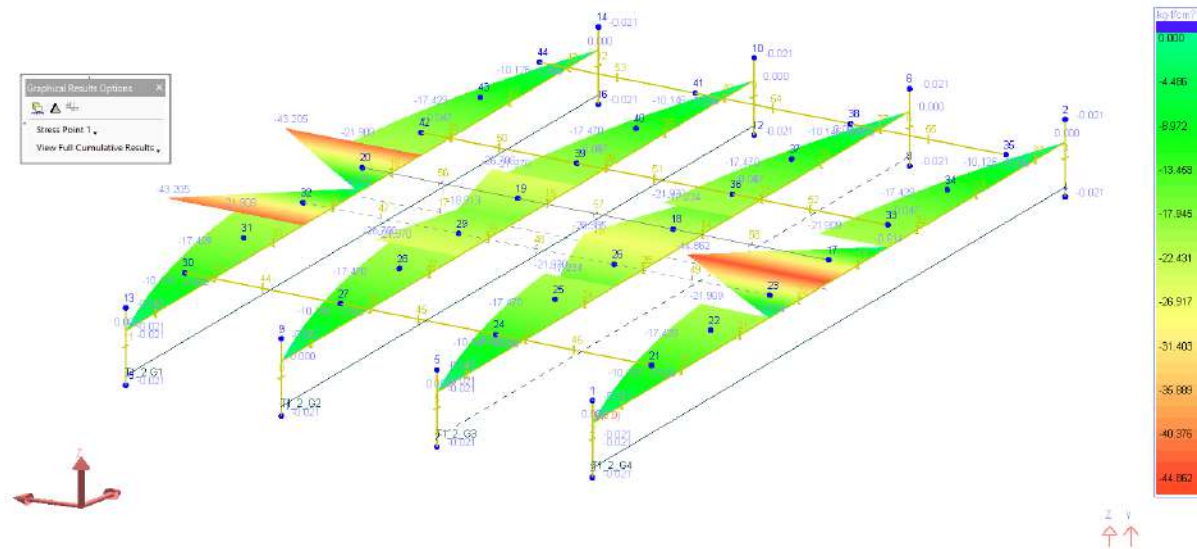
13.8.2.1. การออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีลวดอัดแรง (Prestressing System)

ในหัวข้อนี้ ที่ปรึกษาจะนำแนวทางการเสริมกำลังสะพานโดยวิธีลวดอัดแรง (Prestressing System) มาใช้ในการออกแบบเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักของบรรทุกจร (HL-93) ได้ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

โดยในการออกแบบ ที่ปรึกษาจะพิจารณาในช่วง Service Stage และช่วง Ultimate Stage โดยในช่วง Service Stage จะทำการวิเคราะห์ผลของขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานจนถึงสภาพของสะพานในปัจจุบัน แล้วจึงทำการเสริมส่วนของลวดอัดแรงและพอกคอนกรีตปิด แล้วจึงวิเคราะห์สะพานที่เสริมกำลังแล้วภายใต้ผลของน้ำหนักบรรทุกจร ดังแสดงดังนี้

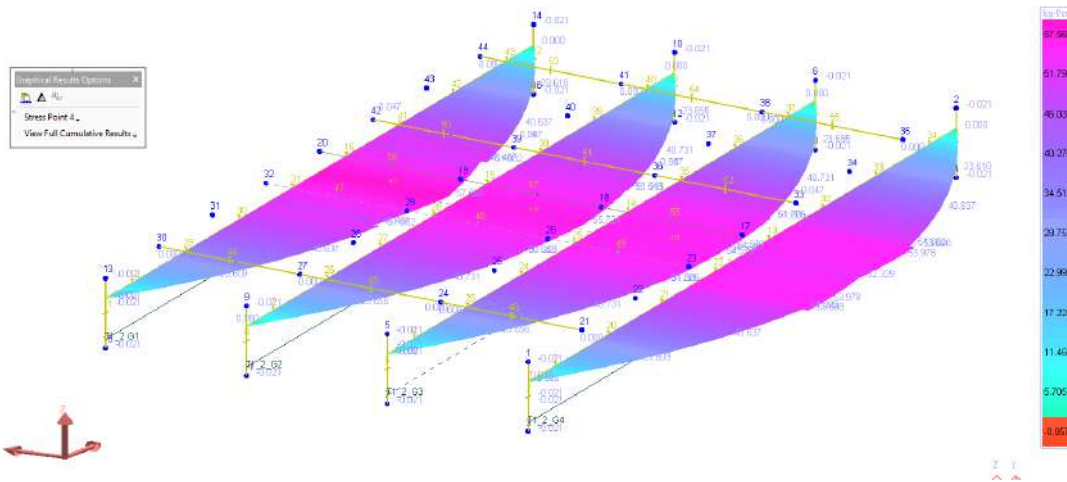
ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานก่อนการเสริมกำลังเนื่องจาก DL+SDL+TIME EFFECT

Zoom: 1.663K Stage: 75 years / step
 Member: Stress - Stress Point 1 - 75 years - step



รูปที่ 13-131 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

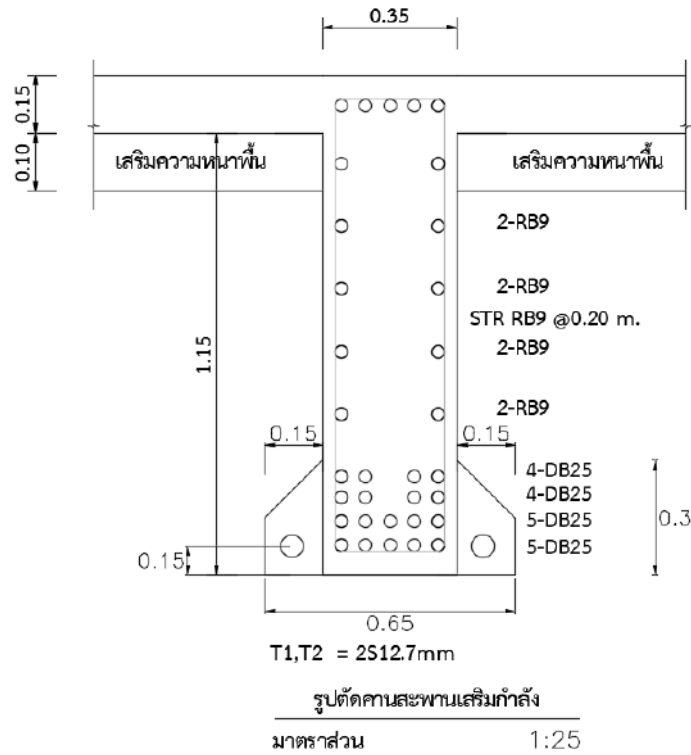
Zoom: 1.963K Stage: 75 years / step
 Member: Stress - Stress Point 4 - 75 years - step



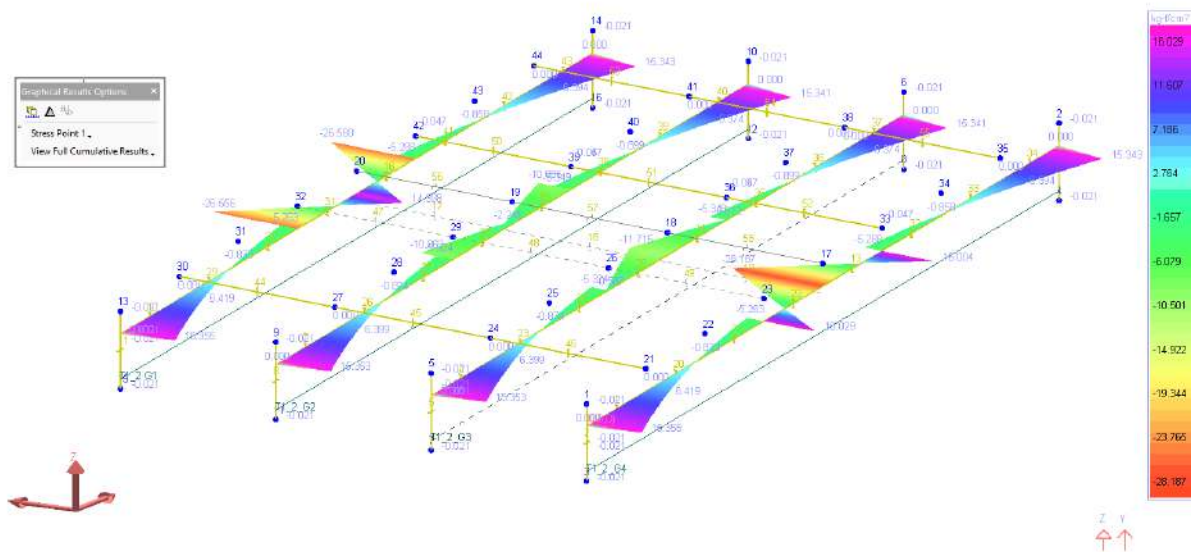
รูปที่ 13-132 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานภายหลังการเสริมกำลังโดยใช้ลวดอัดแรงขนาด T1=2-S12.7mm Grade 1860 Mpa และ T2=7-S12.7mm Grade 1860 Mpa





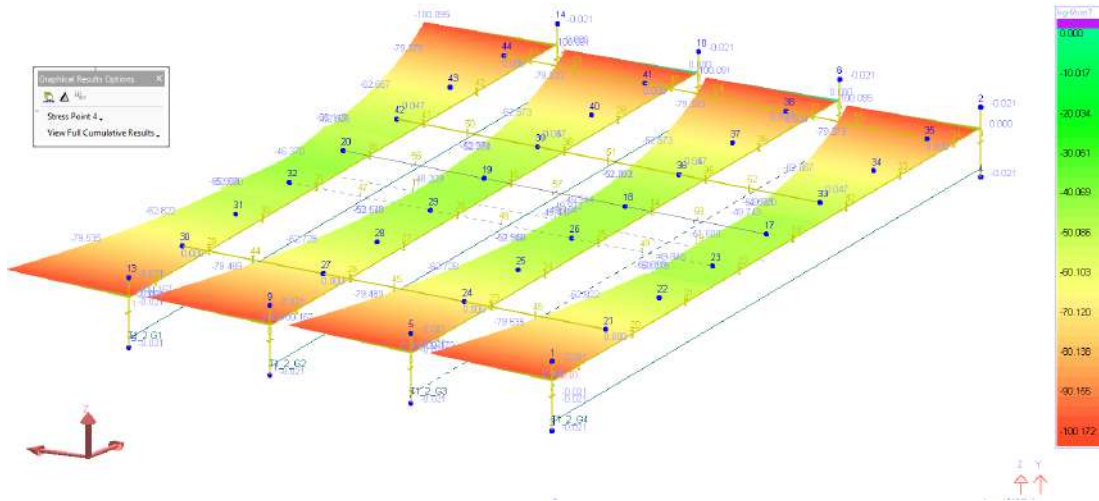
Zaini: 1.5638 Stage: Strengthening / Step 1
 Member: Girassa - Stage: Point 1 - Strengthening: Step: 1 - PT Activity



รูปที่ 13-133 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลัง:

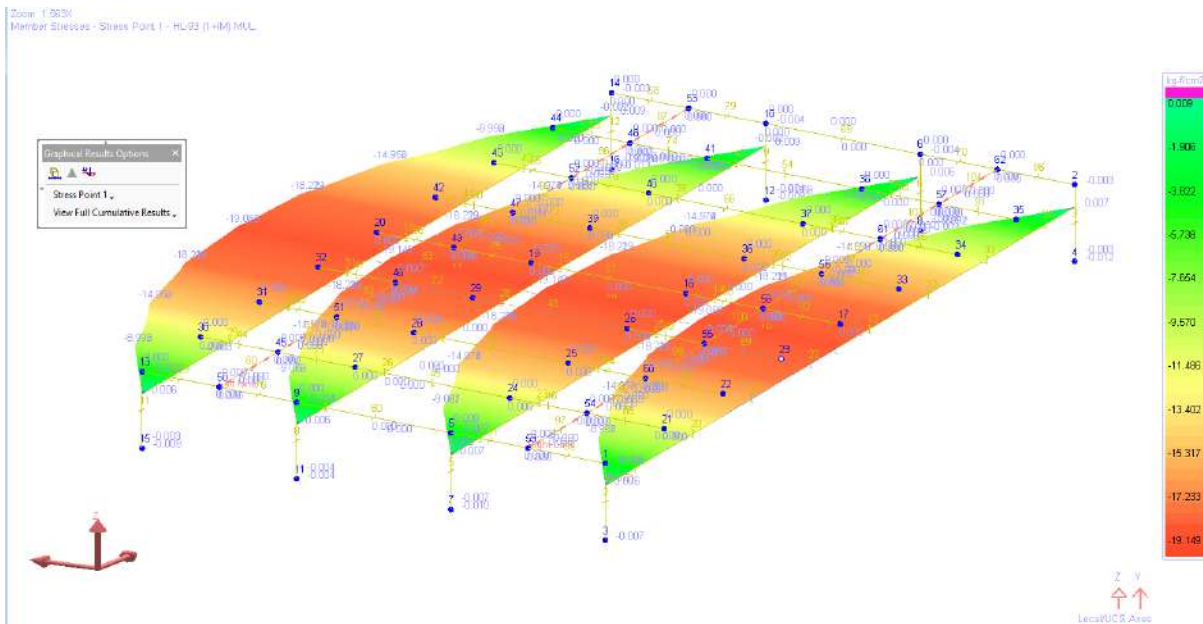
DL+SDL+TIME+PS

Zoom: 1.6256 - Stage: Strengthening / Step 1
 Member Stresses - Stress Point 4 - Strengthening / Step 1: PT Active



รูปที่ 13-134 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลัง:
DL+SDL+TIME+PS

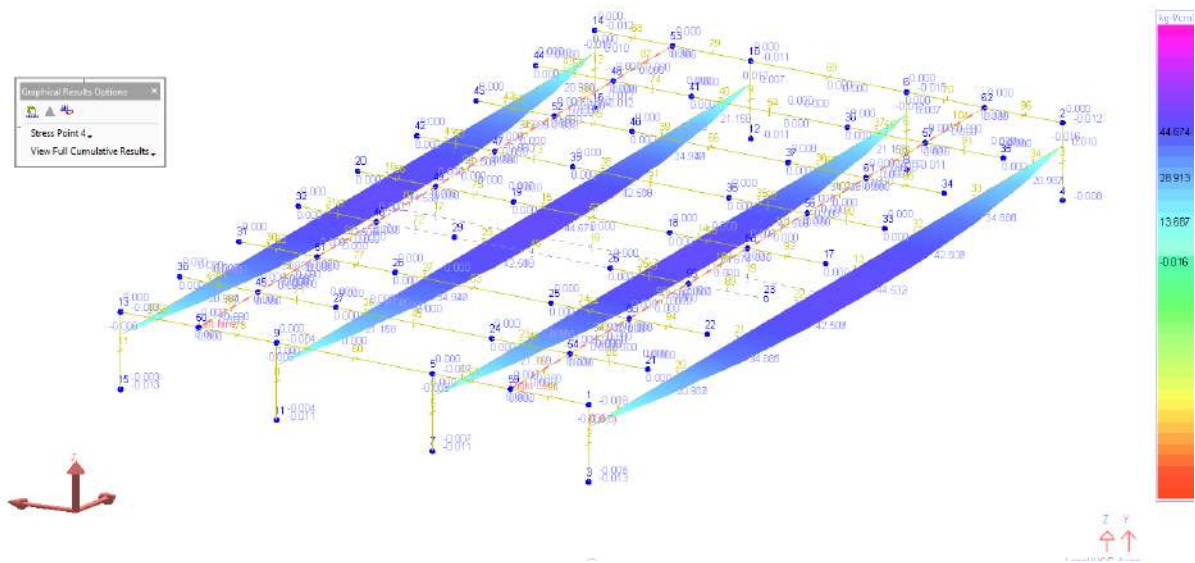
โดยเมื่อดำเนินการนำผลของค่าความเค้นของสะพานภายหลังการเสริมกำลัง มาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นของสะพานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกจร (HL-93) พบว่า สามารถรองรับความเค้นที่เกิดขึ้นได้ตามมาตรฐาน ดังแสดงดังนี้



รูปที่ 13-135 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลัง เนื่องจาก HL-93
 เท่านั้น



Zoom: 1.563x
 Member Stresses - Stress Point 4 - HL-93 (1+04) Mill



รูปที่ 13-136 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเสริมกำลังเนื่องจาก HL-93 เท่านั้น

จากนั้น ที่ปรึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของสะพานที่ Strength Limit State เพื่อยืนยันความสามารถในการรับน้ำหนักภายหลังการเสริมกำลังด้วย Prestressing System แสดงดังนี้

Case 2: Strengthening by PS

(Adopt PS to increase shear capacity)

	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		21.58				80.925
SDL		8				29
LL+IM		18.5				72
PS		0				0
STR1	0	71.35	0	0	0	270.6563

0.85*Shear Capacity = 81.6 T (Strengthening) OK

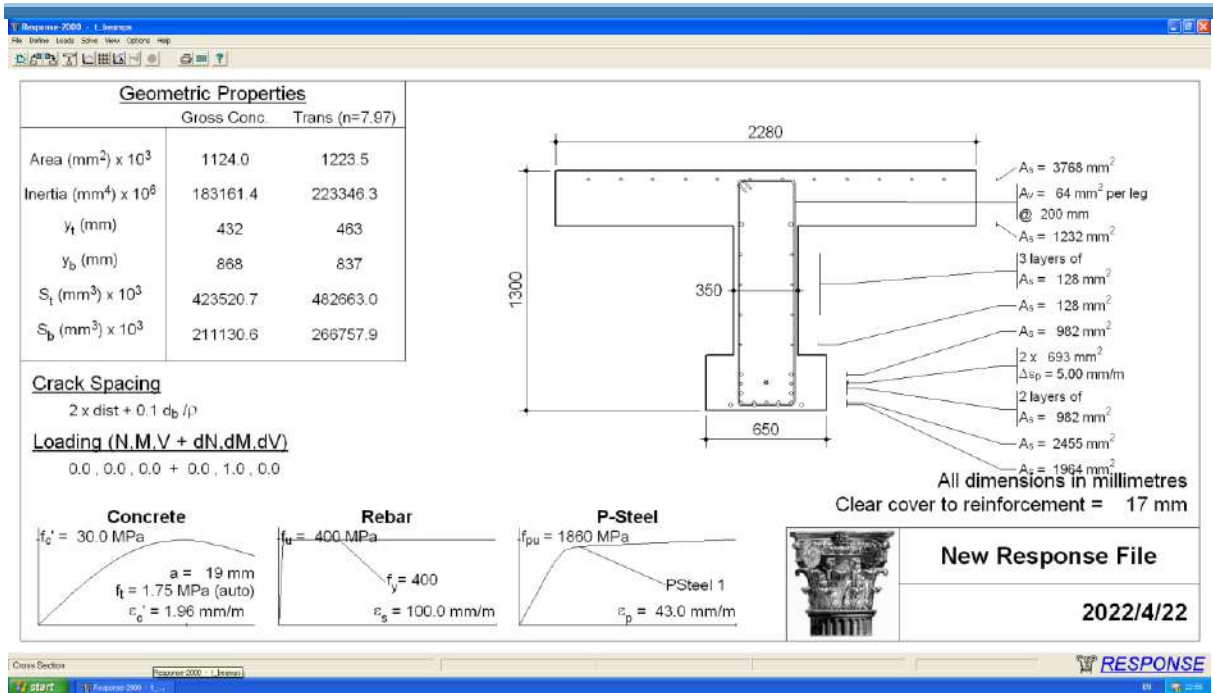
0.9*Moment Capacity = 540 T-m (Strengthening) OK

M5 181.925 T-m

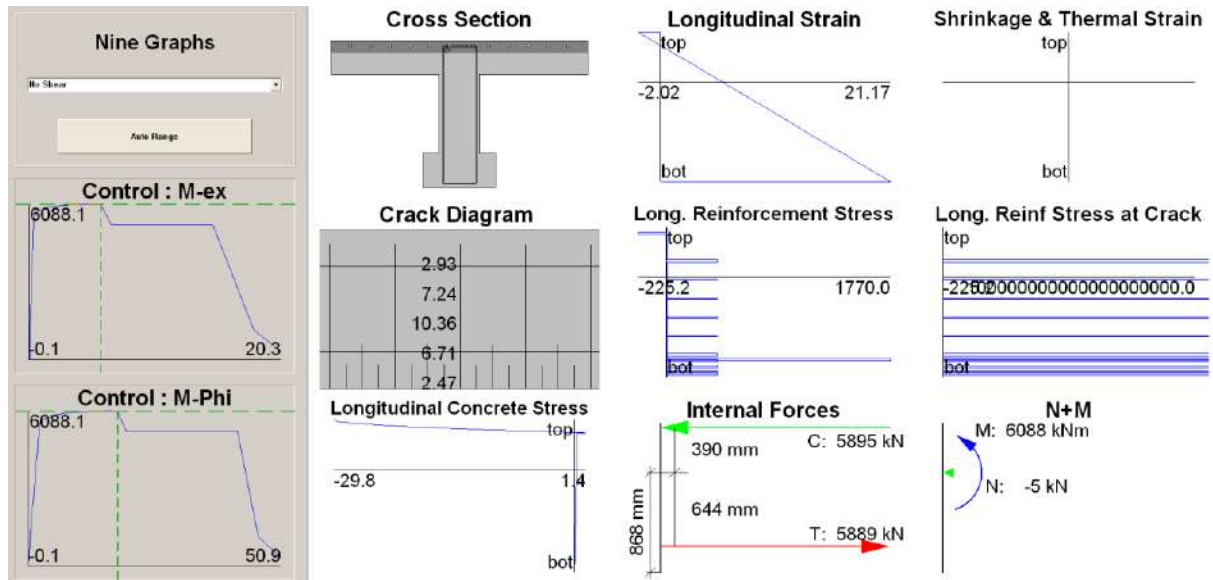
Mtr = 127 T-m

slightly cracking but less than 0.20mm

รูปที่ 13-137 ผลการเปรียบเทียบความสะพานในการรับน้ำหนักของสะพานเสริมกำลังโดย Prestressing System

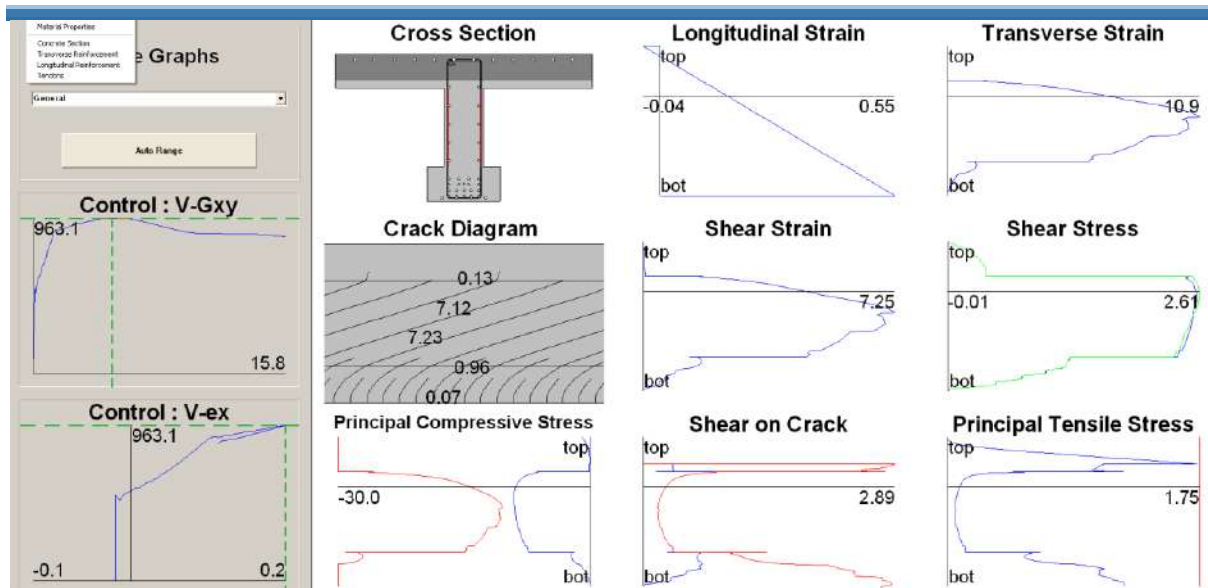


รูปที่ 13-138 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเสริมกำลังด้วย Prestressing System



รูปที่ 13-139 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ดัดของสะพานเสริมกำลังด้วย Prestressing System





รูปที่ 13-140 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเสริมกำลังด้วย Prestressing System

โดยรายละเอียดการออกแบบ แสดงในแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่แนบมากับรายงานฉบับนี้

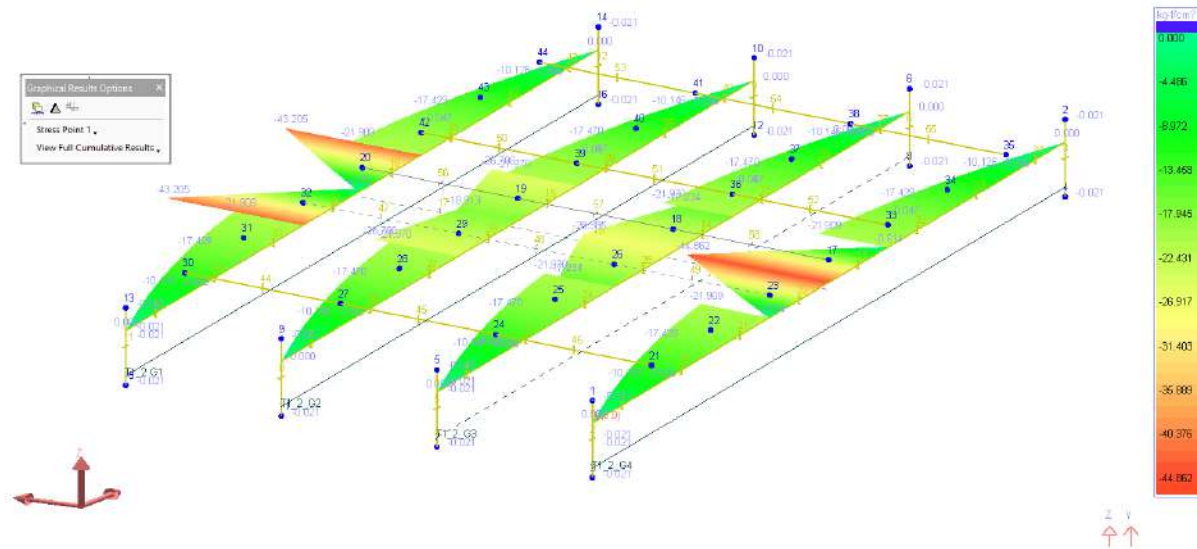
13.8.2.2. การออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีหุ้มคอนกรีต (RC Jacketing)

ในการออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีหุ้มคอนกรีต (Concrete Jacketing) ที่ปรึกษาได้ดำเนินการออกแบบเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักของบรรทุกจร (HL-93) ได้ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

โดยในการออกแบบ ที่ปรึกษาจะพิจารณาในช่วง Service Stage และช่วง Ultimate Stage โดยในช่วง Service Stage จะทำการวิเคราะห์ผลของขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานจนถึงสภาพของสะพานในปัจจุบัน แล้วจึงทำการเสริมเหล็กและพอกคอนกรีตปิด แล้วจึงวิเคราะห์สะพานที่เสริมกำลังแล้ว ภายใต้ผลของน้ำหนักบรรทุกจร ดังแสดงดังนี้

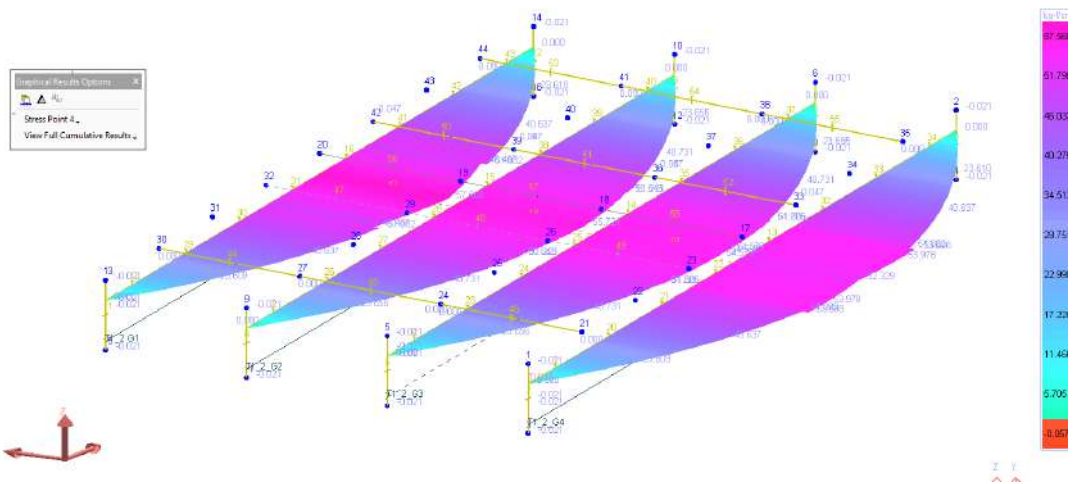
ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานก่อนการเสริมกำลังเนื่องจาก DL+SDL+TIME EFFECT

Zoom: 1.663K Stage: 75 years / step
 Member: Slab200 - Stress Point 1 - 75 years / step



รูปที่ 13-141 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

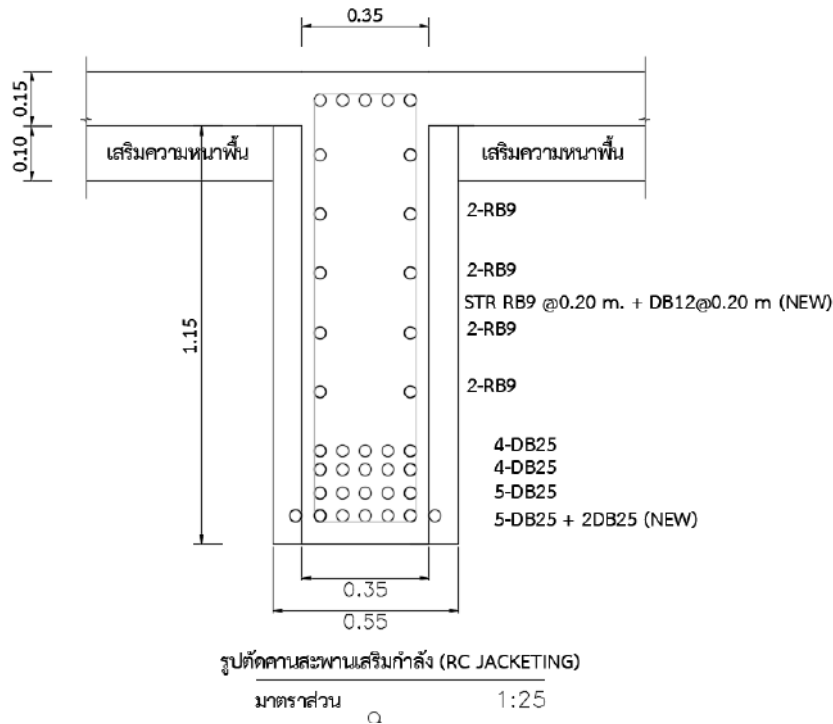
Zoom: 1.963K Stage: 75 years / step
 Member: Slab200 - Stress Point 4 - 75 years / step



รูปที่ 13-142 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานและกำลังที่เหลืออยู่ที่จำเป็นต้องเสริมกำลัง ที่ปรึกษาออกแบบเสริมกำลังโดยเพิ่มเหล็กเสริมขนาด DB25 จำนวน 8 เส้น ที่บริเวณท้องของคานและเหล็กปลอกที่ด้านคาน เพิ่ม DB12@0.20 เพื่อช่วยในการรับแรงเฉือน ดังแสดงในรูป





จากนั้น ที่ปรึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของสะพานที่ Strength Limit State เพื่อยืนยันความสามารถในการรับน้ำหนัก และยังตรวจสอบ Crack Width ที่ระดับ Service Limit State ภายหลังการเสริมกำลังด้วย RC Jacketing แสดงดังนี้

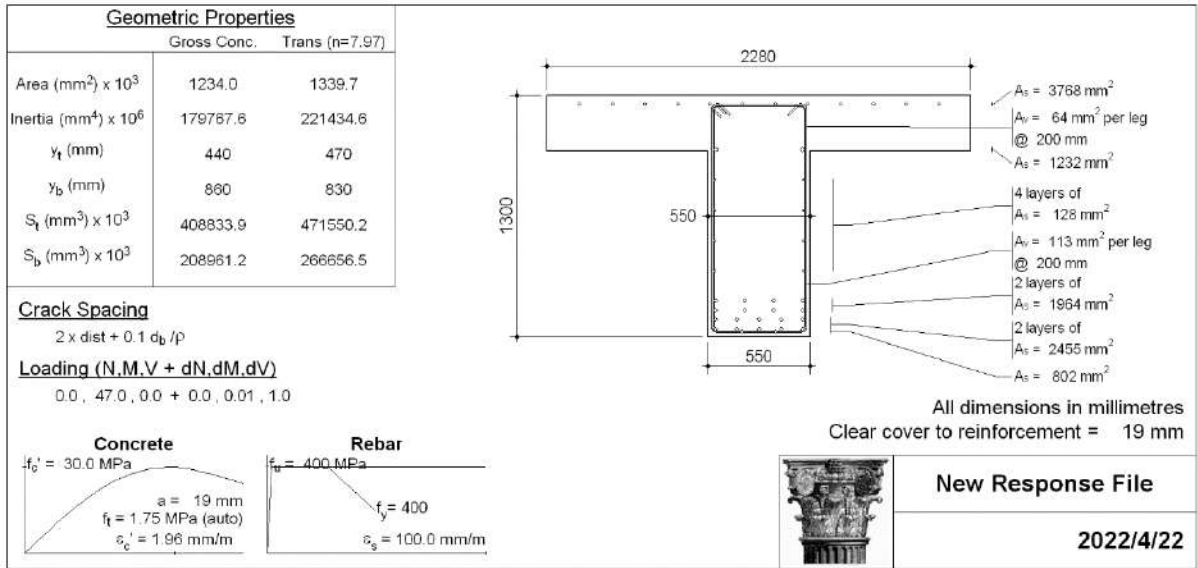
Case 3: Strengthening by RCJacketing

	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		23.02				86.325
SDL		8				29
LL+IM		18.5				72
PS		0				0
STR1	0	73.15	0	0	0	277.4063

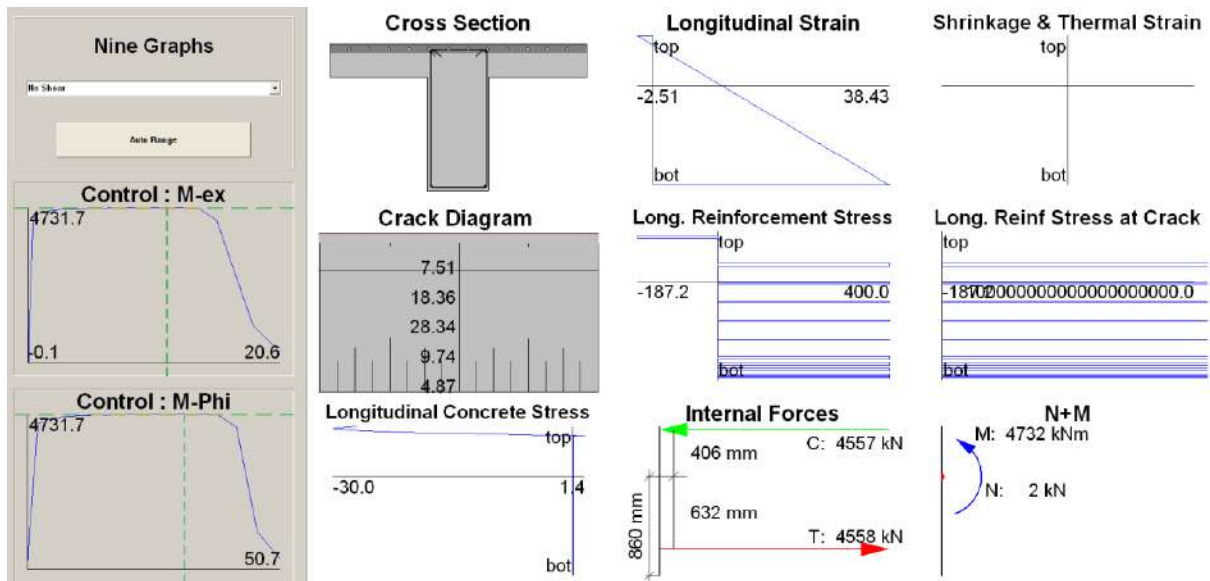
0.85*Shear Capacity = 151.3 T (Strengthening) OK
 0.9*Moment Capacity = 425.7 T-m (Strengthening) OK

M5 187.325 T-m
 Mtr = 87 T-m
 Crack width < 0.2 mm

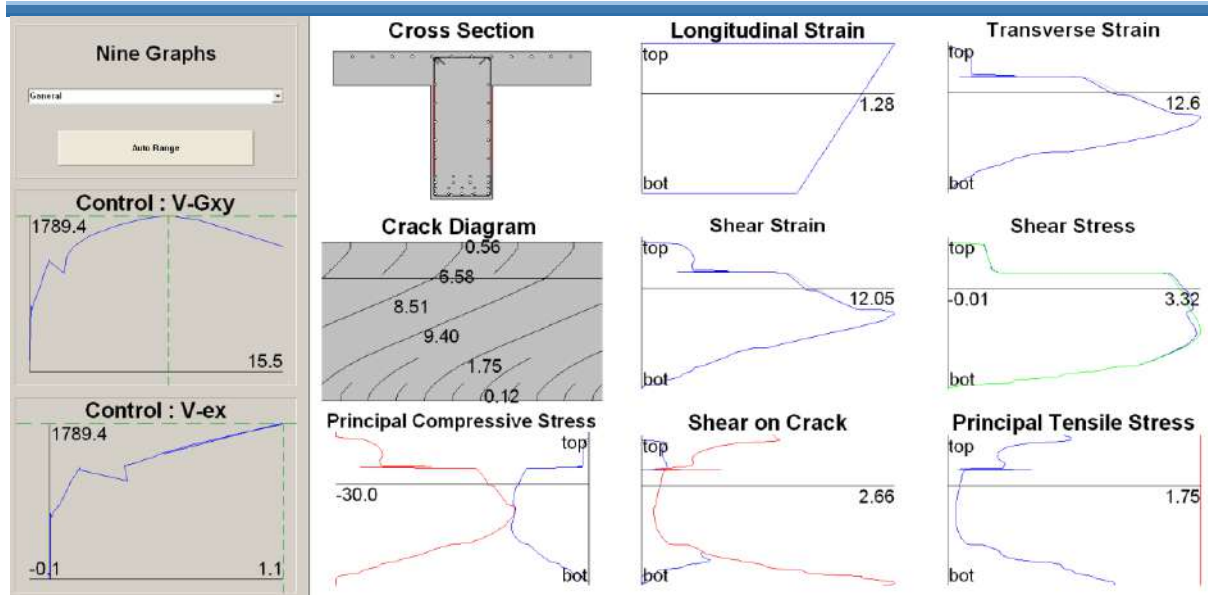
รูปที่ 13-143 ผลการเปรียบเทียบความสะพานในการรับน้ำหนักของสะพานเสริมกำลังโดย RC Jacketing



รูปที่ 13-144 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเสริมกำลังด้วย RC Jacketing



รูปที่ 13-145 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ดัดของสะพานเสริมกำลังด้วย RC Jacketing



รูปที่ 13-146 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเสริมกำลังด้วย RC Jacketing

โดยรายละเอียดการออกแบบ แสดงในแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่แนบมากับรายงานฉบับนี้

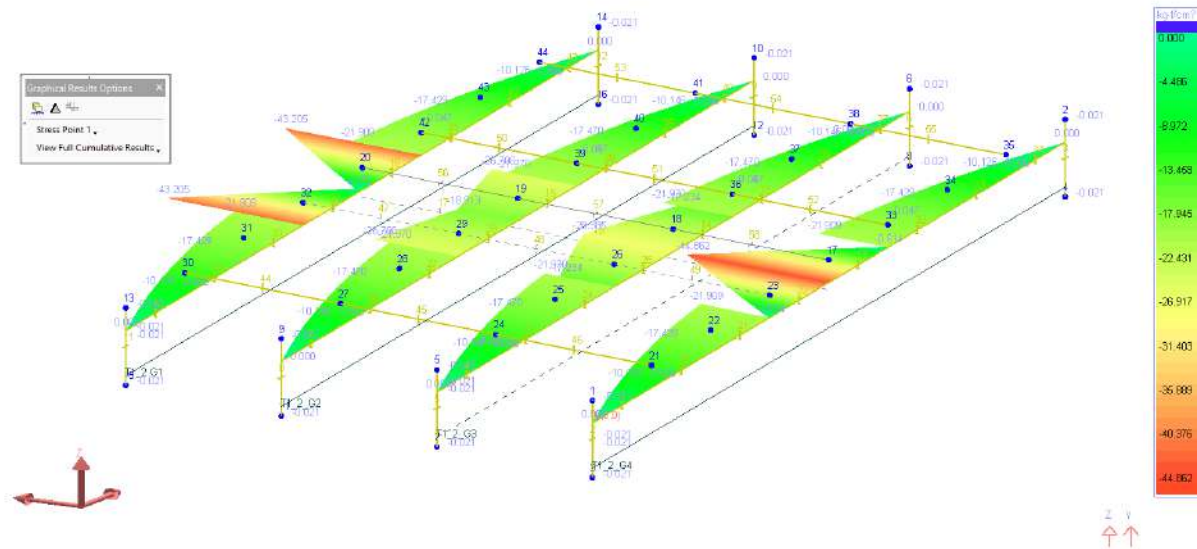
13.8.2.3. การออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber)

ในการออกแบบเสริมกำลังของสะพานโดยวิธีเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) ที่ปรึกษาได้ดำเนินการออกแบบเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักของบรรทุกจร (HL-93) ได้ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

โดยในการออกแบบ ที่ปรึกษาจะพิจารณาในช่วง Service Stage และช่วง Ultimate Stage โดยในช่วง Service Stage จะทำการวิเคราะห์ผลของขั้นตอนการก่อสร้างของสะพานจนถึงสภาพของสะพานในปัจจุบัน แล้วจึงทำการเสริม Carbon Fiber และ Coating ปิด แล้วจึงวิเคราะห์สะพานที่เสริมกำลังแล้วภายใต้ผลของน้ำหนักบรรทุกจร ดังแสดงดังนี้

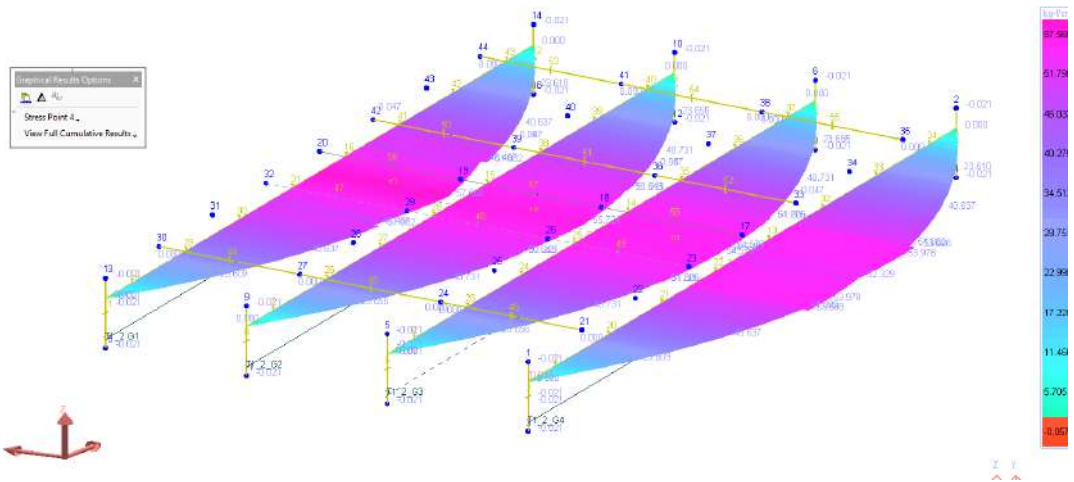
ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพาน ก่อนการเสริมกำลัง เนื่องจาก DL+SDL+TIME EFFECT

Zoom: 1.663K Stage: 75 years / step
 Member: Stress - Stress Point 1 - 75 years - step



รูปที่ 13-147 ผลความเค้นด้านบน (Top Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

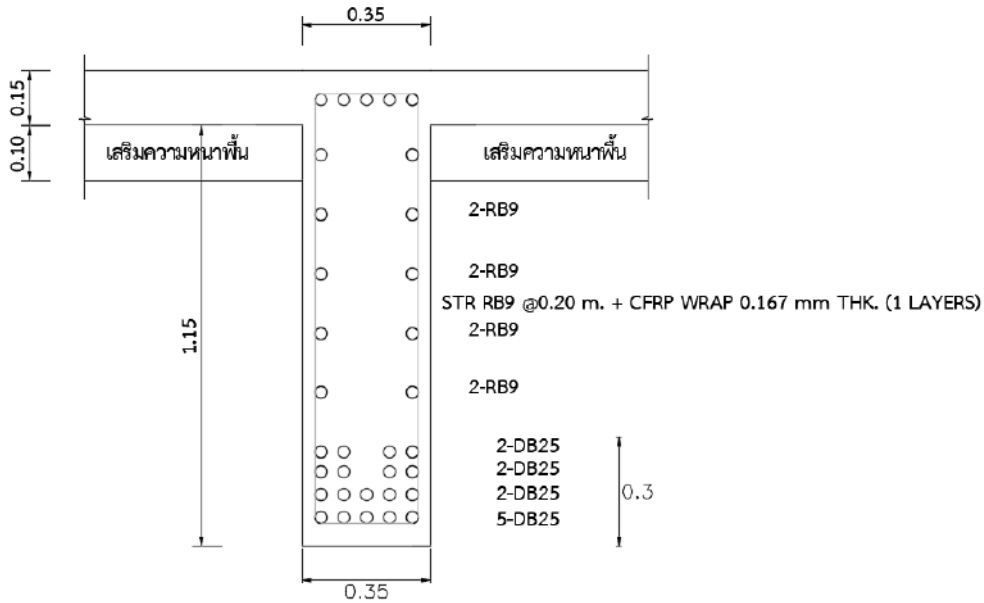
Zoom: 1.963K Stage: 75 years / step
 Member: Stress - Stress Point 4 - 75 years - step



รูปที่ 13-148 ผลความเค้นด้านล่าง (Bottom Fiber Stress) ของสะพานเดิม: DL+SDL+TIME

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นของสะพานและกำลังที่เหลืออยู่ที่จำเป็นต้องเสริมกำลัง ที่ปรึกษา ออกแบบเสริมกำลังเฉพาะแรงเฉือนโดยเพิ่มการเสริม CFRP แบบผืน (WRAP) ด้านข้างของคานในช่วง รับแรงเฉือนด้วยวัสดุ CFRP WRAP หนา 0.167 MM หุ้มจำนวน 1 ชั้น ดังแสดงในรูป





รูปตัดคานสะพานเสริมกำลัง (CFRP)
 มาตรฐาน 1:25

จากนั้น ที่ปรึกษาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของสะพาน ที่ Strength Limit State เพื่อยืนยันความสามารถในการรับน้ำหนัก และยังตรวจสอบ Crack Width ที่ระดับ Service Limit State ภายหลังการเสริมกำลังด้วย Carbon Fiber แสดงดังนี้

Case 4: Strengthening by CFRP

	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		21.04				78.9
SDL		8				29
LL+IM		18.5				72
PS		0				0
STR1	0	70.675	0	0	0	268.125

0.85*Shear Capacity = 84.7 T (Strengthening) OK

0.9*Moment Capacity = 312.48 T-m (Existing) OK

MS 179.9 T-m

Mtr = 59 T-m

Crack width < 0.2 mm

รูปที่ 13-149 ผลการเปรียบเทียบความสะพานในการรับน้ำหนักของสะพานเสริมกำลังโดย
Carbon Fiber

โดยรายละเอียดการออกแบบ แสดงในแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่แนบมากับ
 รายงานฉบับนี้

13.8.3. การเปรียบเทียบราคาต้นทุนการเสริมกำลัง

จากแนวทางการคำนวณกิจกรรมการบูรณะข้างต้น ที่ปรึกษาได้ ดำเนินการประมาณราคาต้นทุนงานบูรณะสะพาน ทั้ง 3 วิธี แสดงดังนี้ โดยรายละเอียดการคิดราคาแสดงในบทการประมาณราคาค่าเสริมกำลังโครงสร้างสะพาน

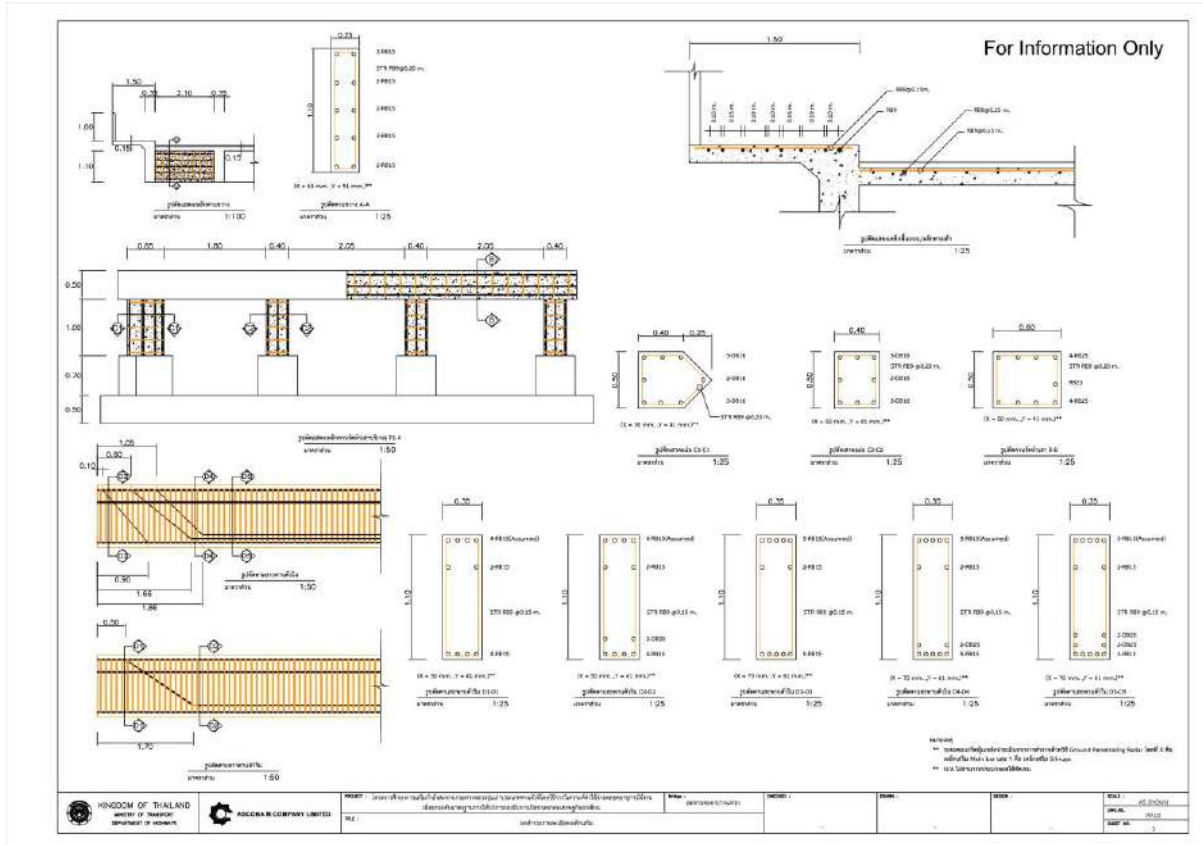
สะพานข้ามแม่น้ำชี (15+15)

1) วิธี RC Jacketing	ราคาต่อสะพาน	1,390,592 บาท (ไม่รวม Factor F)
2) วิธี Internal Prestressing	ราคาต่อสะพาน	1,021,796 บาท (ไม่รวม Factor F)
3) วิธี Carbon Fiber	ราคาต่อสะพาน	1,370,635 บาท (ไม่รวม Factor F)

จากราคาต้นทุนข้างต้น ที่ปรึกษาจะนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานเพื่อหารูปแบบวิธีการเสริมกำลังที่เหมาะสมในบทรัดไป

13.9 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานคลองปากแพรก

สะพานคลองปากแพรก ตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 16 นครศรีธรรมราช แขวงทางหลวง นครศรีธรรมราชที่ 2 (ทุ่งสง) จังหวัดนครศรีธรรมราช หมายเลขทางหลวง 4305 กม.กลางสะพาน 8+025 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2501 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 281 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง 4TG(3x10) ความกว้างผิวทาง 7 เมตร



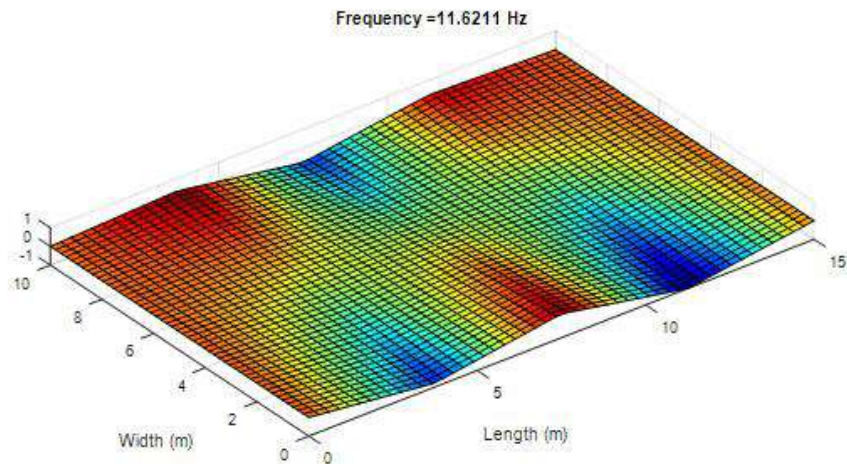
รูปที่ 13-150 แบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม

13.9.1. การตรวจสอบความสามารถรับน้ำหนักของสะพาน

ตัวอย่างของแบบจำลองที่ปรับค่าและเปรียบเทียบกับ Natural Frequency ของสะพานที่ได้รับ การทดสอบในภาคสนามแสดงดังนี้

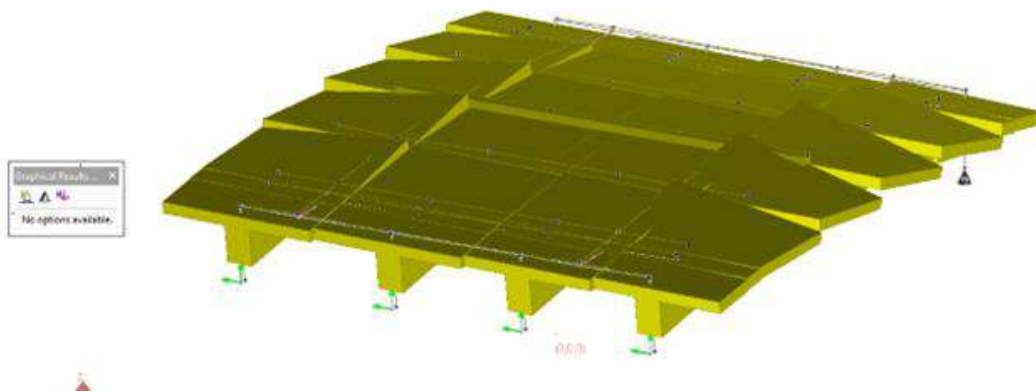
ตารางที่ 4.6-5 ผลการวิเคราะห์ Natural-Frequency, Mode-Shape และ Damping-Ratio

Test	Freq.	Mode Shape	Damping Ratio					
			AC 01	AC 02	AC 03	AC 04	AC 05	AC 06
Dynamic 1	12.256	1st Bending	2.507	2.416	1.6	3.625	2.095	2.003
Dynamic 2	13.086	1st Bending	2.894	1.941	2.082	2.56	1.932	2.807
Dynamic 3	12.988	1st Bending	2.176	2.444	2.634	1.923	2.427	3.073



Fn(FEA) 13.38 Hz Test/FEA= 0.955 OK

Time: 1.250s
 Mode Order: 1st (13.38), 1st (10.95)
 Scale Factor: 1



รูปที่ 13-151 แบบจำลองที่ได้ปรับค่ากับการทดสอบภาคสนามโดย Finite Element Updating

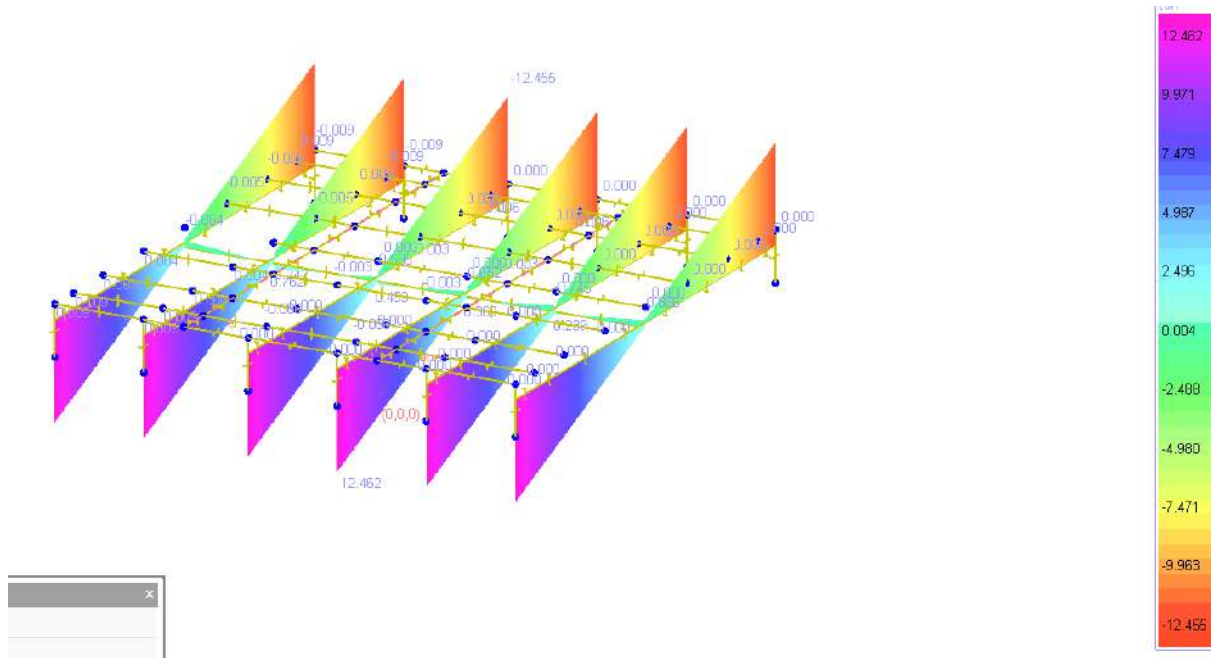


13.9.1.1. การวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน

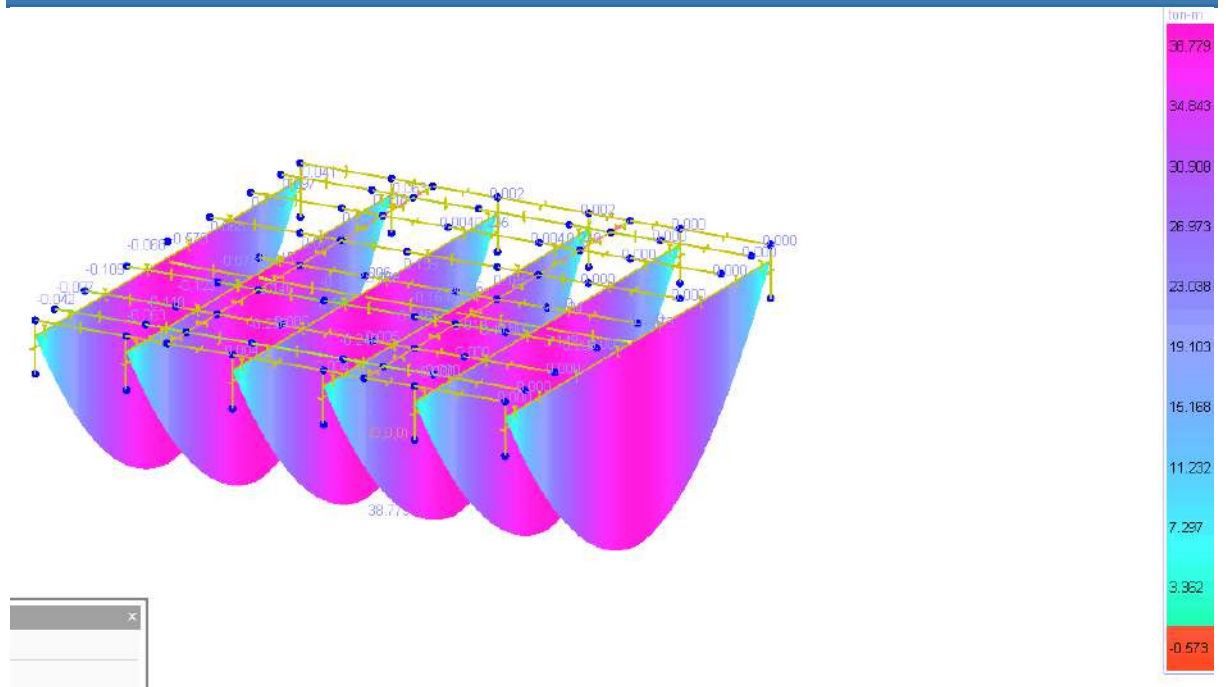
ในหัวข้อนี้ แบบจำลองที่ได้ทำการปรับค่าแล้วจากวิธี Finite Element Updating จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาแรงภายในต่าง ๆ เพื่อใช้ประกอบการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน ภายใต้น้ำหนักบรรทุกจร (HL-93) และใช้ในการประกอบการออกแบบเสริมกำลังต่อไป

ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน ที่ปรึกษาจะวิเคราะห์โดยใช้วิธี Construction Stage Analysis เพื่อให้สามารถพิจารณาผลของขั้นตอนการก่อสร้าง และคุณสมบัติวัสดุของสะพานเทียบกับเวลา เป็นต้น

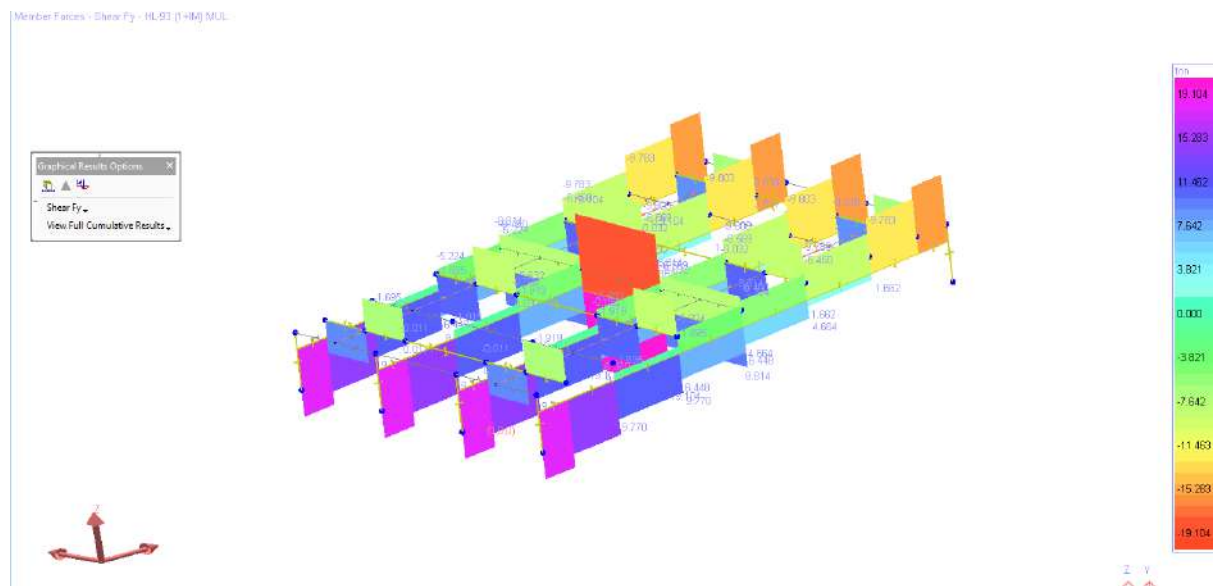
ตัวอย่างของผลการวิเคราะห์สะพาน แสดงดังนี้



รูปที่ 13-152 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก DL

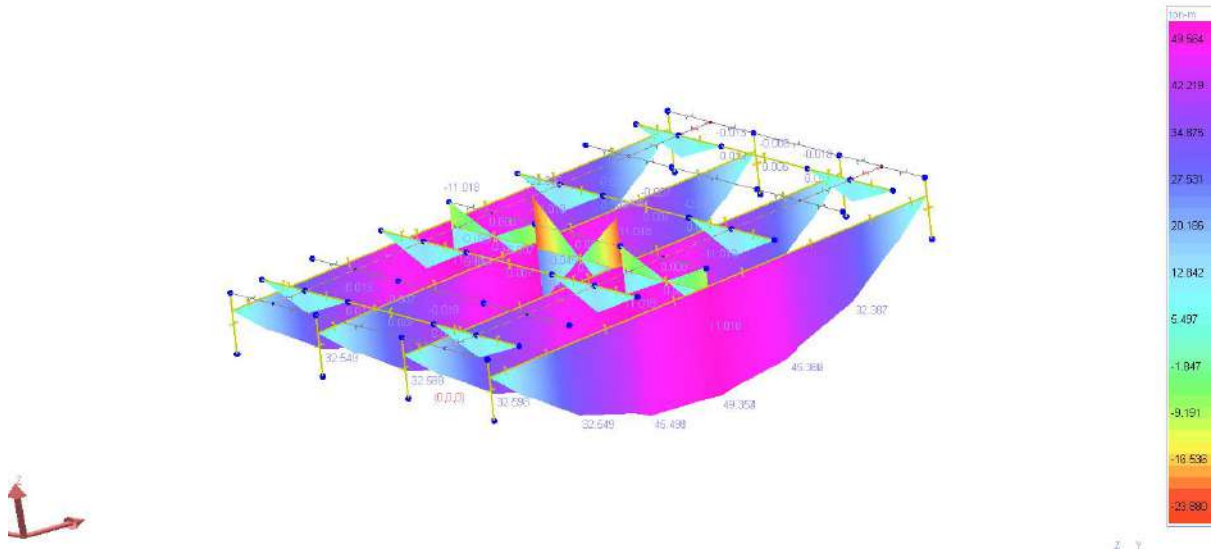


รูปที่ 13-153 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดของสะพาน เนื่องจาก DL



รูปที่ 13-154 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)





รูปที่ 13-155 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ตัดของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังของสะพานตามสภาพเดิมในปัจจุบัน สามารถ รองรับ น้ำหนักเนื่องจาก HL-93 ได้ ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD ดังแสดงในรูปที่ 13-156 ถึงรูปที่ 13-159

Case 1: Existing Condition of Bridge (สะพานคลองบางพร) Span 10.0 m)

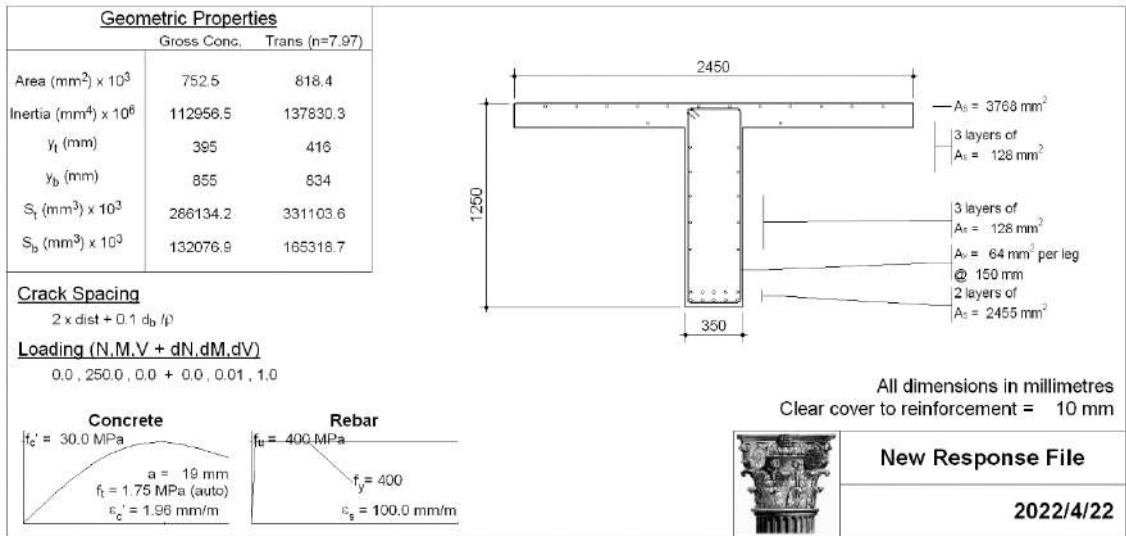
	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		12.5				38.779
SDL		2				5.3
LL+IM		19				49.5
PS		0				0
STR1	0	51.875	0	0	0	143.0488

- 0.85*Shear Capacity = 84.15 T (New Condition)
- 0.9* Moment Capacity = 218.7 T-m (New Condition)
- 0.85*Shear Capacity = 67.32 T (Current Condition) No Need for Strengthening
- 0.9* Moment Capacity = 174.96 T-m (Current Condition)

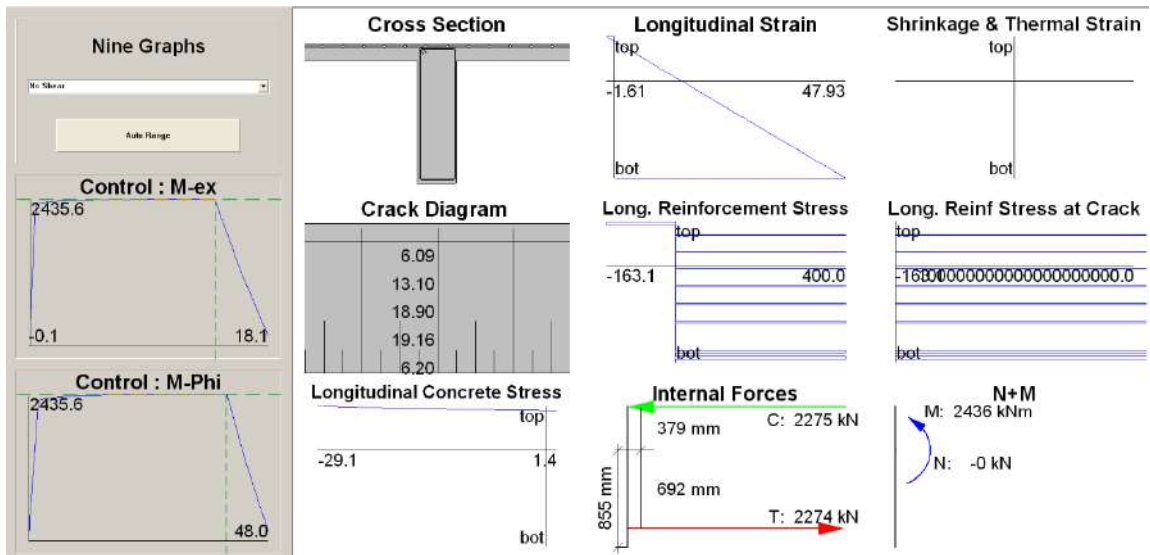
ตารางที่ 8-2 การประเมินระดับความเสียหายต่อสภาพการใช้งานโดยรวม

บริเวณ พิจารณา	ประเภท พิจารณา	สภาพการเสื่อม (Condition Rating, CR)	ระดับความเสียหาย (Damage Rating, DR = 5 - CR)	ระดับความสำคัญหรือความเสี่ยง (W)	wDR
S1-00	Order	3	2	1	2
S5-00	Order	3	2	1	2
S1-0K	Deck	3	2	0.8	1.6
S5-00	Order	4	1	1	1
S2-R/J	Exp. joint	3	2	0.4	0.8
Weighted Critical Damage Rating (WCDR)					1.48
Weighted Critical Condition Rating (CCDR = 5 - WCDR)					3.52

รูปที่ 13-156 การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานเดิม

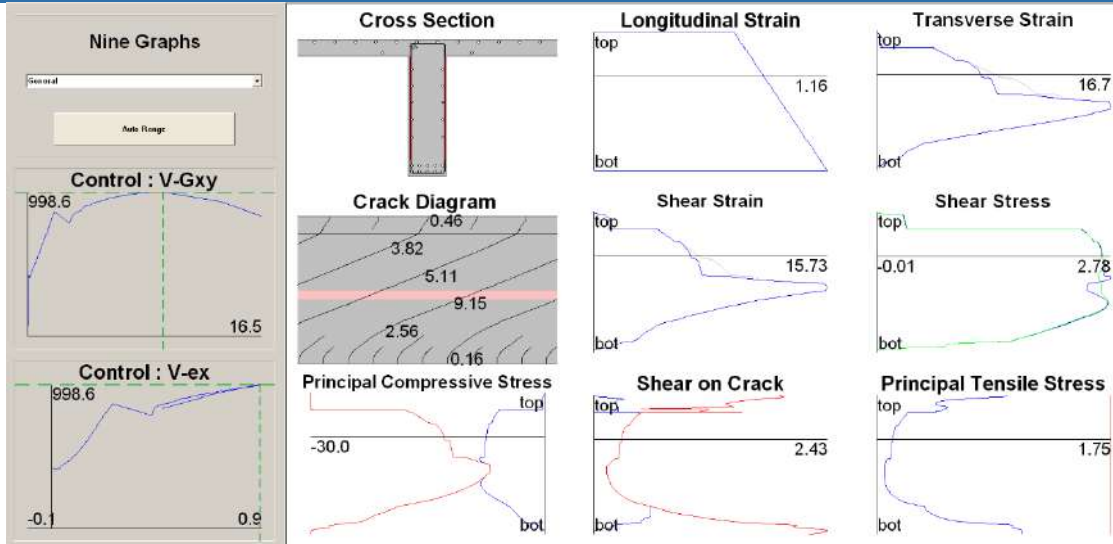


รูปที่ 13-157 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเดิม



รูปที่ 13-158 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ตัดของสะพานเดิม





รูปที่ 13-159 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเดิม

โดยจากการประเมินกำลังรับน้ำหนักของสะพานเดิม ทั้งกรณีโมเมนต์ตัดและแรงเฉือน สามารถรองรับแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักต่าง ๆ ได้ โดยไม่ต้องทำการเสริมกำลังเพิ่มในส่วนของคาน

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ความคงทนของสะพานในระยะยาว ที่ปรึกษาเสนอให้เพิ่มความหนาของพื้นสะพาน ประมาณ 0.10 เมตร โดยจะพิจารณาส่วนนี้ในการคิดราคาต้นทุนการดำเนินการบูรณะสะพานต่อไป

13.9.2. ราคาต้นทุนการเสริมกำลัง

จากแนวทางการจําแนกกิจกรรมการบูรณะข้างต้น ที่ปรึกษาได้ดำเนินการประมาณราคาต้นทุนงานบูรณะสะพาน ในส่วนการเสริมความหนาพื้นสะพาน แสดงดังนี้ โดยรายละเอียดการคิดราคาแสดงในใบทําการประมาณราคาค่าเสริมกำลังโครงสร้างสะพาน

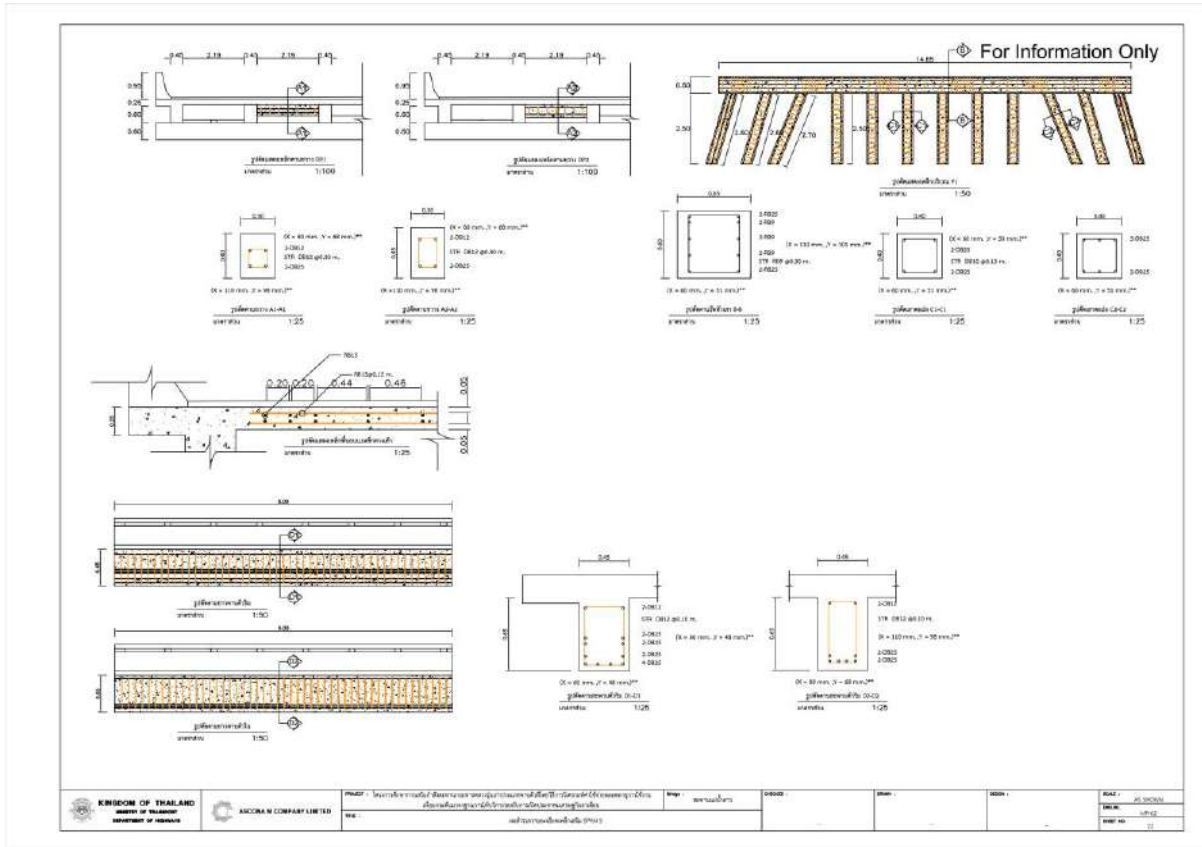
สะพานข้ามคลองบางแพรก จำนวน 3 Span (10mx3)

วิธี เสริมพื้นสะพานราคาต่อสะพาน 1,177,689 บาท (ไม่รวม Factor F)

จากราคาต้นทุนข้างต้น ที่ปรึกษาจะนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน เพื่อหารูปแบบวิธีการเสริมกำลังที่เหมาะสมในบทถัดไป

13.10 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานแม่น้ำลาว

สะพานแม่น้ำลาวตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 2 แพร่ แขวงทางหลวงเชียงใหม่ที่ 1 จังหวัดเชียงใหม่ หมายเลขทางหลวง 118 กม.กลางสะพาน 91+205 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2525 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 1,598 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง 6TG(5x12) ความกว้างผิวทาง 13 เมตร



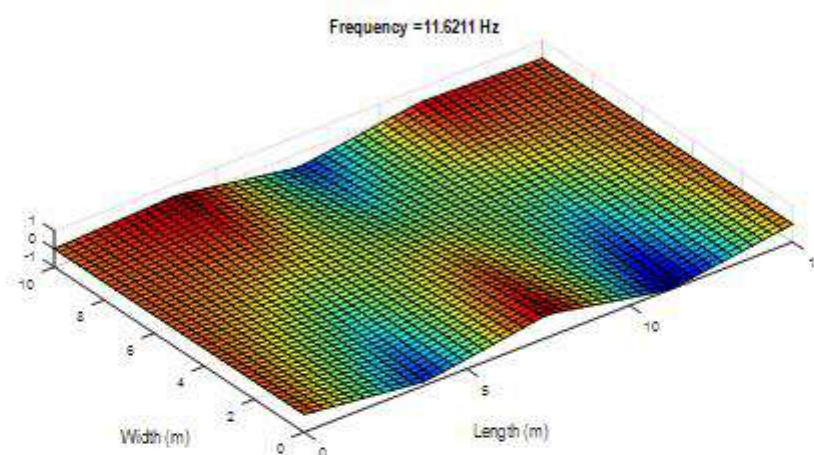
รูปที่ 13-160 แบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม

13.10.1. การตรวจสอบความสามารถการรับน้ำหนักของสะพาน

ตัวอย่างของแบบจำลองที่ปรับค่าและเปรียบเทียบกับ Natural Frequency ของสะพานที่ได้รับการทดสอบในภาคสนามแสดงดังนี้

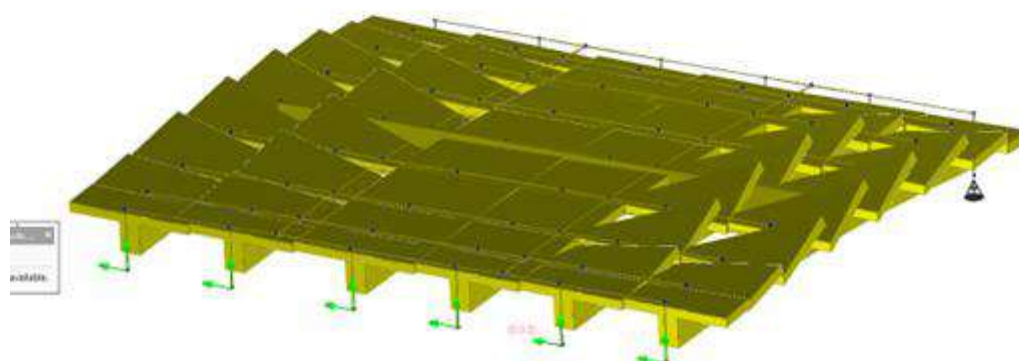
ตารางที่ 8.6-5 ผลการวิเคราะห์ Natural Frequency, Mode Shape และ Damping Ratio

Test	Freq.	Mode Shape	Damping Ratio					
			AC 01	AC 02	AC 03	AC 04	AC 05	AC 06
Dynamic 1	11.621	1st Bending	1.891	2.151	1.886	2.101	1.849	2.097
Dynamic 2	12.183	1st Bending	0.955	0.838	0.932	0.833	0.92	0.835
Dynamic 3	10.791	1st Bending	1.96	5.968	1.998	6.173	2.007	6.684



Fn(FEA) 10.58 Hz Test/FEA= 1.090 OK

8/14/2015 10:02:00



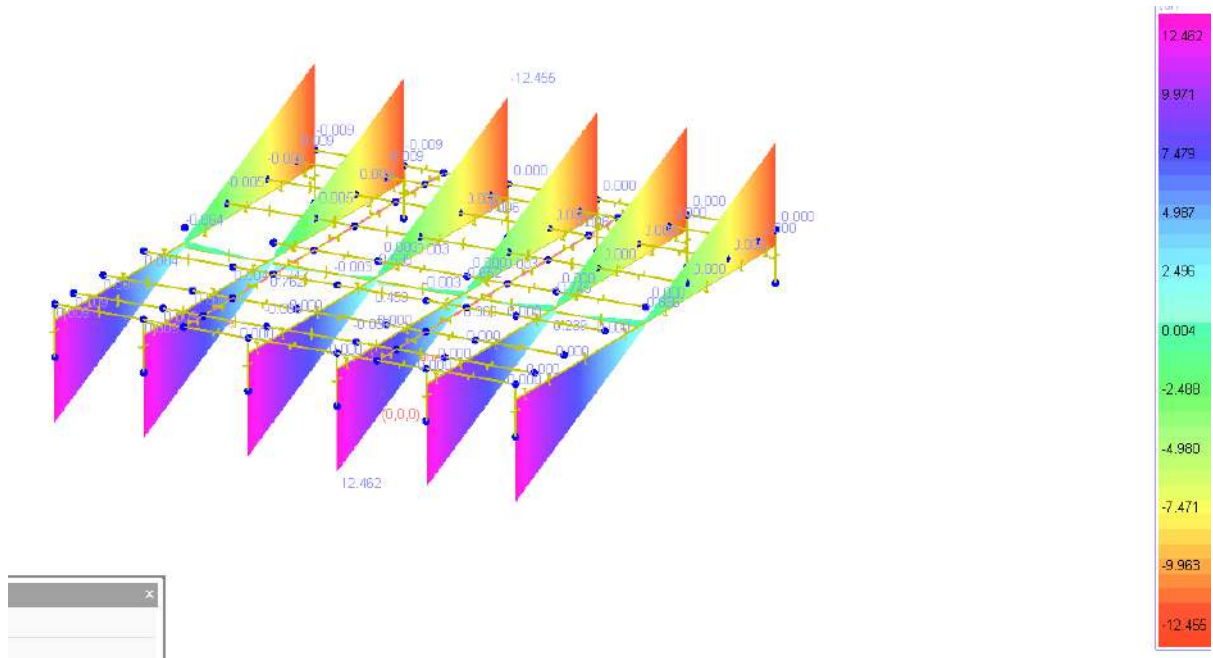
รูปที่ 13-161 แบบจำลองที่ได้ปรับค่ากับการทดสอบภาคสนามโดย Finite Element Updating

13.10.1.1. การวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน

ในหัวข้อนี้ แบบจำลองที่ได้ทำการปรับค่าแล้วจากวิธี Finite Element Updating จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาแรงภายในต่าง ๆ เพื่อใช้ประกอบการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานภายใต้น้ำหนักบรรทุกจร (HL-93) และใช้ในการประกอบการออกแบบเสริมกำลังต่อไป

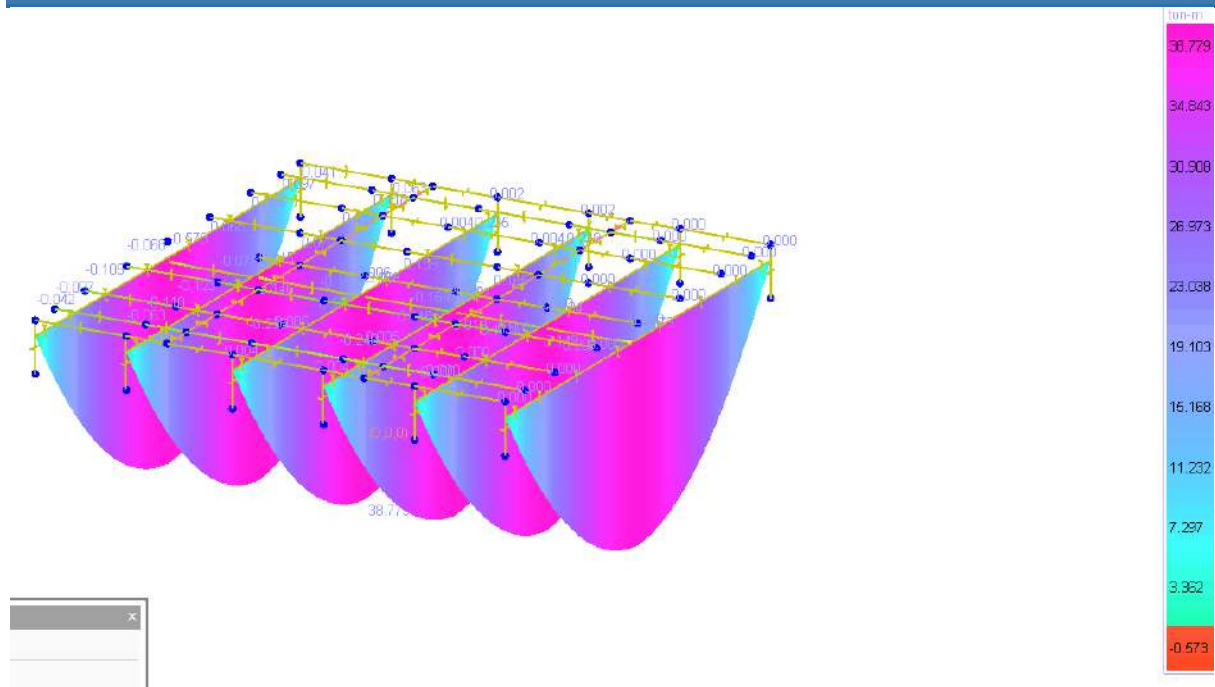
ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน ที่ปรึกษาจะวิเคราะห์โดยใช้วิธี Construction Stage Analysis เพื่อให้สามารถพิจารณาผลของขั้นตอนการก่อสร้าง และคุณสมบัติวัสดุของสะพานเทียบกับเวลา เป็นต้น

ตัวอย่างของผลการวิเคราะห์สะพาน แสดงดังนี้

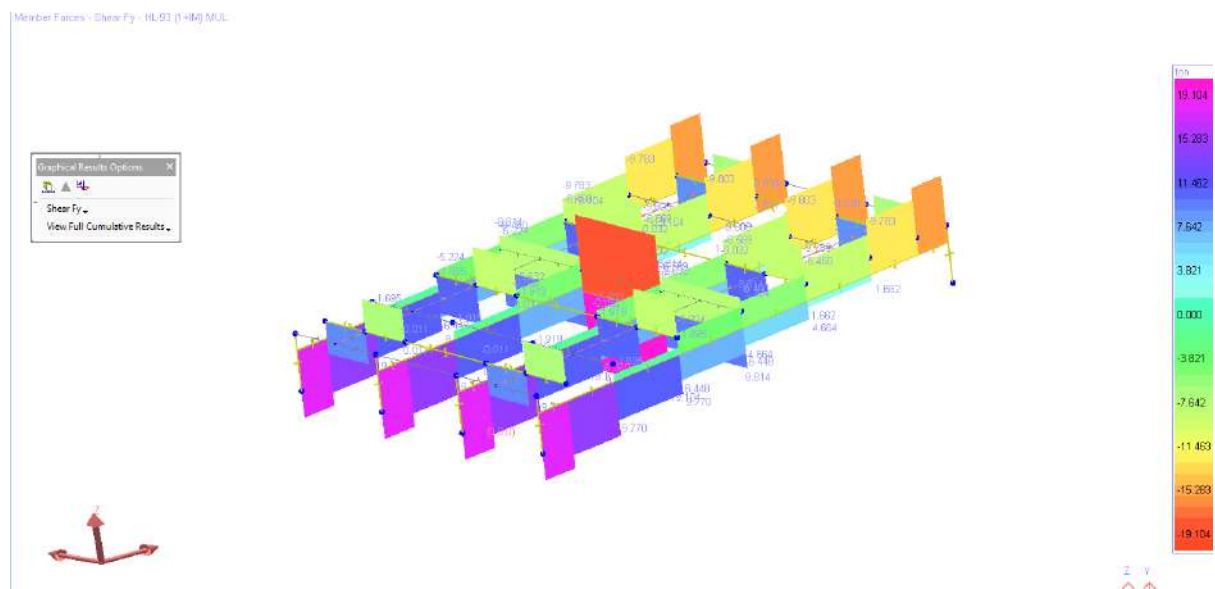


รูปที่ 13-162 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก DL

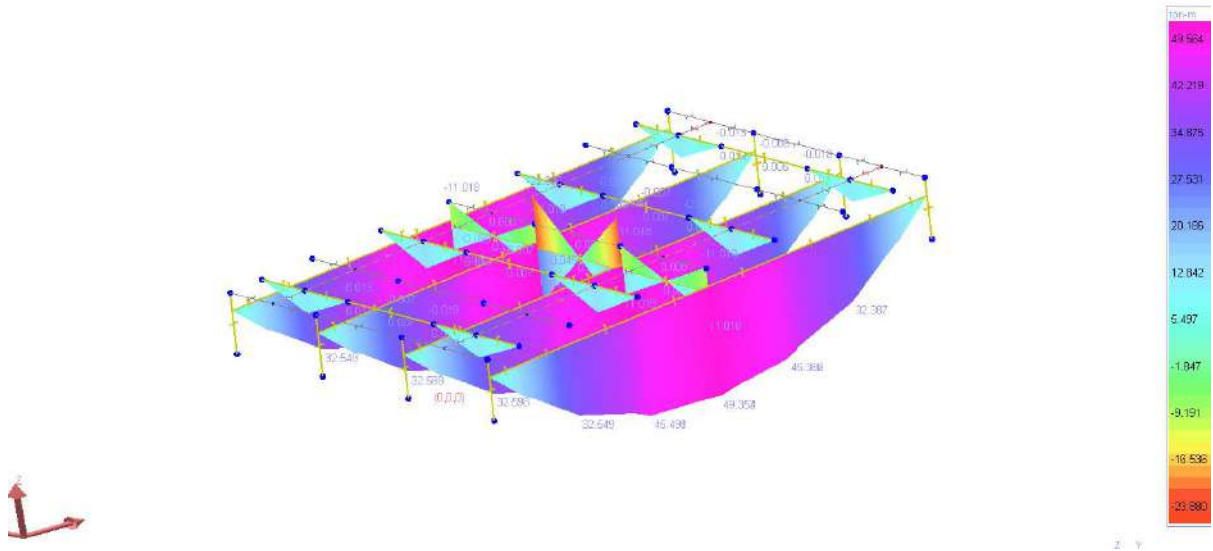




รูปที่ 13-163 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดของสะพาน เนื่องจาก DL



รูปที่ 13-164 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)



รูปที่ 13-165 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ตัดของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังของสะพานตามสภาพเดิมในปัจจุบัน สามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจาก HL-93 ได้ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD ดังแสดงในรูปที่ 13-166 ถึงรูปที่ 13-169

Case 1: Existing Condition of Bridge (สะพานเก่าอายุ Span 12.0 m)

	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		12.5				38.779
SDL		2				5.3
LL+IM		19				49.5
PS		0				0
STR1	0	51.875	0	0	0	143.0488

0.85*Shear Capacity = 112.2 T (New Condition)

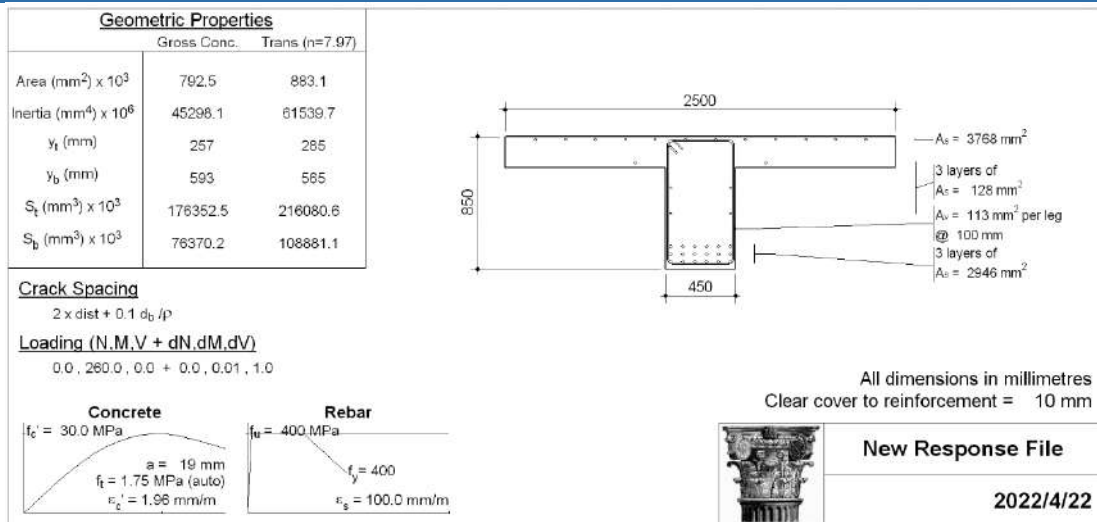
0.9* Moment Capacity = 237.6 T-m (New Condition)

0.85*Shear Capacity = 89.76 T (Current Condition) No Need for Strengthening

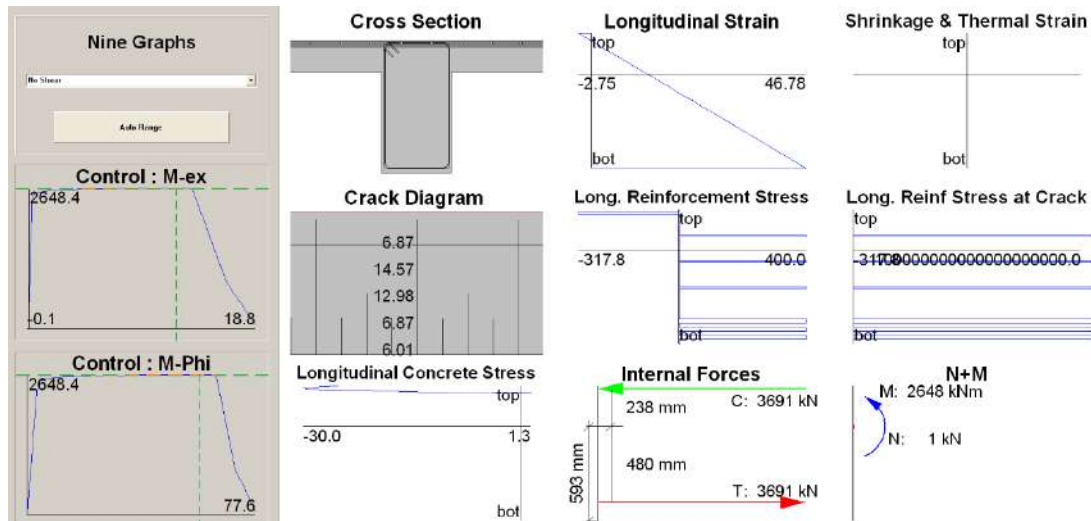
0.9* Moment Capacity = 190.08 T-m (Current Condition)

รูปที่ 13-166 การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานเดิม

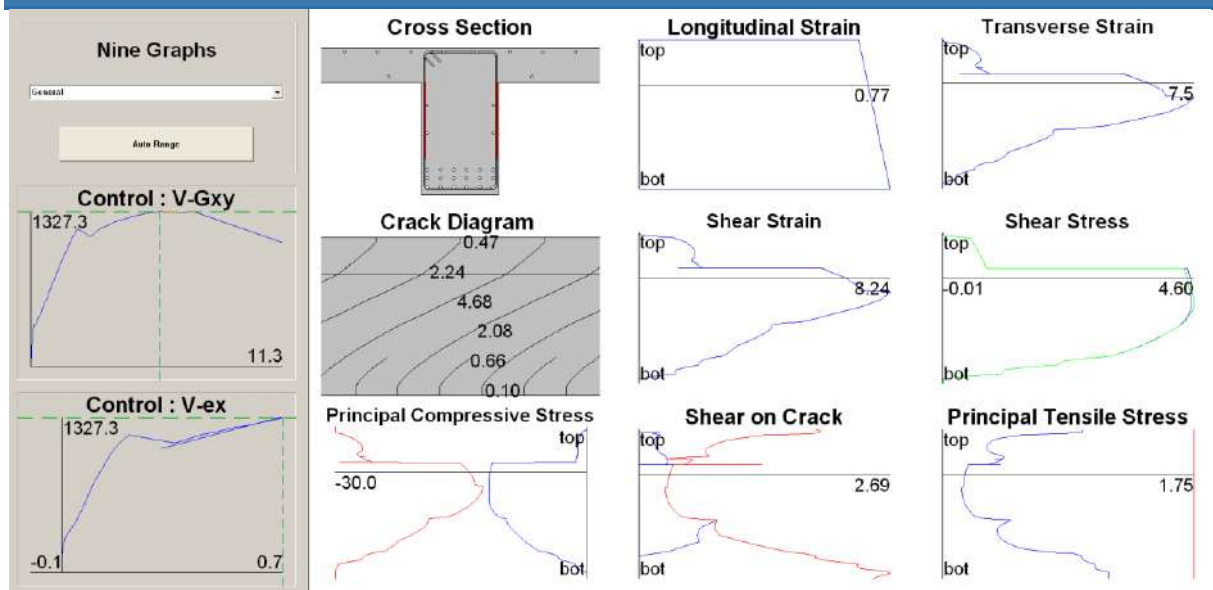




รูปที่ 13-167 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเดิม



รูปที่ 13-168 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ตัดของสะพานเดิม



รูปที่ 13-169 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเดิม

โดยจากการประเมินกำลังรับน้ำหนักของสะพานเดิม ทั้งกรณีโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน สามารถรองรับแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักต่าง ๆ ได้ โดยไม่ต้องทำการเสริมกำลังเพิ่มในส่วนของคน

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ความคงทนของสะพานในระยะยาว ที่ปรึกษาเสนอให้เพิ่มความหนาของพื้นสะพาน ประมาณ 0.05 เมตร โดยจะพิจารณาส่วนนี้ในการคิดราคาต้นทุนการดำเนินการบูรณะสะพานต่อไป

13.10.2. ราคาต้นทุนการเสริมกำลัง

จากแนวทางการจําแนกกิจกรรมการบูรณะข้างต้น ที่ปรึกษาได้ดำเนินการประมาณราคาต้นทุนงานบูรณะสะพาน ในส่วนการเสริมความหนาพื้นสะพาน แสดงดังนี้ โดยรายละเอียดการคิดราคาแสดงในบทการประมาณราคาค่าเสริมกำลังโครงสร้างสะพาน

สะพานข้ามแม่น้ำลาว จำนวน 5 Span (12mx5)

วิธีเสริมพื้นสะพานราคาต่อสะพาน 1,888,766 บาท (ไม่รวม Factor F)

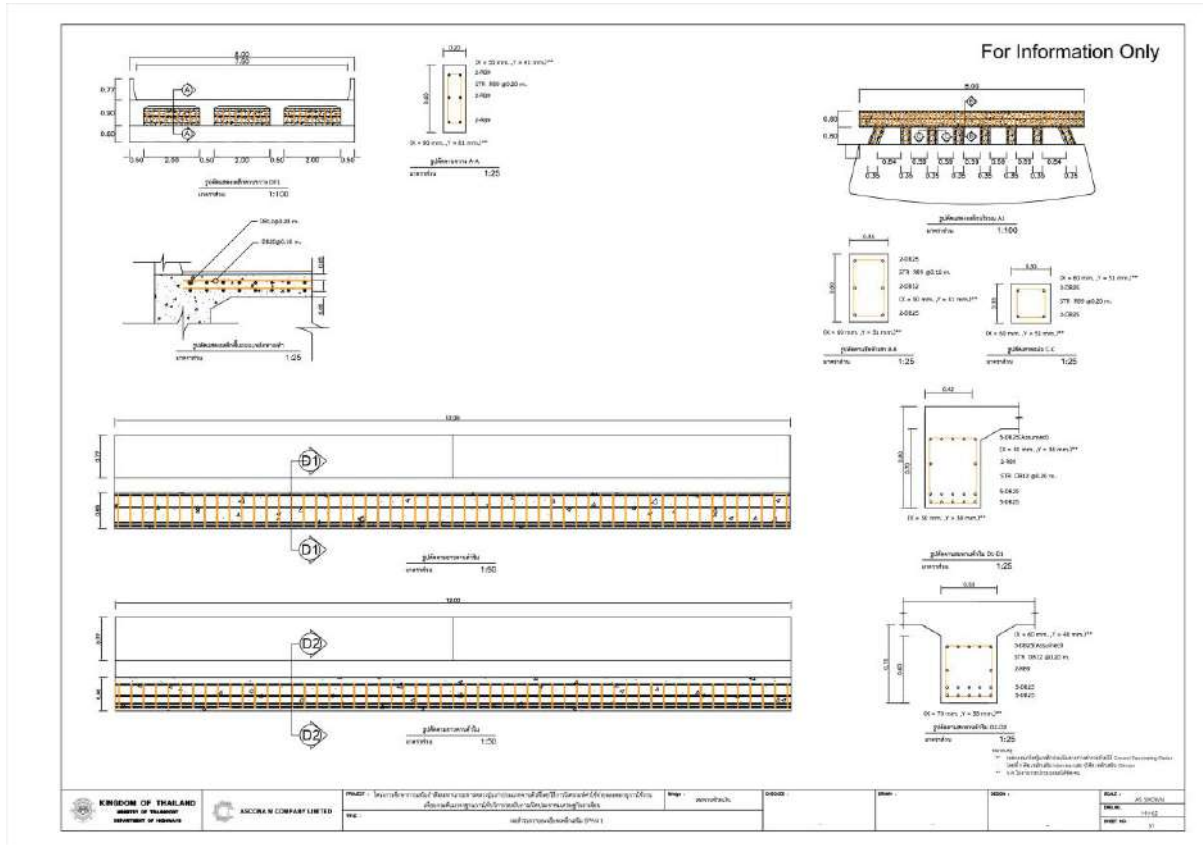
โดยรายละเอียดการคิดราคาแสดงในบทการประมาณราคาค่าเสริมกำลังโครงสร้างสะพาน

จากราคาต้นทุนข้างต้น ที่ปรึกษาจะนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน เพื่อหารูปแบบวิธีการเสริมกำลังที่เหมาะสมในบทถัดไป



13.11 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานห้วยเงิน

สะพานห้วยเงิน ตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 8 มหาสารคาม แขวงทางหลวงร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด หมายเลขทางหลวง 2387 กม.กลางสะพาน 21+072 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2534 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 512 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง TG(1x12) ความกว้างผิวทาง 7.5 เมตร



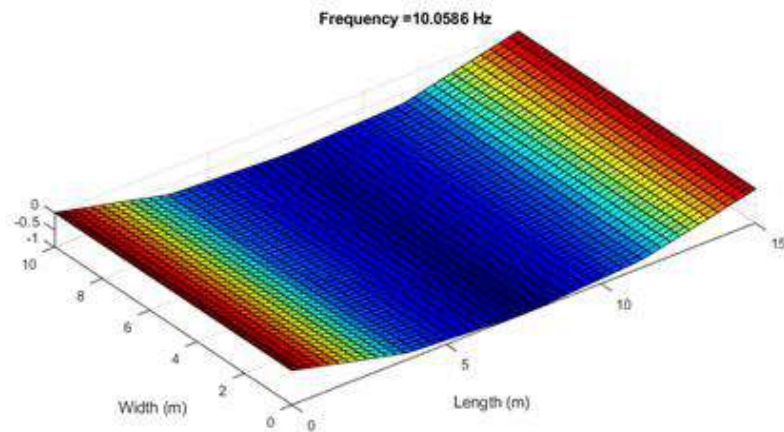
รูปที่ 13-170 แบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม

13.11.1. การตรวจสอบความสามารถการรับน้ำหนักของสะพาน

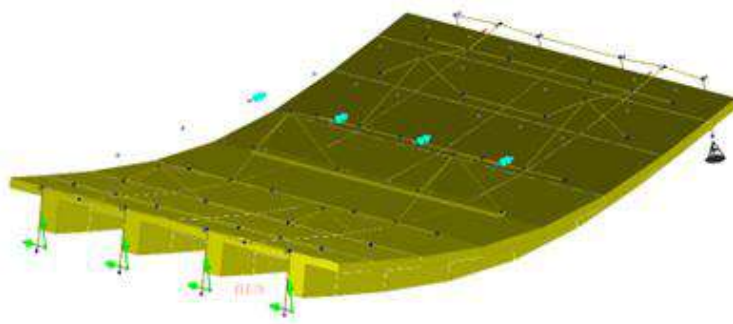
ตัวอย่างของแบบจำลองที่ปรับค่าและเปรียบเทียบกับ Natural Frequency ของสะพานที่ได้รับ การทดสอบในภาคสนามแสดงดังนี้

ตารางที่ 6.6-5 ผลการวิเคราะห์ Natural Frequency, Mode Shape และ Damping Ratio

Test	Freq.	Mode Shape	Damping Ratio					
			AC 01	AC 02	AC 03	AC 04	AC 05	AC 06
Dynamic 1	10.352	1st Bending	2.286	1.923	2.162	1.933	2.279	1.939
Dynamic 2	10.059	1st Bending	2.543	2.172	2.532	2.166	2.634	2.157
Dynamic 3	10.547	1st Bending	10.717	7.514	9.104	7.52	10.834	7.419



Fn(FEA) 10.59 Hz Test/FEA= 0.974 OK



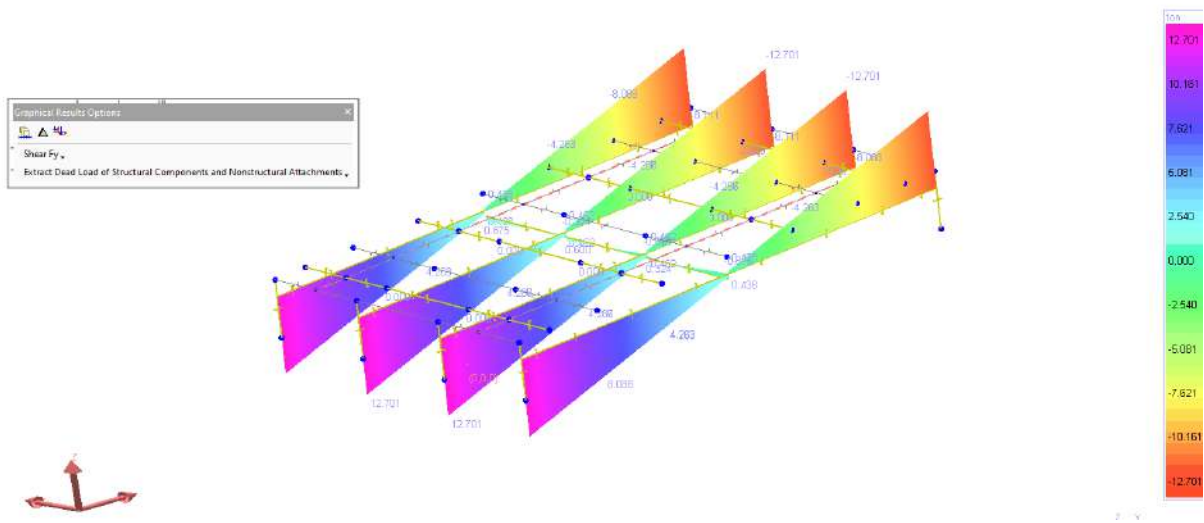
รูปที่ 13-171 แบบจำลองที่ได้ปรับค่ากับการทดสอบภาคสนามโดย Finite Element Updating

13.11.1.1. การวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน

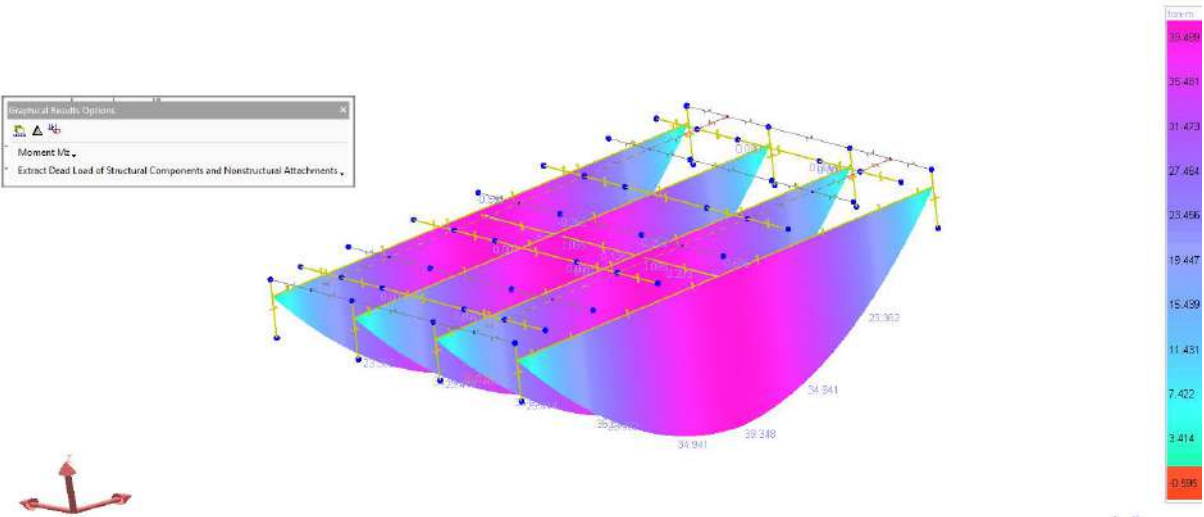
ในหัวข้อนี้ แบบจำลองที่ได้ทำการปรับค่าแล้วจากวิธี Finite Element Updating จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาแรงภายในต่าง ๆ เพื่อใช้ประกอบการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานภายใต้น้ำหนักบรรทุกจร (HL-93) และใช้ในการประกอบการออกแบบเสริมกำลังต่อไป

ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของสะพาน ที่ปรึกษาจะวิเคราะห์โดยใช้วิธี Construction Stage Analysis เพื่อให้สามารถพิจารณาผลของขั้นตอนการก่อสร้าง คุณสมบัติวัสดุของสะพานเทียบกับเวลาเป็นต้น

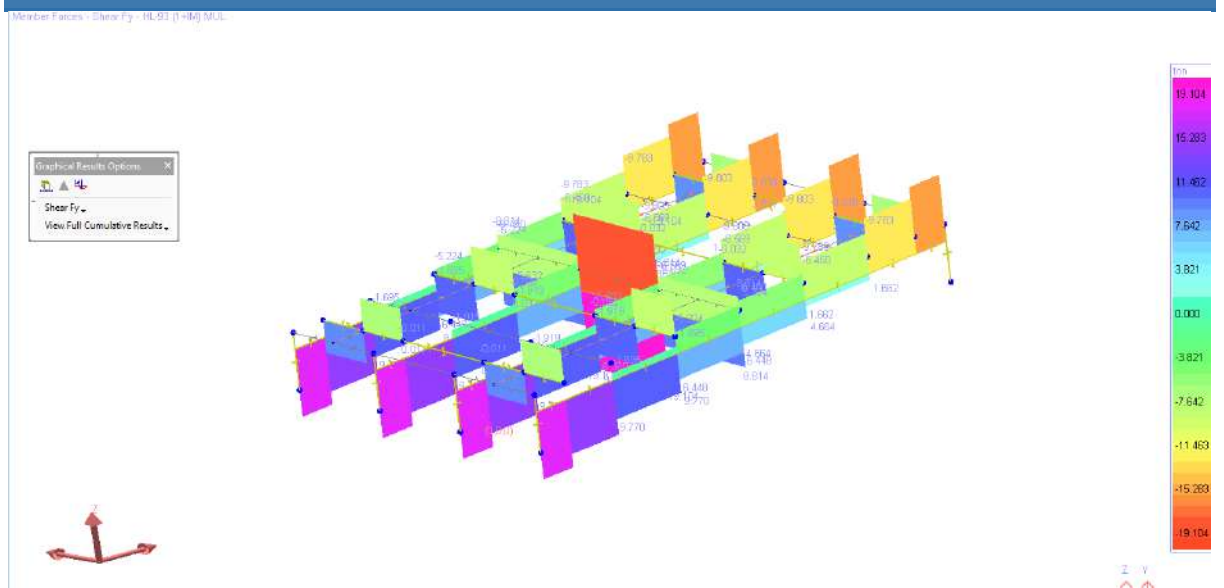
ตัวอย่างของผลการวิเคราะห์สะพาน แสดงดังนี้



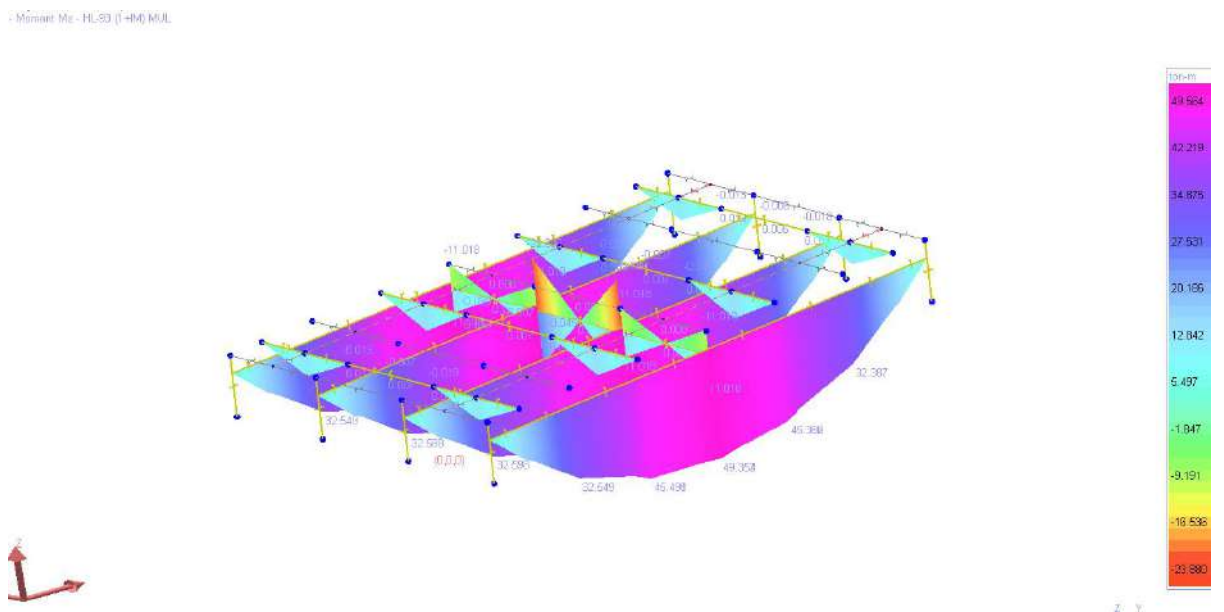
รูปที่ 13-172 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก DL



รูปที่ 13-173 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดของสะพาน เนื่องจาก DL



รูปที่ 13-174 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)



รูปที่ 13-175 ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดของสะพาน เนื่องจาก LL+IM (HL-93)

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังของสะพานตามสภาพเดิมในปัจจุบัน สามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจาก HL-93 ได้ ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD ดังแสดงในรูปที่ 13-176 ถึงรูปที่ 13-179



Case 1: Existing Condition of Bridge (สะพานหินเงิน Span 12.0 m)

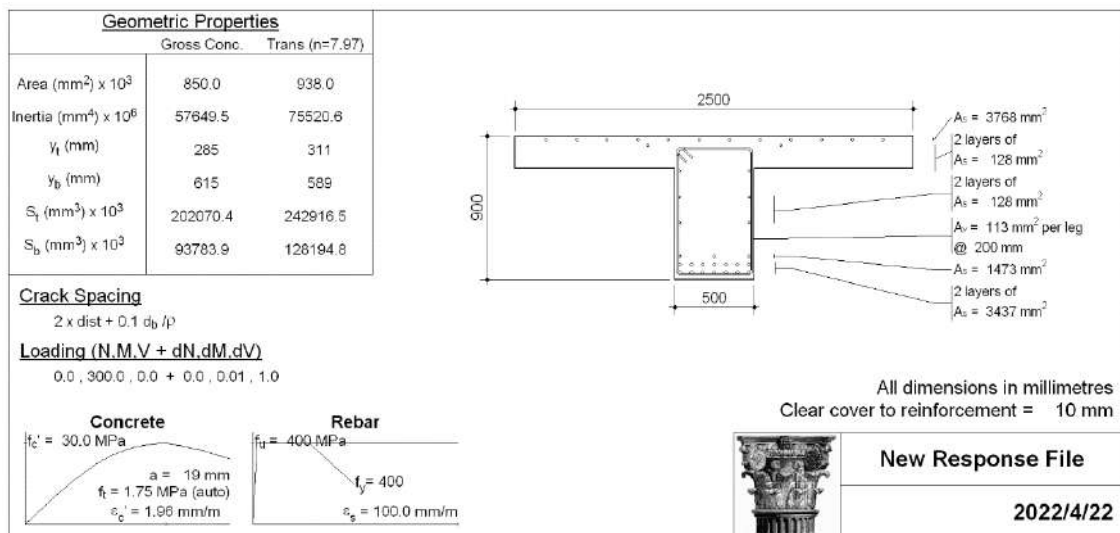
	Fx (T)	Fy (T)	Fz (T)	Mx (T-m)	My (T-m)	Mz (T-m)
DL		12.7				40
SDL		2				5.5
LL+IM		19				-49.5
PS		0				0
STR1	0	52.125	0	0	0	144.875

0.85*Shear Capacity = 80.75 T (New Condition)
 0.9*Moment Capacity = 244.8 T-m (New Condition)
 0.85*Shear Capacity = 64.6 T (Current Condition) No Need for Strengthening
 0.9*Moment Capacity = 195.84 T-m (Current Condition)

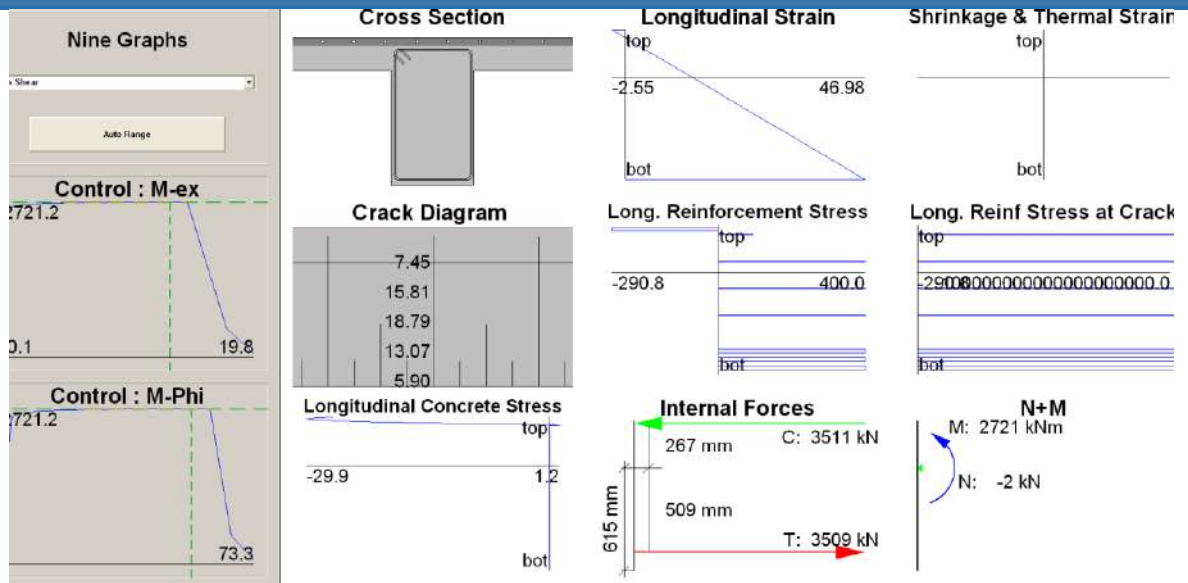
ตารางที่ 15-2 การประเมินระดับความเสียหายหรือสภาพการใช้งานโดยรวม

ประเภท ชิ้นส่วน	ปริมาณ ชิ้นส่วน	สภาพการใช้งาน (Condition Rating, CR)	ระดับความ เสียหาย (Damage Rating) (DR = 5 - CR)	ระดับความเสียหายต่อ ชิ้นส่วน (w)	w*DR
S1-OD	OD	4	1	1	1
A1-OP	OP	4	1	0.8	0.8
A2-OP	OP	4	1	0.8	0.8
S1-DK	DK	4	1	0.8	0.8
S1-E/I	E/I	4	1	0.4	0.4
Weighted Critical Damage Rating (WCDR)					0.76
Weighted Critical Condition Rating (CCDR = 5 - WCDR)					4.24

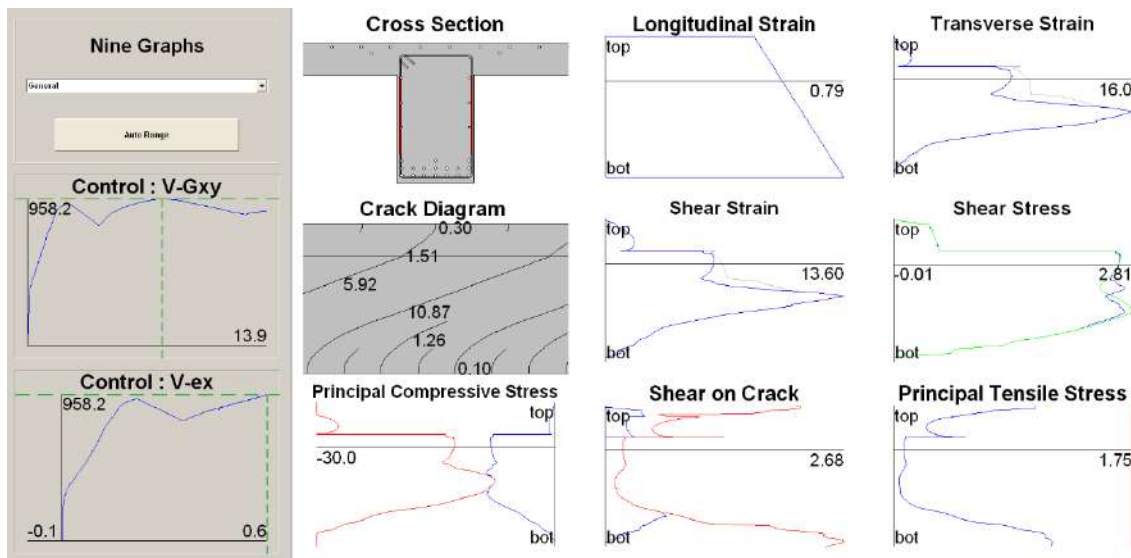
รูปที่ 13-176 การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานเดิม



รูปที่ 13-177 คุณสมบัติของหน้าตัดและวัสดุของสะพานเดิม



รูปที่ 13-178 พฤติกรรมด้านโมเมนต์ดัดของสะพานเดิม



รูปที่ 13-179 พฤติกรรมด้านแรงเฉือนของสะพานเดิม

โดยจาก การประเมินกำลังรับน้ำหนักของสะพานเดิม ทั้งกรณีโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน สามารถรองรับแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักต่าง ๆ ได้ โดยไม่ต้องทำการเสริมกำลังเพิ่มในส่วนของคาน

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ความคงทนของสะพานในระยะยาว ที่ปรึกษาเสนอให้เพิ่มความหนาของพื้นสะพาน ประมาณ 0.05 เมตร โดยจะพิจารณาส่วนนี้ในการคิดราคาต้นทุนการดำเนินการบูรณะสะพานต่อไป



13.11.2. ราคาต้นทุนการเสริมกำลัง

จากแนวทางการคำนวณกิจกรรมการบูรณะข้างต้น ที่ปรึกษาได้ดำเนินการประมาณราคาต้นทุนงานบูรณะสะพาน ในส่วนการเสริมความหนาพื้นสะพาน แสดงดังนี้ โดยรายละเอียดการคิดราคาแสดงในบทการประมาณราคาค่าเสริมกำลังโครงสร้างสะพาน

สะพานข้ามห้วยเงิน จำนวน 1 Span (12mx1)

วิธีเสริมพื้นสะพานราคาต่อสะพาน 325,957 บาท (ไม่รวม Factor F)

จากราคาต้นทุนข้างต้น ที่ปรึกษาจะนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน เพื่อหารูปแบบวิธีการเสริมกำลังที่เหมาะสมในบทถัดไป

บทที่ 14 การประมาณราคาค่าเสริมกำลัง โครงสร้างสะพาน

ที่ปรึกษาได้ประมาณราคาค่าเสริมกำลังโครงสร้างสะพานประเภทคานตัวที่รวมทั้งสิ้น 8 สะพาน ตามแบบรายละเอียดการเสริมกำลังที่ได้ออกแบบไว้ โดยจะแสดงรายละเอียดการประมาณราคาไว้ในบทนี้ ซึ่งราคาต่อหน่วยจะประกอบด้วยค่าวัสดุ ค่าขนส่ง ค่าแรง และ ค่าเครื่องจักร (อ้างอิงข้อมูลจากกรมบัญชีกลาง กระทรวงพาณิชย์ ณ เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2565) ผลการประมาณราคาค่าเสริมกำลังจะนำไปใช้วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน เพื่อหารูปแบบวิธีการเสริมกำลังที่เหมาะสมในลำดับถัดไป

14.1 ประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานข้ามคลองบางมัน

สะพานข้ามคลองบางมันตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 17 ระเบียบ แขวงทางหลวงระนอง จังหวัดระนองหมายเลขทางหลวง 4 กม.กลางสะพาน 670+520 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2503 ปริมาตรรถบรรทุกหนัก 436 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง TG(3x15) ความกว้างผิวทาง 8 เมตร

ราคาค่าต้นทุนการเสริมกำลัง 3 วิธี

1) วิธี RC Jacketing	ราคาต่อสะพาน	2,085,888 บาท (ไม่รวม Factor F)
2) วิธี Internal Prestressing	ราคาต่อสะพาน	1,532,694 บาท (ไม่รวม Factor F)
3) วิธี Carbon Fiber	ราคาต่อสะพาน	2,055,953 บาท (ไม่รวม Factor F)

โดยรายละเอียดการคิดราคา แสดงในตารางที่ 14-1 ถึง ตารางที่ 14-3

**ตารางที่ 14-1 ประเมินราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองบางมัน (เฉพาะส่วน
 โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 1: เสริมกำลังด้วย RC Jacketing**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m				
	171	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,488.41
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				254,517.74
3) หมวด 3 ค่าเสริมท้องของสะพาน				
	60	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
3.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
3.2) เหล็กเสริม DB25	15.412	kg	26.16	403.18
3.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,153.92
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				69,235.08
4) หมวด 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน				
	138	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
4.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
4.2) เหล็กเสริม DB25	15.412	kg	26.16	403.18
เหล็กเสริม DB12	8.88	kg	26.36	234.08
4.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,387.99
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				191,543.27

**ตารางที่ 14-1 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองบางมัน (เฉพาะส่วน
 โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 1: เสริมกำลังด้วย RC Jacketing (ต่อ)**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
5) หมวด 5 ค่าลวดอัดแรง	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
5.1) งาน PC Strand Diameter 12.7mm	0	ton	82,000.00	-
รวมระบบและหัวดึง				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
6) หมวด 6 ค่า CFRP	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
6.1) งาน CFRP Strip (Strip width 0.10m)	0	m	6,000.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
6.2) งาน CFRP Wrap	0	SQ.M	5,500.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
7) หมวด 7 ค่า ซ่อมรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	20	m	3,000.00	60,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				60,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				695,296.09
รวมทั้งสะพาน	3	SPAN		2,085,888.26

**ตารางที่ 14-2 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองบางมัน (เฉพาะส่วน
 โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 2: เสริมกำลังด้วย Post Tensioning**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m				
	171	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,488.41
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				254,517.74
3) หมวด 3 ค่าเสริมท้องของสะพาน				
	60	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
3.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
3.2) เหล็กเสริม DB25	15.412	kg	26.16	403.18
3.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,153.92
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				69,235.08
4) หมวด 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน				
	0	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
4.1) คอนกรีต	0	CU.M.	2,693.60	-
4.2) เหล็กเสริม DB25	0	kg	26.16	-
เหล็กเสริม DB12	0	kg	26.36	-
4.3) ไม้แบบ	0	SQ.M	481.38	-
รวมราคาต่อ ตร.ม.				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-

**ตารางที่ 14-2 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองบางมัน (เฉพาะส่วน
 โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 2: เสริมกำลังด้วย Post Tensioning (ต่อ)**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
5) หมวด 5 ค่าลวดอัดแรง	4	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
5.1) งาน PC Strand Diameter 12.7mm	0.021784	ton	82,000.00	1,786.29
รวมระบบและหัวดึง				
รวมราคาต่อชุด				1,786.29
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				7,145.15
6) หมวด 6 ค่า CFRP	4	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
6.1) งาน CFRP Strip (Strip width 0.10m)	0	m	6,000.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
6.2) งาน CFRP Wrap	0	SQ.M	5,500.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
7) หมวด 7 ค่า ซ่อมรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	20	m	3,000.00	60,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				60,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				510,897.97
รวมทั้งสะพาน	3	SPAN		1,532,693.90

**ตารางที่ 14-3 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองบางมัน (เฉพาะส่วน
 โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 3: เสริมกำลังด้วย CFRP**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m				
	171	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				1,488.41
				254,517.74
3) หมวด 3 ค่าเสริมท้องของสะพาน				
	0	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
3.1) คอนกรีต	0	CU.M.	2,693.60	-
3.2) เหล็กเสริม DB25	0	kg	26.16	-
3.3) ไม้แบบ	0	SQ.M	481.38	-
รวมราคาต่อ ตร.ม.				
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
4) หมวด 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน				
	0	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
4.1) คอนกรีต	0	CU.M.	2,693.60	-
4.2) เหล็กเสริม DB25	0	kg	26.16	-
เหล็กเสริม DB12	0	kg	26.36	-
4.3) ไม้แบบ	0	SQ.M	481.38	-
รวมราคาต่อ ตร.ม.				
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-

**ตารางที่ 14-3 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองบางมัน (เฉพาะส่วน
 โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 3: เสริมกำลังด้วย CFRP (ต่อ)**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
5) หมวด 5 ค่าลวดอัดแรง	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
5.1) งาน PC Strand Diameter 12.7mm	0.16338	ton	82,000.00	13,397.16
รวมระบบและหัวตึง				
รวมราคาต่อชุด				13,397.16
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
6) หมวด 6 ค่า CFRP	4	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
6.1) งาน CFRP Strip (Strip width 0.10m)	0	m	6,000.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
6.2) งาน CFRP Wrap	11.4	SQ.M	5,500.00	62,700.00
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
รวมราคาต่อชุด				62,700.00
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				250,800.00
7) หมวด 7 ค่า ซ่อมรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	20	m	3,000.00	60,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				60,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				685,317.74
รวมทั้งสะพาน	3	SPAN		2,055,953.22

14.2 ประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานข้ามคลองย่น

สะพานตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 16 นครศรีธรรมราช แขวงทางหลวงสุราษฎร์ธานีที่ 1 (พุนพิน) จังหวัด สุราษฎร์ธานี หมายเลขทางหลวง 4247 กม.กลางสะพาน 22+154 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2542 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 159 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง ST(1x10) + 4TG(6x20) + ST(1x10) ความกว้างผิวทาง 7 เมตร

ราคาค่าต้นทุนการเสริมกำลัง 3 วิธี

1) วิธี RC Jacketing	ราคาต่อสะพาน	5,978,936 บาท (ไม่รวม Factor F)
2) วิธี Internal Prestressing	ราคาต่อสะพาน	6,300,468 บาท (ไม่รวม Factor F)
3) วิธี Carbon Fiber	ราคาต่อสะพาน	7,927,689 บาท (ไม่รวม Factor F)

โดยรายละเอียดการคิดราคาแสดงในตารางที่ 14-4 ถึง ตารางที่ 14-6

**ตารางที่ 14-4 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองย่น (เฉพาะส่วนโครงสร้าง
ส่วนบน) วิธีที่1: เสริมกำลังด้วย RC Jacketing**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2)หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m				
	200	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,488.41
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				297,681.57
3) หมวด 3 ค่าเสริมท้องของสะพาน				
	80	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
3.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
3.2) เหล็กเสริม DB25	15.412	kg	26.16	403.18
3.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,153.92
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				92,313.43
4) หมวด 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน				
	208	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
4.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
4.2) เหล็กเสริม DB25	38.53	kg	26.16	1,007.94
เหล็กเสริม DB12	8.88	kg	26.36	234.08
4.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,992.76
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				414,494.41

**ตารางที่ 14-4 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองย่น (เฉพาะส่วนโครงสร้าง
 ส่วนบน) วิธีที่ 1: เสริมกำลังด้วย RC Jacketing (ต่อ)**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
5) หมวด 5 ค่าลวดอัดแรง	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
5.1) งาน PC Strand Diameter 12.7mm	0	ton	82,000.00	-
รวมระบบและหัวดึง				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
6) หมวด 6 ค่า CFRP	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
6.1) งาน CFRP Strip (Strip width 0.10m)	0	m	6,000.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
6.2) งาน CFRP Wrap	0	SQ.M	5,500.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
7) หมวด 7 ค่า ซ่อมรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	24	m	3,000.00	72,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				72,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				996,489.41
รวมทั้งสะพาน	6	SPAN		5,978,936.49

**ตารางที่ 14-5 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองย่น (เฉพาะส่วนโครงสร้าง
 ส่วนบน) วิธีที่ 2: เสริมกำลังด้วย Post Tensioning**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m				
	200	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,488.41
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				297,681.57
3) หมวด 3 ค่าเสริมท้องของสะพาน				
	80	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
3.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
3.2) เหล็กเสริม DB25	15.412	kg	26.16	403.18
3.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,153.92
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				92,313.43
4) หมวด 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน				
	208	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
4.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
4.2) เหล็กเสริม DB25	38.53	kg	26.16	1,007.94
เหล็กเสริม DB12	8.88	kg	26.36	234.08
4.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,992.76
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				414,494.41

**ตารางที่ 14-5 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองย่น (เฉพาะส่วนโครงสร้าง
 ส่วนบน) วิธีที่ 2: เสริมกำลังด้วย Post Tensioning (ต่อ)**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
5) หมวด 5 ค่าลวดอัดแรง	4	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
5.1) งาน PC Strand Diameter 12.7mm	0.16338	ton	82,000.00	13,397.16
รวมระบบและหัวดึง				
รวมราคาต่อชุด				13,397.16
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				53,588.64
6) หมวด 6 ค่า CFRP	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
6.1) งาน CFRP Strip (Strip width 0.10m)	0	m	6,000.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
6.2) งาน CFRP Wrap	0	SQ.M	5,500.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
7) หมวด 7 ค่า ซ่อมรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	24	m	3,000.00	72,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				72,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				1,050,078.05
รวมทั้งสะพาน	6	SPAN		6,300,468.33

**ตารางที่ 14-6 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองย่น (เฉพาะส่วนโครงสร้าง
 ส่วนบน) วิธีที่ 3: เสริมกำลังด้วย CFRP**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m	200	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,488.41
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				297,681.57
3) หมวด 3 ค่าเสริมท้องของสะพาน	0	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
3.1) คอนกรีต	0	CU.M.	2,693.60	-
3.2) เหล็กเสริม DB25	0	kg	26.16	-
3.3) ไม้แบบ	0	SQ.M	481.38	-
รวมราคาต่อ ตร.ม.				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
4) หมวด 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน	0	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
4.1) คอนกรีต	0	CU.M.	2,693.60	-
4.2) เหล็กเสริม DB25	0	kg	26.16	-
เหล็กเสริม DB12	0	kg	26.36	-
4.3) ไม้แบบ	0	SQ.M	481.38	-
รวมราคาต่อ ตร.ม.				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-

**ตารางที่ 14-6 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองยั้ง (เฉพาะส่วนโครงสร้าง
 ส่วนบน) วิธีที่ 3: เสริมกำลังด้วย CFRP (ต่อ)**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
5) หมวด 5 ค่าลวดอัดแรง	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
5.1) งาน PC Strand Diameter 12.7mm	0	ton	82,000.00	-
รวมระบบและหัวตึง				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
6) หมวด 6 ค่า CFRP	4	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
6.1) งาน CFRP Strip (Strip width 0.10m)	0	m	6,000.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
6.2) งาน CFRP Wrap	37.8	SQ.M	5,500.00	207,900.00
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
รวมราคาต่อชุด				207,900.00
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				831,600.00
7) หมวด 7 ค่า ซ่อมรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	24	m	3,000.00	72,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				72,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				1,321,281.57
รวมทั้งสะพาน	6	SPAN		7,927,689.41

14.3 ประมาณราคาเสริมกำลังสะพานข้ามคลองน้ำรอบ

สะพานคลองน้ำรอบ ตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 16 นครศรีธรรมราช แขวงทางหลวง
นครศรีธรรมราชที่ 1 จังหวัด นครศรีธรรมราช หมายเลขทางหลวง 4238 กม.กลางสะพาน 13+887
ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2522 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 1951 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง ST(1x10) +
TG(1x15) + TG(1x20) + TG(1x15) + ST(1x10) ความกว้างผิวทาง 7 เมตร

ราคาค่าต้นทุนการเสริมกำลัง 3 วิธี

1) วิธี RC Jacketing	ราคาต่อสะพาน	2,387,082 บาท (ไม่รวม Factor F)
2) วิธี Internal Prestressing	ราคาต่อสะพาน	2,071,874 บาท (ไม่รวม Factor F)
3) วิธี Carbon Fiber	ราคาต่อสะพาน	2,691,917 บาท (ไม่รวม Factor F)

โดยรายละเอียดการคิดราคาแสดงในตารางที่ 14-7 ถึง ตารางที่ 14-9

**ตารางที่ 14-7 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองน้ำรอบ (เฉพาะส่วน
 โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 1: เสริมกำลังด้วย RC Jacketing**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m				
	200	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,488.41
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				297,681.57
3) หมวด 3 ค่าเสริมท้องของสะพาน				
	80	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
3.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
3.2) เหล็กเสริม DB25	15.412	kg	26.16	403.18
3.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,153.92
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				92,313.43
4) หมวด 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน				
	208	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
4.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
4.2) เหล็กเสริม DB25	38.53	kg	26.16	1,007.94
เหล็กเสริม DB12	8.88	kg	26.36	234.08
4.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,992.76
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				414,494.41

**ตารางที่ 14-7 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองน้ำรอบ (เฉพาะส่วน
 โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 1: เสริมกำลังด้วย RC Jacketing (ต่อ)**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
5) หมวด 5 ค่าลวดอัดแรง	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
5.1) งาน PC Strand Diameter 12.7mm	0	ton	82,000.00	-
รวมระบบและหัวตึง				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
6) หมวด 6 ค่า CFRP	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
6.1) งาน CFRP Strip (Strip width 0.10m)	0	m	6,000.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
6.2) งาน CFRP Wrap	0	SQ.M	5,500.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
7) หมวด 7 ค่า ซ่อมรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	24	m	3,000.00	72,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				72,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				996,489.41
อ้างอิงราคาเสริมกำลังด้วย RC Jacketing	2	SPAN	695,296.09	1,390,592.17
สะพานคลองบางมัน (ช่วงสะพาน 15 เมตร)				
รวมทั้งสะพาน Span (15+20+15 เมตร)	3	SPAN		2,387,081.59

**ตารางที่ 14-8 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองน้ำรอบ (เฉพาะส่วน
 โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 2: เสริมกำลังด้วย Post Tensioning**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m				
	200	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,488.41
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				297,681.57
3) หมวด 3 ค่าเสริมท้องของสะพาน				
	80	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
3.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
3.2) เหล็กเสริม DB25	15.412	kg	26.16	403.18
3.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,153.92
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				92,313.43
4) หมวด 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน				
	208	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
4.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
4.2) เหล็กเสริม DB25	38.53	kg	26.16	1,007.94
เหล็กเสริม DB12	8.88	kg	26.36	234.08
4.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,992.76
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				414,494.41

**ตารางที่ 14-8 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองน้ำรอบ (เฉพาะส่วน
 โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 2: เสริมกำลังด้วย Post Tensioning (ต่อ)**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
5) หมวด 5 ค่าลวดอัดแรง	4	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
5.1) งาน PC Strand Diameter 12.7mm	0.16338	ton	82,000.00	13,397.16
รวมระบบและหัวดึง				
รวมราคาต่อชุด				13,397.16
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				53,588.64
6) หมวด 6 ค่า CFRP	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
6.1) งาน CFRP Strip (Strip width 0.10m)	0	m	6,000.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
6.2) งาน CFRP Wrap	0	SQ.M	5,500.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
7) หมวด 7 ค่า ซ่อมรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	24	m	3,000.00	72,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				72,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				1,050,078.05
อ้างอิงราคาเสริมกำลังด้วย Post Tensioning	2	SPAN	510,897.97	1,021,795.94
สะพานคลองบางมัน (ช่วงสะพาน 15 เมตร)				
รวมทั้งสะพาน Span (15+20+15 เมตร)	3	SPAN		2,071,873.99

**ตารางที่ 14-9 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองน้ำรอบ (เฉพาะส่วน
 โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 3: เสริมกำลังด้วย CFRP**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m				
	200	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				1,488.41
				297,681.57
3) หมวด 3 ค่าเสริมท้องของสะพาน				
	0	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
3.1) คอนกรีต	0	CU.M.	2,693.60	-
3.2) เหล็กเสริม DB25	0	kg	26.16	-
3.3) ไม้แบบ	0	SQ.M	481.38	-
รวมราคาต่อ ตร.ม.				
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
4) หมวด 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน				
	0	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
4.1) คอนกรีต	0	CU.M.	2,693.60	-
4.2) เหล็กเสริม DB25	0	kg	26.16	-
เหล็กเสริม DB12	0	kg	26.36	-
4.3) ไม้แบบ	0	SQ.M	481.38	-
รวมราคาต่อ ตร.ม.				
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-

**ตารางที่ 14-9 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามคลองน้ำรอบ (เฉพาะส่วน
 โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 3: เสริมกำลังด้วย CFRP (ต่อ)**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
5) หมวด 5 ค่าลวดอัดแรง	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
5.1) งาน PC Strand Diameter 12.7mm	0	ton	82,000.00	-
รวมระบบและหัวตั้ง				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
6) หมวด 6 ค่า CFRP	4	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
6.1) งาน CFRP Strip (Strip width 0.10m)	0	m	6,000.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
6.2) งาน CFRP Wrap	37.8	SQ.M	5,500.00	207,900.00
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
รวมราคาต่อชุด				207,900.00
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				831,600.00
7) หมวด 7 ค่า ซอยรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	24	m	3,000.00	72,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				72,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				1,321,281.57
อ้างอิงราคาเสริมกำลังด้วย CFRP	2	SPAN	685,317.74	1,370,635.48
สะพานคลองบางมัน (ช่วงสะพาน 15 เมตร)				
รวมทั้งสะพาน Span (15+20+15 เมตร)	3	SPAN		2,691,917.05

14.4 ประเมินราคาเสริมกำลังสะพานข้ามห้วยแม่โป่ง

สะพานห้วยแม่โป่งตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 1 เชียงใหม่ แขวงทางหลวงลำปางที่ 2 จังหวัดลำปาง หมายเลขทางหลวง 1 กม.กลางสะพาน 781+243 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2505 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 1,804 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง TG(1x15) + TG(1x17) + TG(1x22) + TG(1x17) + TG (1x15) ความกว้างผิวทาง 8 เมตร

ราคาค่าต้นทุนการเสริมกำลัง 3 วิธี

- | | | |
|-------------------------------|--------------|---------------------------------|
| 1) วิธี RC Jacketing | ราคาต่อสะพาน | 3,476,480 บาท (ไม่รวม Factor F) |
| 2) วิธี Internal Prestressing | ราคาต่อสะพาน | 2,554,490 บาท (ไม่รวม Factor F) |
| 3) วิธี Carbon Fiber | ราคาต่อสะพาน | 3,426,589 บาท (ไม่รวม Factor F) |

โดยรายละเอียดการคิดราคา แสดงในตารางที่ 14-10 ถึง ตารางที่ 14-12

**ตารางที่ 14-10 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามห้วยแม่โป่งหน้าตัดรูปตัว T
 (เฉพาะ ส่วนโครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 1: เสริมกำลังด้วย RC Jacketing**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m				
	171	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,488.41
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				254,517.74
3) หมวด 3 ค่าเสริมท้องของสะพาน				
	60	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
3.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
3.2) เหล็กเสริม DB25	15.412	kg	26.16	403.18
3.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,153.92
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				69,235.08
4) หมวด 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน				
	138	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
4.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
4.2) เหล็กเสริม DB25	15.412	kg	26.16	403.18
เหล็กเสริม DB12	8.88	kg	26.36	234.08
4.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,387.99
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				191,543.27

**ตารางที่ 14-10 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามห้วยแม่โป่งหน้าตัดรูปตัว T
 (เฉพาะ ส่วนโครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 1: เสริมกำลังด้วย RC Jacketing (ต่อ)**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
5) หมวด 5 ค่าลวดอัดแรง	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
5.1) งาน PC Strand Diameter 12.7mm	0	ton	82,000.00	-
รวมระบบและหัวดึง				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
6) หมวด 6 ค่า CFRP	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
6.1) งาน CFRP Strip (Strip width 0.10m)	0	m	6,000.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
6.2) งาน CFRP Wrap	0	SQ.M	5,500.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
7) หมวด 7 ค่า ซ่อมรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	20	m	3,000.00	60,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				60,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				695,296.09
รวมทั้งสะพาน	5	SPAN		3,476,480.44

**ตารางที่ 14-11 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามห้วยแม่โป่ง (เฉพาะส่วน
 โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 2: เสริมกำลังด้วย Post Tensioning**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m				
	171	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,488.41
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				254,517.74
3) หมวด 3 ค่าเสริมท้องของสะพาน				
	60	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
3.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
3.2) เหล็กเสริม DB25	15.412	kg	26.16	403.18
3.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,153.92
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				69,235.08
4) หมวด 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน				
	0	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
4.1) คอนกรีต	0	CU.M.	2,693.60	-
4.2) เหล็กเสริม DB25	0	kg	26.16	-
เหล็กเสริม DB12	0	kg	26.36	-
4.3) ไม้แบบ	0	SQ.M	481.38	-
รวมราคาต่อ ตร.ม.				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-

**ตารางที่ 14-11 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามห้วยแม่โป่ง (เฉพาะส่วน
 โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 2: เสริมกำลังด้วย Post Tensioning (ต่อ)**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
5) หมวด 5 ค่าลวดอัดแรง	4	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
5.1) งาน PC Strand Diameter 12.7mm	0.021784	ton	82,000.00	1,786.29
รวมระบบและหัวตั้ง				
รวมราคาต่อชุด				1,786.29
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				7,145.15
6) หมวด 6 ค่า CFRP	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
6.1) งาน CFRP Strip (Strip width 0.10m)	0	m	6,000.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
6.2) งาน CFRP Wrap	0	SQ.M	5,500.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
7) หมวด 7 ค่า ซ่อยรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	20	m	3,000.00	60,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				60,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				510,897.97
รวมทั้งสะพาน	5	SPAN		2,554,489.84

**ตารางที่ 14-12 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามห้วยแม่โป่ง (เฉพาะส่วน
โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 3: เสริมกำลังด้วย CFRP**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m	171	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,488.41
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				254,517.74
3) หมวด 3 ค่าเสริมท้องของสะพาน	0	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
3.1) คอนกรีต	0	CU.M.	2,693.60	-
3.2) เหล็กเสริม DB25	0	kg	26.16	-
3.3) ไม้แบบ	0	SQ.M	481.38	-
รวมราคาต่อ ตร.ม.				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
4) หมวด 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน	0	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
4.1) คอนกรีต	0	CU.M.	2,693.60	-
4.2) เหล็กเสริม DB25	0	kg	26.16	-
เหล็กเสริม DB12	0	kg	26.36	-
4.3) ไม้แบบ	0	SQ.M	481.38	-
รวมราคาต่อ ตร.ม.				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-

**ตารางที่ 14-12 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามห้วยแม่โป่ง (เฉพาะส่วน
 โครงสร้างส่วนบน) วิธีที่ 3: เสริมกำลังด้วย CFRP (ต่อ)**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
5) หมวด 5 ค่าลวดอัดแรง	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
5.1) งาน PC Strand Diameter 12.7mm	0	ton	82,000.00	-
รวมระบบและหัวตั้ง				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
6) หมวด 6 ค่า CFRP	4	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
6.1) งาน CFRP Strip (Strip width 0.10m)	0	m	6,000.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
6.2) งาน CFRP Wrap	11.4	SQ.M	5,500.00	62,700.00
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
รวมราคาต่อชุด				62,700.00
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				250,800.00
7) หมวด 7 ค่า ซ่อมรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	20	m	3,000.00	60,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				60,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				685,317.74
รวมทั้งสะพาน	5	SPAN		3,426,588.70

14.5 ประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานข้ามแม่น้ำชี

สะพานข้ามแม่น้ำชี ตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 7 ขอนแก่น แขวงทางหลวงขอนแก่นที่ 1 จังหวัดขอนแก่น หมายเลขทางหลวง 2 กม.กลางสะพาน 327+891 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2535 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 5,776 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง TG(1x15)+IG(3x30)+TG(1x15) ความกว้างผิวทาง 8 เมตร

ราคาค่าต้นทุนการเสริมกำลัง 3 วิธี

1) วิธี RC Jacketing	ราคาต่อสะพาน	1,390,592 บาท (ไม่รวม Factor F)
2) วิธี Internal Prestressing	ราคาต่อสะพาน	1,021,796 บาท (ไม่รวม Factor F)
3) วิธี Carbon Fiber	ราคาต่อสะพาน	1,370,635 บาท (ไม่รวม Factor F)

โดยรายละเอียดการคิดราคา แสดงในตารางที่ 14-13 ถึง ตารางที่ 14-15

**ตารางที่ 14-13 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามแม่น้ำชี (เฉพาะส่วนโครงสร้าง
 ส่วนบน) วิธีที่ 1: เสริมกำลังด้วย RC Jacketing**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m				
	171	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,488.41
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				254,517.74
3) หมวด 3 ค่าเสริมท้องของสะพาน				
	60	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
3.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
3.2) เหล็กเสริม DB25	15.412	kg	26.16	403.18
3.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,153.92
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				69,235.08
4) หมวด 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน				
	138	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
4.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
4.2) เหล็กเสริม DB25	15.412	kg	26.16	403.18
เหล็กเสริม DB12	8.88	kg	26.36	234.08
4.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,387.99
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				191,543.27

**ตารางที่ 14-13 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามแม่น้ำชี (เฉพาะส่วนโครงสร้าง
 ส่วนบน) วิธีที่ 1: เสริมกำลังด้วย RC Jacketing (ต่อ)**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
5) หมวด 5 ค่าลวดอัดแรง	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
5.1) งาน PC Strand Diameter 12.7mm	0	ton	82,000.00	-
รวมระบบและหัวดึง				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
6) หมวด 6 ค่า CFRP	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
6.1) งาน CFRP Strip (Strip width 0.10m)	0	m	6,000.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
6.2) งาน CFRP Wrap	0	SQ.M	5,500.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
7) หมวด 7 ค่า ซ่อมรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	20	m	3,000.00	60,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				60,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				695,296.09
รวมทั้งสะพาน	2	SPAN		1,390,592.17

ตารางที่ 14-14 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามแม่น้ำชี (เฉพาะส่วนโครงสร้าง ส่วนบน) วิธีที่ 2: เสริมกำลังด้วย Post Tensioning

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m				
	171	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,488.41
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				254,517.74
3) หมวด 3 ค่าเสริมท้องของสะพาน				
	60	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
3.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
3.2) เหล็กเสริม DB25	15.412	kg	26.16	403.18
3.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,153.92
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				69,235.08
4) หมวด 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน				
	0	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
4.1) คอนกรีต	0	CU.M.	2,693.60	-
4.2) เหล็กเสริม DB25	0	kg	26.16	-
เหล็กเสริม DB12	0	kg	26.36	-
4.3) ไม้แบบ	0	SQ.M	481.38	-
รวมราคาต่อ ตร.ม.				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-

**ตารางที่ 14-14 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามแม่น้ำชี (เฉพาะส่วนโครงสร้าง
 ส่วนบน) วิธีที่ 2: เสริมกำลังด้วย Post Tensioning (ต่อ)**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
5) หมวด 5 ค่าลวดอัดแรง	4	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
5.1) งาน PC Strand Diameter 12.7mm	0.021784	ton	82,000.00	1,786.29
รวมระบบและหัวดึง				
รวมราคาต่อชุด				1,786.29
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				7,145.15
6) หมวด 6 ค่า CFRP	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
6.1) งาน CFRP Strip (Strip width 0.10m)	0	m	6,000.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
6.2) งาน CFRP Wrap	0	SQ.M	5,500.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
7) หมวด 7 ค่า ซอยรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	20	m	3,000.00	60,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				60,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				510,897.97
รวมทั้งสะพาน	2	SPAN		1,021,795.94

**ตารางที่ 14-15 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามแม่น้ำชี (เฉพาะส่วนโครงสร้าง
 ส่วนบน) วิธีที่ 3: เสริมกำลังด้วย CFRP**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m	171	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,488.41
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				254,517.74
3) หมวด 3 ค่าเสริมท้องของสะพาน	0	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
3.1) คอนกรีต	0	CU.M.	2,693.60	-
3.2) เหล็กเสริม DB25	0	kg	26.16	-
3.3) ไม้แบบ	0	SQ.M	481.38	-
รวมราคาต่อ ตร.ม.				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
4) หมวด 4 ค่าเสริมเอวของสะพาน	0	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
4.1) คอนกรีต	0	CU.M.	2,693.60	-
4.2) เหล็กเสริม DB25	0	kg	26.16	-
เหล็กเสริม DB12	0	kg	26.36	-
4.3) ไม้แบบ	0	SQ.M	481.38	-
รวมราคาต่อ ตร.ม.				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-

**ตารางที่ 14-15 ประมาณราคาต้นทุนการเสริมกำลังสะพานข้ามแม่น้ำชี (เฉพาะส่วนโครงสร้าง
 ส่วนบน) วิธีที่ 3: เสริมกำลังด้วย CFRP (ต่อ)**

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
5) หมวด 5 ค่าลวดอัดแรง	0	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
5.1) งาน PC Strand Diameter 12.7mm	0	ton	82,000.00	-
รวมระบบและหัวตึง				
รวมราคาต่อชุด				-
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				-
6) หมวด 6 ค่า CFRP	4	ชุด	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ชุด				
6.1) งาน CFRP Strip (Strip width 0.10m)	0	m	6,000.00	-
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
6.2) งาน CFRP Wrap	11.4	SQ.M	5,500.00	62,700.00
รวมระบบ Epoxy และ Coating				
รวมราคาต่อชุด				62,700.00
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				250,800.00
7) หมวด 7 ค่า ซ่อมรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	20	m	3,000.00	60,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				60,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				685,317.74
รวมทั้งสะพาน	2	SPAN		1,370,635.48

14.6 ประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานข้ามคลองบางแพรก

สะพานคลองบางแพรก ตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 16 นครศรีธรรมราช แขวงทางหลวง นครศรีธรรมราชที่ 2 (ทุ่งสง) จังหวัดนครศรีธรรมราช หมายเลขทางหลวง 4305 กม.กลางสะพาน 8+025 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2501 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 281 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง 4TG(3x10) ความกว้างผิวทาง 7 เมตร

วิธีเสริมพื้นสะพานราคาต่อสะพาน 1,177,689 บาท (ไม่รวม Factor F) โดยรายละเอียดการคิด ราคา แสดงในตารางที่ 14-16

ตารางที่ 14-16 ประมาณ ราคาต้นทุนการเสริมกำลัง สะพานข้ามคลองบางแพรก วิธีเสริมพื้น สะพาน

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m				
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.	134.75	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				1,488.41
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				200,562.96
7) หมวด 7 ค่า ช่อยรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection (รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)	24	m	3,000.00	72,000.00
รวมราคา				72,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				392,562.96
รวมทั้งสะพานคลองบางมัน	3	SPAN		1,177,688.87

14.7 ประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานข้ามแม่น้ำลาว

สะพานข้ามแม่น้ำลาวตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 2 แพร่ แขวงทางหลวงเชียงใหม่ที่ 1 จังหวัดเชียงใหม่ หมายเลขทางหลวง 118 กม.กลางสะพาน 91+205 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2525 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 1,598 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง 6TG(5x12) ความกว้างผิวทาง 13 เมตร

วิธี เสริมพื้นสะพานราคาต่อสะพาน 1,888,766 บาท (ไม่รวม Factor F) โดยรายละเอียดการคิดราคา แสดงในตารางที่ 14-17

ตารางที่ 14-17 ประมาณ ราคาต้นทุนการเสริมกำลัง สะพานข้ามแม่น้ำลาว วิธีเสริมพื้นสะพาน

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่				
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00
1.2) ค่า Clearing				20,000.00
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m				
	124.8	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน	
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.				
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41
เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38
รวมราคาต่อ ตร.ม.				
				1,488.41
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน				
				185,753.30
7) หมวด 7 ค่า ซ่อมรอยร้าว Epoxy Injection				
ทั้งสะพาน				
7.1) งาน Epoxy Injection	24	m	3,000.00	72,000.00
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)				
รวมราคา				
				72,000.00
8) รวมราคา ทุกหมวด				
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)				
				377,753.30
รวมทั้งสะพาน				
	5	SPAN		1,888,766.49

14.8 ประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานข้ามห้วยเงิน

สะพานห้วยเงิน ตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 8 มหาสารคาม แขวงทางหลวงร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด หมายเลขทางหลวง 2387 กม.กลางสะพาน 21+072 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2534 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 512 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง TG(1x12) ความกว้างผิวทาง 7.5 เมตร

วิธีการเสริมพื้นสะพานราคาต่อสะพาน 325,957 บาท (ไม่รวม Factor F) โดยรายละเอียดการคิดราคา แสดงในตารางที่ 14-18

ตารางที่ 14-18 ประมาณ ราคาต้นทุน การเสริมกำลัง สะพานข้ามห้วยเงิน วิธีเสริมพื้นสะพาน

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคา (บาท)	
1) หมวด 1 ค่าเตรียมพื้นที่					
1.1) ค่านั่งร้าน				100,000.00	
1.2) ค่า Clearing				20,000.00	
2) หมวด 2 ค่าเสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 m					
	90	SQ.M	ต่อ 1 ช่วงสะพาน		
ปริมาณต่อ 1 ตร.ม.					
2.1) คอนกรีต	0.1	CU.M.	2,693.60	269.36	
2.2) เหล็กเสริม DB16	21.04	kg	26.16	550.41	
	เหล็กเสริม DB12	7.104	kg	26.36	187.26
2.3) ไม้แบบ	1	SQ.M	481.38	481.38	
รวมราคาต่อ ตร.ม.					
				1,488.41	
ราคาต่อ 1 ช่วงสะพาน					
				133,956.71	
7) หมวด 7 ค่า ซ่อมรอยร้าว Epoxy Injection					
ทั้งสะพาน					
7.1) งาน Epoxy Injection	24	m	3,000.00	72,000.00	
(รอยร้าวลึก ไม่เกิน 0.50 m)					
รวมราคา					
				72,000.00	
8) รวมราคา ทุกหมวด					
รวม ต่อช่วงสะพาน (ไม่รวม Factor F)					
				325,956.71	
รวมทั้งสะพานคลองบางมัน					
	1	SPAN		325,956.71	

บทที่ 15 การคัดเลือกรูปแบบการเสริมกำลัง คานสะพาน

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอการคัดเลือกรูปแบบการเสริมกำลังคานสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที่ตามที่ได้ออกแบบเสริมกำลังในบทที่ผ่านมา 3 รูปแบบ ได้แก่ การเสริมกำลังด้วยการเพิ่มขนาดคาน (Concrete Jacketing) การเสริมกำลังด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) และ การเสริมกำลังด้วยการอัดแรง (Pre-stressing) โดยแนวทางการคัดเลือกจะพิจารณารูปแบบการเสริมกำลังที่ทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life-cycle Cost) ซึ่งประกอบด้วย ค่าเสริมกำลัง ณ ปัจจุบันและค่าก่อสร้างสะพานใหม่ในอนาคตเมื่อคานสะพานเสื่อมสภาพจนถึงอายุการใช้งานภายหลังการเสริมกำลัง เทียบต่ออายุบริการภายหลังการเสริมกำลัง มีค่าต่ำที่สุด โดยในกรณีทางเลือกที่ไม่ทำการเสริมกำลังแต่ทำการก่อสร้างสะพานใหม่ ณ ปัจจุบัน อายุบริการของสะพานก่อสร้างใหม่จะพิจารณาให้มีค่าเท่ากับอายุสะพาน ณ ปัจจุบัน ในที่นี้ การเสื่อมสภาพของคานสะพานพิจารณาเฉพาะความล้าของเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัดสูงสุดที่บริเวณกึ่งกลางคานเนื่องจากการจราจรของรถบรรทุก ซึ่งเป็นรูปแบบการเสื่อมสภาพที่สำคัญของคานสะพานรูปตัวที่

15.1 กำลังต้านทานความล้าของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที่

กำลังต้านทานความล้าจากแรงกระทำซ้ำแสดงถึงศักยภาพหรือการเสื่อมสภาพของคานสะพานรูปตัวที่จากการจราจรของรถบรรทุก การวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที่ภายใต้แรงกระทำซ้ำเกิดจากการวิบัติของเหล็กเสริมรับโมเมนต์แรงดัด ดังนั้น กำลังต้านทานความล้าของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที่จึงขึ้นอยู่กับกำลังต้านทานความล้าของเหล็กเสริมรับโมเมนต์แรงดัด ดังแสดงในสมการที่ 15-1

$$\log N = 12.9074 - 3.2402 \log \Delta \sigma \quad (15-1)$$

โดยที่ $\Delta \sigma$ คือ ความเค้นดึงในเหล็กเสริมรับโมเมนต์แรงดัดเนื่องจากแรงกระทำซ้ำ (MPa) และ N คือ จำนวนรอบของแรงกระทำซ้ำที่ทำให้เกิดการวิบัติ

โดยอาศัยหลักเกณฑ์การสะสมความล้าเชิงเส้น (Palmgren-Miner Linear Criterion of Cumulative Damage) $\Delta \sigma_i$ ใดๆ 1 รอบทำให้วัสดุหรือโครงสร้างเกิดความล้าหรือเสื่อมสภาพไปเท่ากับ $1/N_i$ และวัสดุหรือโครงสร้างจะวิบัติเมื่อความล้าสะสมเท่ากับ 1 ดังแสดงในสมการที่ 15-2

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = 1 \quad (15-2)$$

โดยที่ n_i คือ จำนวนรอบการกระทำซ้ำของ $\Delta\sigma_i$

การทำนายการเสื่อมสภาพเพื่อแสดงถึงศักยภาพของการเสริมกำลังคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวที่ด้วย Concrete Jacketing และด้วย CFRP จะคำนวณโดยอาศัยสมการที่ 15-1 และ 15-2 โดย $\Delta\sigma_i$ เป็นความเค้นดึงในเหล็กเสริมรับโมเมนต์แรงดัดที่กึ่งกลางคานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุก W_i และ n_i คือปริมาณบรรทุกที่สอดคล้องกัน และค่าการเสื่อมสภาพที่ยอมให้ได้กำหนดไว้ที่ 0.8 หรือ

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = 0.8$$

ในกรณีของการเสริมกำลังด้วย Pre-stressing หลักเกณฑ์การสะสมความล้าเชิงเส้นตามสมการที่ 15-2 ยังคงถูกนำมาใช้ในการคำนวณเพียงแต่กำลังต้านทานความล้าของคานรูปตัวที่จะเปลี่ยนจากสมการที่ 15-1 เป็นสมการที่ 15-3 เนื่องจากผลของการอัดแรง

$$\ln N = 13.3391 - 21.4362 P_n + 7.7509 PD \quad (15-3)$$

โดยที่ P_n คือ อัตราส่วนระหว่างแรงกระทำเสมือนเป็นจุด P_i ที่ถ่ายลงคานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุก W_i กับ กำลังรับแรงประลัยแบบจุด P_n ของคาน และ PD คือ ระดับการอัดแรง เช่น ระดับการอัดแรงสูง $PD = 0.75$ ระดับการอัดแรงปานกลาง $PD = 0.70$ และ ระดับการอัดแรงต่ำ $PD = 0.60$

15.2 การจราจรของรถบรรทุก

การจราจรของรถบรรทุกที่ใช้ในการทำนายการเสื่อมสภาพของคานสะพานประกอบด้วยปริมาณและน้ำหนักของรถบรรทุก ดังนี้

ปริมาณการจราจร พิจารณาเฉพาะปริมาณการจราจรของรถบรรทุกหนักที่วิ่งผ่านสะพาน โดยอาศัยข้อมูลการจราจรจากสำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง ปริมาณการจราจรต่อวันต่อทิศทางเป็นปริมาณการจราจรที่ใช้ในการคำนวณการเสื่อมสภาพโดยคิดอัตราการเพิ่มปริมาณการจราจรร้อยละ 4 ต่อปี

น้ำหนักของรถบรรทุก พิจารณารถบรรทุก 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น (รถบรรทุกสิบล้อ) เป็นตัวแทนรถบรรทุกหนักอื่นๆ น้ำหนักของรถบรรทุกสิบล้อมีการกระจายตัวอยู่ในช่วงแคบๆ โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณน้ำหนักตามพิสัยกฎหมาย

น้ำหนักของรถบรรทุกสิบล้อตามพิสัยกฎหมาย แบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

ปีพ.ศ. 2500 ถึง 2519 พิกัดตามกฎหมาย 18 ตัน

ปีพ.ศ. 2520 ถึง 2548 พิกัดตามกฎหมาย 21 ต้น

ปีพ.ศ. 2549 ถึงปัจจุบัน พิกัดตามกฎหมาย 25 ต้น

น้ำหนักบรรทุกทุกสลิปล้อตามพิกัดกฎหมายนี้ได้นำมาใช้ในการคำนวณการเสื่อมสภาพ

15.3 การกระจายน้ำหนักและแรงกระแทกจากการจราจรของรถบรรทุก

เมื่อรถบรรทุกวิ่งผ่านสะพาน น้ำหนักบรรทุกจะกระจายไปยังส่วนต่างๆ ของโครงสร้างสะพาน รวมถึงเกิดแรงกระแทกขึ้นอีกด้วย การกระจายน้ำหนักของรถบรรทุกและแรงกระแทกที่เกิดขึ้นกับคานสะพานรูปตัวที มีดังนี้

สะพานประเภทคานรูปตัวทีประกอบด้วยคานตัวที่ 4 คาน สะพานมีขนาดความกว้าง 2 ช่องจราจร เมื่อรถบรรทุกวิ่งผ่านช่องจราจรใดช่องจราจรหนึ่ง น้ำหนักบรรทุกจะกระจายไปยังคานตัวริมด้านเดียวกับที่รถบรรทุกวิ่งมากที่สุด โดยจะแบกรับน้ำหนักอยู่ที่ประมาณร้อยละ 40 ของน้ำหนักบรรทุก แรงกระแทกที่เกิดขึ้นจะอยู่ที่ไม่เกินร้อยละ 20

ดังนั้น ในการคำนวณการเสื่อมสภาพของคานสะพานจากการจราจรของรถบรรทุก พิจารณาเฉพาะคานตัวริม โดยน้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายลงคานตัวริมจะมีค่าตัวคูณ 0.48 ของน้ำหนักบรรทุกที่พิจารณา

15.4 ราคาเสริมกำลัง

รายละเอียดราคาเสริมกำลังคานสะพานโดย การเพิ่มขนาดคานด้วยคอนกรีต (Concrete Jacketing) การหุ้มด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) และ การอัดแรง (Pre-stressing) ของแต่ละสะพาน แสดงไว้ในบทก่อนหน้า

ค่าก่อสร้างสะพานใหม่ในอนาคตเมื่อคานสะพานเสื่อมสภาพจนสิ้นอายุการใช้งานภายหลังการเสริมกำลัง คิดราคาค่าก่อสร้างเป็นราคาในปัจจุบัน พ.ศ. 2565 โดยคิดอัตราส่วนลด (Discount rate) ร้อยละ 8

15.5 รูปแบบการเสริมกำลังสะพานคลองบางมัน

การออกแบบเสริมกำลังสะพานคลองบางมัน ซึ่งเป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวทีช่วง 15 เมตร จำนวน 3 ช่วง ในบทที่ผ่านมา สรุปได้ดังนี้

Concrete Jacketing	ราคาเสริมกำลังต่อสะพาน	2,085,888 บาท
Pre-stressing	ราคาเสริมกำลังต่อสะพาน	1,532,694 บาท
CFRP	ราคาเสริมกำลังต่อสะพาน	2,055,953 บาท

ในการก่อสร้างสะพานใหม่ ให้ก่อสร้างเป็นสะพาน Box Beam ความยาวช่วง 15 เมตร กว้าง 8 เมตร จำนวน 3 ช่วง ราคา 12,000 บาทต่อตารางเมตร คิดเป็นราคาค่าก่อสร้างใหม่ 4,320,000 บาท

ปัจจุบันปี 2565 สะพานอายุ 62 ปี มีปริมาณรถบรรทุกหนัก (ตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น) 227 คันต่อวันต่อทิศทาง

การเสื่อมสภาพของคานสะพานภายหลังการเสริมกำลังทั้ง 3 รูปแบบ แสดงไว้ในรูปที่ 15-1 และ 15-2 กล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

เสริมกำลังโดย Concrete Jacketing ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 82 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 2,093,736 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 25,533 บาทต่อปี

เสริมกำลังโดย Pre-stressing ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 79 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 1,542,580 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 19,526 บาทต่อปี

เสริมกำลังโดย CFRP ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 77 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 2,067,484 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 26,850 บาทต่อปี

ก่อสร้างใหม่ ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 62 ปี ราคาค่าก่อสร้างใหม่รวม คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 4,356,577 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 70,267 บาทต่อปี

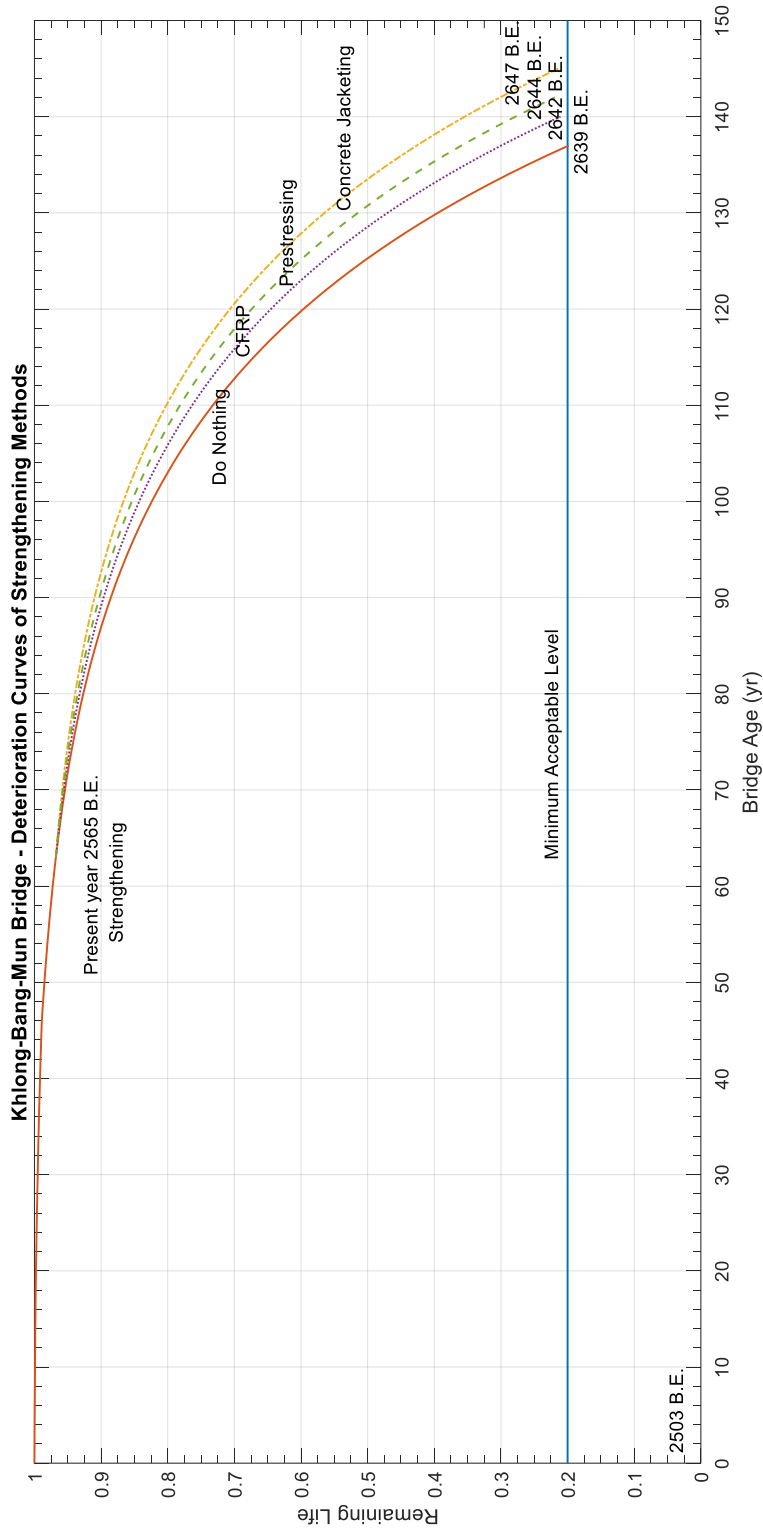
ดังนั้น สะพานคลองบางมันควรเสริมกำลังคานสะพานโดย Pre-stressing เนื่องจากมีราคาต่ออายุบริการต่ำที่สุด

Year	ADTT	Per Year	GW (ton)	M (N-mm)	Δσz (MPa)	Concrete jacketing			CRP			Pre-stressing			
						Δσz (MPa)	I/N	Cum. Dam	Remain	Δσz (MPa)	I/N	Cum. Dam	Remain	Δσz (MPa)	I/N
2503	32	11680	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9999	0.9999	0.0001	0.0001	0.0001	0.9999	0.9999	0.0001	0.0001
2504	33	12045	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9998	0.9998	0.0002	0.0002	0.0002	0.9998	0.9998	0.0002	0.0002
2505	34	12410	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9997	0.9997	0.0003	0.0003	0.0003	0.9997	0.9997	0.0003	0.0003
2506	35	12775	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9996	0.9996	0.0004	0.0004	0.0004	0.9996	0.9996	0.0004	0.0004
2507	36	13140	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9995	0.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.9995	0.9995	0.0005	0.0005
2508	37	13505	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9994	0.9994	0.0006	0.0006	0.0006	0.9994	0.9994	0.0006	0.0006
2509	38	13870	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9993	0.9993	0.0007	0.0007	0.0007	0.9993	0.9993	0.0007	0.0007
2510	39	14235	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9992	0.9992	0.0008	0.0008	0.0008	0.9992	0.9992	0.0008	0.0008
2511	40	14600	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9991	0.9991	0.0009	0.0009	0.0009	0.9991	0.9991	0.0009	0.0009
2512	41	14965	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9990	0.9990	0.0010	0.0010	0.0010	0.9990	0.9990	0.0010	0.0010
2513	42	15330	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9989	0.9989	0.0011	0.0011	0.0011	0.9989	0.9989	0.0011	0.0011
2514	43	15695	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9988	0.9988	0.0012	0.0012	0.0012	0.9988	0.9988	0.0012	0.0012
2515	44	16060	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9987	0.9987	0.0013	0.0013	0.0013	0.9987	0.9987	0.0013	0.0013
2516	45	16425	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9985	0.9985	0.0015	0.0015	0.0015	0.9985	0.9985	0.0015	0.0015
2517	46	16790	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9984	0.9984	0.0016	0.0016	0.0016	0.9984	0.9984	0.0016	0.0016
2518	47	17155	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9983	0.9983	0.0017	0.0017	0.0017	0.9983	0.9983	0.0017	0.0017
2519	48	17520	18	2.5920E+08	2.9060E-01	6.8229E-09	0.9981	0.9981	0.0019	0.0019	0.0019	0.9981	0.9981	0.0019	0.0019
2520	49	17885	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9979	0.9979	0.0021	0.0021	0.0021	0.9979	0.9979	0.0021	0.0021
2521	50	18250	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9977	0.9977	0.0023	0.0023	0.0023	0.9977	0.9977	0.0023	0.0023
2522	51	18615	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9975	0.9975	0.0025	0.0025	0.0025	0.9975	0.9975	0.0025	0.0025
2523	52	18980	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9972	0.9972	0.0028	0.0028	0.0028	0.9972	0.9972	0.0028	0.0028
2524	53	19345	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9968	0.9968	0.0032	0.0032	0.0032	0.9968	0.9968	0.0032	0.0032
2525	54	19710	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9963	0.9963	0.0037	0.0037	0.0037	0.9963	0.9963	0.0037	0.0037
2526	55	20075	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9956	0.9956	0.0044	0.0044	0.0044	0.9956	0.9956	0.0044	0.0044
2527	56	20440	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9947	0.9947	0.0053	0.0053	0.0053	0.9947	0.9947	0.0053	0.0053
2528	57	20805	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9936	0.9936	0.0065	0.0065	0.0065	0.9936	0.9936	0.0065	0.0065
2529	58	21170	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9922	0.9922	0.0082	0.0082	0.0082	0.9922	0.9922	0.0082	0.0082
2530	59	21535	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9905	0.9905	0.0108	0.0108	0.0108	0.9905	0.9905	0.0108	0.0108
2531	60	21900	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9885	0.9885	0.0148	0.0148	0.0148	0.9885	0.9885	0.0148	0.0148
2532	61	22265	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9861	0.9861	0.0205	0.0205	0.0205	0.9861	0.9861	0.0205	0.0205
2533	62	22630	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9833	0.9833	0.0283	0.0283	0.0283	0.9833	0.9833	0.0283	0.0283
2534	63	22995	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9801	0.9801	0.0398	0.0398	0.0398	0.9801	0.9801	0.0398	0.0398
2535	64	23360	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9765	0.9765	0.0565	0.0565	0.0565	0.9765	0.9765	0.0565	0.0565
2536	65	23725	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9715	0.9715	0.0812	0.0812	0.0812	0.9715	0.9715	0.0812	0.0812
2537	66	24090	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9651	0.9651	0.1185	0.1185	0.1185	0.9651	0.9651	0.1185	0.1185
2538	67	24455	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9573	0.9573	0.1665	0.1665	0.1665	0.9573	0.9573	0.1665	0.1665
2539	68	24820	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9481	0.9481	0.2235	0.2235	0.2235	0.9481	0.9481	0.2235	0.2235
2540	69	25185	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9375	0.9375	0.2995	0.2995	0.2995	0.9375	0.9375	0.2995	0.2995
2541	70	25550	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9254	0.9254	0.4000	0.4000	0.4000	0.9254	0.9254	0.4000	0.4000
2542	71	25915	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.9118	0.9118	0.5335	0.5335	0.5335	0.9118	0.9118	0.5335	0.5335
2543	72	26280	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.8967	0.8967	0.7100	0.7100	0.7100	0.8967	0.8967	0.7100	0.7100
2544	73	26645	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.8791	0.8791	0.9435	0.9435	0.9435	0.8791	0.8791	0.9435	0.9435
2545	74	27010	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.8589	0.8589	1.2520	1.2520	1.2520	0.8589	0.8589	1.2520	1.2520
2546	75	27375	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.8361	0.8361	1.6575	1.6575	1.6575	0.8361	0.8361	1.6575	1.6575
2547	76	27740	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.8107	0.8107	2.1840	2.1840	2.1840	0.8107	0.8107	2.1840	2.1840
2548	77	28105	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.7827	0.7827	2.8605	2.8605	2.8605	0.7827	0.7827	2.8605	2.8605
2549	78	28470	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.7521	0.7521	3.7200	3.7200	3.7200	0.7521	0.7521	3.7200	3.7200
2550	79	28835	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.7189	0.7189	4.8105	4.8105	4.8105	0.7189	0.7189	4.8105	4.8105
2551	80	29200	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.6831	0.6831	6.1920	6.1920	6.1920	0.6831	0.6831	6.1920	6.1920
2552	81	29565	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.6447	0.6447	7.9245	7.9245	7.9245	0.6447	0.6447	7.9245	7.9245
2553	82	29930	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.6037	0.6037	1.0000	1.0000	1.0000	0.6037	0.6037	1.0000	1.0000
2554	83	30295	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.5601	0.5601	1.2225	1.2225	1.2225	0.5601	0.5601	1.2225	1.2225
2555	84	30660	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.5139	0.5139	1.5000	1.5000	1.5000	0.5139	0.5139	1.5000	1.5000
2556	85	31025	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.4651	0.4651	1.8435	1.8435	1.8435	0.4651	0.4651	1.8435	1.8435
2557	86	31390	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.4137	0.4137	2.3640	2.3640	2.3640	0.4137	0.4137	2.3640	2.3640
2558	87	31755	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.3597	0.3597	3.0975	3.0975	3.0975	0.3597	0.3597	3.0975	3.0975
2559	88	32120	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.3031	0.3031	4.0800	4.0800	4.0800	0.3031	0.3031	4.0800	4.0800
2560	89	32485	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.2439	0.2439	5.3525	5.3525	5.3525	0.2439	0.2439	5.3525	5.3525

รูปที่ 15-1 การเสื่อมสภาพของคานสะพานคลองบางม่นภายหลังการเสริมกำลัง

โครงการศึกษาการเสริมกำลังสะพานกรมทางหลวงรุ่นเก่าประเภทคานตัวที่โดยวิธีการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน
รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report) เพื่อยกระดับมาตรฐานการให้บริการรองรับการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน

Year	AOTD	Per Year	GW (ton)	M (N-mm)	Stress (MPa)	1/N	Do nothing	Cum. Dam.	Remain	Stress (MPa)	1/N	Dam. per y.	Cum. Dam.	Remain	Concrete jacking	Stress (MPa)	1/N	Dam. per y.	Cum. Dam.	Remain	CFRP	Stress (MPa)	1/N	Dam. per y.	Cum. Dam.	Remain	P/Pu	1/N	Dam. per y.	Cum. Dam.	Remain
2561	195	71175	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0014	0.0260	0.9740	3.620E+01	1.3916E-08	0.0334	0.0346	0.9666	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9663	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9663	0.0550	1.564E-08	1.3631E-03	0.0335	0.9665
2562	202	73730	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0015	0.0274	0.9726	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9654	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9652	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9652	0.0550	1.564E-08	1.4102E-03	0.0349	0.9651
2563	210	76550	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0015	0.0290	0.9710	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9641	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9632	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9632	0.0550	1.564E-08	1.4673E-03	0.0364	0.9636
2564	218	79570	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0016	0.0305	0.9695	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9628	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9619	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9619	0.0550	1.564E-08	1.5301E-03	0.0379	0.9621
2565	227	82855	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0016	0.0322	0.9678	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9613	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9604	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9604	0.0550	1.564E-08	1.5929E-03	0.0395	0.9605
2566	237	86505	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0017	0.0339	0.9663	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9598	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9589	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9589	0.0550	1.564E-08	1.6557E-03	0.0412	0.9588
2567	247	90155	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0018	0.0357	0.9643	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9583	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9574	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9574	0.0550	1.564E-08	1.7300E-03	0.0429	0.9571
2568	257	93805	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0019	0.0375	0.9623	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9567	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9558	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9558	0.0550	1.564E-08	1.8042E-03	0.0447	0.9553
2569	268	97820	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0020	0.0395	0.9605	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9550	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9541	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9541	0.0550	1.564E-08	1.8784E-03	0.0467	0.9534
2570	279	101835	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0021	0.0415	0.9585	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9532	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9523	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9523	0.0550	1.564E-08	1.9633E-03	0.0496	0.9514
2571	291	106215	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0022	0.0436	0.9564	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9516	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9507	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9507	0.0550	1.564E-08	2.0500E-03	0.0521	0.9498
2572	303	110595	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0022	0.0458	0.9544	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9500	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9491	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9491	0.0550	1.564E-08	2.1400E-03	0.0549	0.9482
2573	316	115340	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0023	0.0480	0.9520	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9483	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9474	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9474	0.0550	1.564E-08	2.2320E-03	0.0572	0.9464
2574	329	120085	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0024	0.0504	0.9496	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9475	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9466	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9466	0.0550	1.564E-08	2.3260E-03	0.0601	0.9455
2575	343	125195	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0025	0.0529	0.9471	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9468	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9459	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9459	0.0550	1.564E-08	2.4220E-03	0.0627	0.9446
2576	357	130385	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0025	0.0555	0.9445	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9460	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9451	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9451	0.0550	1.564E-08	2.5200E-03	0.0652	0.9434
2577	372	135780	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0027	0.0582	0.9418	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9456	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9447	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9447	0.0550	1.564E-08	2.6200E-03	0.0682	0.9423
2578	387	141255	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0028	0.0609	0.9391	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9451	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9442	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9442	0.0550	1.564E-08	2.7220E-03	0.0712	0.9411
2579	403	147095	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0029	0.0639	0.9361	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9446	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9437	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9437	0.0550	1.564E-08	2.8260E-03	0.0742	0.9400
2580	420	153300	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0030	0.0669	0.9331	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9441	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9432	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9432	0.0550	1.564E-08	2.9320E-03	0.0772	0.9383
2581	437	159505	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0032	0.0700	0.9300	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9436	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9427	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9427	0.0550	1.564E-08	3.0400E-03	0.0802	0.9365
2582	455	166075	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0033	0.0733	0.9267	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9431	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9422	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9422	0.0550	1.564E-08	3.1500E-03	0.0831	0.9348
2583	474	173010	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0034	0.0768	0.9232	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9426	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9417	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9417	0.0550	1.564E-08	3.2620E-03	0.0860	0.9330
2584	493	179945	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0035	0.0803	0.9197	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9421	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9412	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9412	0.0550	1.564E-08	3.3760E-03	0.0889	0.9313
2585	513	187395	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0037	0.0840	0.9160	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9416	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9407	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9407	0.0550	1.564E-08	3.4940E-03	0.0917	0.9296
2586	534	194910	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0039	0.0879	0.9121	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9411	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9402	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9402	0.0550	1.564E-08	3.6140E-03	0.0944	0.9278
2587	556	202940	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0040	0.0919	0.9089	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9406	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9397	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9397	0.0550	1.564E-08	3.7360E-03	0.0970	0.9260
2588	579	211335	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0042	0.0961	0.9039	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9401	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9392	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9392	0.0550	1.564E-08	3.8600E-03	0.1000	0.9242
2589	603	220095	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0044	0.1004	0.8996	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9396	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9387	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9387	0.0550	1.564E-08	3.9880E-03	0.1026	0.9224
2590	628	229220	25	3.600E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0045	0.1050	0.8950	3.620E+01	1.3916E-08	0.0337	0.0346	0.9391	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9382	3.8640E+01	1.7176E-08	1.4858E-03	0.0337	0.0337	0.9382	0.0550	1.564E-08	4.1480E-03	0.1052	0.9205
2591	654	238710	25	3.600E+08	4.0360E+01																										



รูปที่ 15-2 เส้นโค้งการเสื่อมสภาพของคานสะพานคลองบางม้นภายหลังการเสริมกำลัง

15.6 รูปแบบการเสริมกำลังสะพานคลองยัน

การออกแบบเสริมกำลังสะพานคลองยัน ซึ่งเป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที่ช่วง 20 เมตร จำนวน 6 ช่วง ในบทที่ผ่านมา สรุปได้ดังนี้

Concrete Jacketing	ราคาค่าเสริมกำลังต่อสะพาน	5,978,936 บาท
Pre-stressing	ราคาค่าเสริมกำลังต่อสะพาน	6,300,468 บาท
CFRP	ราคาค่าเสริมกำลังต่อสะพาน	7,927,689 บาท

ในการก่อสร้างสะพานใหม่ ให้ก่อสร้างเป็นสะพาน Box Beam ความยาวช่วง 20 เมตร กว้าง 8 เมตร จำนวน 6 ช่วง ราคา 12,000 บาทต่อตารางเมตร คิดเป็นราคาค่าก่อสร้างใหม่ 11,520,000 บาท

ปัจจุบันปี 2565 สะพานอายุ 23 ปี มีปริมาณรถบรรทุกหนัก (ตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น) 84 คันต่อวันต่อทิศทาง

การเสื่อมสภาพของคานสะพานภายหลังการเสริมกำลังทั้ง 3 รูปแบบ แสดงไว้ในรูปที่ 15-3 และ 15-4 กล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

เสริมกำลังโดย Concrete Jacketing ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 108 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 5,981,766 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 55,386 บาทต่อปี

เสริมกำลังโดย Pre-stressing ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 101 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 6,305,317 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 62,428 บาทต่อปี

เสริมกำลังโดย CFRP ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 102 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 7,932,179 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 77,766 บาทต่อปี

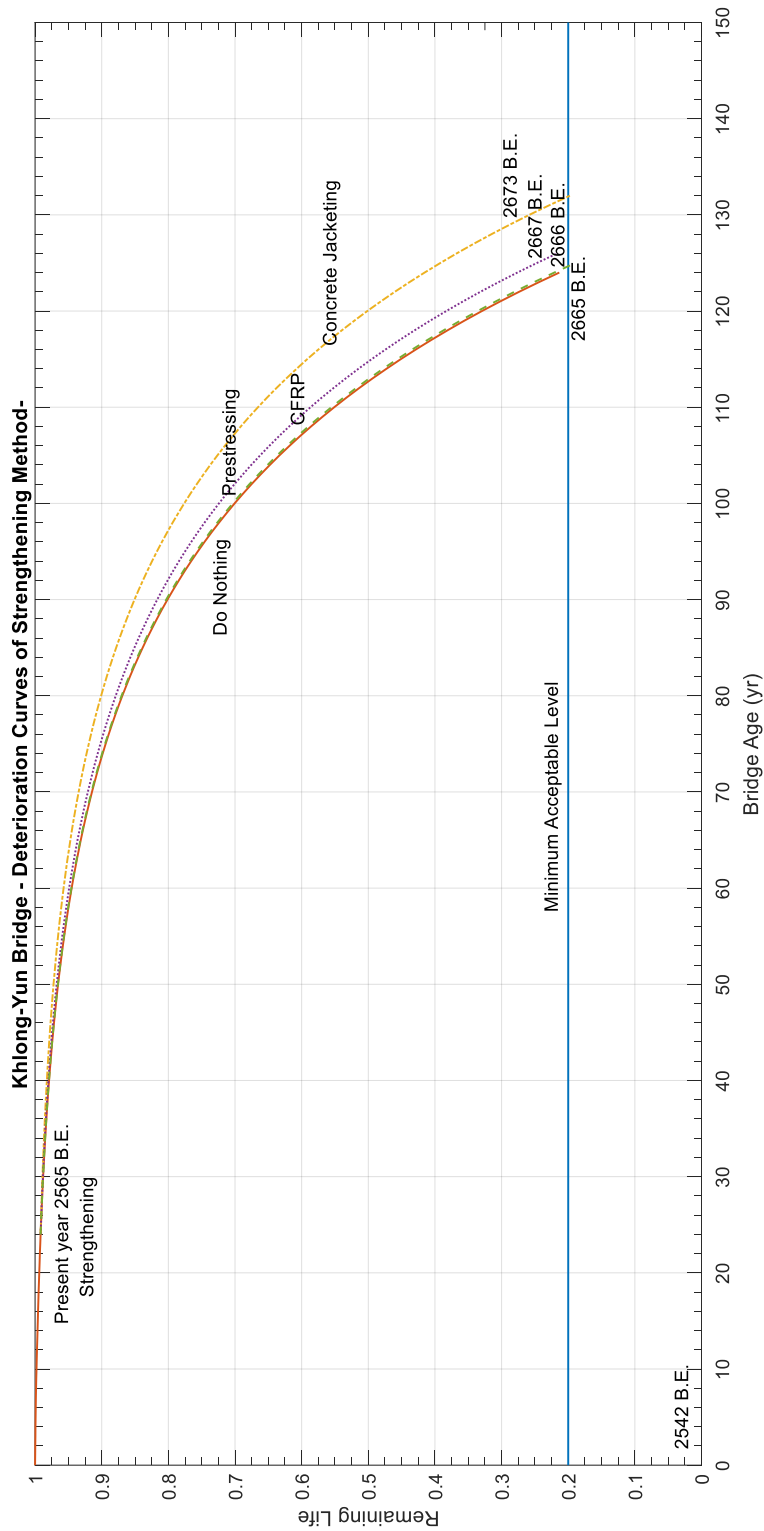
ก่อสร้างใหม่ ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 23 ปี ราคาค่าก่อสร้างใหม่รวม คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 13,482,032 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 586,175 บาทต่อปี

ดังนั้น สะพานคลองยันควรเสริมกำลังคานสะพานโดย Concrete Jacketing เนื่องจากมีราคาต่ออายุบริการต่ำที่สุด

โครงการศึกษาการเสริมกำลังสะพานกรมทางหลวงรุ่นเก่าประเภทคานตัวที่โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน
รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report) เพื่อยกระดับมาตรฐานการให้บริการรองรับการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน

Year	ADTT	Per Year	GV (ton)	M (N-mm)	Ios (MPa)	Don'tching		Concrete Jacking		Ios (MPa)	I/N	Dam. per yr	Cum. Dam	Remain	Ios (MPa)	I/N	Dam. per yr	Cum. Dam	Remain	P/Pu	I/N	Dam. per yr	Cum. Dam	Remain
						Dam. per yr	Cum. Dam	Dam. per yr	Cum. Dam															
2542	43	15695	21	4.0320E+08	3.2690E+01	9.9910E-09	0.0002	0.0002	0.9998	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0087	0.9913	3.7920E+01	1.6160E-08	5.1307E-04	0.0088	0.9912	0.0600	1.741E-08	5.5928E-04	0.0089	0.9911
2543	44	16060	21	4.0320E+08	3.2690E+01	9.9910E-09	0.0002	0.0003	0.9997	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0092	0.9908	3.7920E+01	1.6160E-08	5.4266E-04	0.0094	0.9906	0.0600	1.741E-08	5.9274E-04	0.0120	0.9880
2544	45	16425	21	4.0320E+08	3.2690E+01	9.9910E-09	0.0002	0.0005	0.9995	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0096	0.9904	3.7920E+01	1.6160E-08	5.7236E-04	0.0101	0.9899	0.0600	1.741E-08	6.2742E-04	0.0128	0.9872
2545	46	16790	21	4.0320E+08	3.2690E+01	9.9910E-09	0.0002	0.0006	0.9994	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0101	0.9899	3.7920E+01	1.6160E-08	6.0312E-04	0.0105	0.9895	0.0600	1.741E-08	6.5945E-04	0.0135	0.9865
2546	47	17155	21	4.0320E+08	3.2690E+01	9.9910E-09	0.0002	0.0008	0.9992	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0104	0.9896	3.7920E+01	1.6160E-08	6.3414E-04	0.0108	0.9891	0.0600	1.741E-08	6.8975E-04	0.0143	0.9857
2547	48	17520	21	4.0320E+08	3.2690E+01	9.9910E-09	0.0002	0.0010	0.9990	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0106	0.9894	3.7920E+01	1.6160E-08	6.5945E-04	0.0111	0.9889	0.0600	1.741E-08	7.1842E-04	0.0151	0.9849
2548	49	17885	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0003	0.0012	0.9988	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0106	0.9894	3.7920E+01	1.6160E-08	6.8497E-04	0.0111	0.9889	0.0600	1.741E-08	7.4624E-04	0.0160	0.9840
2549	50	18250	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0003	0.0015	0.9985	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0111	0.9889	3.7920E+01	1.6160E-08	7.1148E-04	0.0116	0.9884	0.0600	1.741E-08	7.7282E-04	0.0169	0.9831
2550	51	18615	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0003	0.0018	0.9982	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0116	0.9884	3.7920E+01	1.6160E-08	7.3920E-04	0.0121	0.9879	0.0600	1.741E-08	8.0000E-04	0.0178	0.9822
2551	53	19345	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0003	0.0022	0.9978	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0116	0.9884	3.7920E+01	1.6160E-08	7.6742E-04	0.0124	0.9876	0.0600	1.741E-08	8.2822E-04	0.0188	0.9812
2552	55	20075	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0004	0.0025	0.9975	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0122	0.9882	3.7920E+01	1.6160E-08	8.0000E-04	0.0131	0.9869	0.0600	1.741E-08	8.5788E-04	0.0209	0.9791
2553	57	20805	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0004	0.0029	0.9971	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	8.3414E-04	0.0131	0.9861	0.0600	1.741E-08	8.8857E-04	0.0220	0.9780
2554	59	21535	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0004	0.0033	0.9967	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	8.6312E-04	0.0134	0.9856	0.0600	1.741E-08	9.1926E-04	0.0220	0.9769
2555	61	22265	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0004	0.0037	0.9963	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	8.9282E-04	0.0134	0.9854	0.0600	1.741E-08	9.5000E-04	0.0210	0.9759
2556	63	22995	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0004	0.0041	0.9959	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	9.2282E-04	0.0134	0.9852	0.0600	1.741E-08	9.8111E-04	0.0200	0.9750
2557	65	23725	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0004	0.0045	0.9955	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	9.5426E-04	0.0134	0.9850	0.0600	1.741E-08	1.0133E-03	0.0200	0.9744
2558	67	24455	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0004	0.0049	0.9951	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	9.8675E-04	0.0134	0.9848	0.0600	1.741E-08	1.0266E-03	0.0200	0.9738
2559	69	25185	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0004	0.0053	0.9947	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.0266E-03	0.0134	0.9846	0.0600	1.741E-08	1.0400E-03	0.0200	0.9732
2560	71	25915	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0004	0.0058	0.9942	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.0400E-03	0.0134	0.9844	0.0600	1.741E-08	1.0533E-03	0.0200	0.9726
2561	73	26645	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0004	0.0063	0.9937	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.0533E-03	0.0134	0.9842	0.0600	1.741E-08	1.0666E-03	0.0200	0.9720
2562	75	27375	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0004	0.0068	0.9932	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.0666E-03	0.0134	0.9840	0.0600	1.741E-08	1.0800E-03	0.0200	0.9714
2563	77	28105	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0005	0.0072	0.9928	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.0800E-03	0.0134	0.9838	0.0600	1.741E-08	1.0933E-03	0.0200	0.9708
2564	80	29200	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0005	0.0078	0.9922	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.1066E-03	0.0134	0.9836	0.0600	1.741E-08	1.1166E-03	0.0200	0.9702
2565	84	30660	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0005	0.0083	0.9917	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.1400E-03	0.0134	0.9834	0.0600	1.741E-08	1.1600E-03	0.0200	0.9696
2566	88	32120	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0006	0.0089	0.9911	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.1800E-03	0.0134	0.9832	0.0600	1.741E-08	1.2066E-03	0.0200	0.9678
2567	92	33580	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0006	0.0095	0.9905	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.2266E-03	0.0134	0.9830	0.0600	1.741E-08	1.2533E-03	0.0200	0.9660
2568	96	35040	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0006	0.0101	0.9899	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.2666E-03	0.0134	0.9827	0.0600	1.741E-08	1.3000E-03	0.0200	0.9642
2569	100	36500	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0006	0.0107	0.9893	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.3100E-03	0.0134	0.9825	0.0600	1.741E-08	1.3466E-03	0.0200	0.9624
2570	104	37960	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0007	0.0114	0.9886	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.3600E-03	0.0134	0.9823	0.0600	1.741E-08	1.3933E-03	0.0200	0.9606
2571	109	39785	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0007	0.0121	0.9879	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.4100E-03	0.0134	0.9821	0.0600	1.741E-08	1.4400E-03	0.0200	0.9588
2572	114	41610	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0007	0.0128	0.9872	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.4600E-03	0.0134	0.9819	0.0600	1.741E-08	1.4866E-03	0.0200	0.9574
2573	119	43435	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0008	0.0136	0.9864	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.5100E-03	0.0134	0.9817	0.0600	1.741E-08	1.5333E-03	0.0200	0.9560
2574	124	45260	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0008	0.0144	0.9856	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.5600E-03	0.0134	0.9815	0.0600	1.741E-08	1.5800E-03	0.0200	0.9546
2575	129	47085	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0008	0.0152	0.9848	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.6100E-03	0.0134	0.9813	0.0600	1.741E-08	1.6266E-03	0.0200	0.9532
2576	135	48910	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0009	0.0161	0.9839	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.6600E-03	0.0134	0.9811	0.0600	1.741E-08	1.6733E-03	0.0200	0.9518
2577	141	51465	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0009	0.0170	0.9830	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.7100E-03	0.0134	0.9809	0.0600	1.741E-08	1.7200E-03	0.0200	0.9504
2578	147	53655	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0009	0.0179	0.9821	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.7600E-03	0.0134	0.9807	0.0600	1.741E-08	1.7666E-03	0.0200	0.9490
2579	153	55845	25	4.8000E+08	3.8920E+01	9.9910E-09	0.0010	0.0189	0.9811	3.5470E+01	1.3015E-08	4.1806E-04	0.0124	0.9880	3.7920E+01	1.6160E-08	1.8100E-03	0.0134	0.9805	0.0600	1.741E-08	1.8133E-03	0.0200	0.9476
2580	160	58400	25	4.800																				

Year	ADTT	Per Year	GW (ton)	M (N-mm)	Jcs (MPa)	Don'tching		Remain	Jcs (MPa)	1/N	Concrete jacking		Remain	Jcs (MPa)	1/N	CFRP		Remain	P/Pu	1/N	Pre-stressing		Remain
						Dam. per yr	Cum. Dam				Dam. per yr	Cum. Dam				Dam. per yr	Cum. Dam				Dam. per yr	Cum. Dam	
2542	43	15695	21	4.0320E+08	3.2690E+01	9.9910E-09	0.0002	0.9988	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.9988	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.9988	0.0002	0.0002	0.0002	0.9988	0.0002
2543	44	16060	21	4.0320E+08	3.2690E+01	9.9910E-09	0.0002	0.9997	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.9997	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.9997	0.0003	0.0003	0.0003	0.9997	0.0003
2544	45	16425	21	4.0320E+08	3.2690E+01	9.9910E-09	0.0002	0.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.9995	0.0005
2545	46	16790	21	4.0320E+08	3.2690E+01	9.9910E-09	0.0002	0.9994	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.9994	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.9994	0.0006	0.0006	0.0006	0.9994	0.0006
2546	47	17155	21	4.0320E+08	3.2690E+01	9.9910E-09	0.0002	0.9992	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.9992	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.9992	0.0008	0.0008	0.0008	0.9992	0.0008
2547	48	17520	21	4.0320E+08	3.2690E+01	9.9910E-09	0.0002	0.9990	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.9990	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.9990	0.0010	0.0010	0.0010	0.9990	0.0010
2548	49	17885	21	4.0320E+08	3.2690E+01	9.9910E-09	0.0002	0.9988	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.9988	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.9988	0.0012	0.0012	0.0012	0.9988	0.0012
2549	50	18250	21	4.0320E+08	3.2690E+01	9.9910E-09	0.0002	0.9985	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.9985	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.9985	0.0015	0.0015	0.0015	0.9985	0.0015
2550	51	18615	21	4.0320E+08	3.2690E+01	9.9910E-09	0.0002	0.9982	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.9982	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.9982	0.0018	0.0018	0.0018	0.9982	0.0018
2551	53	19345	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0003	0.9978	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.9978	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.9978	0.0022	0.0022	0.0022	0.9978	0.0022
2552	55	20075	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0004	0.9975	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.9975	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.9975	0.0025	0.0025	0.0025	0.9975	0.0025
2553	57	20805	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0004	0.9971	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.9971	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.9971	0.0029	0.0029	0.0029	0.9971	0.0029
2554	59	21535	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0004	0.9967	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.9967	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.9967	0.0033	0.0033	0.0033	0.9967	0.0033
2555	61	22265	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0004	0.9963	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.9963	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.9963	0.0037	0.0037	0.0037	0.9963	0.0037
2556	63	22995	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0004	0.9959	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.9959	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.9959	0.0041	0.0041	0.0041	0.9959	0.0041
2557	65	23725	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0004	0.9955	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.9955	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.9955	0.0045	0.0045	0.0045	0.9955	0.0045
2558	67	24455	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0004	0.9951	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.9951	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.9951	0.0049	0.0049	0.0049	0.9951	0.0049
2559	69	25185	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0004	0.9947	0.0053	0.0053	0.0053	0.0053	0.9947	0.0053	0.0053	0.0053	0.0053	0.9947	0.0053	0.0053	0.0053	0.9947	0.0053
2560	71	25915	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0005	0.9942	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.9942	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.9942	0.0058	0.0058	0.0058	0.9942	0.0058
2561	73	26645	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0005	0.9937	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063	0.9937	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063	0.9937	0.0063	0.0063	0.0063	0.9937	0.0063
2562	75	27375	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0005	0.9932	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068	0.9932	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068	0.9932	0.0068	0.0068	0.0068	0.9932	0.0068
2563	77	28105	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0005	0.9927	0.0072	0.0072	0.0072	0.0072	0.9927	0.0072	0.0072	0.0072	0.0072	0.9927	0.0072	0.0072	0.0072	0.9927	0.0072
2564	80	29200	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0005	0.9922	0.0078	0.0078	0.0078	0.0078	0.9922	0.0078	0.0078	0.0078	0.0078	0.9922	0.0078	0.0078	0.0078	0.9922	0.0078
2565	84	30660	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0005	0.9917	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.9917	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.9917	0.0083	0.0083	0.0083	0.9917	0.0083
2566	88	32120	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0007	0.9911	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.9911	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.9911	0.0089	0.0089	0.0089	0.9911	0.0089
2567	92	33580	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0006	0.9905	0.0095	0.0095	0.0095	0.0095	0.9905	0.0095	0.0095	0.0095	0.0095	0.9905	0.0095	0.0095	0.0095	0.9905	0.0095
2568	96	35040	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0006	0.9899	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.9899	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.9899	0.0101	0.0101	0.0101	0.9899	0.0101
2569	100	36500	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0006	0.9893	0.0107	0.0107	0.0107	0.0107	0.9893	0.0107	0.0107	0.0107	0.0107	0.9893	0.0107	0.0107	0.0107	0.9893	0.0107
2570	104	37960	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0007	0.9886	0.0114	0.0114	0.0114	0.0114	0.9886	0.0114	0.0114	0.0114	0.0114	0.9886	0.0114	0.0114	0.0114	0.9886	0.0114
2571	109	39785	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0007	0.9879	0.0121	0.0121	0.0121	0.0121	0.9879	0.0121	0.0121	0.0121	0.0121	0.9879	0.0121	0.0121	0.0121	0.9879	0.0121
2572	114	41610	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0007	0.9872	0.0128	0.0128	0.0128	0.0128	0.9872	0.0128	0.0128	0.0128	0.0128	0.9872	0.0128	0.0128	0.0128	0.9872	0.0128
2573	119	43435	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0008	0.9864	0.0136	0.0136	0.0136	0.0136	0.9864	0.0136	0.0136	0.0136	0.0136	0.9864	0.0136	0.0136	0.0136	0.9864	0.0136
2574	124	45260	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0008	0.9856	0.0144	0.0144	0.0144	0.0144	0.9856	0.0144	0.0144	0.0144	0.0144	0.9856	0.0144	0.0144	0.0144	0.9856	0.0144
2575	129	47085	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0008	0.9848	0.0152	0.0152	0.0152	0.0152	0.9848	0.0152	0.0152	0.0152	0.0152	0.9848	0.0152	0.0152	0.0152	0.9848	0.0152
2576	135	48910	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0009	0.9839	0.0161	0.0161	0.0161	0.0161	0.9839	0.0161	0.0161	0.0161	0.0161	0.9839	0.0161	0.0161	0.0161	0.9839	0.0161
2577	141	51465	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0009	0.9830	0.0170	0.0170	0.0170	0.0170	0.9830	0.0170	0.0170	0.0170	0.0170	0.9830	0.0170	0.0170	0.0170	0.9830	0.0170
2578	147	53655	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0009	0.9821	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.9821	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.9821	0.0179	0.0179	0.0179	0.9821	0.0179
2579	153	55845	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0010	0.9811	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.9811	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.9811	0.0189	0.0189	0.0189	0.9811	0.0189
2580	160	58400	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0010	0.9801	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.9801	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.9801	0.0199	0.0199	0.0199	0.9801	0.0199
2581	167	60955	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0011	0.9790	0.0210	0.0210	0.0210	0.0210	0.9790	0.0210	0.0210	0.0210	0.0210	0.9790	0.0210	0.0210	0.0210	0.9790	0.0210
2582	174	63510	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0011	0.9779	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.9779	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.9779	0.0221	0.0221	0.0221	0.9779	0.0221
2583	181	66065	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0012	0.9767	0.0233	0.0233	0.0233	0.0233	0.9767	0.0233	0.0233	0.0233	0.0233	0.9767	0.0233	0.0233	0.0233	0.9767	0.0233
2584	189	68685	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0012	0.9755	0.0245	0.0245	0.0245	0.0245	0.9755	0.0245	0.0245	0.0245	0.0245	0.9755	0.0245	0.0245	0.0245	0.9755	0.0245
2585	197	71905	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0013	0.9743	0.0257	0.0257	0.0257	0.0257	0.9743	0.0257	0.0257	0.0257	0.0257	0.9743	0.0257	0.0257	0.0257	0.9	



รูปที่ 15-4 การเสื่อมสภาพของคานสะพานคลองยั้งภายหลังการเสริมกำลัง

15.7 รูปแบบการเสริมกำลังสะพานคลองห้ารอบ

การออกแบบเสริมกำลังสะพานคลองห้ารอบ ซึ่งเป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที่ช่วง 20 เมตร จำนวน 1 ช่วง และช่วง 15 เมตร จำนวน 2 ช่วง ในบทที่ผ่านมา สรุปได้ดังนี้

Concrete Jacketing	ราคาค่าเสริมกำลังต่อสะพาน	2,387,082 บาท
Pre-stressing	ราคาค่าเสริมกำลังต่อสะพาน	2,071,874 บาท
CFRP	ราคาค่าเสริมกำลังต่อสะพาน	2,691,917 บาท

ในการก่อสร้างสะพานใหม่ ให้ก่อสร้างเป็นสะพาน Box Beam ความยาวช่วง 20 เมตร กว้าง 8 เมตร จำนวน 1 ช่วง และความยาวช่วง 15 เมตร กว้าง 8 เมตร จำนวน 2 ช่วง ราคา 12,000 บาทต่อตารางเมตร คิดเป็นราคาค่าก่อสร้างใหม่ 4,800,000 บาท

ปัจจุบันปี 2565 สะพานอายุ 33 ปี มีปริมาณรถบรรทุกหนัก (ตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น) 1014 คันต่อวันต่อทิศทาง

การเสื่อมสภาพของคานสะพานภายหลังการเสริมกำลังทั้ง 3 รูปแบบ แสดงไว้ในรูปที่ 15-5 และ 15-8 กล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

เนื่องจากการเสื่อมสภาพภายหลังการเสริมกำลังของคานช่วง 20 เมตรและช่วง 15 เมตร แตกต่างกันไม่มาก ดังนั้น ในการเสริมกำลังจะพิจารณาเสริมรูปแบบเดียวกันทั้งสองช่วงความยาว โดยพิจารณาการก่อสร้างใหม่ตามการสิ้นสุดอายุการใช้งานของคานช่วงที่เสื่อมสภาพเร็วที่สุดของแต่ละรูปแบบการเสริมกำลัง

เสริมกำลังโดย Concrete Jacketing ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 45 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 2,537,455 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 56,387 บาทต่อปี

เสริมกำลังโดย Pre-stressing ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 42 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 2,261,302 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 53,840 บาทต่อปี

เสริมกำลังโดย CFRP ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 41 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 2,896,499 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 70,646 บาทต่อปี

ก่อสร้างใหม่ ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 33 ปี ราคาค่าก่อสร้างใหม่รวม คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 4,975,396 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 115,706 บาทต่อปี

ดังนั้น สะพานคลองน้ำรอบควรเสริมกำลังคานสะพานโดย Pre-stressing เนื่องจากมีราคาต่ออายุบริการต่ำที่สุด



Year	ADTT	Per Year	GW (ton)	M (N-mm)	Δz (MPa)	I/N	Do nothing		Concrete jacketing		CFRP		Pre-stressing		Remain		
							Dam. per yr	Cum. Dam	Δz (MPa)	I/N	Dam. per yr	Cum. Dam	Δz (MPa)	I/N		Dam. per yr	Cum. Dam
2580	1835	669775	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0118	0.2517	3.5470E+01	1.3015E-08	8.7174E-03	0.2164	0.7836	1.741E-08	1.1662E-02	0.2504	0.7496
2581	1909	696795	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0123	0.2640	3.5470E+01	1.3015E-08	9.0690E-03	0.2255	0.7745	1.741E-08	1.1662E-02	0.2625	0.7375
2582	1986	724890	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0127	0.2767	3.5470E+01	1.3015E-08	9.4198E-03	0.2349	0.7651	1.741E-08	1.1662E-02	0.2751	0.7249
2583	2066	754080	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0133	0.2900	3.5470E+01	1.3015E-08	9.8148E-03	0.2447	0.7553	1.741E-08	1.1662E-02	0.2883	0.7117
2584	2149	784385	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0138	0.3038	3.5470E+01	1.3015E-08	1.0209E-02	0.2549	0.7451	1.741E-08	1.1662E-02	0.3019	0.6981
2585	2235	815775	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0143	0.3181	3.5470E+01	1.3015E-08	1.0618E-02	0.2655	0.7345	1.741E-08	1.1662E-02	0.3161	0.6839
2586	2325	848625	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0149	0.3330	3.5470E+01	1.3015E-08	1.1045E-02	0.2766	0.7234	1.741E-08	1.1662E-02	0.3309	0.6691
2587	2418	882570	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0155	0.3485	3.5470E+01	1.3015E-08	1.1497E-02	0.2881	0.7119	1.741E-08	1.1662E-02	0.3463	0.6537
2588	2515	917975	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0161	0.3647	3.5470E+01	1.3015E-08	1.1948E-02	0.3000	0.7000	1.741E-08	1.1662E-02	0.3633	0.6377
2589	2616	954690	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0168	0.3815	3.5470E+01	1.3015E-08	1.2486E-02	0.3125	0.6875	1.741E-08	1.1662E-02	0.3809	0.6211
2590	2721	993165	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0175	0.3989	3.5470E+01	1.3015E-08	1.2927E-02	0.3254	0.6746	1.741E-08	1.1662E-02	0.3982	0.6038
2591	2830	1032950	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0182	0.4171	3.5470E+01	1.3015E-08	1.3444E-02	0.3388	0.6612	1.741E-08	1.1662E-02	0.4142	0.5858
2592	2944	1074560	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0189	0.4360	3.5470E+01	1.3015E-08	1.3986E-02	0.3528	0.6472	1.741E-08	1.1662E-02	0.4329	0.5671
2593	3062	1117630	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0197	0.4556	3.5470E+01	1.3015E-08	1.4546E-02	0.3674	0.6326	1.741E-08	1.1662E-02	0.4523	0.5477
2594	3185	1162525	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0204	0.4761	3.5470E+01	1.3015E-08	1.5131E-02	0.3825	0.6175	1.741E-08	1.1662E-02	0.4726	0.5274
2595	3313	1209245	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0213	0.4973	3.5470E+01	1.3015E-08	1.5739E-02	0.3982	0.6018	1.741E-08	1.1662E-02	0.4936	0.5064
2596	3446	1257790	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0221	0.5194	3.5470E+01	1.3015E-08	1.6371E-02	0.4146	0.5854	1.741E-08	1.1662E-02	0.5155	0.4845
2597	3584	1308160	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0230	0.5425	3.5470E+01	1.3015E-08	1.7036E-02	0.4316	0.5684	1.741E-08	1.1662E-02	0.5383	0.4617
2598	3728	1360720	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0239	0.5664	3.5470E+01	1.3015E-08	1.7710E-02	0.4493	0.5507	1.741E-08	1.1662E-02	0.5620	0.4380
2599	3878	1415470	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0249	0.5913	3.5470E+01	1.3015E-08	1.8423E-02	0.4678	0.5322	1.741E-08	1.1662E-02	0.5867	0.4133
2600	4034	1472410	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0259	0.6172	3.5470E+01	1.3015E-08	1.9164E-02	0.4869	0.5131	1.741E-08	1.1662E-02	0.6123	0.3877
2601	4196	1531540	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0269	0.6441	3.5470E+01	1.3015E-08	1.9934E-02	0.5069	0.4931	1.741E-08	1.1662E-02	0.6390	0.3610
2602	4364	1592860	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0280	0.6721	3.5470E+01	1.3015E-08	2.0732E-02	0.5276	0.4724	1.741E-08	1.1662E-02	0.6667	0.3333
2603	4539	1656735	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0291	0.7012	3.5470E+01	1.3015E-08	2.1563E-02	0.5492	0.4508	1.741E-08	1.1662E-02	0.6955	0.3045
2604	4721	1723165	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0303	0.7315	3.5470E+01	1.3015E-08	2.2438E-02	0.5716	0.4284	1.741E-08	1.1662E-02	0.7255	0.2745
2605	4910	1792150	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0315	0.7630	3.5470E+01	1.3015E-08	2.3366E-02	0.5949	0.4051	1.741E-08	1.1662E-02	0.7568	0.2442
2606	5107	1864055	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0328	0.7958	3.5470E+01	1.3015E-08	2.4252E-02	0.6192	0.3808	1.741E-08	1.1662E-02	0.7892	0.2108
2607	5312	1938880	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0342	0.8298	3.5470E+01	1.3015E-08	2.5203E-02	0.6444	0.3556	1.741E-08	1.1662E-02	0.8230	0.1770
2608	5525	2016625	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0357	0.8650	3.5470E+01	1.3015E-08	2.6224E-02	0.6706	0.3294	1.741E-08	1.1662E-02	0.8577	0.1453
2609	5746	2097730	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0372	0.9015	3.5470E+01	1.3015E-08	2.7329E-02	0.6979	0.3021	1.741E-08	1.1662E-02	0.8927	0.1170
2610	5976	2181240	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0387	0.9392	3.5470E+01	1.3015E-08	2.8509E-02	0.7263	0.2737	1.741E-08	1.1662E-02	0.9279	0.0920
2611	6216	2268840	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0402	0.9783	3.5470E+01	1.3015E-08	2.9763E-02	0.7559	0.2441	1.741E-08	1.1662E-02	0.9632	0.0680
2612	6465	2359725	25	4.8000E+08	3.8920E+01	1.7582E-08	0.0417	1.0187	3.5470E+01	1.3015E-08	3.0713E-02	0.7866	0.2134	1.741E-08	1.1662E-02	0.9987	0.0460

รูปที่ 15-5 การเสื่อมสภาพของคานสะพานคลองท่ารอบ ช่วง 20 เมตร ภายหลังการเสริมกำลัง (ต่อ)



Year	ADTT	Per Year	GW (ton)	M (N-m)	Δz (MPa)	1/N	Do nothing		Concrete jacketing		CFRP		P/Pu		Remain	
							Dam. per yr.	Cum. Dam.	Δz (MPa)	1/N	Dam. per yr.	Cum. Dam.	Δz (MPa)	1/N		Dam. per yr.
2522	199	72635	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0008	0.0008	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992
2523	206	75190	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0008	0.0017	0.9983	0.9983	0.9983	0.9983	0.9983	0.9983	0.9983	0.9983
2524	214	78110	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0009	0.0025	0.9975	0.9975	0.9975	0.9975	0.9975	0.9975	0.9975	0.9975
2525	222	81030	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0009	0.0033	0.9965	0.9965	0.9965	0.9965	0.9965	0.9965	0.9965	0.9965
2526	230	83950	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0009	0.0044	0.9956	0.9956	0.9956	0.9956	0.9956	0.9956	0.9956	0.9956
2527	239	87235	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0010	0.0054	0.9946	0.9946	0.9946	0.9946	0.9946	0.9946	0.9946	0.9946
2528	248	90520	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0010	0.0064	0.9936	0.9936	0.9936	0.9936	0.9936	0.9936	0.9936	0.9936
2529	257	93805	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0011	0.0074	0.9926	0.9926	0.9926	0.9926	0.9926	0.9926	0.9926	0.9926
2530	267	97495	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0011	0.0084	0.9915	0.9915	0.9915	0.9915	0.9915	0.9915	0.9915	0.9915
2531	277	101105	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0011	0.0097	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903
2532	288	105120	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0012	0.0109	0.9891	0.9891	0.9891	0.9891	0.9891	0.9891	0.9891	0.9891
2533	299	109135	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0012	0.0121	0.9879	0.9879	0.9879	0.9879	0.9879	0.9879	0.9879	0.9879
2534	310	113150	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0013	0.0134	0.9866	0.9866	0.9866	0.9866	0.9866	0.9866	0.9866	0.9866
2535	322	117530	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0013	0.0147	0.9853	0.9853	0.9853	0.9853	0.9853	0.9853	0.9853	0.9853
2536	334	121910	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0014	0.0160	0.9840	0.9840	0.9840	0.9840	0.9840	0.9840	0.9840	0.9840
2537	347	126665	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0014	0.0175	0.9825	0.9825	0.9825	0.9825	0.9825	0.9825	0.9825	0.9825
2538	360	131400	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0015	0.0189	0.9811	0.9811	0.9811	0.9811	0.9811	0.9811	0.9811	0.9811
2539	374	136510	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0015	0.0205	0.9795	0.9795	0.9795	0.9795	0.9795	0.9795	0.9795	0.9795
2540	388	141620	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0016	0.0221	0.9779	0.9779	0.9779	0.9779	0.9779	0.9779	0.9779	0.9779
2541	403	147095	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0017	0.0237	0.9763	0.9763	0.9763	0.9763	0.9763	0.9763	0.9763	0.9763
2542	419	152935	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0017	0.0254	0.9746	0.9746	0.9746	0.9746	0.9746	0.9746	0.9746	0.9746
2543	435	158775	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0018	0.0272	0.9728	0.9728	0.9728	0.9728	0.9728	0.9728	0.9728	0.9728
2544	452	164980	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0019	0.0291	0.9709	0.9709	0.9709	0.9709	0.9709	0.9709	0.9709	0.9709
2545	470	171550	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0019	0.0310	0.9689	0.9689	0.9689	0.9689	0.9689	0.9689	0.9689	0.9689
2546	488	178120	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0020	0.0330	0.9670	0.9670	0.9670	0.9670	0.9670	0.9670	0.9670	0.9670
2547	507	185055	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0021	0.0351	0.9649	0.9649	0.9649	0.9649	0.9649	0.9649	0.9649	0.9649
2548	527	192355	21	3.0240E+08	3.3900E+01	1.1240E-08	0.0022	0.0373	0.9627	0.9627	0.9627	0.9627	0.9627	0.9627	0.9627	0.9627
2549	548	200020	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0040	0.0412	0.9588	0.9588	0.9588	0.9588	0.9588	0.9588	0.9588	0.9588
2550	569	207685	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0041	0.0453	0.9547	0.9547	0.9547	0.9547	0.9547	0.9547	0.9547	0.9547
2551	591	215715	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0043	0.0496	0.9504	0.9504	0.9504	0.9504	0.9504	0.9504	0.9504	0.9504
2552	614	224110	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0044	0.0540	0.9460	0.9460	0.9460	0.9460	0.9460	0.9460	0.9460	0.9460
2553	638	232870	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0046	0.0586	0.9414	0.9414	0.9414	0.9414	0.9414	0.9414	0.9414	0.9414
2554	663	241995	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0048	0.0634	0.9366	0.9366	0.9366	0.9366	0.9366	0.9366	0.9366	0.9366
2555	689	251485	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0050	0.0684	0.9316	0.9316	0.9316	0.9316	0.9316	0.9316	0.9316	0.9316
2556	716	261340	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0052	0.0736	0.9264	0.9264	0.9264	0.9264	0.9264	0.9264	0.9264	0.9264
2557	744	271560	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0054	0.0789	0.9211	0.9211	0.9211	0.9211	0.9211	0.9211	0.9211	0.9211
2558	773	282145	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0056	0.0845	0.9155	0.9155	0.9155	0.9155	0.9155	0.9155	0.9155	0.9155
2559	803	293095	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0058	0.0903	0.9097	0.9097	0.9097	0.9097	0.9097	0.9097	0.9097	0.9097
2560	835	304775	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0060	0.0963	0.9037	0.9037	0.9037	0.9037	0.9037	0.9037	0.9037	0.9037
2561	868	316820	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0063	0.1026	0.8974	0.8974	0.8974	0.8974	0.8974	0.8974	0.8974	0.8974
2562	902	329230	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0065	0.1091	0.8909	0.8909	0.8909	0.8909	0.8909	0.8909	0.8909	0.8909
2563	938	342370	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0068	0.1159	0.8841	0.8841	0.8841	0.8841	0.8841	0.8841	0.8841	0.8841
2564	975	355875	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0070	0.1229	0.8771	0.8771	0.8771	0.8771	0.8771	0.8771	0.8771	0.8771
2565	1014	370110	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0073	0.1302	0.8698	0.8698	0.8698	0.8698	0.8698	0.8698	0.8698	0.8698
2566	1055	385070	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0075	0.1379	0.8621	0.8621	0.8621	0.8621	0.8621	0.8621	0.8621	0.8621
2567	1098	400770	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0079	0.1458	0.8542	0.8542	0.8542	0.8542	0.8542	0.8542	0.8542	0.8542
2568	1142	416830	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0082	0.1540	0.8460	0.8460	0.8460	0.8460	0.8460	0.8460	0.8460	0.8460
2569	1188	433620	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0086	0.1626	0.8374	0.8374	0.8374	0.8374	0.8374	0.8374	0.8374	0.8374
2570	1236	451140	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0089	0.1715	0.8285	0.8285	0.8285	0.8285	0.8285	0.8285	0.8285	0.8285
2571	1286	469390	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0093	0.1808	0.8192	0.8192	0.8192	0.8192	0.8192	0.8192	0.8192	0.8192
2572	1338	488370	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0097	0.1905	0.8095	0.8095	0.8095	0.8095	0.8095	0.8095	0.8095	0.8095
2573	1392	508020	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0100	0.2005	0.7995	0.7995	0.7995	0.7995	0.7995	0.7995	0.7995	0.7995
2574	1448	528580	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0105	0.2110	0.7890	0.7890	0.7890	0.7890	0.7890	0.7890	0.7890	0.7890
2575	1506	549690	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0109	0.2218	0.7782	0.7782	0.7782	0.7782	0.7782	0.7782	0.7782	0.7782
2576	1567	571955	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0113	0.2334	0.7668	0.7668	0.7668	0.7668	0.7668	0.7668	0.7668	0.7668
2577	1630	594950	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0118	0.2459	0.7551	0.7551	0.7551	0.7551	0.7551	0.7551	0.7551	0.7551
2578	1696	619040	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0122	0.2572	0.7428	0.7428	0.7428	0.7428	0.7428	0.7428	0.7428	0.7428
2579	1764	643860	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0127	0.2699	0.7301	0.7301	0.7301	0.7301	0.7301	0.7301	0.7301	0.7301

รูปที่ 15-6 การเสื่อมสภาพของคานสะพานทดลองที่มารอบ ช่วง 15 เมตร ภายหลังจากการเสริมกำลัง

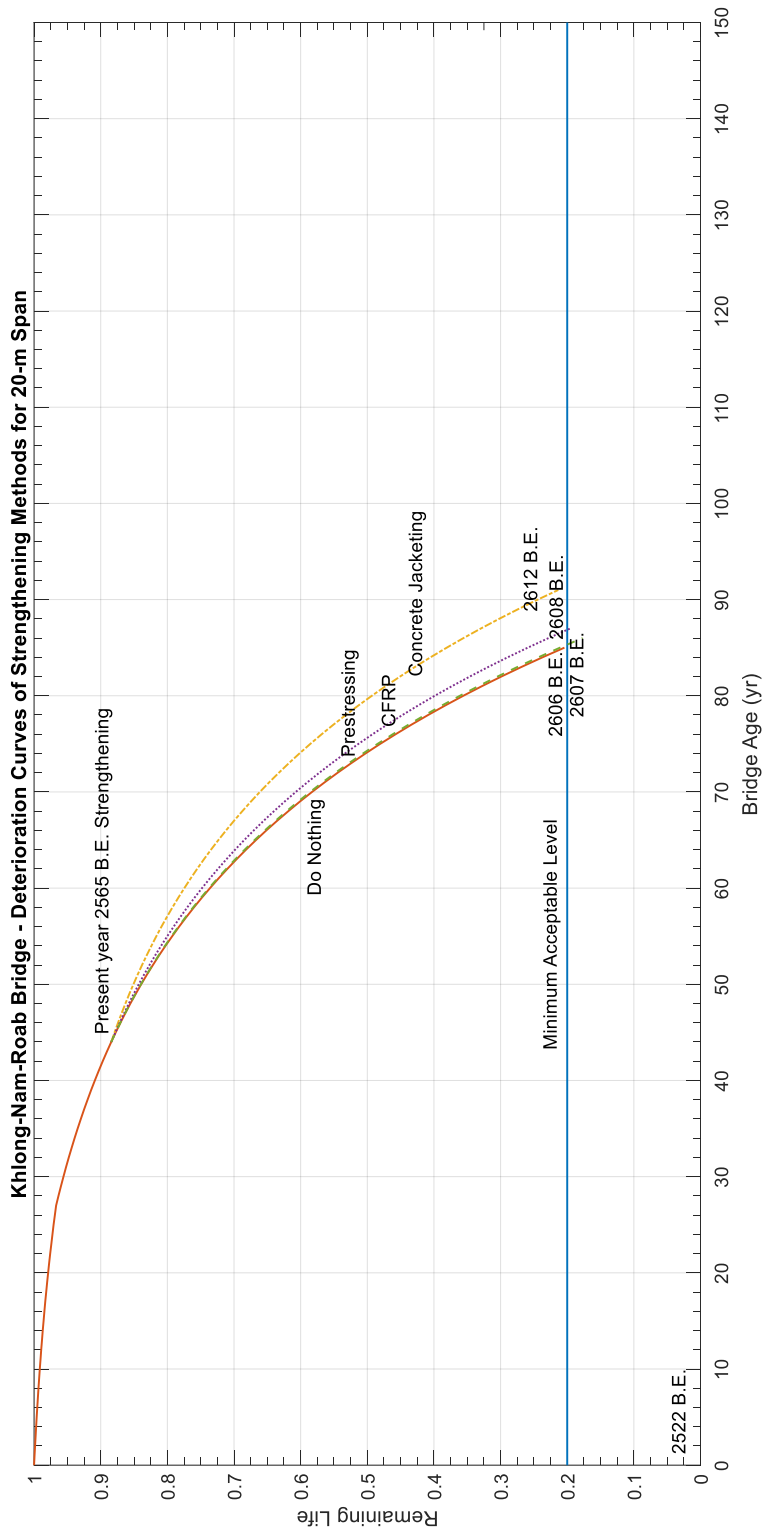


Year	ADTT	Per Year	GW (ton)	M (N-mm)	Asz (MPa)	J/N	Do nothing	Concrete jacketing	CFRP	P/Pu	Pre-stressing	Remain
							Dam. per yr	Dam. per yr	Dam. per yr		Dam. per yr	
							Cum. Dam	Cum. Dam	Cum. Dam		Cum. Dam	
2580	1835	669775	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0132	9.3205E-03	1.1504E-02	0.0550	1.564E-08	0.2512
2581	1909	696785	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0138	9.9895E-03	1.1968E-02	0.0550	1.564E-08	0.2621
2582	1986	724890	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0143	1.0688E-02	1.2451E-02	0.0550	1.564E-08	0.2734
2583	2066	754090	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0149	1.1391E-02	1.2952E-02	0.0550	1.564E-08	0.2852
2584	2149	784385	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0155	1.2110E-02	1.3472E-02	0.0550	1.564E-08	0.2975
2585	2235	815775	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0161	1.2847E-02	1.4012E-02	0.0550	1.564E-08	0.3102
2586	2325	848625	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0168	1.3604E-02	1.4576E-02	0.0550	1.564E-08	0.3235
2587	2418	882570	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0175	1.4382E-02	1.5158E-02	0.0550	1.564E-08	0.3373
2588	2515	917975	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0182	1.5182E-02	1.5767E-02	0.0550	1.564E-08	0.3517
2589	2616	954840	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0189	1.6004E-02	1.6408E-02	0.0550	1.564E-08	0.3666
2590	2721	993165	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0196	1.6848E-02	1.7082E-02	0.0550	1.564E-08	0.3822
2591	2830	1032990	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0204	1.7714E-02	1.7792E-02	0.0550	1.564E-08	0.3983
2592	2944	1074560	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0213	1.8604E-02	1.8546E-02	0.0550	1.564E-08	0.4151
2593	3062	1117630	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0221	1.9518E-02	1.9346E-02	0.0550	1.564E-08	0.4326
2594	3185	116325	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0230	2.0456E-02	2.0258E-02	0.0550	1.564E-08	0.4508
2595	3313	1209245	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0239	2.1418E-02	2.1246E-02	0.0550	1.564E-08	0.4697
2596	3446	1257790	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0249	2.2404E-02	2.2254E-02	0.0550	1.564E-08	0.4894
2597	3584	1308160	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0259	2.3414E-02	2.3292E-02	0.0550	1.564E-08	0.5098
2598	3728	1360720	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0269	2.4448E-02	2.4352E-02	0.0550	1.564E-08	0.5311
2599	3878	1415470	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0280	2.5506E-02	2.5432E-02	0.0550	1.564E-08	0.5533
2600	4034	1472410	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0291	2.6588E-02	2.6536E-02	0.0550	1.564E-08	0.5763
2601	4196	1531540	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0303	2.7694E-02	2.7658E-02	0.0550	1.564E-08	0.6003
2602	4364	1592860	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0315	2.8824E-02	2.8802E-02	0.0550	1.564E-08	0.6252
2603	4539	1656735	25	3.6000E+08	4.0360E+01	1.9779E-08	0.0328	3.0000E-02	3.0000E-02	0.0550	1.564E-08	0.6511
2604	4721	1723165	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	0.6780
2605	4910	1792150	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	0.7061
2606	5107	1864055	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	0.7352
2608	5525	2016625	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	0.7656
2609	5746	2097290	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	0.7964
2610	5976	2181240	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	0.8276

Year	ADTT	Per Year	GW (ton)	M (N-mm)	Asz (MPa)	J/N	Do nothing	Concrete jacketing	CFRP	P/Pu	Pre-stressing	Remain
							Dam. per yr	Dam. per yr	Dam. per yr		Dam. per yr	
							Cum. Dam	Cum. Dam	Cum. Dam		Cum. Dam	
2607	5312	1938880	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	0.8591
2608	5525	2016625	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	0.8994
2609	5746	2097290	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	0.9408
2610	5976	2181240	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	0.9832

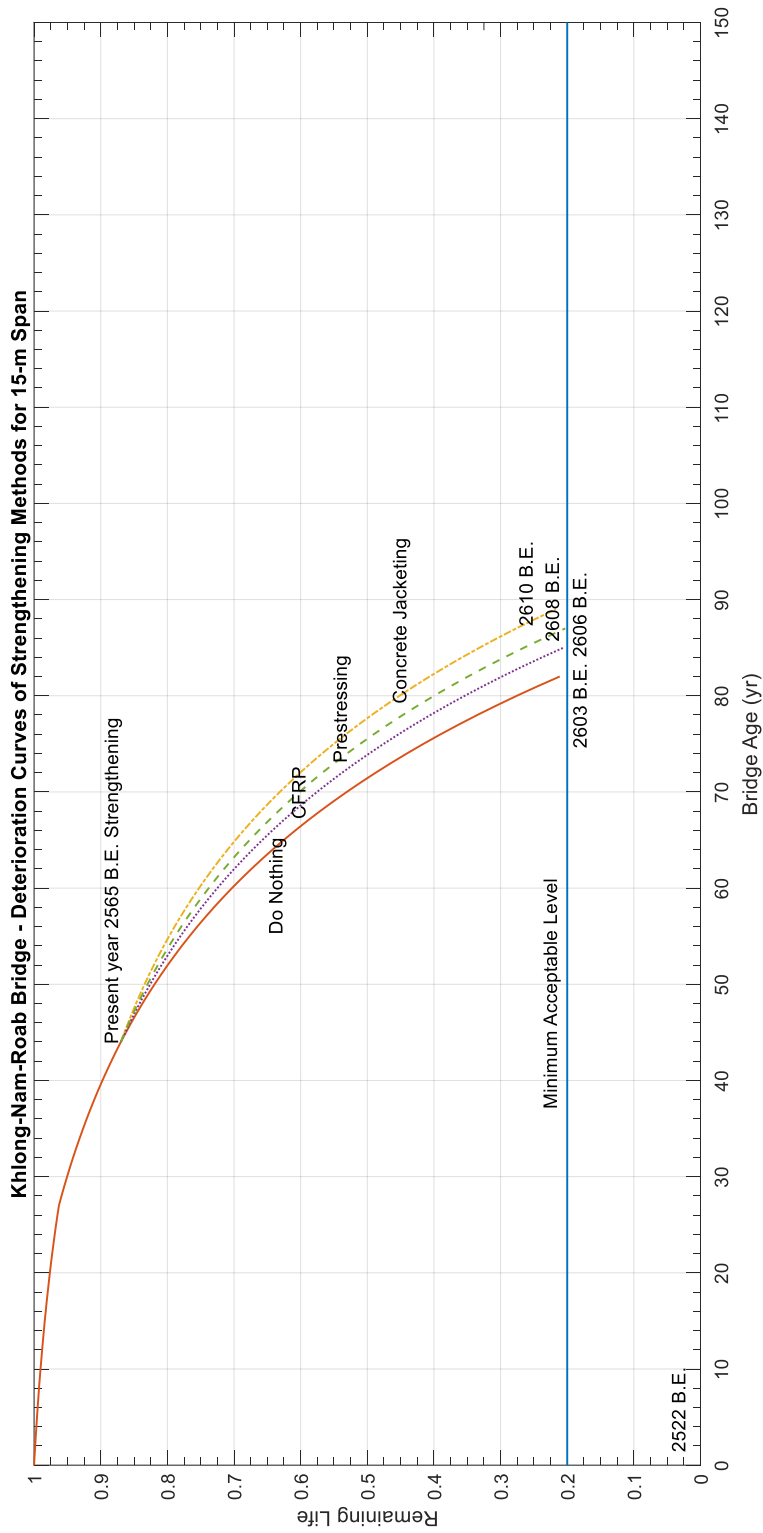
รูปที่ 15-6 การเสื่อมสภาพของคานสะพานคลองท่ารอบ ช่วง 15 เมตร ภายหลังการเสริมกำลัง (ต่อ)

Year	ADTT	Per Year	GW (ton)	M (N-mm)	Asz (MPa)	J/N	Do nothing	Concrete jacketing	CFRP	P/Pu	Pre-stressing	Remain
							Dam. per yr	Dam. per yr	Dam. per yr		Dam. per yr	
							Cum. Dam	Cum. Dam	Cum. Dam		Cum. Dam	
2611	6215	2269490	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.0265
2612	6425	2352440	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.0653
2613	6645	2439490	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.1047
2614	6875	2530740	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.1447
2615	7115	2626290	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.1853
2616	7365	2726240	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.2265
2617	7625	2830690	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.2683
2618	7895	2939740	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.3107
2619	8175	3053490	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.3537
2620	8465	3171940	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.3973
2621	8765	3295190	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.4415
2622	9075	3423240	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.4863
2623	9395	3556090	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.5317
2624	9725	3694740	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.5787
2625	10065	3839190	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.6263
2626	10415	3989440	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.6745
2627	10775	4145490	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.7233
2628	11145	4307340	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.7727
2629	11525	4474990	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.8227
2630	11915	4648440	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.8733
2631	12315	4827690	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.9245
2632	12725	5012740	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	1.9763
2633	13145	5203690	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.0287
2634	13575	5400540	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.0817
2635	14015	5603390	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.1353
2636	14465	5812240	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.1895
2637	14925	6027190	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.2443
2638	15395	6248240	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.3007
2639	15875	6475390	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.3587
2640	16365	6708640	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.4183
2641	16865	6947990	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.4795
2642	17375	7193440	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.5423
2643	17895	7444990	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.6067
2644	18425	7702640	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.6727
2645	18965	7966390	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.7403
2646	19515	8236240	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.8095
2647	20075	8512290	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.8803
2648	20645	8794540	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	2.9527
2649	21225	9082990	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	3.0267
2650	21815	9377640	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	3.1023
2651	22415	9678490	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	3.1795
2652	23025	9985540	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	3.2583
2653	23645	10298790	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	3.3387
2654	24275	10618240	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	3.4207
2655	24915	10943990	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	3.5043
2656	25565	11276040	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	3.5895
2657	26225	11614390	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	3.6763
2658	26895	11959040	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	3.7647
2659	27575	12310090	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	3.8547
2660	28265	12667440	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	3.9463
2661	28965	13031090	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	4.0395
2662	29675	13401040	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	4.1343
2663	30395	13777290	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	4.2307
2664	31125	14159840	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	4.3287
2665	31865	14548690	25				0.7888			0.0550	1.564E-08	4.4283
2666	32615	14943840	25				0.7888			0.0550	1.564E-0	



รูปที่ 15-7 เส้นโค้งการเสื่อมสภาพของคานสะพานคลองน้ำรอบ ช่วง 20 เมตร ภายหลังจากการเสริมกำลัง





รูปที่ 15-8 เส้นโค้งการเสื่อมสภาพของคานสะพานคลองน้ำรอบ ช่วง 15 เมตร ภายหลังจากการเสริมกำลัง

15.8 รูปแบบการเสริมกำลังสะพานห้วยแม่โป่ง

การออกแบบเสริมกำลังสะพานห้วยแม่โป่ง ซึ่งเป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที่ช่วง 15 เมตร จำนวน 5 ช่วง ในบทที่ผ่านมา สรุปได้ดังนี้

Concrete Jacketing	ราคาค่าเสริมกำลังต่อสะพาน	3,476,480 บาท
Pre-stressing	ราคาค่าเสริมกำลังต่อสะพาน	2,554,490 บาท
CFRP	ราคาค่าเสริมกำลังต่อสะพาน	3,426,589 บาท

ในการก่อสร้างสะพานใหม่ ให้ก่อสร้างเป็นสะพาน Box Beam ความยาวช่วง 15 เมตร กว้าง 8 เมตร จำนวน 5 ช่วง ราคา 12,000 บาทต่อตารางเมตร คิดเป็นราคาค่าก่อสร้างใหม่ 7,680,000 บาท

ปัจจุบันปี 2565 สะพานอายุ 60 ปี มีปริมาณรถบรรทุกหนัก (ตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น) 939 คันต่อวันต่อทิศทาง

การเสื่อมสภาพของคานสะพานภายหลังการเสริมกำลังทั้ง 3 รูปแบบ แสดงไว้ในรูปที่ 15-9 และ 15-10 กล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

เสริมกำลังโดย Concrete Jacketing ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 47 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 3,682,755 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 78,356 บาทต่อปี

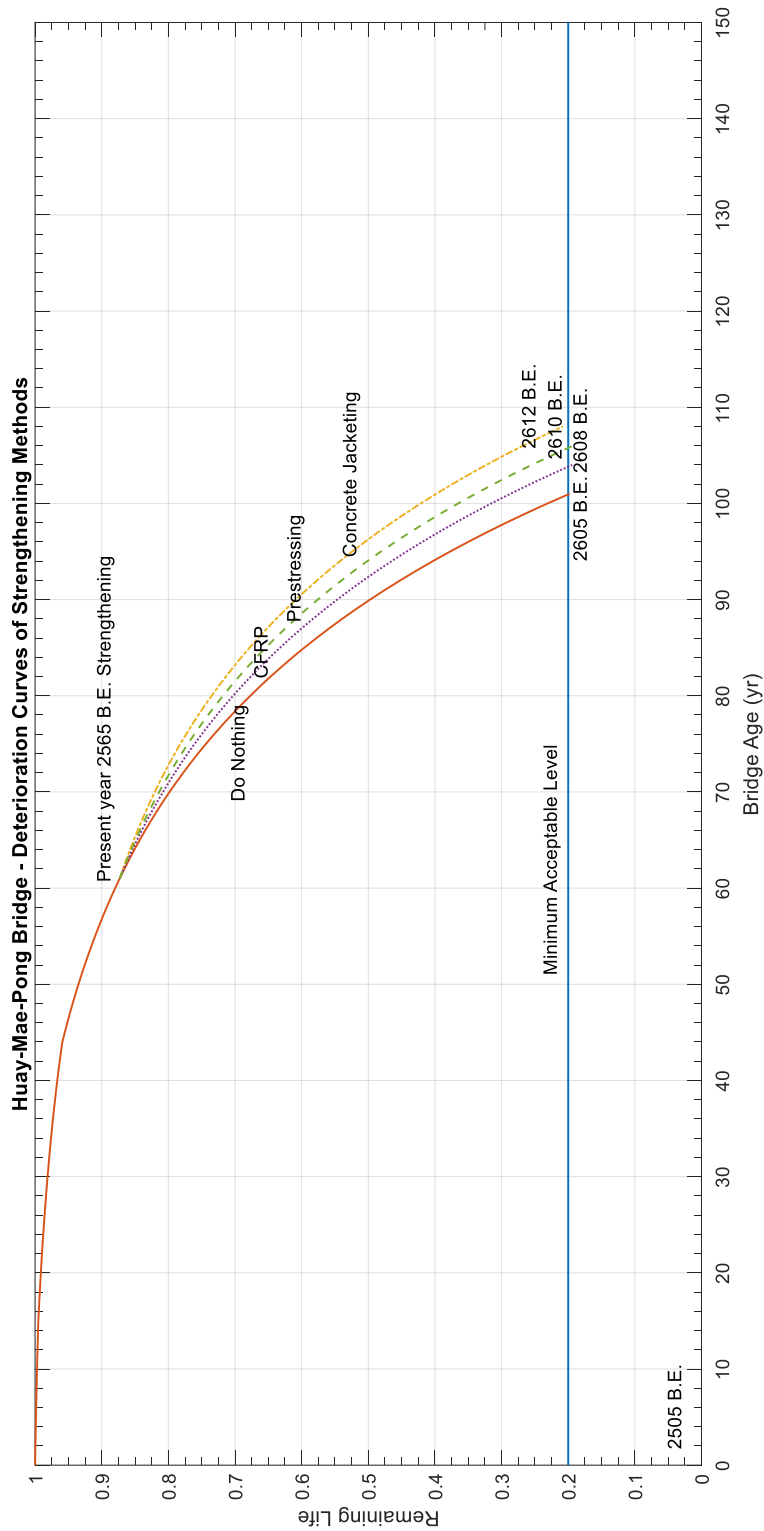
เสริมกำลังโดย Pre-stressing ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 45 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 2,795,088 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 62,113 บาทต่อปี

เสริมกำลังโดย CFRP ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 43 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 3,707,222 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 86,214 บาทต่อปี

ก่อสร้างใหม่ ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 60 ปี ราคาค่าก่อสร้างใหม่รวม คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 7,755,847 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 129,264 บาทต่อปี

ดังนั้น สะพานห้วยแม่โป่งควรเสริมกำลังคานสะพานโดย Pre-stressing เนื่องจากมีราคาต่ออายุบริการต่ำที่สุด

Year	ADTT	Per-Year	GW (ton)	M (N-mm)	Δσz (MPa)	I/N	Do nothing			Concrete jacking			CFRP			Pre-stressing		
							Dam. per yr	Cum. Dam.	Remain	I/N	Dam. per yr	Cum. Dam.	Remain	I/N	Dam. per yr	Cum. Dam.	Remain	I/N
2505	101	36885	18	2.5920E+08	2.5960E-01	6.8229E-09	0.0003	0.0003	0.9997	0.0003	0.0003	0.9997	0.0003	0.0003	0.9997	0.0003	0.0003	0.9997
2506	105	38325	18	2.5920E+08	2.5960E-01	6.8229E-09	0.0003	0.0005	0.9995	0.0003	0.0005	0.9995	0.0003	0.0005	0.9995	0.0003	0.0005	0.9995
2507	109	39785	18	2.5920E+08	2.5960E-01	6.8229E-09	0.0003	0.0008	0.9992	0.0003	0.0008	0.9992	0.0003	0.0008	0.9992	0.0003	0.0008	0.9992
2508	113	41245	18	2.5920E+08	2.5960E-01	6.8229E-09	0.0003	0.0011	0.9989	0.0003	0.0011	0.9989	0.0003	0.0011	0.9989	0.0003	0.0011	0.9989
2509	117	42705	18	2.5920E+08	2.5960E-01	6.8229E-09	0.0003	0.0014	0.9986	0.0003	0.0014	0.9986	0.0003	0.0014	0.9986	0.0003	0.0014	0.9986
2510	121	44165	18	2.5920E+08	2.5960E-01	6.8229E-09	0.0003	0.0017	0.9983	0.0003	0.0017	0.9983	0.0003	0.0017	0.9983	0.0003	0.0017	0.9983
2511	125	45625	18	2.5920E+08	2.5960E-01	6.8229E-09	0.0003	0.0020	0.9980	0.0003	0.0020	0.9980	0.0003	0.0020	0.9980	0.0003	0.0020	0.9980
2512	129	47085	18	2.5920E+08	2.5960E-01	6.8229E-09	0.0003	0.0023	0.9977	0.0003	0.0023	0.9977	0.0003	0.0023	0.9977	0.0003	0.0023	0.9977
2513	134	48510	18	2.5920E+08	2.5960E-01	6.8229E-09	0.0003	0.0026	0.9974	0.0003	0.0026	0.9974	0.0003	0.0026	0.9974	0.0003	0.0026	0.9974
2514	139	50735	18	2.5920E+08	2.5960E-01	6.8229E-09	0.0003	0.0030	0.9970	0.0003	0.0030	0.9970	0.0003	0.0030	0.9970	0.0003	0.0030	0.9970
2515	144	52560	18	2.5920E+08	2.5960E-01	6.8229E-09	0.0004	0.0033	0.9967	0.0004	0.0033	0.9967	0.0004	0.0033	0.9967	0.0004	0.0033	0.9967
2516	149	54385	18	2.5920E+08	2.5960E-01	6.8229E-09	0.0004	0.0037	0.9963	0.0004	0.0037	0.9963	0.0004	0.0037	0.9963	0.0004	0.0037	0.9963
2517	154	56210	18	2.5920E+08	2.5960E-01	6.8229E-09	0.0004	0.0041	0.9959	0.0004	0.0041	0.9959	0.0004	0.0041	0.9959	0.0004	0.0041	0.9959
2518	160	58040	18	2.5920E+08	2.5960E-01	6.8229E-09	0.0004	0.0045	0.9955	0.0004	0.0045	0.9955	0.0004	0.0045	0.9955	0.0004	0.0045	0.9955
2519	166	60590	18	2.5920E+08	2.5960E-01	6.8229E-09	0.0004	0.0049	0.9951	0.0004	0.0049	0.9951	0.0004	0.0049	0.9951	0.0004	0.0049	0.9951
2520	172	62780	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0007	0.0056	0.9944	0.0007	0.0056	0.9944	0.0007	0.0056	0.9944	0.0007	0.0056	0.9944
2521	178	64970	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0007	0.0063	0.9937	0.0007	0.0063	0.9937	0.0007	0.0063	0.9937	0.0007	0.0063	0.9937
2522	185	67525	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0008	0.0071	0.9929	0.0008	0.0071	0.9929	0.0008	0.0071	0.9929	0.0008	0.0071	0.9929
2523	192	70080	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0008	0.0079	0.9921	0.0008	0.0079	0.9921	0.0008	0.0079	0.9921	0.0008	0.0079	0.9921
2524	199	72635	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0008	0.0087	0.9913	0.0008	0.0087	0.9913	0.0008	0.0087	0.9913	0.0008	0.0087	0.9913
2525	206	75190	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0009	0.0095	0.9905	0.0009	0.0095	0.9905	0.0009	0.0095	0.9905	0.0009	0.0095	0.9905
2526	214	78110	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0009	0.0104	0.9896	0.0009	0.0104	0.9896	0.0009	0.0104	0.9896	0.0009	0.0104	0.9896
2527	222	81030	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0009	0.0113	0.9887	0.0009	0.0113	0.9887	0.0009	0.0113	0.9887	0.0009	0.0113	0.9887
2528	230	83950	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0009	0.0122	0.9877	0.0009	0.0122	0.9877	0.0009	0.0122	0.9877	0.0009	0.0122	0.9877
2529	239	87235	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0010	0.0133	0.9867	0.0010	0.0133	0.9867	0.0010	0.0133	0.9867	0.0010	0.0133	0.9867
2530	248	90520	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0010	0.0143	0.9857	0.0010	0.0143	0.9857	0.0010	0.0143	0.9857	0.0010	0.0143	0.9857
2531	257	93805	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0011	0.0153	0.9847	0.0011	0.0153	0.9847	0.0011	0.0153	0.9847	0.0011	0.0153	0.9847
2532	267	97455	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0011	0.0164	0.9836	0.0011	0.0164	0.9836	0.0011	0.0164	0.9836	0.0011	0.0164	0.9836
2533	277	101105	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0011	0.0176	0.9824	0.0011	0.0176	0.9824	0.0011	0.0176	0.9824	0.0011	0.0176	0.9824
2534	288	105120	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0012	0.0187	0.9813	0.0012	0.0187	0.9813	0.0012	0.0187	0.9813	0.0012	0.0187	0.9813
2535	299	109135	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0012	0.0200	0.9800	0.0012	0.0200	0.9800	0.0012	0.0200	0.9800	0.0012	0.0200	0.9800
2536	310	113150	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0013	0.0212	0.9788	0.0013	0.0212	0.9788	0.0013	0.0212	0.9788	0.0013	0.0212	0.9788
2537	322	117530	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0013	0.0226	0.9774	0.0013	0.0226	0.9774	0.0013	0.0226	0.9774	0.0013	0.0226	0.9774
2538	334	121910	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0014	0.0239	0.9761	0.0014	0.0239	0.9761	0.0014	0.0239	0.9761	0.0014	0.0239	0.9761
2539	347	126655	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0014	0.0254	0.9746	0.0014	0.0254	0.9746	0.0014	0.0254	0.9746	0.0014	0.0254	0.9746
2540	360	131400	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0015	0.0268	0.9732	0.0015	0.0268	0.9732	0.0015	0.0268	0.9732	0.0015	0.0268	0.9732
2541	374	136510	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0015	0.0284	0.9716	0.0015	0.0284	0.9716	0.0015	0.0284	0.9716	0.0015	0.0284	0.9716
2542	388	141620	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0016	0.0300	0.9700	0.0016	0.0300	0.9700	0.0016	0.0300	0.9700	0.0016	0.0300	0.9700
2543	403	147095	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0017	0.0316	0.9684	0.0017	0.0316	0.9684	0.0017	0.0316	0.9684	0.0017	0.0316	0.9684
2544	419	152935	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0017	0.0333	0.9667	0.0017	0.0333	0.9667	0.0017	0.0333	0.9667	0.0017	0.0333	0.9667
2545	435	158775	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0018	0.0351	0.9649	0.0018	0.0351	0.9649	0.0018	0.0351	0.9649	0.0018	0.0351	0.9649
2546	452	164980	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0019	0.0370	0.9630	0.0019	0.0370	0.9630	0.0019	0.0370	0.9630	0.0019	0.0370	0.9630
2547	470	171550	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0019	0.0389	0.9611	0.0019	0.0389	0.9611	0.0019	0.0389	0.9611	0.0019	0.0389	0.9611
2548	488	178120	21	3.0240E+08	3.3900E-01	1.1240E-08	0.0020	0.0409	0.9591	0.0020	0.0409	0.9591	0.0020	0.0409	0.9591	0.0020	0.0409	0.9591
2549	507	185655	25	3.6000E+08	4.0360E-01	1.9779E-08	0.0037	0.0446	0.9554	0.0037	0.0446	0.9554	0.0037	0.0446	0.9554	0.0037	0.0446	0.9554
2550	527	192355	25	3.6000E+08	4.0360E-01	1.9779E-08	0.0038	0.0484	0.9516	0.0038	0.0484	0.9516	0.0038	0.0484	0.9516	0.0038	0.0484	0.9516
2551	548	200020	25	3.6000E+08	4.0360E-01	1.9779E-08	0.0040	0.0523	0.9477	0.0040	0.0523	0.9477	0.0040	0.0523	0.9477	0.0040	0.0523	0.9477
2552	569	207685	25	3.6000E+08	4.0360E-01	1.9779E-08	0.0041	0.0564	0.9436	0.0041	0.0564	0.9436	0.0041	0.0564	0.9436	0.0041	0.0564	0.9436
2553	591	215715	25	3.6000E+08	4.0360E-01	1.9779E-08	0.0043	0.0607	0.9393	0.0043	0.0607	0.9393	0.0043	0.0607	0.9393	0.0043	0.0607	0.9393
2554	614	224110	25	3.6000E+08	4.0360E-01	1.9779E-08	0.0044	0.0651	0.9349	0.0044	0.0651	0.9349	0.0044	0.0651	0.9349	0.0044	0.0651	0.9349
2555	638	232870	25	3.6000E+08	4.0360E-01	1.9779E-08	0.0046	0.0697	0.9303	0.0046	0.0697	0.9303	0.0046	0.0697	0.9303	0.0046	0.0697	0.9303
2556	663	241995	25	3.6000E+08	4.0360E-01	1.9779E-08	0.0048	0.0745	0.9255	0.0048	0.0745	0.9255	0.0048	0.0745	0.9255	0.0048	0.0745	0.9255
2557	689	251485	25	3.6000E+08	4.0360E-01	1.9779E-08	0.0050	0.0795	0.9205	0.0050	0.0795	0.9205	0.0050	0.0795	0.9205	0.0050	0.0795	0.9205
2558	716	261340	25	3.6000E+08	4.0360E-01	1.9779E-08	0.0052	0.0847	0.9153	0.0052	0.0847	0.9153	0.0052	0.0847	0.9153	0.0052	0.0847	0.9153
2559	744	271560	25	3.6000E+08	4.0360E-01	1.9779E-08	0.0054	0.0900	0.9100	0.0054	0.0900	0.9100	0.0054	0.0900	0.9100	0.0054	0.0900	0.9100
2560	773	282145	25	3.6														



รูปที่ 15-10 เส้นโค้งการเสื่อมสภาพของคานสะพานห้วยแม่โป่งภายใต้การเสริมกำลัง

15.9 รูปแบบการเสริมกำลังสะพานแม่น้ำชี

การออกแบบเสริมกำลังสะพานแม่น้ำชี ซึ่งเป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที่ช่วง 15 เมตร จำนวน 2 ช่วง ในบทที่ผ่านมา สรุปได้ดังนี้

Concrete Jacketing	ราคาค่าเสริมกำลังต่อสะพาน	1,390,592 บาท
Pre-stressing	ราคาค่าเสริมกำลังต่อสะพาน	1,021,796 บาท
CFRP	ราคาค่าเสริมกำลังต่อสะพาน	1,370,635 บาท

ในการก่อสร้างสะพานใหม่ ให้ก่อสร้างเป็นสะพาน Box Beam ความยาวช่วง 15 เมตร กว้าง 8 เมตร จำนวน 2 ช่วง ราคา 12,000 บาทต่อตารางเมตร คิดเป็นราคาค่าก่อสร้างใหม่ 2,880,000 บาท

ปัจจุบันปี 2565 สะพานอายุ 30 ปี มีปริมาณรถบรรทุกหนัก (ตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น) 3,004 คันต่อวันต่อทิศทาง

การเสื่อมสภาพของคานสะพานภายหลังการเสริมกำลังทั้ง 3 รูปแบบ แสดงไว้ในรูปที่ 15-11 และ 15-12 กล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

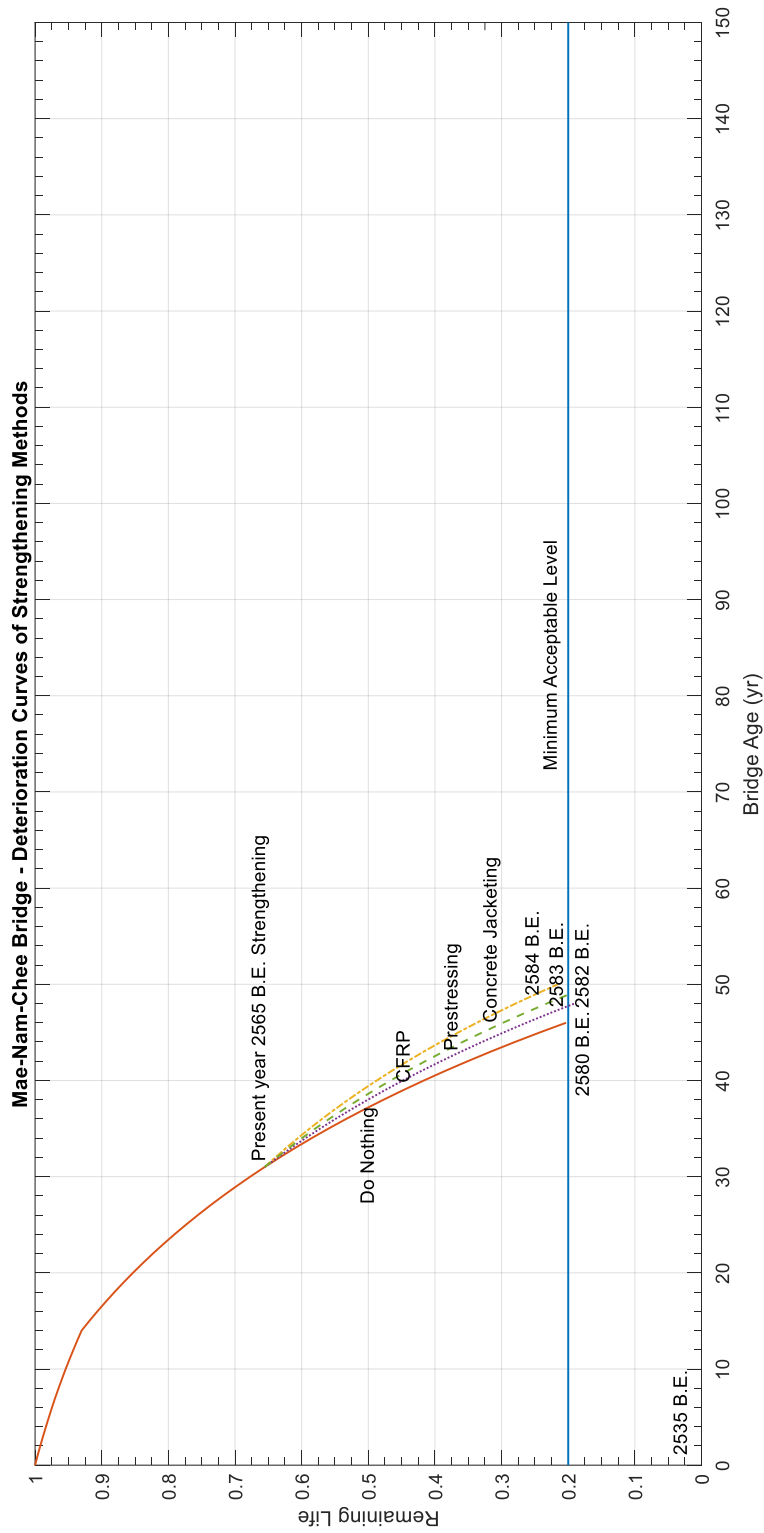
เสริมกำลังโดย Concrete Jacketing ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 19 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 2,057,923 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 108,311 บาทต่อปี

เสริมกำลังโดย Pre-stressing ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 18 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 1,742,513 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 96,806 บาทต่อปี

เสริมกำลังโดย CFRP ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 17 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 2,149,010 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 126,412 บาทต่อปี

ก่อสร้างใหม่ ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 30 ปี ราคาค่าก่อสร้างใหม่รวม คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 3,166,207 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 105,540 บาทต่อปี

ดังนั้น สะพานแม่น้ำชีควรเสริมกำลังคานสะพานโดย Pre-stressing เนื่องจากมีราคาต่ออายุบริการต่ำที่สุด



รูปที่ 15-12 เส้นโค้งการเสื่อมสภาพของคานสะพานแม่น้ำชีภายใต้การเสริมกำลัง



15.10 รูปแบบการเสริมกำลังสะพานคลองปากแพรก

การออกแบบเสริมกำลังสะพานคลองปากแพรก ซึ่งเป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวทีช่วง 10 เมตร จำนวน 3 ช่วง ในบทที่ผ่านมา สรุปได้ว่า มีความจำเป็นเพียงเสริมพื้นสะพาน (Deck Jacketing) อีก 0.10 เมตร โดยมีราคาเสริมกำลังต่อสะพานเท่ากับ 1,177,689 บาท

ในการก่อสร้างสะพานใหม่ ให้ก่อสร้างเป็นสะพาน Plank Girder ความยาวช่วง 10 เมตร กว้าง 8 เมตร จำนวน 3 ช่วง ราคา 12,000 บาทต่อตารางเมตร คิดเป็นราคาก่อสร้างใหม่ 2,880,000 บาท

ปัจจุบันปี 2565 สะพานอายุ 64 ปี มีปริมาณรถบรรทุกหนัก (ตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น) 146 คันต่อวันต่อทิศทาง

การเสื่อมสภาพของคานสะพานภายหลังการเสริมกำลัง แสดงไว้ในรูปที่ 15-13 และ 15-14 กล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

เสริมกำลังโดย Deck Jacketing ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 78 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 1,184,807 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 15,189 บาทต่อปี

ก่อสร้างใหม่ ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 64 ปี ราคาค่าก่อสร้างใหม่รวม คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 2,900,906 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 45,326 บาทต่อปี

ดังนั้น สะพานคลองปากแพรกควรเสริมกำลังคานสะพานโดย Deck Jacketing เนื่องจากมีราคาต่ออายุบริการต่ำที่สุด

Year	ADTT	Per Year	GW (ton)	M (N-mm)	Δus (MPa)	1/N	Do nothing Dam. per yr	Cum. Dam.	Remain	Concrete jacketing (Deck only)		
										Δus (MPa)	1/N	Remain
2501	25	9125	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0001	0.9999			
2502	25	9125	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0002	0.9998			
2503	25	9125	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0003	0.9997			
2504	25	9125	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0004	0.9996			
2505	25	9125	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0005	0.9995			
2506	25	9125	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0006	0.9994			
2507	25	9125	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0006	0.9994			
2508	25	9125	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0007	0.9993			
2509	26	9490	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0008	0.9992			
2510	27	9855	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0009	0.9991			
2511	28	10220	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0010	0.9990			
2512	29	10585	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0011	0.9989			
2513	30	10950	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0013	0.9987			
2514	31	11315	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0014	0.9986			
2515	32	11680	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0015	0.9985			
2516	33	12045	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0016	0.9984			
2517	34	12410	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0017	0.9983			
2518	35	12775	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0019	0.9981			
2519	36	13140	18	1.7280E+08	3.2840E+01	1.0140E-08	0.0001	0.0020	0.9980			
2520	37	13505	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0002	0.0022	0.9978			
2521	38	13870	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0002	0.0025	0.9975			
2522	39	14235	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0002	0.0027	0.9973			
2523	40	14600	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0002	0.0029	0.9971			
2524	41	14965	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0002	0.0032	0.9968			
2525	42	15330	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0003	0.0034	0.9966			
2526	43	15695	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0003	0.0037	0.9963			
2527	44	16060	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0003	0.0040	0.9960			
2528	45	16425	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0003	0.0043	0.9957			
2529	46	16790	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0003	0.0045	0.9955			
2530	47	17155	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0003	0.0048	0.9952			
2531	48	17520	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0003	0.0051	0.9949			
2532	49	17885	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0003	0.0054	0.9946			
2533	50	18250	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0003	0.0057	0.9943			
2534	51	18615	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0003	0.0060	0.9940			
2535	53	19345	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0003	0.0063	0.9937			
2536	55	20075	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0003	0.0067	0.9933			
2537	57	20805	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0003	0.0070	0.9930			
2538	59	21535	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0004	0.0074	0.9926			
2539	61	22265	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0004	0.0078	0.9922			
2540	63	22995	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0004	0.0081	0.9919			
2541	65	23725	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0004	0.0085	0.9915			
2542	67	24455	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0004	0.0089	0.9910			
2543	69	25185	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0004	0.0094	0.9906			
2544	71	25915	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0004	0.0098	0.9902			
2545	73	26645	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0004	0.0103	0.9897			
2546	75	27375	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0005	0.0107	0.9893			
2547	77	28105	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0005	0.0112	0.9888			
2548	80	29200	21	2.0160E+08	3.8310E+01	1.6705E-08	0.0005	0.0117	0.9883			
2549	83	30395	25	2.4000E+08	4.5510E+01	2.9396E-08	0.0009	0.0126	0.9874			
2550	86	31390	25	2.4000E+08	4.5510E+01	2.9396E-08	0.0009	0.0135	0.9865			
2551	89	32485	25	2.4000E+08	4.5510E+01	2.9396E-08	0.0010	0.0144	0.9856			
2552	92	33580	25	2.4000E+08	4.5510E+01	2.9396E-08	0.0010	0.0154	0.9846			
2553	95	34675	25	2.4000E+08	4.5510E+01	2.9396E-08	0.0010	0.0164	0.9836			
2554	98	35770	25	2.4000E+08	4.5510E+01	2.9396E-08	0.0011	0.0175	0.9825			
2555	101	36865	25	2.4000E+08	4.5510E+01	2.9396E-08	0.0011	0.0186	0.9814			
2556	105	38325	25	2.4000E+08	4.5510E+01	2.9396E-08	0.0011	0.0197	0.9803			
2557	109	39785	25	2.4000E+08	4.5510E+01	2.9396E-08	0.0012	0.0209	0.9791			
2558	113	41245	25	2.4000E+08	4.5510E+01	2.9396E-08	0.0012	0.0221	0.9779			

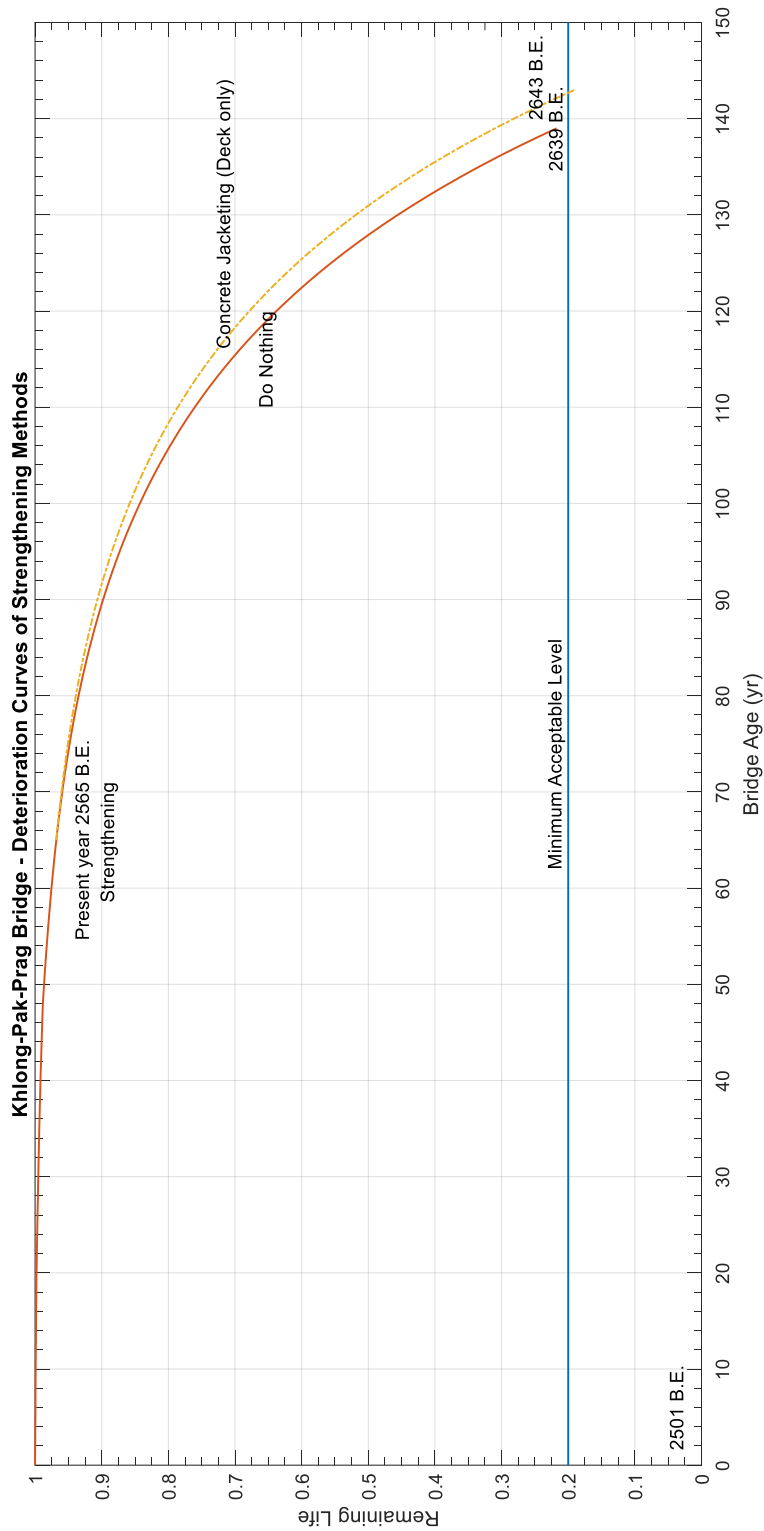
รูปที่ 15-13 การเสื่อมสภาพของคานสะพานหลังการเสริมกำลัง



Year	AOTT	Per Year	GW (ton)	M (N-mm)	Δσs (MPa)	Do nothing		Concrete jacking (Deck only)		Remain
						Dam. per yr.	Cum. Dam.	Δσs (MPa)	Dam. per yr.	
2559	117	42705	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0013	0.0233	0.9767	0.9667
2560	121	44165	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0013	0.0246	0.9754	0.9652
2561	125	45625	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0013	0.0260	0.9740	0.9636
2562	130	47185	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0014	0.0274	0.9726	0.9620
2563	135	48745	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0014	0.0288	0.9712	0.9603
2564	140	51100	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0015	0.0303	0.9697	0.9585
2565	146	53290	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0016	0.0319	0.9681	0.9567
2566	152	55490	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0016	0.0335	0.9665	0.9548
2567	159	58035	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0017	0.0352	0.9648	0.9528
2568	166	60950	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0018	0.0370	0.9630	0.9507
2569	173	63145	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0019	0.0389	0.9611	0.9485
2570	180	65700	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0019	0.0408	0.9592	0.9462
2571	188	68620	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0020	0.0428	0.9572	0.9439
2572	196	71540	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0021	0.0449	0.9551	0.9414
2573	204	74460	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0022	0.0471	0.9529	0.9388
2574	213	77475	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0023	0.0494	0.9506	0.9362
2575	222	81030	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0024	0.0518	0.9482	0.9334
2576	231	84315	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0025	0.0543	0.9457	0.9305
2577	241	87965	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0026	0.0568	0.9432	0.9275
2578	251	91615	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0027	0.0595	0.9405	0.9243
2579	262	95630	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0028	0.0623	0.9377	0.9210
2580	273	99645	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0029	0.0653	0.9347	0.9176
2581	284	103660	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0030	0.0683	0.9317	0.9141
2582	296	108040	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0032	0.0715	0.9285	0.9104
2583	308	112420	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0033	0.0748	0.9252	0.9065
2584	321	117165	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0034	0.0782	0.9218	0.9025
2585	334	121910	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0036	0.0818	0.9182	0.8984
2586	348	127020	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0037	0.0856	0.9144	0.8940
2587	362	132130	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0039	0.0894	0.9106	0.8895
2588	377	137605	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0040	0.0935	0.9065	0.8848
2589	393	143445	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0042	0.0977	0.9023	0.8799
2590	409	149285	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0044	0.1021	0.8979	0.8747
2591	426	155490	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0046	0.1067	0.8933	0.8694
2592	444	162060	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0048	0.1114	0.8886	0.8639
2593	462	168830	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0050	0.1164	0.8836	0.8581
2594	481	175865	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0052	0.1215	0.8785	0.8521
2595	501	183865	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0054	0.1269	0.8731	0.8459
2596	522	190630	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0056	0.1325	0.8675	0.8394
2597	543	198195	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0058	0.1383	0.8617	0.8326
2598	565	206225	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0061	0.1444	0.8556	0.8256
2599	588	214620	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0063	0.1507	0.8493	0.8183
2600	612	223380	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0066	0.1573	0.8427	0.8107
2601	637	232505	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0068	0.1641	0.8359	0.8028
2602	663	241995	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0071	0.1712	0.8288	0.7945
2603	690	251850	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0074	0.1786	0.8214	0.7859
2604	718	262070	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0077	0.1863	0.8137	0.7770
2605	747	272655	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0080	0.1944	0.8056	0.7677
2606	777	283605	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0083	0.2027	0.7973	0.7581
2607	809	295285	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0087	0.2114	0.7886	0.7480
2608	842	307330	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0090	0.2204	0.7796	0.7375
2609	876	319740	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0094	0.2298	0.7702	0.7267
2610	912	332880	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0098	0.2396	0.7604	0.7152
2611	949	346385	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0102	0.2498	0.7502	0.7030
2612	987	360155	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0106	0.2604	0.7396	0.6902
2613	1027	374855	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0110	0.2714	0.7286	0.6768
2614	1069	390185	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0115	0.2829	0.7171	0.6628
2615	1112	405880	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0119	0.2948	0.7052	0.6480
2616	1157	422305	25	2.4000E+08	4.5610E-01	2.9398E-08	0.0124	0.3072	0.6928	0.6325

รูปที่ 15-13 การเสื่อมสภาพของคานสะพานหลังการเสริมกำลัง (ต่อ)





รูปที่ 15-14 เส้นโค้งการเสื่อมสภาพของคานสะพานคลองปากแพรกภายใต้การเสริมกำลัง

15.11 รูปแบบการเสริมกำลังสะพานแม่ห้าลาว

การออกแบบเสริมกำลังสะพานแม่ห้าลาว ซึ่งเป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที่ช่วง 12 เมตร จำนวน 5 ช่วง ในบพที่ผ่านมา สรุปได้ว่า มีความจำเป็นเพียงเสริมพื้นสะพาน (Deck Jacketing) อีก 0.05 เมตร โดยมีราคาเสริมกำลังต่อสะพานเท่ากับ 1,888,766 บาท

ในการก่อสร้างสะพานใหม่ ให้ก่อสร้างเป็นสะพาน Plank Girder ความยาวช่วง 12 เมตร กว้าง 14 เมตร จำนวน 5 ช่วง ราคา 12,000 บาทต่อตารางเมตร คิดเป็นราคาก่อสร้างใหม่ 10,080,000 บาท

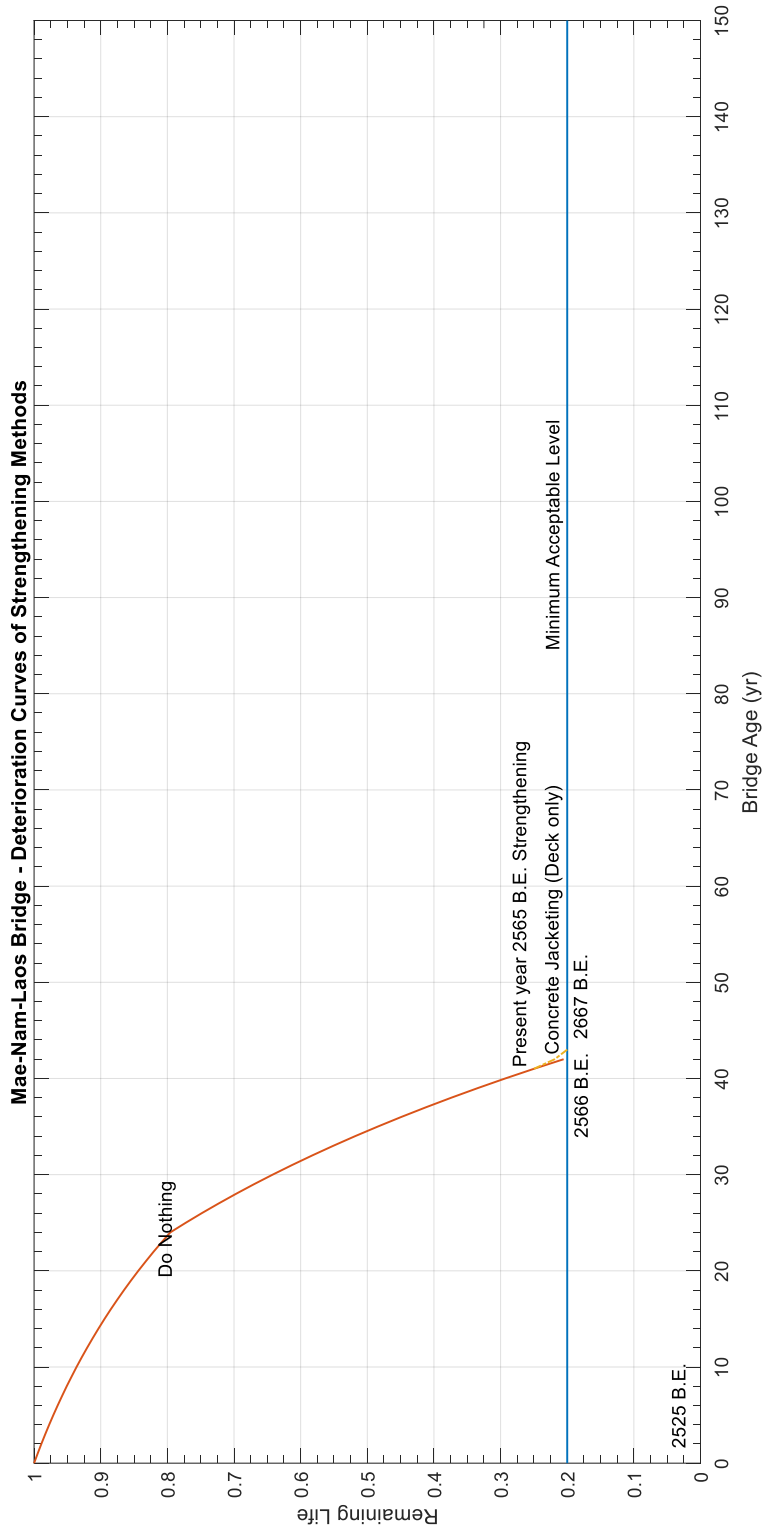
ปัจจุบันปี 2565 สะพานอายุ 40 ปี มีปริมาณรถบรรทุกหนัก (ตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น) 831 คันต่อวันต่อทิศทาง

การเสื่อมสภาพของคานสะพานภายหลังการเสริมกำลัง แสดงไว้ในรูปที่ 15-15 และ 15-16 กล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

เสริมกำลังโดย Deck Jacketing ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 2 ปี ราคาเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 10,530,742 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 5,265,371 บาทต่อปี

ก่อสร้างใหม่ ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 40 ปี ราคาก่อสร้างใหม่รวม คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 10,543,992 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 263,599 บาทต่อปี

ดังนั้น สะพานแม่ห้าลาวควรก่อสร้างใหม่ เนื่องจากมีราคาต่ออายุบริการต่ำที่สุด



รูปที่ 15-16 เส้นโค้งการเสื่อมสภาพของคานสะพานแม่น้ำลาวภายใต้การเสริมกำลัง

15.12 รูปแบบการเสริมกำลังสะพานห้วยเงิน

การออกแบบเสริมกำลังสะพานห้วยเงิน ซึ่งเป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที่ช่วง 12 เมตร จำนวน 1 ช่วง ในบพที่ผ่านมา สรุปได้ว่า มีความจำเป็นเพียงเสริมพื้นสะพาน (Deck Jacketing) อีก 0.05 เมตร โดยมีราคาเสริมกำลังต่อสะพานเท่ากับ 325,957 บาท

ในการก่อสร้างสะพานใหม่ ให้ก่อสร้างเป็นสะพาน Plank Girder ความยาวช่วง 12 เมตร กว้าง 8 เมตร จำนวน 1 ช่วง ราคา 12,000 บาทต่อตารางเมตร คิดเป็นราคาก่อสร้างใหม่ 1,152,000 บาท

ปัจจุบันปี 2565 สะพานอายุ 31 ปี มีปริมาณรถบรรทุกหนัก (ตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น) 267 คันต่อวันต่อทิศทาง

การเสื่อมสภาพของคานสะพานภายหลังการเสริมกำลัง แสดงไว้ในรูปที่ 15-17 และ 15-18 กล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

เสริมกำลังโดย Deck Jacketing ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 32 ปี ราคาค่าเสริมกำลังรวมกับค่าก่อสร้างสะพานใหม่ คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 424,107 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 13,253 บาทต่อปี

ก่อสร้างใหม่ ปี 2565 คานจะมีอายุการใช้งาน 31 ปี ราคาค่าก่อสร้างใหม่รวม คิดราคา ณ ปี 2565 เท่ากับ 1,258,002 บาท ราคาต่ออายุบริการเท่ากับ 40,580 บาทต่อปี

ดังนั้น สะพานห้วยเงินควรเสริมกำลังคานสะพานโดย Deck Jacketing เนื่องจากมีราคาต่ออายุบริการต่ำที่สุด

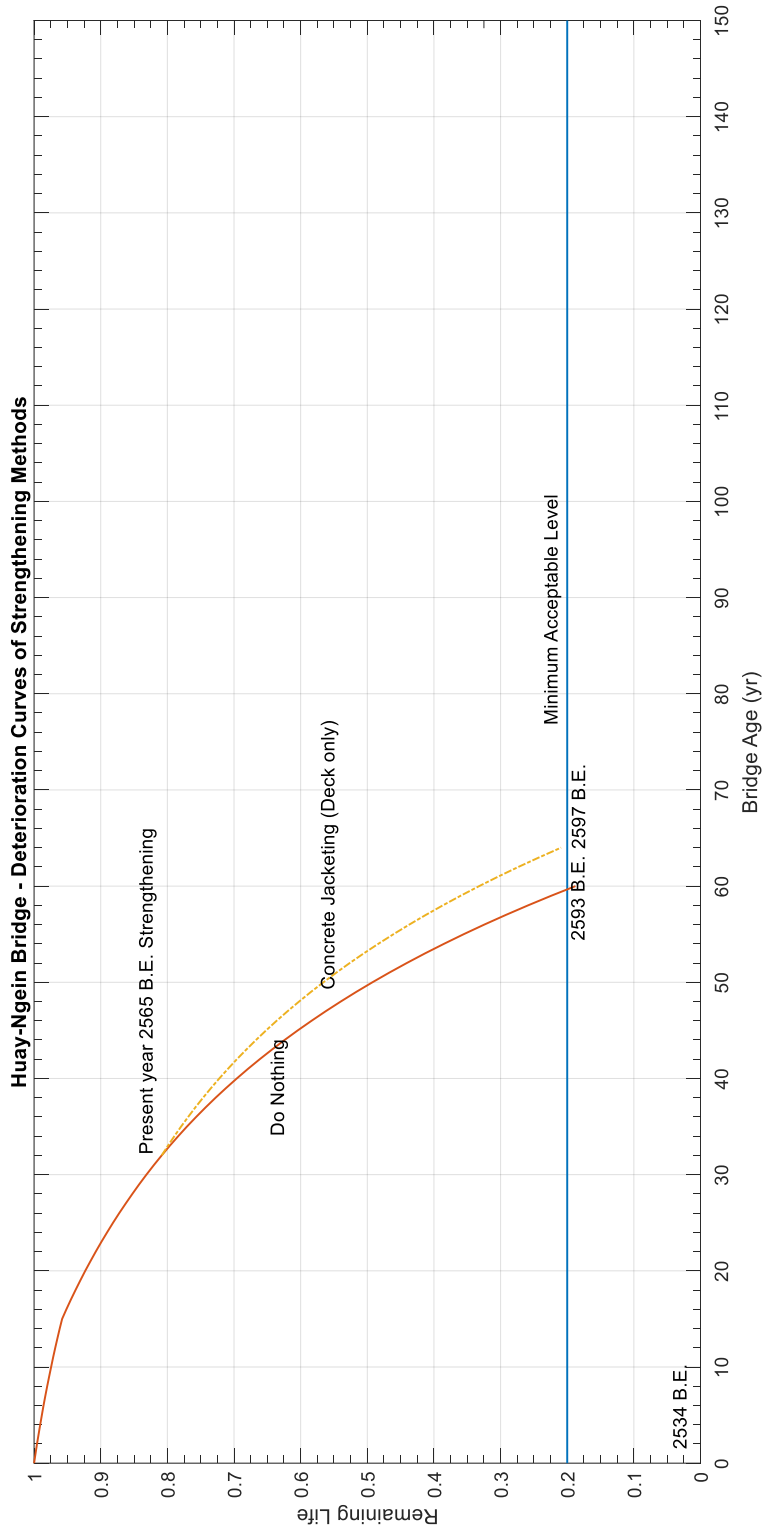
Year	ADTT	Per Year	GW (ton)	M (N-mm)	Δσs (MPa)	Do nothing		Concrete jacketing (Deck only)		Remain
						I/N	Dam. per yr	I/N	Dam. per yr	
2592	798	291270	25	2.8800E+08	7.0330E+01	1.1959E-07	0.0348	0.7761	0.2239	0.6401
2593	830	302950	25	2.8800E+08	7.0330E+01	1.1959E-07	0.0362	0.8124	0.1876	0.3321
2594	864	315360	25							0.3032
2595	899	328135	25							0.6968
2596	935	341275	25							0.2731
2597	973	355145	25							0.3417
										0.2092

Year	ADTT	Per Year	GW (ton)	M (N-mm)	Δσs (MPa)	I/N	Dam. per yr	Cum. Dam	Remain
2592	798	291270	25	2.8800E+08	7.0330E+01	1.1959E-07	0.0348	0.7761	0.2239
2593	830	302950	25	2.8800E+08	7.0330E+01	1.1959E-07	0.0362	0.8124	0.1876
2594	864	315360	25						
2595	899	328135	25						
2596	935	341275	25						
2597	973	355145	25						

Year	ADTT	Per Year	GW (ton)	M (N-mm)	Δσs (MPa)	I/N	Dam. per yr	Cum. Dam	Remain
2592	798	291270	25	2.8800E+08	7.0330E+01	1.1959E-07	0.0348	0.7761	0.2239
2593	830	302950	25	2.8800E+08	7.0330E+01	1.1959E-07	0.0362	0.8124	0.1876
2594	864	315360	25						
2595	899	328135	25						
2596	935	341275	25						
2597	973	355145	25						

Year	ADTT	Per Year	GW (ton)	M (N-mm)	Δσs (MPa)	I/N	Dam. per yr	Cum. Dam	Remain
2592	798	291270	25	2.8800E+08	7.0330E+01	1.1959E-07	0.0348	0.7761	0.2239
2593	830	302950	25	2.8800E+08	7.0330E+01	1.1959E-07	0.0362	0.8124	0.1876
2594	864	315360	25						
2595	899	328135	25						
2596	935	341275	25						
2597	973	355145	25						

รูปที่ 15-17 การเสื่อมสภาพของคานสะพานห้วยเงินภายหลังการเสริมกำลัง (ต่อ)



รูปที่ 15-18 เส้นโค้งการเสื่อมสภาพของคานสะพานด้วยเงินภายหลังการเสริมกำลัง

15.13 รูปแบบการเสริมกำลังคานสะพานตามปีที่ก่อสร้างเสร็จและปริมาณการจราจร

โดยอาศัยแนวทางการวิเคราะห์ในหัวข้อต่างๆ ที่ผ่านมา รูปแบบการเสริมกำลังคานสะพานรูปตัวที่ความยาวช่วง 20 เมตร (คานกว้าง 0.45 เมตร ลีค 1.45 เมตร) ช่วง 15 เมตร (คานกว้าง 0.35 เมตร ลีค 1.30 เมตร) ช่วง 12 เมตร (คานกว้าง 0.50 เมตร ลีค 0.90 เมตร) ช่วง 12 เมตร (คานกว้าง 0.45 เมตร ลีค 0.85 เมตร) และช่วง 10 เมตร (คานกว้าง 0.35 เมตร ลีค 1.25 เมตร) แยกตามปีที่ก่อสร้างเสร็จและปริมาณการจราจรของรถบรรทุก ณ ปี 2565 สรุปไว้ในรูปที่ 15-19 ถึง 15-23 ตามลำดับ รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก

		ปีที่ก่อสร้างเสร็จ									
		2500-2509		2510-2519		2520-2529		2530-2539		2540-2549	
ปริมาณรถบรรทุกหนัก (ทิศทางเดียว) ปี 2565	0 -200	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 87	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 87	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 87	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 87	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 87
	201 -500	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 65	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 65	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 65	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 65	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 65
	501 -1000	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 48	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 48	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 48	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 48	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 48
	1001 -1500	Reconstruction อายุบริการ (ปี)	2565 37	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 37	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 37	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 38	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 38
	1501 -2000	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 30	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 31	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 32
	2001 -2500	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 25	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 26
	2501 -3000	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Conc. Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 22

รูปที่ 15-19 รูปแบบการเสริมกำลังคานสะพานรูปตัวที่ความยาวช่วง 20 เมตร (คานกว้าง 0.45 เมตร ลีค 1.45 เมตร) จำนวน 4 คานต่อช่วงสะพาน

		ปีที่ก่อสร้างเสร็จ									
		2500-2509		2510-2519		2520-2529		2530-2539		2540-2549	
ปริมาณรถบรรทุกหนัก (ทิศทางเดียว) ปี 2565	0 -200	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 82	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 82	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 83	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 83	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 83
	201 -500	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 60	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 60	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 60	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 61	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 61
	501 -1000	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 43	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 43	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 43	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 44	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 44
	1001 -1500	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 33	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 33	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 33	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 34	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 34
	1501 -2000	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 26	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 27	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 28
	2001 -2500	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 22	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 23
	2501 -3000	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Pre-stressing อายุบริการ (ปี)	2565 19

รูปที่ 15-20 รูปแบบการเสริมกำลังคานสะพานรูปตัวที่ความยาวช่วง 15 เมตร (คานกว้าง 0.35 เมตร ลีค 1.30 เมตร) จำนวน 4 คานต่อช่วงสะพาน

		ปีที่ก่อสร้างเสร็จ									
		2500-2509		2510-2519		2520-2529		2530-2539		2540-2549	
ปริมาณรถบรรทุกหนัก (ทิศทางเดียว) ปี 2565	0 -200	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 38	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 38	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 38	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 39	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 39
	201 -500	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 19
	501 -1000	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565
	1001 -1500	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565
	1501 -2000	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565
	2001 -2500	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565
	2501 -3000	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565

รูปที่ 15-21 รูปแบบการเสริมกำลังคานสะพานรูปตัวที่ความยาวช่วง 12 เมตร (คานกว้าง 0.50 เมตร ลึก 0.90 เมตร) จำนวน 4 คานต่อช่วงสะพาน

		ปีที่ก่อสร้างเสร็จ									
		2500-2509		2510-2519		2520-2529		2530-2539		2540-2549	
ปริมาณรถบรรทุกหนัก (ทิศทางเดียว) ปี 2565	0 -200	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 35	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 36	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 36	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 36	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 37
	201 -500	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี)	2565 16
	501 -1000	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565
	1001 -1500	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565
	1501 -2000	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565
	2001 -2500	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565
	2501 -3000	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565

รูปที่ 15-22 รูปแบบการเสริมกำลังคานสะพานรูปตัวที่ความยาวช่วง 12 เมตร (คานกว้าง 0.45 เมตร ลึก 0.85 เมตร) จำนวน 6 คานต่อช่วงสะพาน

	ปีที่ก่อสร้างเสร็จ									
	2500-2509		2510-2519		2520-2529		2530-2539		2540-2549	
ปริมาณรถบรรทุกหนัก (ทิศทางเดียว) ปี 2565	0 -200	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 70	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 70	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 70	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 70	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 70
	201 -500	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 48	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 48	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 48	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 48	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 49
	501 -1000	Reconstruction	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 31	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 32	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 32	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 33
	1001 -1500	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 23	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 23
	1501 -2000	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Deck Jacketing อายุบริการ (ปี) 17
	2001 -2500	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction
	2501 -3000	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction	2565	Reconstruction

รูปที่ 15-23 รูปแบบการเสริมกำลังคานสะพานรูปตัวที่ความยาวช่วง 10 เมตร (คานกว้าง 0.35 เมตร ลึก 1.25 เมตร) จำนวน 4 คานต่อช่วงสะพาน

ซึ่งกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

คานสะพานรูปตัวที่ความยาวช่วง 20 เมตร (คานกว้าง 0.45 เมตร ลึก 1.45 เมตร) รูปแบบการเสริมกำลังที่แนะนำ คือ Concrete Jacketing ยกเว้นในกรณีดังต่อไปนี้ ให้ทำการก่อสร้างใหม่

- คานสะพานที่ก่อสร้างช่วงปี 2500 ถึง 2509 และมีปริมาณรถบรรทุกหนัก ณ ปี 2565 มากกว่า 1,000 คันต่อวันต่อทิศทาง
- คานสะพานที่ก่อสร้างช่วงปี 2510 ถึง 2519 และมีปริมาณรถบรรทุกหนัก ณ ปี 2565 มากกว่า 1,500 คันต่อวันต่อทิศทาง
- คานสะพานที่ก่อสร้างช่วงปี 2520 ถึง 2529 และมีปริมาณรถบรรทุกหนัก ณ ปี 2565 มากกว่า 2,000 คันต่อวันต่อทิศทาง
- คานสะพานที่ก่อสร้างช่วงปี 2530 ถึง 2539 และมีปริมาณรถบรรทุกหนัก ณ ปี 2565 มากกว่า 2,500 คันต่อวันต่อทิศทาง

คานสะพานรูปตัวที่ความยาวช่วง 15 เมตร (คานกว้าง 0.35 เมตร ลึก 1.30 เมตร) รูปแบบการเสริมกำลังที่แนะนำ คือ Pre-stressing ยกเว้นในกรณีดังต่อไปนี้ ให้ทำการก่อสร้างใหม่

- คานสะพานที่ก่อสร้างช่วงปี 2500 ถึง 2519 และมีปริมาณรถบรรทุกหนัก ณ ปี 2565 มากกว่า 1,500 คันต่อวันต่อทิศทาง

- คานสะพานที่ก่อสร้างช่วงปี 2520 ถึง 2529 และมีปริมาณรถบรรทุกหนัก ณ ปี 2565 มากกว่า 2,000 คันต่อวันต่อทิศทาง
- คานสะพานที่ก่อสร้างช่วงปี 2530 ถึง 2539 และมีปริมาณรถบรรทุกหนัก ณ ปี 2565 มากกว่า 2,500 คันต่อวันต่อทิศทาง

คานสะพานรูปตัวที่ความยาวช่วง 12 เมตร ทั้งสองรูปแบบ (คานกว้าง 0.50 เมตร ลึก 0.90 เมตร และ คานกว้าง 0.45 เมตร ลึก 0.85 เมตร) แนะนำให้ทำการก่อสร้างใหม่ ยกเว้นในกรณีดังต่อไปนี้ให้ทำการเสริมกำลังโดย Deck Jacketing

- คานสะพานที่ก่อสร้างช่วงปี 2500 ถึง 2539 และมีปริมาณรถบรรทุกหนัก ณ ปี 2565 ไม่เกิน 200 คันต่อวันต่อทิศทาง
- คานสะพานที่ก่อสร้างช่วงปี 2540 ถึง 2549 และมีปริมาณรถบรรทุกหนัก ณ ปี 2565 ไม่เกิน 500 คันต่อวันต่อทิศทาง

คานสะพานรูปตัวที่ความยาวช่วง 10 เมตร (คานกว้าง 0.35 เมตร ลึก 1.25 เมตร) แนะนำให้ทำการก่อสร้างใหม่ ยกเว้นในกรณีดังต่อไปนี้ให้ทำการเสริมกำลังโดย Deck Jacketing

- คานสะพานที่ก่อสร้างช่วงปี 2500 ถึง 2509 และมีปริมาณรถบรรทุกหนัก ณ ปี 2565 ไม่เกิน 500 คันต่อวันต่อทิศทาง
- คานสะพานที่ก่อสร้างช่วงปี 2510 ถึง 2529 และมีปริมาณรถบรรทุกหนัก ณ ปี 2565 ไม่เกิน 1,000 คันต่อวันต่อทิศทาง
- คานสะพานที่ก่อสร้างช่วงปี 2530 ถึง 2539 และมีปริมาณรถบรรทุกหนัก ณ ปี 2565 ไม่เกิน 1,500 คันต่อวันต่อทิศทาง
- คานสะพานที่ก่อสร้างช่วงปี 2540 ถึง 2549 และมีปริมาณรถบรรทุกหนัก ณ ปี 2565 ไม่เกิน 2,000 คันต่อวันต่อทิศทาง

บทที่ 16 การจัดทำแผนการตรวจสอบ

โครงสร้างสะพานภายหลังการเสริมกำลัง

การตรวจสอบสะพานเป็นภารกิจที่ต้องกระทำอย่างต่อเนื่องเพื่อนำไปสู่การบำรุงรักษาที่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลให้สะพานสามารถให้บริการได้อย่างปลอดภัยตามทีออกแบบ สะพานแต่ละประเภทต้องการการตรวจสอบและบำรุงรักษาที่แตกต่างกัน เนื้อหาในบทนี้นำเสนอแผนการตรวจสอบสะพานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งโครงสร้างคานรูปตัวทีและพื้นสะพานเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยมีต่อม่อคอนกรีตเสริมเหล็กรองรับและคานสะพานทั้งหมด

16.1 บทนำ

การเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนทำให้ประเทศไทยกลายเป็นศูนย์กลางการคมนาคมทางถนนของภูมิภาค ส่งผลให้ทั้งการจราจรและน้ำหนักบรรทุกที่สัญจรผ่านโครงข่ายทางหลวงมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก นอกจากนี้ ยังมีความจำเป็นต้องผ่อนผันให้รถบรรทุกหนักเป็นพิเศษใช้ทางเพื่อรองรับการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ ถนนและสะพานของกรมทางหลวงที่ผ่านการใช้งานมานานจึงมีระดับความปลอดภัยที่ลดต่ำลงจนอาจเกิดความเสียหาย ส่งผลกระทบต่อการสัญจร

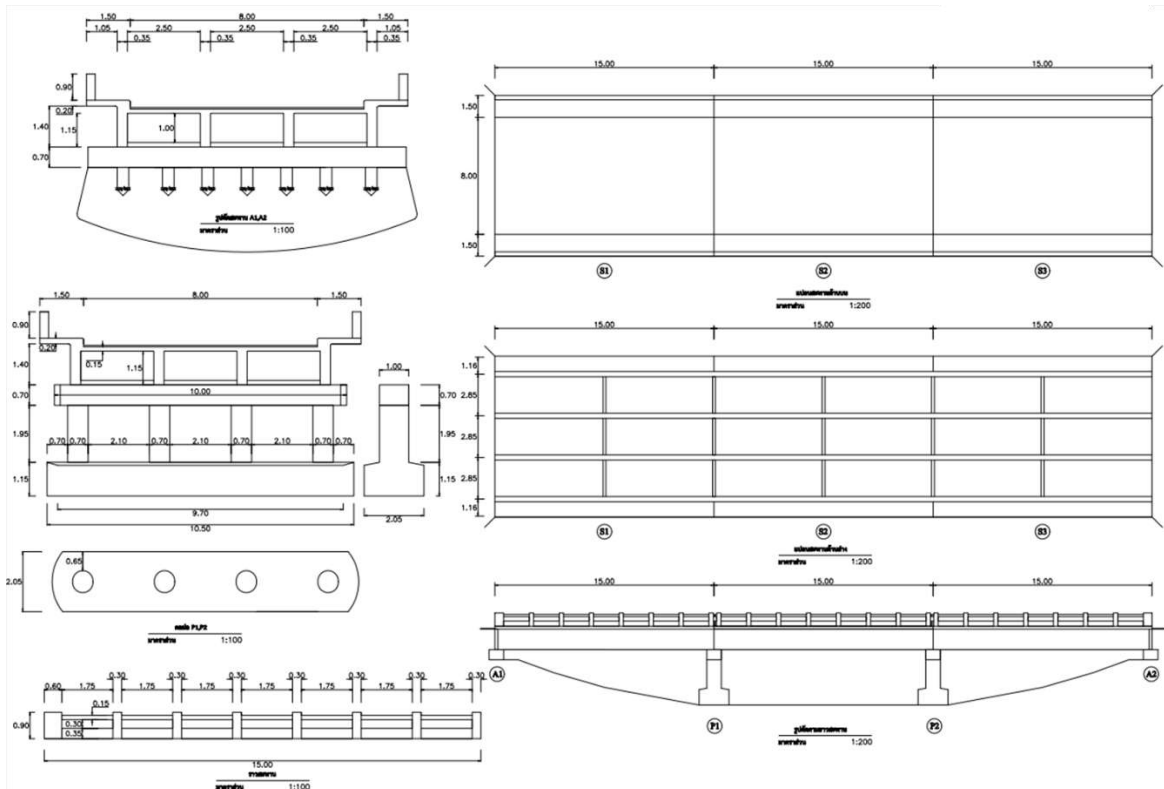
ในส่วนสะพานของกรมทางหลวง สะพานประเภทคานตัวทีซึ่งแสดงรูปแบบสะพานดังรูปที่ 16-1 มีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบจากการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนมากที่สุด ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นสะพานรุ่นเก่าที่ออกแบบโดยชุดน้ำหนักบรรทุกทุกช่วงปี พ.ศ. 2500 ถึง 2520 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าชุดน้ำหนักบรรทุกที่สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง ใช้ออกแบบในปัจจุบันค่อนข้างมาก อีกทั้งสะพานยังเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากการใช้งานมากกว่า 40 ปี โดยในจำนวนสะพานประเภทคานตัวทีกว่า 500 สะพานทั่วประเทศ มีอยู่กว่า 200 สะพานที่อยู่บนทางหลวงสายหลัก ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องเร่งด่วนที่จะต้องตรวจสอบและประเมินความปลอดภัยสะพานประเภทคานตัวที รวมถึงปรับปรุงเสริมกำลังให้สะพานมีความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เพื่อให้มั่นใจว่าสะพานประเภทคานตัวทีมีความปลอดภัยในการใช้งาน ส่งเสริมโครงข่ายทางหลวงให้สามารถรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจทั้งของประเทศและภูมิภาคได้ต่อไป

เนื่องจากสะพานประเภทคานตัวทีมีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบจากการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน ซึ่งทำให้มีปริมาณจราจรที่มากขึ้น ทำให้โครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กได้รับ

ความเสียหายทั้งโครงสร้างส่วนบน (Superstructure) และโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) สำนักวิจัยและพัฒนาทางร่วมกับสำนักสำรวจและออกแบบ จึงได้ทำการตรวจสอบ ทดสอบและวิเคราะห์ผลเชิงสถิติควบคู่กับการจัดทำแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของสะพานประเภทคานตัวที่

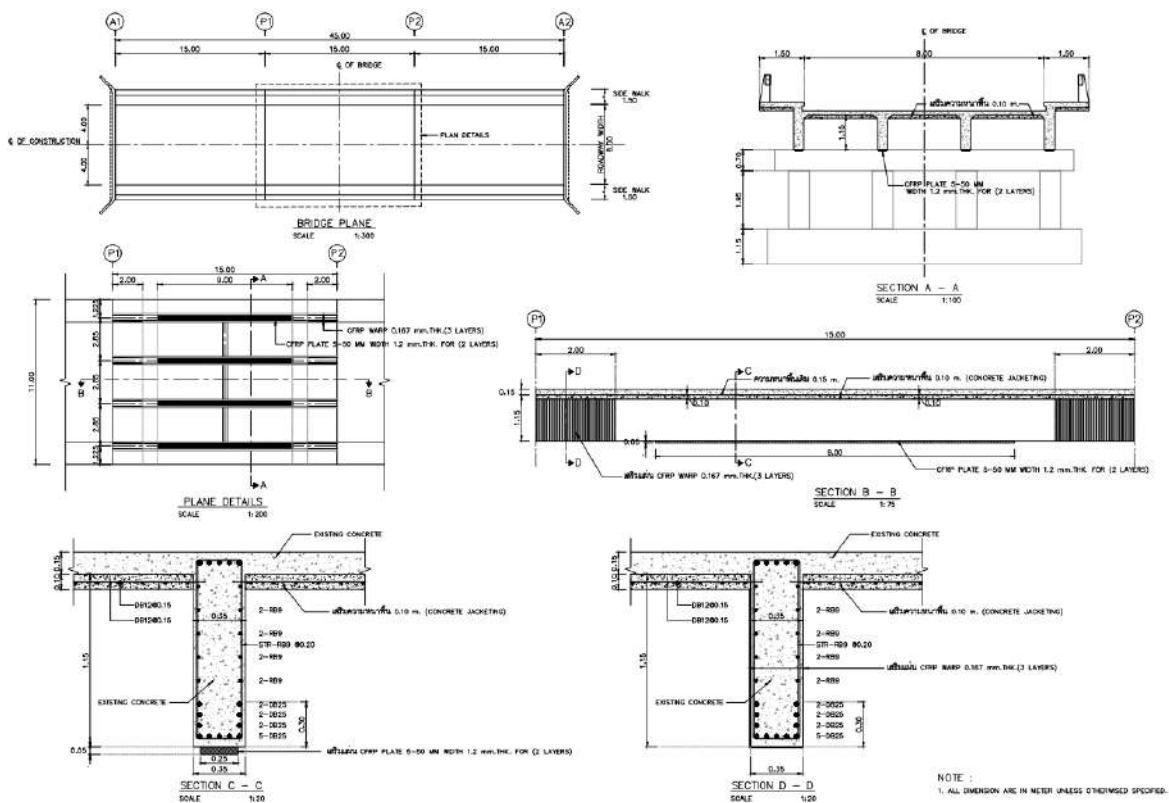
ผลการประเมินกำลังรับน้ำหนักของตัวอย่างสะพานประเภทคานตัวที่ภายใต้การกำกับดูแลของกรมทางหลวงทั้งหมด 8 แห่ง จะถูกตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักโดยใช้น้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากน้ำหนักของยานพาหนะชนิด 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น ซึ่งตัวอย่างของรถประเภทนี้ได้แก่ รถบรรทุกสิบล้อ

ผลการประเมินกำลังรับน้ำหนักของตัวอย่างโครงสร้างสะพานคานตัวที่ทั้งหมด 8 แห่ง ด้านกำลังรับน้ำสูงสุดปลอดภัย แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างคานตัวที่ไม่สามารถรับน้ำหนักสูงสุดปลอดภัยจากการประเมินตามมาตรฐานการออกแบบล่าสุดโดยกรมทางหลวง (อ้างอิงมาตรฐาน ASSHTO LRFD 2007) แต่อย่างไรก็ตาม โครงสร้างส่วนล่างยังคงรับน้ำหนักสูงสุดปลอดภัยจากการประเมินตามมาตรฐานการออกแบบได้ ดังนั้น เพื่อเป็นการเผื่อความปลอดภัยและเพื่อยกระดับสะพานให้เป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบในปัจจุบัน จึงมีความจำเป็นต้องทำการบูรณะโครงสร้างสะพานคานตัวที่ภายใต้การกำกับดูแลของกรมทางหลวง โดยการปรับปรุงโครงสร้างคานตัวที่ให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกจากยานพาหนะที่มี 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น

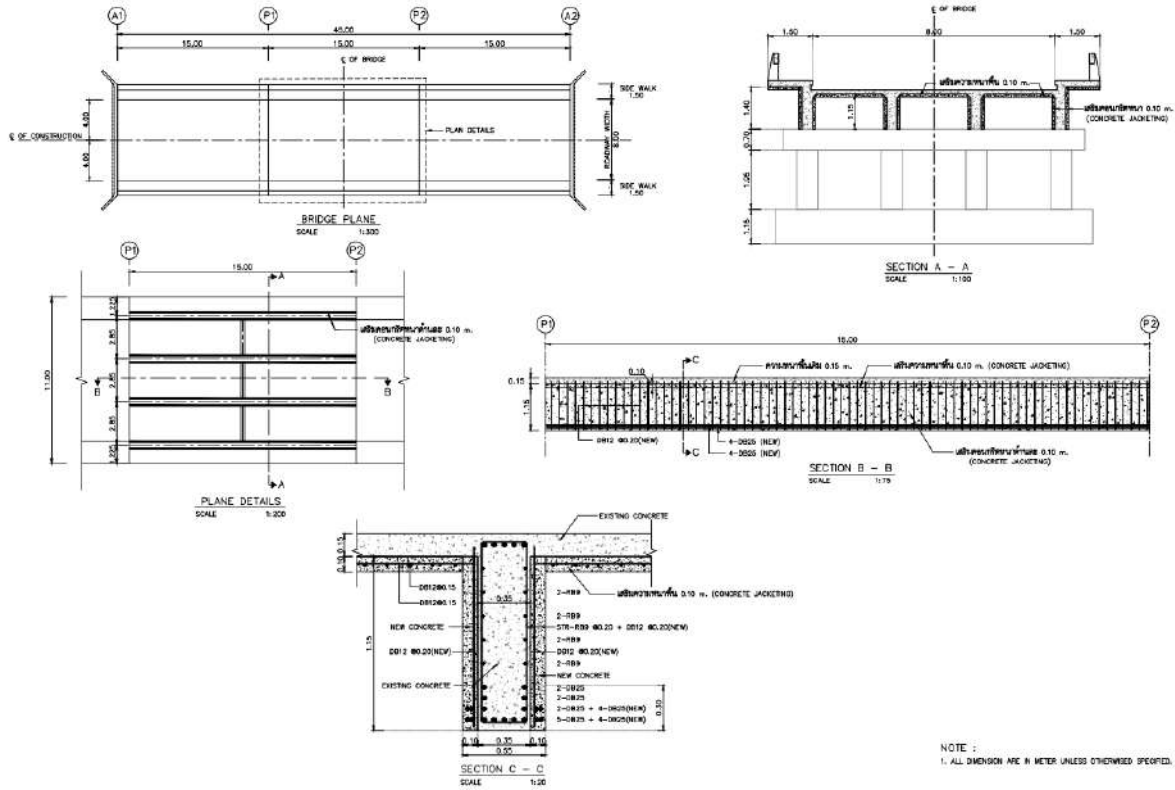


รูปที่ 16-1 แบบแปลนโครงสร้างสะพานคานตัวที่

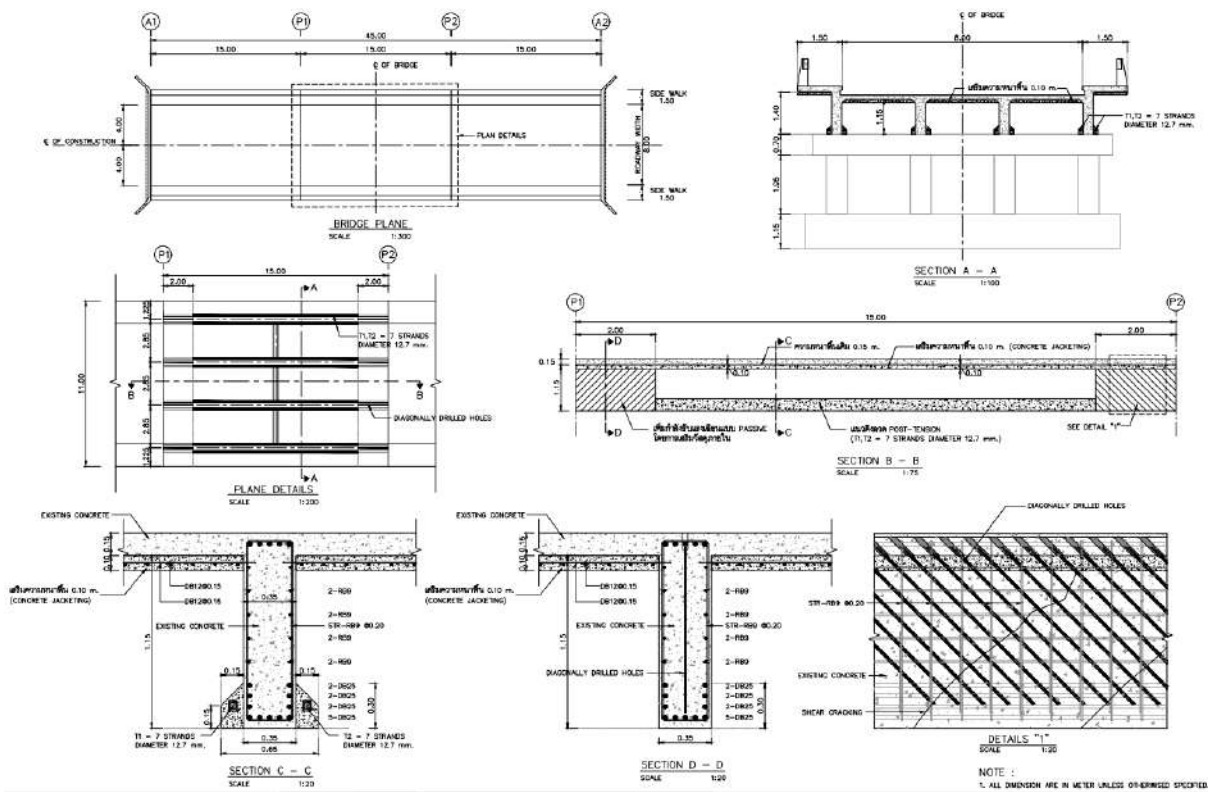
การเสริมกำลังโครงสร้างสะพานประเภทคานตัวที่เพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากยานพาหนะชนิด 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น มีรูปแบบให้เลือกหลายรูปแบบ เช่น การเสริมทาบด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber Reinforced Polymer, CFRP) การขยายหน้าตัดคานสะพานประเภทตัวที่ (Reinforced Concrete Jacketing) หรือ การเสริมกำลังโดยการอัดแรงจากภายนอก (External Prestressing) ดังแสดงในรูปที่ 16-2 ถึงรูปที่ 16-4 ตามลำดับ ซึ่งการที่จะเลือกแต่ละวิธีการจะต้องทำการวิเคราะห์หารูปแบบการเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่ที่ทำให้ค่าใช้จ่าย เช่น ค่าเสริมกำลัง ค่าซ่อมแซมและค่าก่อสร้างใหม่ตลอดอายุการใช้งาน (Life-cycle Cost) มีราคาต่ำที่สุด โดยสะพานยังคงมีความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ การวิเคราะห์จะอาศัยข้อมูลสภาพปัจจุบันของสะพานจากการทดสอบกำลังวัสดุและการตรวจวัดพฤติกรรมกรรมการรับน้ำหนักบรรทุก มาประกอบกับการคาดการณ์ปริมาณการจราจรที่สัญจรผ่านสะพานนั้น ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของสะพานร่วมกับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูสะพานให้กลับมาใช้สภาพพร้อมใช้งาน ซึ่งจะทำให้การเสริมกำลังมีความคุ้มค่าตามสภาพการใช้งานจริง



รูปที่ 16-2 การเสริมทาบด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber Reinforced Polymer, CFRP)



รูปที่ 16-3 การขยายหน้าตัดคานสะพานประเภทตัวที่ (Reinforced Concrete Jacketing)



รูปที่ 16-4 การเสริมกำลังโดยการอัดแรงจากภายนอก (External Prestressing)



การตรวจสอบและบำรุงรักษาโครงสร้างสะพานคานตัวที่ ยังคงเป็นภารกิจที่ต้องทำอย่างต่อเนื่อง ถึงแม้ว่าสะพานจะได้รับการปรับปรุงให้เป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบแล้วก็ตาม เพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งานสะพานให้ยาวนานที่สุดและเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ทาง เนื้อหาในหัวข้อต่อไปจะนำเสนอแนวทางและแผนในการตรวจสอบและบำรุงรักษาโครงสร้างสะพานคานรูปตัวที่

16.2 องค์ประกอบของโครงสร้างสะพานคานรูปตัวที่

เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพานประเภทคานตัวที่ได้ถูกแบ่งออกเป็น องค์ประกอบต่าง 3 องค์ประกอบ ได้แก่ โครงสร้างส่วนบน (Superstructure) โครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) และส่วนประกอบอื่น ๆ (Miscellaneous Elements) รายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบ มีดังนี้

16.2.1. โครงสร้างส่วนบน (Superstructure)

โครงสร้างส่วนบน หมายถึง ส่วนของโครงสร้างที่อยู่เหนือแผ่นรองคานสะพาน (Bearing Pad) ขึ้นไป ทำหน้าที่หลักในการรับแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกจร องค์ประกอบของโครงสร้างสะพาน ได้แก่ พื้นสะพาน (Deck Slab) คานสะพาน (Main Beams) และคานค้ำยัน (Bracing)

16.2.1.1. พื้นสะพาน (Deck Slab)

พื้นสะพานของสะพานประเภทคานตัวที่ เป็นพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ (Cast – in – place) พื้นสะพานเป็นโครงสร้างส่วนแรกที่รองรับแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกจร และถ่ายแรงลงองค์ประกอบอื่น ๆ ของโครงสร้างต่อไป รูปที่ 16-5 แสดงพื้นสะพานคอนกรีตของสะพานประเภทคานตัวที่

16.2.1.2. คานสะพานและค้ำยัน (Main Beams and Bracing)

คานสะพานของสะพานประเภทคานตัวที่ จะมีทั้งหมด 2 รูปแบบตามโครงสร้างสะพาน ได้แก่ คานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที่ (T - beams) และคานค้ำยัน (Bracing) รูปแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที่จะถูกใช้กับโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปซึ่งคาน T – beam จะมีรูปแบบคานอย่างง่าย (Simple T – beam)

คานค้ำยันสะพานเป็นโครงสร้างในทิศทางขวางกับแนวคานสะพาน คานค้ำยันของสะพานประเภทคานตัวที่จะทำหน้าที่คือทำหน้าที่หลักในการเสริมสร้างเสถียรภาพให้กับคานสะพานในแต่ละช่วงสะพานโดยยึดคานสะพานเข้าด้วยกัน และทำหน้าที่กระจายแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกจรลงคานสะพานเพื่อให้คานสะพานแต่ละตัวช่วยกันรับแรง



รูปที่ 16-5 พื้นที่สะพานคอนกรีตหล่อในที่ คานสะพานและคานค้ำยัน

16.2.2. โครงสร้างส่วนล่าง (Substructure)

โครงสร้างส่วนล่าง หมายถึง ส่วนของโครงสร้างที่อยู่ใต้แผ่นรองคานสะพาน (Bearing Pads) ลงมาจนถึงระดับผิวดิน ในกรณีของโครงสร้างสะพานประเภทตัวที่มีทั้งหมด 2 รูปแบบ ได้แก่ ตอม่อตัวริม (Abutment) ซึ่งรองรับคานสะพานประเภทตัวที่และคอสะพาน (Approach Bridge) ดังแสดงในรูปที่ 16-6 และตอม่อช่วงกลางสะพานจะรองรับคานสะพานรูปตัวที่เป็นหลัก ดังแสดงในรูปที่ 16-7 โดยตอม่อทั้ง 2 ส่วนจะมีคานขวาง (Cab Beam) ซึ่งเป็นคานรับคานหลักวางบนตอม่อสะพาน และฐานรากตอม่อซึ่งมีรูปแบบทั้งแบบเสาเข็มและฐานรากแผ่ นอกเหนือจากนี้แผ่นรองคานสะพานจะถูกวางใต้คานหลักซึ่งจะทำการถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างส่วนบนลงมายังตอม่อสะพานต่อไป

16.2.3. ส่วนประกอบอื่น ๆ (Miscellaneous Elements)

ส่วนประกอบอื่น ๆ ของสะพาน หมายถึง องค์ประกอบที่เมื่อเกิดการชำรุดจะไม่ส่งผลกระทบต่อหรืออาจจะส่งผลกระทบต่อความมั่นคงแข็งแรงและกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างสะพาน แต่จะส่งผลกระทบต่อความราบรื่นและความปลอดภัยในการขับขี่ของผู้ใช้ทาง องค์ประกอบเหล่านี้ได้แก่ แผ่นรองคานสะพาน (Bearing Pad) และรอยต่อพื้นสะพาน (Expansion Joint) ดังแสดงในรูปที่ 16-8 และ รูปที่ 16-9 ตามลำดับ





รูปที่ 16-6 ตอม่อตบริม (Abutment)



รูปที่ 16-7 ตอม่อและฐานรากช่วงกลางสะพาน



รูปที่ 16-8 แผ่นรองคานสะพาน



รูปที่ 16-9 รอยต่อพื้นสะพาน



16.3 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับองค์ประกอบสะพาน

ความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับองค์ประกอบสะพานเป็นข้อมูลสำคัญในการนำไปพิจารณาแนวทางการตรวจสอบสะพานให้ถูกต้องและเป็นระบบซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป เนื้อหาในข้อหัวนี้นำเสนอความเสียหายสำคัญที่อาจจะเกิดขึ้นกับองค์ประกอบต่าง ๆ ของสะพานประเภทคานตัวที่ และแนวทางดำเนินการหากเกิดความเสียหายขึ้น

16.3.1. ความเสียหายของพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

รอยแตก (Crack) เป็นความเสียหายสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานพื้นสะพานคอนกรีตแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ รอยแตกเนื่องจากการเสื่อมสภาพของคอนกรีต (Durability Cracks of D-cracks) และรอยแตกเดี่ยว (Individual Cracks)

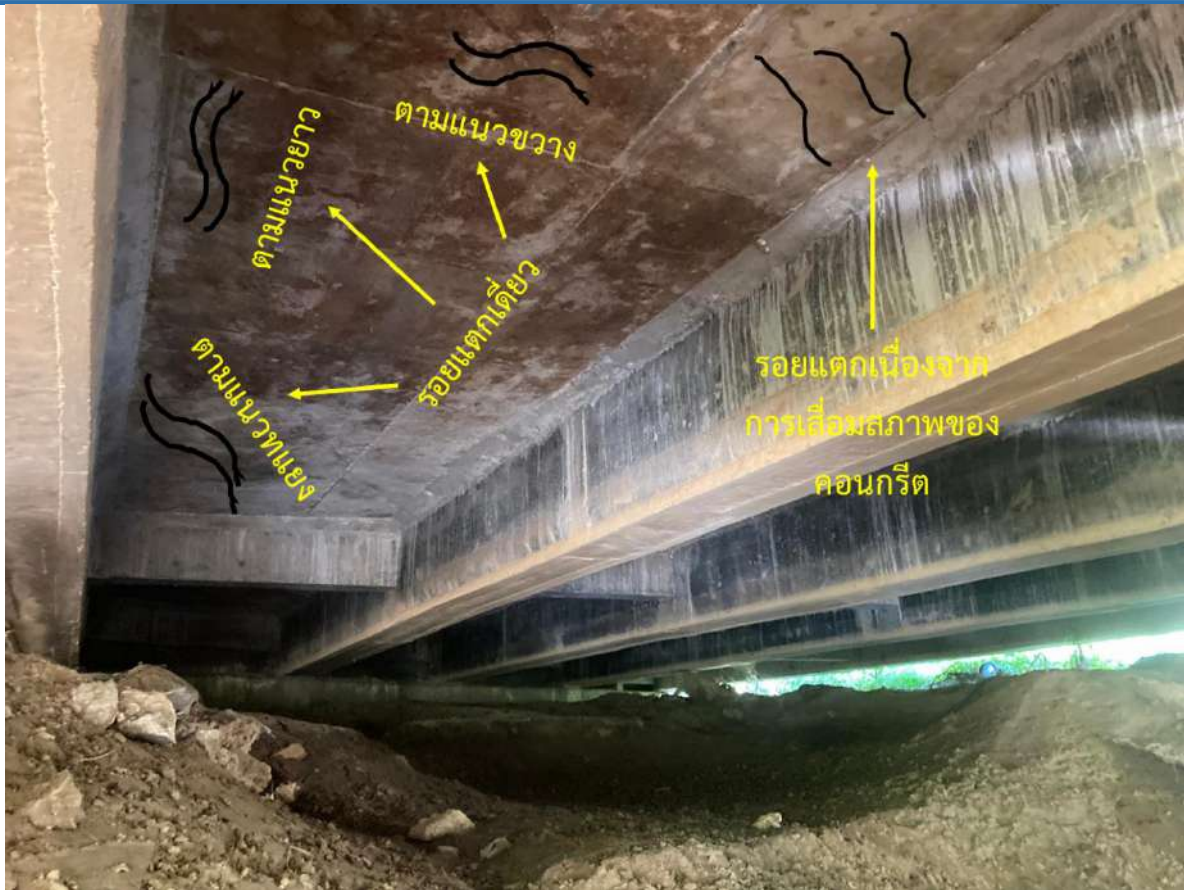
16.3.1.1. รอยแตกเนื่องจากการเสื่อมสภาพของคอนกรีต (D-cracks)

เป็นรอยแตกที่มักเกิดขึ้นบริเวณท้องพื้นคอนกรีตใกล้กับรอยต่อพื้นสะพาน สาเหตุเนื่องจากความชื้นสะสมบริเวณรอยต่อพื้นสะพานหรือการรั่วซึมของน้ำจากรอยต่อพื้นสะพานทำให้คอนกรีตพื้นสะพานเสื่อมสภาพและเกิดรอยแตกจากแรงดันน้ำ

16.3.1.2. รอยแตกเดี่ยว (Individual Cracks)

เป็นรอยแตกที่มีทิศทางแน่นอน อาจจะเป็นรอยแตกรอยเดี่ยวหรือรอยแตกขนานกันหลายรอยก็ได้ รอยแตกเดี่ยวเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีแรงดึงเกิดขึ้นทิศทางตั้งฉากกับรอยแตก สาเหตุเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่สูงเกินหรือแรงกระแทกจากน้ำหนักบรรทุกจร ทำให้คอนกรีตแตกร้าว

รูปที่ 16-10 เป็นภาพจำลองรอยแตกที่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากการเสื่อมสภาพของคอนกรีตและรอยแตกเดี่ยว



รูปที่ 16-10 ภาพจำลองรอยแตกเนื่องจากการเสื่อมสภาพของคอนกรีตและรอยแตกเดี่ยว



16.3.1.3. แนวทางการดำเนินการหากเกิดรอยแตกเนื่องจากการเสื่อมสภาพของคอนกรีต

- 1) ตรวจสอบและแก้ไขการรั่วซึมของน้ำหรือการสะสมความชื้นบริเวณที่คอนกรีตเสื่อมสภาพ
- 2) ซ่อมผิวหน้าคอนกรีตส่วนที่เสื่อมสภาพด้วยวิธีสกัดฉาบด้วยมอร์ต้ากำลังอัดสูงชนิดไม่หดตัว (Non-shrinkage Rapid Strength Mortar) โดยในระหว่างการซ่อม ให้ปิดการจราจรบนสะพานเพื่อไม่ให้เกิดแรงกระแทก

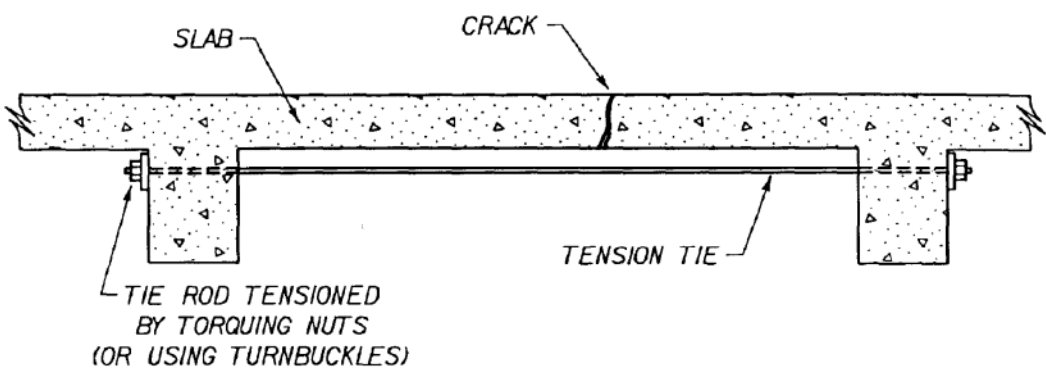
16.3.1.4. แนวทางการดำเนินการหากเกิดรอยแตกเดี่ยว

- 1) ห้ามรถบรรทุกตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น (รถบรรทุก 10 ล้อ) ขึ้นไปใช้สะพานระหว่างรอการซ่อม
- 2) แจ้งวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพานเพื่อออกแบบซ่อมรอยแตก

ข้อแนะนำสำหรับวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษา

แนะนำให้อุดรอยแตกด้วยอีพอกซี (Epoxy) เนื่องจากรอยแตกอาจจะยังไม่หยุดขยายตัว (Active Cracks) นอกจากนี้ยังแนะนำให้ปิดรอยแตกด้วยการอัดแรงจากภายนอก (External Pre – stressing) โดยออกแบบการอัดแรงให้มั่นใจว่าพื้นสะพานสามารถรับน้ำหนักบรรทุกตายตัวได้ตามเดิม การอัดแรงจากภายนอกสามารถทำได้โดยการใช้เหล็กยึด (Tie Rod) ระหว่างคาน 2 คาน บริเวณที่มีรอยแตกเดี่ยว ทำการดึงเพื่อให้เกิดการอัดตัวของพื้นคอนกรีตซึ่งทำให้อรอยแตกชิดเข้าหากัน ดังแสดงในรูปที่ 16-11

- 3) ดำเนินการซ่อมตามแบบซ่อมภายใต้การควบคุมของวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพาน



รูปที่ 16-11 การปิดรอยแตกของพื้นคอนกรีตโดยใช้เหล็กเส้นอัดแรงจากภายนอก

16.3.2. ความเสียหายของคานสะพาน และคานค้ำยัน

คานสะพาน และคานค้ำยัน เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้น ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับองค์ประกอบดังกล่าวจะเป็นความเสียหายที่เกิดกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยความเสียหายสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้แก่ การเกิดสนิมในเหล็กเสริม (Rust) และการเกิดรอยแตก (Crack)

16.3.2.1. สนิม (Rust)

คือ การผุกร่อน (Corrosion) ของเหล็กที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีของเหล็กกับน้ำและอากาศ กลายเป็นสนิมเหล็ก สีของสนิมเหล็กมีตั้งแต่สีแดงเข้มไปจนถึงสีน้ำตาลเข้ม สนิมที่เกิดขึ้นบนเหล็กเสริมจะทำให้พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมลดลง ซึ่งทำให้เหล็กเสริมรับน้ำหนักบรรทุกได้น้อยลงไปด้วย นอกจากนี้ สนิมเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาการกัดกร่อนที่ทำให้มีการเพิ่มปริมาตรสูงขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดแรงดันในเนื้อคอนกรีต ด้วยเหตุนี้จึงก่อให้เกิดการกะเทาะออกของคอนกรีต ทำให้หน้าตัดของคานคอนกรีตลดลง รูปที่ 16-12 แสดงสนิมที่เกิดขึ้นที่เหล็กเสริมและทำให้คอนกรีตกะเทาะออก



รูปที่ 16-12 สนิมที่เกิดขึ้นที่เหล็กเสริมและทำให้คอนกรีตกะเทาะ



16.3.2.2. แนวทางการดำเนินการหากเกิดสนิมในเหล็กเสริม

1) ห้ามรถบรรทุกตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น (รถบรรทุก 10 ล้อ) ขึ้นไปใช้สะพานระหว่างรอการซ่อม

2) แจ้งวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพานเพื่อออกแบบซ่อม

ข้อเสนอแนะสำหรับวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษา

แนะนำให้ตรวจสอบและแก้ไขการรั่วซึมของน้ำและการสะสมความชื้นบริเวณที่เกิดสนิม จากนั้นให้เคาะคอนกรีตบริเวณจุดที่เกิดสนิมออก ขัดสนิมจากผิวเหล็กแล้วให้อุดรอยแตกด้วยอีพอกซี (Epoxy) หรือมอร์ต้า

3) ดำเนินการซ่อมตามแบบซ่อมภายใต้การควบคุมของวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพาน

16.3.2.3. รอยแตก (Cracks)

เป็นความเสียหายที่เป็นอันตรายต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นความเสียหายที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่สูงเกินไปหรือแรงกระทำจากน้ำหนักบรรทุกจร ทำให้คอนกรีตแตกร้าว รูปที่ 16-13 แสดงภาพจำลองรอยแตกที่สามารถเกิดขึ้นได้ที่บริเวณต่าง ๆ ของโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

16.3.2.4. แนวทางการดำเนินการหากเกิดรอยแตกขึ้น

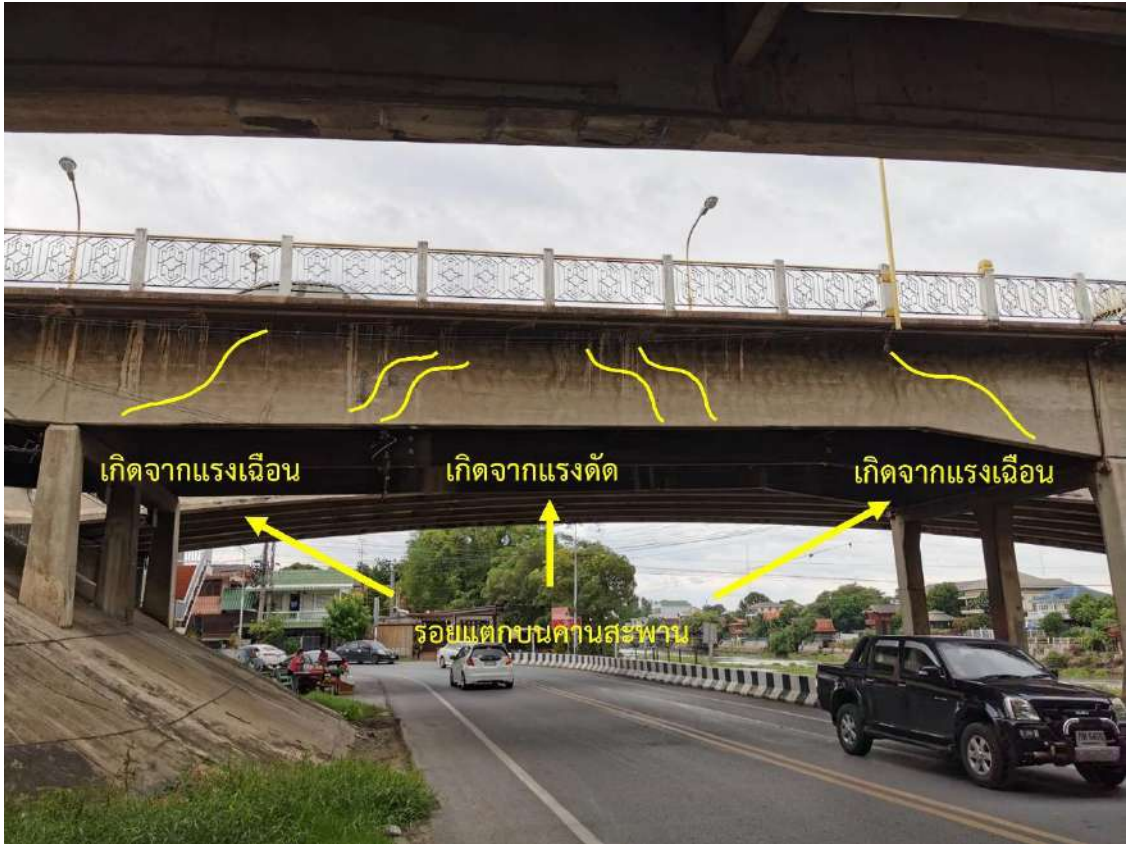
1) ห้ามรถบรรทุกตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น (รถบรรทุก 10 ล้อ) ขึ้นไปใช้สะพานระหว่างรอการซ่อม

2) แจ้งวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพานเพื่อออกแบบซ่อม

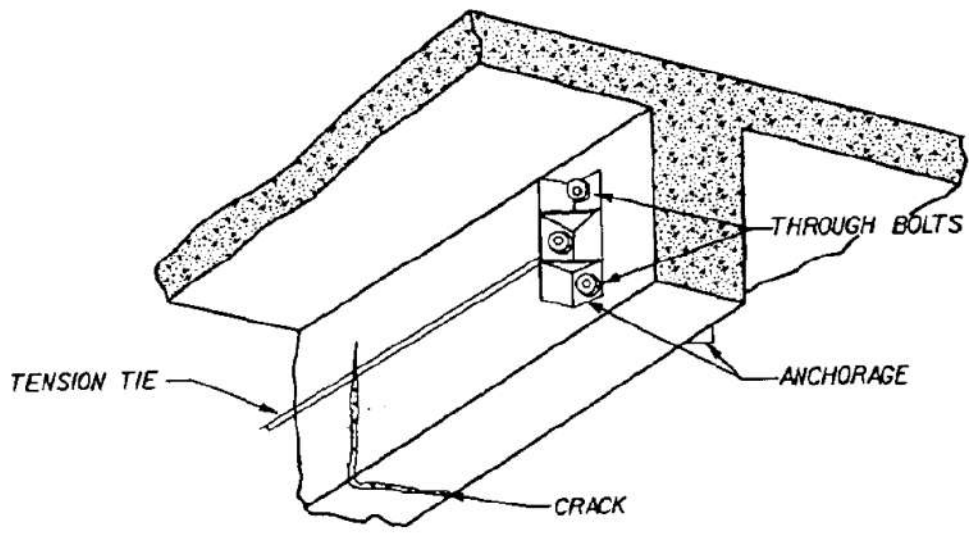
ข้อเสนอแนะสำหรับวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษา

แนะนำให้อุดรอยแตกด้วยอีพอกซี (Epoxy) เนื่องจากรอยแตกอาจจะยังไม่หยุดขยายตัว (Active Cracks) นอกจากนี้ยังแนะนำให้ปิดรอยแตกด้วยการอัดแรงจากภายนอก (External Pre – stressing) โดยออกแบบการอัดแรงให้มั่นใจว่าพื้นสะพานสามารถรับน้ำหนักบรรทุกตายตัวได้ตามเดิม ทำการเจาะรูทะลุคานทั้ง 2 ฝั่งแล้วยึดจากนั้นตริ่งเหล็กเส้นเพื่อให้เกิดการอัดตัวของพื้นคอนกรีตซึ่งทำให้รอยแตกชิดเข้าหากัน ดังแสดงในรูปที่ 16-14

3) ดำเนินการซ่อมตามแบบซ่อมภายใต้การควบคุมของวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพาน



รูปที่ 16-13 ภาพจำลองรอยแตกบริเวณต่าง ๆ ของโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 16-14 การปิดรอยแตกคานคอนกรีตโดยใช้เหล็กเส้นอัดแรงจากภายนอก



16.3.3. ความเสียหายของเสาคอนกรีตใต้แผ่นยางรองสะพาน

ความเสียหายที่มักพบเห็น คือ เกิดรอยแตกบริเวณหัวเสาเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรของสะพาน

16.3.3.1. แนวทางการดำเนินการหากเกิดความเสียหายกับเสาคอนกรีต

1) ห้ามรถบรรทุกตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น (รถบรรทุก 10 ล้อ) ขึ้นไปใช้สะพานระหว่างรอการซ่อม

2) แจ้งวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพานเพื่อออกแบบซ่อม

ข้อเสนอแนะสำหรับวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษา

แนะนำให้อุดรอยแตกด้วยอีพอกซี (Epoxy) เนื่องจากรอยแตกอาจจะยังไม่หยุดขยายตัว (Active Cracks) แนะนำให้ปิดรอยแตกด้วยการใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์อัดแรง (Pre-stressed Carbon Fiber) หรือวิธีอื่น ๆ ที่เหมาะสม

3) ดำเนินการซ่อมตามแบบซ่อมภายใต้การควบคุมของวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพาน

16.3.4. ความเสียหายของตอม่อและฐานรากสะพาน

ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างตอม่อและฐานรากสะพานจะเป็นความเสียหายที่เกิดกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยความเสียหายสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้แก่ การเกิดการกะเทาะของคอนกรีตเนื่องจากเป็นโครงสร้างที่อยู่ใต้น้ำซึ่งก่อให้เกิดปฏิกิริยาซัลเฟตในคอนกรีต (Sulfate Attack) ได้ง่าย และการเกิดหลุมกัดเซาะ (Scour) รอบ ๆ ตอม่อและฐานรากสะพานจากวัสดุท้องน้ำและการไหลของกระแสน้ำ

16.3.4.1. แนวทางการดำเนินการหากเกิดความเสียหายเนื่องจากการปฏิกิริยาซัลเฟต

1) แจ้งวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพานเพื่อออกแบบซ่อม

2) แนะนำให้เคาะคอนกรีตบริเวณจุดที่เกิดการกะเทาะออก ขัดสนิมจากผิวเหล็กแล้วให้อุดรอยแตกด้วยอีพอกซี (Epoxy) หรือมอร์ต้า

16.3.4.2. แนวทางการดำเนินการหากเกิดความเสียหายเนื่องจากหลุมกัดเซาะ

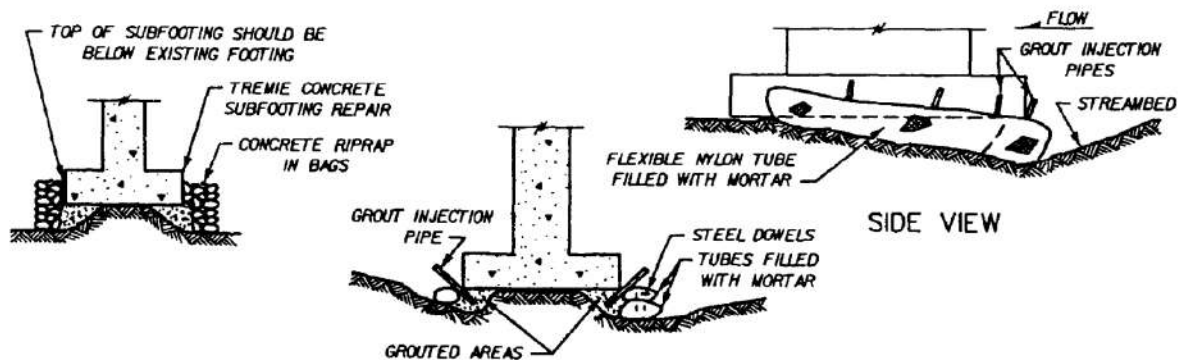
1) ห้ามรถบรรทุกตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น (รถบรรทุก 10 ล้อ) ขึ้นไปใช้สะพานระหว่างรอการซ่อม

2) แจ้งวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพานเพื่อออกแบบซ่อม

ข้อเสนอแนะสำหรับวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษา

แนะนำให้ใช้วิธีการอัดฉีดคอนกรีต (Concrete Grout) ดังแสดงในรูปที่ 16-15 เพื่อให้คอนกรีตไปปิดหลุมกัดเซาะที่เกิดขึ้น ทำให้หน่วยแรงแบกทานบริเวณตอม่อและฐานรากสะพานเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอ้างอิงได้จาก Bridge Inspection, Maintenance, and repair (TM 5-600/AFJPM 32-1088) หรือวิธีอื่น ๆ ที่เหมาะสม

3) ดำเนินการซ่อมตามแบบซ่อมภายใต้การควบคุมของวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพาน



รูปที่ 16-15 การอัดฉีดคอนกรีตเพื่อปิดหลุมกัดเซาะบริเวณใต้ตอม่อและฐานรากสะพาน

16.3.5. ความเสียหายของแผ่นรองคานสะพานประเภทยางเสริมแผ่นเหล็ก

ความเสียหายที่มักพบเห็น คือ การเสื่อมสภาพของแผ่นยาง เช่น การบวมปลิ้น การยุบตัว การแข็งแตกกลายา

16.3.5.1. แนวทางการดำเนินการหากเกิดความเสียหาย

- 1) ติดป้ายเตือนชะลอความเร็วก่อนขึ้นสะพาน
- 2) แจ้งวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพานเพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการยกเปลี่ยนแผ่นรองคานสะพาน



16.3.6. ความเสียหายของรอยต่อพื้นสะพานแบบแผ่นเหล็ก

การรั่วซึมและการสะสมของตะกอนดินและฝุ่นเป็นความเสียหายที่พบบ่อยที่สุดของรอยต่อพื้นสะพานแบบแผ่นเหล็ก

16.3.6.1. แนวทางการดำเนินการหากเกิดความเสียหาย

- 1) ให้ทำความสะอาดรอยต่อโดยฉีดล้างรอยต่อด้วยน้ำแรงดันสูง
- 2) หากพบการรั่วซึมให้เปลี่ยนยางกันซึม (Elastomeric Compression Set)

16.3.7. ความเสียหายของผิวจราจรแอสฟัลต์คอนกรีต

ความเสียหายที่มักเกิดขึ้นกับผิวจราจรแอสฟัลต์คอนกรีต ได้แก่ การเกิดร่องล้อ (Rutting) และผิวลื่น (Polishing)

16.3.7.1. แนวทางการดำเนินการหากเกิดความเสียหาย

- 1) ตัดป้ายเตือนชะลอความเร็วก่อนขึ้นสะพาน
- 2) ปูผิวจราจรใหม่

16.4 การตรวจสอบสะพาน

การตรวจสอบสะพานเป็นการตรวจสอบหาความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับองค์ประกอบต่างของสะพานตามที่กล่าวในหัวข้อที่ 16.3

เพื่อความสะดวกและความเป็นระบบในการตรวจสอบสะพานประเภทคานตัวที่ การตรวจสอบสะพานประเภทคานตัวที่จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การตรวจสอบปกติ (Routine Inspection) การตรวจสอบใหญ่ (Principal Inspection) และการตรวจสอบเชิงป้องกัน (Preventive Inspection) รายละเอียดของการตรวจสอบแต่ละประเภทมีดังนี้

16.4.1. การตรวจสอบปกติ (Routine Inspection)

การตรวจสอบปกติจัดทำขึ้นเพื่อให้มั่นใจว่าสะพานอยู่ในสภาพที่เหมาะสมกับผู้ใช้ทางมีความราบรื่นและปลอดภัยในการขับขี่ (Good Housekeeping) โดยมีรอบการตรวจสอบ 1 ปี หรือน้อยกว่าขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่จะทำการตรวจสอบ องค์ประกอบที่ทำการตรวจสอบ ได้แก่ องค์ประกอบอื่น ๆ (Miscellaneous Elements) ทั้งหมดตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 16.2.3 ได้แก่ แผ่นรองคานสะพานประเภทยางเสริมแผ่นเหล็ก (Steel Reinforced Elastomeric Bearing Pad) รอยต่อพื้นสะพานแบบแผ่นเหล็ก (Compression Seal Joint) ผิวจราจรแอสฟัลต์คอนกรีต (AC Overlay) แนวทางการตรวจสอบองค์ประกอบต่าง ๆ สรุปไว้ในหัวข้อถัดไป

16.4.1.1. แผ่นรองคานสะพานประเภทยางเสริมแผ่นเหล็ก

ความเสียหายที่ตรวจสอบมี 1 รายการ

- 1) การเสื่อมสภาพของแผ่นยาง เช่น การบวมปลิ้น การยุบตัว การแข็งแตกสลายงา

วิธีการตรวจสอบ

สายตา (Visual Inspection)

แนวทางการแก้ไขหากพบความเสียหาย

1. ตัดป้ายเตือนชะลอความเร็วก่อนขึ้นสะพาน
2. แจ้งวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพานเพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการยกเปลี่ยนแผ่นรองคานสะพาน

16.4.1.2. รอยต่อพื้นสะพานแบบแผ่นเหล็ก (Compression Seal Joint)

ความเสียหายที่ตรวจสอบมี 1 รายการ

1) การรั่วซึมและการสะสมของตะกอนดินและฝุ่น

วิธีการตรวจสอบ

สายตา (Visual Inspection)

แนวทางการแก้ไขหากพบความเสียหาย

1. ทำความสะอาดรอยต่อโดยฉีดล้างรอยต่อด้วยน้ำแรงดันสูง
2. หากพบการรั่วซึมให้เปลี่ยนยางกันซึม (Elastomeric Compression Set)

16.4.1.3. ผิวจราจรแอสฟัลต์คอนกรีต (AC Overlay)

ความเสียหายที่ตรวจสอบมี 1 รายการ

1) การเกิดร่องล้อ (Rutting) และผิวลื่น (Polishing)

วิธีการตรวจสอบ

สายตา (Visual Inspection)

แนวทางการแก้ไขหากพบความเสียหาย

1. ตัดป้ายเตือนชะลอความเร็วก่อนขึ้นสะพาน
2. ปูผิวจราจรใหม่

16.4.2. การตรวจสอบใหญ่ (Principal Inspection)

การตรวจสอบใหญ่จัดทำขึ้นเพื่อตรวจหาความเสียหายที่คาดว่าจะกระทบต่อความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างสะพาน (Damage Detection) รอบการตรวจสอบ 2 ปี หรือน้อยกว่า องค์ประกอบที่ทำการตรวจสอบ ได้แก่ โครงสร้างส่วนบน (Superstructure) และโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) ทั้งหมดตามที่ได้กล่าวในหัวข้อ 16.2.1 และ 16.2.2 ดังนี้ 1) พื้นสะพานคอนกรีต (Concrete Deck Slab) 2) คานสะพาน (Main Beams) และคานค้ำยัน (Bracing) 3) เสาคอนกรีต (Concrete Column) 4) ตอม่อและฐานราก (Pier and Foundation) แนวทางการตรวจสอบองค์ประกอบต่าง ๆ สรุปไว้ในสรุปไว้ในหัวข้อถัดไป

16.4.2.1. พื้นสะพาน (Deck Slab)

ความเสียหายที่ตรวจสอบมี 2 รายการ ได้แก่ รอยแตกเนื่องจากการเสื่อมสภาพของคอนกรีต และ รอยแตกเดี่ยว

1) รอยแตกเนื่องจากการเสื่อมสภาพของคอนกรีต (Durability Cracks or D-cracks)

บริเวณที่ตรวจสอบ

ท้องพื้นใกล้กับรอยต่อพื้นสะพาน

วิธีการตรวจสอบ

สายตา (Visual Inspection)

แนวทางการแก้ไขหากพบความเสียหาย

1. ตรวจสอบและแก้ไขการรั่วซึมของน้ำหรือการสะสมความชื้นบริเวณที่คอนกรีตเสื่อมสภาพ
2. ซ่อมผิวหน้าคอนกรีตส่วนที่เสื่อมสภาพด้วยวิธีสกัดฉาบด้วยมอร์ต้ากำลังอัดสูงชนิดไม่หดตัว (Non-shrink Rapid Strength Mortar) โดยในระหว่างการซ่อมให้ปิดจราจรบนสะพานเพื่อไม่ให้เกิดแรงกระแทก

2) รอยแตกเดี่ยว (Individual Cracks)

บริเวณที่ตรวจสอบ

ท้องพื้น

วิธีการตรวจสอบ

สายตา (Visual Inspection)

แนวทางการแก้ไขหากพบความเสียหาย

1) ห้ามรถบรรทุกตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น (รถบรรทุก 10 ล้อ) ขึ้นไปใช้สะพานระหว่าง
รอกการซ่อม

2) แจ้งวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพานเพื่อออกแบบซ่อมรอยแตก

ข้อเสนอแนะสำหรับวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษา

ให้อุดรอยแตกด้วยอีพอกซี (Epoxy) เนื่องจากรอยแตกอาจจะยังไม่หยุดขยายตัว (Active Cracks) นอกจากนี้ยังแนะนำให้ปิดรอยแตกด้วยการอัดแรงจากภายนอก (External Pre – stressing) โดยออกแบบการอัดแรงให้มั่นใจว่าพื้นสะพานสามารถรับน้ำหนักบรรทุกตายตัวได้ตามเดิม การอัดแรงจากภายนอกสามารถทำได้โดยการใช้เหล็กยึด (Tie Rod) ระหว่างคาน 2 คาน บริเวณที่มีรอยแตกเดี่ยว ทำการดึงเพื่อให้เกิดการอัดตัวของพื้นคอนกรีตซึ่งทำให้อุดรอยแตกชิดเข้าหากัน

3) ดำเนินการซ่อมตามแบบซ่อมภายใต้การควบคุมของวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่าย
บำรุงรักษาสะพาน

16.4.2.2. คานสะพาน (Main Beams) และคานค้ำยัน (Bracing)

ความเสียหายที่ตรวจสอบมี 2 รายการ ได้แก่

1) สนิมที่เกิดขึ้นบนเหล็กเสริมคอนกรีต (Rust)

บริเวณที่ตรวจสอบ

บริเวณที่มีความชื้นสะสม ใกล้ผิวดิน หรือ รอยต่อพื้นสะพาน

วิธีการตรวจสอบ

สายตา (Visual Inspection)

แนวทางการแก้ไขหากพบความเสียหาย

1) ห้ามรถบรรทุกตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น (รถบรรทุก 10 ล้อ) ขึ้นไปใช้สะพานระหว่าง
รอกการซ่อม

2) แจ้งวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพานเพื่อออกแบบซ่อม

ข้อเสนอแนะสำหรับวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษา

แนะนำให้ตรวจสอบและแก้ไขการรั่วซึมของน้ำและการสะสมความชื้นบริเวณที่เกิดสนิม
จากนั้นให้เคาะคอนกรีตบริเวณจุดที่เกิดสนิมออก ขัดสนิมจากผิวเหล็กแล้วให้อุดรอย
แตกด้วยอีพอกซี (Epoxy) หรือมอร์ต้า (Non-shrink Rapid Strength Mortar)

2) รอยแตก (Cracks)

บริเวณที่ตรวจสอบ

บริเวณใกล้จุดรองรับและกึ่งกลางคาน

วิธีการตรวจสอบ

สายตา (Visual Inspection)

แนวทางการแก้ไขหากพบความเสียหาย

1) ห้ามรถบรรทุกตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น (รถบรรทุก 10 ล้อ) ขึ้นไปใช้สะพานระหว่าง
รอกการซ่อม

2) แจ้งวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพานเพื่อออกแบบซ่อม

ข้อเสนอแนะสำหรับวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษา

แนะนำให้อุดรอยแตกด้วยอีพอกซี (Epoxy) เนื่องจากรอยแตกอาจจะยังไม่หยุด
ขยายตัว (Active Cracks) นอกจากนี้ยังแนะนำให้ปิดรอยแตกด้วยการอัดแรงจาก
ภายนอก (External Pre – stressing) โดยออกแบบการอัดแรงให้มั่นใจว่าพื้นสะพาน
สามารถรับน้ำหนักบรรทุกตายตัวได้ตามเดิม ทำการเจาะรูทะลุคานทั้ง 2 ฝั่งแล้วยึด
จากนั้นตรึงเหล็กเส้นเพื่อให้เกิดการอัดตัวของพื้นคอนกรีตซึ่งทำให้รอยแตกชิดเข้าหา
กัน

3) ดำเนินการซ่อมตามแบบซ่อมโดยช่างเทคนิคที่มีความเชี่ยวชาญ ภายใต้การควบคุมของ
วิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพาน

16.4.2.3. เสาคอนกรีต (Concrete Column)

ความเสียหายที่ตรวจสอบมี 1 รายการ

1) รอยแตก (Cracks)

บริเวณที่ตรวจสอบ

บริเวณหัวและกึ่งกลางเสาคอนกรีต

วิธีการตรวจสอบ

สายตา (Visual Inspection)

แนวทางการแก้ไขหากพบความเสียหาย

- 1) ห้ามรถทุกประเภทใช้สะพานระหว่างรอการซ่อม
- 2) แจ้งวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพานเพื่อออกแบบซ่อม

ข้อเสนอแนะสำหรับวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษา

แนะนำให้อุดรอยแตกด้วยอีพอกซี (Epoxy) เนื่องจากรอยแตกอาจจะยังไม่หยุดขยายตัว (Active Cracks) แนะนำให้ปิดรอยแตกด้วยการใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์อัดแรง (Pre-stressed Carbon Fiber) หรือวิธีอื่น ๆ ที่เหมาะสม

- 3) ดำเนินการซ่อมภายใต้การควบคุมของวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพาน

16.4.2.4. ตอม่อและฐานราก (Pier and Foundation)

ความเสียหายที่ตรวจสอบมี 2 รายการ

1) รอยแตก (Crack)

บริเวณที่ตรวจสอบ

หัวตอม่อสะพานและบริเวณรอบ ๆ

วิธีการตรวจสอบ

สายตา (Visual Inspection)

แนวทางการแก้ไขหากพบความเสียหาย

1) ห้ามรถบรรทุกตั้งแต่ 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น (รถบรรทุก 10 ล้อ) ขึ้นไปใช้สะพานระหว่าง
รอการซ่อม

2) แจ้งวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพานเพื่อออกแบบซ่อม

ข้อเสนอแนะสำหรับวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษา

แนะนำให้ตรวจสอบและแก้ไขการรั่วซึมของน้ำและการสะสมความชื้นบริเวณที่เกิดรอย
แตก จากนั้นให้เคาะคอนกรีตบริเวณจุดที่เกิดสนิมออก ชัดสนิมจากผิวเหล็ก และ
แนะนำให้อุดรอยแตกด้วยอีพอกซี (Epoxy) หรือมอร์ต้า (Non-shrink Rapid Strength
Mortar)

2) การกัดเซาะรอบตอม่อสะพาน (Scour)

บริเวณที่ตรวจสอบ

รอบ ๆ ตอม่อและฐานรากสะพาน

วิธีการตรวจสอบ

สายตา (Visual Inspection)

การสำรวจโครงสร้างใต้น้ำด้วยวิธีการสแกนด้วยโซนาร์ (SONAR)

แนวทางการแก้ไขหากพบความเสียหาย

- 1) ห้ามรถทุกประเภทใช้สะพานระหว่างรอการซ่อม
- 2) แจ้งวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพานเพื่อออกแบบซ่อม

ข้อเสนอแนะสำหรับวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษา

แนะนำให้ใช้วิธีการอัดฉีดคอนกรีต (Concrete Grout) เพื่อให้คอนกรีตไปปิดหลุมกัดเซาะที่เกิดขึ้น ทำให้หน่วยแรงแบกทานบริเวณตอม่อและฐานรากสะพานเพิ่มขึ้นซึ่งสามารถอ้างอิงได้จาก Bridge Inspection, Maintenance, and repair (TM 5-600/AFJPAM 32-1088) หรือวิธีอื่น ๆ ที่เหมาะสม

- 3) ดำเนินการซ่อมภายใต้การควบคุมของวิศวกรโครงสร้างหรือวิศวกรฝ่ายบำรุงรักษาสะพาน

16.4.3. การตรวจเชิงป้องกัน (Preventive Inspection)

การตรวจสอบเชิงป้องกันจัดทำขึ้นเพื่อตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของโครงสร้างสะพาน เพื่อให้แน่ใจว่าสะพานยังคงสามารถรองรับการจราจรที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตได้อย่างปลอดภัย เป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบ รอบการตรวจสอบ 6 ปี หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมาตรฐานการออกแบบ องค์ประกอบที่ทำการตรวจสอบ ได้แก่ โครงสร้างส่วนบน (Superstructure) และโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure)

16.4.3.1. แนวทางการตรวจสอบ

อาศัยข้อมูลตรวจวัดสะพาน (ความเครียดและความเร่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของโครงสร้างสะพาน) ภายใต้การจราจรปกติที่จากระบบ Long-term Health Monitoring ซึ่งคาดว่าจะได้ทำการติดตั้งไว้ในกรณีที่ไม่สามารถใช้ข้อมูลจาก Long-term Health Monitoring ได้ ให้ทำการเก็บข้อมูลแบบ Short-term เป็นเวลาอย่างน้อย 3 เดือนก่อนครบกำหนดรอบการตรวจสอบ การวิเคราะห์ข้อมูลตรวจวัดเพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักให้ใช้แนวทางที่ได้จัดทำไว้แล้วในรายงานฉบับสุดท้าย (Final Report) โครงการศึกษาจัดทำแนวทางบูรณะสะพานประวัติศาสตร์ของกรมทางหลวงที่ก่อสร้างก่อนปี พ.ศ. 2500 ปี พ.ศ. 2563 โดยสำนักวิจัยและพัฒนาทาง หรืออาจใช้แนวทางอื่น ๆ ที่เหมาะสมตามดุลยพินิจของวิศวกรผู้ประเมิน

16.5 เอกสารอ้างอิง

1. NCHRP 271. Guidelines for Evaluation and Repair of Damaged Steel Bridge Members, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C. (1984).
2. TM 5-600/AFJPM 32-1088. Bridge Inspection, Maintenance, and repair, Departments of the Army and the Air Force, Washington, D.C. (1994).

บทที่ 17 สรุปผลการดำเนินงาน

การเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนจะทำให้ประเทศไทยกลายเป็นศูนย์กลางการคมนาคมทางถนนของภูมิภาค ส่งผลให้โครงข่ายทางหลวงมีปริมาณการจราจรและน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ถนนและสะพานของกรมทางหลวงที่ผ่านการใช้งานมานานโดยทั่วไปจะมีระดับความปลอดภัยที่ต่ำลงและอาจเกิดความเสียหายได้ และจะส่งผลกระทบต่อการสัญจรและเศรษฐกิจโดยรวม ในส่วนสะพานที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง สะพานประเภทคานตัวที่มีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบจากการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนมากที่สุด เนื่องจากเป็นสะพานรุ่นเก่าที่ออกแบบโดยชุดน้ำหนักบรรทุกในช่วงปีพ.ศ. 2500 ถึง 2520 ซึ่งมีน้ำหนักต่ำกว่าชุดน้ำหนักบรรทุกที่สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง ใช้ออกแบบสะพานในปัจจุบันค่อนข้างมาก อีกทั้งสะพานยังเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากการใช้งานมานานกว่า 40 ปี ดังนั้น จึงมีความจำเป็นเร่งด่วนที่จะต้องตรวจสอบและประเมินความปลอดภัยของสะพานประเภทคานตัวที่ รวมถึงศึกษาแนวทางการปรับปรุงเสริมกำลังให้กับสะพาน เพื่อให้ระดับความปลอดภัยกลับมาอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

การทบทวนข้อมูลสะพานประเภทคานตัวที่ ได้ใช้ระบบบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) ของกรมทางหลวง ในการดึงข้อมูลสะพานออกมาจำแนกตามความยาวช่วงสะพาน พื้นที่ อายุ และปริมาณจราจร เพื่อทำการคัดเลือก 8 ช่วงสะพาน สำหรับโครงการนี้ จากผลการรวบรวมข้อมูล พบว่าสะพานที่มีช่วงสะพานประเภทคานตัวที่มีรวมทั้งสิ้น 258 แห่ง กระจายอยู่ทั่วประเทศ โดยช่วงสะพานที่มีช่วงความยาวแตกต่างกันจะมีขนาดหน้าตัดคานและรายละเอียดเหล็กเสริมที่แตกต่างกัน ทำให้อาจต้องใช้วิธีการเสริมกำลังที่แตกต่างกัน จึงได้นำข้อมูลความยาว 796 ช่วงสะพาน (Span) จาก 258 สะพาน (Bridge) มาจัดกลุ่มตามช่วงความยาว และเลือกช่วงสะพานที่มีสัดส่วนการใช้งานสูงสุด 4 ลำดับแรก รวมทั้งสิ้น 8 สะพาน (10, 12, 12, 15, 15, 15, 20 และ 20 เมตร) เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์และออกแบบเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่ เพื่อหารูปแบบการเสริมกำลังที่เหมาะสมของแต่ละกลุ่มช่วงสะพาน

การสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน แบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ส่วน คือ การสำรวจมิติสะพานและการสำรวจความเสียหายของสะพาน ผลการสำรวจ 8 สะพาน ที่คัดเลือกไว้ ได้นำไปจัดทำเป็นแบบสำรวจสะพาน ซึ่งแสดงมิติต่าง ๆ ของสะพานและความเสียหายที่ตรวจพบในตำแหน่งต่าง ๆ โดยแสดงประเภทความเสียหาย ปริมาณความเสียหาย และมีภาพถ่ายประกอบคำอธิบาย แนบมาพร้อม กับรายงานฉบับนี้ การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลข ใช้วิธีตามแนวทางของระบบ

บริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) กรมทางหลวง ซึ่งพบว่าระดับความเสียหายของสะพานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุสะพาน

การสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมของ 8 สะพาน ที่คัดเลือกไว้ มีพื้นที่การสำรวจรวมทั้งสิ้น 1038 ตร.ม. ผลการสำรวจได้รวบรวมและแสดงไว้ในแบบสำรวจสะพานที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้ ซึ่งจะให้ข้อมูลรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างอยู่ในรูปตัด (Typical section) และรูปด้านต่าง ๆ โดยจะแสดงตำแหน่ง และจำนวนเหล็กเสริมแต่ละสะพาน

การทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตของ 8 สะพาน ที่คัดเลือกไว้ สะพานละ 20 ตำแหน่ง รวมทั้งสิ้น 160 ตัวอย่างต่อรูปแบบการทดสอบ โดยการเจาะเก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตได้กระจายให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ของสะพาน เพื่อลดความเสียหายต่อโครงสร้างและได้ภาพรวมการเสื่อมสภาพของวัสดุ จากผลการทดสอบพบว่าค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงมีแนวโน้มลดลงตามอายุสะพาน ซึ่งเป็นผลจากการเสื่อมสภาพของคอนกรีตตามกาลเวลาและการพัฒนาคุณภาพคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างสะพานตามยุคสมัย โดยช่วงอายุสะพานที่ทำทดสอบอยู่ในช่วง 23 ถึง 64 ปี และเมื่อคำนวณจากสมการเส้นแนวโน้ม ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดจะอยู่ในช่วง 234 ถึง 184 ksc

การทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชันของ 8 สะพาน ที่ได้คัดเลือกไว้ สะพานละ 20 ตำแหน่ง ๆ ละ 5 ระดับความลึก (รวมทั้งสิ้น 800 ตัวอย่าง) โดยการเจาะเก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตได้กระจายให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ของสะพาน เพื่อให้ได้ภาพรวมการเสื่อมสภาพของวัสดุ จากข้อมูลการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชันคานตามยาว (GD) ของแต่ละสะพาน สรุปได้ว่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการเกิดคาร์บอนเนชันลึกถึงชั้นเหล็กเสริมในชิ้นส่วนคานสะพานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุสะพาน ซึ่งเป็นผลจากการเสื่อมสภาพของคอนกรีตตามกาลเวลาและการพัฒนาคุณภาพคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างสะพานตามยุคสมัย โดยช่วงอายุสะพานที่ทำทดสอบอยู่ในช่วง 23 ถึง 64 ปี และเมื่อคำนวณจากสมการเส้นแนวโน้ม ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการเกิดคาร์บอนเนชันลึกถึงชั้นเหล็กเสริมจะอยู่ในช่วง 9.1 ถึง 40.6%

การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมของสะพานมีรวมทั้งสิ้น 168 ตัวอย่าง (20 ตัวอย่าง จาก 4 สะพาน และ 22 ตัวอย่าง จาก 4 สะพาน) โดยการสกัดและตัดเก็บตัวอย่างเหล็กเสริมได้กระจายให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ของสะพาน เพื่อลดความเสียหายต่อโครงสร้างและได้ภาพรวมการเสื่อมสภาพของวัสดุ จากการเปรียบเทียบกำลังเหล็กเสริมกับอายุของสะพาน พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยยะสำคัญ

การทดสอบแบบสถิต (Static Test) พบว่ารูปแบบที่ทำให้เกิดแอนตัวของคานสูงสุด คือ การจอดรถบรรทุก 2 คัน บริเวณกึ่งกลางสะพาน โดยค่าการแอนตัวจะบ่งบอกถึงความแข็งแรงของคาน หากคานมีความเสียหายมาก คานมีแนวโน้มที่จะแอนตัวได้มาก นอกจากนี้ค่าการแอนตัวยังแปรผันตามความยาวช่วงสะพาน ช่วงสะพานที่ยาวขึ้นมีแนวโน้มที่จะแอนตัวเพิ่มมากขึ้น หากพิจารณาการกระจายแรง

ตามแนวขวางของสะพาน คานตัวในโดยทั่วไปจะรับน้ำหนักบรรทุกมากกว่าคานตัวนอก ทำให้คานตัวใน
มีแนวโน้มการแอ่นตัวที่สูงกว่า

การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Test) พบว่าค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของ
สะพานคลองปากแพรก สะพานแม่น้ำลาว สะพานห้วยเงิน สะพานห้วยแม่โป่ง สะพานข้ามคลองบางมัน
สะพานข้ามแม่น้ำชี สะพานคลองน้ำรอบ และสะพานคลองยัน มีค่าเท่ากับ 12.256, 11.621, 10.352,
8.106, 9.229, 10.059, 6.787 และ 7.324 Hz ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำไปใช้ปรับแก้แบบจำลองไฟไนต์
เอลิเมนต์ของสะพานให้มีพฤติกรรมใกล้เคียงกับสภาพปัจจุบันได้

การทดสอบน้ำหนักบรรทุกภายใต้สภาวะใช้งานจริง ได้สำรวจจำนวนรถบรรทุกที่วิ่งผ่าน
สะพานเป็นระยะเวลา 3 วัน โดยสะพานคลองปากแพรก สะพานแม่น้ำลาว สะพานห้วยเงิน สะพานห้วย
แม่โป่ง สะพานข้ามคลองบางมัน สะพานข้ามแม่น้ำชี สะพานคลองน้ำรอบ และสะพานคลองยัน มี
จำนวนรถบรรทุก 3 วัน เท่ากับ 4795, 4658, 4340, 4351, 4379, 5356, 4359 และ 4459 คัน
ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้แบ่งกลุ่มรถบรรทุกออกเป็น 3 ระดับน้ำหนัก (น้อยกว่า 15ตัน 15-35 ตัน
และ 35-65 ตัน) เพื่อนำไปใช้ประกอบการคาดการณ์ปริมาณจราจรและวิเคราะห์การเสื่อมสะพานจาก
ความล้า

วิธีการเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่มีทางเลือกหลายรูปแบบ เช่น การเสริมกำลังด้วยการ
เพิ่มขนาดคาน (Concrete Jacketing) การเสริมกำลังด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) การเสริมกำลังด้วย
การอัดแรง (Pre-stressing) และ การเสริมความหนาพื้นสะพาน (Deck Jacketing) เป็นต้น โครงการนี้
ได้วิเคราะห์หารูปแบบการเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายประเภทต่าง ๆ เช่น ค่า
เสริมกำลัง ค่าซ่อมแซม และค่าก่อสร้างใหม่ ตลอดอายุการใช้งาน (Life-cycle Cost) มีราคาต่ำที่สุด โดย
สะพานยังคงมีความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ การวิเคราะห์จะอาศัยข้อมูลสภาพปัจจุบันของ
สะพานจากการทดสอบกำลังวัสดุและการตรวจวัดพฤติกรรมการรับน้ำหนัก มาประกอบการ
คาดการณ์ปริมาณการจราจรที่สัญจรผ่านสะพานนั้น ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของสะพาน
ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูสะพานให้กลับมามีสภาพพร้อมใช้งาน ซึ่งจะทำให้การเสริม
กำลังมีความคุ้มค่าตามสภาพการใช้งานจริง จากนั้น ได้จัดทำเป็นแบบรายละเอียดการเสริมกำลังสะพาน
ประเภทคานตัวที่กรณีต่าง ๆ รวมถึง การประมาณราคาเสริมกำลังและแผนการบำรุงรักษาสะพาน
เพื่อให้กรมทางหลวงสามารถใช้ประกอบการเสนอของบประมาณในการเสริมกำลังสะพานประเภทคาน
ตัวที่ได้ทันที

การออกแบบเสริมกำลังสะพานในโครงการนี้ได้ใช้มาตรฐาน ASSHTO LRFD โดยแบ่งสะพาน
ออกเป็น 3 กลุ่ม ตามความยาวช่วงสะพาน กลุ่มที่ 1 ช่วงสะพาน 10 ถึง 12 เมตร ได้แก่ สะพานคลอง
ปากแพรก สะพานแม่น้ำลาว สะพานห้วยเงิน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังของสะพานในสภาพ

ปัจจุบันสามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจาก HL-93 ได้ อย่างไรก็ตาม เพื่อความคงทนของสะพานในระยะยาว จึงเสนอให้เพิ่มความหนาของพื้นสะพานอีกประมาณ 0.10 เมตร แต่เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานแล้ว พบว่า กรณีสะพานแม่น้ำลาว ควรก่อสร้างใหม่เป็นสะพาน Plank Girder กลุ่มที่ 2 ช่วงสะพาน 15 เมตร ได้แก่ สะพานห้วยแม่โป่ง สะพานข้ามคลองบางมัน สะพานข้ามแม่น้ำชี ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังของสะพานในสภาพปัจจุบันไม่สามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจาก HL-93 ได้ และจากการคัดเลือกรูปแบบการเสริมกำลังโดยพิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life-cycle Cost) พบว่าควรเสริมกำลังคานสะพานด้วยวิธี Pre-stressing กลุ่มที่ 3 ช่วงสะพาน 20 เมตร ได้แก่ สะพานคลองน้ำรอบ และสะพานคลองยัน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังของสะพานในสภาพปัจจุบันไม่สามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจาก HL-93 ได้ และจากการคัดเลือกรูปแบบการเสริมกำลังโดยพิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน พบว่าควรเสริมกำลังคานสะพานด้วยวิธี Concrete Jacketing อย่างไรก็ตาม สะพานคลองน้ำรอบ ซึ่งประกอบด้วยช่วงสะพาน 20 เมตร 1 ช่วง และ 15 เมตร 2 ช่วง สะพาน เมื่อพิจารณาว่าควรเสริมกำลังเพียงรูปแบบเดียวทั้งสะพาน จึงแนะนำว่าควรเสริมกำลังคานสะพานโดยวิธี Pre-stressing แทน

การประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานในโครงการนี้เป็นเพียงการแนะนำราคาเบื้องต้นเท่านั้น โดยได้พิจารณาปริมาณวัสดุตามแบบรายละเอียดการเสริมกำลังสะพาน ผลการประเมินราคาค่าเสริมกำลังของสะพานคลองปากแพรก สะพานห้วยเงิน สะพานห้วยแม่โป่ง สะพานข้ามคลองบางมัน สะพานข้ามแม่น้ำชี สะพานคลองน้ำรอบ และสะพานคลองยัน ต้องใช้งบประมาณ 1,177,689 บาท, 325,957 บาท, 2,554,490 บาท, 1,532,694 บาท, 1,021,796 บาท, 2,071,874 บาท และ 5,978,936 บาท ตามลำดับ ส่วนการประเมินราคาก่อสร้างใหม่ของสะพานแม่น้ำลาวเท่ากับ 10,080,000 บาท

การแนะนำรูปแบบการเสริมกำลังโดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life-cycle Cost) สำหรับสะพานประเภทคานตัวที่ทั้งหมดของกรมทางหลวง สามารถสรุปเป็น 3 กลุ่ม ได้ดังนี้ (1) คานสะพานรูปตัวที ความยาวช่วง 10 เมตร (คานกว้าง 0.35 เมตร ลึก 1.25 เมตร) และความยาวช่วง 12 เมตร ทั้งสองรูปแบบ (คานกว้าง 0.50 เมตร ลึก 0.90 เมตร และ คานกว้าง 0.45 เมตร ลึก 0.85 เมตร) แนะนำให้ก่อสร้างใหม่ ยกเว้นในกรณีอายุคานสะพานหรือปริมาณรถบรรทุกหนักน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในรายงานฉบับนี้ ให้เสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 เมตร (2) คานสะพานรูปตัวที ความยาวช่วง 15 เมตร (คานกว้าง 0.35 เมตร ลึก 1.30 เมตร) รูปแบบการเสริมกำลังที่แนะนำ คือ Pre-stressing ยกเว้นในกรณีอายุคานสะพานหรือปริมาณรถบรรทุกหนักมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในรายงานฉบับนี้ ให้หรือก่อสร้างใหม่ (3) คานสะพานรูปตัวทีความยาวช่วง 20 เมตร (คานกว้าง 0.45 เมตร ลึก 1.45 เมตร) รูปแบบการเสริมกำลังที่แนะนำ คือ Concrete Jacketing ยกเว้นในกรณีอายุคานสะพานหรือปริมาณรถบรรทุกหนักมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในรายงานฉบับนี้ ให้หรือก่อสร้างใหม่

จากผลการศึกษาข้างต้น ที่ปรึกษามีข้อเสนอแนะให้ กรมทางหลวงวางแผนการเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่บนทางหลวงสายหลักเป็นการเร่งด่วน เพื่อรักษาศักยภาพระบบโลจิสติกส์ของประเทศไทย ทำให้การขนส่งสินค้าและการเดินทางมีความปลอดภัย และควรวางแผนทยอยเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่บนทางหลวงสายรองตามงบประมาณที่จะสามารถจัดสรรได้ในแต่ละปี เพื่อให้สะพานทุกแห่งบนโครงข่ายทางหลวงมีความสามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามมาตรฐานกรมทางหลวงในปัจจุบัน

สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง
2/486 ถนนศรีอยุธยา แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10402

จัดทำโดย

บริษัท แอสโคนา เอ็ม จำกัด
เลขที่ 1558/46 ถนนบางนา-ตราด แขวงบางนาใต้
เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260