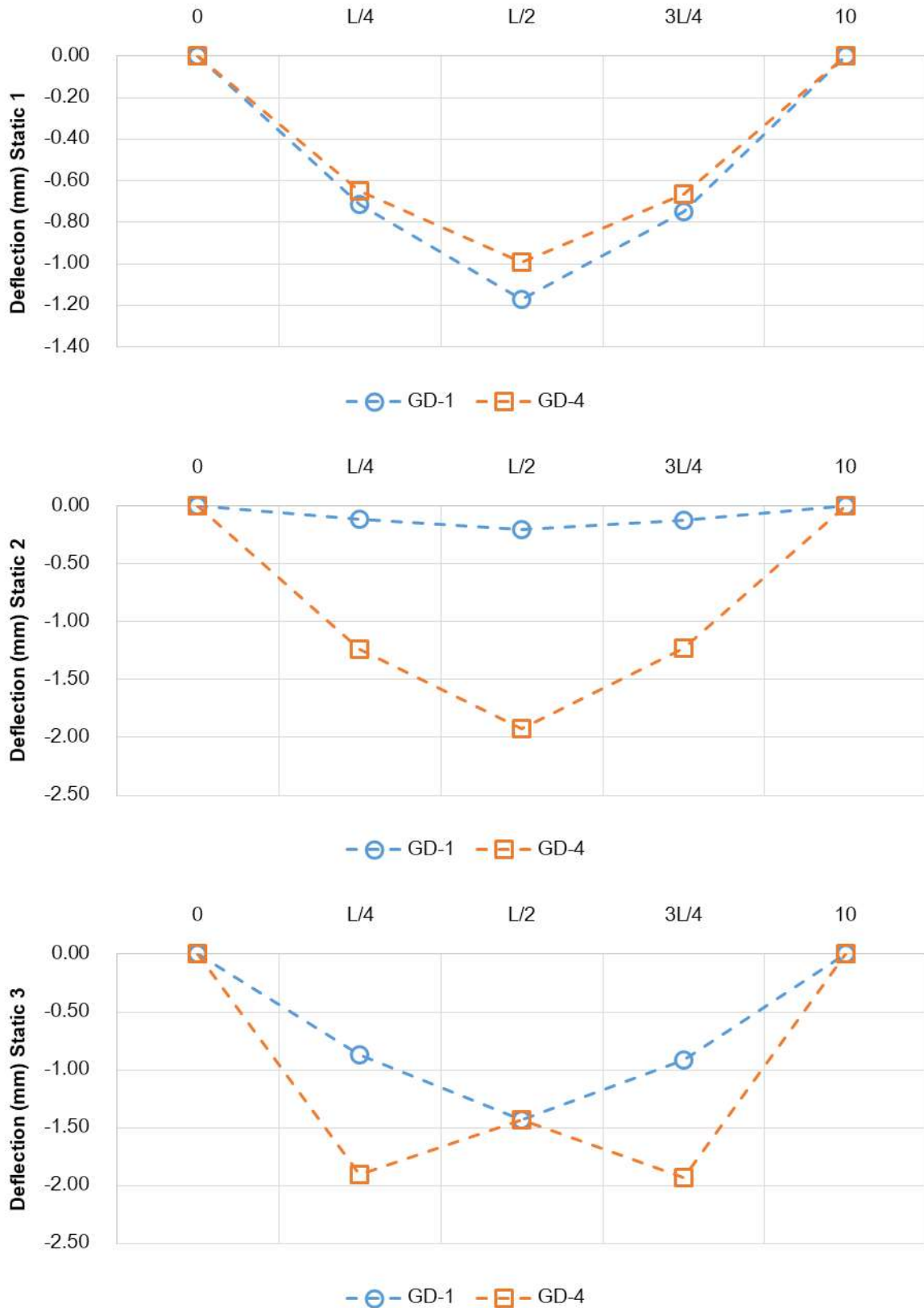


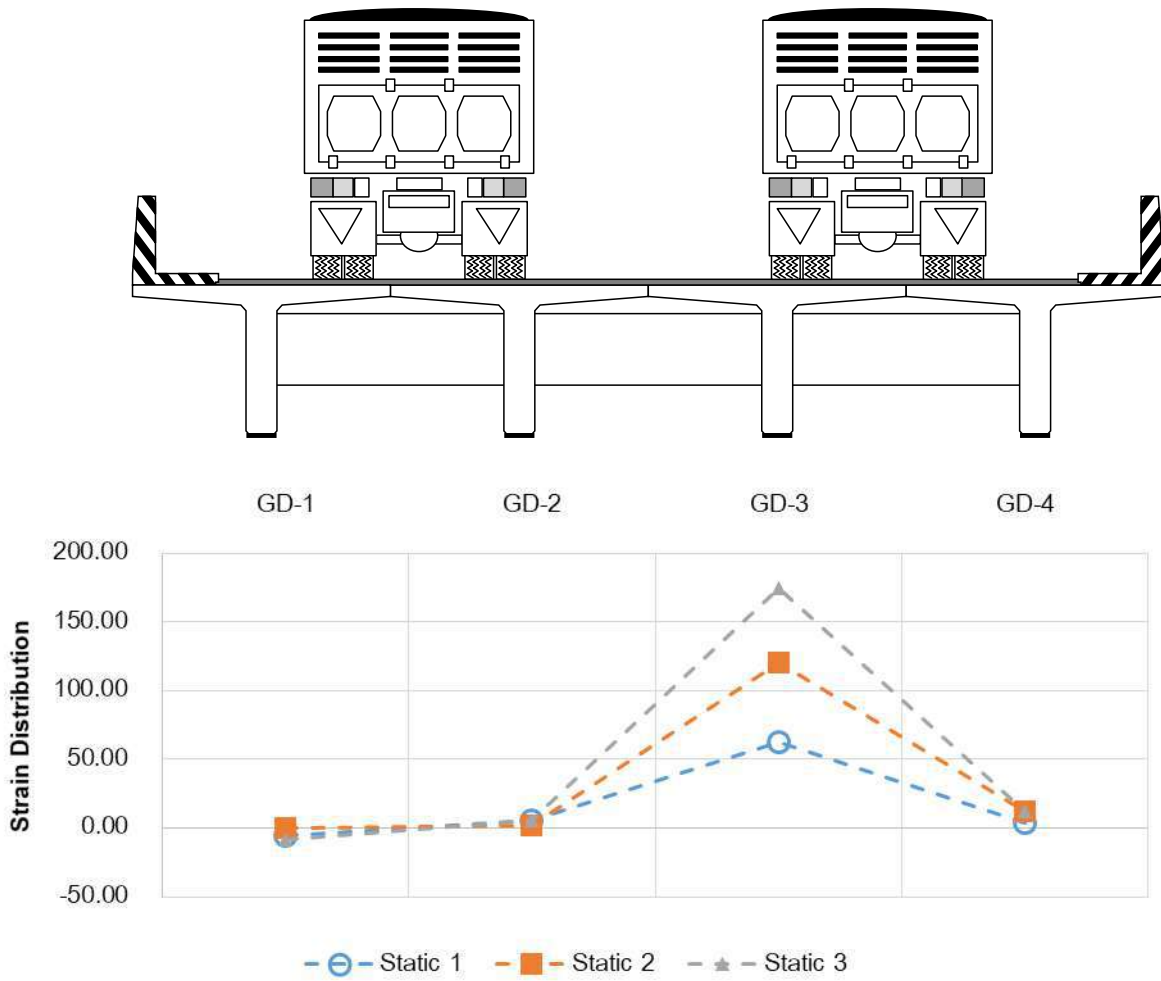
รูปที่ 6-16 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 1, Static 2 และ Static 3

**ตารางที่ 6-16 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานแบบสถิต**

Sensor	Position L/2		
	Static 1	Static 2	Static 3
DT 01	-0.712	-0.119	-0.872
DT 02	-0.651	-1.242	-1.905
DT 03	-1.169	-0.206	-1.430
DT 04	-0.993	-1.923	-2.930
DT 05	-0.748	-0.124	-0.913
DT 06	-0.662	-1.231	-1.926
SG 01	35.635	7.733	38.592
SG 02	3.223	1.242	3.246
SG 03	-5.363	0.306	-8.213
SG 04	31.585	7.048	32.850
SG 05	2.806	0.890	2.540
SG 06	5.110	1.669	5.723
SG 07	103.846	34.131	143.069
SG 08	14.575	6.938	19.752
SG 09	234.446	90.102	322.838
SG 10	4.656	3.125	6.563
SG 11	3.681	7.346	10.142
SG 12	79.742	164.400	245.810
SG 13	62.150	119.829	174.202
SG 14	1.921	2.398	2.231
SG 15	103.971	225.465	331.329
SG 16	4.379	19.902	20.440
SG 17	5.413	10.369	7.069
SG 18	4.125	12.135	11.852
SG 19	4.708	21.056	21.969
SG 20	5.927	22.771	22.485



รูปที่ 6-17 พฤติกรรมการแอ่นตัวของคานตัวที่ 1 และตัวที่ 3



รูปที่ 6-18 พฤติกรรมการกระจายแรงตามขวางของสะพาน

### 6.6.5. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบพลวัต

การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Test) เป็นการทดสอบโดยใช้รถบรรทุกวิ่งผ่านช่วงสะพานทดสอบหลายรูปแบบโดยมีรายละเอียดดังนี้

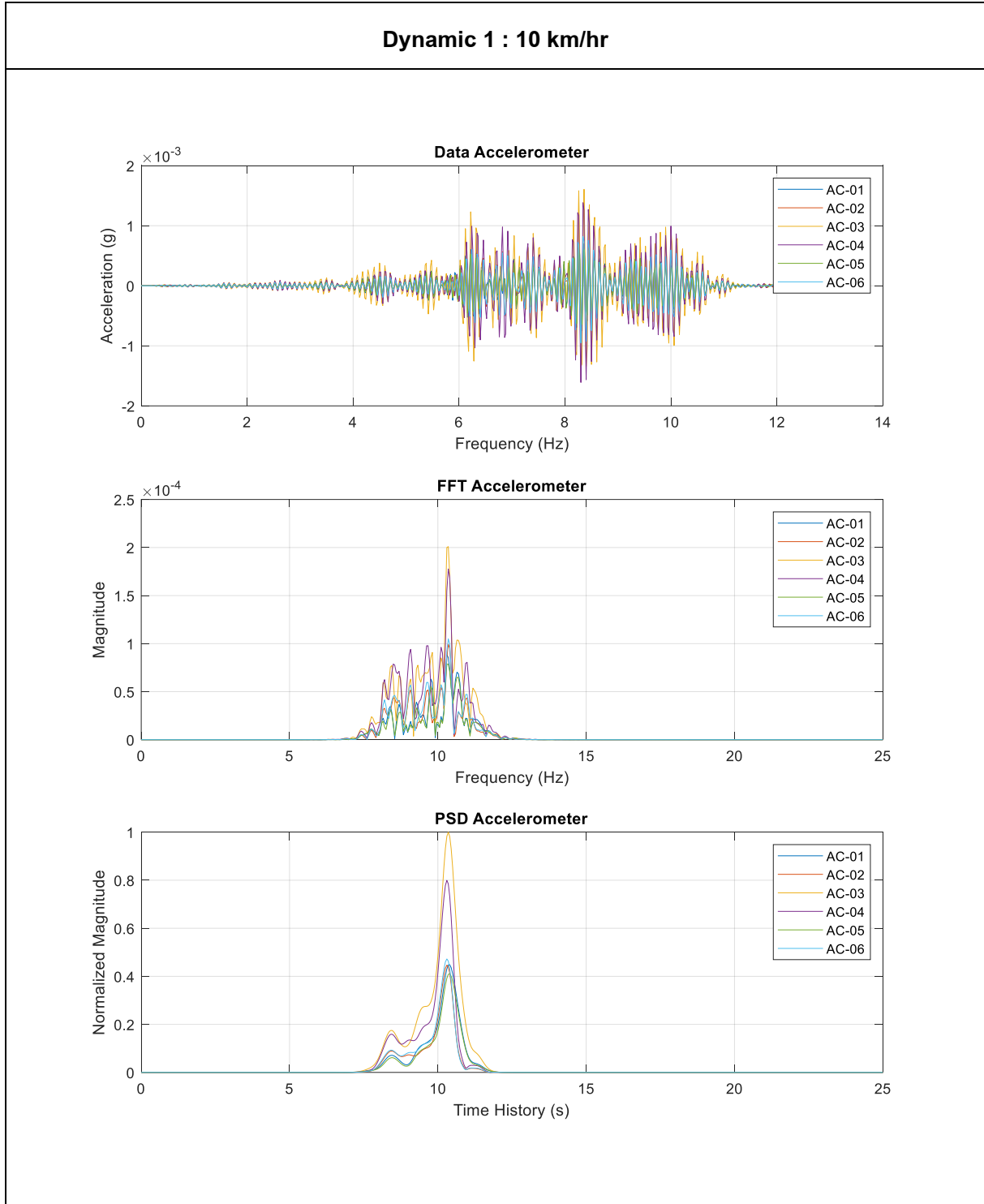
- Dynamic 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกทุกจำนวน 1 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 10 กม./ชม. ที่กลางสะพาน
- Dynamic 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกทุกจำนวน 1 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. ที่กลางสะพาน
- Dynamic 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกทุกจำนวน 1 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 30 กม./ชม. ที่กลางสะพาน



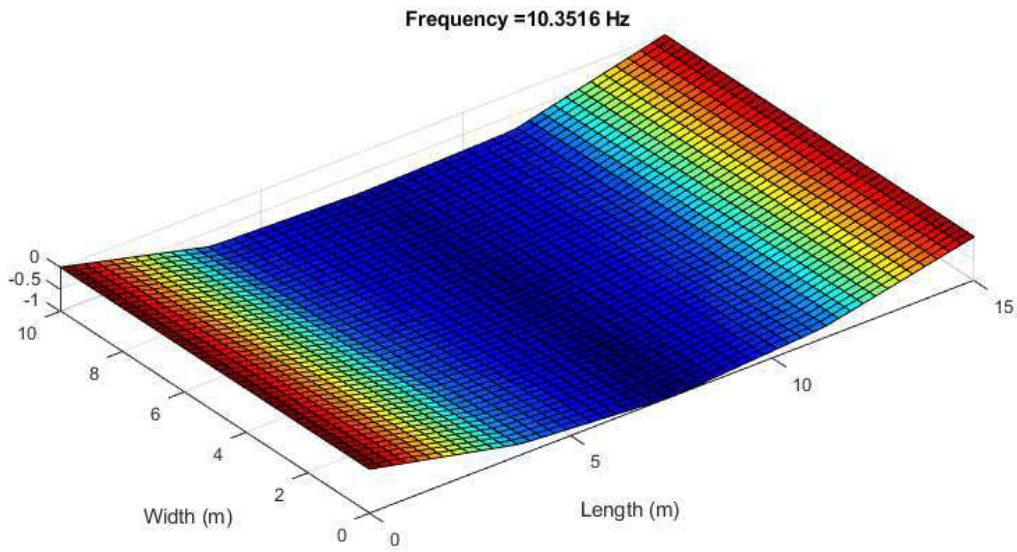


รูปที่ 6-19 ภาพการทดสอบแบบพลวัต

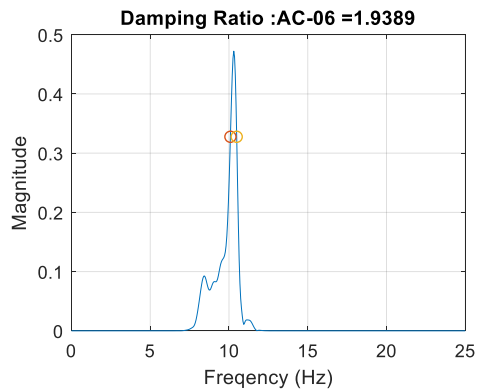
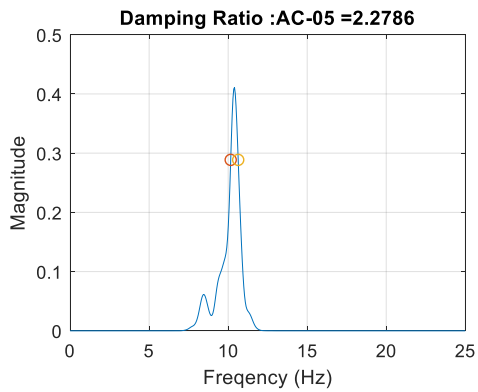
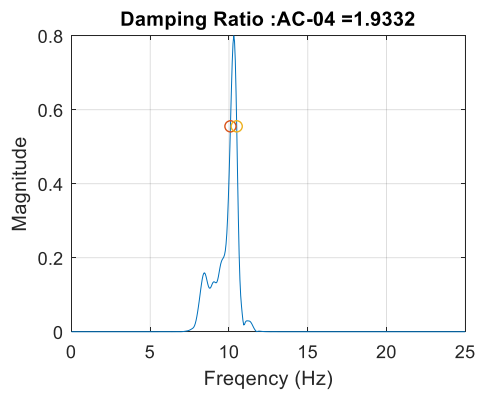
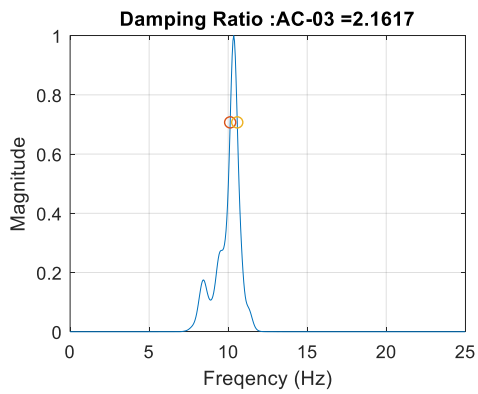
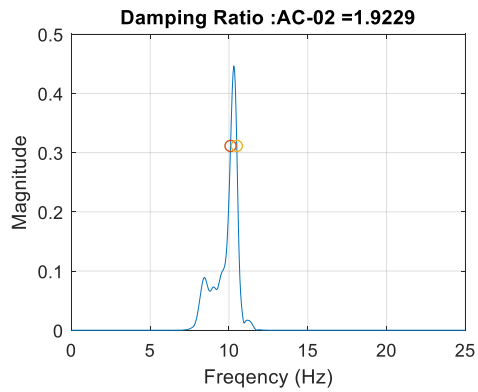
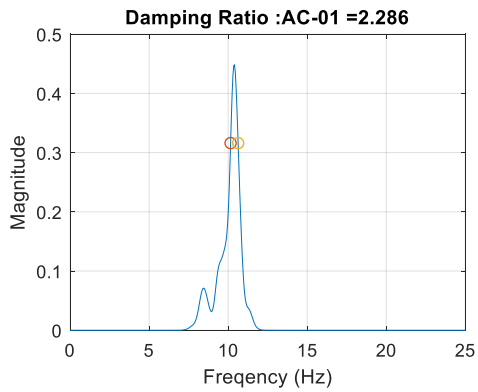
สำหรับการวิเคราะห์ผลการตรวจวัดพฤติกรรมแบบพลวัตเพื่อหาคุณสมบัติทางพลศาสตร์ ประกอบด้วย ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) และค่าตัวคูณเพิ่มแรงกระแทก (Impact Factor) สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้



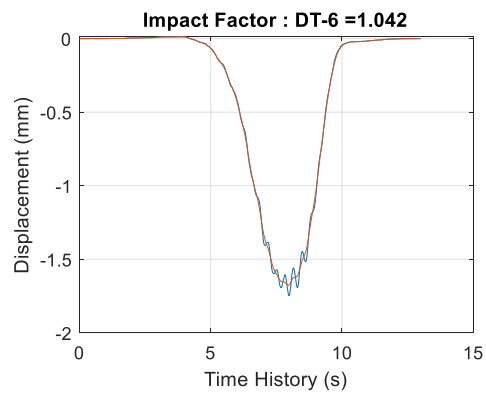
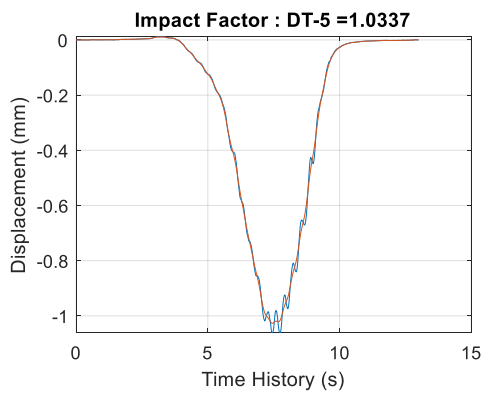
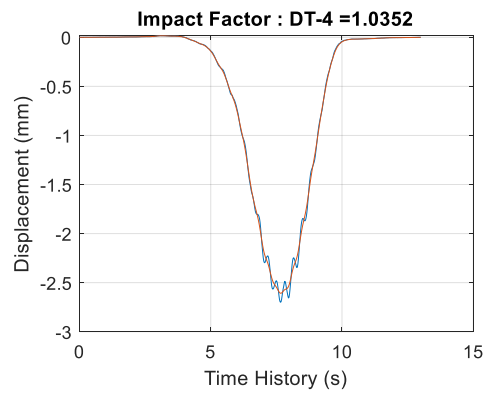
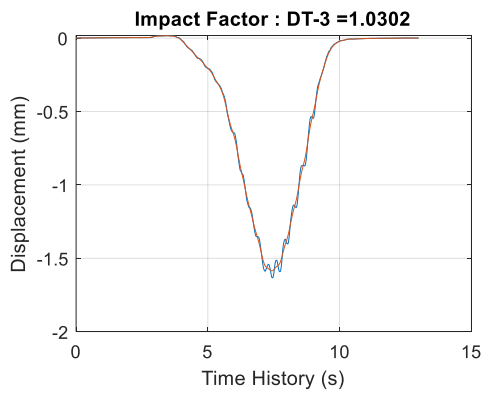
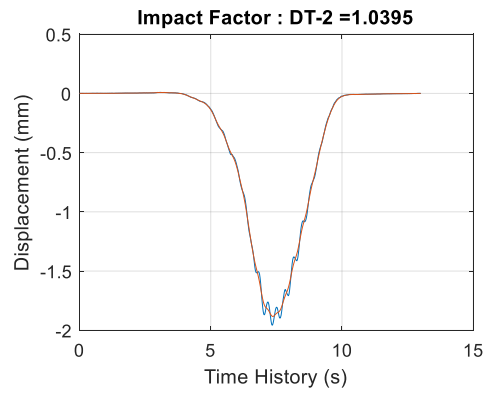
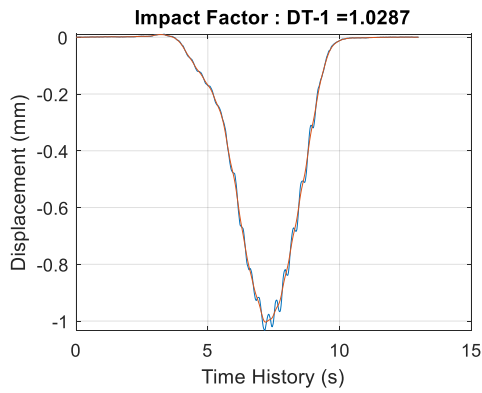
**Dynamic 1 : 10 km/hr**



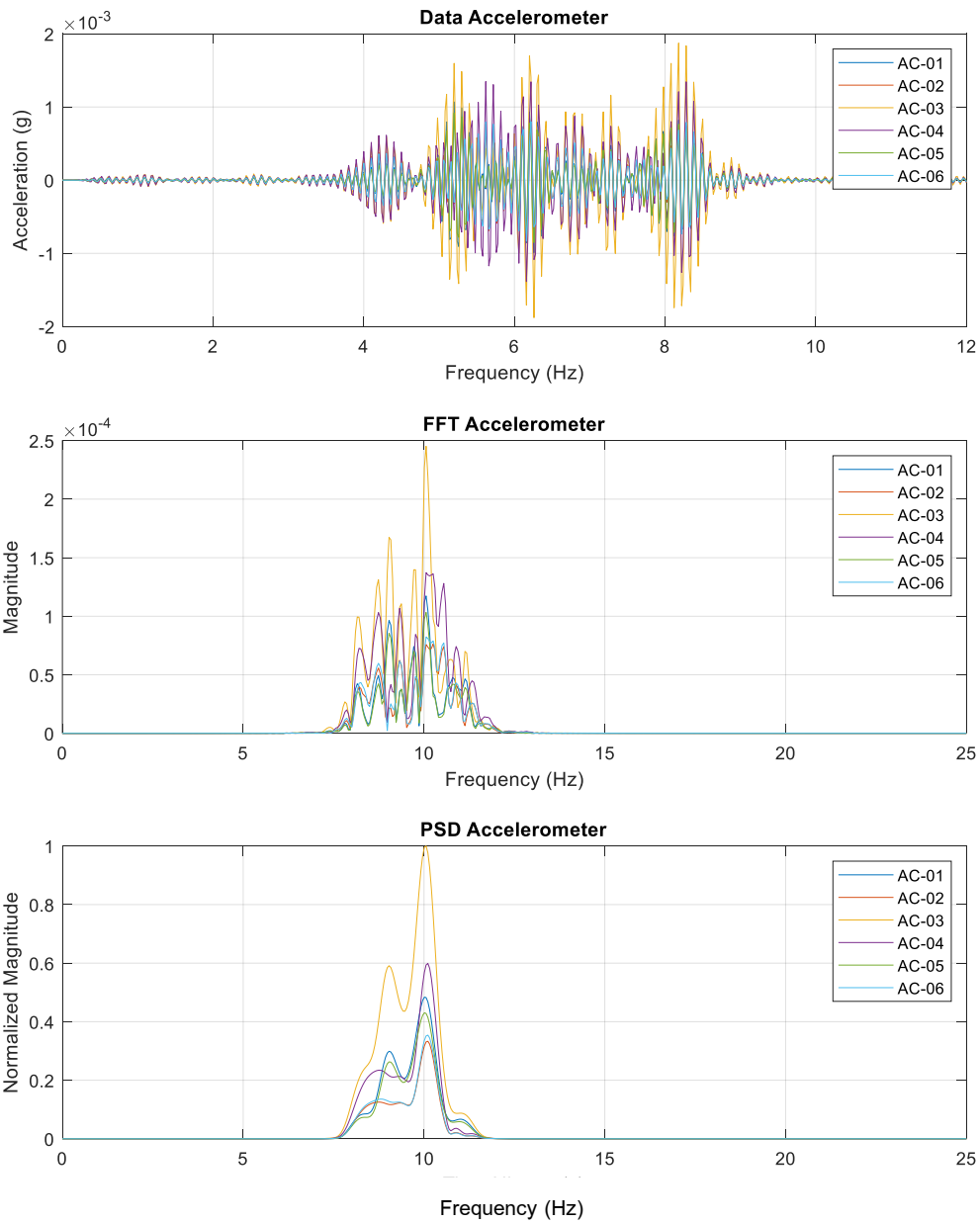
### Dynamic 1 : 10 km/hr



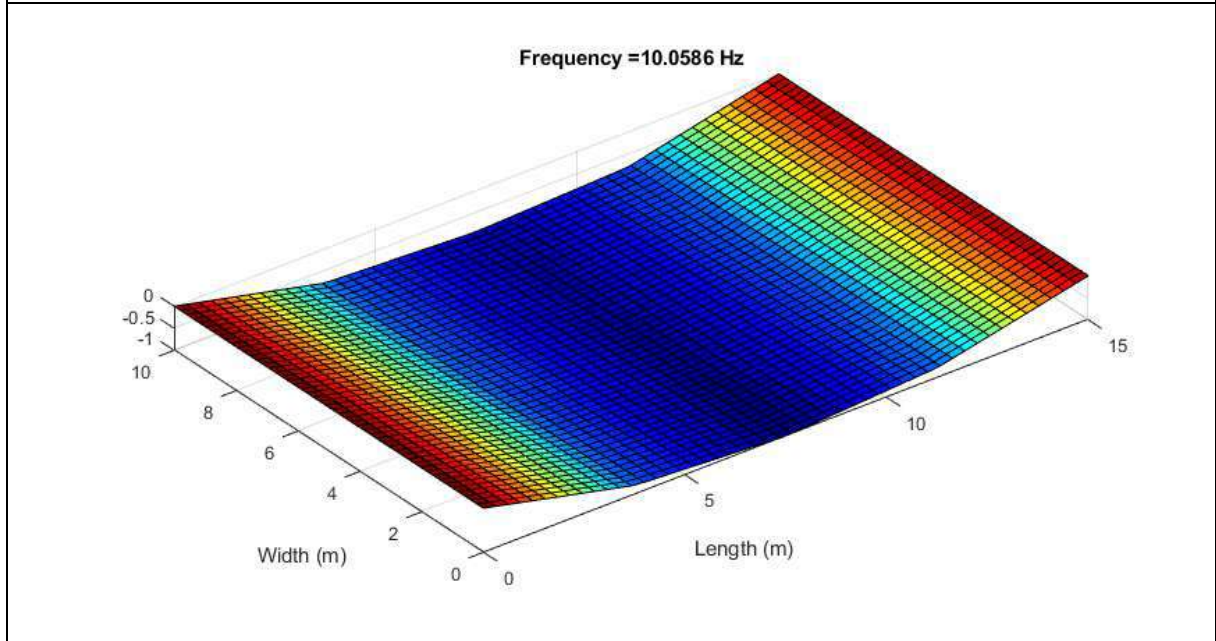
### Dynamic 1 : 10 km/hr



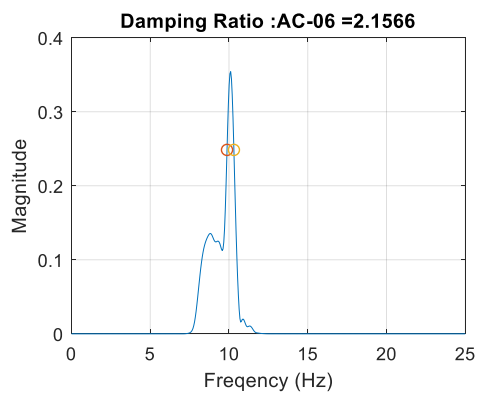
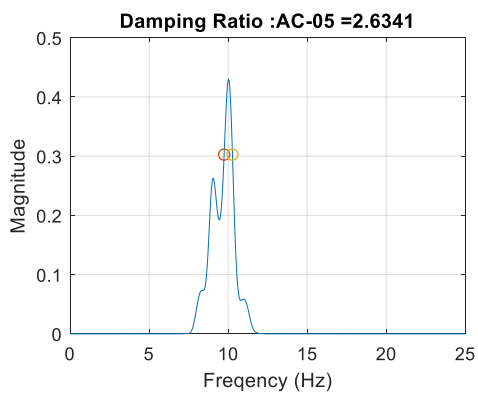
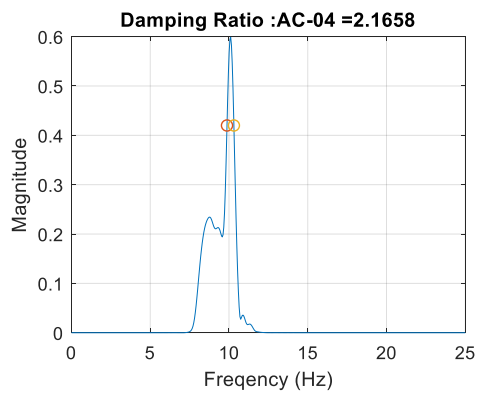
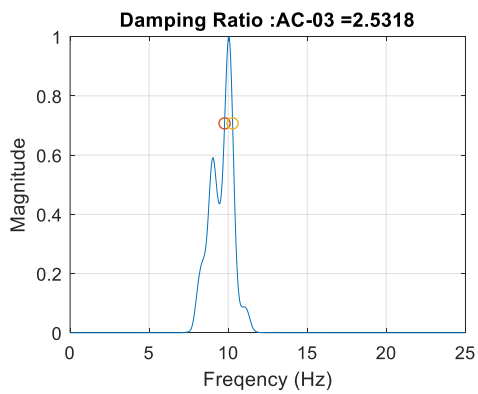
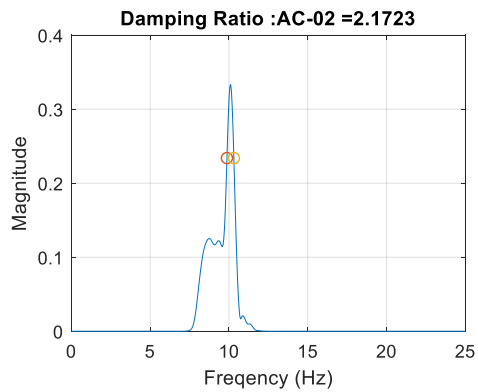
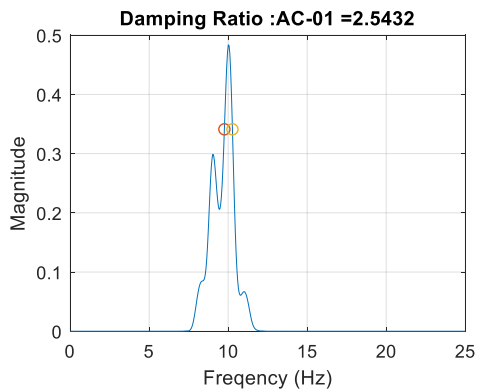
### Dynamic 2 : 20 km/hr



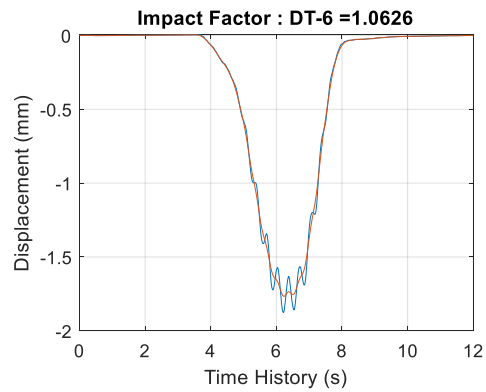
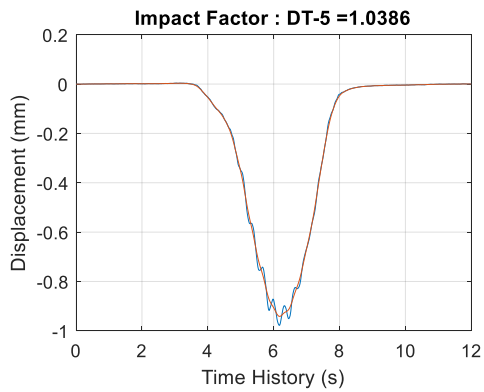
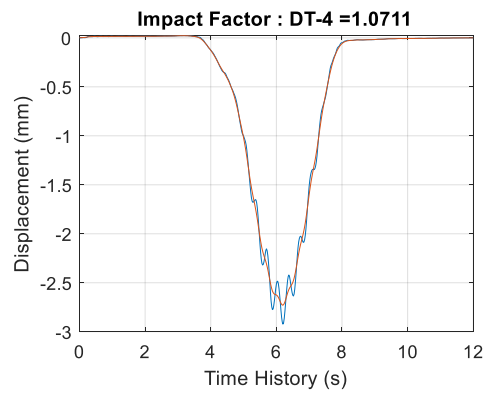
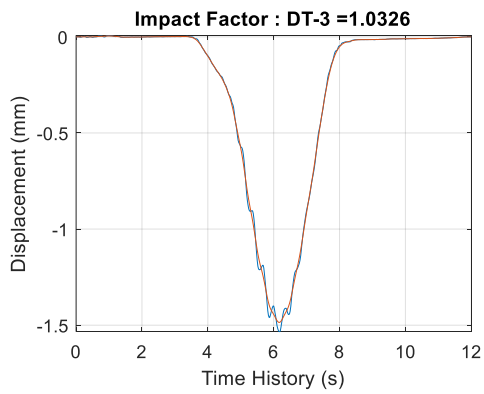
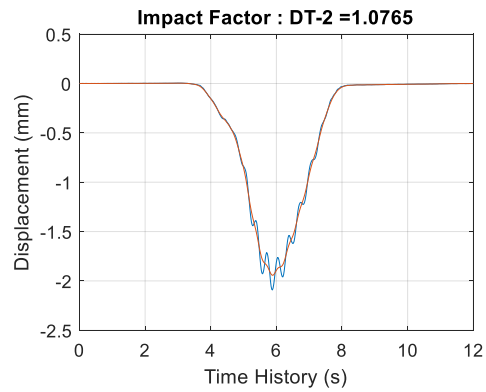
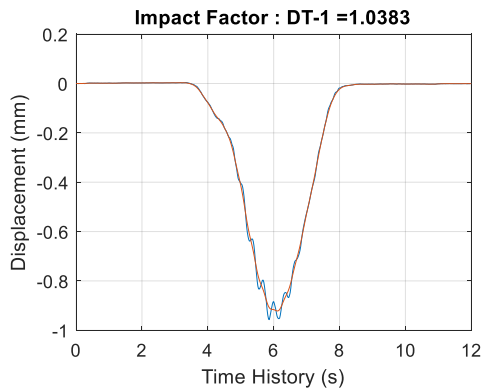
**Dynamic 2 : 20 km/hr**



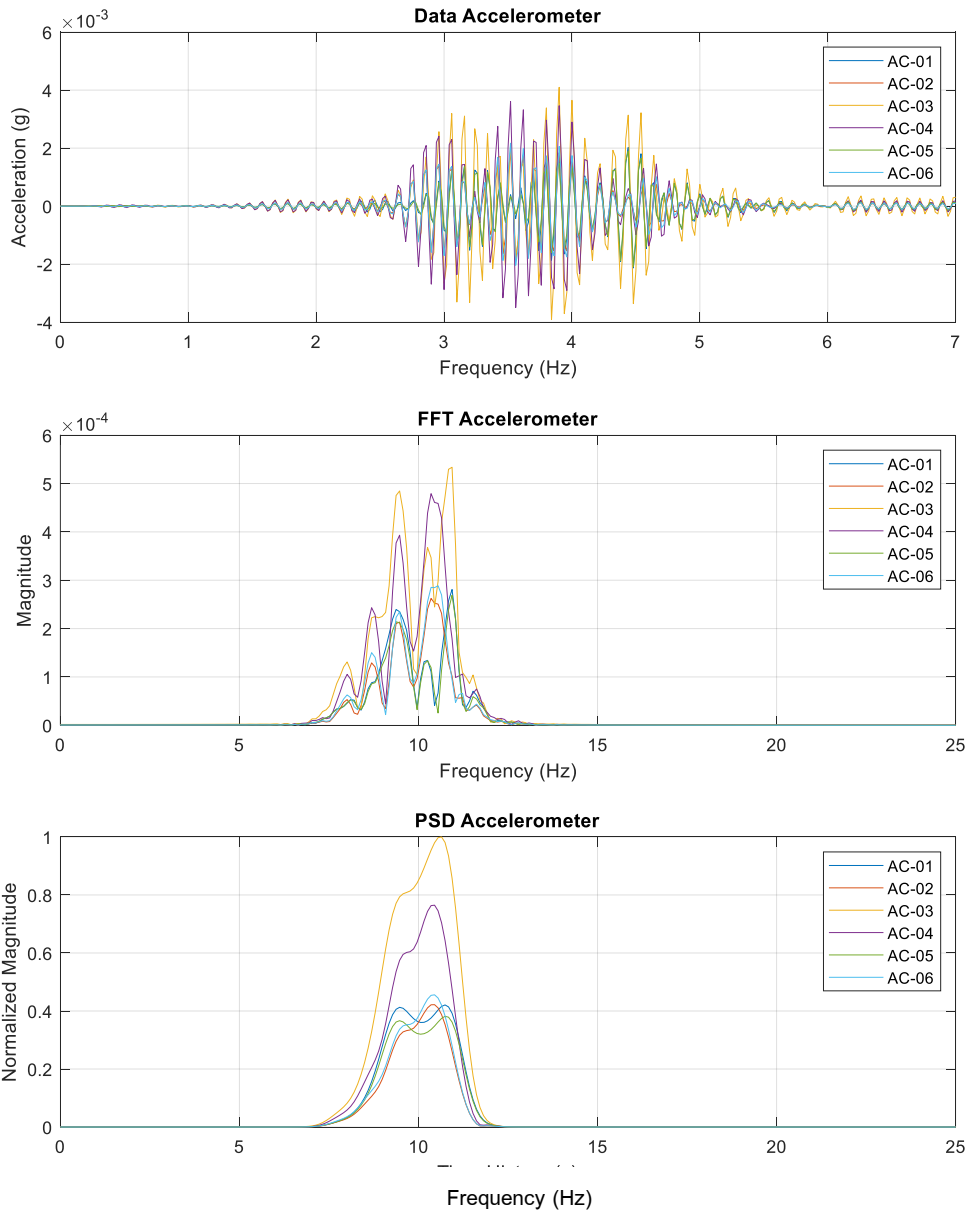
### Dynamic 2 : 20 km/hr



### Dynamic 2 : 20 km/hr

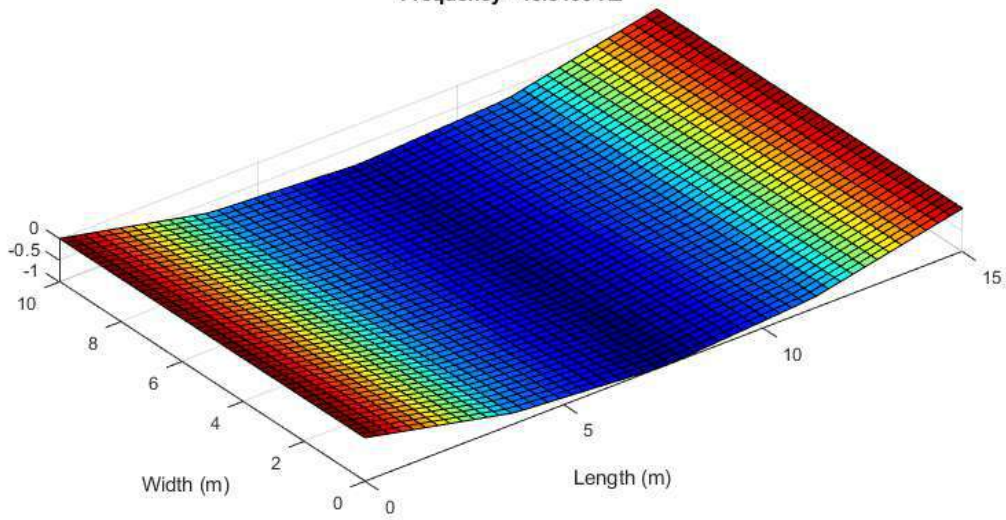


### Dynamic 3 : 30 km/hr

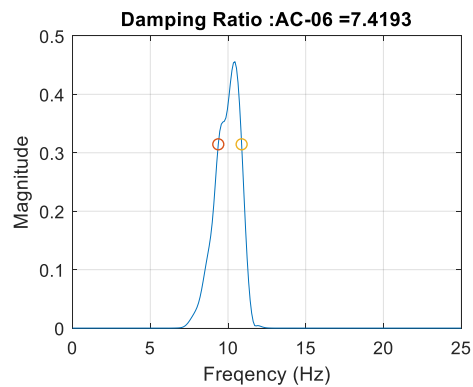
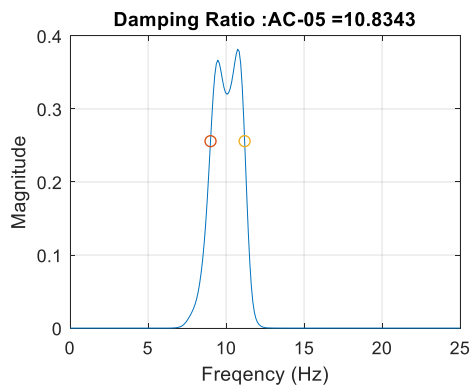
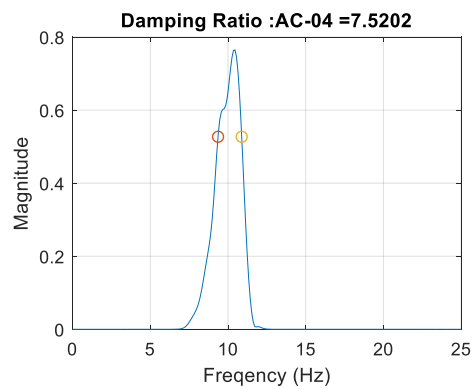
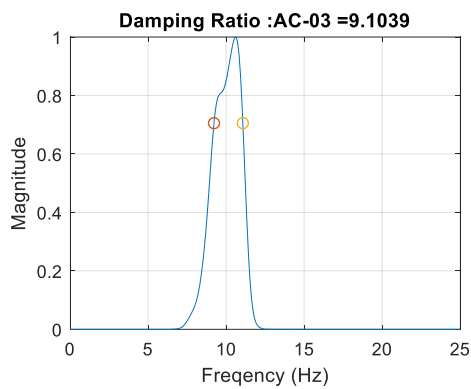
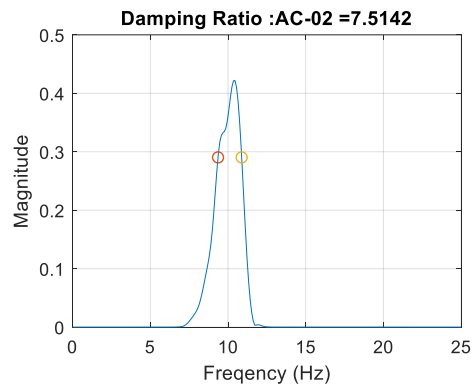
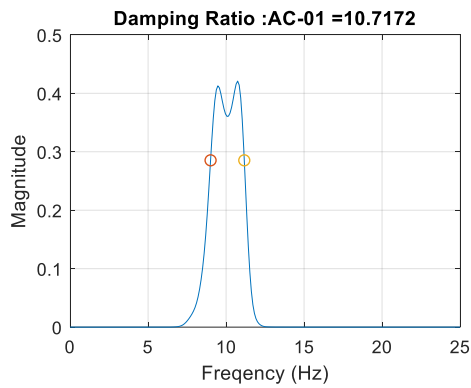


**Dynamic 3 : 30 km/hr**

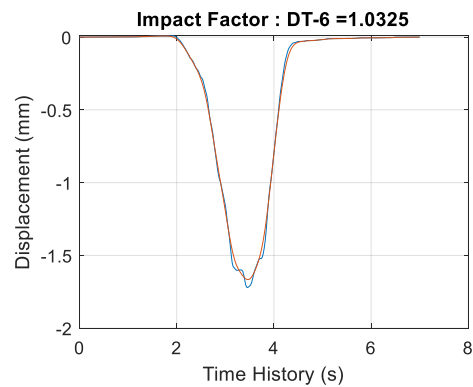
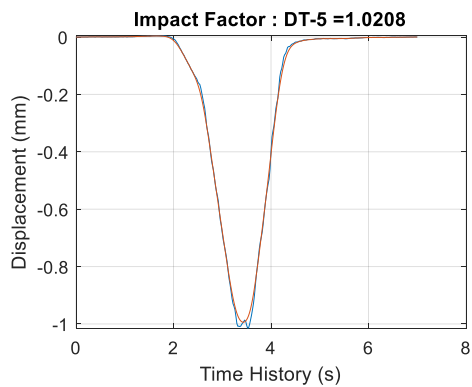
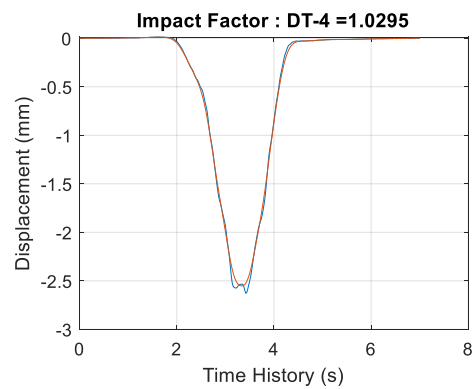
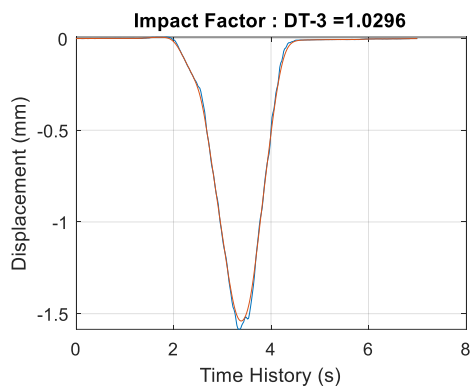
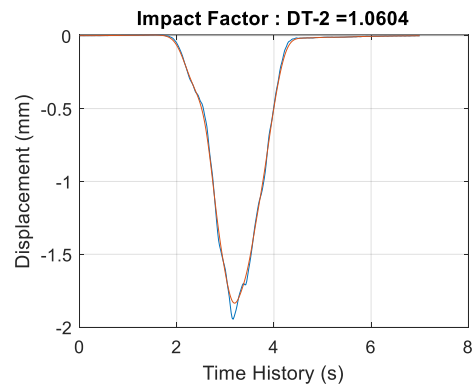
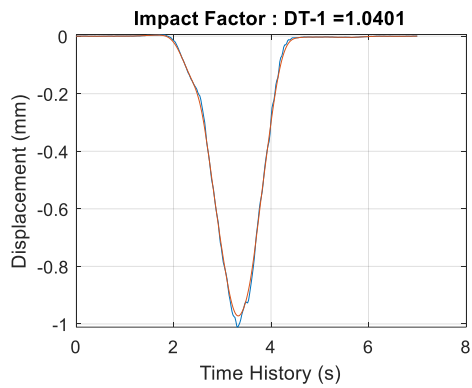
Frequency = 10.5469 Hz



### Dynamic 3 : 30 km/hr



### Dynamic 3 : 30 km/hr



**ตารางที่ 6-17 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	10.352	1st Bending	2.286	1.923	2.162	1.933	2.279	1.939	2.087
Dynamic 2	10.059	1st Bending	2.543	2.172	2.532	2.166	2.634	2.157	2.367
Dynamic 3	10.547	1st Bending	10.717	7.514	9.104	7.52	10.834	7.419	8.851

**ตารางที่ 6-18 ผลการวิเคราะห์ Impact Factor**

Sensor	Impact Factor						
	DT 01	DT 02	DT 03	DT 04	DT 05	DT 06	Average
Dynamic 1	1.029	1.040	1.030	1.035	1.034	1.042	1.035
Dynamic 2	1.038	1.077	1.033	1.071	1.039	1.063	1.054
Dynamic 3	1.04	1.06	1.03	1.03	1.021	1.033	1.036

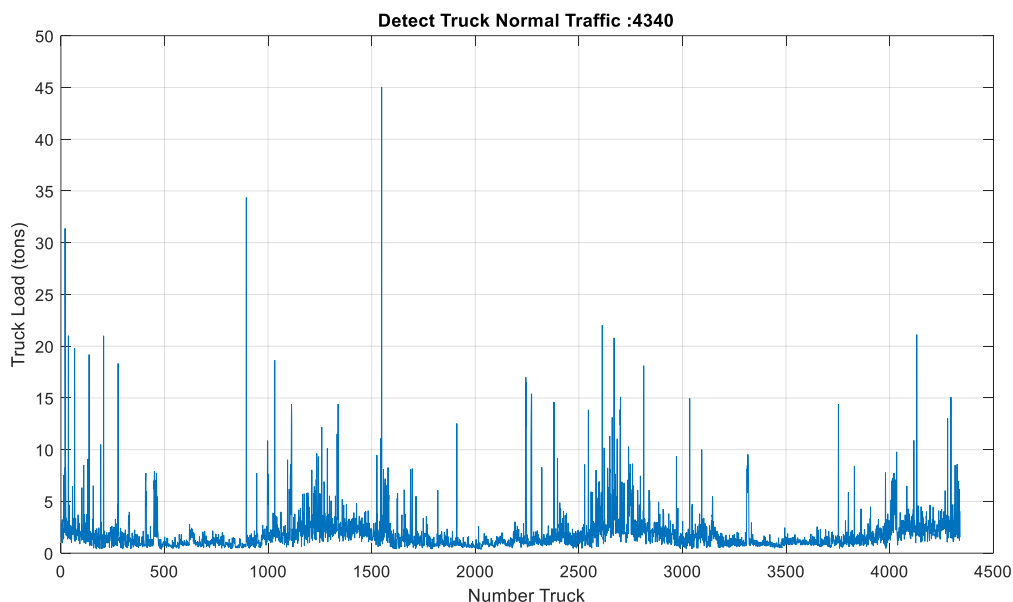
**6.6.6. การทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน**

ที่ปรึกษาได้ทำการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge บริเวณใต้ท้องคานแต่ละคาน (โดยเฉลี่ยค่า Strain Gauge ทั้ง 5 ตัวที่ติดตั้งในแต่ละคาน) กับน้ำหนักบรรทุกจากการทดสอบแบบ Static Load Test ซึ่งมีค่าแสดงได้ดังตารางที่ 6-19

**ตารางที่ 6-19 การสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบ**

Sensor	Strain Gauge (microstrain)		
	Static 1	Static 2	Static 3
AVG SG at GD01	13.577	3.444	13.803
AVG SG at GD02	72.527	27.193	99.589
AVG SG at GD03	50.293	103.888	152.743
AVG SG at GD04	4.910	17.247	16.763
SUM	141.307	151.771	282.898
Truck Load (tons)	25.000	25.000	50.000

จากนั้นใช้ผลการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge ในการประมาณการน้ำหนักบรรทุก  
จากผลการตรวจวัดค่าผลรวมของ Strain Gauge ภายใต้การจราจรปกติเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งได้ผลแสดง  
ดังรูปที่ 6-20

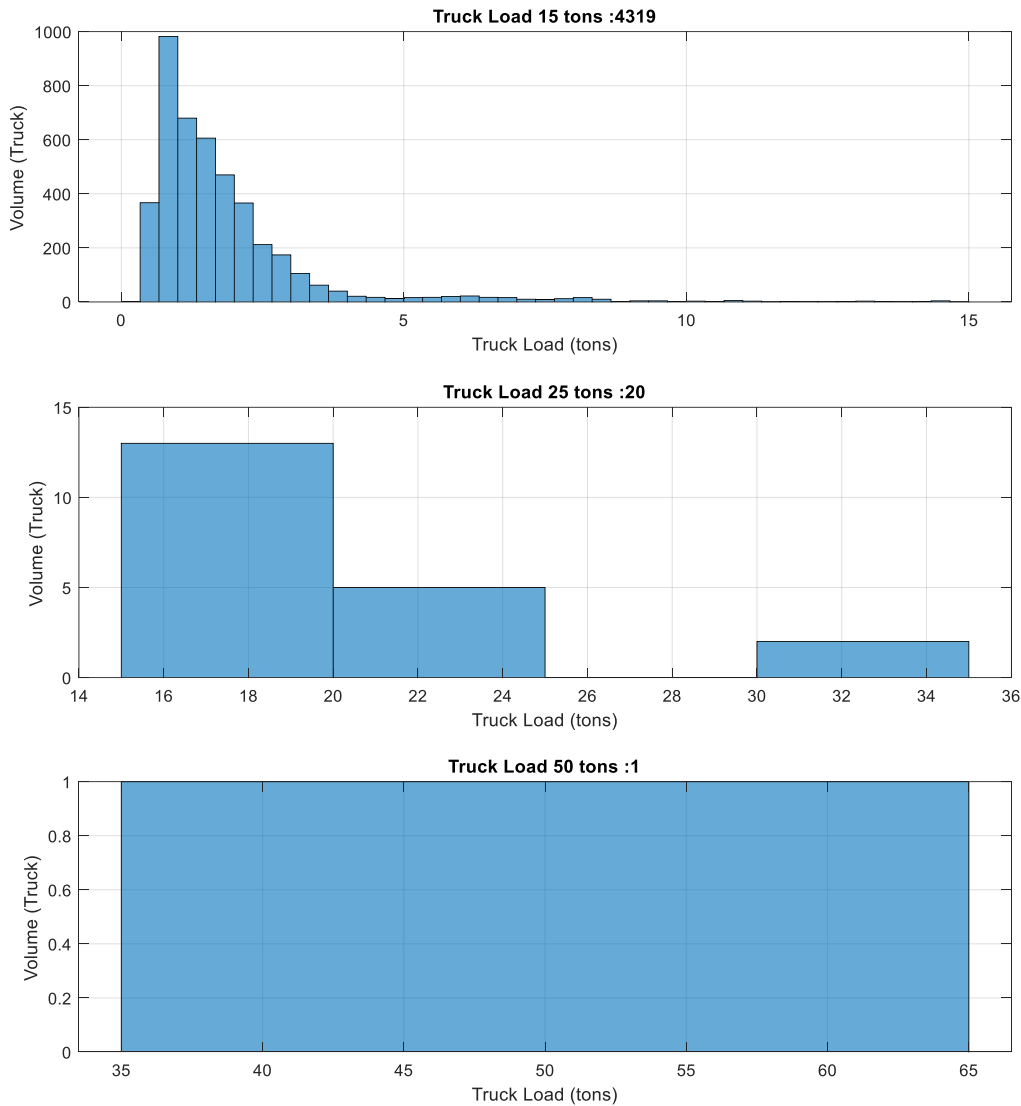


รูปที่ 6-20 ผลการสอบเทียบค่า Strain Gauge เพื่อประเมินน้ำหนักบรรทุก

ที่ปรึกษาได้แบ่งกลุ่มน้ำหนักบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพาน จำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่

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

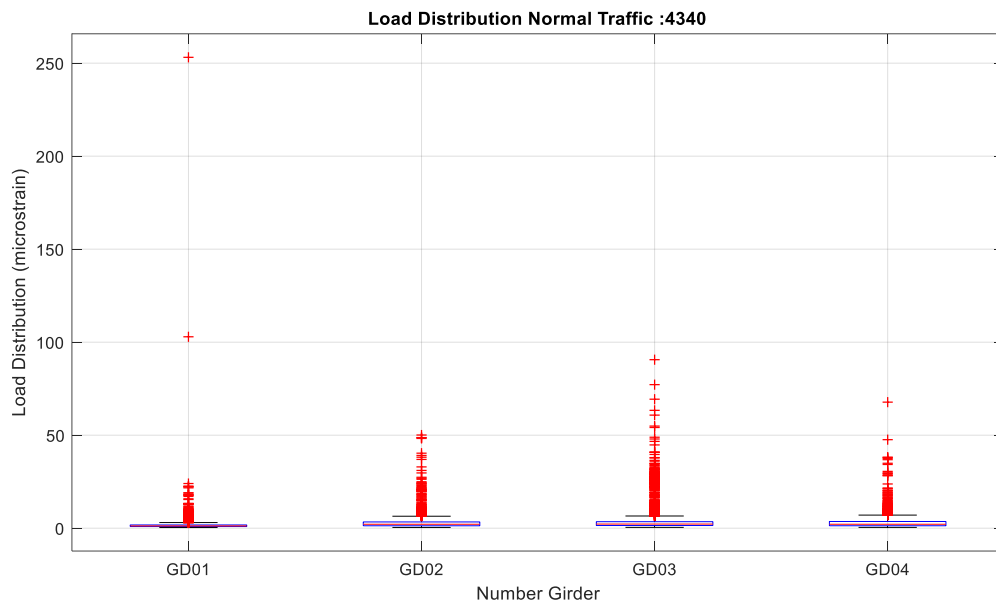
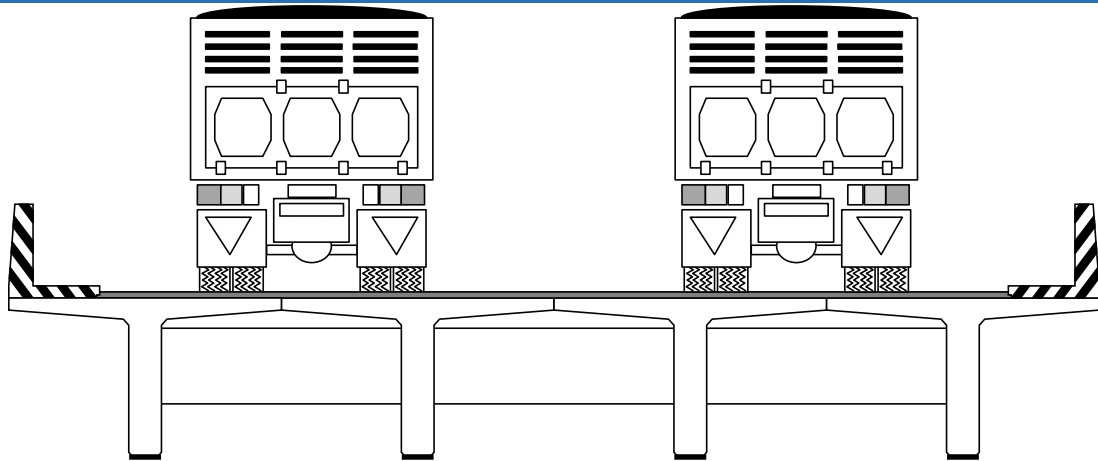
เมื่อนำผลการสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกของแต่ละกลุ่มน้ำหนักมาหาค่าทางสถิติของข้อมูล  
สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 6-21



Group Truck	Truck 15 (tons)	Truck 25 (tons)	Truck 50 (tons)
Volume (trucks)	4,319	20	1
%Volumn	99.52%	0.46%	0.02%
Mean (tons)	1.817	19.651	45.019
Std tons)	1.583	5.064	0.000

รูปที่ 6-21 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักบรรทุกทุกภายใต้สภาวะใช้งาน

และเมื่อนำค่า strain ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละคานมาพล็อต (box plot) จะได้ผลการกระจายแรงลงสะพานตามแนวขวางดังแสดงในรูปที่ 6-22



รูปที่ 6-22 การกระจายน้ำหนักในโครงสร้างคาน

## บทที่ 7 สะพานห้วยแม่โป่ง

### 7.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานห้วยแม่โป่ง (Test Span: 15 m)

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 7-1 รูปทั่วไปของสะพานห้วยแม่โป่ง

## 7.2 ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน

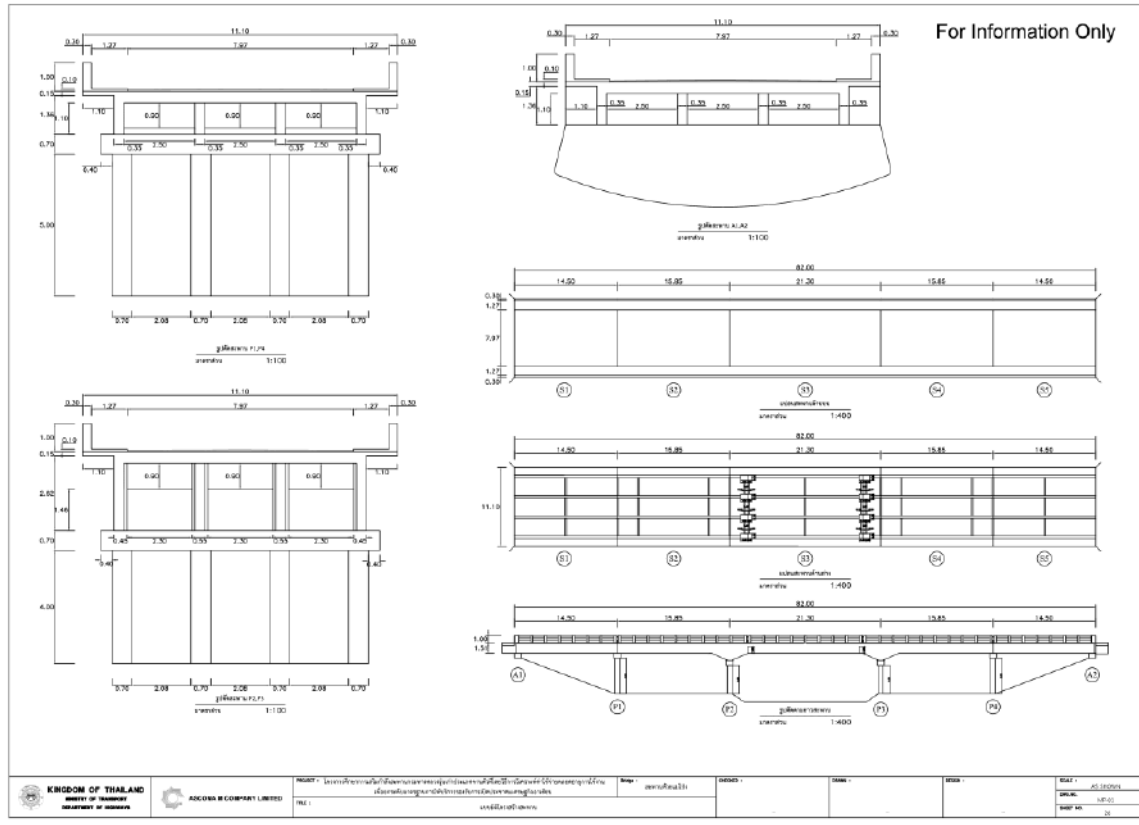
### 7.2.1. การสำรวจมิติสะพาน

การสำรวจมิติของสะพานกระทำโดยถ่ายภาพสะพานในบริเวณต่าง ๆ ทั้งด้านบนและด้านล่าง และใช้เครื่องมือวัดระยะประเภทต่าง ๆ เช่น ตลับเมตร เทปวัด และเลเซอร์วัดระยะทาง ในการตรวจวัดขนาดชิ้นส่วนและมิติต่าง ๆ ของสะพาน ดังตัวอย่างการสำรวจมิติสะพานที่แสดงในรูปที่ 7-2 ในกรณีที่ชิ้นส่วนโครงสร้างมีขนาดใหญ่มากหรืออยู่สูงมาก จะใช้นั่งร้านเพื่อช่วยในการเข้าถึงชิ้นส่วนนั้น ๆ ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจมิติของสะพานในบริเวณต่าง ๆ ได้แสดงดังรูปที่ 7-3



รูปที่ 7-2 การตรวจวัดมิติของสะพาน (ทั่วไป)





รูปที่ 7-3 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจมิติของสะพานโดยรวม  
 (แบบทั้งหมดขนาด A3 แสดงในแบบสำรวจสะพาน)

### 7.2.2. การสำรวจความเสียหายสะพาน

โครงการนี้ใช้วิธีการตรวจสอบความเสียหายด้วยสายตา (Visual Inspection) ในการรวบรวมข้อมูลความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพาน เพื่อใช้ประกอบการออกแบบงานซ่อมบูรณะและเสริมกำลังสะพาน รูปที่ 7-4 แสดงตัวอย่างความเสียหายของสะพาน และตารางที่ 7-1 แสดงรายการความเสียหายของสะพาน จากนั้นได้นำข้อมูลที่สำรวจได้ไปจัดทำเป็นแบบแสดงความเสียหายดังตัวอย่างบางส่วนที่แสดงในรูปที่ 7-5 โดยรายละเอียดทั้งหมดได้แสดงในแบบสำรวจสะพาน ที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้

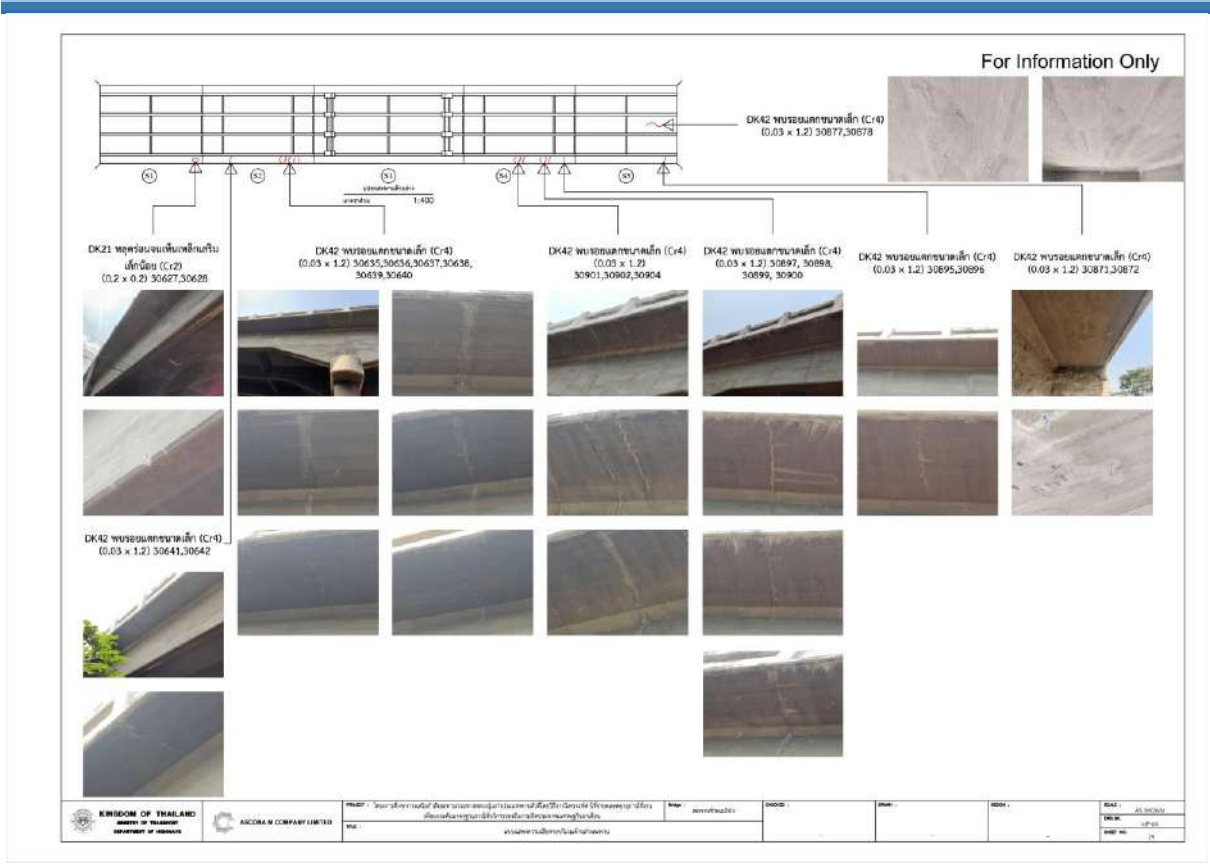


รูปที่ 7-4 ตัวอย่างบางส่วนของภาพความเสียหายของสะพาน



### ตารางที่ 7-1 รายการความเสียหายสะพานห้วยแม่โป่ง

ลำดับ	บริเวณ	ชั้นส่วน	รายละเอียดความเสียหาย	ระดับความรุนแรง	ขนาด
1	S1	EJ1	EJ42 รอยแตกตามแนวรอยต่อ	CR 2	0.05 x 7.00
2	S2	EJ1	EJ24 ผิวทางเป็นหลุมบ่อ มีรอยซ่อมเป็นแห่งๆ	CR 2	0.10 x 7.00
3	S3	EJ1	EJ24 ผิวทางเป็นหลุมบ่อ มีรอยซ่อมเป็นแห่งๆ	CR 2	0.10 x 7.00
4	S4	EJ1	EJ24 ผิวทางเป็นหลุมบ่อ มีรอยซ่อมเป็นแห่งๆ	CR 2	0.10 x 7.00
5	S5	EJ1	EJ24 ผิวทางเป็นหลุมบ่อ มีรอยซ่อมเป็นแห่งๆ	CR 2	0.30 x 7.00
6	S1	SW1	SW42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.20 x 0.50
7	S1	DK2	DK21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย	CR 3	0.20 x 0.20
8	S2	DK2	DK42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
9	S2	DK2	DK42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
10	S4	DK2	DK42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
11	S4	DK2	DK42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
12	S4	DK2	DK42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
13	S5	DK2	DK42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
14	S5	DK2	DK42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
15	S5	GD1-2	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
16	S5	GD2-1	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
17	S5	GD2-2	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
18	S5	GD3-1	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
19	S5	GD4-2	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
20	S5	GD4-2	GD32 พบรอยแตกขนาดเล็กกระจายบริเวณกว้าง	CR 3	0.03 x 1.20
21	S5	GD4-2	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20



รูปที่ 7-5 ตัวอย่างบางส่วนของแบบแสดงความเสียหายบริเวณด้านล่างสะพาน

### 7.2.3. การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลข

การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลขจะใช้วิธีตามแนวทางของระบบบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) กรมทางหลวง ซึ่งจะเลือกชิ้นส่วนที่มีค่าผลคูณความสำคัญของชิ้นส่วน (Weighting, w) กับระดับความเสียหาย (Damage Rating, DR) ที่สูงที่สุด 5 ลำดับแรก จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของชิ้นส่วนที่วิกฤติที่สุดเหล่านั้นเป็นค่า Weighted Critical Damage Rating (WCDR) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความเสี่ยงที่โครงสร้างจะวิบัติ ผลการประเมินพบว่าสะพานมีค่า WCDR = 1.36 (จากคะแนนเต็ม 5) หรือแปลงให้อยู่ในรูป Weighted Critical Condition Rating (WCCR) = 5 - 1.36 = 3.64 ซึ่งอยู่ระหว่าง ระดับดี (CR=4) และระดับพอใช้ (CR=3) กล่าวโดยรวมสะพานมีการเสื่อมสภาพตามการใช้งาน ควรได้รับการซ่อมบำรุงตามกำหนดการ

ตารางที่ 7-2 การประเมินระดับความเสียหายหรือสภาพการใช้งานโดยรวม

บริเวณ- ชิ้นส่วน	ประเภท ชิ้นส่วน	สภาพการใช้งาน (Condition Rating, CR)	ระดับความเสียหาย (Damage Rating) (DR = 5 - CR)	ระดับความสำคัญของชิ้นส่วน (w)	w*DR
S5-GD4-2	GD	3	2	1	2
S1-EJ1	EJ	2	3	0.4	1.2
S2-EJ1	EJ	2	3	0.4	1.2
S3-EJ1	EJ	2	3	0.4	1.2
S4-EJ1	EJ	2	3	0.4	1.2
Weighted Critical Damage Rating (WCDR)					1.36
Weighted Critical Condition Rating (CCDR = 5 - WCDR)					3.64

### 7.3 ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน

ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมที่ชิ้นส่วนโครงสร้างสำคัญต่าง ๆ มีรวมทั้งสิ้น 157.43 ตร.ม. ดังแสดงในตารางที่ 7-3 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมได้แสดงไว้ในรูปที่ 7-6 โดยผลการสำรวจทั้งหมดได้แสดงไว้ในแบบสำรวจสะพานที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างในรูปตัด (Typical section) และรูปด้านต่าง ๆ

ตารางที่ 7-3 พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมในชิ้นส่วนโครงสร้างหลักของสะพาน

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม (ตร.ม.)
เสาตอม่อ (Pier)	69.4
คานรัดเสาตอม่อ (Cap Beam)	7.6
คานหลัก (Girder)	38.88
ไดอะแฟรม (Diaphragm)	3.15
พื้นสะพาน (Deck) บริเวณถนน	20
พื้นสะพาน (Deck) บริเวณทางเท้า	18.4
<b>รวมทั้งสิ้น</b>	<b>157.43</b>

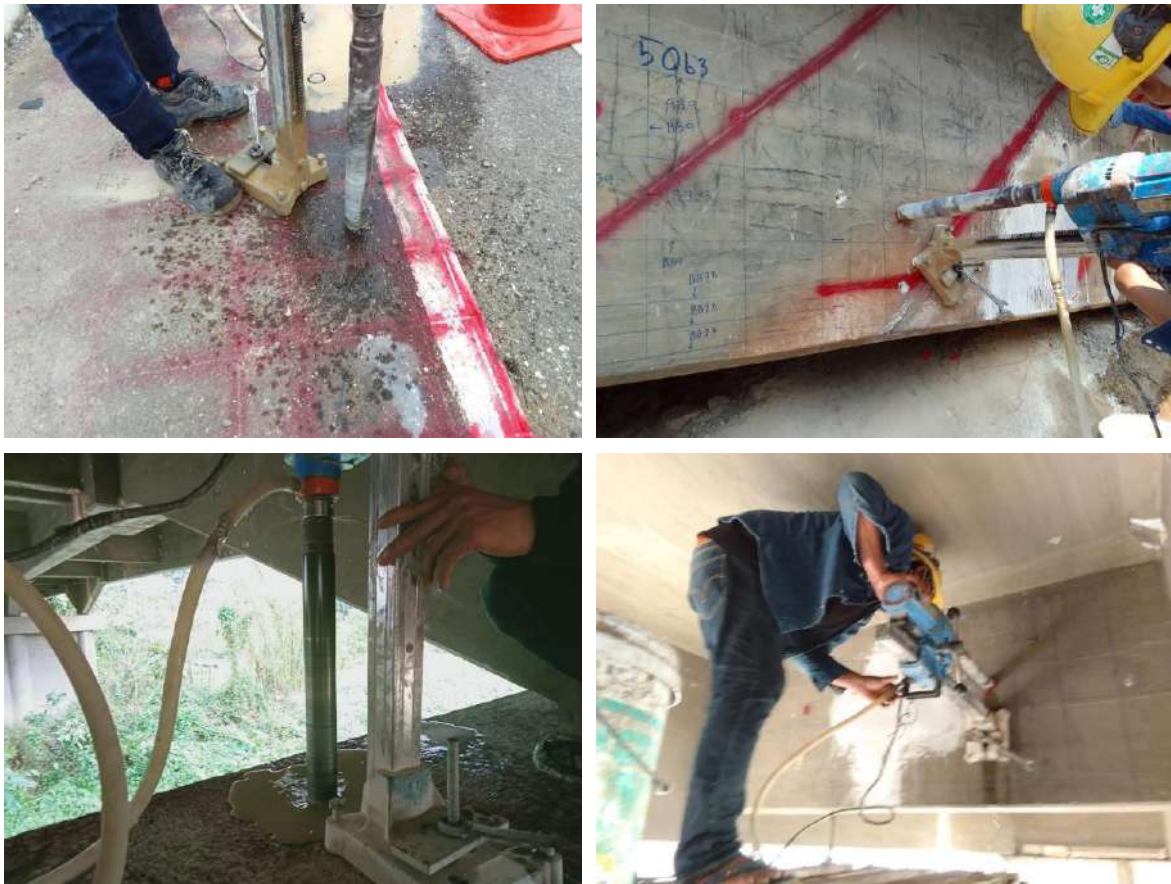


รูปที่ 7-6 รูปการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพานด้วยเครื่อง GPR



## 7.4 การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

### 7.4.1. การดำเนินการเก็บวัสดุทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลังรับแรงดึง



รูปที่ 7-8 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังคอนกรีต





รูปที่ 7-9 รูปการซ่อมคืนสภาพจากการเก็บวัสดุทดสอบกำลังคอนกรีต

#### 7.4.2. การดำเนินการเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม



รูปที่ 7-10 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม



รูปที่ 7-11 รูปการซ่อมคืนสภาพจากการเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม

### 7.4.3. การดำเนินการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน



รูปที่ 7-12 รูปการทำงานทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน

## 7.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

### 7.5.1. 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, PW) ตารางที่ 7-4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 7-4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (สะพานห้วยแม่โป่ง, MP)

ลำดับ	ชิ้นส่วน	รหัสทดสอบ	Compressive Strength (ksc)
1	CB	MP-S5-GD1	173
2	CB	MP-S5-GD2	144
3	DP	MP-S5-GD3	127
4	DP	MP-S5-GD4	146
5	GD	MP-P4-CB1	220
6	GD	MP-P4-CB2	227
7	GD	MP-P4-PW1	158
8	GD	MP-P4-PW2	167
9	PW	MP-P4-PW3	172
10	PW	MP-P4-PW4	222
11	PW	MP-S3-SW1	197
12	PW	MP-S3-SW2	170
13	SW	MP-S4-SW1	251
14	SW	MP-S4-SW2	190
15	SW	MP-S5-SW2	130
16	SW	MP-S1-SW1	186
17	SW	MP-S2-SW1	127
18	SW	MP-S2-SW2	181
19	SW	MP-S5-DP1	233
20	SW	MP-S5-DP2	178

### 7.5.2. ผลทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต สะพานละ 20 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไตอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) และกำแพงตอม่อ (Pier, PW) ตารางที่ 7-5 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึง

ตารางที่ 7-5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต (สะพานห้วยแม่โป่ง, MP)

ลำดับ	ชิ้นส่วน	รหัสทดสอบ	Tensile Strength (ksc)
1	GD	MP-S5-GD1	26
2	GD	MP-S5-GD2	19
3	GD	MP-S5-GD3	23
4	GD	MP-S5-GD4	13
5	CB	MP-P4-CB1	20
6	CB	MP-P4-CB2	31
7	PW	MP-P4-PW1	21
8	PW	MP-P4-PW2	13
9	PW	MP-P4-PW3	18
10	PW	MP-P4-PW4	18
11	SW	MP-S3-SW1	22
12	SW	MP-S3-SW2	27
13	SW	MP-S4-SW1	27
14	SW	MP-S4-SW2	14
15	SW	MP-S5-SW2	12
16	SW	MP-S1-SW1	16
17	SW	MP-S2-SW1	29
18	SW	MP-S2-SW2	14
19	DP	MP-S5-DP1	27
20	DP	MP-S5-DP2	18

### 7.5.3. 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, PW) ตารางที่ 7-6แสดงผลการทดสอบหาค่าความลึกการเกิดคาร์บอนเนชัน (Carbonation Depth)

ตารางที่ 7-6 ผลการทดสอบหาค่าความลึกปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน (สะพานห้วยแม่โป่ง, MP)

ลำดับ	ชิ้นส่วน	ความลึกการพบคาร์บอนเนชัน (cm)	ระดับความลึกที่ทดสอบปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน				
			1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
1	SW1	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
2	SW2	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
3	SW3	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
4	SW4	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
5	DK1	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
6	DK2	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
7	DK3	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
8	DK4	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
9	DP1	3	เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
10	DP2	5	เกิด	เกิด	เกิด	เกิด	เกิด
11	GD1	3	เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
12	GD2	3	ไม่เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
13	GD3	3	เกิด	ไม่เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด
14	GD4	3	เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
15	CB1	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
16	CB2	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
17	PW	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
18	PW	4	เกิด	เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด
19	PW	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
20	PW	3	เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด

#### 7.5.4. ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมของสะพานจำนวน 22 ตำแหน่งโดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ใต้อะแฟรม (Diaphragm, DP) และกำแพงตอม่อ (Pier, PW) ตารางที่ 7-7แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

ตารางที่ 7-7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

ลำดับ	รหัสทดสอบ	RB/DB	ชิ้นส่วน	Tested Diamiter (mm)	Yield Stress (ksc)	Ultimate Stress (ksc)
1	MP-S1-SW1-1	RB	SW	9	3850	5068
2	MP-S2-SW1-1	RB	SW	9	3552	4392
3	MP-S2-SW2-1	RB	SW	9	3496	4442
4	MP-S3-SW1-1	RB	SW	9	3563	4878
5	MP-S3-SW2-1	RB	SW	9	3892	5338
6	MP-S4-SW1-1	RB	SW	9	3401	5142
7	MP-S4-SW2-1	RB	SW	9	3329	4475
8	MP-S5-SW2-1	RB	SW	9	3810	5450
9	MP-S5-GD1-1	RB	GD	9	3435	4353
10	MP-S5-GD2-1	RB	GD	9	3772	4748
11	MP-S5-GD3-1	RB	GD	9	3764	4453
12	MP-P4-CB-1	RB	CB	9	3552	4543
13	MP-P4-CB-2	RB	CB	9	3429	4220
14	MP-S5-GD4-1	RB	GD	9	3337	4171
15	MP-P4-PW-2	RB	PW	9	3813	4748
16	MP-P4-PW-3	RB	PW	12	3223	4892
17	MP-P4-PW-4	RB	PW	12	3227	4716
18	MP-S5-DP1-1	RB	DP	9	3225	4565
19	MP-S5-DP1-2	RB	DP	9	3154	4275
20	MP-S5-DP2-2	RB	DP	9	3358	5097
21	MP-S5-DP2-1	RB	DP	9	3581	4353
22	MP-P4-PW-1	RB	PW	25	2205	4268

### 7.5.5. สรุปผลทดสอบวัสดุสะพาน

ตารางที่ 7-8 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่า ชิ้นส่วนทางเท้า (SW), คานตามยาว (GD), ไตอะแฟรม (DP), คานรัดหัวเสา (CB), และกำแพงตอม่อ (Pier, PW) มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเท่ากับ 179, 148, 205, 223 และ 180 ksc ตามลำดับ

ตารางที่ 7-8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

Member	N	Avg (ksc)	SD (ksc)
Side Walk (SW)	8	179	39
Girder (GD)	4	148	19
Diaphragm (DP)	2	205	39
Cap beam (CB)	2	223	5
Pier wall (PW)	4	180	29

ตารางที่ 7-9 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่า ชิ้นส่วนทางเท้า (SW), คานตามยาว (GD), ไตอะแฟรม (DP), คานรัดหัวเสา (CB), และกำแพงตอม่อ (Pier, PW) มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดึงเท่ากับ 20.1, 20.4, 22.6, 25.7 และ 17.4 ksc ตามลำดับ

ตารางที่ 7-9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

Member	N	Avg (ksc)	SD (ksc)
Side Walk (SW)	8	20.1	7.0
Girder (GD)	4	20.4	5.8
Diaphragm (DP)	2	22.6	6.1
Cap beam (CB)	2	25.7	7.5
Pier wall (PW)	4	17.4	3.5

ตารางที่ 7-10 แสดงผลการทดสอบค่าความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันแยกตามประเภท  
 ชั้นส่วน ซึ่งพบว่า ชั้นส่วนทางเท้า (SW) พื้นสะพาน (DK) ไตอะแฟรม (DP) คานตามยาว (GD) คานรััด  
 หัวเสา (CB) และ เสาตอม่อ (P) มีค่าเฉลี่ยความลึกการเกิดคาร์บอนเนชันเท่ากับ 0.75, 0.25, 4.00, 3.25,  
 2.00 และ 2.75 cm ตามลำดับ ถ้าคาร์บอนเนชันเกิดลึกถึงชั้นเหล็กเสริม เหล็กเสริมสามารถเกิดสนิมได้  
 ซึ่งชั้นส่วนแต่ละประเภทอาจมีระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมไม่เท่ากัน และเมื่อพิจารณาความแปรปรวน  
 ของค่าที่ตรวจวัดได้ ชั้นส่วนทางเท้า (SW) พื้นสะพาน (DK) ไตอะแฟรม (DP) คานตามยาว (GD) คาน  
 รััดหัวเสา (CB) และ เสาตอม่อ (P) มีโอกาสที่ความลึกคาร์บอนเนชันจะเกิดลึกถึงชั้นเหล็กเสริมเท่ากับ  
 0.24%, 0.03%, 68.04%, 60.12%, 0% และ 4.57% ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่าปัจจุบัน ชั้นส่วน  
 ไตอะแฟรม (DP) มีโอกาสจะเกิดสนิมได้มากที่สุด 68.04% รองลงมาคือคานตามยาว (GD) มีโอกาสเกิด  
 60.12 %

ตารางที่ 7-10 ผลทดสอบความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน

Member	N	Avg (cm)	SD (cm)	Covering (cm)		Prob (depth > field covering) (%)
				Field (GPR)		
Side Walk (SW)	4	0.75	0.96	8.0		0.24%
Deck (DK)	4	0.25	0.50	8.0		0.03%
Diaphragm (DP)	2	4.00	1.41	3.1		68.04%
Girder (GD)	4	3.25	0.50	3.1		60.12%
Cap beam (CB)	2	2.00	0.00	5.1		-
Pier (PR)	4	2.75	0.96	5.1		4.57%

ตารางที่ 7-11 แสดงผลการทดสอบเหล็กกลม (RB) ของสะพานเมื่อนำข้อมูล จำนวน 22 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 3453 ksc ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 359 ksc

ตารางที่ 7-11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กกลม (RB)

Member	Yield Tensile Strength (ksc)			Ultimate Tensile Strength (ksc)		
	N	Avg	SD	N	Avg	SD
Cap beam (CB)	2	3490	87	2	4382	228
Diaphragm (DP)	4	3330	188	4	4573	371
Girder (GD)	4	3577	224	4	4431	241
Sidewalk (SW)	8	3612	213	8	4898	419
Pier wall (PW)	4	3117	668	4	4656	270
All	22	3453	359	22	4663	374

## 7.6 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานห้วยแม่โป่ง

ที่ปรึกษาได้ทำการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานห้วยแม่โป่ง ที่ช่วงความยาว 15 เมตร โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต (Static Test) การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบพลวัต (Dynamic Test) และการทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน (Normal Traffic Test) โดยรายละเอียดการดำเนินงานมีดังนี้

### 7.6.1. อุปกรณ์การตรวจวัด

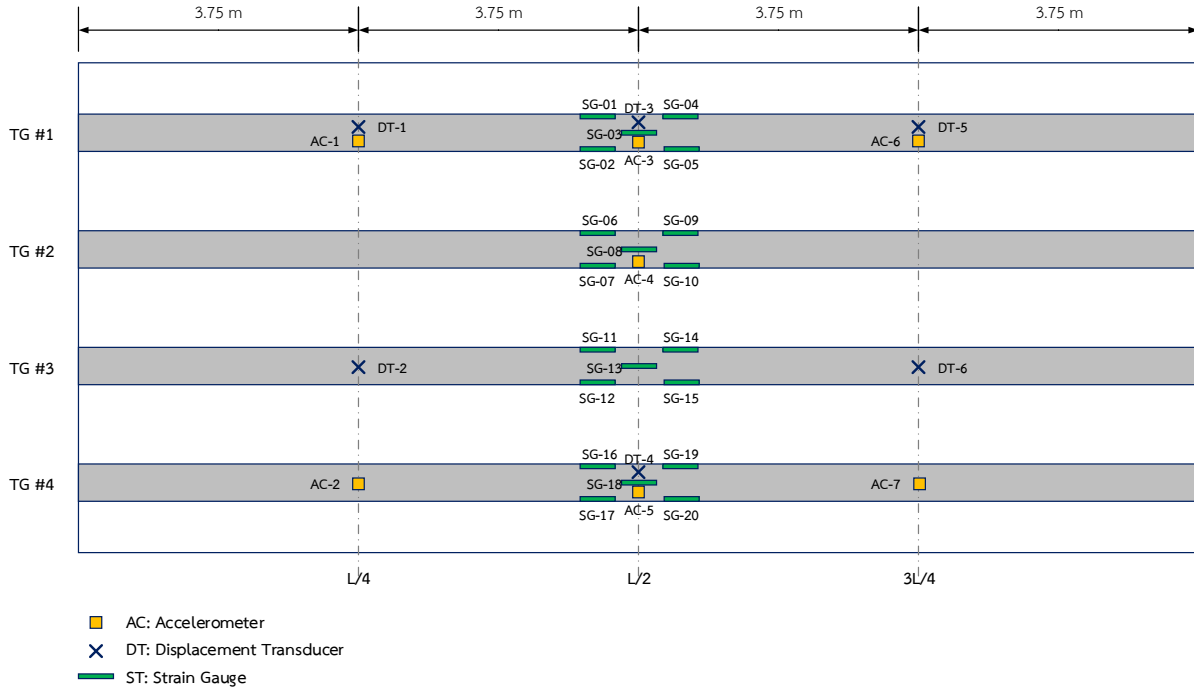
ที่ปรึกษาได้ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดพฤติกรรมของโครงสร้างสะพาน ประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด อุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนที่ และอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว รวมถึงอุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยมีจำนวนดังต่อไปนี้

#### ตารางที่ 7-12 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

ลำดับ	อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด	จำนวน
1	อุปกรณ์วัดความเครียด (Strain Gauge)	20
2	อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ (Displacement Transducer)	6
3	อุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว (Accelerometer)	7
4	อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Data Acquisition)	1
5	อุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop)	1

### 7.6.2. ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

ที่ปรึกษาได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสะพาน ซึ่งแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 7-13 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

สำหรับการดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสะพานของทางที่ปรึกษาแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 7-14 ภาพการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสะพาน

### 7.6.3. น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

ที่ปรึกษาได้ทดสอบพฤติกรรมกรรมการรับน้ำหนักของสะพานภายใต้สภาวะควบคุม โดยใช้รถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 2 คัน โดยมีรายละเอียดระยะเพลารถและน้ำหนักบรรทุกดังนี้

ตารางที่ 7-13 น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

คันที่	1	2
ประเภท	รถบรรทุก (81-4049)	รถบรรทุก (81-3369)
น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	26.56	26.34
ระยะเพลาคี่ 1 ถึง 2 (a, เมตร)	4.13	4.10
ระยะเพลาคี่ 2 ถึง 3 (b, เมตร)	1.35	1.30
ความกว้างฐานล้อ (c, เมตร)	1.90	1.85

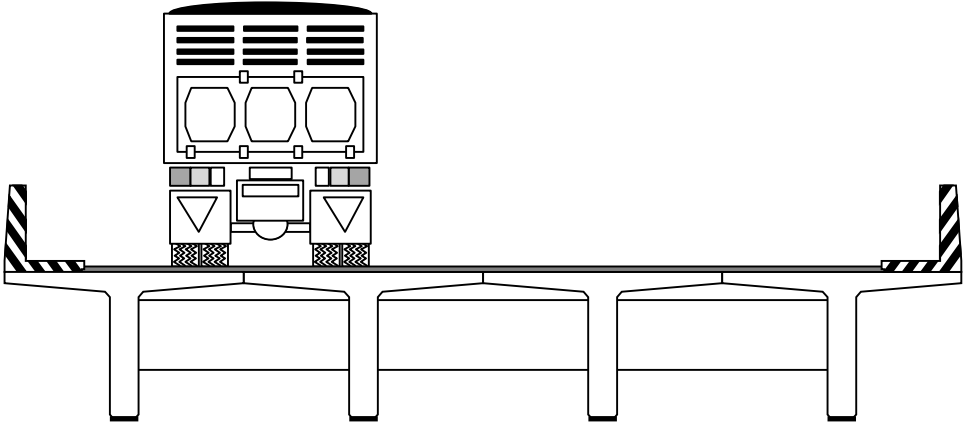
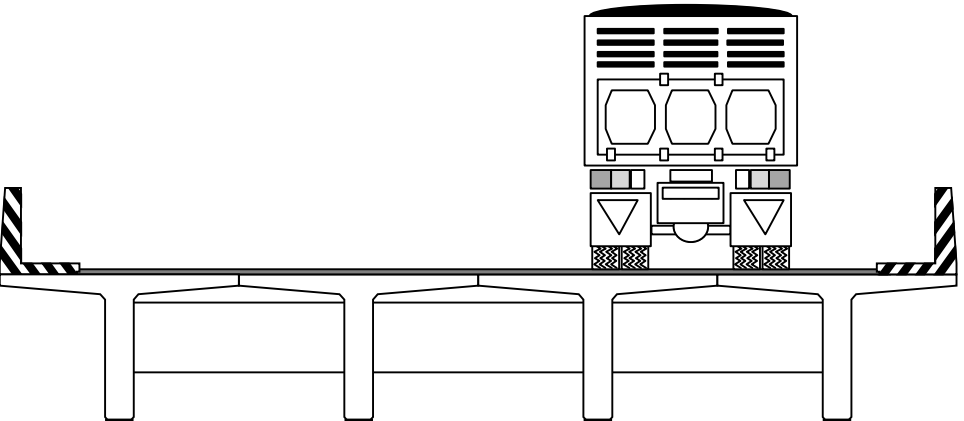
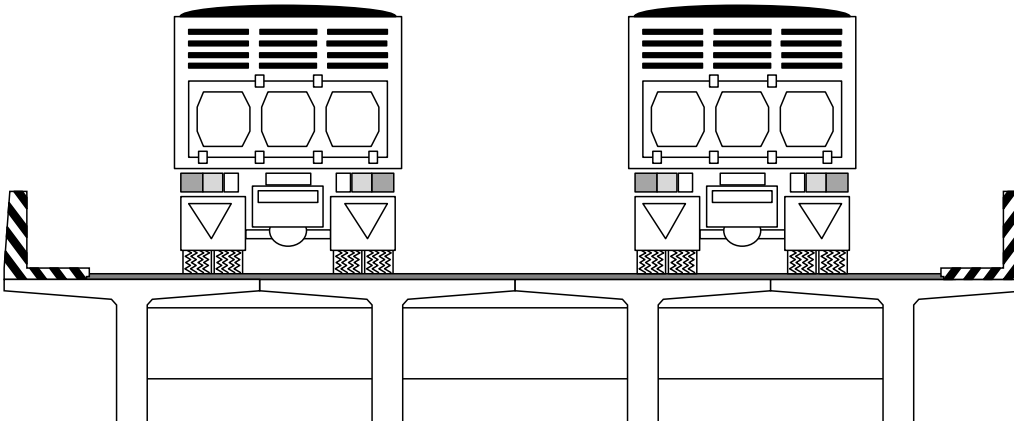
  

### 7.6.4. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต

การทดสอบแบบสถิต (Static Test) เป็นการนำรถบรรทุกทดสอบจอดตามตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนด 3 รูปแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

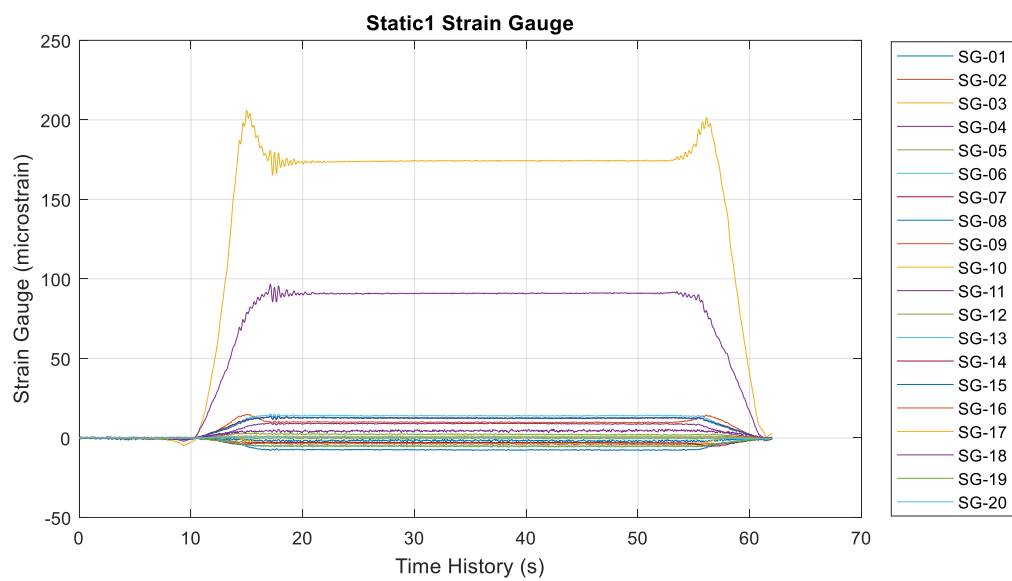
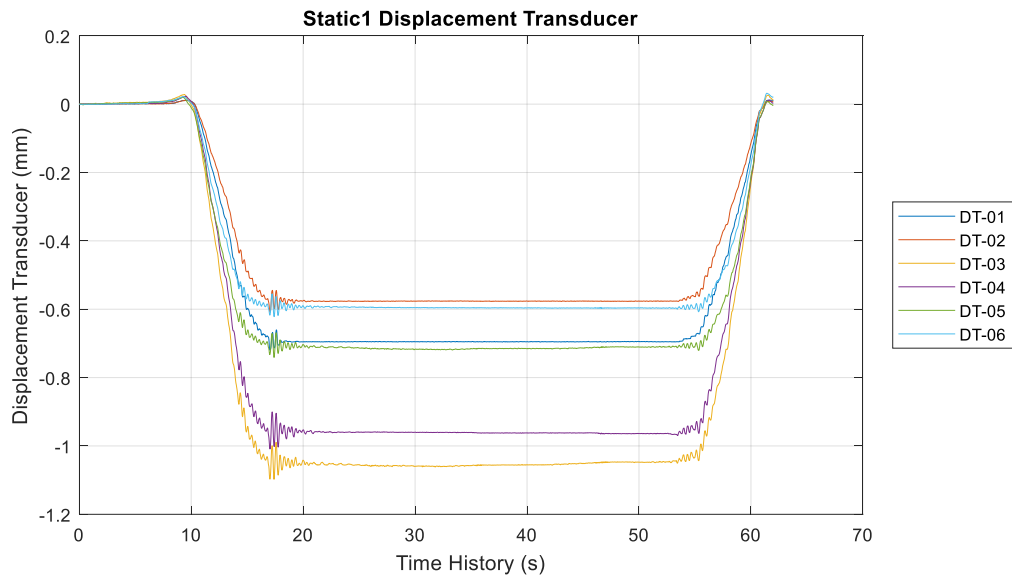
- Static 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง  $L/2$  ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางซ้าย
- Static 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง  $L/2$  ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางขวา
- Static 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน จอดเรียงกันที่ตำแหน่ง  $L/2$  ของความยาวช่วง ทั้งสองช่องจราจร

ตารางที่ 7-14 รูปแบบการทดสอบแบบสถิต ด้วยรถบรรทุกน้ำหนัก

Case	Pattern
Static 1	
Static 2	
Static 3	

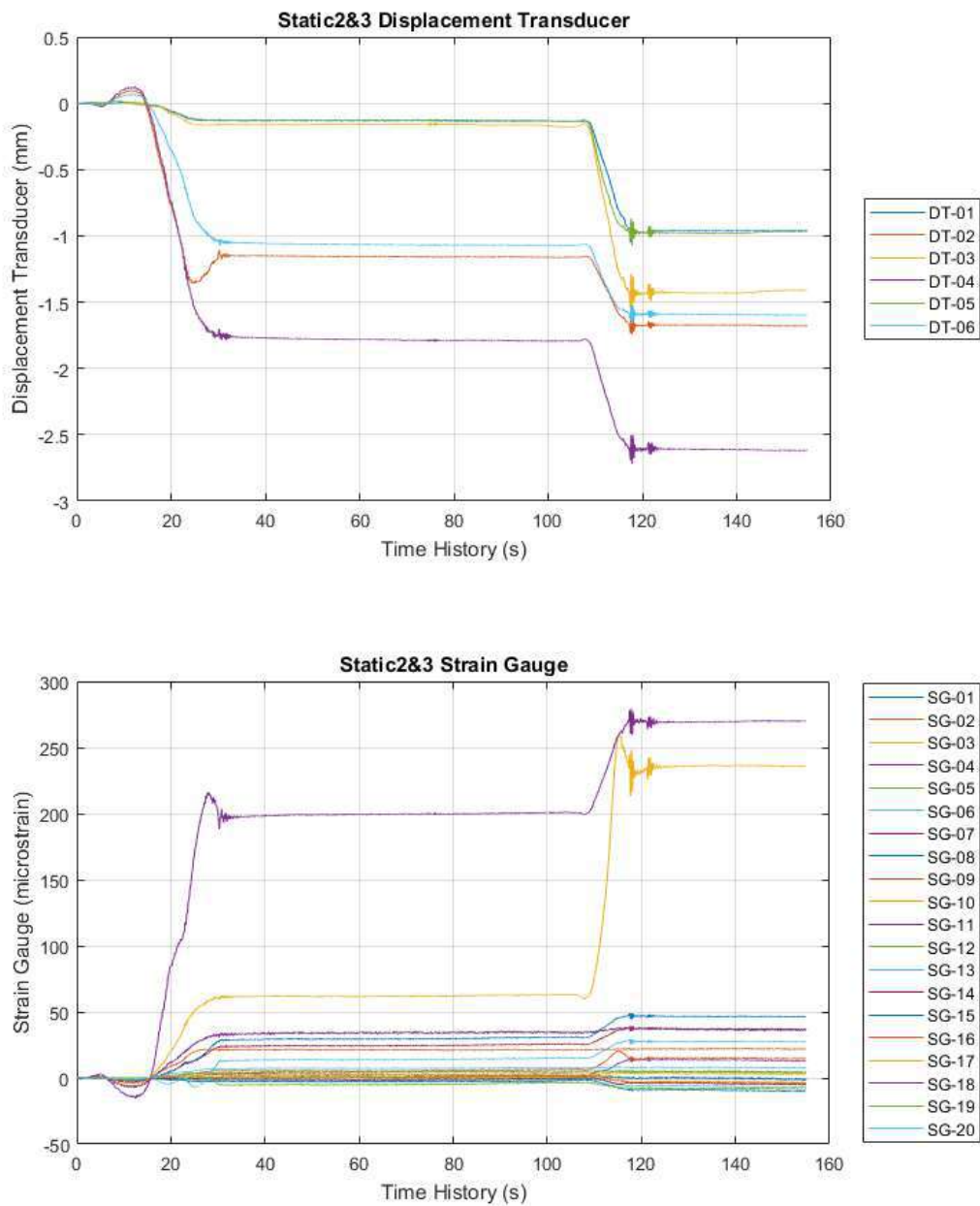


รูปที่ 7-15 ภาพการทดสอบแบบสถิต



รูปที่ 7-16 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 1

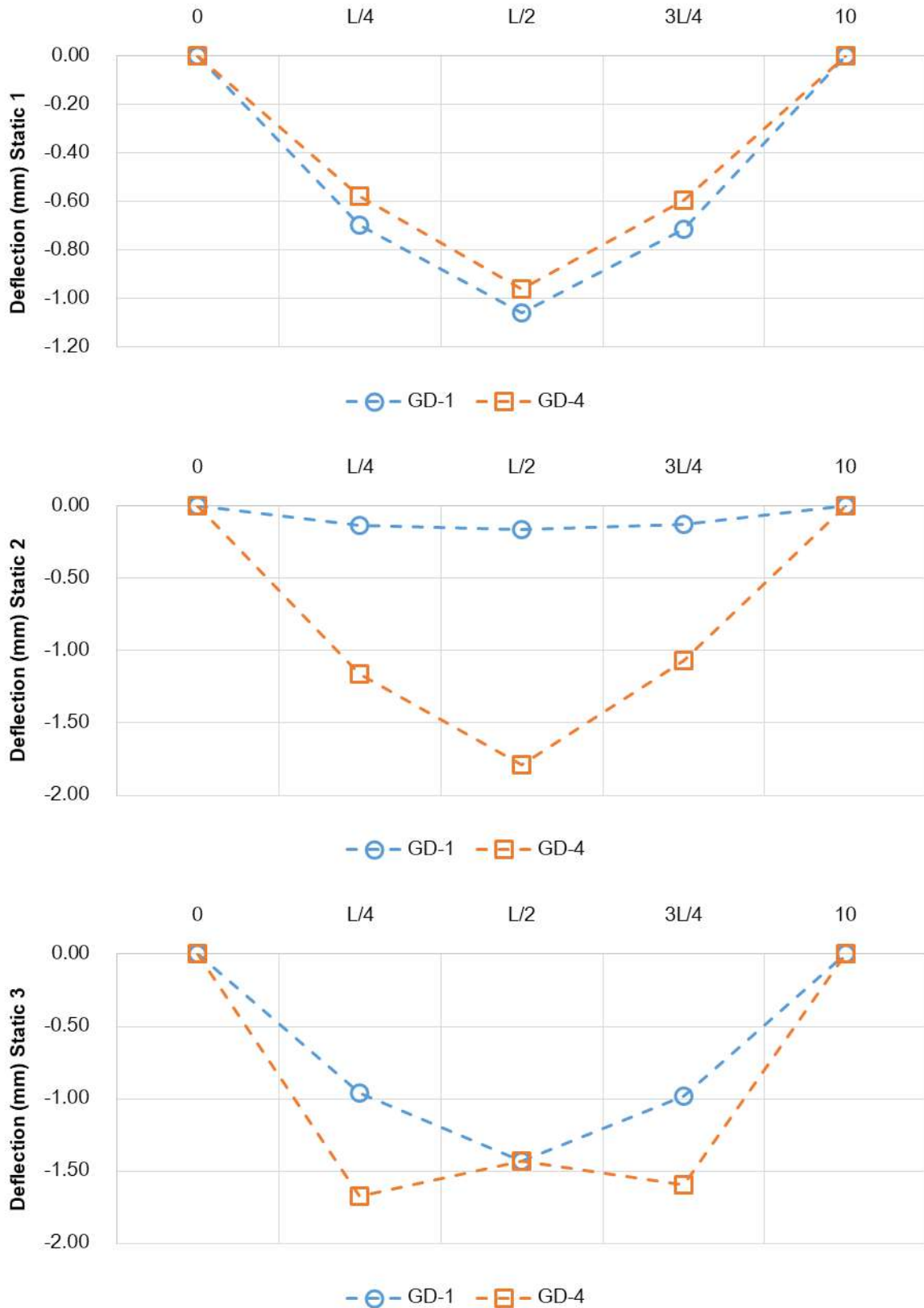




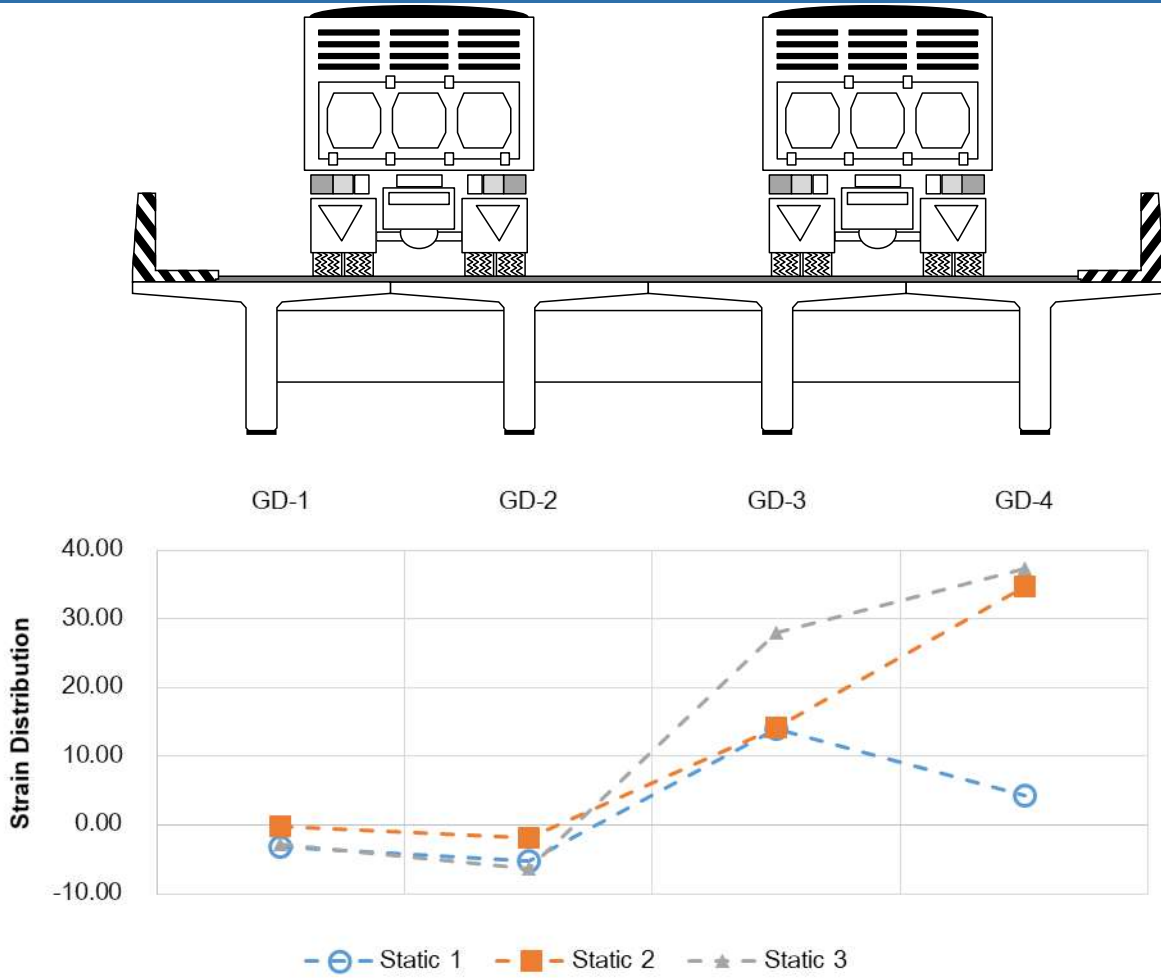
รูปที่ 7-17 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 2 และ Static 3

**ตารางที่ 7-15 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานแบบสถิต**

Sensor	Position L/2		
	Static 1	Static 2	Static 3
DT 01	-0.695	-0.134	-0.962
DT 02	-0.576	-1.161	-1.672
DT 03	-1.058	-0.161	-1.432
DT 04	-0.960	-1.789	-2.613
DT 05	-0.715	-0.128	-0.980
DT 06	-0.596	-1.069	-1.595
SG 01	-1.708	1.469	0.544
SG 02	-3.948	1.585	-2.792
SG 03	-3.273	-0.121	-2.821
SG 04	9.033	2.710	13.623
SG 05	2.469	0.290	4.279
SG 06	-5.163	-1.844	-6.429
SG 07	-3.098	-1.156	-4.390
SG 08	-7.540	-2.588	-9.375
SG 09	9.740	5.508	15.158
SG 10	174.319	62.069	236.458
SG 11	90.777	199.806	269.715
SG 12	-5.358	-4.469	-7.615
SG 13	13.969	14.196	27.921
SG 14	12.373	24.598	37.217
SG 15	12.375	29.844	46.583
SG 16	0.783	21.035	21.963
SG 17	0.975	2.740	2.981
SG 18	4.285	34.769	37.390
SG 19	-0.115	5.033	5.531
SG 20	0.344	7.358	7.719



รูปที่ 7-18 พฤติกรรมการแอ่นตัวของคานตัวที่ 1 และตัวที่ 3



รูปที่ 7-19 พฤติกรรมการกระจายแรงตามขวางของสะพาน

### 7.6.5. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบพลวัต

การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Test) เป็นการทดสอบโดยใช้รถบรรทุกวิ่งผ่านช่วงสะพานทดสอบหลายรูปแบบโดยมีรายละเอียดดังนี้

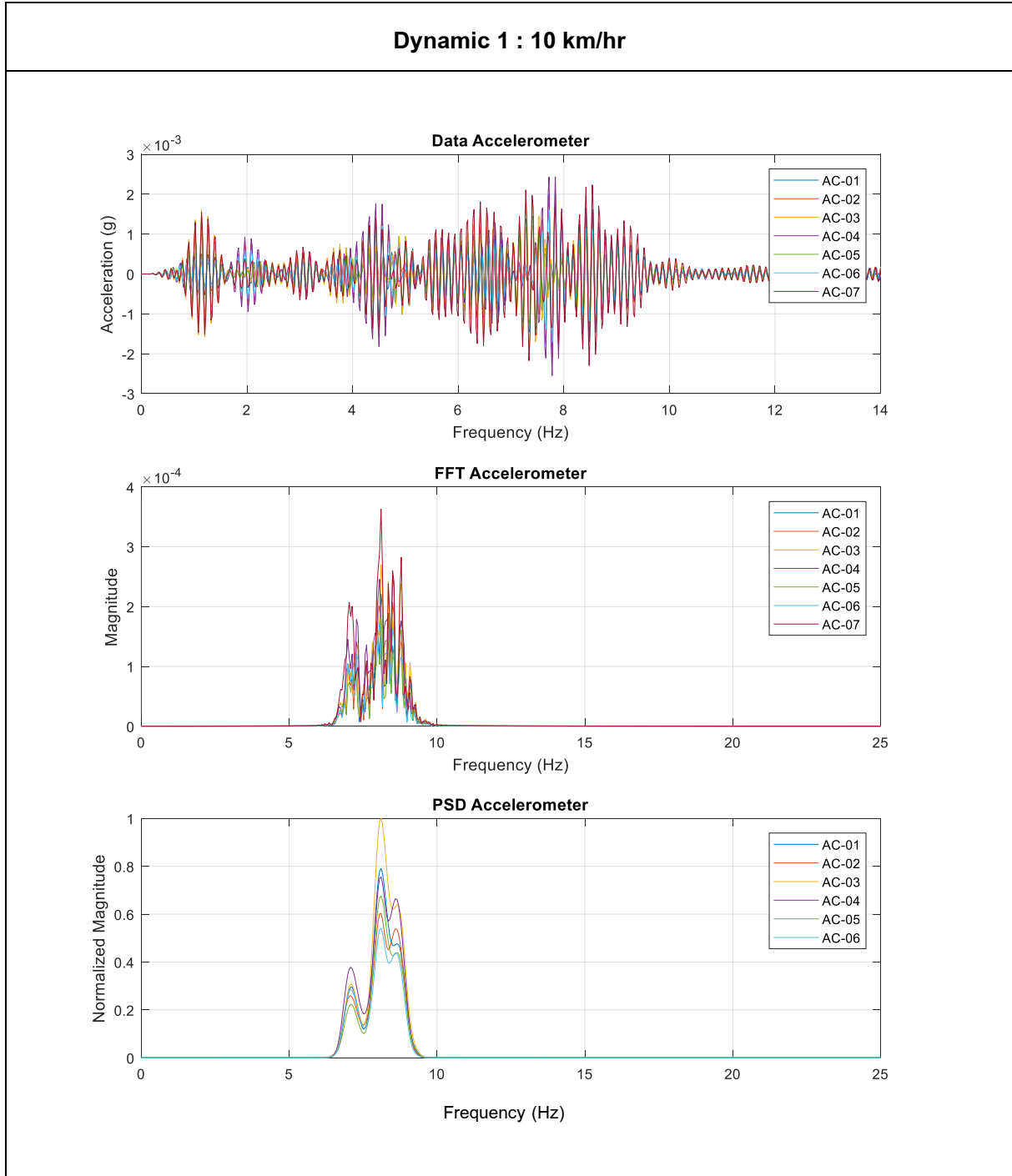
- Dynamic 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 10 กม./ชม. กึ่งกลางสะพาน
- Dynamic 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. กึ่งกลางสะพาน
- Dynamic 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. กึ่งกลางสะพาน





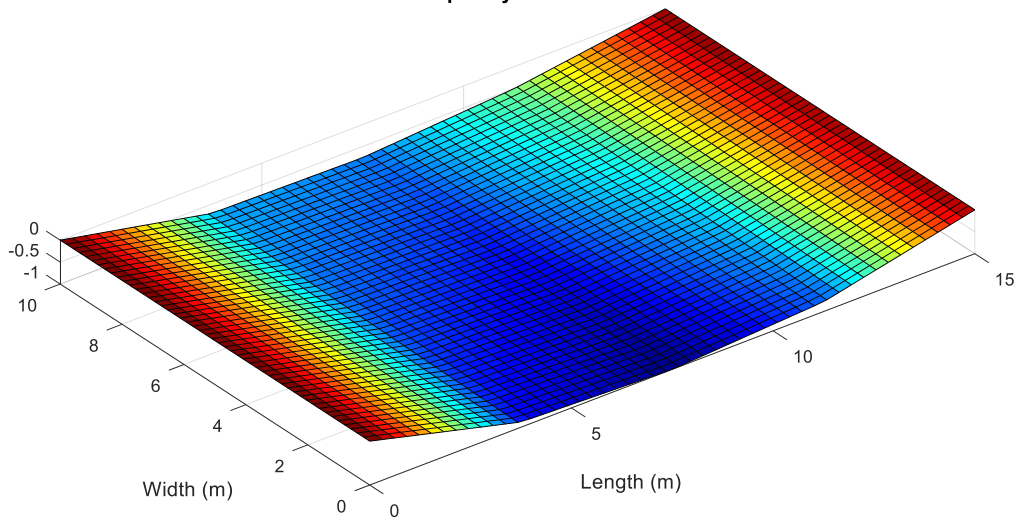
รูปที่ 7-20 ภาพการทดสอบแบบพลวัต

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

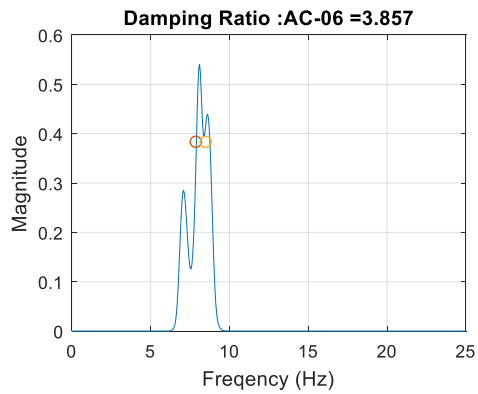
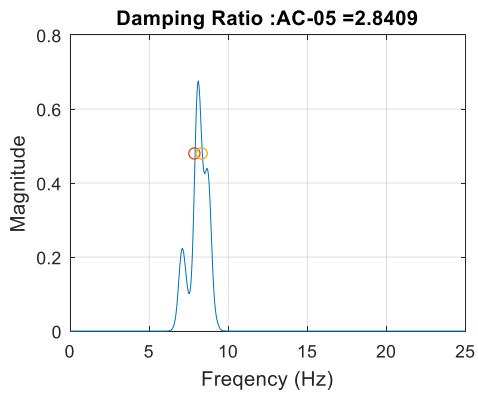
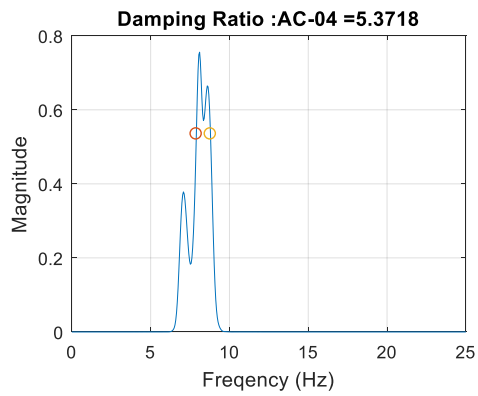
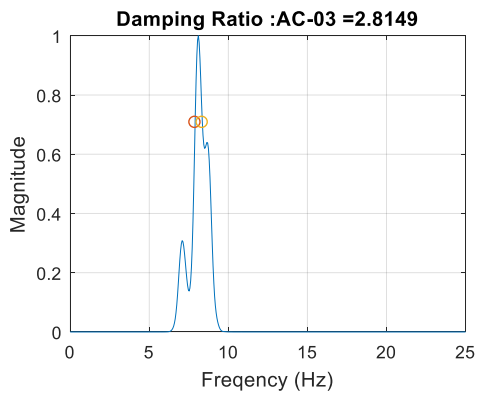
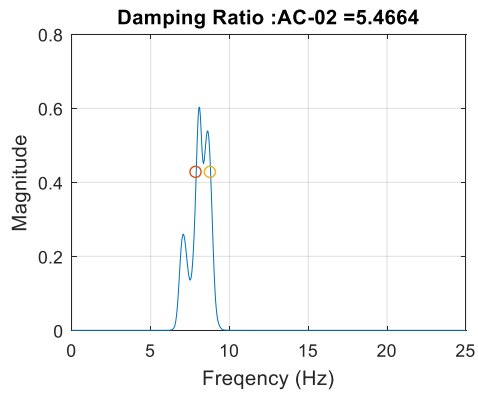
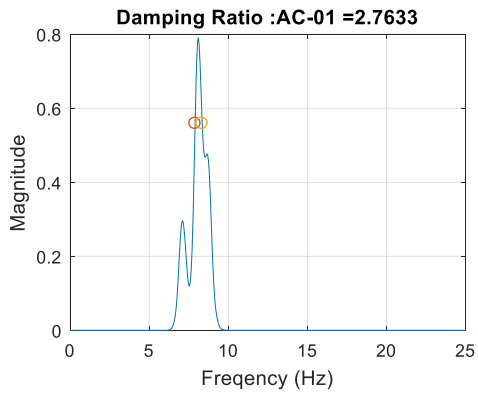


**Dynamic 1 : 10 km/hr**

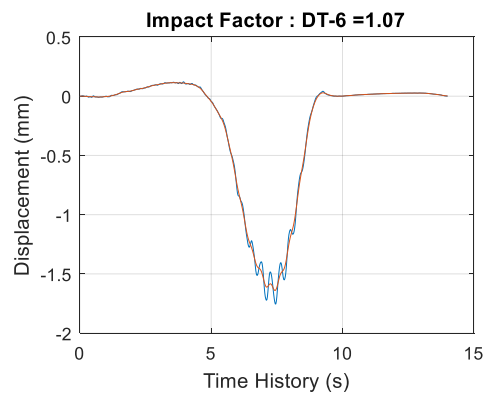
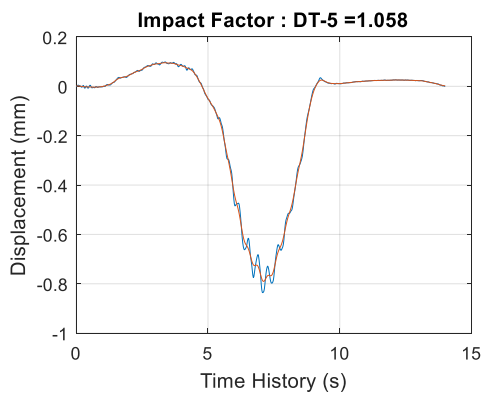
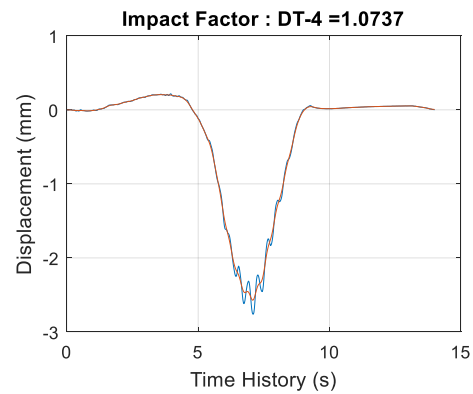
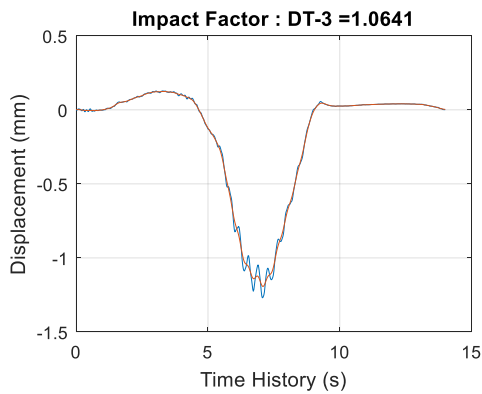
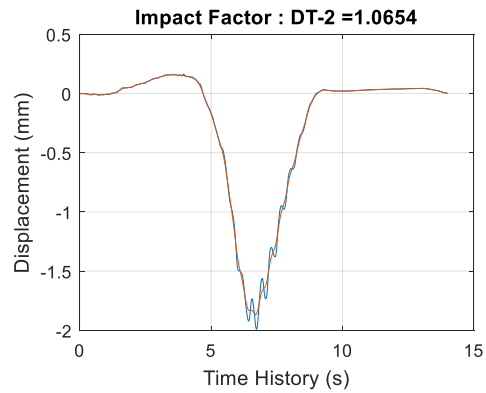
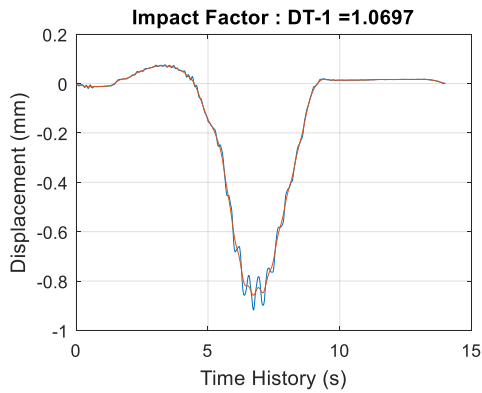
Frequency = 8.1055 Hz



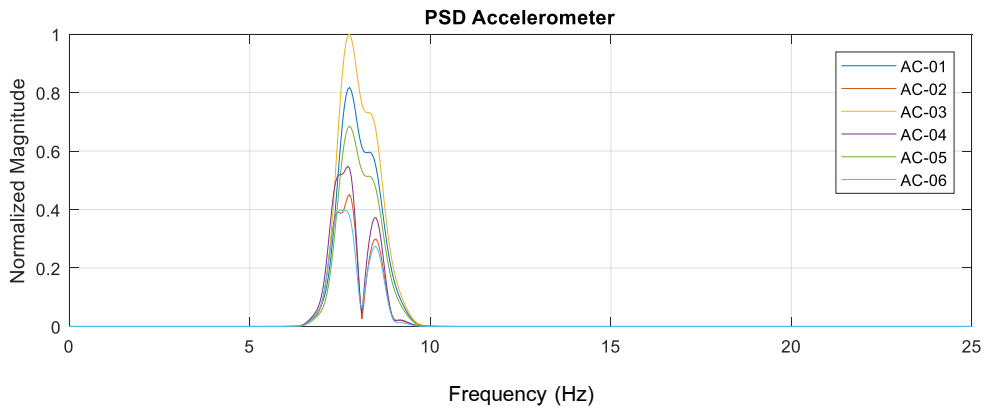
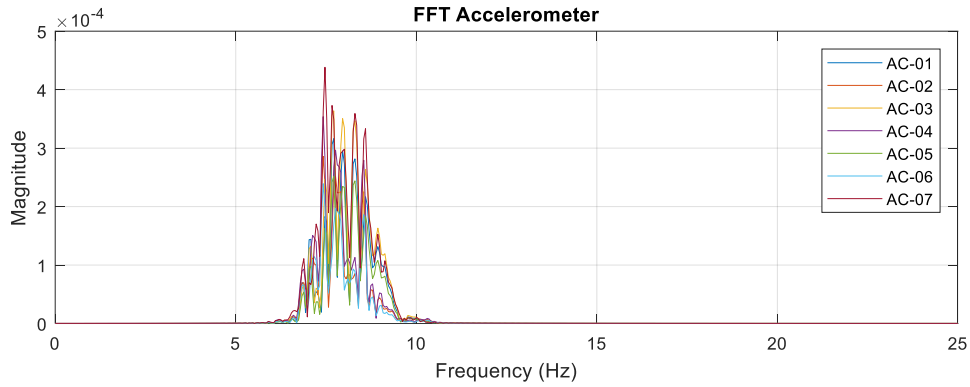
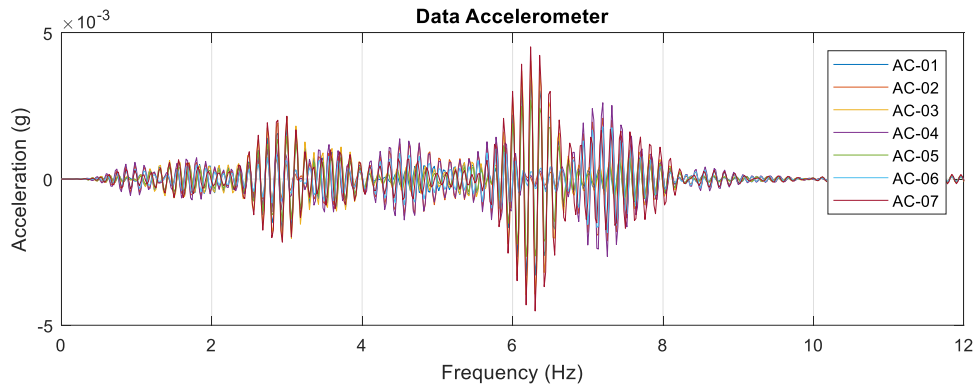
### Dynamic 1 : 10 km/hr



### Dynamic 1 : 10 km/hr

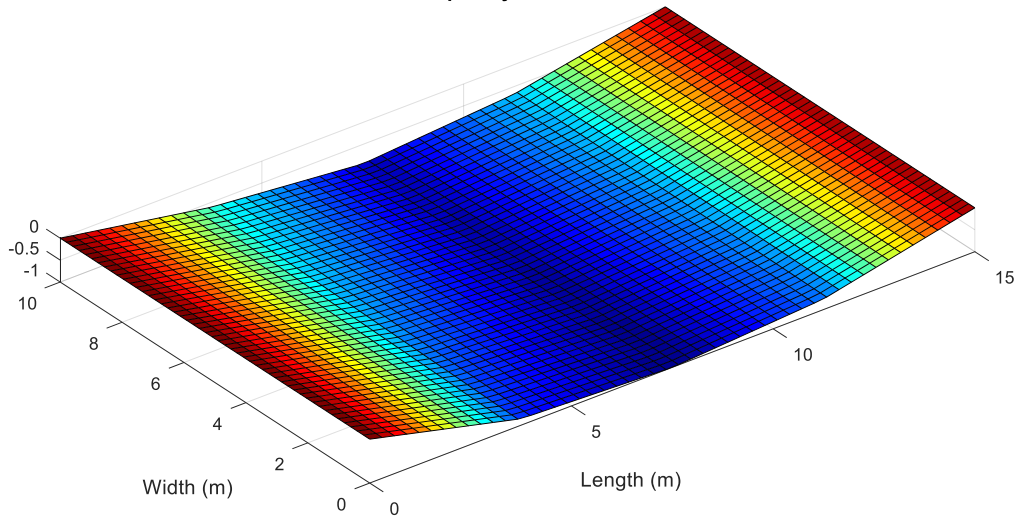


### Dynamic 2 : 20 km/hr

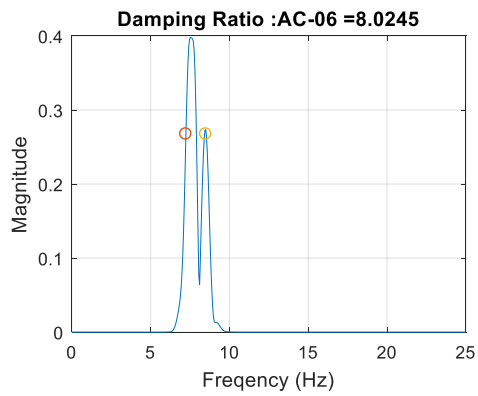
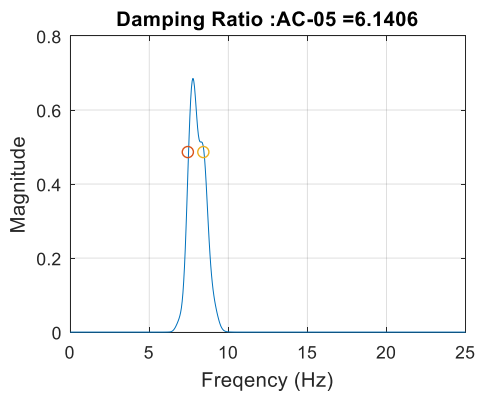
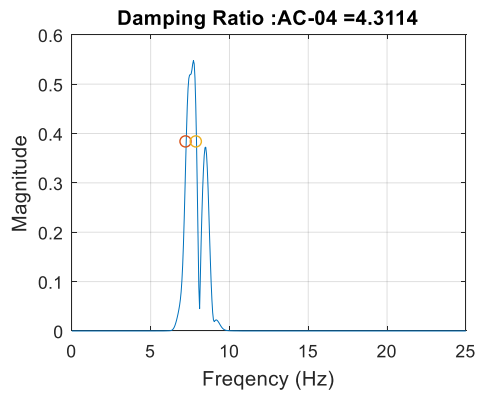
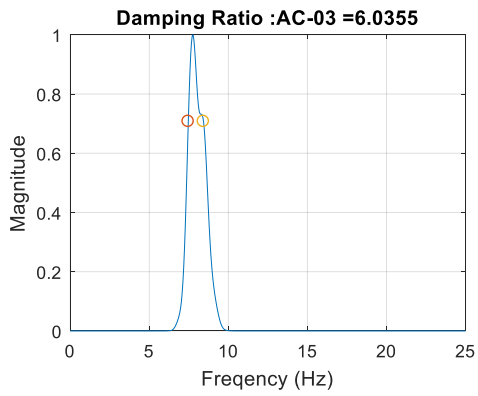
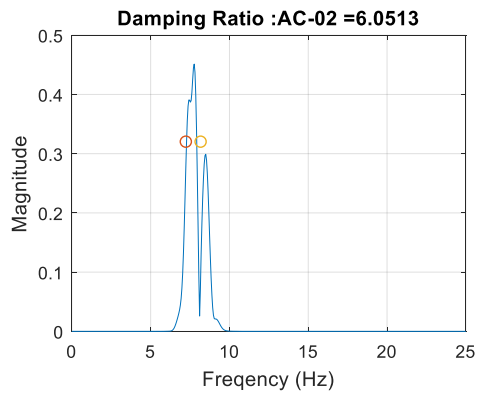
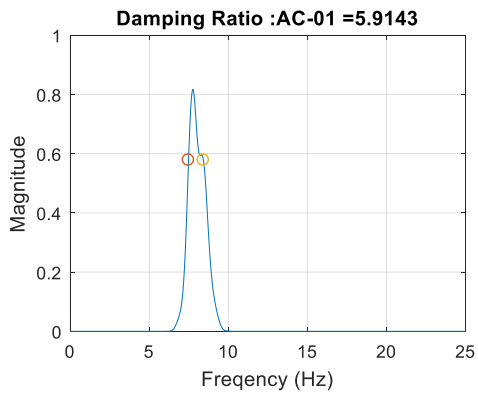


**Dynamic 2 : 20 km/hr**

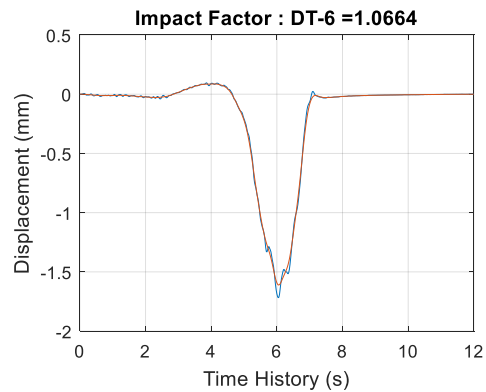
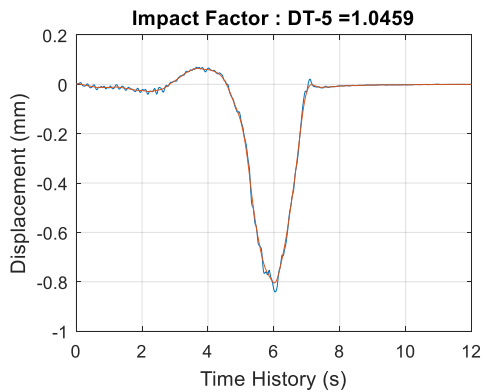
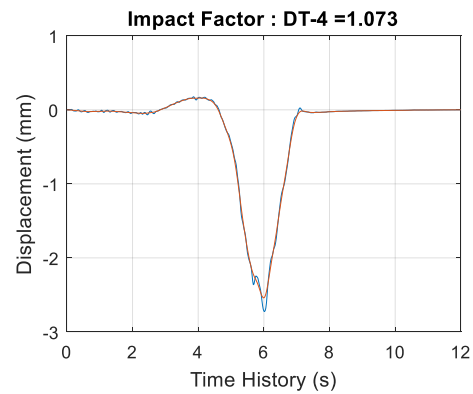
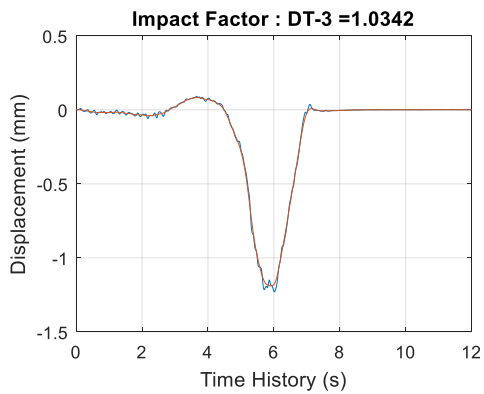
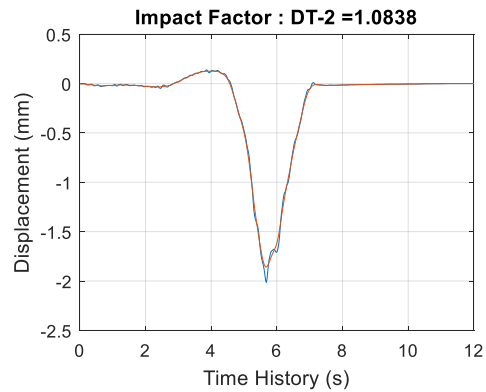
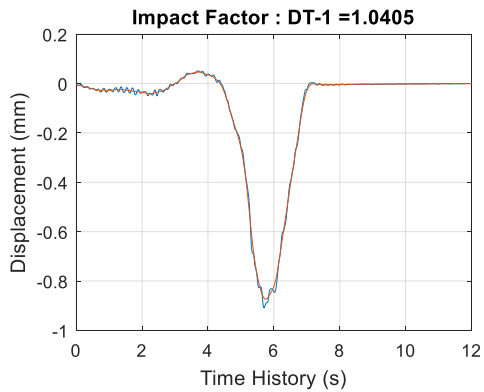
Frequency =7.7637 Hz



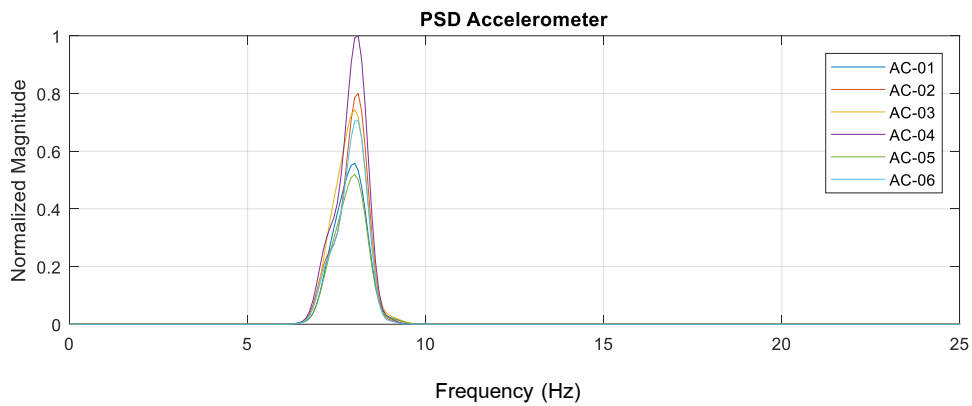
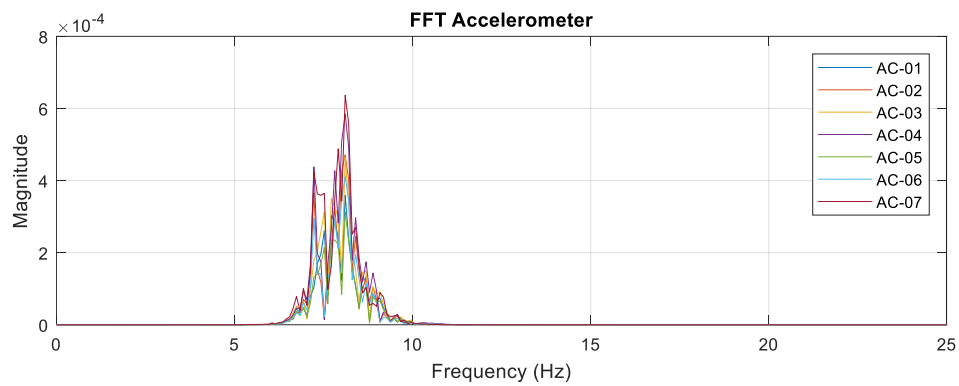
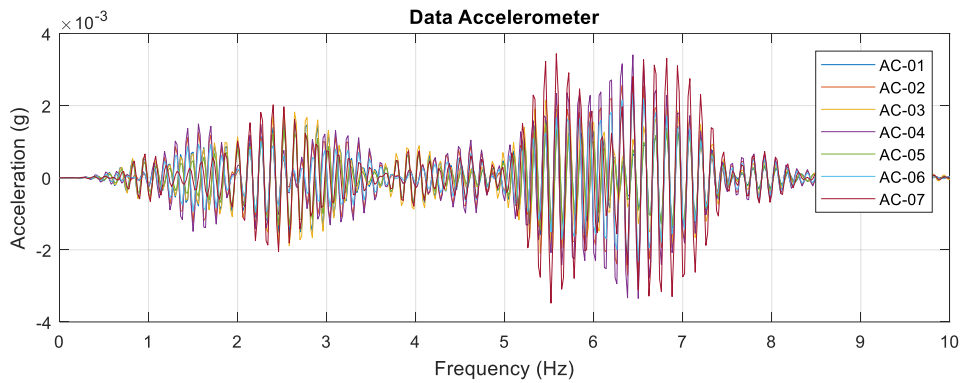
**Dynamic 2 : 20 km/hr**



### Dynamic 2 : 20 km/hr

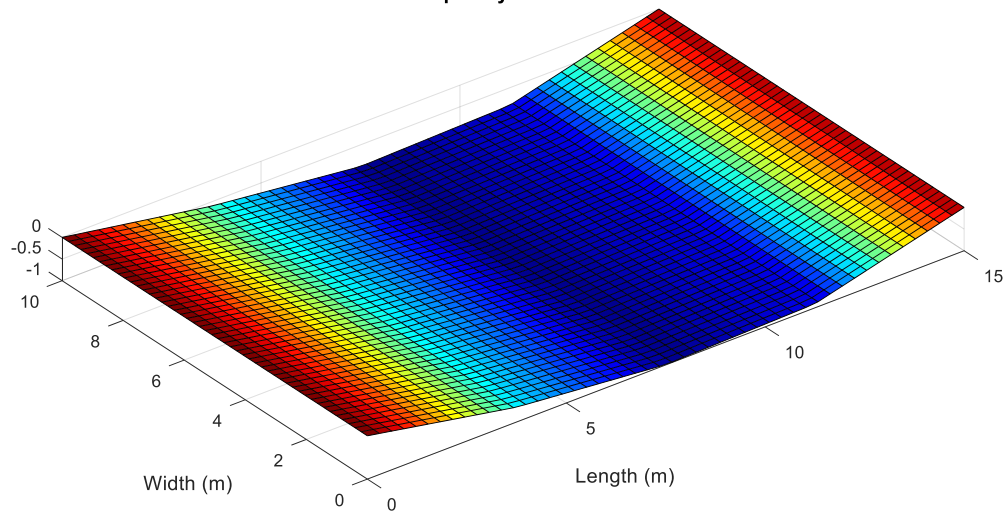


### Dynamic 3 : 40 km/hr

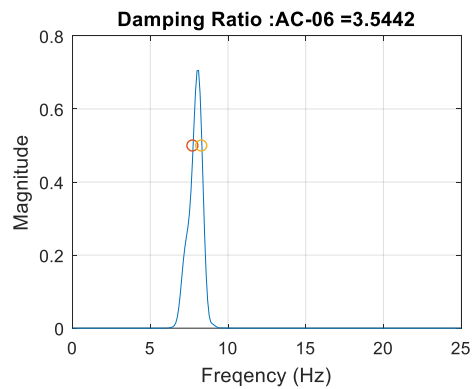
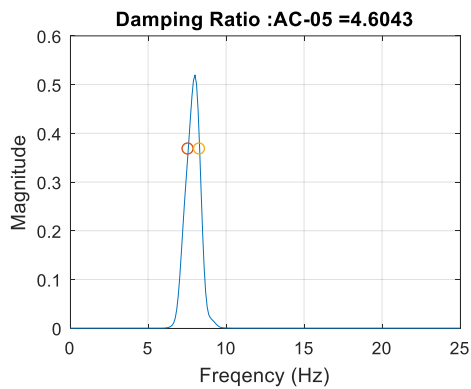
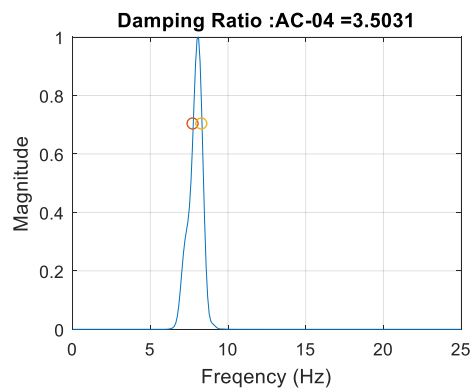
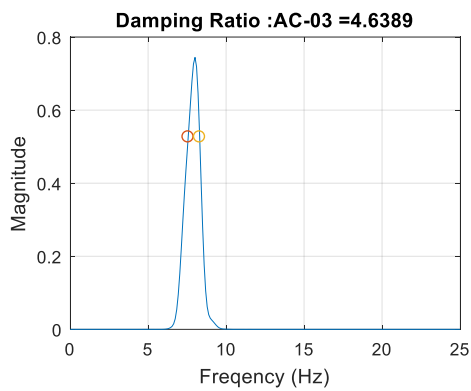
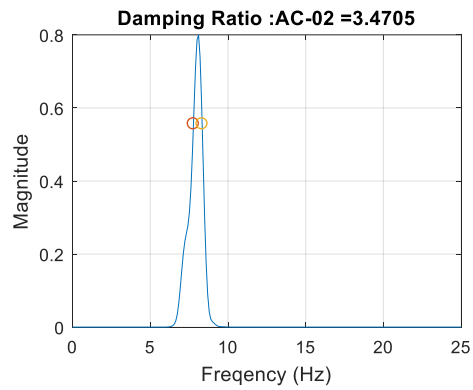
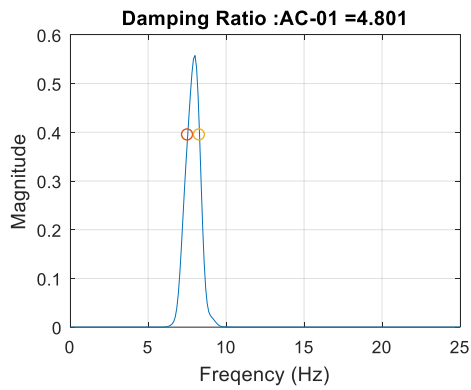


**Dynamic 3 : 40 km/hr**

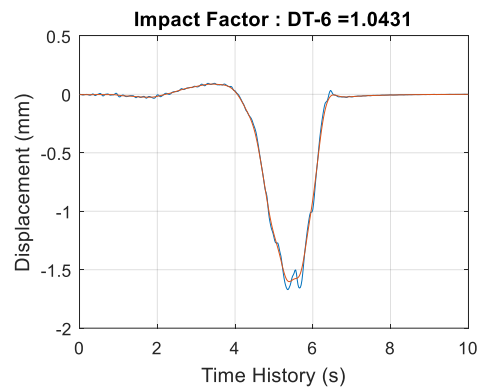
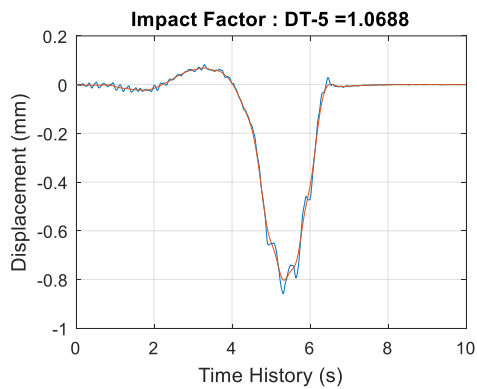
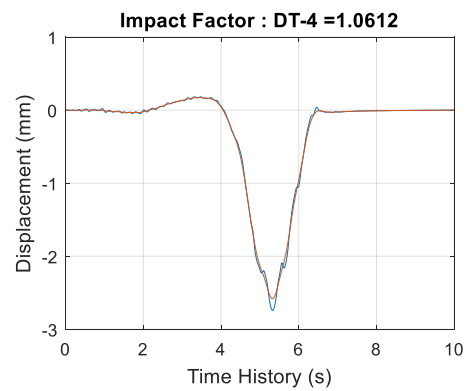
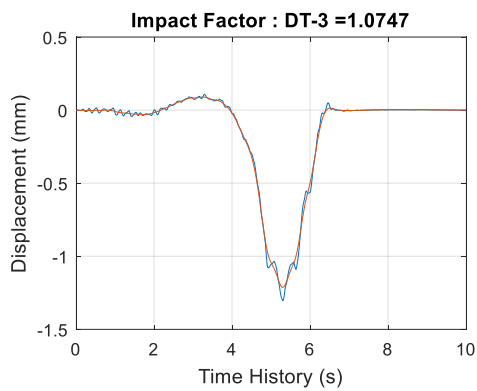
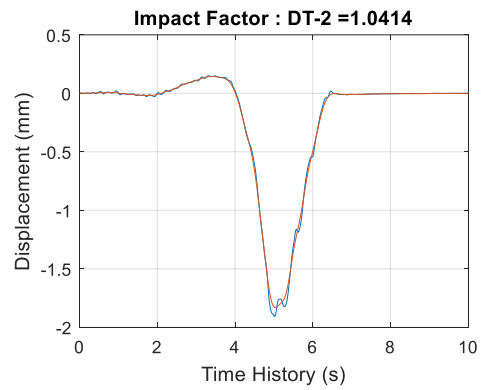
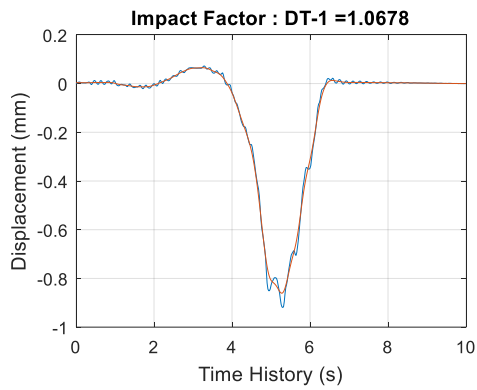
Frequency = 8.0078 Hz



### Dynamic 3 : 40 km/hr



### Dynamic 3 : 40 km/hr



**ตารางที่ 7-16 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	8.106	1st Bending	2.763	5.466	2.815	5.372	2.841	3.857	3.852
Dynamic 2	7.764	1st Bending	5.914	6.051	6.036	4.311	6.141	8.025	6.080
Dynamic 3	8.008	1st Bending	4.801	3.471	4.639	3.503	4.604	3.544	4.094

**ตารางที่ 7-17 ผลการวิเคราะห์ Impact Factor**

Sensor	Impact Factor						
	DT 01	DT 02	DT 03	DT 04	DT 05	DT 06	Average
Dynamic 1	1.070	1.065	1.064	1.074	1.058	1.07	1.067
Dynamic 2	1.041	1.084	1.034	1.073	1.046	1.066	1.057
Dynamic 3	1.068	1.041	1.075	1.061	1.069	1.043	1.060

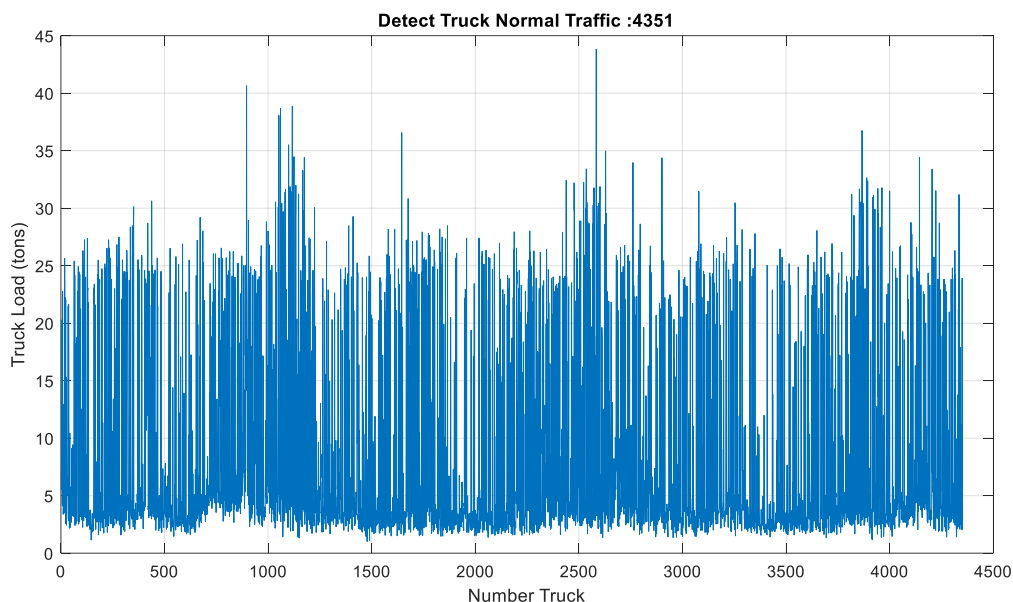
**7.6.6. การทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน**

ที่ปรึกษาได้ทำการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge บริเวณใต้ท้องคานแต่ละคาน (โดยเฉลี่ยค่า Strain Gauge ทั้ง 5 ตัวที่ติดตั้งในแต่ละคาน) กับน้ำหนักบรรทุกจากการทดสอบแบบ Static Load Test ซึ่งมีค่าแสดงได้ดังตารางที่ 7-18

**ตารางที่ 7-18 การสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบ**

Sensor	Strain Gauge (microstrain)		
	Static 1	Static 2	Static 3
AVG SG at GD01	0.515	1.187	2.567
AVG SG at GD02	33.652	12.398	46.284
AVG SG at GD03	24.827	52.795	74.764
AVG SG at GD04	1.254	14.187	15.117
SUM	60.248	80.566	138.732
Truck Load (tons)	25	25	50

จากนั้นใช้ผลการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge ในการประมาณการน้ำหนักบรรทุก  
จากผลการตรวจวัดค่าผลรวมของ Strain Gauge ภายใต้การจราจรปกติเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งได้ผลแสดง  
ดังรูปที่ 7-21

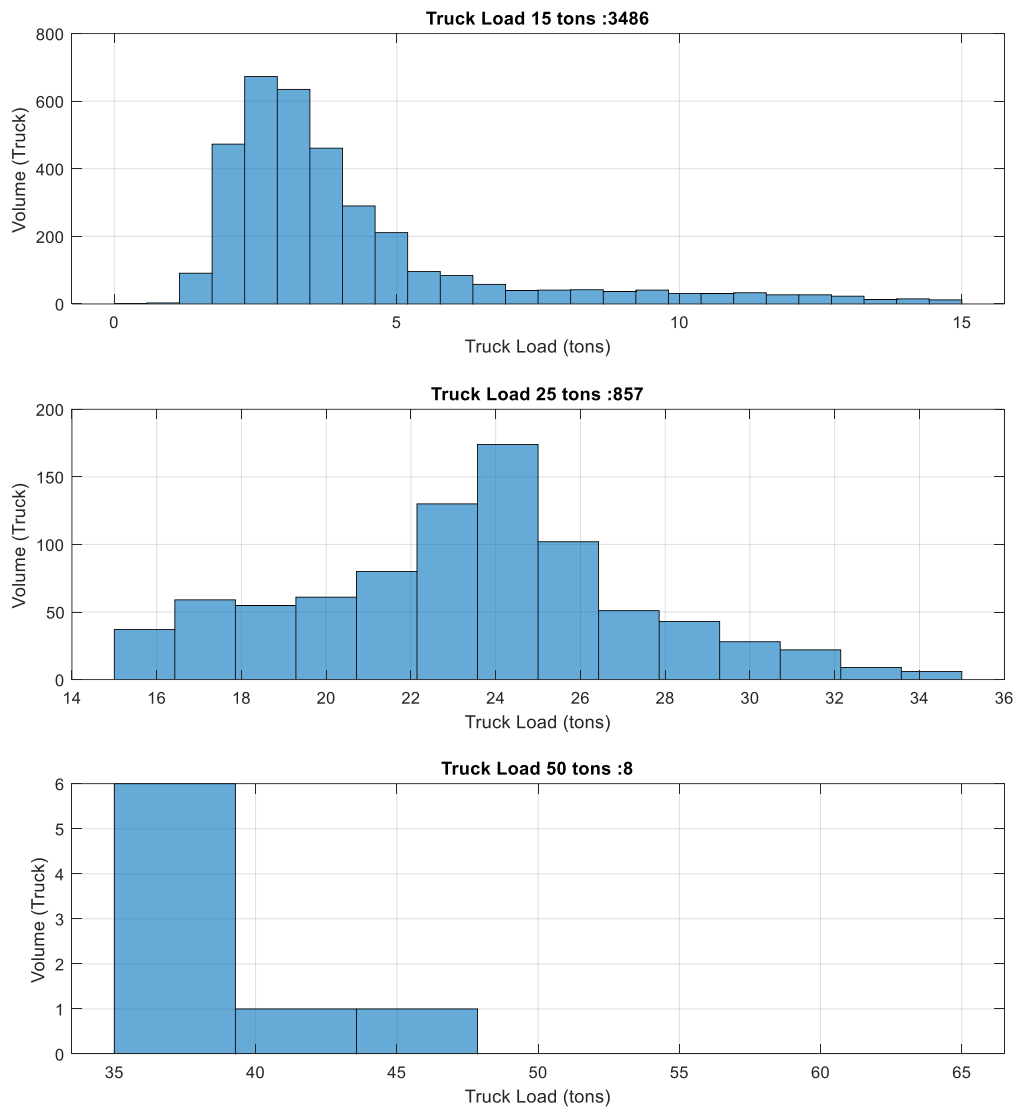


รูปที่ 7-21 ผลการสอบเทียบค่า Strain Gauge เพื่อประเมินน้ำหนักบรรทุก

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)

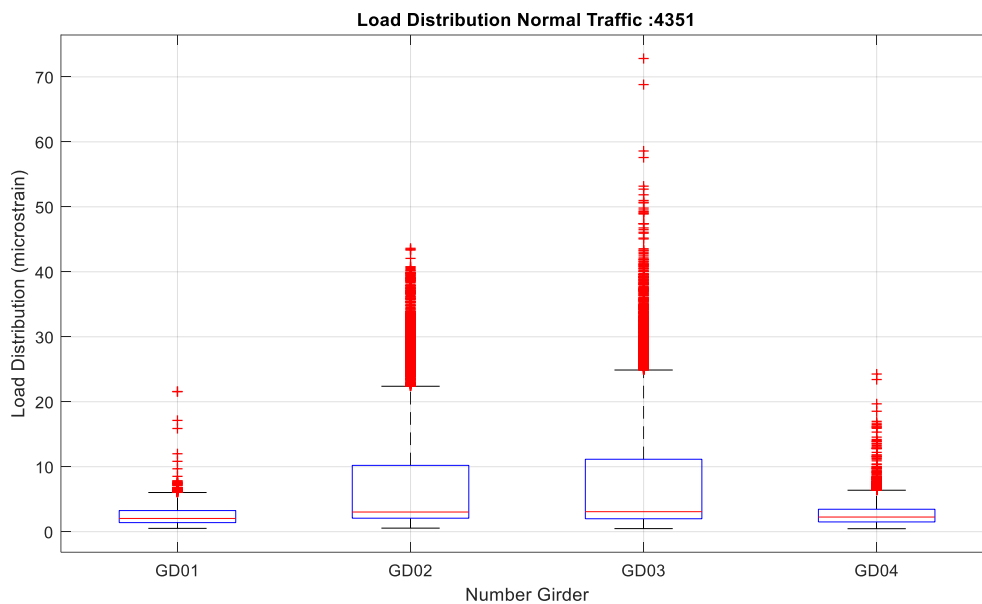
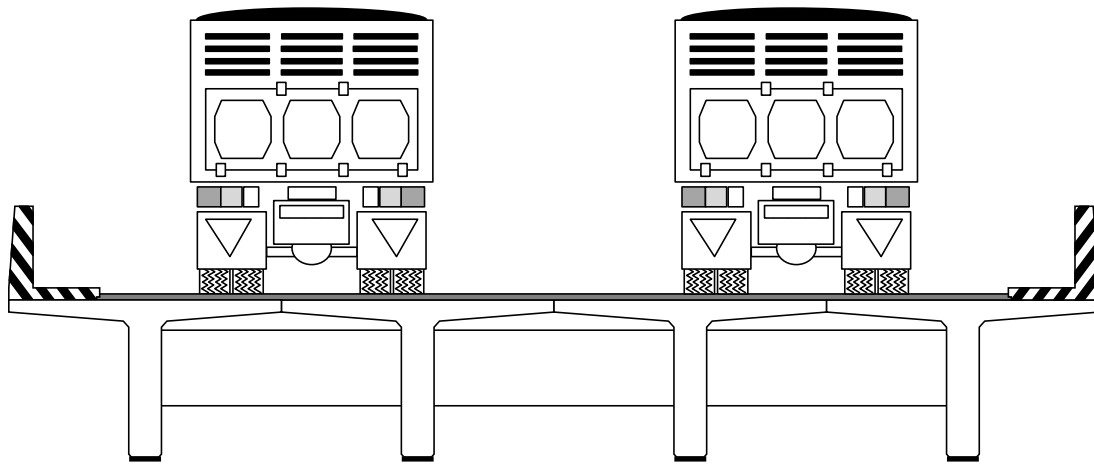
เมื่อนำผลการสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกของแต่ละกลุ่มน้ำหนักมาหาค่าทางสถิติของข้อมูล  
สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 7-22



Group Truck	Truck 15 (tons)	Truck 25 (tons)	Truck 50 (tons)
Volume (trucks)	3,486	857	8
%Volume	80.12%	19.7%	0.18%
Mean (tons)	4.158	23.348	38.612
Std (tons)	2.565	3.972	2.645

รูปที่ 7-22 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักบรรทุกทุกภายใต้สภาวะใช้งาน

และเมื่อนำค่า strain ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละคานมาพล็อต (box plot) จะได้ผลการกระจายแรงลงสะพานตามแนวขวางดังแสดงในรูปที่ 7-23



รูปที่ 7-23 การกระจายน้ำหนักในโครงสร้างคาน

## บทที่ 8 สะพานข้ามคลองบางมัน

### 8.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานข้ามคลองบางมัน (Tested Span: 15 m)

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



รูปที่ 8-1 รูปทั่วไปของสะพานข้ามคลองบางมัน

## 8.2 ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน

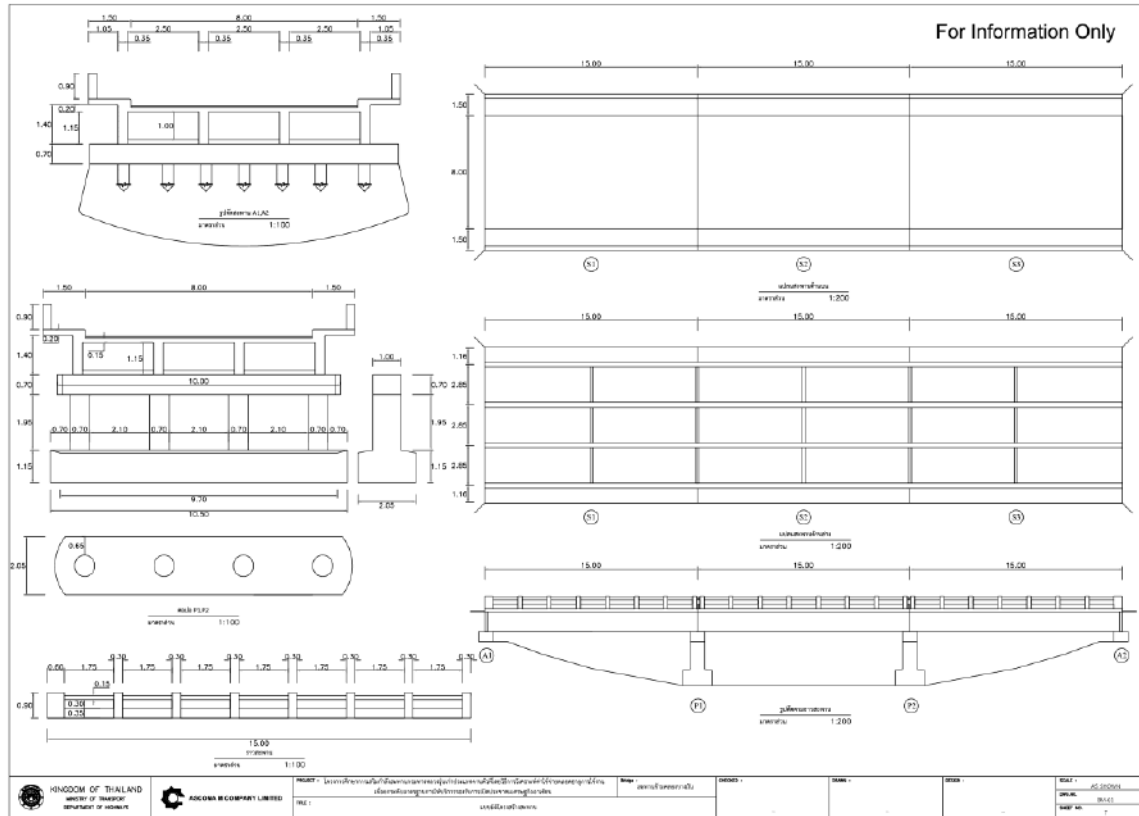
### 8.2.1. การสำรวจมิติสะพาน

การสำรวจมิติของสะพานกระทำโดยถ่ายภาพสะพานในบริเวณต่าง ๆ ทั้งด้านบนและด้านล่าง และใช้เครื่องมือวัดระยะประเภทต่าง ๆ เช่น ตลับเมตร เทปวัด และเลเซอร์วัดระยะทาง ในการตรวจวัดขนาดชิ้นส่วนและมิติต่าง ๆ ของสะพาน ดังตัวอย่างการสำรวจมิติสะพานที่แสดงในรูปที่ 8-2 ในกรณีที่ชิ้นส่วนโครงสร้างมีขนาดใหญ่มากหรืออยู่สูงมาก จะใช้นั่งร้านเพื่อช่วยในการเข้าถึงชิ้นส่วนนั้น ๆ ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจมิติของสะพานในบริเวณต่าง ๆ ได้แสดงดังรูปที่ 8-3



รูปที่ 8-2 การตรวจวัดมิติของสะพาน (ทั่วไป)

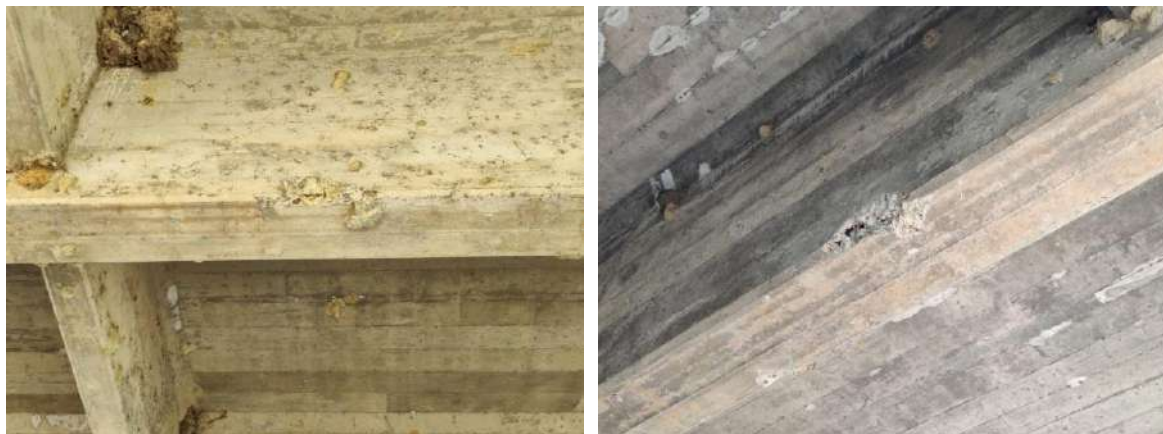




รูปที่ 8-3 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจมิติของสะพานโดยรวม  
 (แบบทั้งหมดขนาด A3 แสดงในแบบสำรวจสะพาน)

## 8.2.2. การสำรวจความเสียหายสะพาน

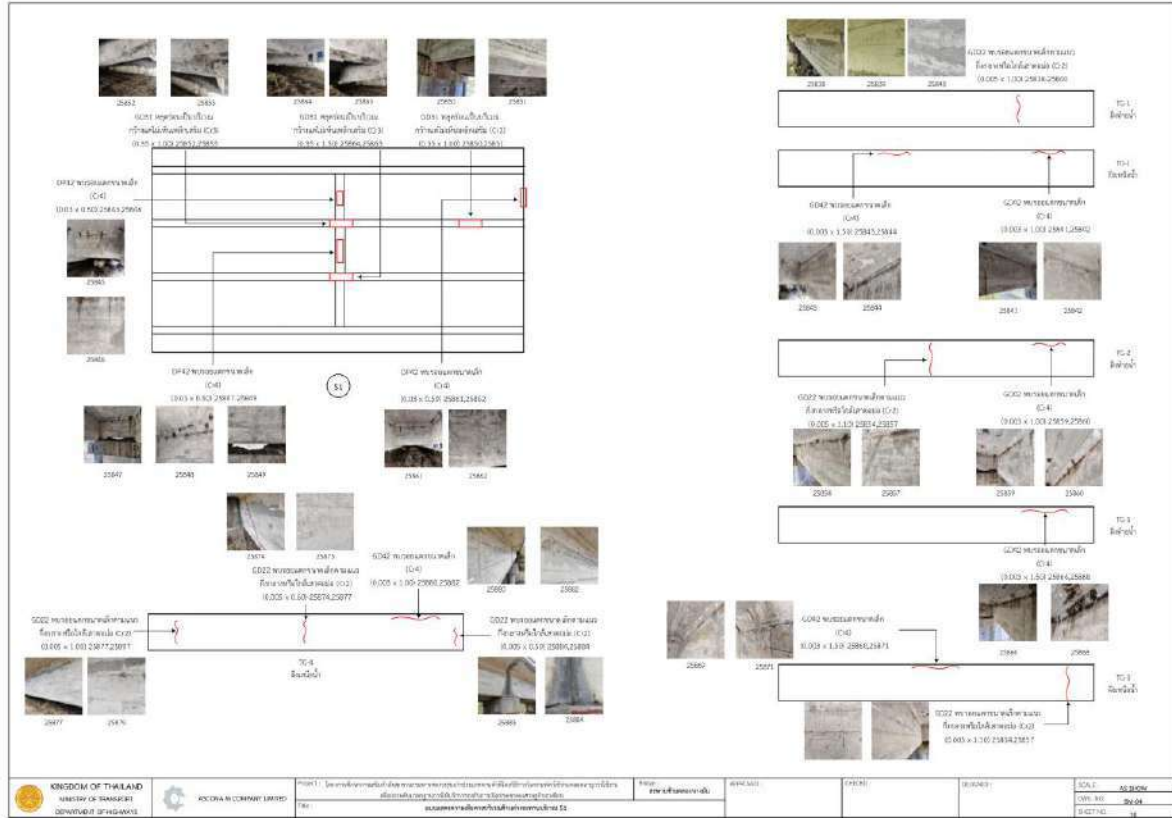
โครงการนี้ใช้วิธีการตรวจสอบความเสียหายด้วยสายตา (Visual Inspection) ในการรวบรวมข้อมูลความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพาน เพื่อใช้ประกอบการออกแบบงานซ่อมบูรณะและเสริมกำลังสะพาน รูปที่ 8-4 แสดงตัวอย่างความเสียหายของสะพาน และตารางที่ 8-1 แสดงรายการความเสียหายของสะพาน จากนั้นได้นำข้อมูลที่สำรวจได้ไปจัดทำเป็นแบบแสดงความเสียหายดังตัวอย่างบางส่วนที่แสดงในรูปที่ 8-5 โดยรายละเอียดทั้งหมดได้แสดงในแบบสำรวจสะพาน ที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้



รูปที่ 8-4 ตัวอย่างภาพความเสียหายของสะพาน

**ตารางที่ 8-1 รายการความเสียหาย สะพานข้ามคลองบางมัน**

ลำดับ	บริเวณ	ชั้นส่วน	รายละเอียดความเสียหาย	ระดับความรุนแรง	ขนาด
1	S1	WS1	WS41 สีกกร่อนหรือหลุดร่อนเล็กน้อย	CR 4	3.50 x 10.00
2	S2	WS2	WS41 สีกกร่อนหรือหลุดร่อนเล็กน้อย	CR 4	3.50 x 10.00
3	S3	WS3	WS41 สีกกร่อนหรือหลุดร่อนเล็กน้อย	CR 4	3.50 x 10.00
4	S3	RL1	RL31 สีกกร่อน หลุดล่อนจนเห็นเหล็กเสริม	CR 3	0.40 x 0.50
5	S1	DP2	DP42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 0.50
6	S1	DP2	DP42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 0.50
7	S1	DP3	DP42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 0.50
8	S1	TG2	GD31 หลุดร่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม	CR 3	0.35 x 1.00
9	S1	TG2	GD31 หลุดร่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม	CR 3	0.35 x 1.00
10	S1	TG3	GD31 หลุดร่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม	CR 3	0.35 x 1.50
11	S1	TG1	GD22 พบรอยแตกขนาดเล็กตามแนวกึ่งกลางหรือใกล้เสาตอม่อ	CR 2	0.005 x 1.00
12	S1	TG1	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.003 x 1.50
13	S1	TG1	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.003 x 1.00
14	S1	TG2	GD22 พบรอยแตกขนาดเล็กตามแนวกึ่งกลางหรือใกล้เสาตอม่อ	CR 2	0.005 x 1.10
15	S1	TG2	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.003 x 1.00
16	S1	TG3	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.003 x 1.50
17	S1	TG3	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.003 x 1.50
18	S1	TG3	GD22 พบรอยแตกขนาดเล็กตามแนวกึ่งกลางหรือใกล้เสาตอม่อ	CR 2	0.003 x 1.10
19	S1	TG4	GD22 พบรอยแตกขนาดเล็กตามแนวกึ่งกลางหรือใกล้เสาตอม่อ	CR 2	0.005 x 1.00
20	S1	TG4	GD22 พบรอยแตกขนาดเล็กตามแนวกึ่งกลางหรือใกล้เสาตอม่อ	CR 2	0.005 x 0.60
21	S1	TG4	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.003 x 1.00
22	S1	TG4	GD22 พบรอยแตกขนาดเล็กตามแนวกึ่งกลางหรือใกล้เสาตอม่อ	CR 2	0.005 x 0.50
23	S2	TG2	GD31 หลุดร่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม	CR 3	0.35 x 1.00
24	S2	TG3	GD31 หลุดร่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม	CR 3	0.35 x 1.50
25	S2	TG3	GD21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริม	CR 2	0.35 x 0.50
26	S3	DK1	DK32 พบรอยแตกขนาดเล็กกระจายเป็นบริเวณกว้าง	CR 3	0.003 x 2.00
27	S3	DK1	DK32 พบรอยแตกขนาดเล็กกระจายเป็นบริเวณกว้าง	CR 3	0.003 x 1.50
28	S3	TG3	GD31 หลุดร่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม	CR 3	0.35 x 1.00
29	S3	TG3	GD31 หลุดร่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม	CR 3	0.35 x 0.70



รูปที่ 8-5 ตัวอย่างบางส่วนของแบบแสดงความเสียหาย



### 8.2.3. การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลข

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

ตารางที่ 8-2 การประเมินระดับความเสียหายหรือสภาพการใช้งานโดยรวม

บริเวณ- ชิ้นส่วน	ประเภท ชิ้นส่วน	สภาพการใช้งาน (Condition Rating, CR)	ระดับความเสียหาย (Damage Rating) (DR = 5 - CR)	ระดับความสำคัญของชิ้นส่วน (w)	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

### 8.3 ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน

ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมที่ชิ้นส่วนโครงสร้างสำคัญต่าง ๆ มีรวมทั้งสิ้น 123.6 ตร.ม. ดังแสดงในตารางที่ 8-3 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมได้แสดงไว้ในรูปที่ 8-6 โดยผลการสำรวจทั้งหมดได้แสดงไว้ในแบบสำรวจสะพานที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างในรูปตัด (Typical section) และรูปด้านต่าง ๆ

ตารางที่ 8-3 พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมในชิ้นส่วนโครงสร้างหลักของสะพาน

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม (ตร.ม.)
เสาตอม่อ (Pier)	19.6
คานรัดเสาตอม่อ (Cap Beam)	11.4
คานหลัก (Girder)	52
ไดอะแฟรม (Diaphragm)	11
พื้นสะพาน (Deck) บริเวณถนน	20
พื้นสะพาน (Deck) บริเวณทางเท้า	9.6
<b>รวมทั้งสิ้น</b>	<b>123.6</b>



รูปที่ 8-6 รูปการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพานด้วยเครื่อง GPR





## 8.4 การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

### 8.4.1. การดำเนินการเก็บวัสดุทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลังรับแรงดึง



รูปที่ 8-8 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังคอนกรีต





รูปที่ 8-9 รูปการซ่อมคืนสภาพจากการเก็บวัสดุทดสอบกำลังคอนกรีต

#### 8.4.1. การดำเนินการเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม

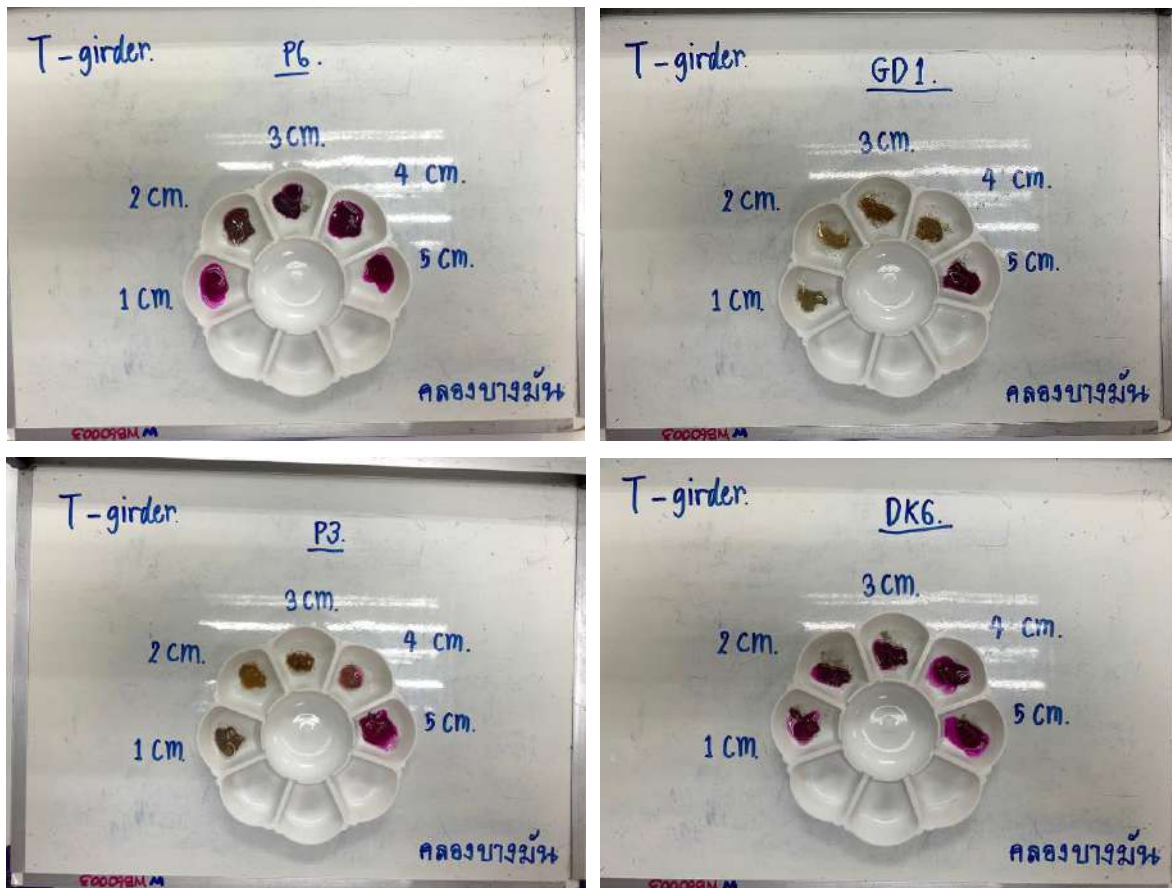


รูปที่ 8-10 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม



รูปที่ 8-11 รูปการซ่อมคืนสภาพจากการเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม

#### 8.4.1. การดำเนินการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน



รูปที่ 8-12 รูปการทำงานทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน



## 8.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

### 8.5.1. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต สะพานละ 20 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย พื้นสะพาน (Deck, DK) ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไคอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) และเสาตอม่อ (Pier Column, CL) ตารางที่ 8-4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 8-4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (สะพานข้ามคลองบางมัน, BM)

ลำดับ	ชิ้นส่วน	รหัสทดสอบ	Compressive Strength (ksc)
1	CB	BM-CB-1	255
2	CB	BM-CB-2	208
3	DP	BM-DP-1	177
4	DP	BM-DP-2	149
5	CL	BM-CL-1	246
6	CL	BM-CL-2	265
7	CL	BM-CL-3	234
8	CL	BM-CL-4	285
9	GD	BM-TG1-S1-1	234
10	GD	BM-TG1-S1-2	40
11	GD	BM-TG2-S1-1	212
12	GD	BM-TG2-S1-2	200
13	SW	BM-SW1-S3-1	182
14	SW	BM-SW1-S3-2	157
15	SW	BM-SW1-S3-3	179
16	SW	BM-SW1-S3-4	153
17	SW	BM-SW2-S1-1	250
18	SW	BM-SW2-S1-2	279
19	SW	BM-SW2-S1-3	197
20	SW	BM-SW2-S1-4	263

### 8.5.2. ผลทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต สะพานละ 20 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไดอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) และเสาตอม่อ (Pier Column, CL) ตารางที่ 8-5 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึง

ตารางที่ 8-5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต (สะพานข้ามคลองบางมัน, BM)

ลำดับ	ชิ้นส่วน	รหัสทดสอบ	Tensile Strength (ksc)
1	CB	BM-CB-3	23
2	CB	BM-CB-4	23
3	DP	BM-DP-3	19
4	DP	BM-DP-4	19
5	CL	BM-CL-5	10
6	CL	BM-CL-6	21
7	CL	BM-CL-7	16
8	CL	BM-CL-8	33
9	TG	BM-TG1-S1-3	19
10	TG	BM-TG1-S1-4	14
11	TG	BM-TG2-S1-3	20
12	TG	BM-TG2-S1-4	31
13	SW	BM-SW1-S3-5	23
14	SW	BM-SW1-S3-6	28
15	SW	BM-SW1-S3-7	12
16	SW	BM-SW1-S3-8	23
17	SW	BM-SW2-S1-5	32
18	SW	BM-SW2-S1-6	31
19	SW	BM-SW2-S1-7	36
20	SW	BM-SW2-S1-8	16

### 8.5.3. 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) ตำแหน่งตารางที่ 8-6 แสดงผลการทดสอบหาค่าความลึกการเกิดคาร์บอนเนชัน (Carbonation Depth)

ตารางที่ 8-6 ผลการทดสอบหาค่าความลึกปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน (สะพานข้ามคลองบางมัน, BM)

ลำดับ	ชิ้นส่วน	ความลึกการพบคาร์บอนเนชัน (cm)	ระดับความลึกที่ทดสอบปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน				
			1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
1	DP1	4	ไม่เกิด	ไม่เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด
2	DP2	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
3	GD1	4	เกิด	เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด
4	GD2	2	ไม่เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
5	GD3	4	เกิด	เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด
6	GD4	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	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	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
14	DK8	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
15	P1	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
16	P2	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
17	P3	3	เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
18	P4	3	เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
19	P5	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
20	P6	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด

#### 8.5.4. ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมของสะพานจำนวน 20 โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไตอะแฟรม (Diaphragm, DP) และเสาตอม่อ (Pier Colum, CL) ตารางที่ 8-7 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

ตารางที่ 8-7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม (สะพานข้ามคลองบางม่น, BM)

ลำดับ	รหัสทดสอบ	ชิ้นส่วน	Tested Diameter (mm)	Yield Stress (ksc)	Ultimate Stress (ksc)
1	BM-CB-1 (DB)	CB	25	3701	5861
2	BM-CB-2 (RB)	CB	9	3762	4893
3	BM-DP-1 (RB)	DP	9	4032	5108
4	BM-DP-2 (RB)	DP	9	2495	6410
5	BM-DP-3 (RB)	DP	9	4226	6517
6	BM-DP-4 (RB)	DP	9	4314	5419
7	BM-CL-1 (DB)	CL	25	3643	5896
8	BM-CL-2 (DB)	CL	12	5169	6486
9	BM-CL-3 (DB)	CL	20	3968	6049
10	BM-CL-4 (DB)	CL	12	3554	5882
11	BM-SW1-1-S3 (RB)	SW	9	5408	6607
12	BM-SW1-2-S3 (RB)	SW	9	3876	5372
13	BM-SW1-S3-3 (RB)	SW	9	3860	4668
14	BM-SW1-S3-4 (RB)	SW	9	3899	5231
15	BM-SW2-S1-1 (RB)	SW	9	3379	4502
16	BM-SW2-S1-2 (RB)	SW	9	3677	5162
17	BM-SW2-S1-3 (RB)	SW	9	3450	4506
18	BM-SW2-S1-4 (RB)	SW	9	3677	4895
19	BM-TG1-1 (RB)	GD	9	3581	4731
20	BM-TG1-2 (RB)	GD	9	3655	4903

### 8.5.5. สรุปผลทดสอบวัสดุสะพาน

ตารางที่ 8-8 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่าชิ้นส่วนทางเท้า (SW) คานตามยาว (GD) ไตอะแฟรม (DP) คานรัดหัวเสา (CB) และเสาตอม่อ (CL) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 207.5, 171.6, 163.0, 231.4 และ 257.6 ksc ตามลำดับ

ตารางที่ 8-8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

Member	N	Avg (ksc)	SD (ksc)
Side Walk (SW)	8	207.5	49.4
Girder (GD)	4	171.6	88.6
Diaphragm (DP)	2	163.0	19.4
Cap beam (CB)	2	231.4	32.7
Pier column (CL)	4	257.6	22.3

ตารางที่ 8-9 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่าชิ้นส่วนทางเท้า (SW) คานตามยาว (GD) ไตอะแฟรม (DP) คานรัดหัวเสา (CB) และเสาตอม่อ (CL) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.0, 21.2, 18.7, 22.9 และ 20.0 ksc ตามลำดับ

ตารางที่ 8-9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

Member	N	Avg (ksc)	SD (ksc)
Side Walk (SW)	8	25.0	8.0
Girder (GD)	4	21.2	6.9
Diaphragm (DP)	2	18.7	0.2
Cap beam (CB)	2	22.9	0.4
Pier column (CL)	4	20.0	9.8

ตารางที่ 8-10 แสดงผลการทดสอบค่าความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันแยกตามประเภท  
 ชั้นส่วน ซึ่งพบว่าชั้นส่วน พื้นสะพาน (Deck) คานตามยาว (GD) ไดอะแฟรม (DP) และเสาตอม่อ (CL)  
 มีความลึกการเกิดคาร์บอนเนชันเฉลี่ยเท่ากับ 0.38, 2.50, 2.00, และ 1.5 cm ตามลำดับ ถ้าคาร์บอนเนชัน  
 เกิดลึกถึงชั้นเหล็กเสริม เหล็กเสริมสามารถเกิดสนิมได้ ซึ่งชั้นส่วนแต่ละประเภทอาจมีระยะคอนกรีตหุ้ม  
 เหล็กเสริมไม่เท่ากัน และเมื่อพิจารณาความแปรปรวนของค่าที่ตรวจวัดได้ ชั้นส่วน พื้นสะพาน (Deck)  
 คานตามยาว (GD) ไดอะแฟรม (DP) และ เสาตอม่อ (CL) มีโอกาสที่ความลึกคาร์บอนเนชันจะเกิดลึกถึง  
 ชั้นเหล็กเสริมเท่ากับ 0.48, 23.24, 30.41 และ 1.03% ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่าปัจจุบัน ชั้นส่วนคาน  
 ตามยาว (GD) มีโอกาสจะเกิดสนิมได้มากที่สุด (30.41%)

**ตารางที่ 8-10 ผลทดสอบความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน**

Member	N	Avg (cm)	SD (cm)	Covering (cm)	Prob (depth > field covering) (%)
				Field (GPR)	
Deck (DK)	8	0.38	0.74	3	0.48%
Girder (GD)	4	2.50	1.91	4.1	23.24%
Diaphragm (DP)	2	2.00	2.83	4	30.41%
Pier column (CL)	6	1.50	1.38	6.1	1.03%

ตารางที่ 8-11 แสดงผลการทดสอบเหล็กข้ออ้อย (DB) ของสะพาน เมื่อนำข้อมูลจำนวน 5 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 4007 ksc ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 668 ksc และ ตารางที่ 8-12 แสดงผลการทดสอบเหล็กกลม (RB) ของสะพาน เมื่อนำข้อมูลจำนวน 15 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 3819 ksc ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 609 ksc ข้อมูลการทดสอบวัสดุจะถูกนำไปใช้ในการออกแบบเสริมกำลังเสริมสะพานในลำดับถัดไป

**ตารางที่ 8-11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อย (DB)**

Member	Yield Tensile Strength (ksc)			Ultimate Tensile Strength (ksc)		
	N	Avg	SD	N	Avg	SD
Capbeam (CB)	1	3701	-	1	5861	-
Pier column (CL)	4	4083	745	4	6078	282
All	5	4007	668	5	6035	263

**ตารางที่ 8-12 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กกลม (RB)**

Member	Yield Tensile Strength (ksc)			Ultimate Tensile Strength (ksc)		
	N	Avg	SD	N	Avg	SD
Capbeam (CB)	1	3762	-	1	4893	-
Diaphragm (DP)	4	3767	856	4	5864	706
Girder (GD)	2	3618	52	2	4817	121
Sidewalk (SW)	8	3903	638	8	5118	687
All	15	3819	609	15	5262	705

## 8.6 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานคลองบางมัน

ที่ปรึกษาได้ทำการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานคลองบางมัน ที่ช่วงความยาว 15 เมตร โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต (Static Test) การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบพลวัต (Dynamic Test) และการทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน (Normal Traffic Test) โดยรายละเอียดการดำเนินงานมีดังนี้

### 8.6.1. อุปกรณ์การตรวจวัด

ที่ปรึกษาได้ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดพฤติกรรมของโครงสร้างสะพาน ประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด อุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนที่ และอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว รวมถึงอุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยมีจำนวนดังต่อไปนี้

#### ตารางที่ 8-13 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

### 8.6.2. ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

ที่ปรึกษาได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสะพาน ซึ่งแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 8-13 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

สำหรับการดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสะพานของทางที่ปรึกษาแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 8-14 ภาพการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสะพาน



### 8.6.3. น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

ที่ปรึกษาได้ทดสอบพฤติกรรมกรรมการรับน้ำหนักของสะพานภายใต้สภาวะควบคุม โดยใช้รถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 2 คัน โดยมีรายละเอียดระยะเพลาและน้ำหนักบรรทุกดังนี้

ตารางที่ 8-14 น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

คันที่	1	2
ประเภท	รถบรรทุก (80-3675)	รถบรรทุก (80-2284)
น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	25.17	25.55
ระยะเพลาที่ 1 ถึง 2 (a, เมตร)	4.75	4.70
ระยะเพลาที่ 2 ถึง 3 (b, เมตร)	1.30	1.30
ความกว้างฐานล้อ (c, เมตร)	1.90	1.85

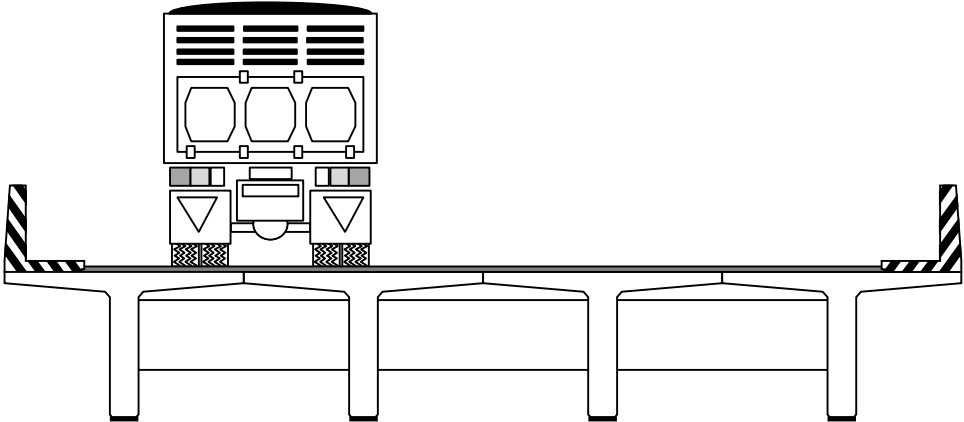
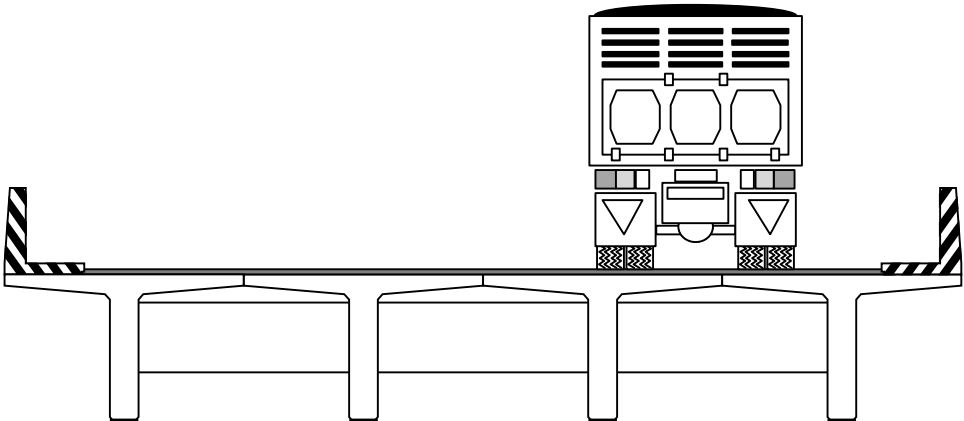
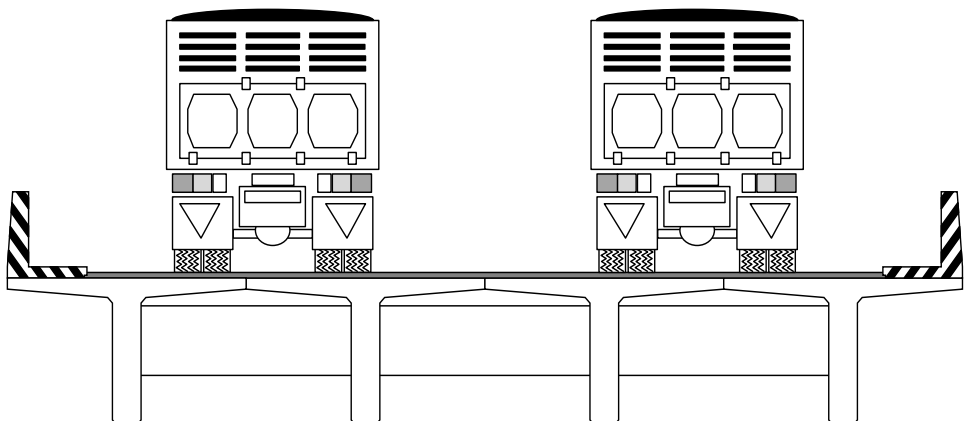
  

### 8.6.4. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต

การทดสอบแบบสถิต (Static Test) เป็นการนำรถบรรทุกทดสอบจอดตามตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนด 3 รูปแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

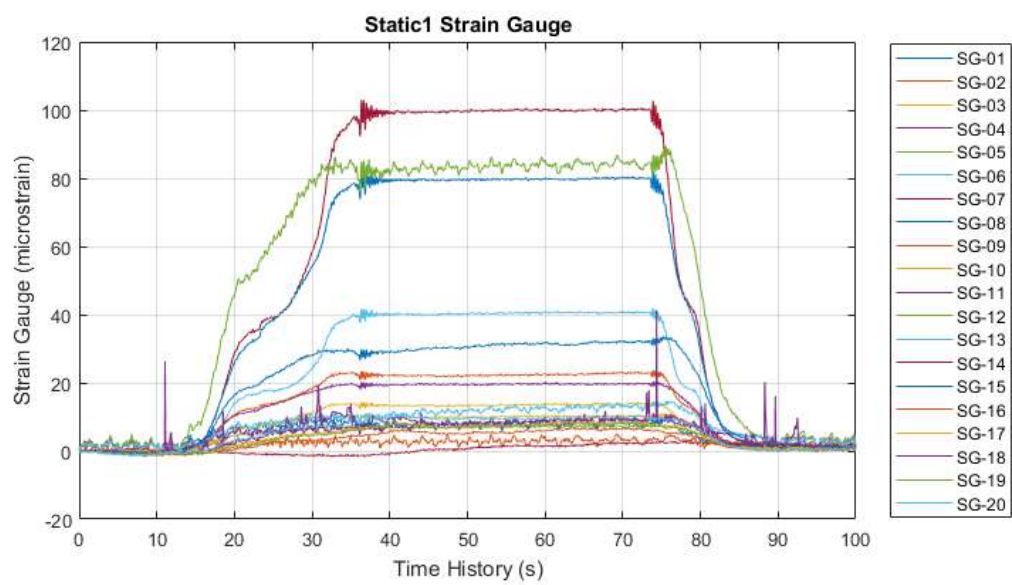
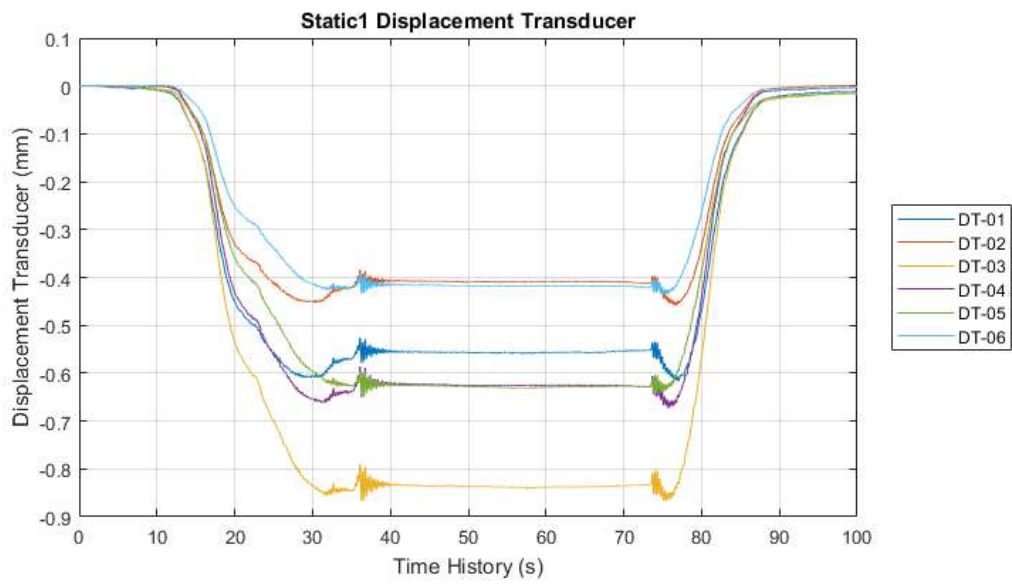
- Static 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง  $L/2$  ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางซ้าย
- Static 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง  $L/2$  ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางขวา
- Static 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน จอดเรียงกันที่ตำแหน่ง  $L/2$  ของความยาวช่วง ทั้งสองช่องจราจร

ตารางที่ 8-15 รูปแบบการทดสอบแบบสถิต ด้วยรถบรรทุกน้ำหนัก

Case	Pattern
Static 1	
Static 2	
Static 3	

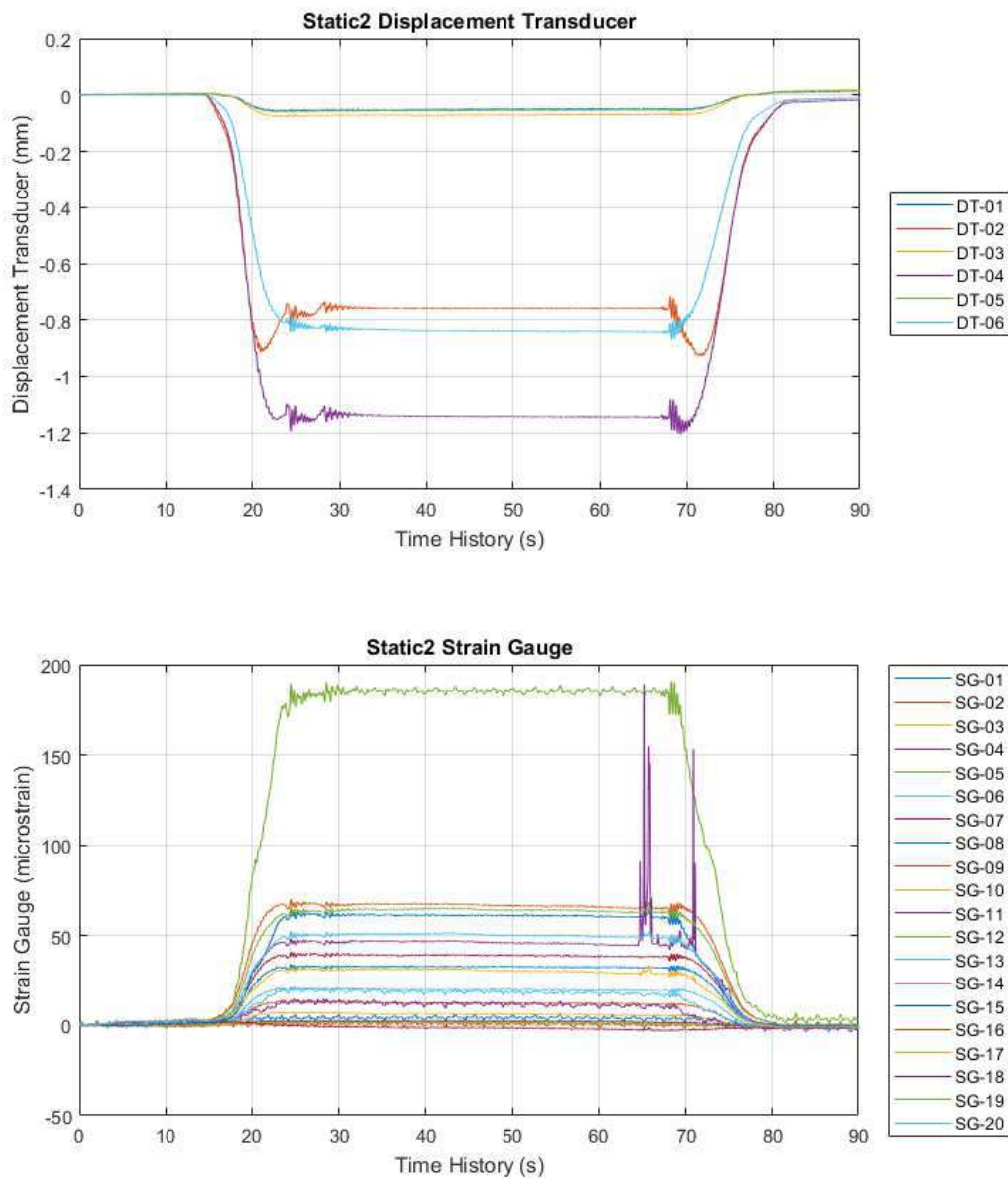


รูปที่ 8-15 ภาพการทดสอบแบบสถิต

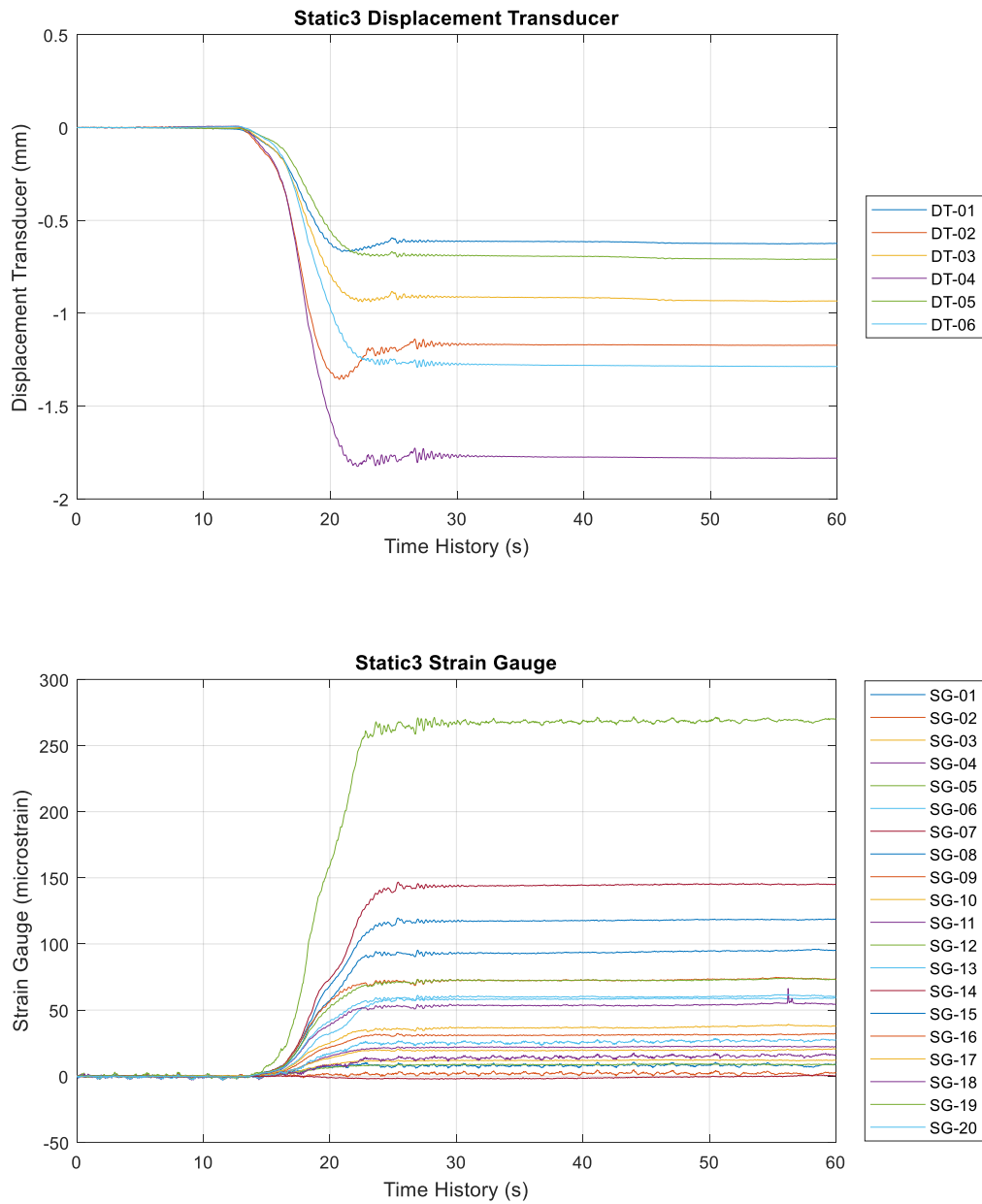


รูปที่ 8-16 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 1





รูปที่ 8-17 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 2

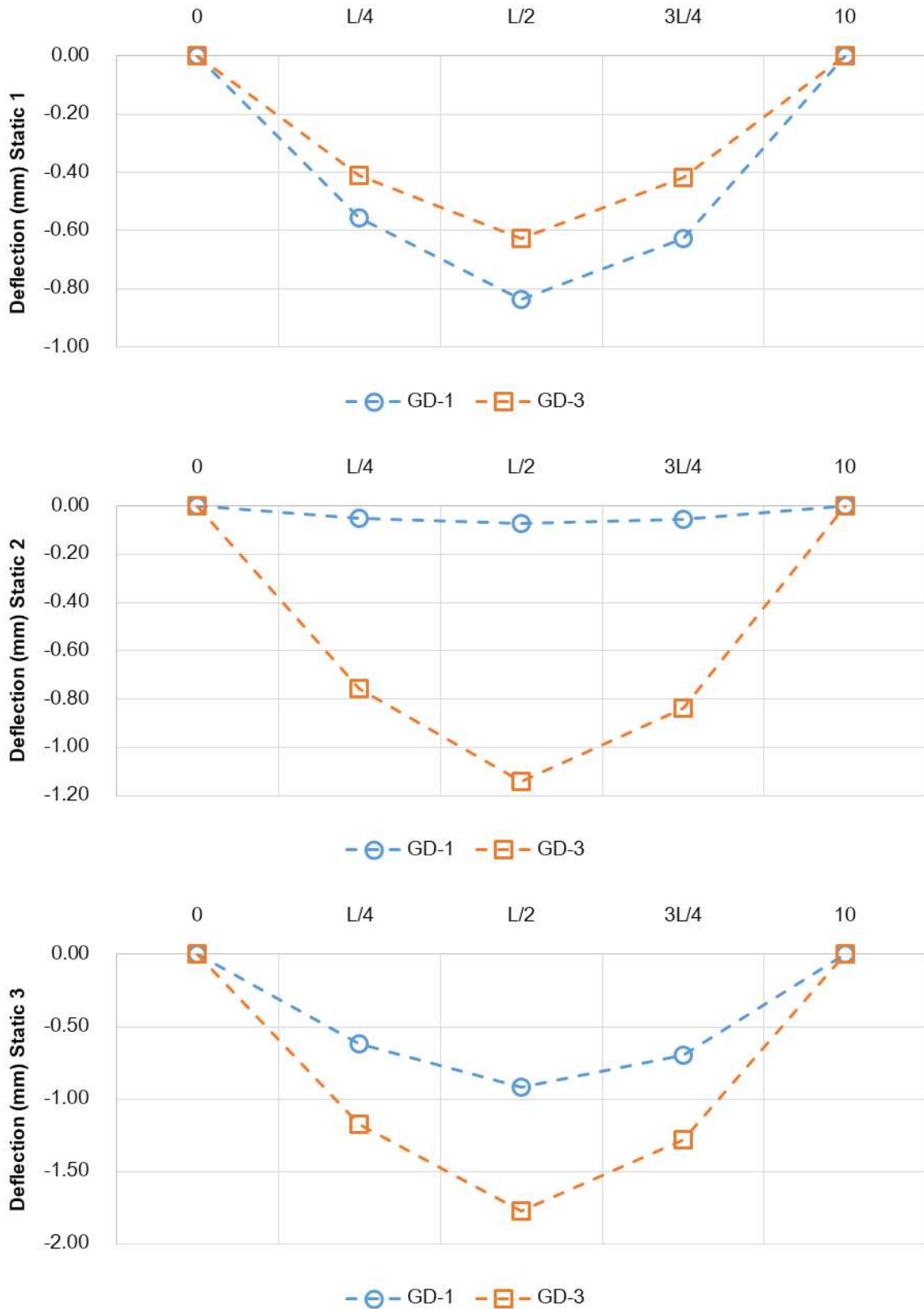


รูปที่ 8-18 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 3



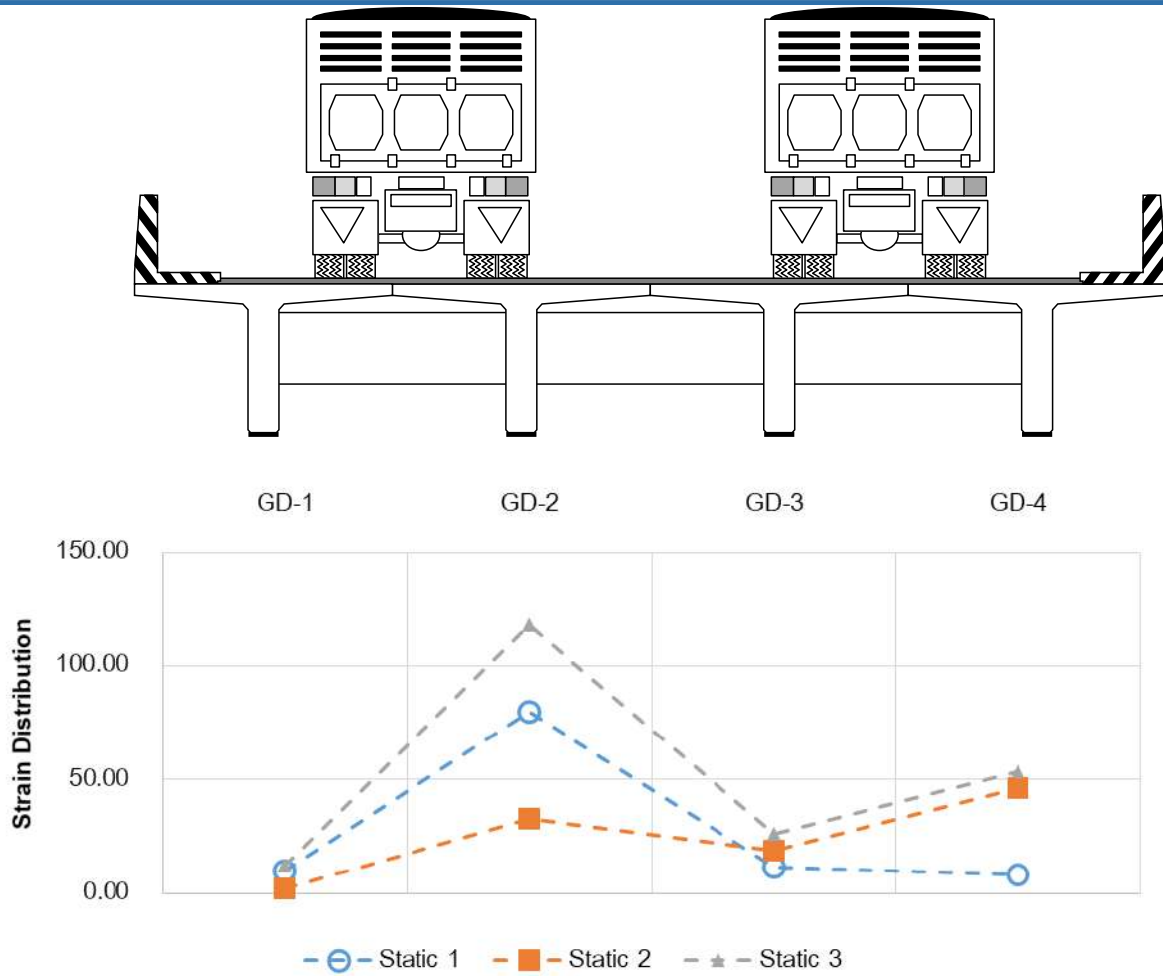
**ตารางที่ 8-16 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานแบบสถิต**

Sensor	Position L/2		
	Static 1	Static 2	Static 3
DT 01	-0.556	-0.050	-0.614
DT 02	-0.410	-0.759	-1.170
DT 03	-0.837	-0.071	-0.915
DT 04	-0.626	-1.142	-1.775
DT 05	-0.628	-0.054	-0.694
DT 06	-0.418	-0.839	-1.280
SG 01	6.925	5.367	8.663
SG 02	1.883	1.873	2.646
SG 03	9.750	1.752	12.058
SG 04	19.256	2.575	21.875
SG 05	6.960	1.571	8.846
SG 06	40.102	19.942	58.431
SG 07	99.629	39.025	144.465
SG 08	79.567	32.744	117.721
SG 09	22.142	12.606	31.471
SG 10	13.331	6.252	19.706
SG 11	7.658	12.315	14.790
SG 12	82.510	186.594	268.602
SG 13	11.488	19.013	25.975
SG 14	0.504	-1.265	-1.579
SG 15	30.588	61.219	93.646
SG 16	5.069	66.656	72.494
SG 17	7.158	30.635	36.860
SG 18	8.269	46.063	53.613
SG 19	7.288	63.992	72.538
SG 20	9.681	50.417	60.360



รูปที่ 8-19 พฤติกรรมการแอ่นตัวของคานตัวที่ 1 และตัวที่ 3





รูปที่ 8-20 พฤติกรรมการกระจายแรงตามขวางของสะพาน

### 8.6.5. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบพลวัต

การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Test) เป็นการทดสอบโดยใช้รถบรรทุกวิ่งผ่านช่วงสะพานทดสอบหลายรูปแบบโดยมีรายละเอียดดังนี้

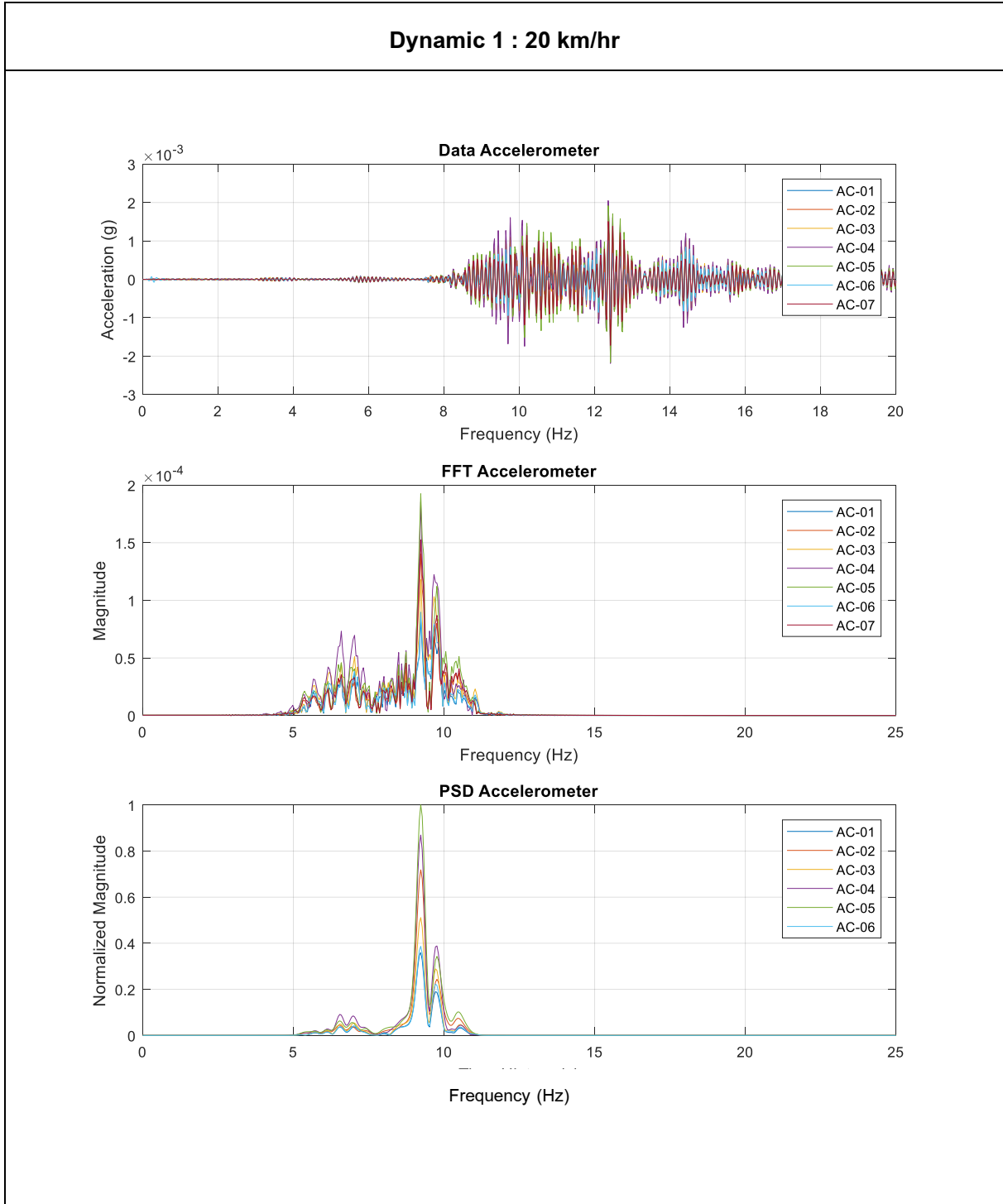
- Dynamic 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 20 กม./ชม.
- Dynamic 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 30 กม./ชม.
- Dynamic 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 50 กม./ชม.

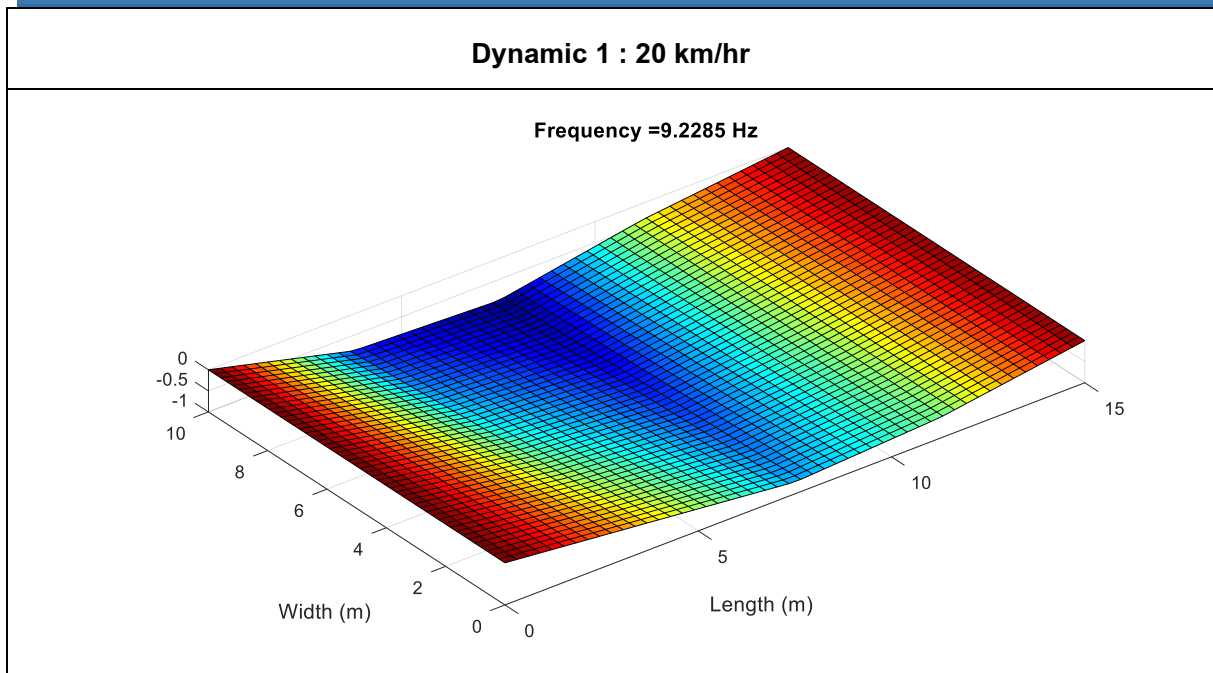


รูปที่ 8-21 ภาพการทดสอบแบบพลวัต

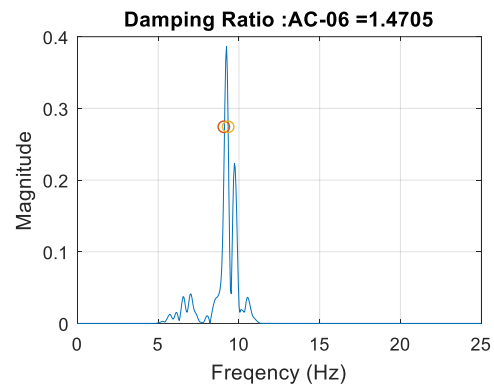
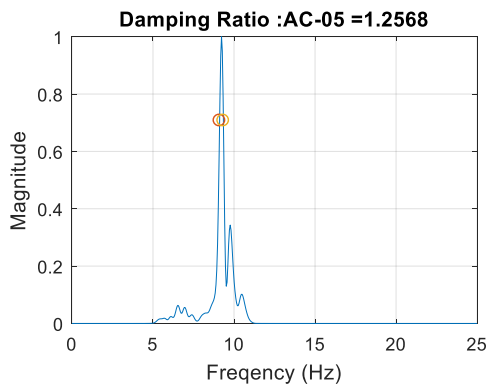
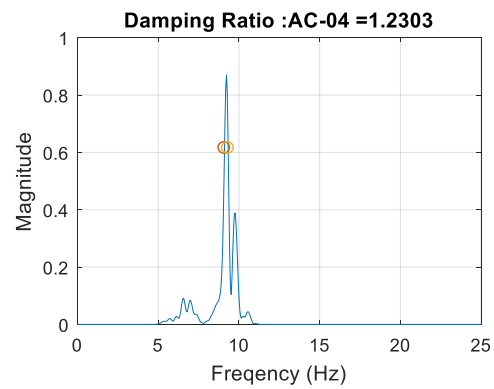
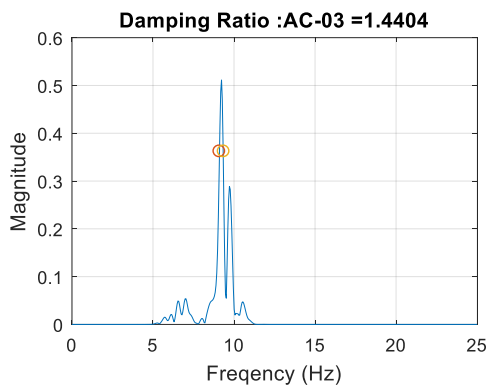
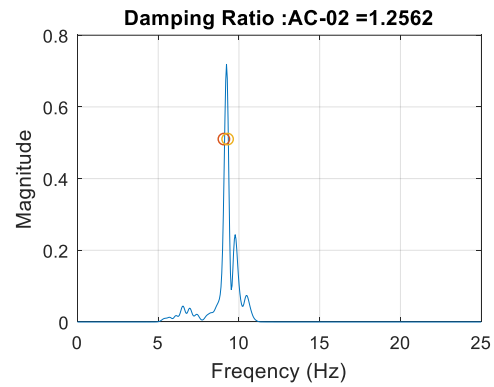
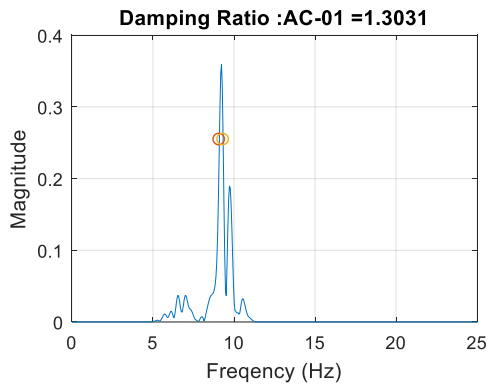


สำหรับการวิเคราะห์ผลการตรวจวัดพฤติกรรมแบบพลวัตเพื่อหาคุณสมบัติทางพลศาสตร์ ประกอบด้วย ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) และค่าตัวคูณเพิ่มแรงกระแทก (Impact Factor) สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

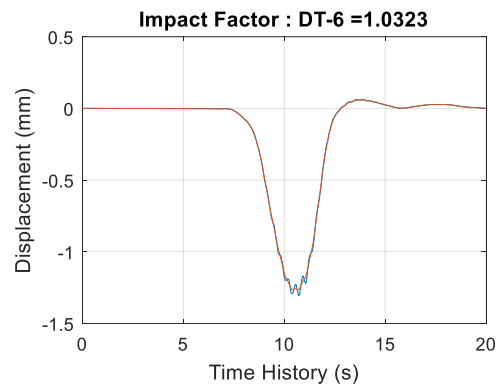
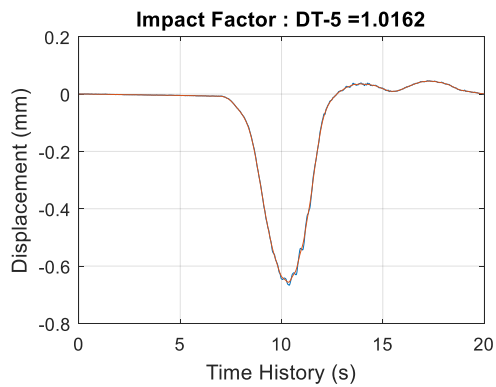
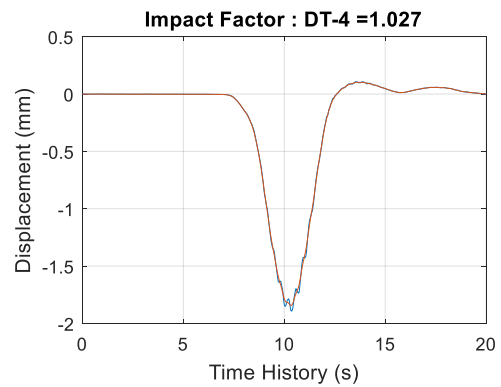
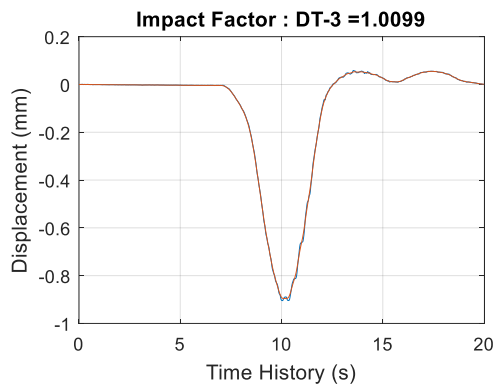
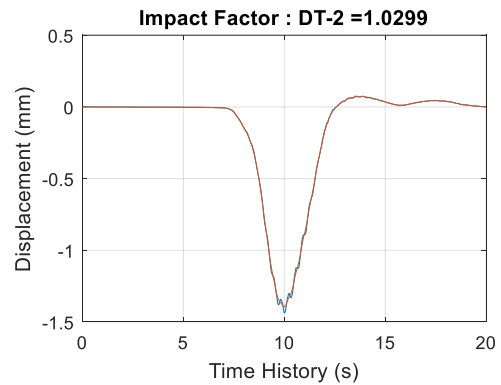
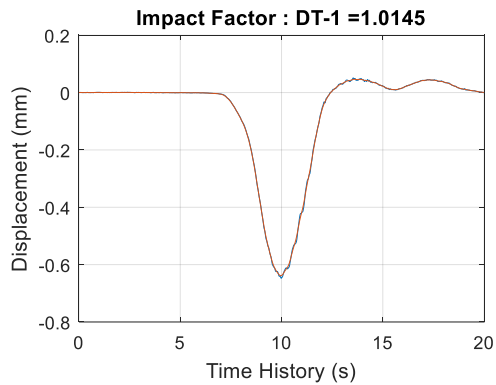




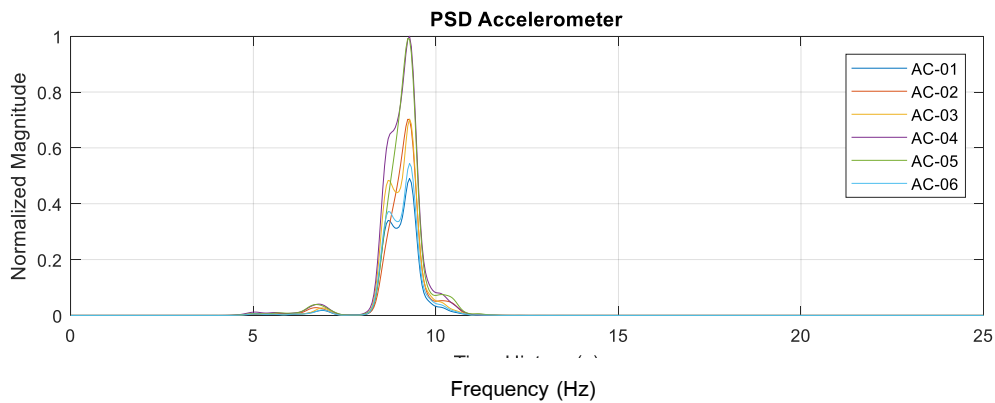
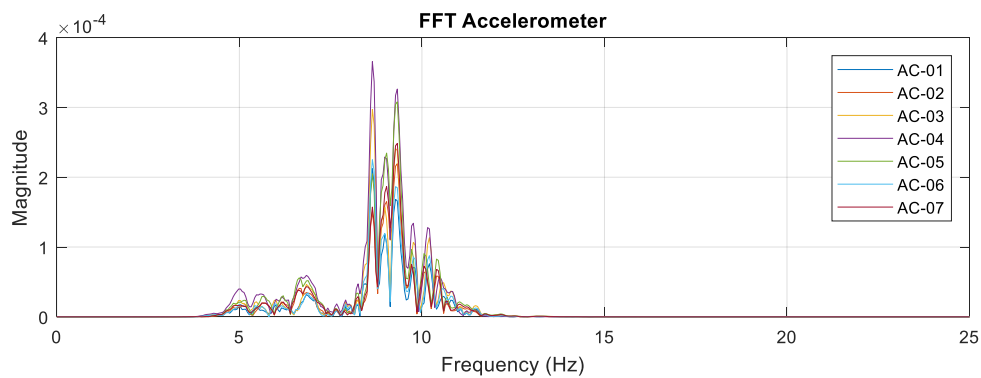
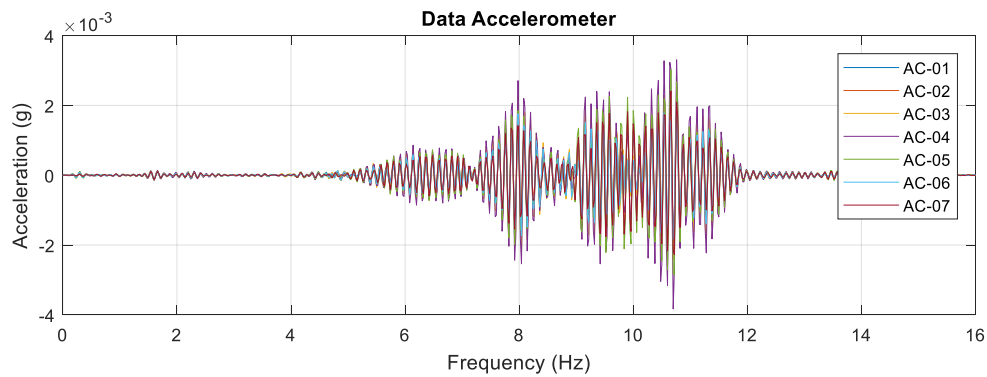
### Dynamic 1 : 20 km/hr

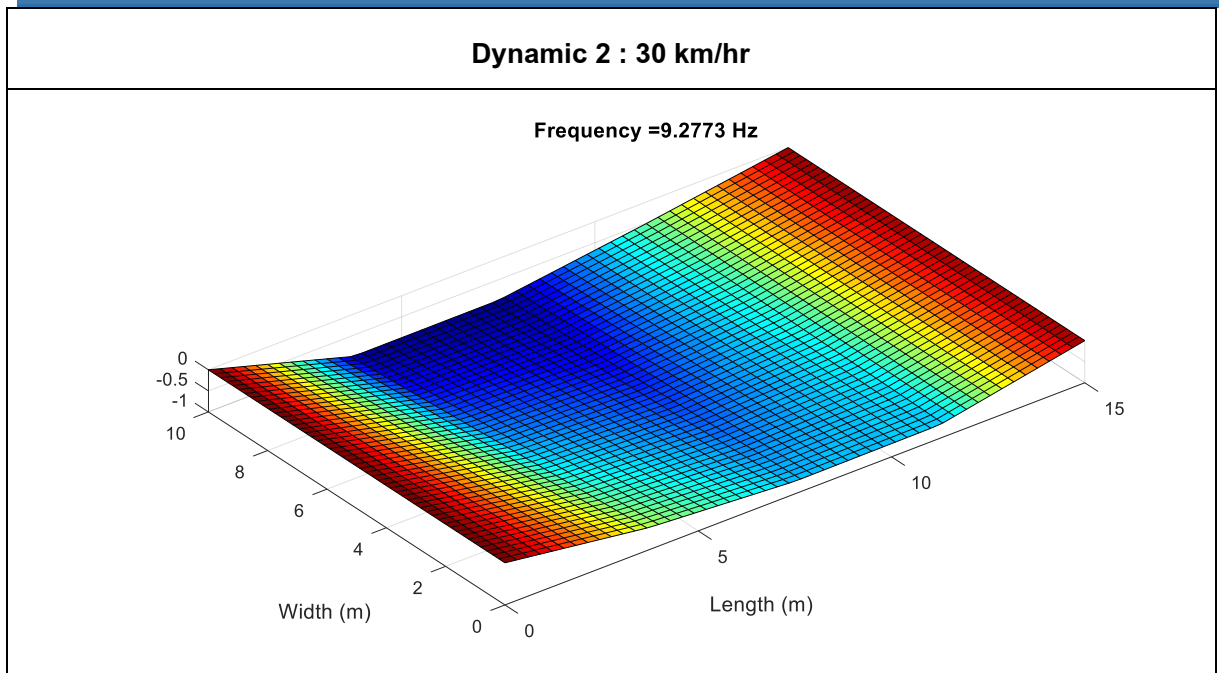


### Dynamic 1 : 20 km/hr

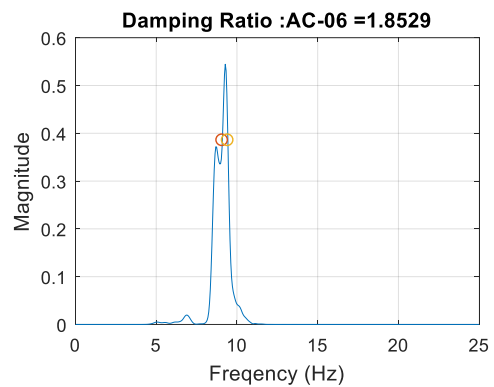
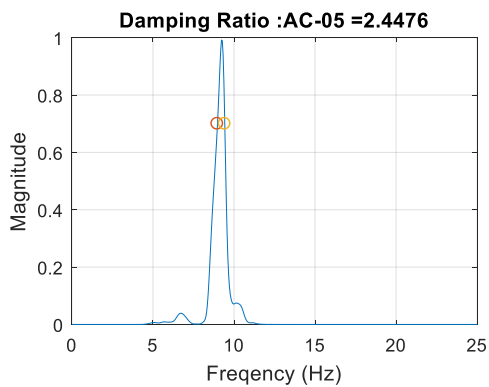
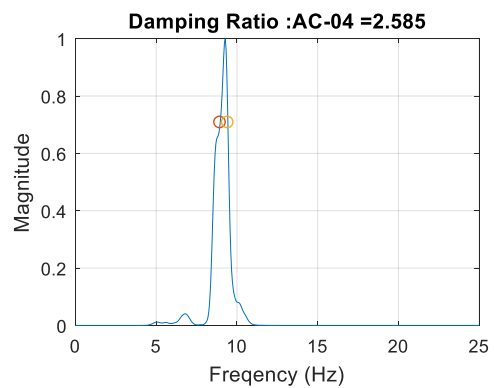
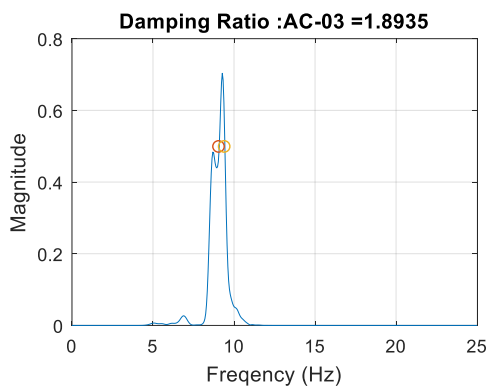
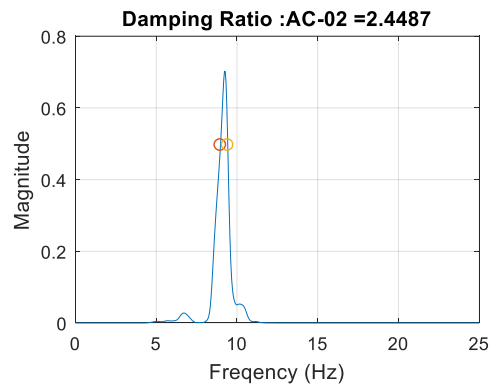
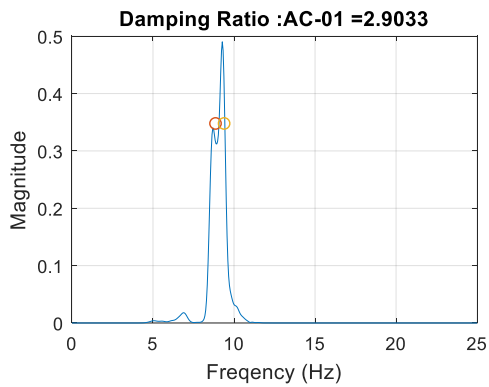


### Dynamic 2 : 30 km/hr

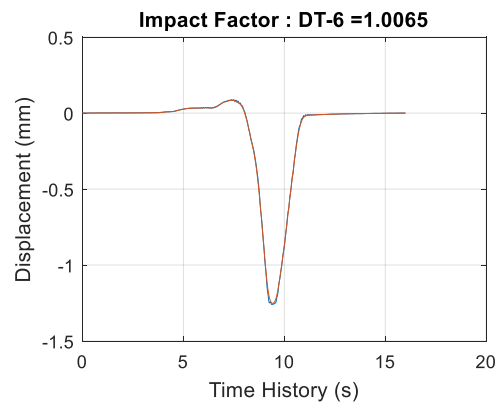
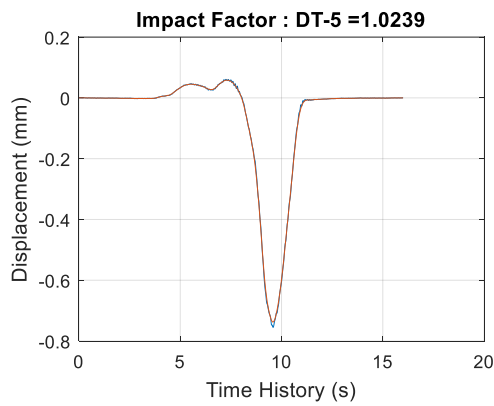
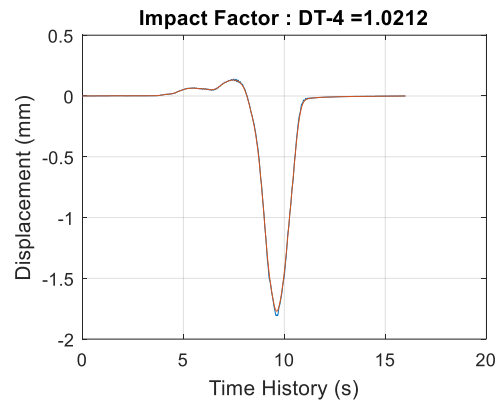
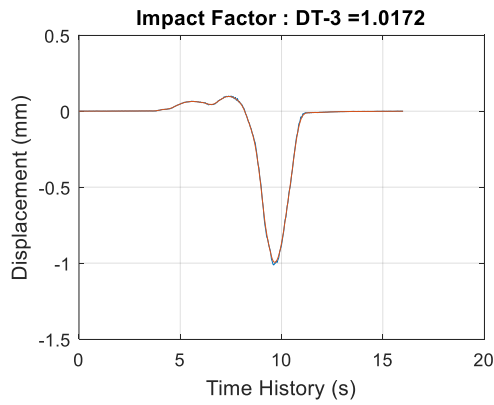
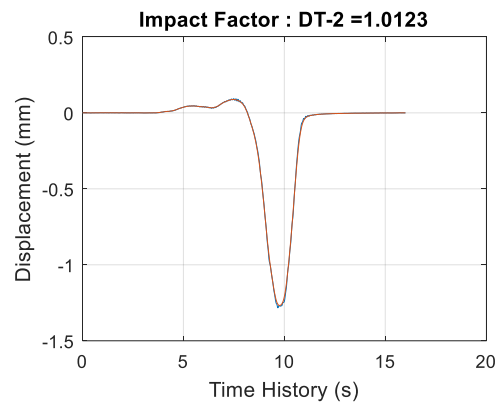
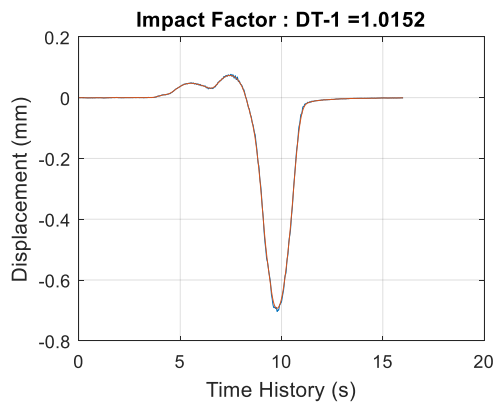




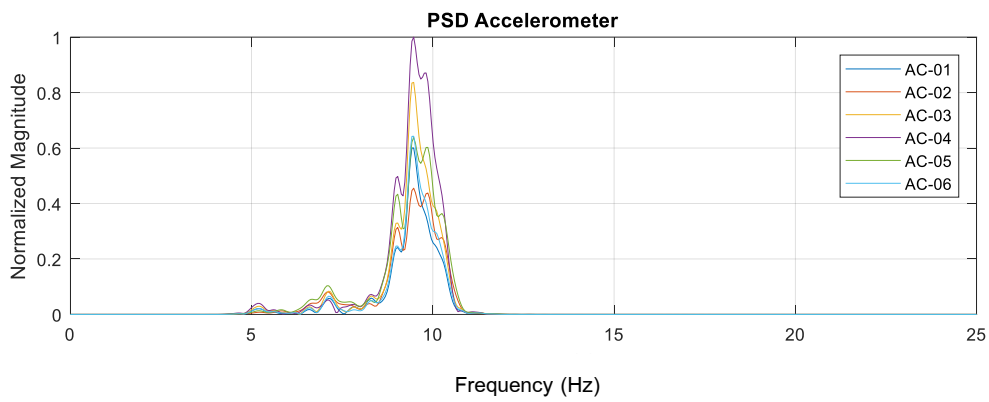
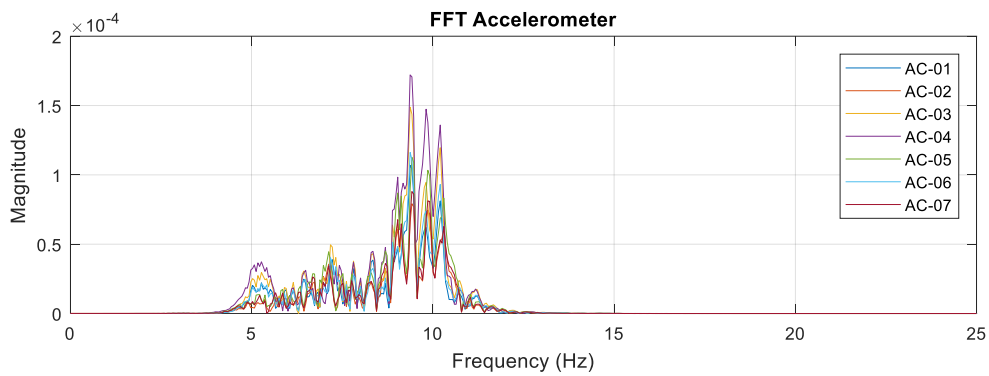
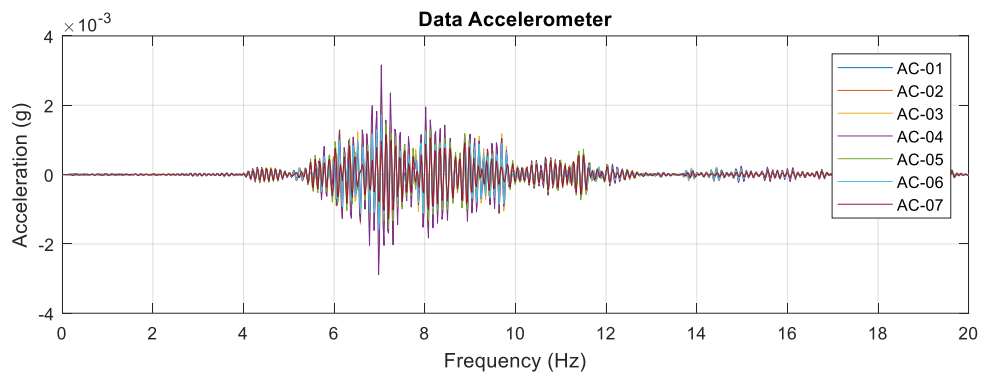
### Dynamic 2 : 30 km/hr

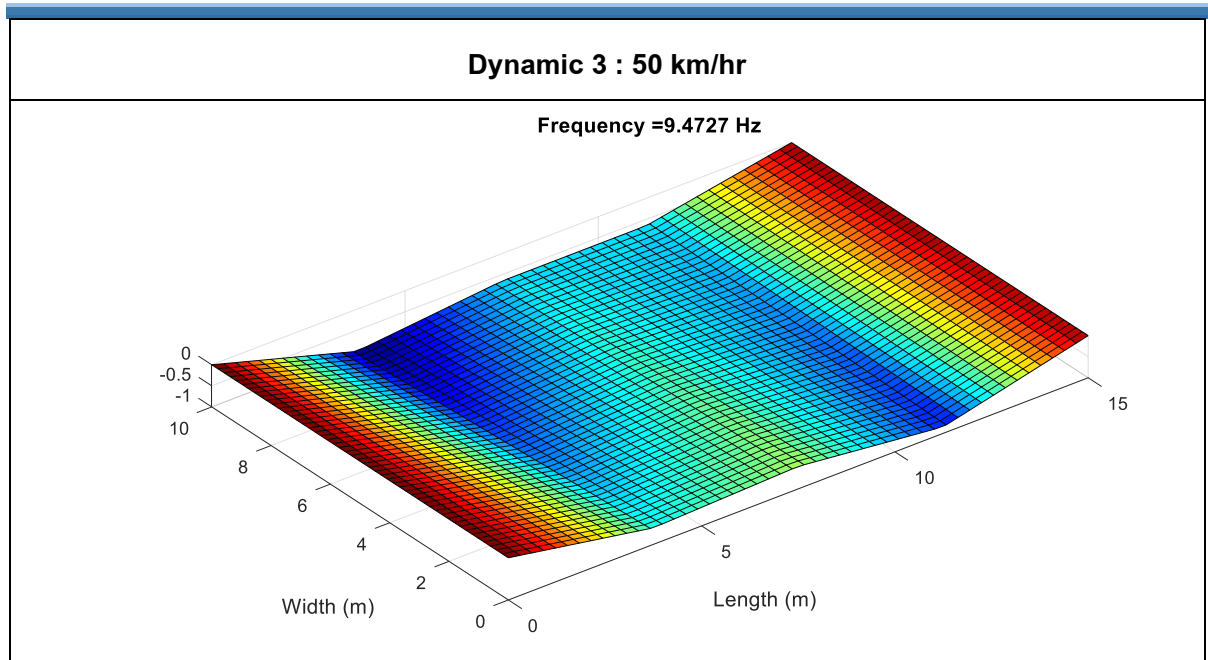


### Dynamic 2 : 30 km/hr

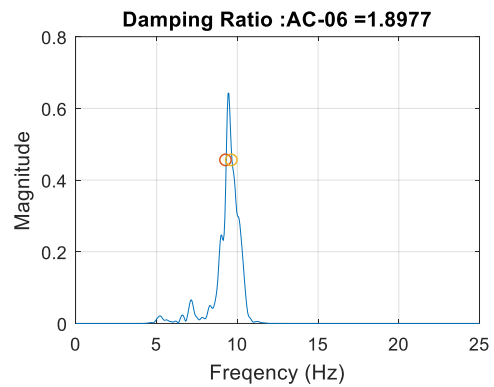
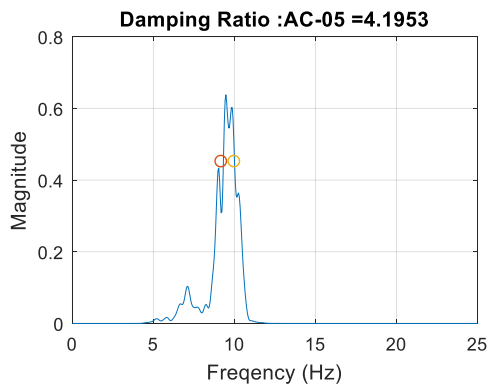
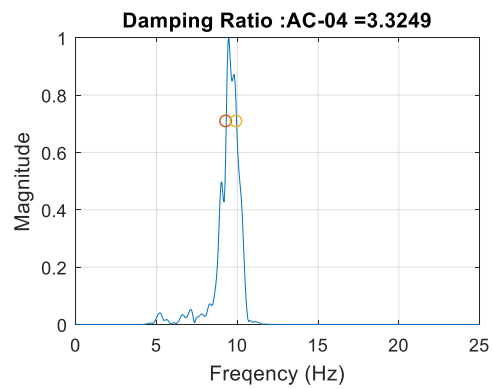
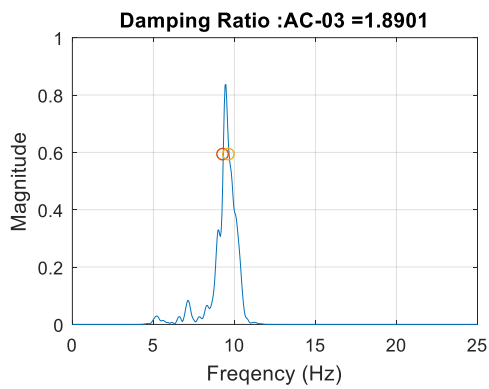
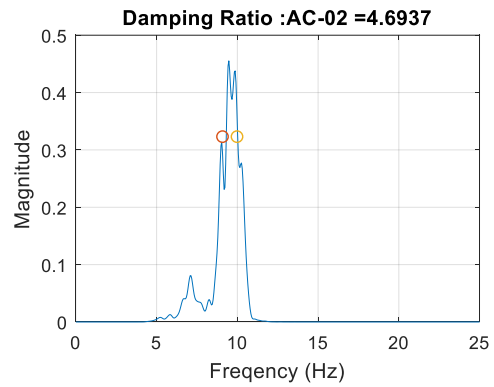
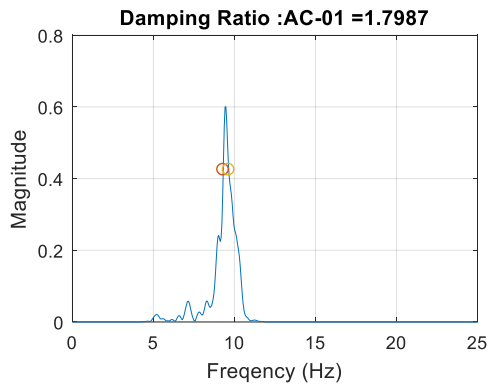


### Dynamic 3 : 50 km/hr

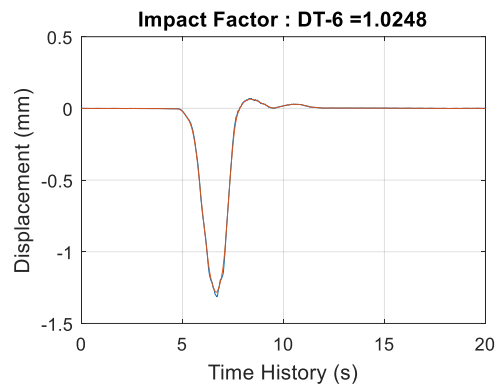
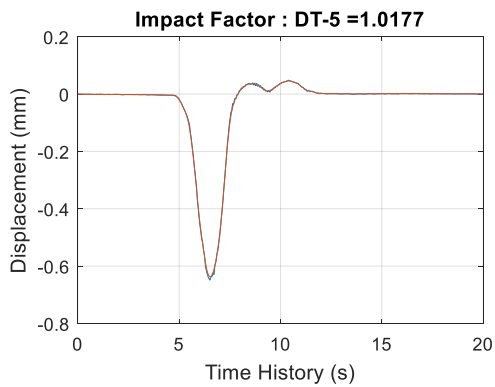
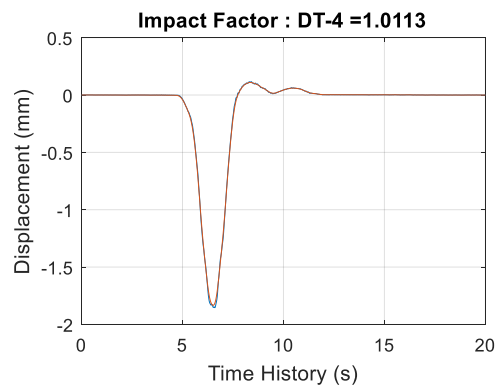
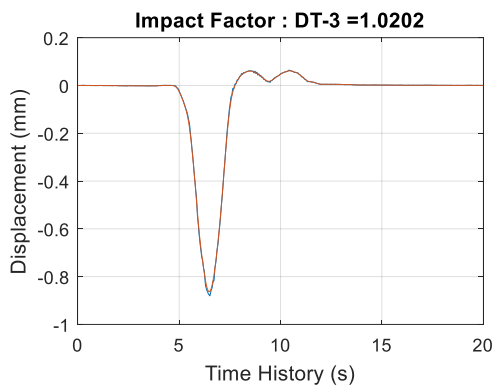
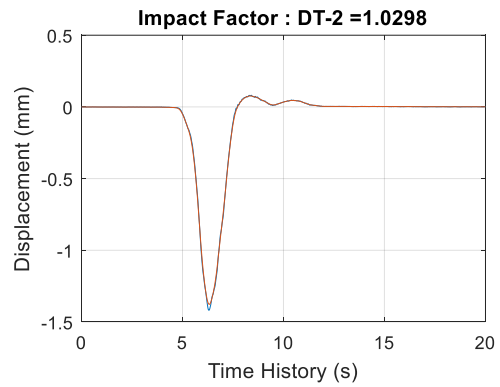
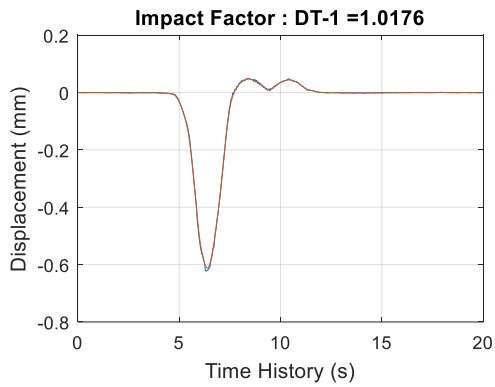




### Dynamic 3 : 50 km/hr



### Dynamic 3 : 50 km/hr



### ตารางที่ 8-17 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	9.229	1st Bending	1.303	1.256	1.44	1.23	1.257	1.471	1.326
Dynamic 2	9.277	1st Bending	2.903	2.449	1.894	2.585	2.448	1.853	2.355
Dynamic 3	9.473	1st Bending	1.799	4.694	1.89	3.325	4.195	1.898	2.967

### ตารางที่ 8-18 ผลการวิเคราะห์ Impact Factor

Sensor	Impact Factor						
	DT 01	DT 02	DT 03	DT 04	DT 05	DT 06	Average
Dynamic 1	1.015	1.030	1.010	1.027	1.016	1.032	1.022
Dynamic 2	1.015	1.012	1.017	1.021	1.024	1.007	1.016
Dynamic 3	1.018	1.03	1.02	1.011	1.018	1.025	1.020

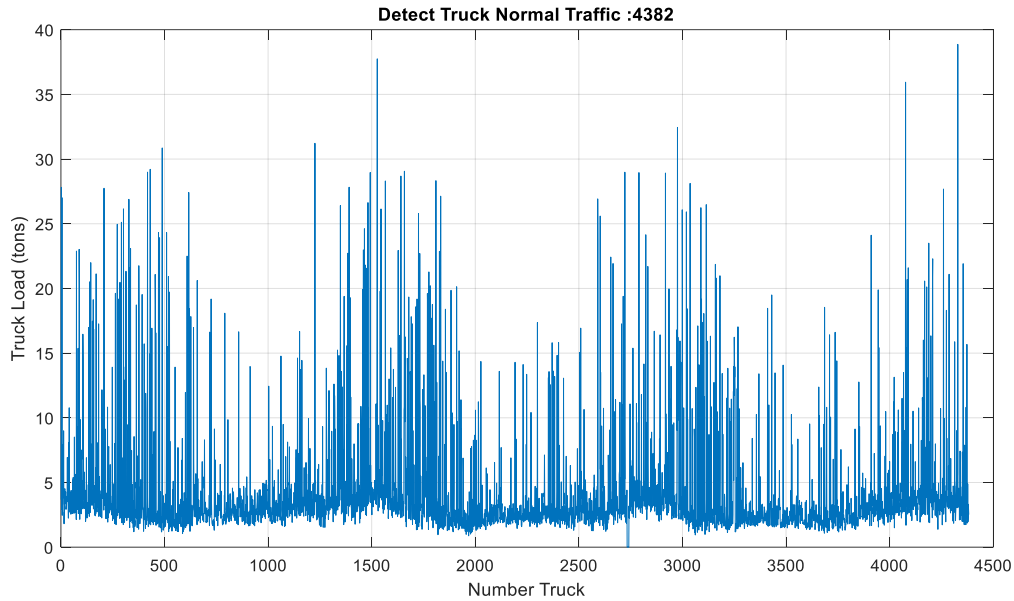
#### 8.6.6. การทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน

ที่ปรึกษาได้ทำการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge บริเวณใต้ท้องคานแต่ละคาน (โดยเฉลี่ยค่า Strain Gauge ทั้ง 5 ตัวที่ติดตั้งในแต่ละคาน) กับน้ำหนักบรรทุกจากการทดสอบแบบ Static Load Test ซึ่งมีค่าแสดงได้ดังตารางที่ 8-19

#### ตารางที่ 8-19 การสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบ

Sensor	Strain Gauge (microstrain)		
	Static 1	Static 2	Static 3
AVG SG at GD01	8.955	2.628	10.818
AVG SG at GD02	50.954	22.114	74.359
AVG SG at GD03	26.550	55.575	80.287
AVG SG at GD04	7.493	51.553	59.173
SUM	93.952	131.869	224.636
Truck Load (tons)	25	25	50

จากนั้นใช้ผลการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge ในการประมาณการน้ำหนักบรรทุก  
จากผลการตรวจวัดค่าผลรวมของ Strain Gauge ภายใต้การจราจรปกติเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งได้ผลแสดง  
ดังรูปที่ 8-22



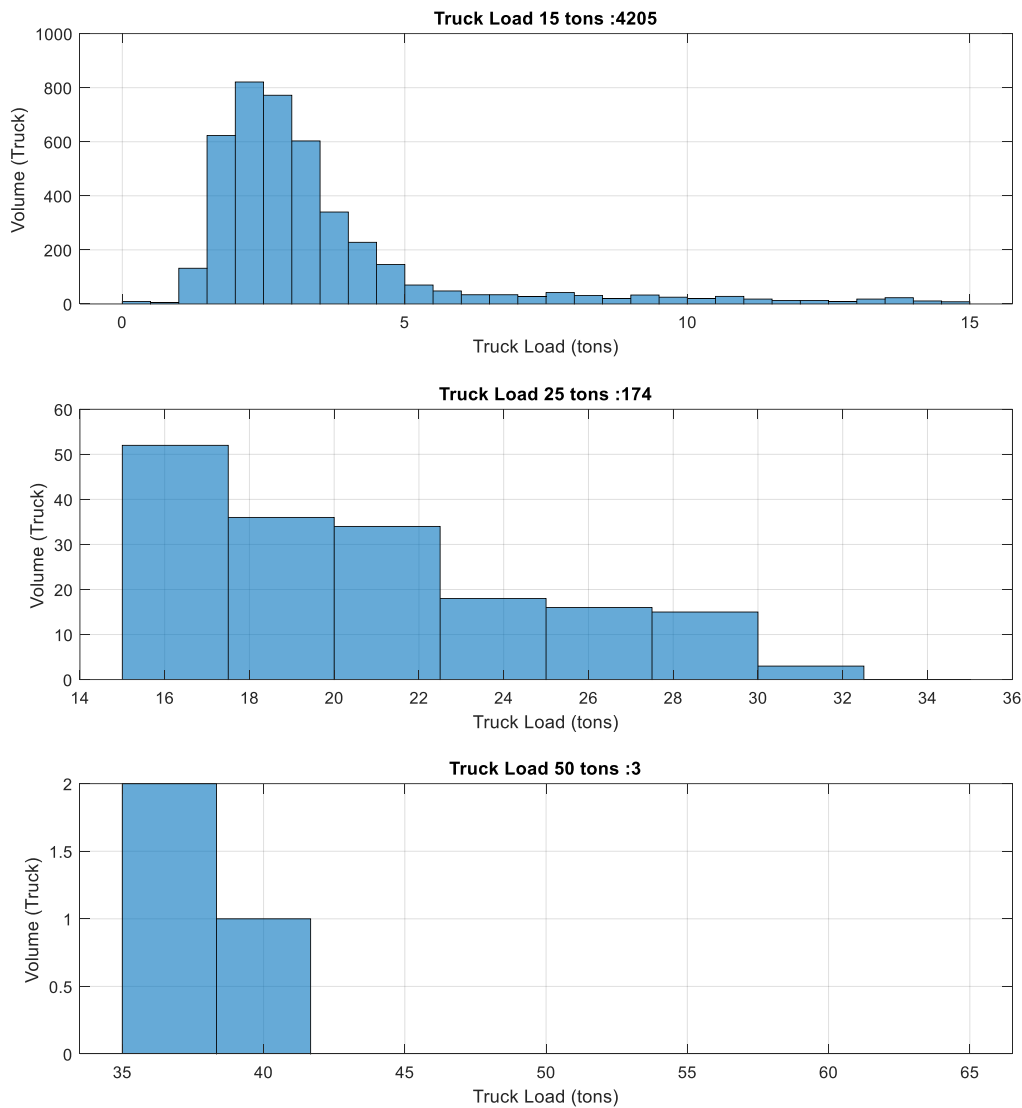
รูปที่ 8-22 ผลการสอบเทียบค่า Strain Gauge เพื่อประเมินน้ำหนักบรรทุก

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 8-23

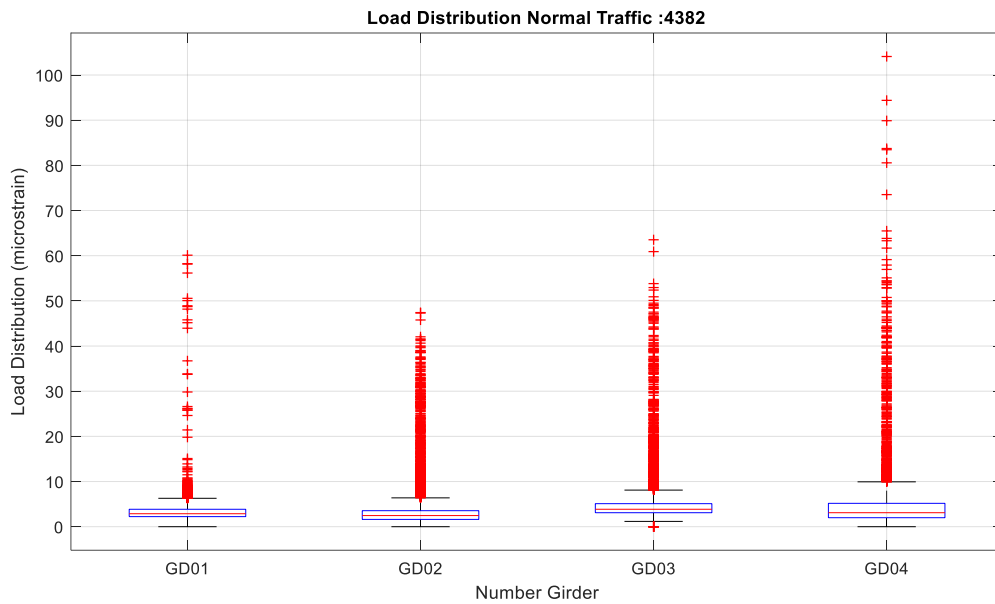
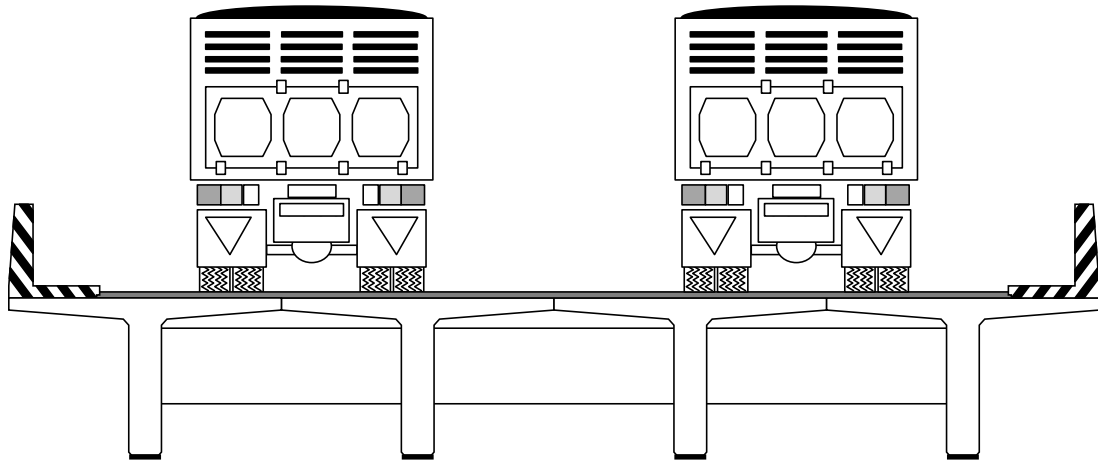




Group Truck	Truck 15 (tons)	Truck 25 (tons)	Truck 50 (tons)
Volume (trucks)	4,110	223	46
%Volume	93.86%	5.09%	1.05%
Mean (tons)	3.316	20.463	49.116
Std (tons)	2.176	4.683	8.954

รูปที่ 8-23 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักบรรทุกทุกภายใต้สภาวะใช้งาน

และเมื่อนำค่า strain ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละคานมาพล็อต (box plot) จะได้ผลการกระจายแรงลงสะพานตามแนวขวางดังแสดงในรูปที่ 8-24



รูปที่ 8-24 การกระจายน้ำหนักในโครงสร้างคาน



## บทที่ 9 สะพานข้ามแม่น้ำชี

### 9.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานข้ามแม่น้ำชี (Tested Span: 15 m)

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



รูปที่ 9-1 รูปทั่วไปของสะพานข้ามแม่น้ำชี

## 9.2 ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน

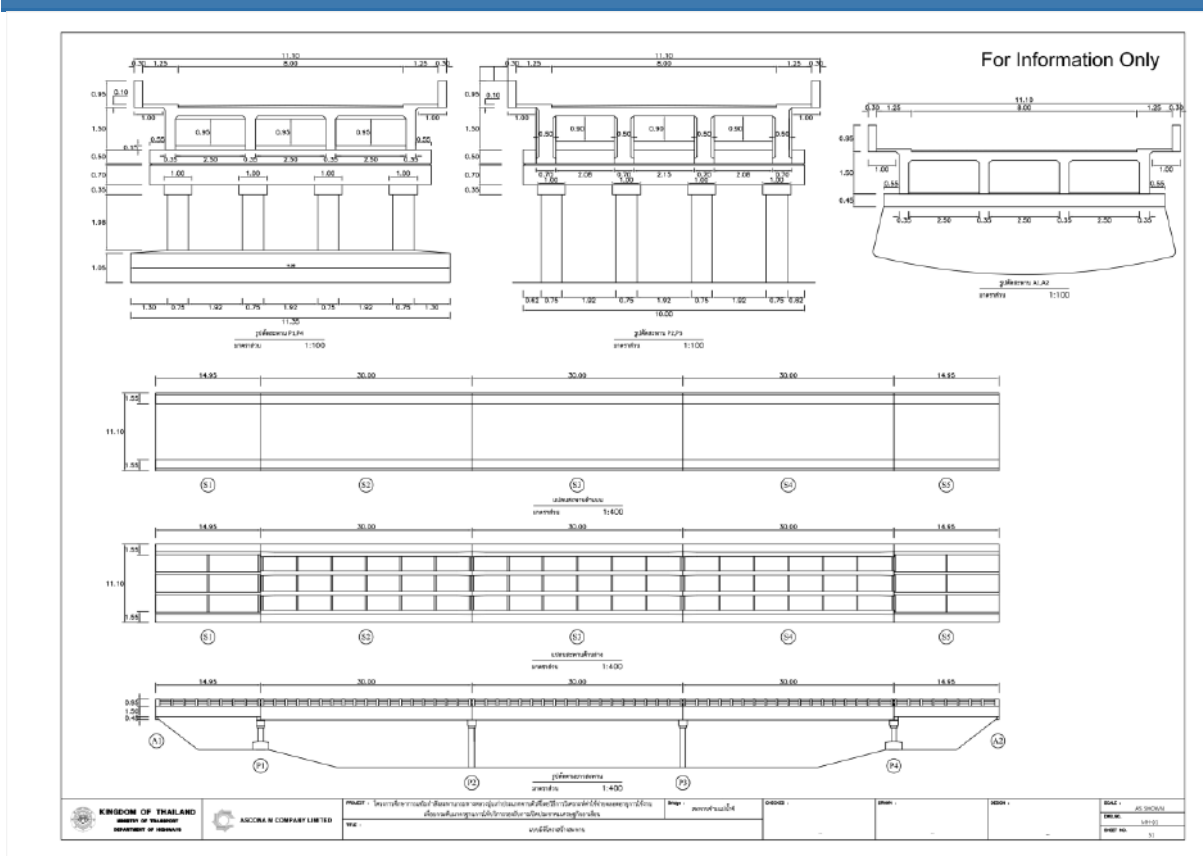
### 9.2.1. การสำรวจมิติสะพาน

การสำรวจมิติของสะพานกระทำโดยถ่ายภาพสะพานในบริเวณต่าง ๆ ทั้งด้านบนและด้านล่าง และใช้เครื่องมือวัดระยะประเภทต่าง ๆ เช่น ตลับเมตร เทปวัด และเลเซอร์วัดระยะทาง ในการตรวจวัดขนาดชิ้นส่วนและมิติต่าง ๆ ของสะพาน ดังตัวอย่างการสำรวจมิติสะพานที่แสดงในรูปที่ 9-2 ในกรณีที่ชิ้นส่วนโครงสร้างมีขนาดใหญ่มากหรืออยู่สูงมาก จะใช้นั่งร้านเพื่อช่วยในการเข้าถึงชิ้นส่วนนั้น ๆ ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจมิติของสะพานในบริเวณต่าง ๆ ได้แสดงดังรูปที่ 9-3



รูปที่ 9-2 การตรวจวัดมิติของสะพาน (ทั่วไป)





รูปที่ 9-3 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจมิติของสะพานโดยรวม  
 (แบบทั้งหมดขนาด A3 แสดงในแบบสำรวจสะพาน)

## 9.2.2. การสำรวจความเสียหายสะพาน

โครงการนี้ใช้วิธีการตรวจสอบความเสียหายด้วยสายตา (Visual Inspection) ในการรวบรวมข้อมูลความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพาน เพื่อใช้ประกอบการออกแบบงานซ่อมบูรณะและเสริมกำลังสะพาน รูปที่ 9-4 แสดงตัวอย่างความเสียหายของสะพาน และตารางที่ 9-1 แสดงรายการความเสียหายของสะพาน จากนั้นได้นำข้อมูลที่สำรวจได้ไปจัดทำเป็นแบบแสดงความเสียหายดังตัวอย่างบางส่วนที่แสดงในรูปที่ 9-5 โดยรายละเอียดทั้งหมดได้แสดงในแบบสำรวจสะพาน ที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้



รูปที่ 9-4 ตัวอย่างบางส่วนของภาพความเสียหายของสะพาน

### ตารางที่ 9-1 รายการความเสียหายสะพานแม่น้ำชี

ลำดับ	บริเวณ	ชั้นส่วน	รายละเอียดความเสียหาย	ระดับความรุนแรง	ขนาด
1	S1	RL1	RL32 พบรอยแตกขนาดใหญ่	CR 2	0.40 x 0.30
2	S1	RL2	RL41 สีกกร่อน หรือหลุดล่อนเล็กน้อย โพรงขนาดเล็ก	CR 4	0.30 x 0.30
3	S1	SW2	SW41 สีกกร่อน หรือหลุดล่อนเล็กน้อย โพรงขนาดเล็ก	CR 4	0.30 x 0.30
4	S2	EJ1	EJ24 ผิวทางเป็นหลุมบ่อ มีรอยซ่อมเป็นแห่งๆ	CR 2	0.40 x 7.00
5	S2	RL1	RL31 สีกกร่อนหรือหลุดล่อนจนเห็นเหล็กเสริม	CR 3	0.50 x 0.30
6	S2	RL2	RL32 พบรอยแตกขนาดใหญ่	CR 2	0.30 x 0.30
7	S3	EJ1	EJ31 Joint Filler หลุดร่อนและมีเศษวัสดุหรือวัชพืชสะสม	CR 3	0.10 x 7.00
8	S3	RL2	RL32 พบรอยแตกขนาดใหญ่	CR 2	0.30 x 0.30
9	S3	RL2	RL32 พบรอยแตกขนาดใหญ่	CR 2	0.30 x 0.30
10	S3	RL2	RL31 สีกกร่อนหรือหลุดล่อนจนเห็นเหล็กเสริม	CR 3	0.80 x 0.30
11	S4	EJ1	EJ31 Joint Filler หลุดร่อนและมีเศษวัสดุหรือวัชพืชสะสม	CR 3	0.10 x 7.00
12	S5	EJ1	EJ24 ผิวทางเป็นหลุมบ่อ มีรอยซ่อมเป็นแห่งๆ	CR 2	0.40 x 0.70
13	S5	RL1	RL32 พบรอยแตกขนาดใหญ่	CR 2	0.30 x 0.30
14	S5	WS	WS31 สีกกร่อนหรือหลุดล่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม	CR 3	9.00 x 7.00
15	S1	GD	GD41 หลุดล่อนเป็นบริเวณแคบ	CR 4	0.30 x 0.30
16	S1	GD	GD41 หลุดล่อนเป็นบริเวณแคบ	CR 4	0.30 x 0.30
17	S1	DK	DK42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 0.50
18	S1	DK	DK21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย	CR 2	0.50 x 0.80
19	S2	DK	DK21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย	CR 2	0.40 x 0.40
20	S2	DK	DK42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.00
21	S5	DK	DK21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย	CR 2	1.00 x 0.50
22	S5	DK	DK21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย	CR 2	1.00 x 0.50
23	S5	DK	DK41 เกิดการหลุดล่อนของพื้นสะพาน	CR 4	0.30 x 0.20
24	S5	DK	DK21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย	CR 2	1.00 x 0.50
25	S5	DK	DK21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย	CR 2	0.40 x 0.40
26	S1	GD3-1	GD41 หลุดล่อนเป็นบริเวณแคบ	CR 4	1.20 x 1.00
27	S1	GD3-1	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.00
28	S1	GD3-2	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
29	S1	GD3-2	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
30	S1	GD4-1	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
31	S1	GD4-1	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20
32	S1	GD4-1	GD42 พบรอยแตกขนาดเล็ก	CR 4	0.03 x 1.20



### 9.2.3. การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลข

การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลขจะใช้วิธีตามแนวทางของระบบบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) กรมทางหลวง ซึ่งจะเลือกชิ้นส่วนที่มีค่าผลคูณความสำคัญของชิ้นส่วน (Weighting, w) กับระดับความเสียหาย (Damage Rating, DR) ที่สูงที่สุด 5 ลำดับแรก จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของชิ้นส่วนที่วิกฤติที่สุดเหล่านั้นเป็นค่า Weighted Critical Damage Rating (WCDR) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความเสี่ยงที่โครงสร้างจะวิบัติ ผลการประเมินพบว่าสะพานมีค่า WCDR = 1.92 (จากคะแนนเต็ม 5) หรือแปลงให้อยู่ในรูป Weighted Critical Condition Rating (WCCR) = 5 - 1.92 = 3.08 ซึ่งอยู่ระหว่าง ระดับดี (CR=4) และระดับพอใช้ (CR=3) กล่าวโดยรวมสะพานมีการเสื่อมสภาพตามการใช้งาน ควรได้รับการซ่อมบำรุงตามกำหนดการ

ตารางที่ 9-2 การประเมินระดับความเสียหายหรือสภาพการใช้งานโดยรวม

บริเวณ- ชิ้นส่วน	ประเภท ชิ้นส่วน	สภาพการใช้งาน (Condition Rating, CR)	ระดับความเสียหาย (Damage Rating) (DR = 5 - CR)	ระดับความสำคัญของชิ้นส่วน (w)	w*DR
S1-DK	DK	2	3	0.8	2.4
S2-DK	DK	2	3	0.8	2.4
S5-DK	DK	2	3	0.8	2.4
S1-RL1	RL	2	3	0.4	1.2
S2-EJ1	EJ	2	3	0.4	1.2
Weighted Critical Damage Rating (WCDR)					1.92
Weighted Critical Condition Rating (CCDR = 5 - WCDR)					3.08

### 9.3 ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน

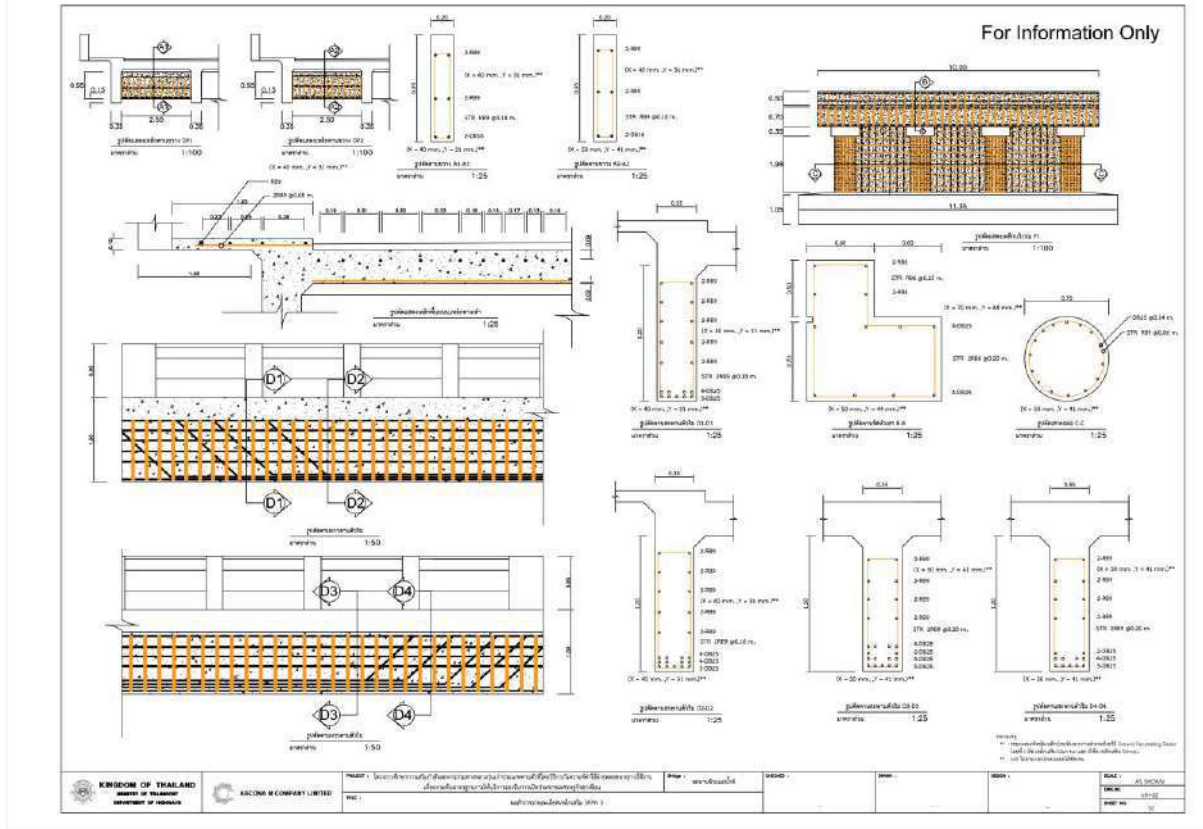
ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมที่ชิ้นส่วนโครงสร้างสำคัญต่าง ๆ มีรวมทั้งสิ้น 130.53 ตร.ม. ดังแสดงในตารางที่ 9-3 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมได้แสดงไว้ในรูปที่ 9-6 โดยผลการสำรวจทั้งหมดได้แสดงไว้ในแบบสำรวจสะพานที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างในรูปตัด (Typical section) และรูปด้านต่าง ๆ

ตารางที่ 9-3 พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมในชิ้นส่วนโครงสร้างหลักของสะพาน

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม (ตร.ม.)
เสาตอม่อ (Pier)	20.43
คานรัดเสาตอม่อ (Cap Beam)	28.94
คานหลัก (Girder)	42.65
ไดอะแฟรม (Diaphragm)	4.75
พื้นสะพาน (Deck) บริเวณถนน	20
พื้นสะพาน (Deck) บริเวณทางเท้า	13.76
<b>รวมทั้งสิ้น</b>	<b>130.53</b>



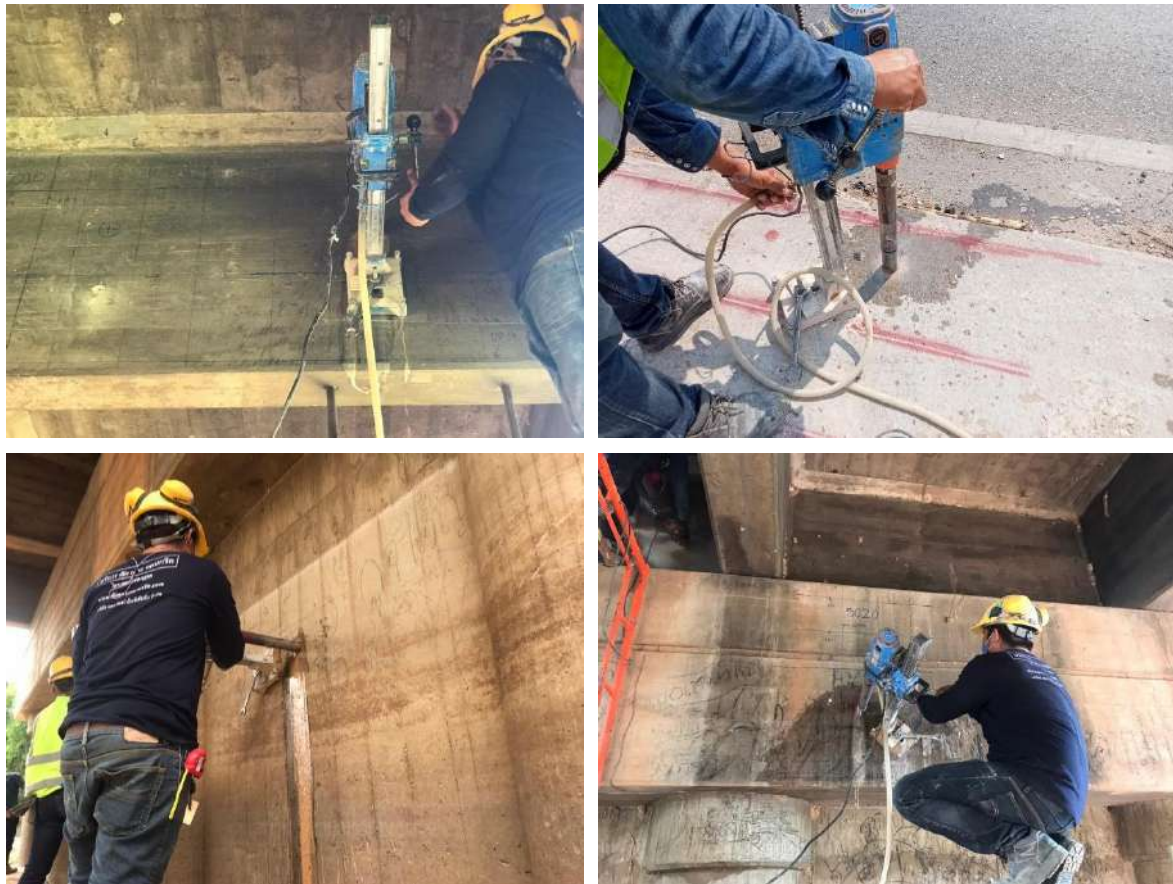
รูปที่ 9-6 รูปการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพานด้วยเครื่อง GPR



รูปที่ 9-7 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม

## 9.4 การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

### 9.4.1. การดำเนินการเก็บวัสดุทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลังรับแรงดึง



รูปที่ 9-8 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังคอนกรีต



รูปที่ 9-9 รูปการซ่อมคืนสภาพจากการเก็บวัสดุทดสอบกำลังคอนกรีต

#### 9.4.2. การดำเนินเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม



รูปที่ 9-10 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม





รูปที่ 9-11 รูปการซ่อมคืนสภาพจากการเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม

### 9.4.3. การดำเนินการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน



รูปที่ 9-12 รูปการทำงานทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน



## 9.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

### 9.5.1. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต สะพานละ 20 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย พื้นสะพาน (Deck, DK) ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ใต้อะแพรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) ค้ำยันเสาต่อม่อ (Bracing, BC) เสาต่อม่อ (Pier, P) ตารางที่ 9-4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 9-4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (สะพานข้ามแม่น้ำชี, MH)

ลำดับ	ชิ้นส่วน	รหัสทดสอบ	Compressive Strength (ksc)
1	SW	MH-S1-SW1-1	88
2	SW	MH-S2-SW1-1	215
3	SW	MH-S2-SW2-1	137
4	SW	MH-S3-SW1-1	186
5	SW	MH-S3-SW2-1	209
6	SW	MH-S4-SW1-1	152
7	SW	MH-S4-SW2-1	176
8	SW	MH-S5-SW2-1	171
9	GD	MH-S5-GD1-1	112
10	GD	MH-S5-GD2-1	90
11	GD	MH-S5-GD3-1	167
12	GD	MH-S5-GD4-1	132
13	CB	MH-P4-CB1	208
14	CB	MH-P4-CB2	124
15	DP	MH-S5-DP1-1	196
16	DP	MH-S5-DP2-1	207
17	PW	MH-P4-PW-1	187
18	PW	MH-P4-PW-2	184
19	PW	MH-P4-PW-3	300
20	PW	MH-P4-PW-4	195

### 9.5.2. ผลทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต สะพานละ 20 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไดอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) และเสาดอม่อ (Pier, P) ตารางที่ 9-5 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 9-5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต (สะพานข้ามแม่น้ำชี, MH)

ลำดับ	ชิ้นส่วน	รหัสทดสอบ	Tensile Strength (ksc)
1	SW	MH-S1-SW1-1	25
2	SW	MH-S2-SW1-1	29
3	SW	MH-S2-SW2-1	15
4	SW	MH-S3-SW1-1	23
5	SW	MH-S3-SW2-1	20
6	SW	MH-S4-SW1-1	22
7	SW	MH-S4-SW2-1	18
8	SW	MH-S5-SW2-1	31
9	GD	MH-S5-GD1-1	13
10	GD	MH-S5-GD2-1	21
11	GD	MH-S5-GD3-1	20
12	GD	MH-S5-GD4-1	19
13	CB	MH-P4-CB1	22
14	CB	MH-P4-CB2	26
15	DP	MH-S5-DP1-1	29
16	DP	MH-S5-DP2-1	11
17	PW	MH-P4-PW-1	14
18	PW	MH-P4-PW-2	20
19	PW	MH-P4-PW-3	24
20	PW	MH-P4-PW-4	18

### 9.5.3. ผลการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน

โครงการนี้ได้ทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน สะพานละ 20 ตำแหน่ง ๆ ละ 5 ระดับความลึก (รวมทั้งสิ้น 100 ตัวอย่าง) โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Side Walk , SW) พื้นสะพาน (Deck, DK) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) คานหลัก (Girder, GD) ไตอะแฟรม (Diaphragm, DP) และเสาทอม่อ (Pier, PR) ตารางที่ 9-6 แสดงผลการทดสอบหาค่าความลึกการเกิดคาร์บอนเนชัน (Carbonation Depth)

ตารางที่ 9-6 ผลการทดสอบหาค่าความลึกปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน (สะพานข้ามแม่น้ำชี, MH)

ลำดับ	ชิ้นส่วน	ความลึกการพบคาร์บอนเนชัน (cm)	ระดับความลึกที่ทดสอบปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน				
			1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
1	SW1	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
2	SW2	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
3	SW3	1	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
4	SW4	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
5	DK1	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
6	DK2	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
7	DK3	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
8	DK4	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
9	DP1	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
10	DP2	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
11	GD1	3	เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
12	GD2	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
13	GD3	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
14	GD4	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
15	CB1	2	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
16	CB2	3	เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
17	PR1	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
18	PR2	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
19	PR3	0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
20	PR4	3	ไม่เกิด	เกิด	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด

#### 9.5.4. ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมของสะพานจำนวน 22 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไดอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) และกำแพงตอม่อ (Pier Wall, PW) ตารางที่ 9-7 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

ตารางที่ 9-7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม (สะพานข้ามแม่น้ำชี, MH)

ลำดับ	รหัสทดสอบ	RB/DB	ชิ้นส่วน	Tested Diameter (mm)	Yield Stress (ksc)	Ultimate Stress (ksc)
1	MH-P4-PW-1	DB	PW	25	3537	6175
2	MH-P4-PW-2	RB	PW	9	3074	4745
3	MH-P4-PW-3	DB	PW	12	4401	6148
4	MH-P4-PW-4	DB	PW	12	5155	6722
5	MH-S5-DP2-1	RB	DP	9	3111	4613
6	MH-S5-DP2-2	RB	DP	9	4293	4987
7	MH-S5-GD1-1	RB	GD	9	3098	4259
8	MH-S5-GD2-1	RB	GD	9	3339	4729
9	MH-S5-GD3-1	RB	GD	9	3360	4478
10	MH-S5-GD4-1	DB	GD	25	3600	5747
11	MH-P4-CB-1	RB	CB	6	2279	2323
12	MH-P4-CB-2	RB	CB	6	2117	2193
13	MH-S5-DP1-1	RB	DP	9	3376	4607
14	MH-S5-DP1-2	RB	DP	9	3296	4547
15	MH-S1-SW1-1	RB	SW	9	3637	5038
16	MH-S1-SW1-2	RB	SW	9	3342	4759
17	MH-S1-SW2-2	RB	SW	9	4017	5508
18	MH-S5-SW1-1	RB	SW	9	2965	5092
19	MH-S5-SW1-2	RB	SW	9	4131	6181
20	MH-S1-SW2-1	RB	SW	9	4139	5623
21	MH-S5-SW2-1	RB	SW	9	3462	4410
22	MH-S5-SW2-2	RB	SW	9	3480	5192

### 9.5.5. สรุปผลทดสอบวัสดุสะพาน

ตารางที่ 9-8 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่า ชิ้นส่วนทางเท้า (SW), คานตามยาว (GD), ไตอะแฟรม (DP), คานรัดหัวเสา (CB), และกำแพงตอม่อ (PW) มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเท่ากับ 167, 125, 201, 166 และ 217 ksc ตามลำดับ

ตารางที่ 9-8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

Member	N	Avg (ksc)	SD (ksc)
Side Walk (SW)	8	167	41
Girder (GD)	4	125	33
Diaphragm (DP)	2	201	8
Cap beam (CB)	2	166	59
Pier wall (PW)	4	217	56

ตารางที่ 9-9 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่า ชิ้นส่วนทางเท้า (SW), คานตามยาว (GD), ไตอะแฟรม (DP), คานรัดหัวเสา (CB), และกำแพงตอม่อ (PW) ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดึงเท่ากับ 22.9, 18.2, 20.2, 24.2 และ 19.1 ksc ตามลำดับ

ตารางที่ 9-9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

Member	N	Avg (ksc)	SD (ksc)
Side Walk (SW)	8	22.9	5.6
Girder (GD)	4	18.2	3.5
Diaphragm (DP)	2	20.2	12.9
Cap beam (CB)	2	24.2	2.5
Pier wall (PW)	4	19.1	4.1

ตารางที่ 9-10 แสดงผลการทดสอบค่าความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันแยกตามประเภท  
 ชั้นส่วน ซึ่งพบว่า ชั้นส่วนทางเท้า (SW) พื้นสะพาน (DK) ใต้แอม (DP) คานตามยาว (GD) คาน  
 รั้วหัวเสา (CB) และ กำแพงเสาตอม่อ (PW) มีค่าเฉลี่ยความลึกการเกิดคาร์บอนเนชันเท่ากับ 0.75, 0.00,  
 0.00, 1.25, 2.50 และ 0.75 cm ตามลำดับ ถ้าคาร์บอนเนชันเกิดลึกถึงชั้นเหล็กเสริม เหล็กเสริมสามารถ  
 เกิดสนิมได้ ซึ่งชั้นส่วนแต่ละประเภทอาจมีระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมไม่เท่ากัน และเมื่อพิจารณาความ  
 แปรปรวนของค่าที่ตรวจวัดได้ ชั้นส่วนทางเท้า (SW) พื้นสะพาน (DK) ใต้แอม (DP) คานตามยาว  
 (GD) คานรั้วหัวเสา (CB) และ กำแพงเสาตอม่อ (PW) มีโอกาสที่ความลึกคาร์บอนเนชันจะเกิดลึกถึงชั้น  
 เหล็กเสริมเท่ากับ 4.39%, 0%, 0%, 15.26%, 11.34% และ 5.58% ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่าปัจจุบัน  
 คานตามยาว (GD) มีโอกาสเกิดสนิมได้มากที่สุด (15.26 %)

ตารางที่ 9-10 ผลทดสอบความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน

Member	N	Avg (cm)	SD (cm)	Covering (cm)	Prob (depth > field covering) (%)
				Field (GPR)	
Side Walk (SW)	4	0.75	0.50	2.0	4.39%
Deck (DK)	4	0.00	0.00	2.0	-
Diaphragm (DP)	2	0.00	0.00	3.1	-
Girder (GD)	4	1.25	1.50	3.1	15.26%
Cap beam (CB)	2	2.50	0.71	4.4	11.34%
Pier Wall (PW)	4	0.75	1.50	4.1	5.58%

ตารางที่ 9-11 แสดงผลการทดสอบเหล็กข้ออ้อย (DB) ของสะพาน เมื่อนำข้อมูลจำนวน 4 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 4173 ksc ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 763 ksc และตารางที่ 9-12 แสดงผลการทดสอบเหล็กกลม (RB) ของสะพาน เมื่อนำข้อมูลจำนวน 18 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 3362 ksc ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 578 ksc ข้อมูลการทดสอบวัสดุจะถูกนำไปใช้ในการออกแบบเสริมกำลังเสริมสะพานในลำดับถัดไป

**ตารางที่ 9-11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อย (DB)**

Member	Yield Tensile Strength (ksc)			Ultimate Tensile Strength (ksc)		
	N	Avg	SD	N	Avg	SD
Girder (GD)	1	3600	-	1	5747	-
Pier wall (PW)	3	4364	809	3	6348	324
ALL DB	4	4173	763	4	6198	400

**ตารางที่ 9-12 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กกลม (RB)**

Member	Yield Tensile Strength (ksc)			Ultimate Tensile Strength (ksc)		
	N	Avg	SD	N	Avg	SD
Capbeam (CB)	2	2198	115	2	2258	92
Diaphragm (DP)	4	3519	528	4	4688	201
Girder (GD)	3	3266	145	3	4489	235
Sidewalk (SW)	8	3647	420	8	5225	546
Pier wall (PW)	1	3074	-	1	4745	-
ALL RB	18	3362	578	18	4627	985

## 9.6 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานแม่ห้าซี

ที่ปรึกษาได้ทำการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานแม่ห้าซีที่มีความยาวช่วงสะพาน (Span) 15 เมตร โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต (Static Test) และแบบพลวัต (Dynamic Test) และการทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน (Normal Traffic Test) โดยรายละเอียดการดำเนินงานมีดังนี้

### 9.6.1. อุปกรณ์การตรวจวัด

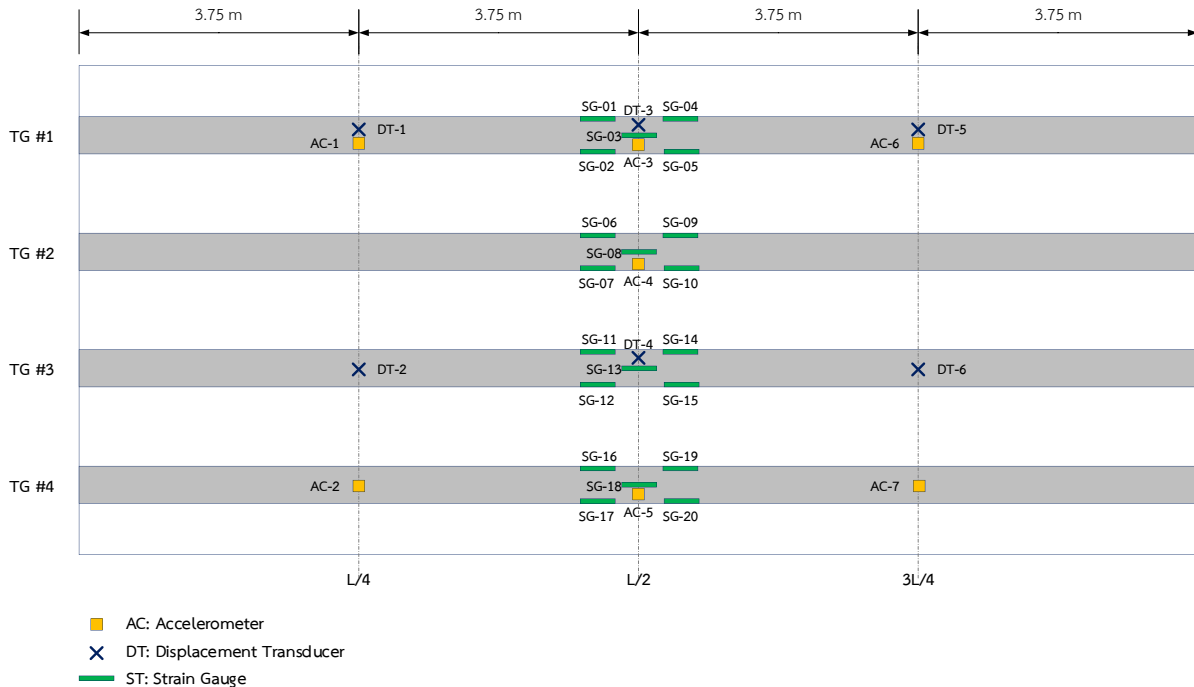
ที่ปรึกษาได้ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดพฤติกรรมของโครงสร้างสะพาน ประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด อุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนที่ และอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว รวมถึงอุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยมีจำนวนดังต่อไปนี้

#### ตารางที่ 9-13 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

ลำดับ	อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด	จำนวน
1	อุปกรณ์วัดความเครียด (Strain Gauge)	20
2	อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ (Displacement Transducer)	6
3	อุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว (Accelerometer)	7
4	อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Data Acquisition)	1
5	อุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop)	1

### 9.6.2. ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

ที่ปรึกษาได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสะพาน ซึ่งแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 9-13 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

สำหรับการดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสะพานของทางที่ปรึกษาแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 9-14 ภาพการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสะพาน



### 9.6.3. น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

ที่ปรึกษาได้ทดสอบพฤติกรรมกรรมการรับน้ำหนักของสะพานภายใต้สภาวะควบคุม โดยใช้รถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 2 คัน โดยมีรายละเอียดระยะเพลาและน้ำหนักบรรทุกดังนี้

ตารางที่ 9-14 น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

คันที่	1	2
ประเภท	รถบรรทุก (70-3223)	รถบรรทุก (86-2118)
น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	24.70	25.30
ระยะเพลาที่ 1 ถึง 2 (a, เมตร)	4.15	4.10
ระยะเพลาที่ 2 ถึง 3 (b, เมตร)	1.30	1.25
ความกว้างฐานล้อ (c, เมตร)	1.85	1.82

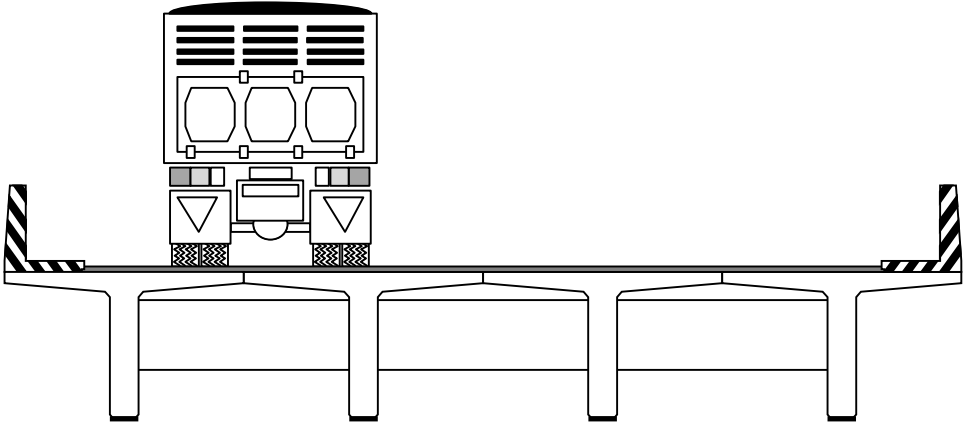
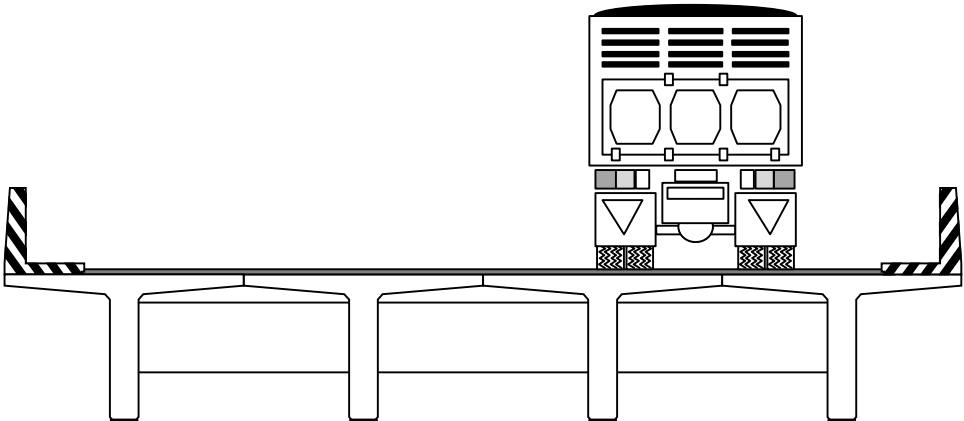
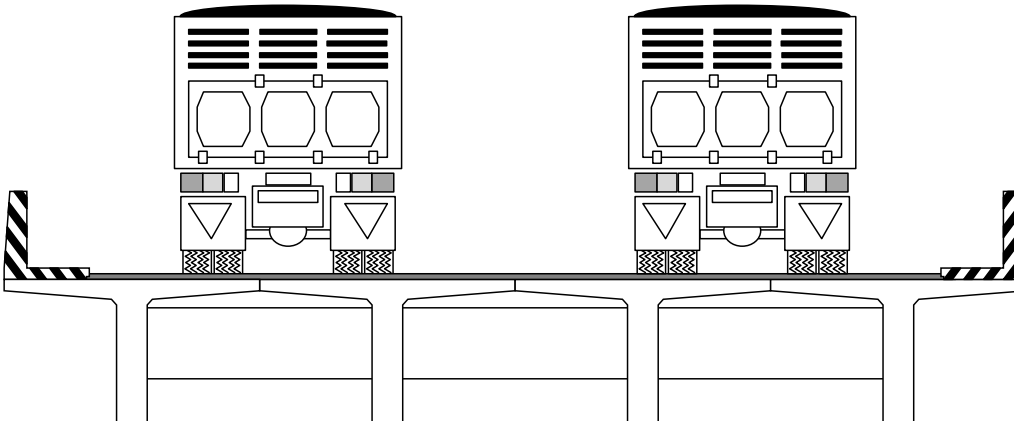
  

### 9.6.4. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต

การทดสอบแบบสถิต (Static Test) เป็นการนำรถบรรทุกทดสอบจอดตามตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนด 3 รูปแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

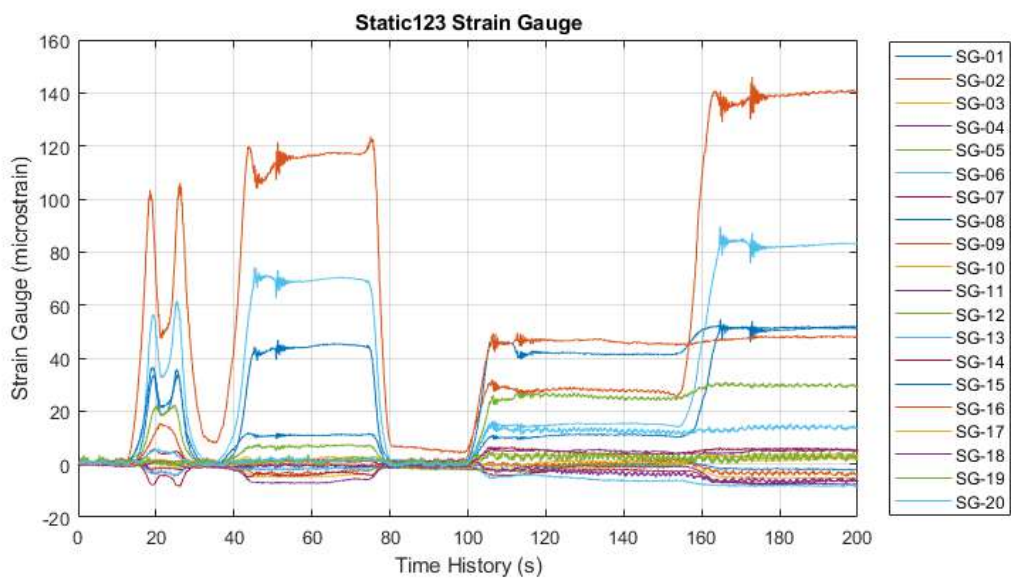
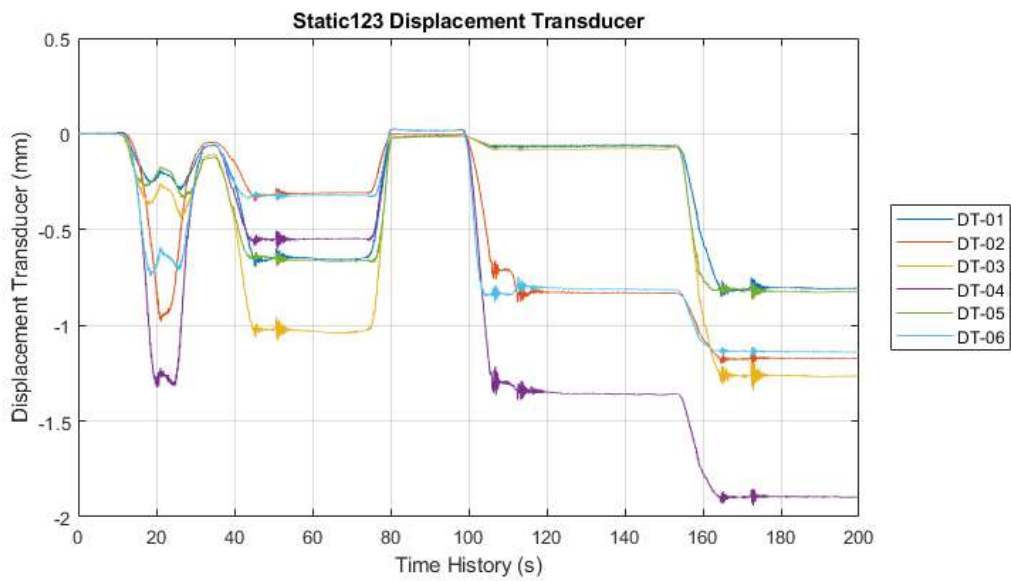
- Static 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง  $L/2$  ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางซ้าย
- Static 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง  $L/2$  ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางขวา
- Static 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน จอดเรียงกันที่ตำแหน่ง  $L/2$  ของความยาวช่วง ทั้งสองช่องจราจร

ตารางที่ 9-15 รูปแบบการทดสอบแบบสถิต ด้วยรถบรรทุกน้ำหนัก

Case	Pattern
Static 1	
Static 2	
Static 3	



รูปที่ 9-15 ภาพการทดสอบแบบสถิต

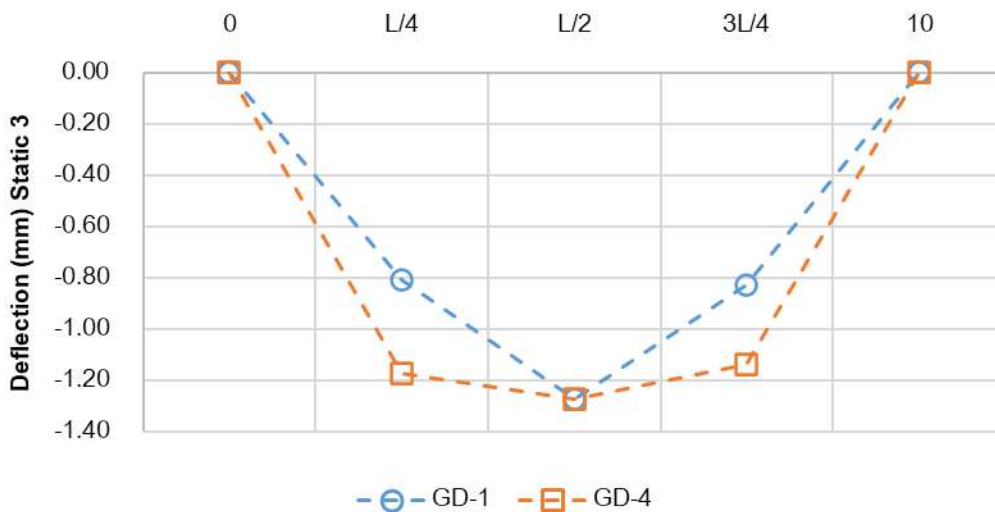
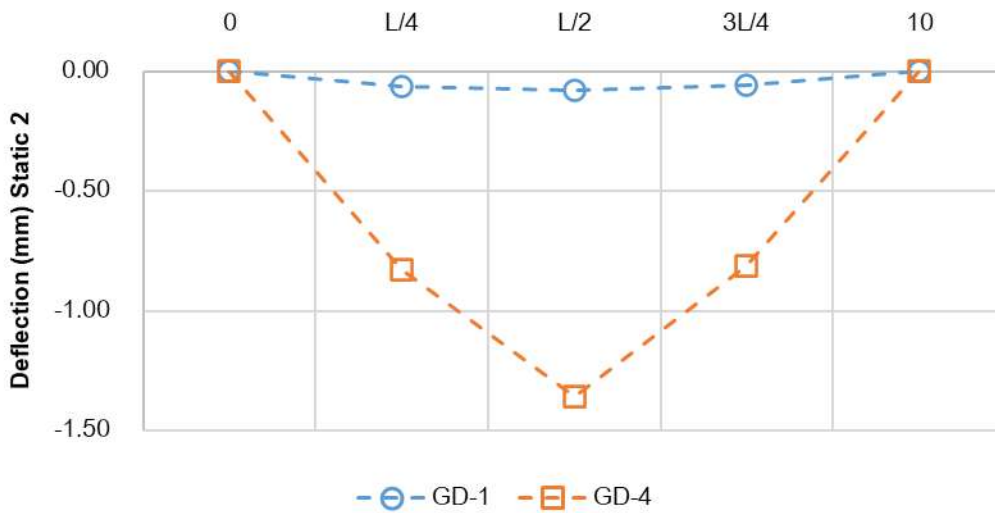
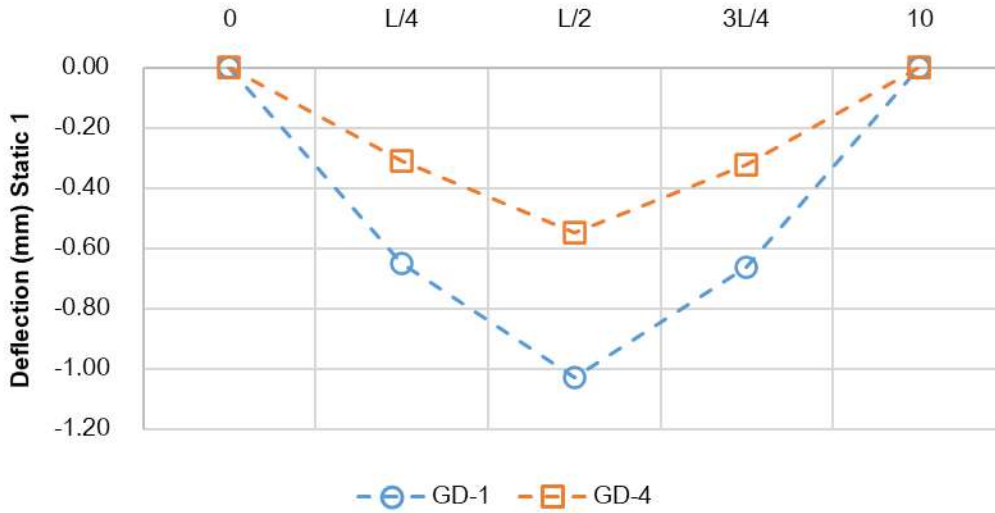


รูปที่ 9-16 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 1, Static 2 และ Static 3



**ตารางที่ 9-16 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานแบบสถิต**

Sensor	Position L/2		
	Static 1	Static 2	Static 3
DT 01	-0.650	-0.066	-0.808
DT 02	-0.310	-0.831	-1.171
DT 03	-1.029	-0.081	-1.269
DT 04	-0.549	-1.357	-1.895
DT 05	-0.661	-0.060	-0.828
DT 06	-0.322	-0.811	-1.138
SG 01	-1.877	-0.490	-1.808
SG 02	-3.252	-0.265	-3.619
SG 03	-5.010	-1.433	-5.438
SG 04	-7.002	-0.575	-7.296
SG 05	1.060	0.010	2.625
SG 06	69.333	15.098	82.606
SG 07	-3.967	-1.985	-6.442
SG 08	44.352	11.338	51.454
SG 09	116.417	28.227	139.917
SG 10	2.140	0.848	1.804
SG 11	0.190	-3.619	-6.250
SG 12	7.156	25.242	29.429
SG 13	-1.892	-5.563	-8.019
SG 14	1.054	3.967	5.988
SG 15	10.777	41.319	51.308
SG 16	0.938	46.638	47.960
SG 17	-0.258	3.377	3.906
SG 18	-0.731	5.035	5.344
SG 19	1.925	2.035	2.202
SG 20	1.760	12.592	13.669



รูปที่ 9-17 พฤติกรรมการแอ่นตัวของคานตัวที่ 1 และตัวที่ 3